

**BİYOMETANİZASYON TESİSİ YAN ÜRÜNLERİNİN BİTKİ BESİNİ OLARAK
KULLANILMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Bartu Can TÜZÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran, 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bartu Can TÜZÜN'ün “BİYOMETANİZASYON TESİSİ YAN ÜRÜNLERİNİN BİTKİ BESİNİ OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezi 21/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği” nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı Adı Soyadı

İmza

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Üye : Prof. Dr. Eftade Emine GAGA

Üye : Doç. Dr. Melayib BİLGİN

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans đrencisi Bartu Can TÜZÜN, BİYOMETANİZASYON TESİSİ YAN ÜRÜNLERİNİN BİTKİ BESİNİ OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN DEğERLENDİRİLMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Daniřmanı

Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİğİT AVDAN

ÖZET

BIYOMETANİZASYON TESİSİ YAN ÜRÜNLERİNİN BİTKİ BESİNİ OLARAK KULLANILMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bartu Can TÜZÜN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN

Dünya nüfustaki artışa paralel olarak tarımsal üretimde ürün verimliliğinin arttırılmasına duyulan ihtiyaç, tarımda sıkça kullanılan kimyasal ve ham gübrelerin oluşturduğu olumsuz çevresel etkiler ve organik gübrelere duyulan ihtiyaç tarımsal iyileştirme alanında yeni çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu çalışmada, belediye katı atıklarından enerji üretimi sürecinin bir parçası olan desülfürizasyon ünitelerinden çıkan kükürtün ve fermente sıvının bitki besini olarak kullanılma potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, çalışmada kükürt ve fermente sıvının seçilen hedef bitkilerde besin maddesi olarak kullanımı, hedef bitkilerin gelişiminin izlenmesi ve bu atıkların tarımsal iyileştirme amacıyla kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında süs bitkisi kullanılmış olup bitkilerin büyüme eğrisi izlenmiş, topraktan, yapraktan ve sulama sularından alınan örnekler analiz edilmiştir. Analizler ve büyüme oranları yorumlanarak enerji üretim tesisi kaynaklı oluşan proses çıktılarının bitki besini olarak kullanılması değerlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda %2,5 fermente sıvı içeren sulama suyunun bitkiler için faydalı olduğu, kükürtün ise düşük konsantrasyonlarda kullanılmasının herhangi bir zararının olmadığı ancak herhangi olumlu bir etkisinin de olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Katı atık, enerji üretimi, anaerobik fermentasyon, tarımsal iyileştirme, endüstriyel simbiyoz

ABSTRACT

EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF BIOMETANIZATION FACILITY PRODUCTS AS PLANT NUTRITION

Bartu Can TÜZÜN

Department of Environmental Engineering

Programme in Environmental Science

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2022

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Zehra YİĞİT AVDAN

In parallel with the increase in the world population, the need to increase product productivity in agricultural production, the negative environmental effects of chemical and raw fertilizers that are frequently used in agriculture, and the need for organic fertilizers reveal the necessity of new studies in the field of agricultural improvement. In this study, it is aimed to evaluate the potential of using sulfur and fermented liquid from the desulphurization units, which are a part of the energy production process from municipal solid waste, as organic fertilizer in line with the circular economy. In line with this purpose, it is aimed to use sulfur and fermented liquid as nutrients in selected target plants, to monitor the development of target plants and to evaluate the use potential of these wastes for agricultural improvement.

Within the scope of the study, ornamental plants were used and the growth curve of the plants was followed, and samples taken from the soil, leaves and irrigation water were analyzed. By interpreting the analyzes and growth rates, the use of the process outputs originating from the energy production facility as plant food has been evaluated. As a result of the experiments, it has been determined that irrigation water containing 2.5% fermented liquid is beneficial for plants, and the use of sulfur in low concentrations does not cause any harm, but does not have any positive effect.

Keywords: Solid waste, power generation, anaerobic fermentation, agricultural remediation, industrial symbiosis

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doktor Öğretim Üyesi Zehra YİĞİT AVDAN’a,

İyi dileklerini esirgemeyen, her adımında katkıları olan ve aldığım her kararda beni destekleyen değerli aileme,

Okul ve çalışma hayatım boyunca desteğini sürekli hissettiğim, beni teşvik eden, süreç boyunca katkıları ile yardımcı olan hayat arkadaşım, sevgili eşim Derya AZAK TÜZÜN’e,

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bartu Can TÜZÜN

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı” ile tarandığını beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Bartu Can TÜZÜN

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KATI ATIK YÖNETİMİ	2
2.1. Katı Atık ile İlgili Tanımlar	3
2.2. Entegre Katı Atık Yönetimi ve Özellikleri	5
2.3. Katı Atık Bertaraf Yöntemleri	7
2.3.1. Depolama.....	8
2.3.1.1. Düzensiz depolama	8
2.3.1.2. Düzenli depolama	11
2.3.2. Biyolojik sistemler ve biyometanizasyon	19
2.3.2.1. Anaerobik çürütme prosesi	21
2.3.2.2. Hidrojen sülfür giderimi.....	23
3. TARIMSAL GERİ KAZANIM	26

3.1. Bitki Besin Elementleri.....	26
3.1.1. Kükürt (S).....	28
3.2. Gübre Kullanımı.....	28
3.3. Sülfürün Bitki Besini Olarak Kullanılması.....	30
4. MATERYAL VE YÖNTEM	32
4.1. Desülfürizasyon Süreci ve Akış Şeması.....	32
4.1.1. Kükürt için yapılan çalışmalar	33
4.2. Fermente Sıvı Süreci ve Akış Şeması	49
4.1.2. Fermente sıvı için yapılan çalışmalar	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKÇA	72
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. İlk fazın sonunda seyreltik sızıntı suyunun besin bileşimi	15
Tablo 2.2. İkinci fazın sonunda konsantre numunelerin besin bileşimi.....	16
Tablo 2.3. Organik maddelerin ayrışabilirlik dereceleri	18
Tablo 3.1. Çoğu bitkilerin gelişebilmesi için gerekli olan bitki besin elementleri ve bunlara ilişkin bazı özellikler [26]	27
Tablo 3.2. Bitkilerde besin elementlerinin sınıflandırılması.....	28
Tablo 4.1. Elementel kükürt analiz sonuç tablosu-14.02.2020	33
Tablo 4.2. Kükürt içeren sulama suyu içerik bilgileri	34
Tablo 4.3. Bitki ölüm süreleri (S-ilk set)	39
Tablo 4.4. Katı mikrodalga analizleri (S-ilk set-toprak ve yaprak için)	41
Tablo 4.5. Katı-Sıvı Eluat analizi (S-ilk set-toprak ve yaprak için).....	41
Tablo 4.6. Kükürt içeren sulama suyu içerik bilgileri (ikinci set)	42
Tablo 4.7. Katı mikrodalga analizleri (S-ikinci set-toprak için)	48
Tablo 4.8. Katı mikrodalga analizleri (S-ikinci set-yaprak için)	48
Tablo 4.9. Fermente sıvı ağır metal analiz sonuçları (akredite laboratuvar-1)	51
Tablo 4.10. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-1 (akredite laboratuvar-2)	52
Tablo 4.11. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-2 (akredite laboratuvar-2)	52
Tablo 4.12. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-3 (akredite laboratuvar-2)	52
Tablo 4.13. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-4 (akredite laboratuvar-2)	52
Tablo 4.14. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-5 (akredite laboratuvar-2)	52
Tablo 4.15. Fermente sıvı sulama suyu içerik bilgileri	53
Tablo 4.16. Bitki ölüm süreleri (Fermente Sıvı-ilk set)	59
Tablo 4.17. Fermente sıvı ile sulanan bitkilere ait toplanan su analiz değerleri	60
Tablo 4.18. Katı mikrodalga analizleri-Toprak.....	61
Tablo 4.19. Katı mikrodalga analizleri-Yaprak	61
Tablo 4.20. Katı-Sıvı Eluat-Toprak	62
Tablo 4.21. Katı-Sıvı Eluat-Yaprak	62
Tablo 4.22. Fermente sıvı sulama suyu içerik bilgileri-İkinci set.....	63

Tablo 4.23. Fermente sıvı ile sulanan bitkilere ait toplanan numune analiz değerleri.....	68
Tablo 4.24. Katı mikrodalga analizleri-Toprak.....	69
Tablo 4.25. Katı mikrodalga analizleri-Yaprak	69



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Dünya çapındaki kentsel katı atık üretimi (milyon ton).....	3
Şekil 2.2.	Entegre katı atık yönetimi hiyerarşisi.....	3
Şekil 2.3.	Entegre atık yönetimi akış diyagramı [3]	6
Şekil 2.4.	Katı atık bertaraf yöntemleri	7
Şekil 2.5.	Düzenli depolama tesisi unsurları [7].....	12
Şekil 2.6.	Düzenli depolama sahası [9]	14
Şekil 2.7.	Anaerobik ayrışma prosesleri [10]	17
Şekil 2.8.	Depo gazı oluşum eğrileri [16].....	18
Şekil 2.9.	Biyometanizasyon işlemi temel anlamı.....	20
Şekil 2.10.	Anaerobik çürütme prosesi akım şeması.....	22
Şekil 3.1.	Artan nüfusun çevre sağlığına etkisi	29
Şekil 4.1.	Desülfürizasyon süreci akış şeması	32
Şekil 4.2.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-kör)	34
Şekil 4.3.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %1)	35
Şekil 4.4.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %2,5)	35
Şekil 4.5.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %5)	35
Şekil 4.6.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %10)	36
Şekil 4.7.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %25)	36
Şekil 4.8.	Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %25).....	36
Şekil 4.9.	Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %10).....	37
Şekil 4.10.	Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %5).....	37
Şekil 4.11.	Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %2,5).....	38
Şekil 4.12.	Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %1).....	38
Şekil 4.13.	Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S Kör).....	39
Şekil 4.14.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S kör)	43
Şekil 4.15.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S %0,25)	43
Şekil 4.16.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S %0,5)	43
Şekil 4.17.	Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S %1)	44

Şekil 4.18. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S %1).....	44
Şekil 4.19. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S %0,5).....	45
Şekil 4.20. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S %0,25).....	45
Şekil 4.21. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S kör).....	46
Şekil 4.22. Fermente Sıvı süreci akış şeması.....	49
Şekil 4.23. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS kör).....	54
Şekil 4.24. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %2,5).....	54
Şekil 4.25. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %5).....	55
Şekil 4.26. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %10).....	55
Şekil 4.27. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %25).....	55
Şekil 4.28. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %50).....	56
Şekil 4.29. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %2,5)	56
Şekil 4.30. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %5)	56
Şekil 4.31. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %10)	57
Şekil 4.32. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %25)	57
Şekil 4.33. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %50)	58
Şekil 4.34. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS Kör).....	58
Şekil 4.35. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-kör)	63
Şekil 4.36. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-%0,25)	64
Şekil 4.37. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-%0,5)	64
Şekil 4.38. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-%1)	64
Şekil 4.39. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %0,25).....	65
Şekil 4.40. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %0,5).....	65
Şekil 4.41. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %1).....	66
Şekil 4.42. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %2,5).....	66
Şekil 4.43. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS kör).....	67

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 2.1.	Düzensiz depolama sahası örneği	8
Görsel 2.2.	Düzensiz depolama sonucu meydana gelen yangın görüntüsü [13].....	9
Görsel 2.3.	Düzensiz depolama sonucu meydana gelen su sızıntıları.....	9
Görsel 2.4.	Manisa yangın örnekleri	10
Görsel 2.5.	Şehir çöplüğü düzenli depolama sızdıraz membran [1]	12
Görsel 2.6.	Düzenli depolama sahası membran görünümü.....	13
Görsel 2.7.	Eskişehir düzenli depolama ve enerji üretim tesisi	20
Görsel 2.8.	Helezonlu seperatör uygulama örneği	22
Görsel 2.9.	Gaz arıtma ünitesi	24
Görsel 2.10.	Plastik medya temiz hali.....	24
Görsel 2.11.	Plastik medya kükürt birikmiş hali.....	24
Görsel 2.12.	Desülfürizasyon ünitelerine ait görsel	25
Görsel 3.1.	Bentonitli kükürt görseli.....	31
Görsel 4.1.	İlk set başlangıç (Kükürt)	39
Görsel 4.2.	İlk set ilerleme (Kükürt)	40
Görsel 4.3.	İlk set sonu (Kükürt).....	40
Görsel 4.4.	İkinci set başlangıç (Kükürt)	46
Görsel 4.5.	İkinci set ilerleme (Kükürt)	47
Görsel 4.6.	İkinci set sonlandırma (Kükürt).....	47
Görsel 4.7.	Fermente sıvıya ait görsel.....	50
Görsel 4.8.	Fermente sıvı elek deneyleri.....	53
Görsel 4.9.	İlk set başlangıç (Fermente sıvı).....	59
Görsel 4.10.	İlk set ilerleme (Fermente sıvı).....	59
Görsel 4.11.	İlk set sonlandırma (Fermente sıvı)	60
Görsel 4.12.	Koşullu ortam	60
Görsel 4.13.	İkinci set başlangıç (FS)	67
Görsel 4.14.	İkinci set ilerleme (FS)	68

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
Ca	: Kalsiyum
FS	: Fermente Sıvı
IFA	: Uluslararası Gübre Sanayicileri Derneği
K	: Potasyum
MSW	: Municipal Solid Waste (Kentsel katı atıklar)
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
N	: Azot
P	: Fosfat
R.G.	: Resmî Gazete
S	: Kükürt
Zn	: Çinko

1. GİRİŞ

Nüfusun artması, sanayileşme ve kentleşmeye paralel olarak katı atık miktarı oluşturma miktarı artmaktadır. Bu durum insanların yaşamını devam ettirdiği şehirler açısından ciddi problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bazı yerlerde uygulanan, gelişen ve modernleşen dünyada kabul görmeyen; katı atıkların vahşi depolanması süreci insan ve çevre sağlığını tehlikeye atmaktadır. Atıklardan elde edilebilecek ürünler arasında geri dönüşüm, kompost, bitki besin maddesi ve enerji bulunmaktadır. Günümüzde katı atıkların bertaraf edilmesi için değişik teknolojiler geliştirilmekte ve mevcut teknolojiler iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Örneğin, 1970'lerden beri gelişmiş ülkelerde katı atıkların bertaraf edilmesi sürecinde düzenli depolama ve yakma teknolojileri uygulanırken; 1990'lı ve 2000'i yıllarda katı atıkların yönetimi sürecinde uygulanan atık yönetim sistemlerinde anaerobik çürütme ve gazlaştırma teknolojileri uygulanmaya başlanmıştır. Enerji geri kazanımı en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Ayrıca katı atıkların enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Son yıllarda, enerji kaynaklarının giderek azaldığı sıklıkla dile getirilmektedir ve gözlemlenmektedir. Teknolojik ilerleme ve artan nüfus nedeniyle enerji talebi her geçen gün artmaktadır bu bağlamda yaşamsal faaliyetlerden kaynaklanan katı atıklardan enerji elde edilmesi enerji taleplerinin karşılanması noktasında yararlı bir seçenektir. Biyometanizasyon ile elektrik üretiminin artması, geçtiğimiz yıllar boyunca büyük bir gelişim göstermiştir.

Bu çalışmada, belediye katı atıklarından enerji üretimi sürecinin bir parçası olan desülfürizasyon ünitelerinden çıkan kükürtün ve fermente sıvının bitki besini olarak kullanılma potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, çalışmada kükürt ve fermente sıvının seçilen hedef bitkilerde besin maddesi olarak kullanımı, hedef bitkilerin gelişiminin izlenmesi ve bu atıkların tarımsal iyileştirme amacıyla kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Çalışma kapsamında süs bitkisi kullanılmış olup bitkilerin büyüme eğrisi izlenmiş, topraktan, yapraklardan ve sulama sularından alınan örnekler analiz edilmiştir. Analizler ve büyüme oranları yorumlanarak enerji üretim tesisi kaynaklı oluşan proses çıktılarından bitki besini olarak kullanılması değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde katı atık yönetimi ile ilgili terimlere, ikinci kısmında tarımsal geri kazanım konusuna, üçüncü ve dördüncü kısımda ise materyal, yöntem ve sonuçlara değinilmiştir.

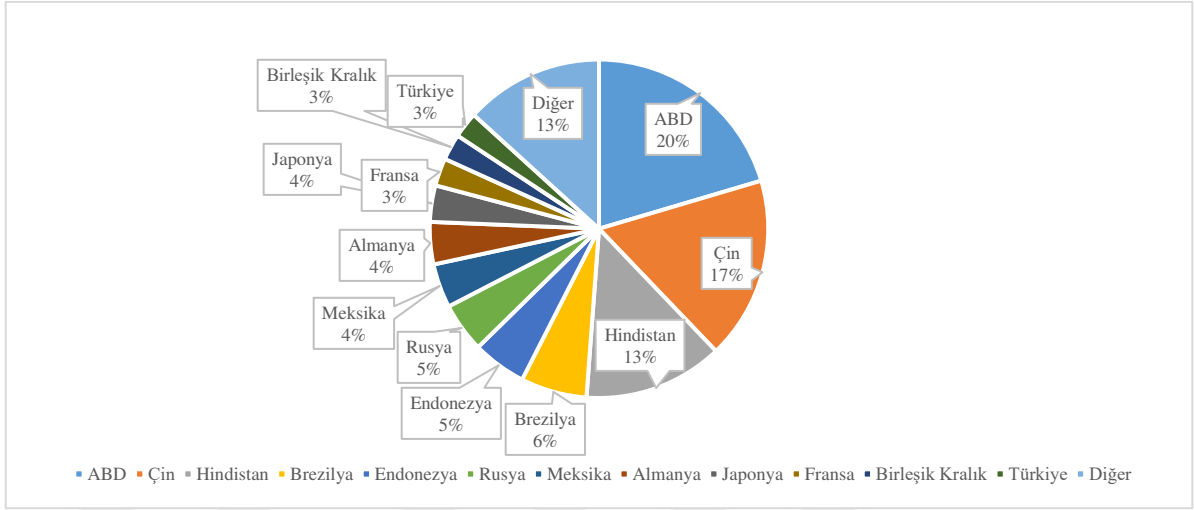
2. KATI ATIK YÖNETİMİ

Katı atık; üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddelerdir. Katı atık yönetimi; katı atıkların bir araya getirilmesi, depolanması, geri kazanımı ve nihai depolanması süreçlerinden meydana gelmektedir. Katı atık çeşitlerinden birkaçı; evsel katı atıklar, endüstriyel katı atıklar, tehlikeli katı atıklar, tıbbi atıklar, özel nitelikli katı atıklar atık gibi atık türleridir. Katı atıkların düzenli olarak depolanması hayati önem taşır. Çünkü depolama doğru ve steril bir şekilde yapılmazsa yeraltı içme suları kirlenebilir, depo gazlarının salınımından kaynaklanan tehlikeler doğabilir, görüntü kirliliği oluşabilir, hava kirliliği meydana gelebilir, taşıyıcı haşere üreme riski doğabilir ve dahası insan sağlığı üzerinde uzun vadede önemli riskler teşkil edebilir. Bu nedenle katı atıkların yalnızca bir “çöp” olarak değerlendirilmeyip, düzenli ve planlı bir çalışmayla yönetilmesi gerekmektedir.

Katı atık yönetimi ile ilişkilendirilebilecek olan yenilenebilir enerji yatırımları gün geçtikçe artmakta ve hızla gelişmektedir. Biyolojik çürüme sonucu ortaya çıkan metan gazından elektrik üretilmesi yenilenebilir enerji başlığı altında değerlendirilebilir. Bu yöntemle biyolojik çürüme ile enerji üretilmesinin yanı sıra atık dağlarının hacimleri küçülmektedir.

Kentsel katı atık sorunlarıyla başa çıkmanın en etkin yolu olarak atığın yerinde azaltılması, üretimi sağlanan ürünlerin çevresel etkileri değerlendirilerek tasarım, imalat, satın alma süreçlerinin gözden geçirilmesi ve atıkları azaltmaları için sanayicilerin desteklenmesi, sanayici ve tüketicilerin tekrar kullanılabilir malzemelere yönelmeleri için teşvik edilmesi gibi konular Avrupa Birliği tarafından desteklenmektedir. Katı atık yönetimi, toplama aşamasından son arıtma aşamasına kadar, topluma ve çevreye zarar vermeden, bilinçli olarak belirli yöntemlerin uygulanması, artık topluma yararlı olmadığı düşüncesiyle süreç bazlı arıtma faaliyetleri olarak açıklanabilmektedir [1].

Katı atık miktarı toplama aracının rotasının belirlenmesinde, toplama ekipmanının seçiminde, malzeme geri kazanım tesisinin tasarımında ve bertaraf yönteminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 2.1.'de Dünya genelinde 2017 yılında ülke bazlı oluşan belediye atığı miktarı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Dünya çapındaki kentsel katı atık üretimi (milyon ton)

Katı atık yönetiminin hedefi, üretilmiş olan atıkların farklı proseslerin sonuçlarının toplanarak, taşınması ve nihai işlenmesi için en ekonomik, çevresel açıdan verimli yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanmasıdır. Atık yönetimi; azaltma, geri kazanım ve yerinde yeniden kullanım süreçleri, verimlilik ve istihdam açısından ekonomik olup, çevre kirliliğini önleme açısından önleyici ve koruyucu işlemlere sahiptir. Şekil 2.2.'de temel katı atık hiyerarşisi yönetimi hiyerarşisi gösterilmektedir [2].



Şekil 2.2. Entegre katı atık yönetimi hiyerarşisi

2.1. Katı Atık ile İlgili Tanımlar

Katı atık; kullanan kişi tarafından değerlendirilemeyen ve atılmak istenen, çevre sürdürülebilirliğinin sağlanması bakımından düzenli olarak elden çıkarılması gereken maddelerdir.

Katı atıklar, oluştukları yere bağlı olarak sınıflandırıldığı zaman yedi ayrı başlık arasında toparlanmaktadır. Bu başlıklar şu şekildedir; evsel katı atıklar, endüstriyel atıklar, tehlikeli atıklar, özel atıklar, tıbbi atıklar, tarımsal ve bahçe atıkları, inşaat artığı ve moloz atıklarıdır. Bu atıkların ayrıntılı olarak tanımı aşağıda verilmiştir:

- **Evsel katı atıklar:** Evsel katı atık depolama tesislerinde bertaraf edilen, belediyeler tarafından toplanarak tesislere taşınan, ayrıştırma yolu ile geri kazanılabilen, biyometanizasyon sonucu kompost yapılabilen, ATY tesisleri tarafından yakılabilen evsel ve endüstri kökenli atıklardır. Mutfak atıkları (yemek artıkları, meyve, sebze, ekmek artıkları), toz ve kül gibi geri dönüşüme girmeyen atıklar, yiyecek ambalajlarıdır. Genel anlamda, uluslararası terminolojide MSW (Municipal Solid Waste) harfleri ile sembolize edilmektedir. Evsel Katı Atık içerisinde genel olarak gıda atıkları, yaprak ve bahçe atıkları bulunmaktadır. Gıda atıkları organik materyalin önemli bir oranını temsil etmektedir. Konutlardan, gıda atığı oluşturan ticari işletmelerden (kafe, restoran, otel, fabrika, hastane vb.) gıda atıkları oluşabilir. Evsel katı atıkların organik içeriği kaynağına göre heterojen özellik göstermekte olup ülkelerin katı atık yönetimi sistemine göre farklılık göstermektedir.
- **Tehlikeli atıklar:** Tehlikeli atıklar e on altı sınıfa ayrılmıştır: Oksitleyici, parlayıcı, yüksek oranda alevlenir, alevlenir, kanserojen, tahriş edici, korozif, zararlı, toksik, enfeksiyon yapıcı, üreme sistemine toksik, mutajenik, Hava ile, su ile veya bir asit ile temas etmesi sonucu zehirli veya çok zehirli gazları serbest bırakan atıklar, hassaslaştırıcı, eko toksik, bertaraf sonrasında herhangi bir yolla, yukarıda listelenen karakterlerden herhangi birine sahip başka bir madde (sızıntı suyu gibi) ortaya çıkabilecek atıklardır [3].
- **Endüstriyel atıklar:** Endüstri sektörü kaynaklı işleme, üretim, proses sonucunda maddelerden artan, herhangi bir şekilde işleme sokulamayan, tüketilemeyen türlü metaller, makinelerden çıkan veya bakım sonucu çıkan yağlar, cüruf ve maden atıklarına kullanılmış olan endüstriyel atık adı verilmektedir.
- **Tarımsal ve bahçe atıkları:** Bitkisel ve hayvansal ürünlerin toplanması ve işlenmesi sonucu oluşan kalıntılara tarımsal atık adı verilmektedir. Her devletin ekonomik, sosyal ve coğrafi özelliklerine göre üretilen tarımsal atıkların miktarı ve

boyutu değişmektedir. Tarımsal atıklar, tarımsal ürünlerin üretimi, işlenmiş ürünlerin işlenmesi ve sonrasında oluşan saman, gübre, yaprak ve ot gibi atıkların ortak adıdır. Bu atıklar için atık yönetimi oldukça kritik bir konudur. Tarımsal ve bahçe atıkları organik atık olmasına rağmen, atık yönetim sürecinin çevre sağlığı perspektifinden çalışması önemlidir.

- **Özel atıklar:** Teknolojik gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan, çevre ve insan sağlığını tehdit eden, endüstriyel nitelikli atıklardır. Özellikle ortadan kaldırılması gereken önemli atıklardır. Uzaklaştırılması özel önem taşıyan atıklardır. Radyoaktif atıklar, tehlikeli ve zararlı endüstriyel atıklar, evsel atıklar içerisindeki boya, inceltici, temizlik maddeleri, piller, lastik tekerlekler, atık su çamurları, inşaat ve yıkıntı atıkları ve hastane atıkları bu grupta bulunmaktadır [4].
- **Tıbbi atıklar:** Tıbbi tesislerde (hastaneler, sağlık ocakları vb.) araştırma birimlerinde ve laboratuvarlarda oluşan tüm atıklardır. 22.07.2005 tarih ve 27555 sayılı Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre “Ünitelerden kaynaklanan, enfeksiyon, patolojik ve kesici-delici atıkları” ifade eder [5] .
- **İnşaat Artığı ve Moloz Atıklar:** İnşaatların yapılması esnasında artan veya yıkılması sonucunda ortaya çıkan atıklardır [6].

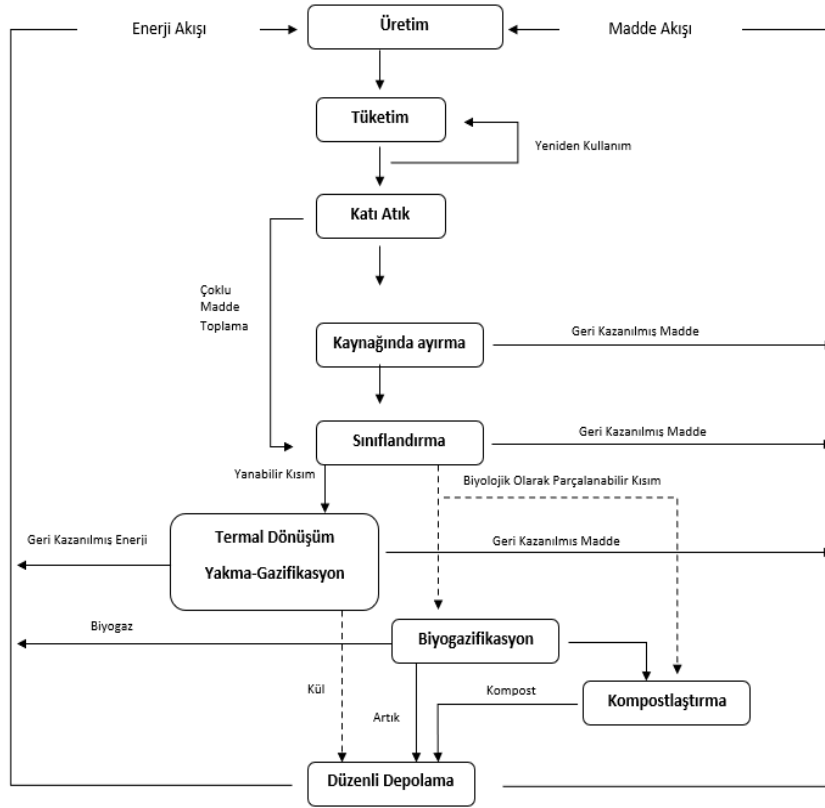
2.2. Entegre Katı Atık Yönetimi ve Özellikleri

Nüfusun hızla artması ve günlük yaşam standartlarındaki değişimler, üretilen atıkların hacmini ve bileşimini çeşitlendirerek, kontrolünü ve yönetimini zorlaştırmaktadır. Ortaya çıkan atıkların oluşturduğu kirlilik, doğal kaynakların tükenmesi, çevresel sorunların artması katı atık yönetimini günümüz şartlarında önemli bir noktaya taşımaktadır. Katı atık yönetiminin atık oluşumundan nihai bertarafa kadar olan tüm aşamaları kapsayan entegre şekilde sürdürülmesi oldukça kritiktir. Çevre ve ekosistem üzerinde büyük baskı oluşturan ve her geçen gün artan atık sorununu tamamen çözmek için multidisipliner bakış açısı benimsenmelidir. Ancak, farklı alanlardan uzmanlar, etkili bir atık yönetim planı oluşturmak için birlikte çalışabilmektedir. Uluslararası kabul görmüş bu yaklaşım, “Entegre Atık Yönetimi” yaklaşımının benimsenmesine yol açmıştır. Etkin ve entegre bir katı atık yönetim sisteminin özellikleri şunlardır:

- Bütün bir sistem olmalıdır.

- Ekonomik değer yaratabilmelidir.
- Esnek olmalıdır.
- Bölge planlaması yapılmalıdır.
- Ulusal bir çevre sektörü oluşturulması gerekmektedir.

Çevre üzerindeki olumsuz etkileri en aza indiren, en az çöp sahası gerektiren, en az enerji kullanan ve en yüksek karlılığa sahip bir çözüm sunmak, entegre bir katı atık yönetimi planı geliştirirken dikkate alınması gereken temel faktörlerdir. Entegre katı atık yönetiminin temel amacı, atıkların çevreye olan zararlı etkilerini en uygun maliyetle en aza indirmektir. Genel olarak sistemde; atık değerlendirilmesi, atık kaynağı, atık toplama, arıtma ve bertaraf yöntemleri tek çatı altındadır. Özellikle kullanılan ve atığa dönüştürülen malzemelerin yeniden kullanılması ve gelire dönüştürülmesi, yeniliklerin takip edilerek düşük işletme maliyetinin sağlanması arzu edilmektedir. Şekil 2.3. içerisinde entegre katı atık yönetimi akış diyagramı gösterilmektedir.

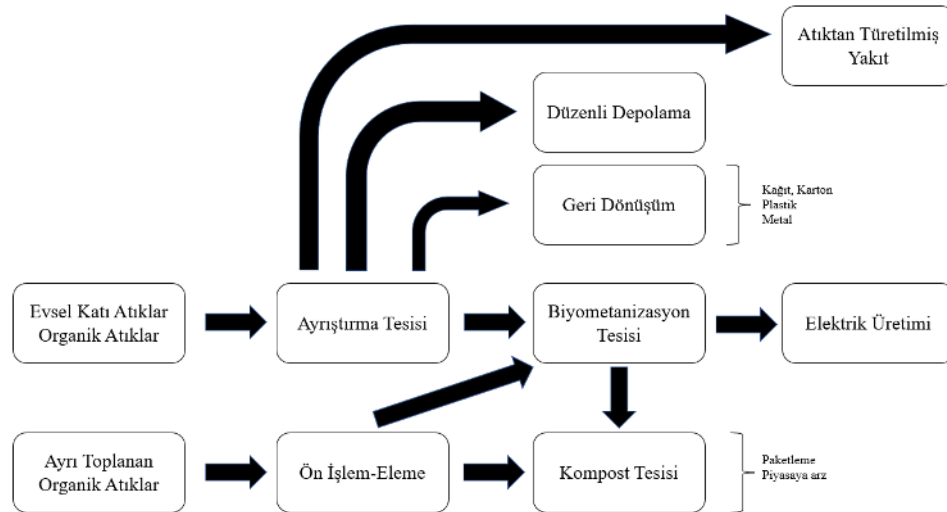


Şekil 2.3. Entegre atık yönetimi akış diyagramı [2]

2.3. Katı Atık Bertaraf Yöntemleri

Dünyada ve ülkemizde her yıl tonlarca organik atık meydana gelmekte, bu atıklar belirli yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Katı atıkların bertarafı için kullanılan yöntemlerden yaygın olarak kullanılan depolama ve günümüzde gelişmekte olan biyolojik yöntemler detaylı olarak incelenmiştir. Katı atık bertaraf yöntemleri Şekil 2.4. ile verilmiştir. Katı atıkların uzaklaştırma yöntemleri dört ana başlık altında sınıflandırılmaktadır:

- **Düzensiz (vahşi) depolama:** Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde en çok uygulanan katı atık bertaraf yöntemidir. Düzensiz (vahşi) depolama da evsel katı atıklar genellikle yerleşim alanlarından yani merkezden uzaktaki boş arazilere rastgele atılmakta ve yaşam alanlarının dışına taşınmaktadır.
- **Düzenli (sağlıklı) depolama:** Katı atıkların çevre ve halk sağlığına uygun, teknik yeterlilikleri karşılayan belirli kriterlere göre depolanmasıdır. Düzenli depolama alanlarının yapımında ve işletilmesi, depolanacak atıkların içerikleri, sağlanan şartlar ve teknikler net olarak tanımlanmaktadır.
- **Kompostlama:** Katı atıklarda bulunan organik maddelerin belirli yöntemlerle humus benzeri bir maddeye dönüştürülerek gübre, humus toprağı veya filtre malzemesi olarak kullanılmasıdır [7].



Şekil 2.4. Katı atık bertaraf yöntemleri

2.3.1. Depolama

Katı atıklar depolama şekli olarak iki ayrılır bunlar düzenli ve düzensiz depolama olarak sınıflandırılmaktadır.

2.3.1.1. Düzensiz depolama

Düzensiz depolama; kentsel veya endüstri kaynaklı katı atıkların herhangi geçirimsiz bir tabaka ve tahliye sistemi olmadan, sızıntı suyu oluşmasına neden olacak şekilde ve oluşan gazın kontrolü sağlanmadan araziye düzensiz bir şekilde atılmasıdır. Sızıntı sularının temiz sulara karışması, oluşan metan gazının havaya salınması, inorganik atıkların çevreye saçılması şehirler için büyük bir sorun haline gelmektedir [8]. Bu yöntem ülkemizde de uzun yıllar boyunca yaygın olarak uygulanmıştır. Görsel 2.1.'de kullanımda olan düzensiz depolama sahasına ait örnek verilmiştir. Katı atıkların vahşi depolanması sonucu ortaya çıkabilecek başlıca olumsuz durumlar şunlardır:

- Toprak ve görüntü kirliliği,
- Yeraltı ve yerüstü sularının kirlenmesi,
- Grizu patlamaları,
- Haşere üremesi,
- Çevre kirliliği (toz, kötü koku gibi),
- İnsan sağlığını tehdit eden bulaşıcı hastalıkların yayılmasına sebep olmasıdır [7].



Görsel 2.1. Düzensiz depolama sahası örneği

Çevre ve insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkiye neden olan bu bertaraf yönteminin dezavantajları;

- Çöpten gelen kötü kokunun çevredeki insanları rahatsız etmesi,
- Rüzgarla saçılan çöplerin görüntü kirliliğine neden olması,
- Sinek, fare gibi zararlıların barınma ve üreme alanları olması,
- Metan gazının sıkışması ve patlaması,
- Sera gazı etkisi olan metan salımına neden olması olarak sayılabilmektedir [9].

Bu maddelere ek olarak biriken yığınlar içerisinde bulunan organik atıklar bünyelerindeki fazla miktardaki suyu zamanla kaybetmektedir. Atık madde miktarının fazlalığına paralel olarak çöplüklerden sızan sıvı miktarı da bir hayli fazladır. Çöplüklerden sızan bu sıvılar yer altı ve yer üstü su kaynaklarımızı kirleterek su kirliliğine neden olmaktadır. Görsel 2.2.'de düzensiz depolama sonucu meydana gelen yangın için ve Görsel 2.3. ile düzensiz depolama sonucunda meydana gelen su sızıntısına ait görseller verilmiştir.



Görsel 2.2. *Düzensiz depolama sonucu meydana gelen yangın görüntüsü [10]*



Görsel 2.3. *Düzensiz depolama sonucu meydana gelen su sızıntıları*

Düzensiz depolama sebebi ile oluşan metan patlaması yeterli miktarda oksijenin ve patlayıcı gazın bir araya gelerek tutuşturucu kaynakla teması sonrası gerçekleşmektedir. Depolarda oluşan metan gazının sıkışması ve patlama meydana getirebilme tehlikesine örnek olarak; İstanbul Ümraniye Hekimbaşı katı atık depolama sahasının 28 Nisan 1993 tarihinde patlaması gösterilebilir. Ümraniye'deki Hekimbaşı düzenli depolama sahasında atıklardaki organik maddeyi ayrıştıran bakterilerin oluşturduğu metan, birikmiş ve biriken bu gaz sıkışıp patlamıştır. Patlamanın ardından çöp heyelanı oluşmuş ve yakınında bulunan evlerin üzeri çöplerle dolmuştur. Bu olay neticesinde çöp altında kalan 39 insan hayatını kaybetmiştir [7]. Ayrıca metan gazının patlaması sonucunda oluşan yangının söndürülmesi dört günde tamamlanabilmiştir.

Tekniğine uygun işletilmeyen ve depolanmaması gereken atıkların dökülmesi çöp depolama sahalarında yüzeysel ve yeraltı yangınlarına neden olur. Bu yangınlara örnek olarak ise; 2003 yılında Burgazada çöp sahasında çıkan yangın onlarca hektar ormanı yok eden yangın gösterilebilir. Aynı şekilde, 2015 ve 2017 yıllarında Manisa çöp deposu yangını, 2016 yılında Bodrum çöp deposu yangını birkaç gün sürmüştür. 1980'de, Washington'daki bir çöp sahasından yer altına sızan metan, yakındaki bir şehirde patlamalara, Meksika'daki bir çöp sahasında yüzden fazla binaya zarar veren büyük bir patlama olmuştur. Görsel 2.4. ile Manisa'da yaşanan yangına dair görsel verilmiştir. Düzensiz depolama kaynaklı oluşan olumsuz durumlar katı atık depolamasının düzenli ve modern yöntemler kullanılarak sağlanması ile kaynağında önlenerek, çevreye olan zararlar minimize edilecektir.



Görsel 2.4. *Manisa yangın örnekleri*

2.3.1.2.Düzenli depolama

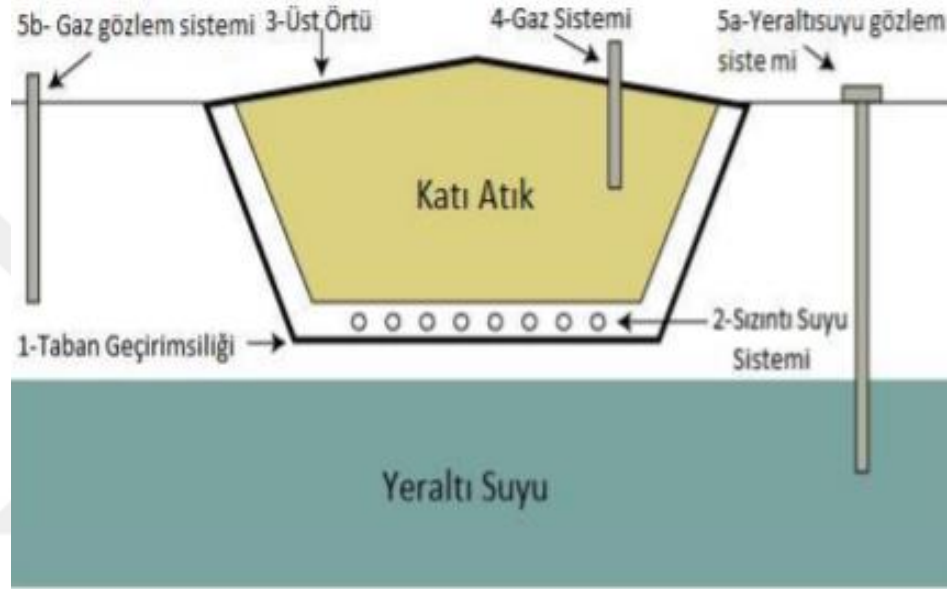
Hızlı nüfus artışı, değişen ekonomik koşullar, tüketimin artması ile birlikte atık üretimi ve çevre tahribatı gün geçtikçe artmaktadır. Düzenli depolama; atıkların bertarafında ekonomik faydaları nedeniyle, en eski ve en yaygın kullanılan yöntemdir. Düzenli depolama; katı atıkların, sızdırmayı önleyecek şekilde belirlenen alanlara dökülmesi, sıkıştırılması sonrasında üzeri örtülerek doğal bir biyolojik reaktör haline getirilmesidir [1].

Düzenli depo sahalarının inşa edilmesindeki amaç; yeraltı ve yüzey sularının kirlenmesini önleme, hava kirliliğini önleme ve gaz toplama amaçlı sistemler ile enerji üretimi, depo sahasının etkili ve uzun süreli kullanımı ve depolama sona erdiğinde sahanın değerlendirilmesidir. Sızıntı suyu kontrolü, çöp gazı emisyonları, atık dağıtımı ve çöp koku kontrolünün kolaylaştırılması için saha projesinin oluşturulması ve teknik mühendislik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Depolama sahalarının teknik ve operasyonel uygulamalarında aşağıda verilen kriterler gözden geçirilmelidir;

- Uygun saha seçimi,
- Saha zemininin kaplaması,
- Gaz elde edilmesi esnasında kullanılacak ekipmanların seçimi ve kurulumu,
- Sızıntı suyu kontrolü ve depolamadan kaynaklanacak emisyonlar,
- Sahada yüzey suyu, yeraltı suyu ve yağmur suyunun sızmasını en aza indirecek mühendislik projeleri,
- Alanı kademeli olarak geri doldurmak,
- Stabilitayı en üst düzeye çıkarmak için çöp depolama sahasının eğimini kontrol etmek,
- Depolanan atıktaki boş miktarı en aza indirmek,
- Kemirgen girişini en aza indirmek,
- Aerobik süreçlerin neden olduğu yangın riskinin azaltılması.

Düzenli depolama sahalarının çeşitleri, depolanacak atıkların cinslerine ve tehlike potansiyeli göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Düzenli depolama sahaları; toprak, hafriyat ve yıkım artıkları için kullanılan, evsel atıklar ve tıbbi ve tehlikeli atıklar için kullanılan depolama sahaları olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.5. ile düzenli depolama tesisi unsurları verilmiştir. Düzenli depolama özet olarak atıkların düzensiz bir şekilde

gelişigüzel olarak araziye dökülmesinden farklı olarak, katı atıkların planlanmış araziye membran uygulamasından sonra çevre koşullarına uygun bir biçimde, günlük olarak sıkıştırılması ve toprak ile örtülmesidir. Toprak ile örtme işleminden sonra ıslah çalışması için ağaçlandırma yapılacaktır. Görsel 2.5. ve Görsel 2.6. ile sızdırmaz membranlı saha gösterilmektedir [1].



Şekil 2.5. Düzenli depolama tesisi unsurları [7]



Görsel 2.5 Şehir çöplüğü düzenli depolama sızdırmaz membran [1]



Görsel 2.6. *Düzenli depolama sahası membran görünümü*

Biyometanizasyon ile (landfill gas (LFG)) gaz elde edilmesi ve elektrik enerjisine çevrilmesi son zamanlarda oldukça popüler bir hal almış olup, artan enerji ihtiyacının bir bölümü bu şekilde karşılanmaktadır. Bu yöntemle birlikte metan gazının çevreye salınması engellenmektedir. Düzenli depolama ile atık bertarafı uygun arazinin bulunmasından sonra kullanılan en ekonomik yöntemdir. Şekil 2.6. ile düzenli depolama sahası çizimi gösterilmiştir. Düzenli depolamanın avantajlarını sıralarsak;

- Başlangıç yatırımı en az olan yöntemdir.
- Katı atık miktarına bağlı olarak kapasite kolaylıkla arttırılabilmektedir.
- Kullanılan arazi başka amaçlar (rekreasyon vb.) için kullanılabilmektedir.
- Güvenli ve çevre açısından kabul edilebilir bir yöntemdir.
- Elektrik enerjisi metan gazından düşük enerji gereksinimi ile elde edilebilmektedir.

Düzenli depolama yönteminin dezavantajları ise şunlardır:

- Depolama alanı kurulurken, alanın depolama alanına yakın olması halkın tepkisine neden olabilmektedir.
- Tesisin nüfus yoğunluğu uygun yer bulmayı zorlaştırabilmektedir.
- Nakliye mesafesi kısa ve ekonomik ise zor olabilmektedir [1].



Şekil 2.6. Düzenli depolama sahası [7]

Evsel katı atıkların düzenli depolama sahalarında ayrışması süreci karışık bir süreçtir. Ayrışma, biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçlerin bir kombinasyonudur. Fiziksel bozulma, sızıntı suyunun atıklardan sızması ve dolayısıyla atığın fiziksel özelliklerinde değişikliklere neden olması olarak düşünülebilmektedir. Kimyasal ayrışma, maddelerin sızıntı suyunda çözünmesidir. Kimyasal işlemler hidroliz, çözünme/çökeltme, adsorpsiyon/desorpsiyon ve iyon değişimini içermektedir. Biyobozunma, çöplüklerdeki atıkların ana bozunma mekanizmasıdır. Biyolojik bozunma pH, redoks potansiyeli gibi değişkenleri etkilediğinden kimyasal ve fiziksel bozunmayı da kontrol etmektedir. Atıkların fiziksel ve kimyasal bozunması bir depolama sahasının stabilitesi için önemli olsa da biyolojik bozunma en önemlisidir. Atıkların biyolojik bozunmasının dört veya beş fazda gerçekleştiği düşünülmektedir.

Faz 1 (Aerobik bozunma): Düzenli depolama alanlarındaki biyodönüşüm, oksijenli ayrışmayla başlamaktadır. Aerobik süreçler oksijen olduğunda gerçekleşmektedir. Bu nedenle, aerobik bozunma, depolama sahasına ilk döküldüğünde oksijen mevcutken gerçekleşmektedir. Ayrışmanın ilk aşamasında, aerobik mikroorganizmalar organik maddeyi

kısmen parçalanmış organiklere, CO₂, su ve ısıya dönüştürmektedir. Birinci fazdan sonra aerobik dönüşümden anaerobik dönüşüme geçilen ikinci faz meydana gelmektedir. Daha sonraki fazlar anaerobik dönüşüm fazlarıdır. Anaerobik dönüşüm asit oluşma fazı, metan oluşma fazı ve olgunluk fazıdır. Faz 1 sonucunda seyreltik sızıntı suyu için besin bileşimine ait veriler Tablo 2.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. İlk fazın sonunda seyreltik sızıntı suyunun besin bileşimi

Ölçülen Parametreler	Miktar, mg/l
Toplam Organik İçerik	27,800
Toplam Azot	7,100
Toplam Fosfat	950
Potasyum	3,300
Kalsiyum	1,100
Magnezyum	290
Demir	49
Mangan	8
Çinko	0.51
pH	5.7

Faz 2 (Geçiş fazı): Geçiş aşamasında oksijen tüketilmekte ve anaerobik koşullar oluşmaya başlamaktadır. Sistem anaerobik olduğundan elektron alıcıları olan nitrat ve sülfat biyodönüşüm reaksiyonlarında nitrojen gazına ve hidrojen sülfüre indirgenmektedir. Anaerobik koşulların gelişimi, atığın redoks potansiyeli ölçülerek izlenebilmektedir. Oluşan sızıntı suyunun pH'ı organik asitlerin varlığında ve artan karbondioksitin etkisiyle düşmektedir [11].

Uluslararası Gübre Sanayicileri Derneği (IFA), gübreyi “üç temel besleyiciden (Azot, Fosfat ve Potasyum) birinin veya daha fazlasının en az %5 içeren doğal veya yapay bir malzeme olarak tanımlamaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, gübre tercihen gübre olarak sınıflandırılmak için en az %6 oranında kombine bir N, P ve K'ya sahip olması gerekmektedir. Ayrıca sadece bir birincil besleyiciye sahip gübrelere “düz gübreler ve iki veya üç birincil besleyiciye “çok besleyici gübreler” olarak ifade edilmektedir. İkinci faz aşamasında sızıntı suyunun kokusu birinci faza oranla azalmakta ve bu durum kokuya neden olan bileşiklerin sıvıdan ilk ayrılanlar olduğunu göstermektedir. Tablo 2.2.'de ikinci faz sonunda alınan numunelere ait besin bileşimi gösterilmektedir.

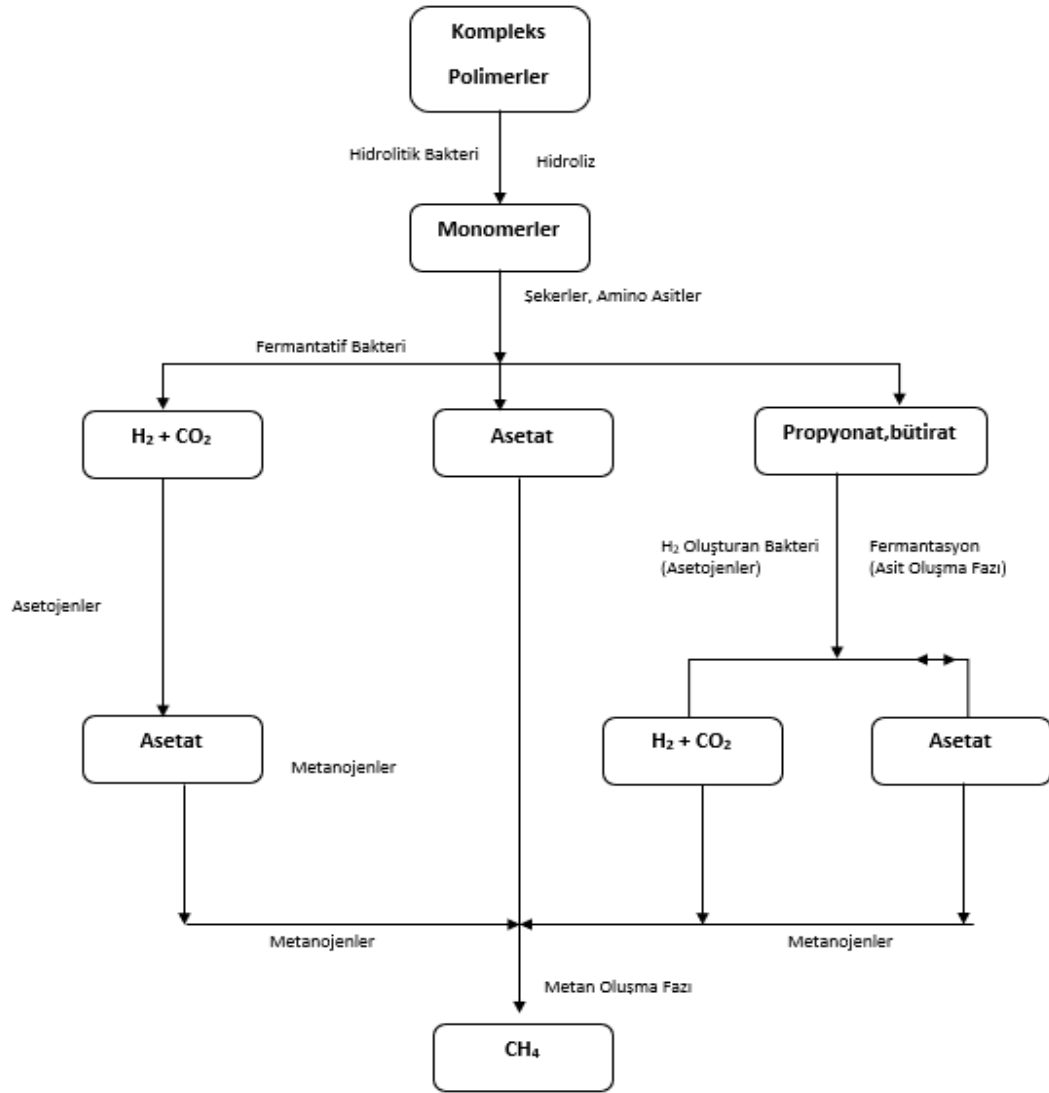
Tablo 2.2. İkinci fazın sonunda konsantre numunelerin besin bileşimi

Ölçülen Parametreler	Miktar (mg/l)
Toplam Organik	230,00
Toplam Azot	63,500
Toplam Fosfat,	7,505
Potasyum, K	27,500
Ca	10,300
Mg	2,500
Fe	420
Mn	78
Zn	5.2

Faz 3 (Asit oluşma fazı): İkinci evrede başlayan mikrobiyal aktivite bu evrede hızlanmaktadır. Bu aşamada hidrolize organik bileşikler H_2 , CO_2 ve yağ asitlerine dönüştürülmektedir. Bu aşamayı gerçekleştiren bakterilere asidojenik veya asetojenik bakteriler adı verilmektedir. Bu süre zarfında sızıntı suyu oluşursa, ortamdaki organik asitlerin ve CO_2 'nin varlığı nedeniyle sızıntı suyunun pH'ı 5'in altına düşebilmektedir. Bu aşamada sızıntı suyu ile birlikte birçok önemli besin maddesi açığa çıkmakta ve sızıntı suyu geri dönüştürülmezse gerekli besinler sistemden kaybolmaktadır. Ayrıca içerisinde sülfat varsa H_2S oluşmaktadır [11].

Faz 4 (Metan oluşum fazı): Metan oluşumu aşamasında, bir önceki aşamada oluşan asetik asit ve hidrojen gazı metan bakterileri tarafından CH_4 ve CO_2 'ye dönüştürülmektedir. Bu dönüşümü gerçekleştiren mikroorganizmalar metanojen adı verilen anaerobik bakterilerdir. Bu aşamada asit ve CH_4 oluşumu aynı anda ve ardışık olarak gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, asit üretim hızı önemli ölçüde azalmaktadır. Bu süre zarfında asitlerin ve hidrojen gazının CH_4 ve CO_2 'ye dönüşmesi nedeniyle depolama alanındaki pH 6,88'in üzerine çıkmaktadır. Oluşan CH_4 ve CO_2 miktarı zamanla arttığından, bu süre başlangıçta istikrarsız olarak da kabul edilebilmektedir [11].

Faz 5 (Olgunluk fazı): Metan oluşumu aşamasında ortamdaki kolayca parçalanabilen organik maddelerin CH_4 ve CO_2 'ye dönüştürülmesinden sonra olgunlaşma aşaması başlamaktadır. Bu aşamada yavaş gelişen gazlar CH_4 ve CO_2 'dir. Az miktarda nitrojen ve oksijen de mevcut olabilmektedir. Şekil 2.7. içerisinde anaerobik çürütme işleminin genel diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Anaerobik ayrışma prosesleri [8]

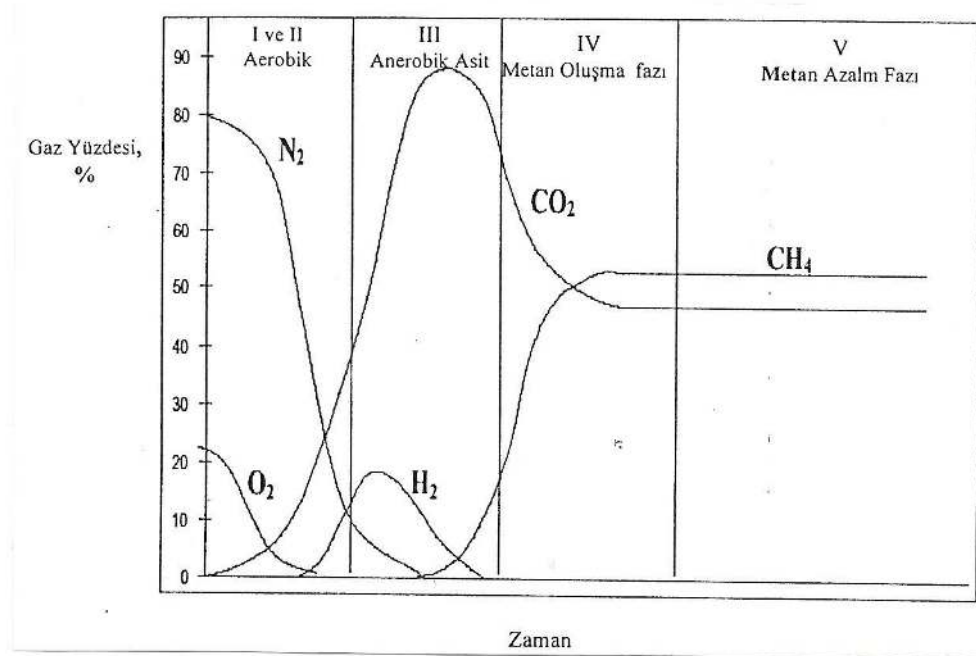
Farklı atık türleri ve bertaraf yöntemleri gibi nedenler, gaz oluşumunun ne zaman başladığını ve ne zaman üretildiğini belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Mikroorganizmaların etkisi altında, kentsel katı atıktaki organik parçalar oksijen olduğu sürece aerobik yöntemle ayrışmakta, ardından anaerobik ve esas olarak CO_2 ve CH_4 'den oluşan bir gaz açığa çıkartmaktadır. Fermentasyon tamamlandığında geriye kalan atık çok yavaş çürüyen bir atık olmaktadır. Organik maddeler hızlı ayrışanlar ve yavaş ayrışanlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Yiyecek atıkları, kâğıt, gazeteler, bahçe atıkları hızlı bozunan atıklar olarak kabul edilirken; deri, ahşap, tekstil atıkları, plastik atıklar yavaş bozunan atıklar olarak kabul

edilmektedir. Tablo 2.3. içerisinde organik maddenin bozunma derecesini göstermektedir. Optimal koşullar altında stabilize olmaları 10-20 yıl sürmektedir.

Tablo 2.3. Organik maddelerin ayrışabilirlik dereceleri

Atık tipi	Ayrışma derecesi	Ayrışma yarı ömrü (yıl)
Yiyecek	Hızlı	1
Bahçe	Orta	5
Kâğıt, karton, tekstil, tahta	Yavaş	15
Plastik, deri, kauçuk, toprak	Ayrışmıyor	∞

Depolama alanları yaşlandıkça, gaz oluşum hızı zamanla azalmaktadır. Çöp gazı oluşum hızı birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; bileşim, yaş, nem içeriği, pH, mevcut mikrobiyal popülasyon, sıcaklık, redoks potansiyeli, atığın parçacık boyutu ve yoğunluğu, besinlerin miktarı ve kalitesidir. Buna karşılık, kümülatif gaz çıkışı pik yaptıktan sonra stabilize olmaktadır. Depolamadan 3 ila 12 ay sonra metan oluşumu beklenebilmektedir. Metan konsantrasyonu kademeli olarak artacak ve maksimum değere ulaşacaktır. Şekil 2.8. ile aşamalı gaz oluşum eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Depo gazı oluşum eğrileri [12]

2.3.2. Biyolojik sistemler ve biyometanizasyon

Ülkemizde en çok bilinen ve en çok kullanılan biyolojik sistem anaerobik çürütme yani havasız kompostlamadır. Anaerobik çürütme, ayrılmış biçimde depolanan katı organik atıklardan kontrollü çevresel gaz üretiminin bir şeklidir. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan gaz, içinde bol metan bulunan, mavi alevle yanan renksiz, kokusuz bir gazdır. Bu, depolanan organik katı atıklardan daha düşük kalorifik değere sahip metan (CH_4) üretme yöntemidir. Bu üründen gaz saflaştırma ve diğer saflaştırma işlemleri sonucunda zenginleştirilmiş metan gazı elde edilmektedir. Bu yöntemle elde edilen metan kullanılarak üretilen enerji, yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilmektedir. Depolanan katı atıklardan gaz üretimi sadece çevreye değil, aynı zamanda ekonomiye de katkıda bulunur. Biyolojik sistemler temel olarak ayrılmış organik maddenin bu yöntemle enerji üretimi ve hacmin azaltılması için kullanılabilecek kararlı son ürünlere dönüştürülmesine dayanmaktadır. Ülkemizde en çok bilinen ve en çok kullanılan biyolojik sistem anaerobik çürütme yani havasız kompostlamadır.

Anaerobik çürütme, ayrılmış katı organik atıklardan kontrollü çevre biyogaz üretiminin bir şeklidir. Bu işlemde üretilen biyogaz, çok miktarda metan içeren, parlak mavi bir alevle yanan renksiz, kokusuz bir gazdır. Depolanmış organik katı atıklardan elde edilen metan gazı (CH_4) enerji üretim yöntemidir. Üretilen bu biyogaz içerisinden gaz yıkama ve diğer arıtma işlemleri sonucu zenginleştirilmiş metan elde edilmektedir. Bu yöntemle elde edilen metan kullanımı ile üretilen enerji, yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilmektedir. Sera gazları, Dünya tarafından yayılan dalga boyu aralığında kızılötesi radyasyonu emen ve yayan gazlardır. CO_2 , CH_4 gazlarının sera etkisi olduğu, metan gazının sera etkisinin karbondioksit oranla fazla olduğu bilinmektedir. Bu bilgiler değerlendirildiğinde atıklardan elde edilen metan gazının yakılarak enerji elde edilmesi ile birlikte metan gazı bertaraf edilerek sera gazı etkisi azaltılmaktadır. Görsel 2.7. ile Eskişehir düzenli depolama ve enerji üretim tesisi gösterilmektedir.



Görsel 2.7. Eskişehir düzenli depolama ve enerji üretim tesisi

Katı atıkların anaerobik çürütülmesi sayesinde ekonomik ve çevresel fayda sağlanmakta ve katı atıklar ortadan kaldırılmaktadır. Anaerobik kompostlaştırma sırasında karmaşık organik maddeler havasız bir ortamda bakteriler tarafından biyolojik olarak parçalanmakta ve bu işlem sonucunda metan ve CO₂ açığa çıkmaktadır. Metan üretimi şu aşamalarda gerçekleşmektedir;

- **Hidroliz:** Organik katı atıklar, bakteriler yardımıyla hidrolize olarak uçucu organiklere ayrılmaktadır. Hidroliz hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve nemdir.

- **Asit üretimi:** Bu aşamada, birinci aşamanın hidroliz ürünü olan uçucu organik maddeler, asetojenik bakteri grupları tarafından organik asitlere dönüştürülmektedir.

- **Metan üretimi:** Anaerobik çürümenin son aşamasında, diğer iki aşamada oluşan ürünler metanojenler tarafından metan gazına dönüştürülmektedir. Anaerobik çürütücüde oluşan gazlar arasında %55-70 metan (CH₄), %30 ile %45 karbondioksit (CO₂) ve az miktarda nitrojen (N₂), oksijen (O₂), hidrojen sülfür (H₂S), buhar ve diğer gazlar bulunmaktadır. Oluşan gazın yoğunluğu havadan daha hafiftir. Biyometanizasyon işlemi ile elektrik enerjisi üretimi temel hatlarıyla Şekil 2.9. ile gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Biyometanizasyon işlemi temel anlamı

2.3.2.1. Anaerobik çürütme prosesi

Anaerobik çürütme katı atığın organik kısmının oksijensiz olarak biyolojik bir şekilde ayrışmasıdır. Bu prosesin en önemli ürünü yaklaşık %64 CH₄ ve %35 CO₂'den oluşan biyogazdır. Bir anaerobik çürütme sistemi ön ayrıştırma, oksijensiz çürüme, son arıtma ve sızıntı suyu ve gazların arıtılması aşamalarından oluşmaktadır [13]. Ayrıştırma basamakları organik ayırma, manyetik ayırma ve ayrıştırma, karıştırma, karıştırma. Son arıtma ise mekanik su giderme, aerobik kompostlaştırma ve sızıntı suyu arıtma basamaklarından oluşmaktadır [13, 14].

Fermantasyon olarak adlandırılan ikinci aşamada ilk adım sonucunda oluşan bileşikler organik asitlere dönüştürülmekte ve genellikle anaerobik çürüme sırasında da asetik asit oluşmaktadır. Fermantasyon aşamasında mikroorganizmalar metanojenik olmayan bakterilerdir. Metanojenik olmayan bakteriler literatürde asetojenler veya asit yapıcı bakteriler olarak adlandırılmaktadır.

Üçüncü adımda ise ara ürünler başta metan ve karbondioksit olmak üzere nihai ürünlere dönüştürülmektedir. Literatürde metan yapıcı (metanojen) olarak bilinen bakteriler, hidrojen ve asetik asidi, metan ve karbondioksite dönüştürmektedirler. Metanojenlerin gelişme hızları oldukça yavaştır ve bunun etkisi olarak organik atıkların anaerobik bozunma hızını sınırladıkları düşünülmektedir.

Bir anaerobik arıtma sisteminin organik atıkları etkili bir şekilde stabilize etmesi için metanojenik ve metanojenik olmayan bakterilerin dinamik dengede olması gerekmektedir. Bu dengede çevresel faktörler oldukça kritiktir. Metanojenik ve metanojenik olmayan bakteriler pH, sıcaklık ve alkalinite gibi çevresel faktörlere duyarlıdır. Bakteriler için optimum pH 6,5 ile 7,5 arasındadır. Metanojenlerin işlevlerini sağlayabilmeleri için pH minimum 6,2'nin olmalıdır. Mezofilik bakteriler için 30-38°C ve termofilik bakteriler için 55-60 derece arası en iyi sıcaklık aralığıdır [11]. Anaerobik çürütme reaktörlerde gerçekleşmekte olup anaerobik çürütme, atığın katı içeriğine bağlı olarak kuru (yüksek katı) ve ıslak (düşük katı) olarak iki sürece ayrılmaktadır. Aynı zamanda kesikli-devamlı ve tek aşamalı-çok aşamalı şeklinde de gruplandırılmaktadır.

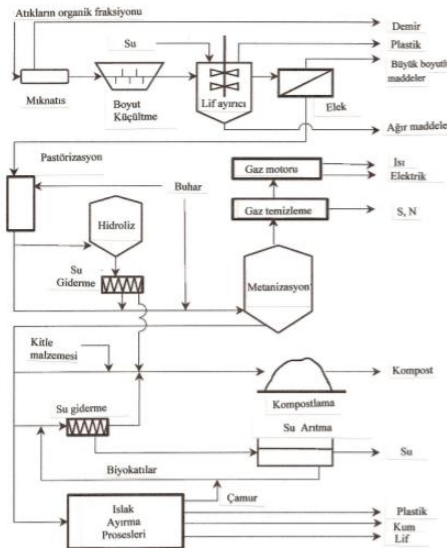
Fermantasyon sonrası atıkların yönetimi tesislerde önemli bir konudur. Fermantasyon sonrasında oluşan katı-sıvı bir formda olan atık oranının artması ile birlikte fermantasyon artığı deposunun kapasitesine dikkat edilmelidir. Fermantasyondan sonra ortaya çıkan

atıkların depoda stoklanabilmesi için büyük hacimler gerekmekte ve bu maliyeti arttırmaktadır. Bu durumda bir katı-sıvı ayırımı ekonomik ve teknolojik açıdan uygun olmaktadır. Katı-sıvı ayırımı için bantlı pres filtre, santrifüjler veya vidalı/helezonlu ayırıcılar kullanılabilir. Görsel 2.8. ile helezonlu seperatör uygulama örneği gösterilmektedir.



Görsel 2.8. Helezonlu seperatör uygulama örneği

Sıvı fermantasyon atıkları; depolamada esas olarak yer havuzlarında ve silindirik veya dört köşeli tanklarda (yüksek ve hemzemin tanklar) depolanmaktadır. Genel olarak beton ve paslanmaz çelik/çelik-emaye dairesel tanklar kullanılmaktadır. Bunların temel yapısı karıştırmalı fermentörlere benzemektedir. Şekil 2.10. ile genel hatlarıyla anaerobik çürütme prosesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Anaerobik çürütme prosesi akım şeması

2.3.2.2.Hidrojen sülfür giderimi

Hidrojen sülfür pek çok endüstriyel atığın anaerobik fermantasyonu sırasında ortaya çıkmanın yanında doğalgazda ve rafineri gazında da çok miktarda bulunmaktadır. Hidrojen sülfür (ve diğer kükürt bileşikleri) petrokimya, kok üretimi, demir-çelik, çimento, kâğıt, anaerobik arıtma, deri, yağ, nişasta hidroliz ürünleri ve naylon endüstrisi gibi çeşitli endüstrilerden ortaya çıkmaktadır. Toksisitesi, korozif olması ve çürük yumurtaya benzer kokusundan dolayı hidrojen sülfür önemli bir kirleticidir.

Hidrojen sülfür oluşumunun engellemesi daima materyale bağlıdır, yani giriş maddelerinin yüksek kükürt oranlarına bağlıdır. Hidrojen sülfür giderimi için kullanılan teknikler fizikokimyasal prosesler ve biyoteknolojik prosesler olarak ikiye ayrılmaktadır [15]. Biyometanizasyon tesislerinde ağırlıklı olarak düşük kükürt oranlarına sahip giriş materyalleri kullanılmaktadır. Hidrojen sülfürün giderilmesi için aşağıdaki tedbirler alınabilmektedir:

- Sülfid çökeltme için demir tuzlarının eklenmesi,
- Kükürt içeren ham maddelerin oranını düşürme,
- Suyla seyreltme,
- pH değerinin tamponlama maddeleri sayesinde yükseltilmesiyle kısa vadede H_2S 'in toksisitesi azaltabilmekte, ancak bu süreç uzun vadede uygulanmamalıdır.

Desülfürizasyon tankına giden nihai gaz su buharına doymuştur. Ayrıca bu gaz metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve bir miktar hidrojen sülfür (H_2S) de içermektedir. Hidrojen sülfür kokusu çürük yumurta kokusuna benzemektedir. Hidrojen sülfür ile gazda bulunan su buharı bir araya geldiğinde asit oluşmaktadır. Oluşan bu asitler arıtılmadığı takdirde sistem ekipmanlarına (gaz hattı, atık gaz hattı) zarar verir bu nedenle biyometanizasyon tesislerinde hidrojen sülfürden arındırma ve kazanılan gazın kurutulması işlemi gerçekleştirilmektedir.

Gaz için yapılacak olan arıtım, biyometanizasyon sonucu oluşan metan gazının kükürttten arındırılması için gereklidir. Biyolojik desülfürizasyon ünitesinde sülfüre duyarlı özel bakteriler kullanılmaktadır ve O_2 varlığında gazın içindeki H_2S bu bakterilerle elementel kükürte ve sülfüroz aside çevrilerek gaz ortamından ayrıştırılmaktadır. Hidrojen sülfür (H_2S) tanklarında gerçekleşen bu işlem gazın kalitesini arttırarak enerji üretim verimine ve gaz

motorlarının kullanım stabilizesine fayda sağlar. Görsel 2.9. ile gaz arıtma ünitesine ait görsel verilmiştir.



Görsel 2.9. *Gaz arıtma ünitesi*

Biyolojik desülfürizasyon ile kimyasal kullanılmadan biyolojik kükürt giderimi sağlanmaktadır. Kimyasal kullanımı olmadan tam otomatik gaz temizleme sistemleri ile biyolojik olarak kükürt giderimi çevresel etkinin indirgenmesinin yanı sıra, düşük işletme maliyetleri ve yüksek kullanılabilirlik ile H_2S giderimi sağlamaktadır. Proses %100 biyolojik olarak yürütülmekte olup, işletme maliyetleri kimyasal gaz temizleme sistemlerinden %80-90 daha düşüktür. Temizliği sırasında tank su ile doldurulmakta, tankın tabanına basınçlı hava enjekte edilmekte ve büyük bir çamaşır makinesinde olduğu gibi yıkanmaktadır. Arıtım sonrasında oluşan kükürt plastik medya üzerinde birikmektedir. Görsel 2.10. ile arıtma ünitesinde kullanılan plastik medyanın temiz hali, Görsel 2.11. ile ise kükürt birikmiş hali gösterilmiştir.



Görsel 2.10. *Plastik medya temiz hali*



Görsel 2.11. *Plastik medya kükürt birikmiş hali*

Tankın boşaltılması yapılmadan ve üretim duruşu yaşanmadan desülfürizasyon tankı içerisinde bulunan kükürt temizlenebilmektedir. Görsel 2.12. ile desülfürizasyon ünitesine ait fotoğraf verilmiştir.



Görsel 2.12. *Desülfürizasyon ünitelerine ait görsel*

3. TARIMSAL GERİ KAZANIM

Bitki besin elementleri toprak kimyasının en geniş ve önemli konularından birini oluşturmaktadır. Bitkiler de diğer canlılar gibi yaşamlarını sürdürebilmek için farklı oranlarda çeşitli bitki besin elementlerine ihtiyaç duymaktadır. Tarımsal üretimde verimliliği korumak ve arttırmak doğal kaynaklarımızın korunup arttırılması ile mümkün olacaktır. Toprak verimliliğini sınırlandıran faktörlerin başında ülke topraklarımızın düşük organik madde içerikleri gelmektedir. Toprağa intikal eden, toprağın içerisinde veya üzerinde bulunan bitkisel ve hayvansal ölü artıklarla, bunların ayrışma veya biyolojik olarak birleşme ürünlerinin tamamına toprak organik maddesi denilmektedir. Toprak organik maddesi toprakta çok yönlü etkiye sahip olup, toprağın ayrılmaz tamamlayıcı bir kısmıdır. Ayrışma esnasında ortaya çıkan çeşitli bitki besin maddeleri bitkilerin besin elementi ihtiyacını sağlayıcı bir verimlilik faktörü olmaktan çok toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzeltici bir üretkenlik faktörü olarak kabul edilmektedir [16]. Tarımda başarılı olmanın ön koşulu toprakların organik madde içeriklerini korumak ve sürekli arttırmaktır. Bu nedenle bitkisel ve hayvansal kökenli materyallerin usulüne uygun şekilde olgunlaştırılıp organik gübreye dönüştürülmesi ve tarımda kullanımının sağlanması zorunludur [17].

3.1. Bitki Besin Elementleri

Toprak kimyasının en büyük ve en önemli konularından biri bitkisel besinlerdir. Bitkiler, diğer canlılar gibi, hayatta kalabilmek için farklı oranlarda farklı bitkisel besinlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bitkilerde besin elementleri konusunda iki zorunlu kriter bulunmaktadır:

- Bitki besin elementinin bitki metabolizmasının esas parçasını oluşturan bir molekülün bölümünü oluşturması,
- Bitkinin büyüme ve gelişmesinde anormallik göstermesi bitkinin yetiştiği ortamdaki besin elementinin yetersizliğinden kaynaklanırken, bitkinin normal büyüme ve gelişme göstermesinin besin elementinin var olması durumunda gerçekleşmesidir.

Bitkiler hava, su ve topraktan en az doksan farklı element ihtiyacını giderebilmektedir. Bazı elementler bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için ihtiyaç duyduğu elementler, bazıları ise bitkilerin büyümesi ve gelişmesi için faydalı olan elementler olarak ifade edilmektedir [18]. Bitkiler, optimal büyüme ve gelişme için en az 17 besine veya bitki elementine ihtiyaç

duyar [19]. Her besin, bitkinin büyümesine ve gelişmesine izin veren bitkinin farklı işlevlerine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle elementler genellikle bitkideki miktarlarına göre "makro" ve "mikro" bitki besin elementlerine ayrılmaktadır. Karbon, hidrojen, oksijen, azot, potasyum, kalsiyum, fosfor, magnezyum ve kükürt makro besin elementi olarak bilinmektedir. Mikro besin elementleri ise demir, klor, bakır, mangan, çinko, molibden, bor ve nikel'dir [18]. Bitkiler bu elementleri öncelikle hava ve sudan elde ettikleri için bu elementler bitkiler için mineral olmayan besin maddeleri olarak kabul edilmektedir. Bunlar bitki kütlesinin (%95) çok büyük bir bölümünü oluşturmalarına rağmen, yeterli tedarikleri nedeniyle bitki besinlerinde neredeyse hiç dikkate alınmamaktadırlar [20]. Tablo 3.1. ile bitkiler için gerekli olan besin elementleri ve bitkilere yararlı olduğu halleri detaylı olarak verilmiştir. Makro besinler, mikro besinlere kıyasla en gerekli besinlerdir. Tablo 3.2.'de parantez içinde gösterilen bitki besinleri bazı bitki türleri için kesinlikle gerekli olsa da bazıları için gerekli değildir bu konuyla ilgili tartışmalar devam etmektedir [20, 21].

Tablo 3.1. Çoğu bitkilerin gelişebilmesi için gerekli olan bitki besin elementleri ve bunlara ilişkin bazı özellikler [22]

Elementin Adı	Kimyasal Simgesi	Atomik Ağırlığı	Kuru Maddedeki İçeriği		Bitkiye Yararlı Olduğu Hali
			%	Ppm	
Hidrojen	H	1.0	6	-	H ₂ O
Karbon	C	12.0	45	-	CO ₂
Oksijen	O	16.0	45	-	O ₂ , H ₂ O
Azot	N	14.0	15(1-5)	-	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
Potasyum	K	39.1	1.0	-	K ⁺
Kalsiyum	Ca	40.1	0.5 (0.2-1)	-	Ca ²⁺
Magnezyum	Mg	24.3	0.2(0.1-0.4)	-	Mg ²⁺
Fosfor	P	30.1	0.2 (0.1-0.5)	-	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
Kükürt	S	32.1	0.1 (0.1-0.4)	-	SO ₄ ²⁻
Klor	Cl	35.5	-	100(100-1000)	Cl ⁻
Bor	B	10.8	-	20 (6-60)	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻
Demir	Fe	55.8	-	100(50-250)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Mangan	Mn	54.9	-	50 (20-200)	Mn ²⁺
Çinko	Zn	65.4	-	20	Zn ²⁺
Bakır	Cu	63.5	-	6	Cu ⁺ , Cu ²⁺
Nikel	Ni	58.7	-	0.05	Ni ²⁺
Molibden	Mo	95.9	-	0.01	MoO ₄ ²⁻

Tablo 3.2. *Bitkilerde besin elementlerinin sınıflandırılması*

Organik Maddede Bulunan Temel Elementler	Besin Elementleri		
	Makro Besin Elementleri	Mikro Besin Elementleri	
C	N	B	(Al)*
H	P	Cl	(Co)
O	S	Mo	(Na)
	K	Cu	(Ni)
	Ca	Fe	(Si)
	Mg	Mn	(V)
		Zn	

3.1.1. Kükürt (S)

Kükürt organik maddenin yapısına giren bir elementtir. Bu nedenle toprakta organik ve inorganik formlarda kükürt bulunmaktadır. Birçok toprakta kükürt rezervinin büyük bölümünü organik kükürt oluşturmaktadır [20]. Kükürt; klorofil oluşumu için gerekli bir elementtir. Kükürtün eksik olması durumunda klorofil ve protein sentezinin oluşumu kısıtlanmaktadır. Kükürt, enzimlerden bazılarının yapısında yer almakta ve kök büyümesini, nodül oluşumu hızlandırmaktadır [23, 24, 25]. Bitkilerde kükürt eksikliği belirtileri azot ve molibden eksikliği belirtilerine benzemektedir ve kükürt eksikliği yaprakların sararmasına neden olmaktadır. Bu durum azot eksikliğine çok benzemektedir. Ancak, azot eksikliği olan sararma ilk olarak yaşlı yapraklarda görülürken, kükürt eksikliği olan sararma genç yapraklarda ortaya çıkmaktadır. Protein sentezi, sistein ve metionin gibi kükürt amino asitlerinin eksikliği ile inhibe edilmektedir. Bitki büyümesi yavaşlamakta, yaprak yüzeyi küçülmektedir [26]. Ayrıca, kükürt eksikliğinde ağaç zayıf ve küçük (cüce) kalırken, gövde incelmektedir. Özellikle, tepe büyümesi, kök büyümesinden daha fazla kükürt eksikliğinden etkilenmiştir [20, 27].

3.2. Gübre Kullanımı

Kentleşme ve sanayileşme sonucunda verimli tarım arazileri azalmaktadır. Bu durum artan nüfusun besin ihtiyacının karşılayabilmesi için birim alandan daha fazla ürün alınmasının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bunu sağlamak ise ancak gübreleme işlemi ile mümkün olmaktadır.

Gübre ve gübreleme üzerine birçok tanım bulunmaktadır. Bu tanımlardan en çok kabul gören ise Adolf Mayer'in yapmış olduğu tanımdır. Mayer'e göre "Kültür topraklarının verim gücünü yükseltmek, elde edilecek olan ürünün nitelik ve niceliğini artırmak amacı ile bitki besleyici maddelerin toprağa verilmesi işlemine gübreleme, bu amaç için kullanılan

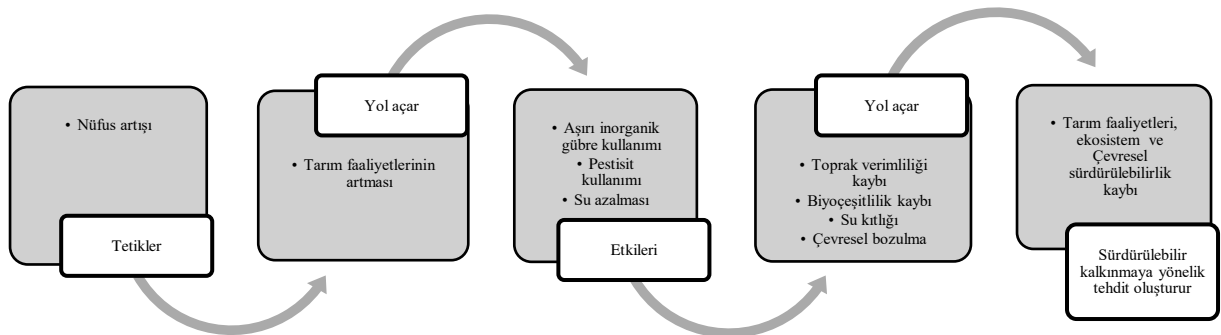
maddelere de gübre adı verilmektedir" [18]. Gübreler T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı uzmanları tarafından Avrupa Birliği Uyum Programı çerçevesinde iki ana gruba ayrılmıştır. Bu gruplar da kendi içlerinde tekrar alt gruplara ayrılmaktadır. Organik madde içeren gübreler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Bitkisel ve hayvansal kökenli organik gübreler,
- Organomineral gübreler ve
- Toprak düzenleyiciler.

Kimyasal Gübreler ise aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Tek bitki besin elementli katı gübreler,
- Bitki besin elementli kompoze katı gübreler,
- İnorganik sıvı gübreler ve
- İnorganik ikincil bitki besin elementli gübrelerdir.

Tarımsal üretimde gübrenin önemli bir yeri vardır. Kullanılacak gübrenin istenen özelliklere sahip olması ve yan etkisinin olmaması beklenmektedir. Oysa tarımda kullanılan kimyasal gübreler verim artışı sağlarken diğer taraftan bazı istenmeyen etkiler de gösterebilmektedir. Kimyasal gübrelerin yüksek miktarlarda kullanımı toprakta ve suda kirlenmeye neden olmakta, uzun vadede toprağı kullanılamaz hale getirmekte ve elde edilen tarımsal ürünlerin kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Bunun yanında canlı sağlığı üzerine de olumsuz etkilere sahiptir. Son yıllarda organik tarımın yaygınlaşmasına paralel olarak kimyasal gübrelerden bir uzaklaşma söz konusu olsa da organik gübre kullanımı yeterli düzeyde değildir. Şekil 3.1.'de nüfus artışı ile birlikte inorganik gübre kullanımının tetiklenmesi, etkileri ve nihai sonucu gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Artan nüfusun çevre sağlığına etkisi

3.3. Sülfürün Bitki Besini Olarak Kullanılması

Temel sülfür için en yaygın kullanılan uygulamalar; sülfürik asit üretimi ve gübrelemede kullanımındır. Sülfür, farklı gübre üretiminde doğrudan kullanılabilmekte veya önce ürün için daha uygun bir gübre oluşturmak üzere karıştırılabilen sülfürik aside dönüştürülebilmektedir. Gübreler, kükürtün hangi duruma geldiğine bağlı olarak daha yaygın olarak kullanılan, kükürtün sülfat formunda olduğu ve ekinlerin alması için hazır bulunan sülfatlı gübreler ve kükürtün kendi element formunda mevcut olduğu elementel kükürtlü gübreler şeklinde ikiye ayrılabilir. Bitkilerin bir besin maddesi olarak alabilmesi için, temel sülfürün sülfatta oksitlenmesi gerekmektedir. Küçük partikül ebatları element kükürtün oksidasyon oranını büyük ölçüde artırmaktadır.

Yaygın kükürt içeren gübreler, amonyum sülfat, amonyum tiyosülfat, süper fosfat, potasyum sülfat ve daha yaygın olarak alçı taşı olarak bilinen kalsiyum sülfattır. Amonyum sülfat ve alçı taşı, diğer endüstriyel faaliyetlerden yan ürünler olarak elde edilebilmektedir. Amonyum sülfat, kok fırınlarından çıkarılan bir yan üründür ve fosfatlı gübrelerin üretimi sırasında alçı taşı oluşmaktadır. Amonyum tiyosülfat, kükürt dioksitin amonyak oluşturan amonyum sülfat ile reaksiyona sokulmasıyla üretilmekte, daha sonra amonyum tiyosülfat oluşturmak için elementel kükürt ile reaksiyona girmektedir. Potasyum sülfat ve süper fosfat, sülfürik asit kullanılarak üretilmektedir. Potasyum sülfat, potasyum sülfat ve hidroklorik asit oluşturan potasyum klorür ve sülfürik asidin reaksiyonu ile oluşmaktadır. Süper fosfat, sülfürik asidin fosfat kayası ile reaksiyonu sonucu oluşmaktadır.

Elementel kükürt, kükürt kaplı üre, bentonitli kükürt gibi çeşitli şekillerde ve kendi başına gübre olarak kullanılabilir. Kükürt bentoniti bir gübre olarak ve ayrıca bir toprak modifikasyon ürünü olarak kullanılabilir. Bentonitli kükürt, toprağın pH dengesini sağlayan oldukça değerli bir karma bileşiktir. Magnezyum ve alüminyum bakımından zengin volkanik lav, tuf, küllerin kimyasal ayrışması sonucu oluşan kil minerallerinin kristal hale gelmesiyle birlikte meydana gelen madde olan bentonit kükürt ile bulunduğu güçlü bir tarım ürünü haline gelmektedir. Toprağın kireç oranının ve tuz yapısının çözülmesine kaynaklık eden bu elementler sayesinde kaliteli ve verimli bitki yetiştirilmesi mümkündür. Bentonitli kükürt sayesinde toprağın ihtiyacı olan mineraller karşılanarak kullanıldığı alanın nefes alması sağlanmaktadır. Soğuk havalarda toprak ısı seviyesinin yükselmesine kaynaklık etmektedir. Görsel 3.1. ile bentonitli kükürt ile büyük

miktarda küçük kükürt parçacıkları içeren bir pastil benzeri ürün gösterilmektedir. Kuru toz kükürt kullanılması patlama riski içerdiğinden tavsiye edilmemektedir. Birçok çalışmaya göre, kükürt bazlı gübreler kullanımı mahsul veriminde iyi sonuçlar vermektedir [21].



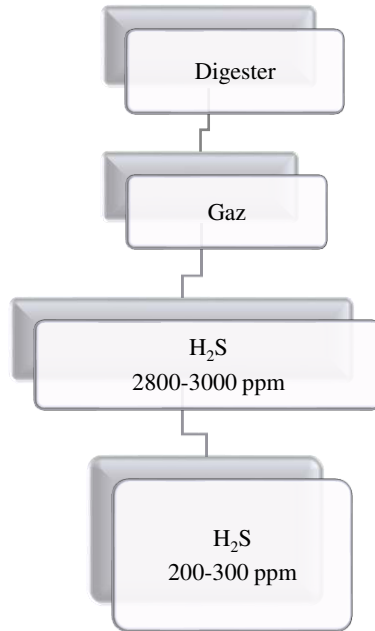
Görsel 3.1. *Bentonitli kükürt görseli*

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında kullanılan materyal ve yöntemler sırası ile başlık altında detaylandırılacaktır. Yapılan deneyler sera ortamında 20-24⁰C sıcaklıkta, %55-70 aralığında nem değeri olacak şekilde aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Sardunyalar, odunsu yapılarından dolayı kışın kısmen ölen ve ilkbahar aylarında tekrar aktif hale gelip çiçek açtıklarından dikilişlerinden sonra çok uzun yıllar boyunca aynı mekanda etkisini devam ettirebilen dayanıklı süs bitkileridir. Aynı zamanda sardunyalar mevsimlik çiçeklere ve ticari çeşitlere oranla çevre koşullarına daha dayanıklı ve daha az bakım isterler. Bu özelliklerinden dolayı soğuk bölgelerde; bordürlerin, korulukların ve kaya bahçelerinin belkemiği veya kalıcı türü olabilirler [28]. Tüm bu özelliklerden dolayı tez çalışması kapsamında sardunya ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

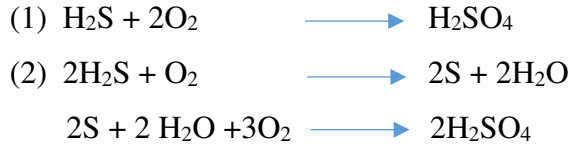
4.1. Desülfürizasyon Süreci ve Akış Şeması

Şekil 4.1. ile çalışma kapsamında kükürt içeren besinin elde edildiği desülfürizasyon sürecine ait akış şeması gösterilmektedir. Biyometanizasyon tesisinden elde edilen gazın içeriğinde H₂S gazı bulunmaktadır. Bu kirleticinin gazdan arındırılması için biyolojik arıtma yapılan kolonlardan geçirilmektedir. Uygun sıcaklık, besin, oksijen değerleri ile elementel kükürt oluşumu desteklenmektedir.



Şekil 4.1. Desülfürizasyon süreci akış şeması

Elementel kükürt ve sülfüroz asit aşağıda verilen reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır.



4.1.1. Kükürt için yapılan çalışmalar

Çıkan kükürtün bitki besininde kullanımının incelenmesi amacıyla atık karakterizasyonu yapılmış ve atığın içerisindeki metal miktarları belirlenmiştir. Sonrasında kükürt sulama suyu içerisine belli oranlarda koyularak bu şekilde sulama yapılmıştır. Çıkan bitki besininde kullanımının incelenmesi amacıyla atık karakterizasyonu yapılmış ve atığın içerisindeki metal miktarları belirlenmiş ve kükürt sulama suyu içerisine belli oranlarda koyularak bu şekilde sulama yapılmıştır. Deneye başlarken bitkilerin en 20 cm olmasına dikkat edilmiştir. Bu boyutun altında olan bitkilerin gübre ihtiyaçlarının olmadığı ve gübreli sular ile beslendiklerinde öldüğü görülmüştür. Çalışmada kullanılacak olan H₂S tankı kükürt numunesi 14.02.2020 tarihinde akredite laboratuvar tarafından analiz edilmiş olup içeriğine ait detaylar Tablo 4.1. ile verilmiştir.

Tablo 4.1. Elementel kükürt analiz sonuç tablosu-14.02.2020

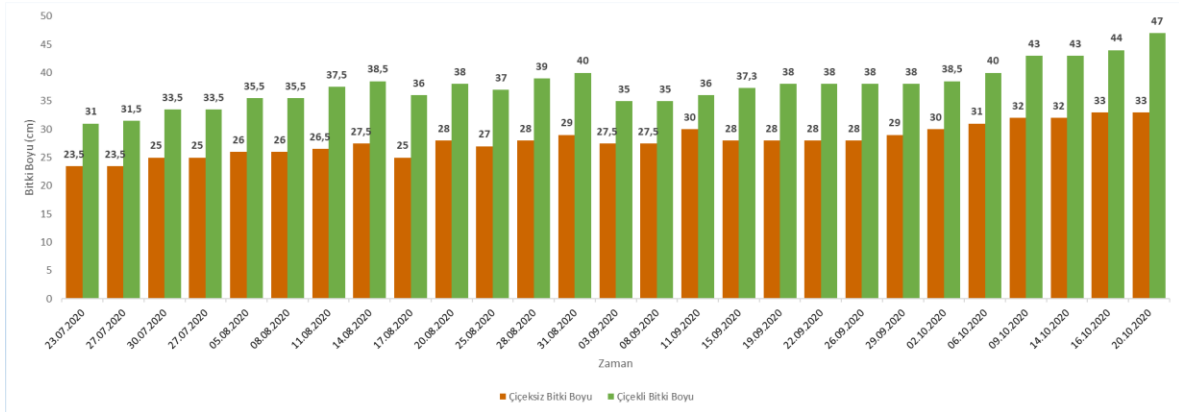
ANALİZ	Birim	SONUÇLAR
Baryum	%	0,0003
Berilyum		0,0000
Kalsiyum		0,1050
Demir		0,0091
Potasyum		0,0088
Magnezyum		0,0174
Mangan		0,0003
Sodyum		0,1700
Kükürt		79,50
Silisyum		0,0289
Çinko		0,0011

Kükürt içeren sulama sularının kükürt içeriği %1, %2,5, %5, %10 ve %25 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kör numune ile sulama yapılmıştır. Sulama bitkilerin su ihtiyacına göre yapılmıştır. Tablo 4.2. içerisinde belirtilen kükürt miktarları beherlere alındıktan sonra üzerleri 400 ml su ile tamamlanarak besin karışımı oluşturulmuştur. Besin ve su dengesi büyümeyi etkileyeceği için bütün bitkilere aynı gün sulama yapılmıştır.

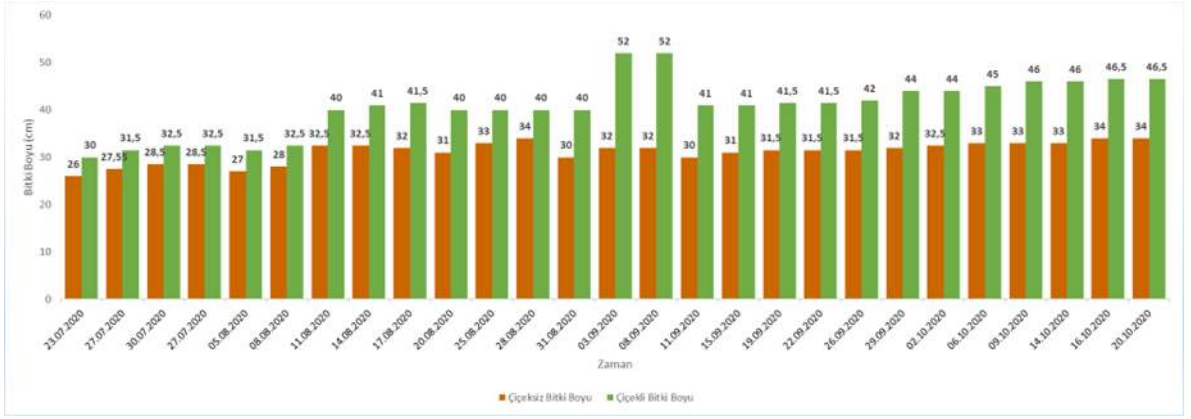
Tablo 4.2. Kükürt içeren sulama suyu içerik bilgileri

Su ve Kükürt Oranları						
	Kör	%1	%2,5	%5	%10	%25
Su	400 ml	400 ml olacak şekilde tamamlama yapıldı.				
Kükürt	0 mg	4 mg	10 mg	20 mg	40 mg	100 mg

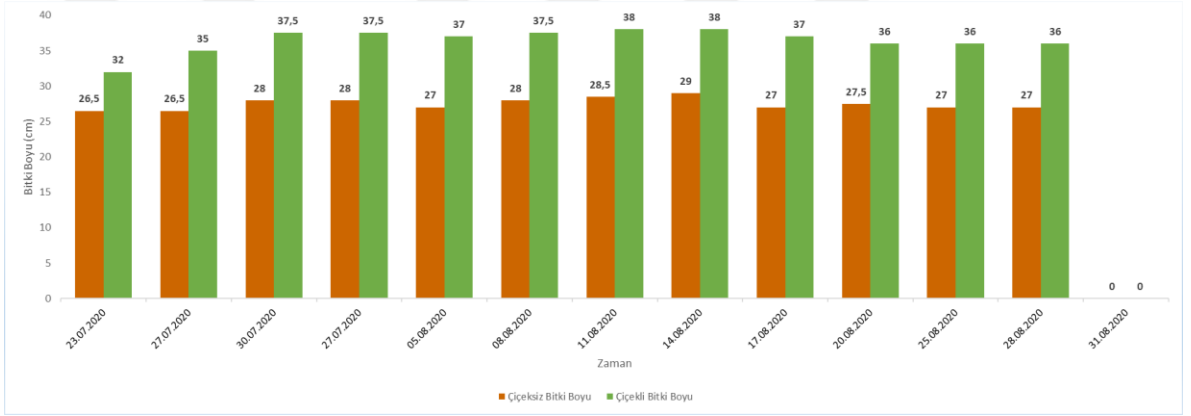
Yapılan sulama suyunun besin, sulama miktarları ve bitki boyları tarih sırası ile Ek-1 ile verildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. 23.07.2020-20.10.2020 tarihleri arasında yapılan ilk deney setinde elde edilen değerlere istinaden besin-bitki boyu ilişkisi grafiklerde verilmiştir. Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6., Şekil 4.7. ile ilk deney seti sonuçlarına ait grafikler verilmiştir. Şekil 4.8., Şekil 4.9., Şekil 4.10., Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13. ile büyüme oranına ait grafikler verilmiştir



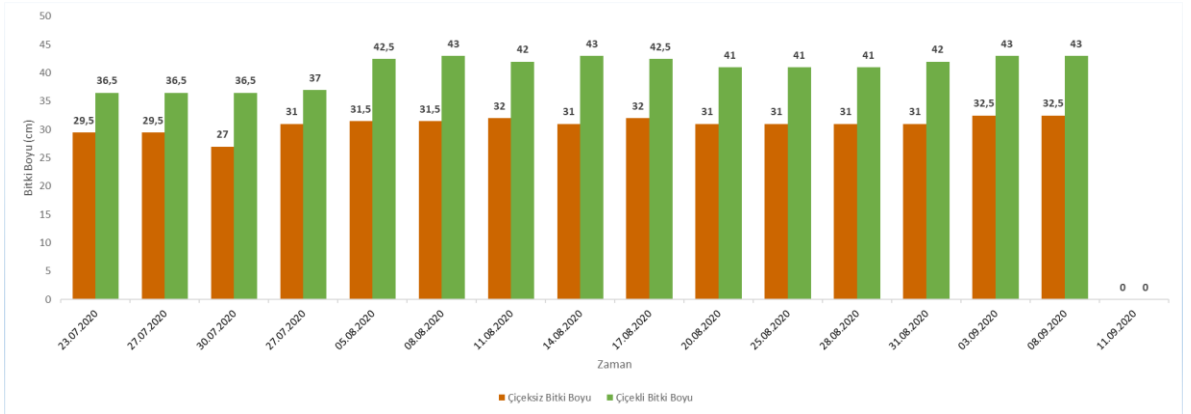
Şekil 4.2. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-kör)



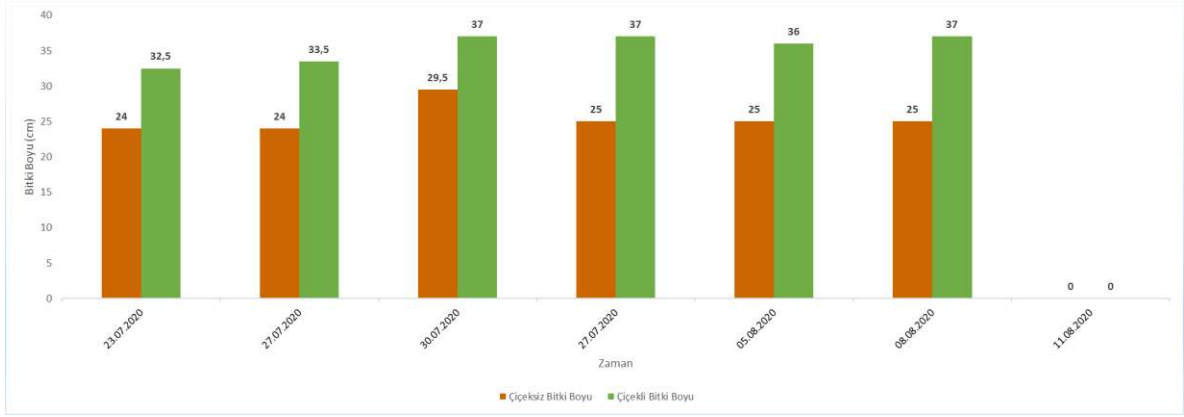
Şekil 4.3. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %1)



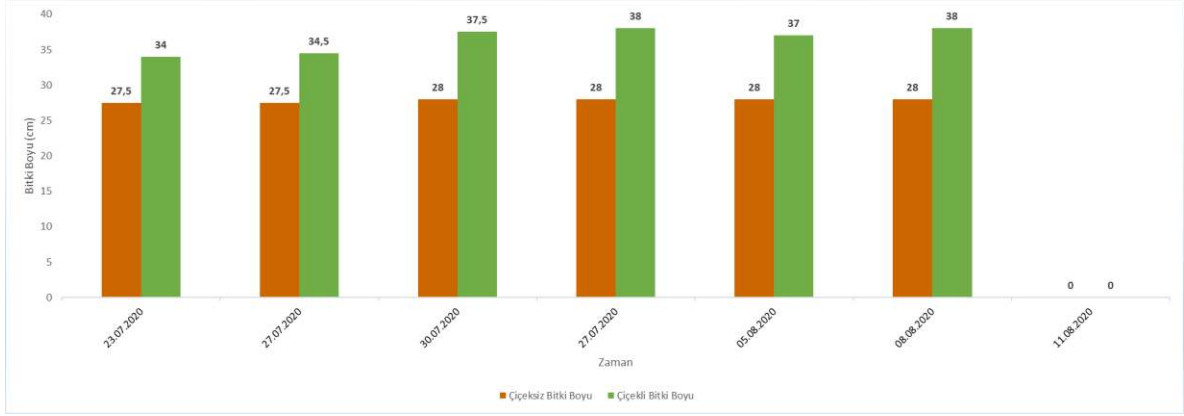
Şekil 4.4. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %2,5)



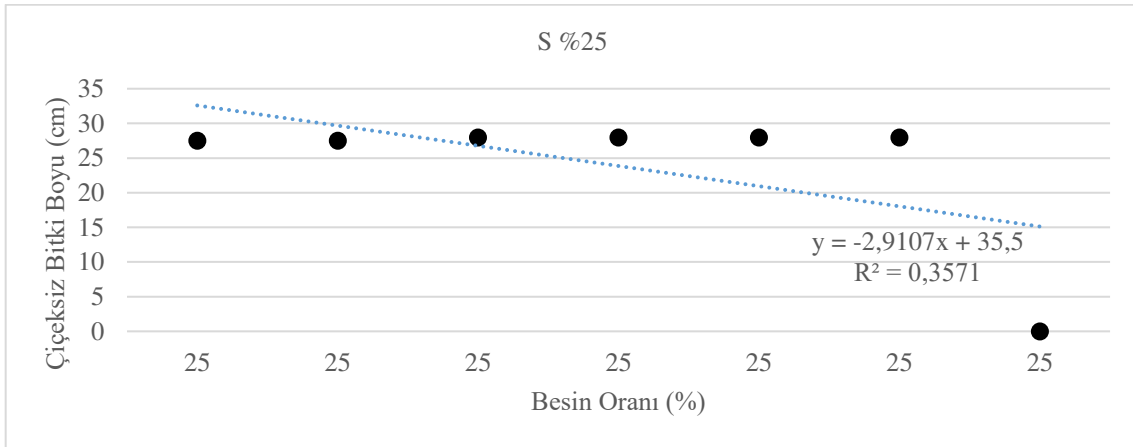
Şekil 4.5. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %5)



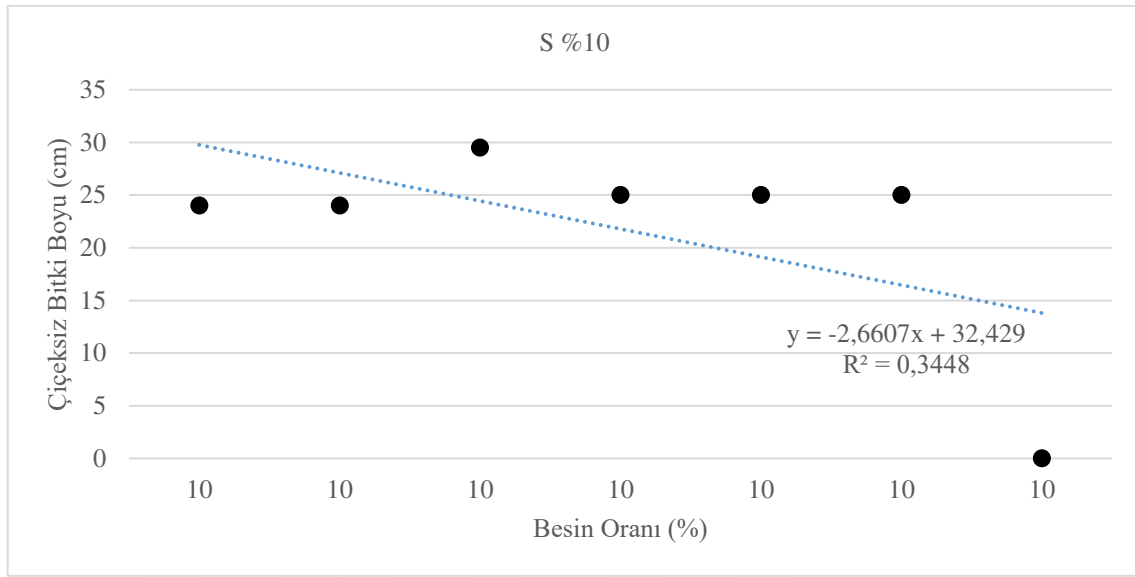
Şekil 4.6. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %10)



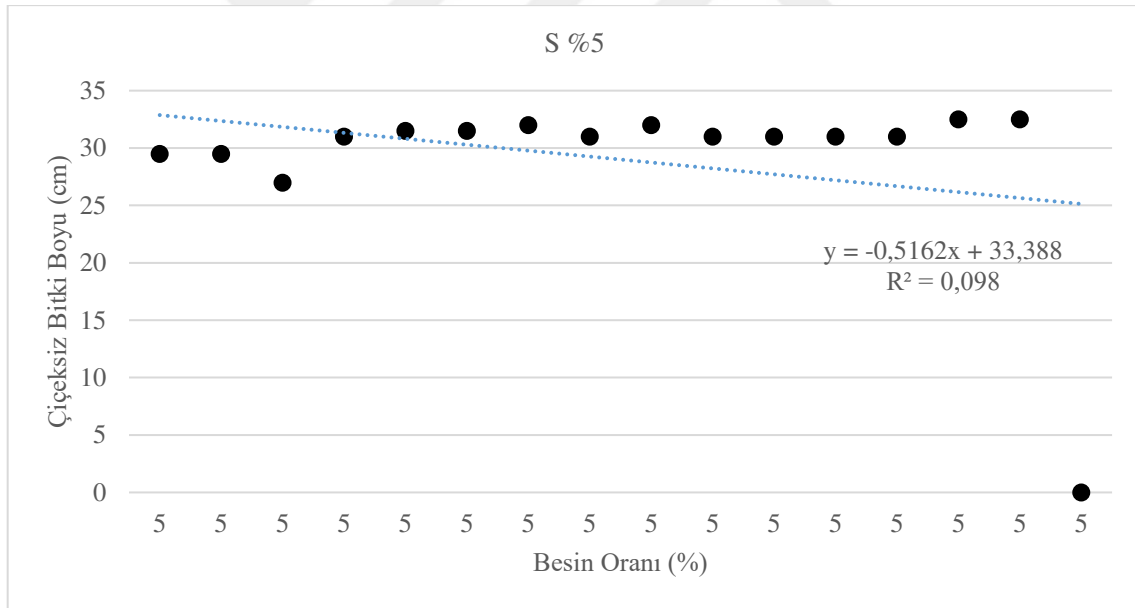
Şekil 4.7. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-S %25)



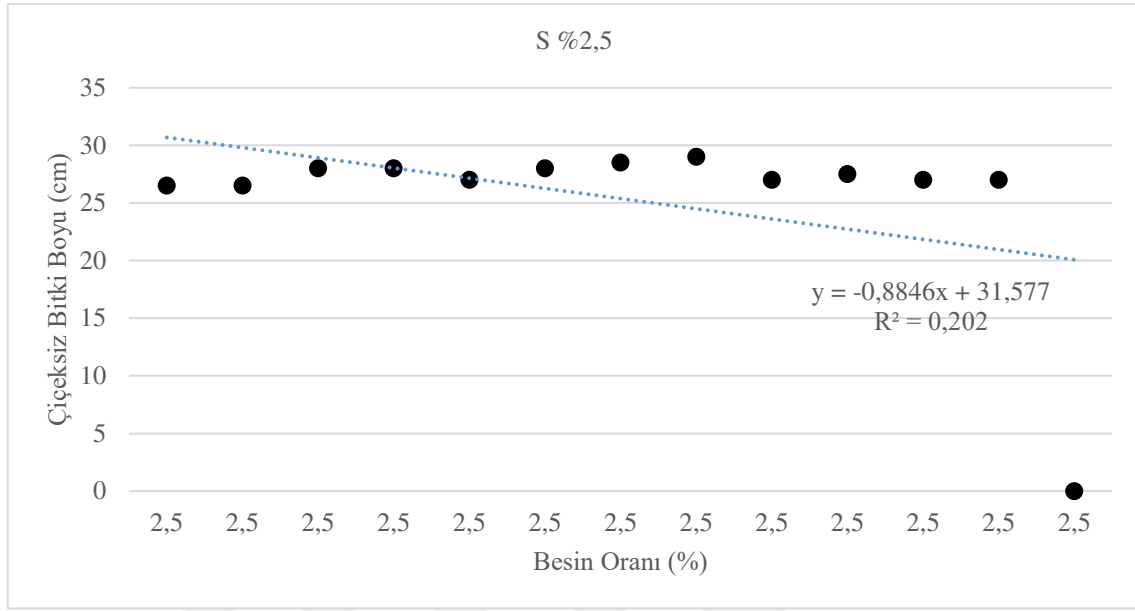
Şekil 4.8. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %25)



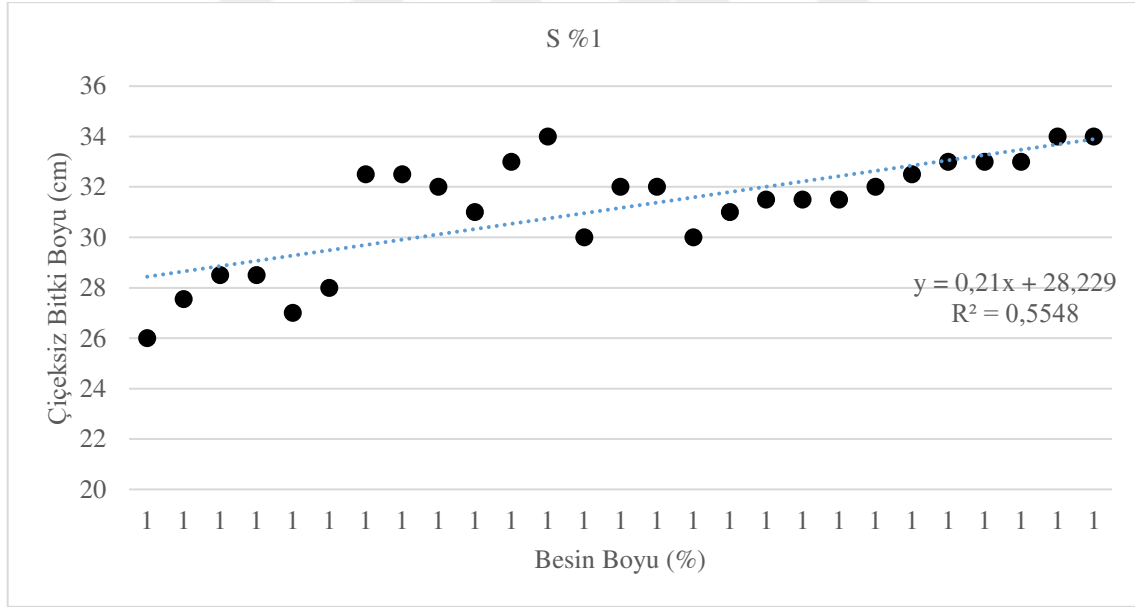
Şekil 4.9. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %10)



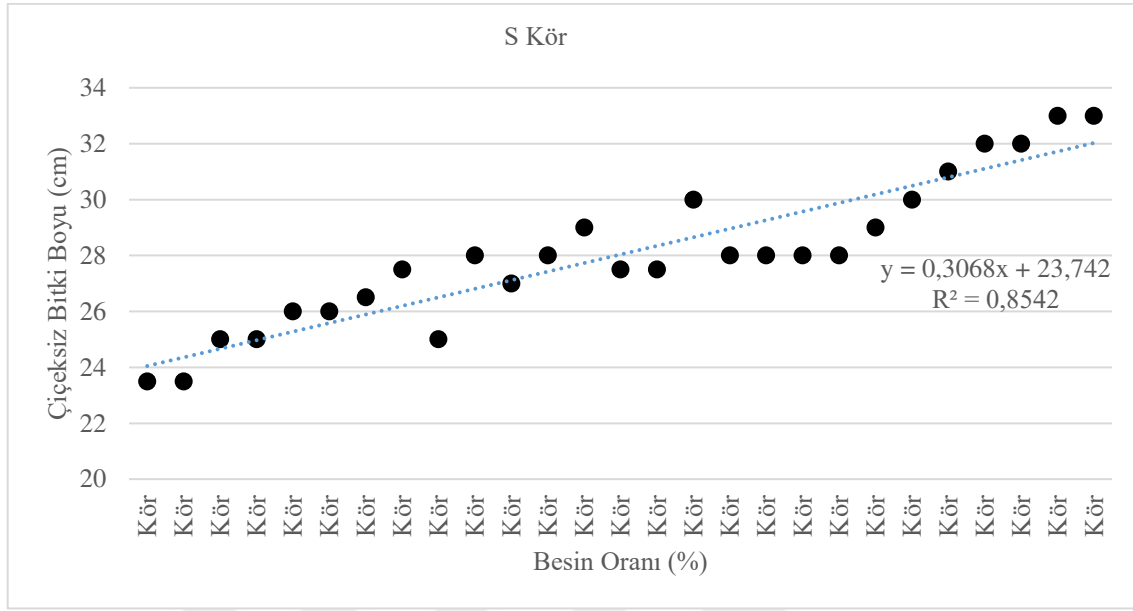
Şekil 4.10. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %5)



Şekil 4.11. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %2,5)



Şekil 4.12. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S %1)



Şekil 4.13. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-S Kör)

Tablo 4.3. Bitki ölüm süreleri (S-ilk set)

Numune	Oran (Yüzde)	Deneyin Başladığı Tarih	Ölümün Gerçekleştiği Tarih	Geçen Süre (Gün)
S	1	23.07.2020	-	-
S	2,5	23.07.2020	31.08.2020	39
S	5	23.07.2020	11.09.2020	50
S	10	23.07.2020	11.08.2020	19
S	25	23.07.2020	11.08.2020	19

Tablo 4.3. ile %2,5 oranında besin verilmiş olan bitkide 39 gün, %5 oranında besin verilmiş olan bitkide 50 gün, %10 ve %25 oranında besin verilmiş olan bitkide 19 gün sonunda ölüm gerçekleşmiştir. Görsel 4.1., 4.2. ve 4.3. ile ilk deney setine ait deney başlangıç, sırası ve deney setinin sonlanması ile ilgili fotoğraflar gösterilmektedir.



Görsel 4.1. İlk set başlangıç (Kükürt)



Görsel 4.2. İlk set ilerleme (Kükürt)



Görsel 4.3. İlk set sonu (Kükürt)

İlk deney seti sonucunda saksıların altından süzülen su miktarı yeterli olmadığı için elementel analiz akredite laboratuvar tarafından gerçekleştirilememiştir. Deneyin sonlanması ile birlikte bitkiler topraktan ayrılarak bitki ve toprağın nemi uzaklaştırılmış, susuzlaştırma işlemi yapılmıştır. Nem uzaklaştırıldıktan sonra toprak ve yaprak ayrı ayrı kırıcıdan geçirilerek 4 mm elekten geçirilmiştir. Elek altında kalan numuneden örnek alınarak mikrodalga cihazında asitle özütlenme sağlanarak, kral suyu ile parçalama yapılmış ve ICP-OES cihazında akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir.

Nem analizi için ‘TS 9546 EN 12880: Çamurların Karakterizasyonu- Kuru Kalıntı ve Su Muhtevası Tayini’ kullanılmıştır. Mikrodalga özütleme için ise ‘TS EN 13657 Atıkların Nitelendirilmesi–Elementlerin Kral Suyunda Çözünebilir Kısımının Müteakip Tayin İçin Parçalanması’ ve ‘Method 3051 A Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils’ temel alınarak kullanılmıştır. ICP-OES elementel analiz için ‘USEPA Method 200.7 Determination of Metals and Trace Elements In Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 4.4 EMMC Version ve USEPA Method 6010D Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 3’ temel alınarak kullanılmıştır. Tablo 4.4. ile analiz sonucunda elde

edilen veriler gösterilmektedir. Numunelere farklı bir numaralandırma yapılmamıştır direkt olarak numunenin cinsi ve oranı şeklinde isim verilmiştir.

Tablo 4.4. Katı mikrodalga analizleri (S-ilk set-toprak ve yaprak için)

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Toprak S Kör	Toprak S %1	Yaprak Kör	Yaprak S %1
Bor	mg/kg	28,4	25,8	29,1	26,9
Baryum	mg/kg	138	108	31	24,5
Kalsiyum	mg/kg	34700	30300	23900	33500
Krom	mg/kg	64,3	72,4	30,1	12,3
Demir	mg/kg	26000	25500	7160	7630
Magnezyum	mg/kg	21300	19000	7760	6830
Mangan	mg/kg	563	519	157	202
Nikel	mg/kg	98,5	139	28	22,8
Kükürt	mg/kg	2530	90400	2430	13300
Silisyum	mg/kg	1120	527	844	519
Çinko	mg/kg	65,3	62,2	35,1	55,8

Deney sonunda bitki toprak ve yaprak ayrı şekilde su içinde tutularak çözünmesi sağlanmıştır. Su içinde tutularak yapılan işlem ile suya salınan ağır metal miktarlarına ulaşmak istenmiştir ve ‘TS EN 12457-4: Ocak 2004 Atıkların Nitelendirilmesi – Katıdan Özütleme Analizi-Granül Katı Atıkların ve Çamurların Katı Özütlemesi İçin Uygunluk Deneyi – Bölüm 4: Sıvı Katı Oranı 10 L/kg Olan ve Parçacık Boyutu 10 mm’den Küçük (ölçüsü azaltılmış veya azaltılmamış) Malzemeler İçin Tek Aşamalı Parti Deneyi’ temel alınarak kullanılmıştır. Numune 45µm elekten geçirilerek ICP-OES cihazına gönderilmiştir ve akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.5. ile analiz sonucunda elde edilen veriler gösterilmektedir. Numunelere farklı bir numaralandırma yapılmamıştır direkt olarak numunenin cinsi ve oranı şeklinde isim verilmiştir.

Tablo 4.5. Katı-Sıvı Eluat analizi (S-ilk set-toprak ve yaprak için)

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Toprak S Kör	Toprak S %1	Yaprak Kör	Yaprak S %1
Bor	ppm	0,15	0,17	0,40	0,99
Baryum	ppm	0,06	0,08	0,27	0,16
Kalsiyum	ppm	99,5	394,00	246,00	653,00
Bakır	ppm	0,07	0,02	0,21	0,15
Demir	ppm	0,28	0,63	0,28	2,57
Magnezyum	ppm	29,95	(Ölçülemedi)	254,5	555,50
Mangan	ppm	0,18	(Ölçülemedi)	1,92	9,39
Molibden	ppm	0,03	0,01	0,04	0,04

Tablo 4.6. (Devam) Katı-Sıvı Eluat analizi (S-ilk set-toprak ve yaprak için)

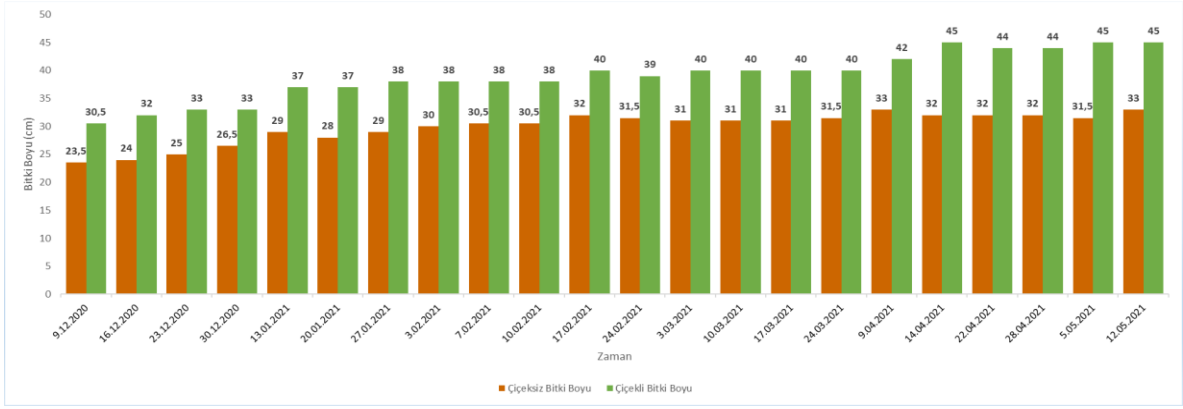
Nikel	ppm	0,03	0,62	0,23	0,83
Kükürt	ppm	99,8	849,00	128	1260,00
Silisyum	ppm	13,1	10,20	6,52	15,40
Çinko	ppm	0,28	0,34	1,05	2,35
Klor	ppm	9,26	12	260,31	391,27
Sülfat	ppm	309,19	4057,55	314,2	4836,62
Nem	%	5,22	55,27	5,22	55,27
Kuru Madde	%	94,78	44,73	94,78	44,73

İlk deney setinde yüksek konsantrasyon ile beslenen bitkilerinin ölümünün gerçekleşmesi ile besin yüzdeleri düşürülerek ikinci deney seti başlatılmıştır. Sulama sularının kükürt içeriği %0,25, %0,5, %1 olarak belirlenmiş ve ek olarak kör numune ile sulama yapılmıştır. Sulama bitkilerin su ihtiyacına göre yapılmıştır. Eluat ve özütleme analizleri arasında fark olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde katı mikrodalga analizlerinin bitkinin yapısına geçen miktarları gösterdiği düşünüldüğünde analiz metodu belirlenmiştir. Bu nedenle deneylerin kalanında katı mikrodalga özütleme metodu kullanılmıştır. Tablo 4.6. ile belirtilen kükürt miktarları beherlere alındıktan sonra üzerleri 400 ml su ile tamamlanarak besin karışımı oluşturulmuştur. Besin ve su dengesi büyümeyi etkileyeceği için bütün bitkilere aynı gün sulama yapılmıştır. Yapılan sulama suyunun besin, sulama miktarları ve bitki boyları tarih sırası ile Ek-2 ile verilmiştir.

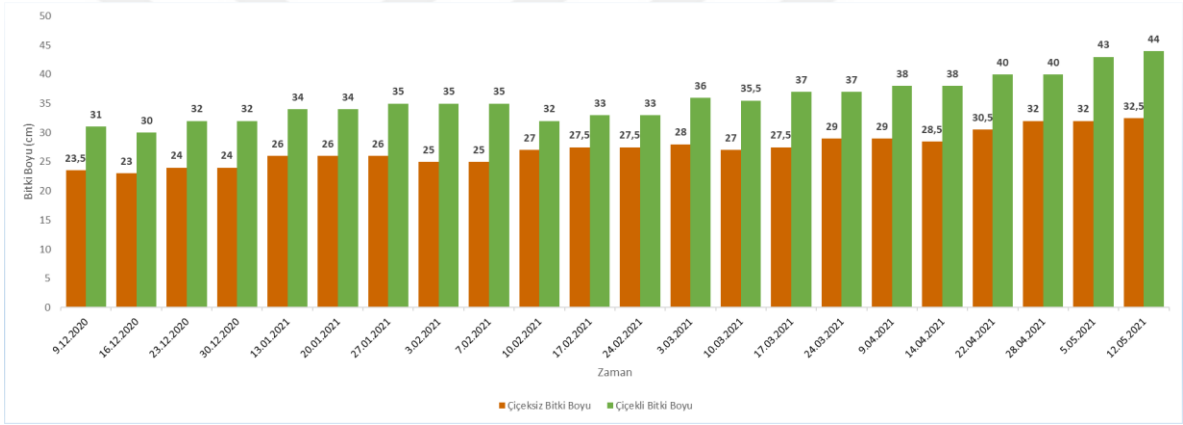
Tablo 4.7. Kükürt içeren sulama suyu içerik bilgileri (ikinci set)

Su ve Kükürt Oranları				
	Kör	%0,25	%0,5	%1
Su	400 ml	400 ml olacak şekilde tamamlama yapılmıştır.		
Kükürt	0 mg	1 mg	2 mg	4 mg

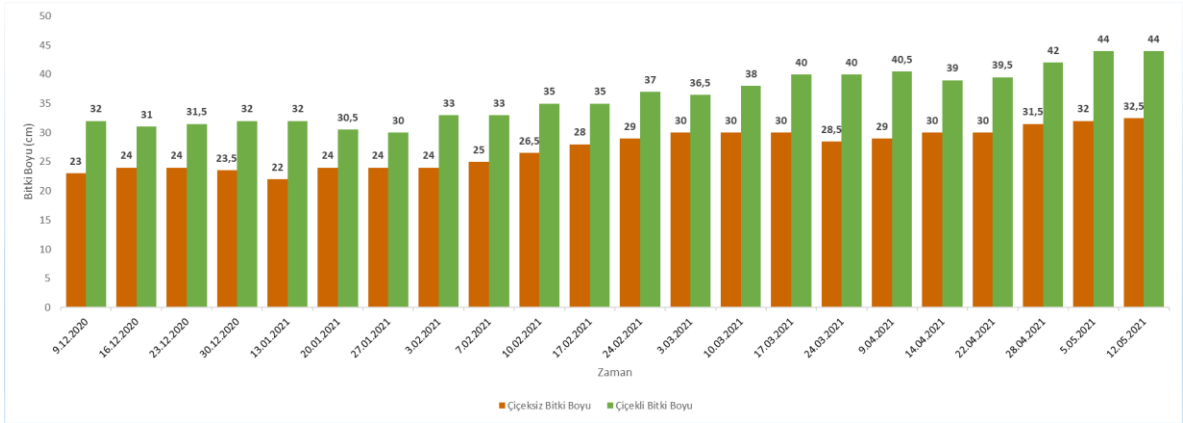
09.12.2020-12.05.2021 tarihleri arasında yapılan ikinci deney setinde elde edilen değerlere istinaden besin-bitki boyu ilişkisi grafiklerde verilmiştir. Şekil 4.14., Şekil 4.15., Şekil 4.16. ve Şekil 4.17. içerisinde ikinci deney setine dair sonuçlar mevcuttur. Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.20. ve Şekil 4.21. ile büyüme oranına ait grafikler verilmiştir



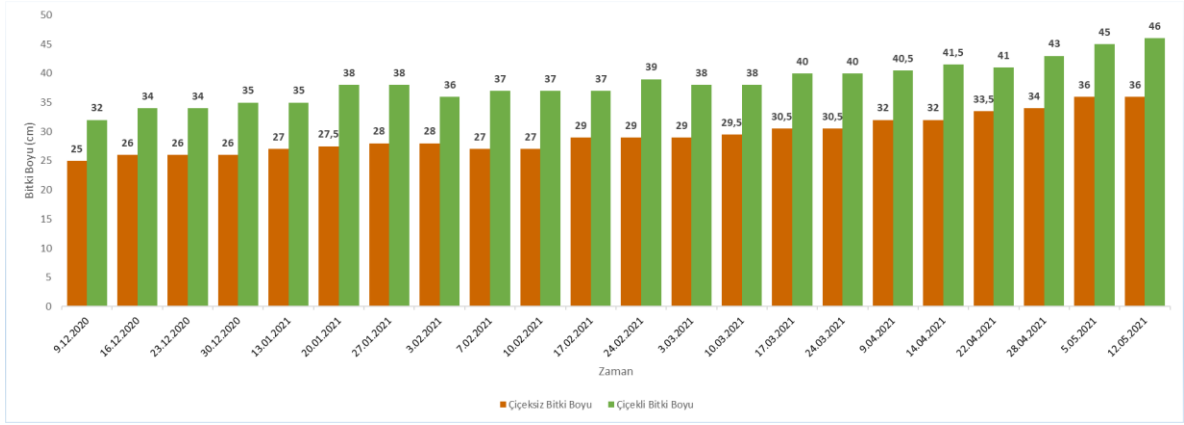
Şekil 4.14. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S kör)



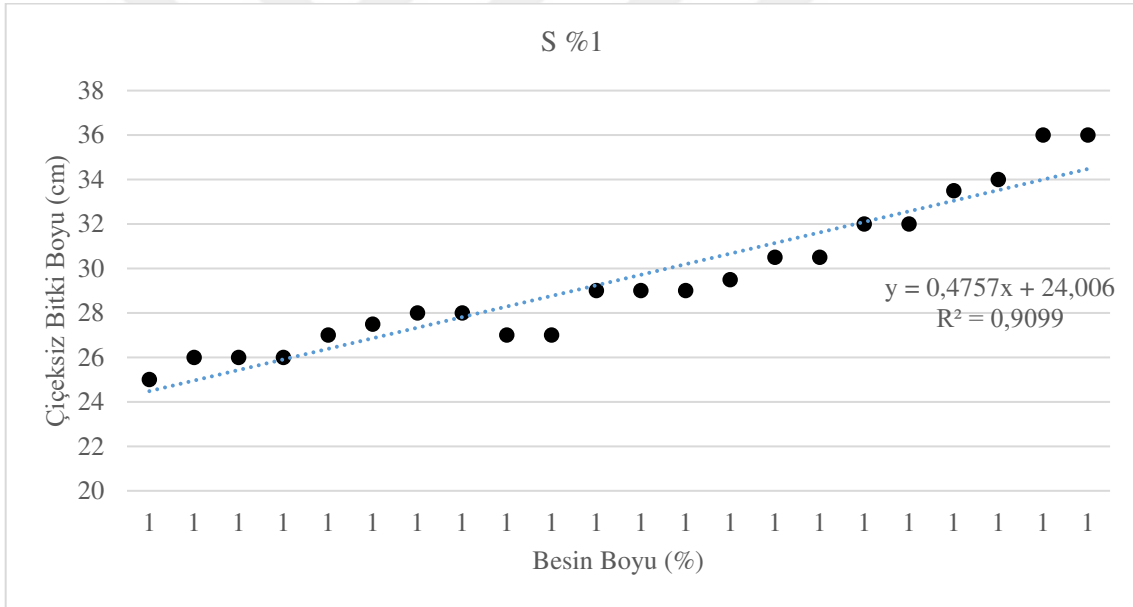
Şekil 4.15. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S %0,25)



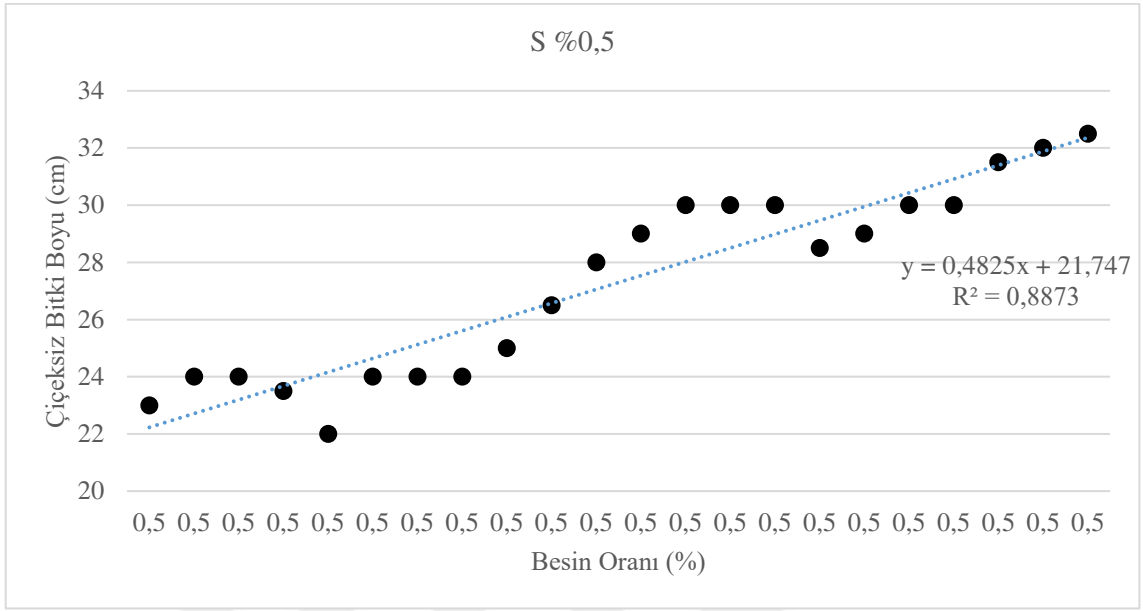
Şekil 4.16. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S %0,5)



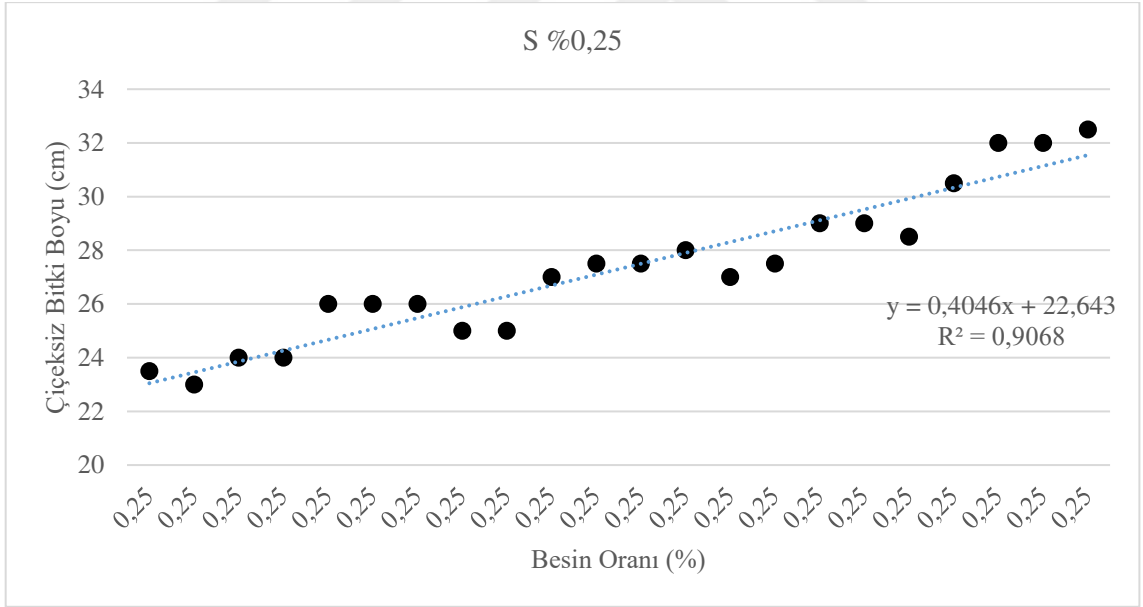
Şekil 4.17. Kükürt-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-S %1)



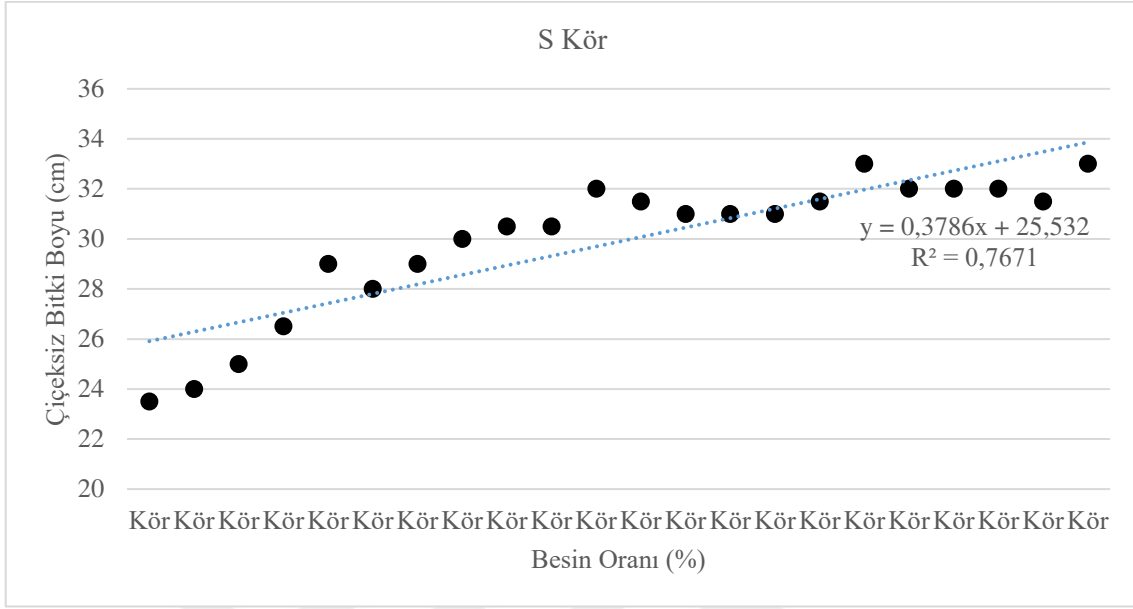
Şekil 4.18. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S %1)



Şekil 4.19. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S %0,5)



Şekil 4.20. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S %0,25)



Şekil 4.21. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-S kör)

R^2 değerlerine bakarak en iyi büyümenin S %1, S %0,25 derişimi ile olduğunu görülmektedir. Fakat S %1 deneyinde 1. Set deneyler ile sonuçların yakınlık göstermemesinden dolayı kükürt içerikli besinin büyümeye etkisinin olduğunu söylemek yanlış olacaktır. Görsel 4.4., Görsel 4.5. ve Görsel 4.6. ile ikinci deney setine ait deney başlangıç, sırası ve deney setinin sonlanması ile ilgili fotoğraflar verilmiştir.



Görsel 4.4. İkinci set başlangıç (Kükürt)



Görsel 4.5. İkinci set ilerleme (Kükürt)



Görsel 4.6. İkinci set sonlandırma (Kükürt)

Deneyin sonlanması ile elementlerin analiz edilmesi adına bitkiler topraktan ayrılarak bitki ve toprağın nemi uzaklaştırılmış, susuzlaştırma işlemi yapılmıştır. Nem uzaklaştırıldıktan sonra toprak ve yaprak ayrı ayrı kırıcıdan geçirilerek 4 mm elekten geçirilmiştir. Elek altında kalan numuneden örnek alınarak mikrodalga cihazında asitle özütlenme sağlanarak, kral suyu ile parçalama yapılmış ve ICP-OES cihazında akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.7. ve Tablo 4.8. ile sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Katı mikrodalga analizleri (S-ikinci set-toprak için)

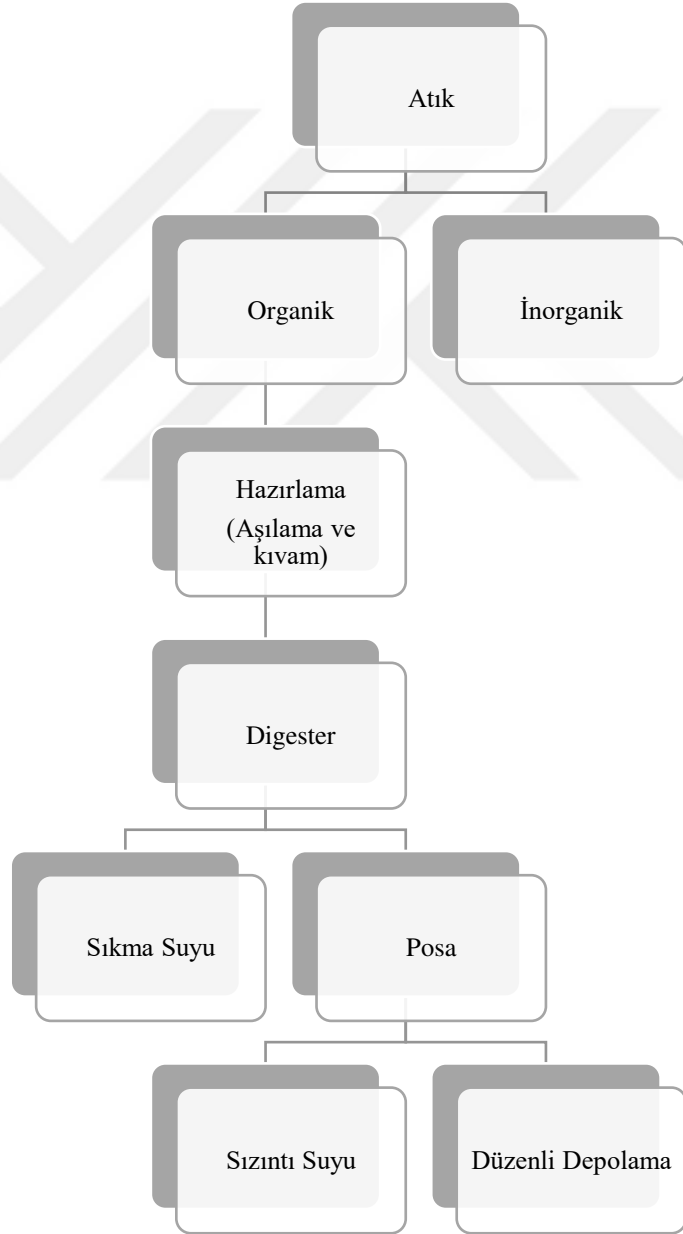
Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Toprak Kör	Toprak S 0,25	Toprak S 0,50	Toprak S 1
Baryum	mg/kg	151	141	106	134
Kalsiyum	mg/kg	44600	51400	37900	36600
Kobalt	mg/kg	22,30	20,50	16,80	17,10
Krom	mg/kg	108	121	79,9	99,5
Bakır	mg/kg	47,40	53,30	46,10	47,30
Demir	mg/kg	30600	28800	24300	22200
Potasyum	mg/kg	5960	5930	4170	4720
Magnezyum	mg/kg	22100	19700	16200	15300
Mangan	mg/kg	651	641	515	515
Sodyum	mg/kg	4290	3500	3080	3070
Nikel	mg/kg	199	156	161	152
Kükürt	mg/kg	7000	48400	131000	135000
Silisyum	mg/kg	918	1200	49,9	2230
Stronsiyum	mg/kg	302	209	171	193
Çinko	mg/kg	79,6	76,3	71,9	72,4
Titanyum	mg/kg	1600	1600	1100	1260
Vanadyum	mg/kg	91,5	82,2	67,2	69,00

Tablo 4.9 Katı mikrodalga analizleri (S-ikinci set-yaprak için)

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Yaprak Kör	Yaprak S 0,25	Yaprak S 0,50	Yaprak S 1
Baryum	mg/kg	20,8	11,4	21,3	14,1
Kalsiyum	mg/kg	18500	13300	21800	18300
Kobalt	mg/kg	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Krom	mg/kg	10,1	<2,00	8,08	<2,00
Bakır	mg/kg	27,90	35,30	46,30	<2,00
Demir	mg/kg	2400	742	1770	650
Potasyum	mg/kg	24400	19200	22700	24100
Magnezyum	mg/kg	4770	2910	4970	4710
Mangan	mg/kg	152	189	192	161
Sodyum	mg/kg	1210	1640	1840	1890
Nikel	mg/kg	27,9	15,7	14,3	12
Kükürt	mg/kg	4240	4610	7260	6610
Silisyum	mg/kg	2490	1180	3670	1190
Stronsiyum	mg/kg	69,1	40,1	66,2	62,3
Çinko	mg/kg	46,2	28,4	37,8	49,8
Titanyum	mg/kg	193	42,4	130	37,5
Vanadyum	mg/kg	12,1	6,93	16,7	7,19
TKN	%	7,05	8,35	8,25	8,85
Nem	%	67,82	69,44	67,47	70,59
Kuru Madde	%	32,18	30,56	32,53	29,41
Toplam Organik Karbon	%	40,85	42,27	44,92	39,59

4.2. Fermente Sıvı Süreci ve Akış Şeması

Şekil 4.22. ile çalışma kapsamında kullanılan fermente sıvının oluşum sürecine ait akış şeması gösterilmektedir. Karışık belediye atıkları ayrıştırma tesisinde organik ve inorganik olarak ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırılan organik materyaller çürütücülerde parçalanarak biyogaz elde edilmektedir. Biyogaz elde edildikten sonra çürütücülerden çıkan fermente atık posasından ayrılarak fermente sıvı elde edilir.



Şekil 4.22. Fermente Sıvı süreci akış şeması

Anaerobik fermantasyon aşağıda verilen reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır.

Hydrolysis;



Acidogenesis;



Acetogenesis;



Methanogenesis;



4.1.2. Fermente sıvı için yapılan çalışmalar

Biyogaz elde edildikten sonra çürütücülerden çıkan fermente atık posasından ayrılarak fermente sıvı elde edilir. Deneyler için kullanılan fermente sıvı Görsel 4.7. ile gösterildiği şekildedir. Fermente sıvı içerisinde bulunan ağır metallerin analizine ilişkin; iki ayrı akredite laboratuvara farklı tarihlerde alınan örnekler gönderilmiş olup toplamda altı adet numune üzerinde analiz yapılmıştır. Katı atıklar ağır metal içerebileceği, sıvının içeriği bilinmediği ve bitkilerde kullanılacağı için ağır metal analizi yaptırılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 4.9, Tablo 4.10., Tablo 4.11., Tablo 4.12., Tablo 4.13., Tablo 4.14. ile gösterilmektedir. Fermente sıvının analizi iki farklı akredite laboratuvarında yaptırılmıştır ve ikinci laboratuvarında ortalamanın alınması, güvenilir değer elde edilmesi adına beş kere analiz edilmiştir.



Görsel 4.7. Fermente sıvıya ait görsel

Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik İkinci Bölüm Madde 5 (Resmî Gazete No: 30341) ağır metal sınır değerleri incelendiğinde sadece kalay değerinin sınır değer üstünde olduğu görülmüştür. Ancak kalay sadece hayvansal orijinli organik gübrelere üretiminde kullanılan ham maddelerde ve mamul ürünlerde arandığı için ve tez kapsamında süs bitkisinde kullanıldığı için herhangi bir problem oluşturmamaktadır. Ayrıca kalay analizinde tek örnek ile çalışıldığı bu değer de sınır değere yakın olduğu için birden fazla örnek ile çalışılması durumunda sınır değer altında kalacağı düşünülmektedir.

Tablo 4.10. Fermente sıvı ağır metal analiz sonuçları (akredite laboratuvar-1)

Analiz Adı	Analiz Metodu	Birim	Analiz Sonucu
*Sodyum (Na) Tayini	SM 3030K - EPA 6020A		6,701
*Demir (Fe) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		773,641
*Kalay (Sn) Tayini	SM 3030 K, TS EN ISO 17294 1-2		12,349
*Çinko (Zn) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		76,717
*Kobalt (Co) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		7,746
*Bakır (Cu) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		38,821
**Fenol Tayini *	SM 5530 B, SM 5530 D		<0,1
*Alüminyum (Al) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		2826,648
*Krom (VI) Tayini	SM 3500-Cr B		6,3
*Gümüş (Ag) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		3,409
*Kurşun (Pb) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		16,105
*Nikel (Ni) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		40,899
*Civa (Hg) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		0,803
*Toplam Siyanür Tayini	SM 4500-CN C SM 4500-CN E		0,97
*Kadmiyum (Cd) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		2,363
*Arsenik (As) Tayini	SM 3030 K, EPA 6020 A		3,095
*Toplam Azot Tayini	SM 4500-NO2 - B, TS 6231, SM 4500-Norg B, İşletme içi		4890,9
*Fosfor (P) Tayini	SM 3030 K, TS EN ISO 17294 1-2		878,451
*Amonyum/Amonyum Azotu Tayini	SM 4500 -NH3 B, SM 4500 -NH3 C		4676

Tablo 4.11. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-1 (akredite laboratuvar-2)

ANALİZLER	Birim	SONUÇLAR	Analiz Şekli
Toplam Organik Karbon(TOC)	%	20,04	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Toplam Azot	%	1,72	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	2820,50	Süzüntüden yapıldı
Cl	ppm	6625,05	Süzüntüden yapıldı
SO4	ppm	157,02	Süzüntüden yapıldı
C/N Oranı	-	11,65	

Tablo 4.12. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-2 (akredite laboratuvar-2)

ANALİZLER	Birim	SONUÇLAR	Analiz Şekli
Toplam Organik Karbon(TOC)	%	21,14	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Toplam Azot	%	1,82	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	2451,00	Süzüntüden yapıldı
Cl	ppm	6894,85	Süzüntüden yapıldı
SO4	ppm	222,55	Süzüntüden yapıldı
C/N Oranı	-	11,62	

Tablo 4.13. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-3 (akredite laboratuvar-2)

ANALİZLER	Birim	SONUÇLAR	Analiz Şekli
Toplam Organik Karbon(TOC)	%	22,13	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Toplam Azot	%	1,79	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	1695,50	Süzüntüden yapıldı
Cl	ppm	4914,66	Süzüntüden yapıldı
SO4	ppm	201,97	Süzüntüden yapıldı
C/N Oranı	-	12,36	

Tablo 4.14. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-4 (akredite laboratuvar-2)

ANALİZLER	Birim	SONUÇLAR	Analiz Şekli
Toplam Organik Karbon(TOC)	%	21,84	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Toplam Azot	%	1,79	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	3743,00	Süzüntüden yapıldı
Cl	ppm	6622,19	Süzüntüden yapıldı
SO4	ppm	218,23	Süzüntüden yapıldı
C/N Oranı	-	12,20	

Tablo 4.15. Fermente sıvı ağır metal analiz sonucu-5 (akredite laboratuvar-2)

ANALİZLER	Birim	SONUÇLAR	Analiz Şekli
Toplam Organik Karbon(TOC)	%	22,68	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Toplam Azot	%	2,24	Kurutulmuş numune üzerinden yapıldı
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	2849,50	Süzüntüden yapıldı
Cl	ppm	6205,34	Süzüntüden yapıldı
SO4	ppm	121,24	Süzüntüden yapıldı
C/N Oranı	-	10,13	

Fermente sıvı (FS) içeren sulama sularının FS içeriği %2,5, %10, %25, %50 ve %100 olarak belirlenmiştir ve ek olarak kör numune ile sulama yapılmıştır. Sulama bitkilerin su ihtiyacına göre yapılmıştır. Besin ve su dengesi büyümeyi etkileyeceği için bütün bitkilere aynı gün sulama yapılmıştır. 23.07.2020-20.10.2020 tarihleri arasında yapılan deneylerde Tablo 4.15. ile belirtilen fermente sıvı miktarları beherlere alındıktan sonra üzerleri 400 ml su ile tamamlanarak besin karışımı oluşturulmuştur. Fermente sıvı konsantrasyonu yüksek olduğunda (%50, %100) olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına istinaden 05.08.2020 tarihinde FS oranı %2,5 olacak şekilde yeni bir bitki deney setine eklenmiştir.

Tablo 4.16. Fermente sıvı sulama suyu içerik bilgileri

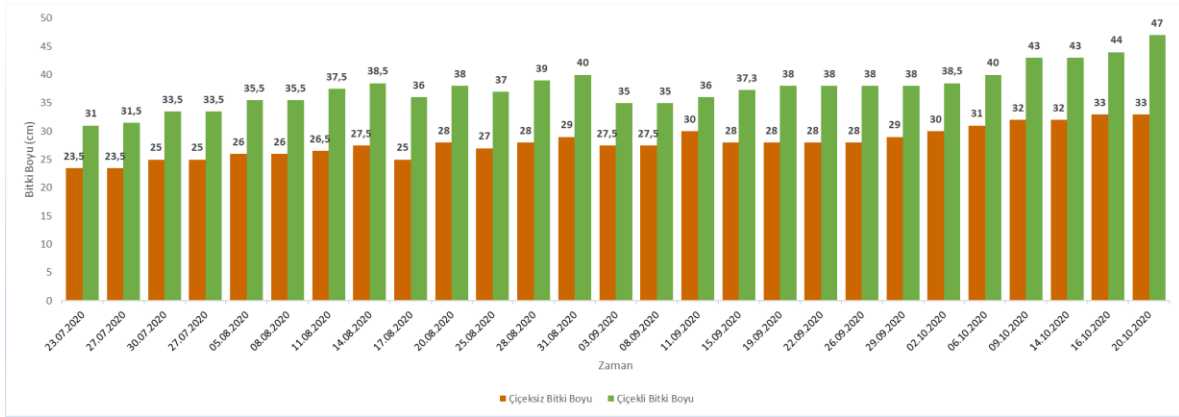
Su ve FS Oranları							
	Kör	%2,5	%5	%10	%25	%50	%100
Su	400 ml	400 ml olacak şekilde tamamlama yapıldı.					
FS	0	10 mg	20 mg	40 mg	100 mg	200 mg	400 ml

FS %100 geçirimsiz tabaka oluşturduğu için sulama yapılamamıştır. Fermente sıvının katı içeriği nedeniyle geçirimsiz tabaka oluşmaktadır. Bu nedenle toprak tarafından emilim sağlanamamakta ve sulama yapılamamaktadır. Görsel 4.8. ile gösterildiği üzere fermente sıvı ile 95, 150, 250, 750, 1000, 1800 µm elek ile deneyler yapılmıştır. Bu deney ile geçirimsiz tabakanın oluştuğuna dair partiküller net olarak gözükmemektedir.

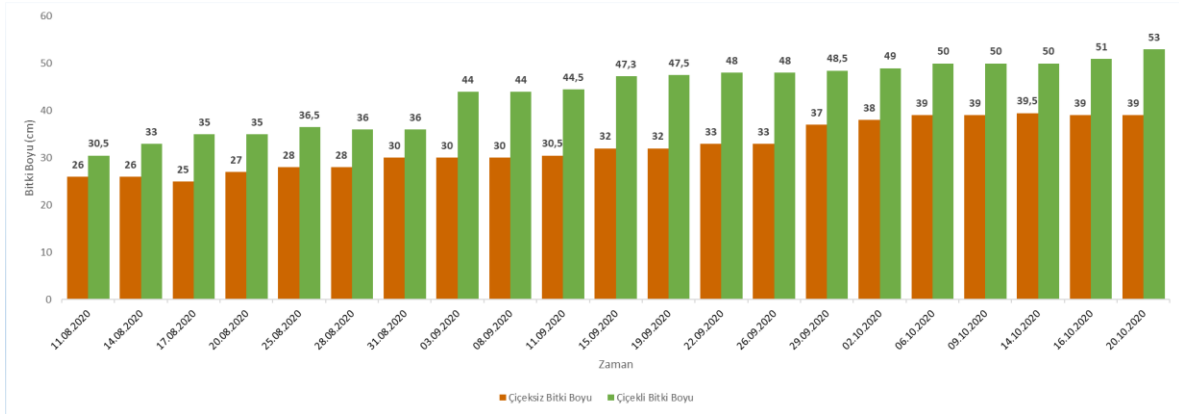


Görsel 4.8. Fermente sıvı elek deneyleri

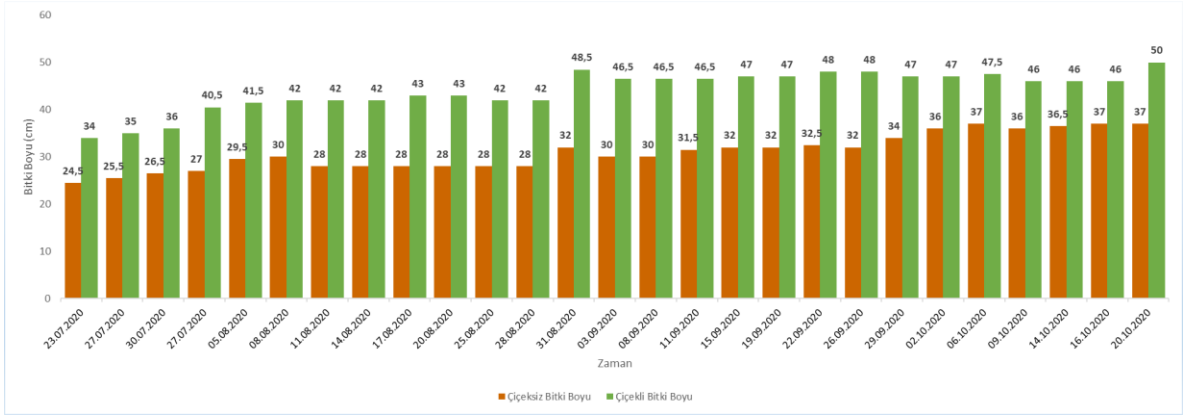
Yapılan sulama suyunun besin, sulama miktarları ve bitki boyları tarih sırası Ek-3 içerisinde verilmiştir 23.07.2020-20.10.2020 tarihleri arasında yapılan ilk deney setinde elde edilen değerlere istinaden besin-bitki boyu ilişkisi grafiklerde verilmiştir. Şekil 4.23., Şekil 4.24., Şekil 4.25., Şekil 4.26., Şekil 4.27. ve Şekil 4.28. ile bitkilerin büyüme boyu gösterilmiştir. Şekil 4.29., Şekil 4.30., Şekil 4.31., Şekil 4.32., Şekil 4.33., Şekil 4.34. ile büyüme oranına ait grafikler verilmiştir. Grafiklerde de görüleceği gibi ilk deney seti sonucunda %10, %25, %50 ile beslenen bitkilerde ölüm gerçekleşmiştir.



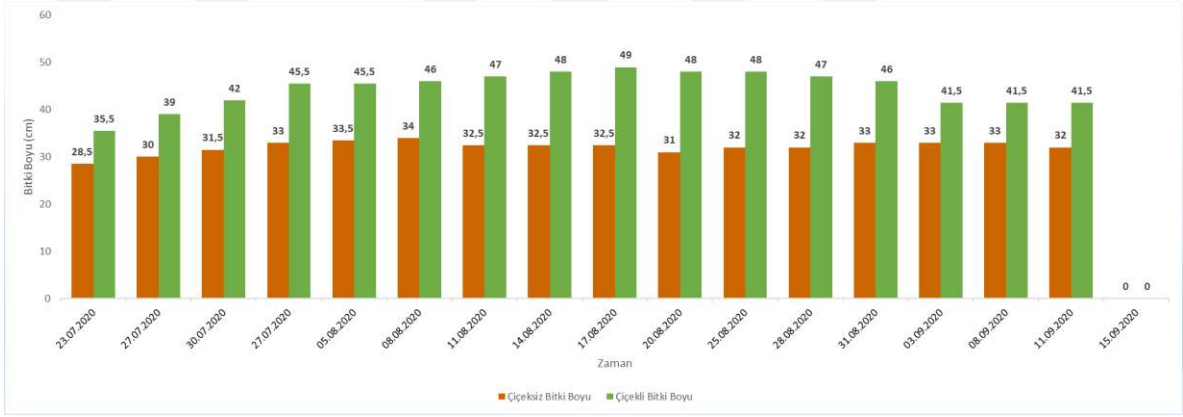
Şekil 4.23. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS kör)



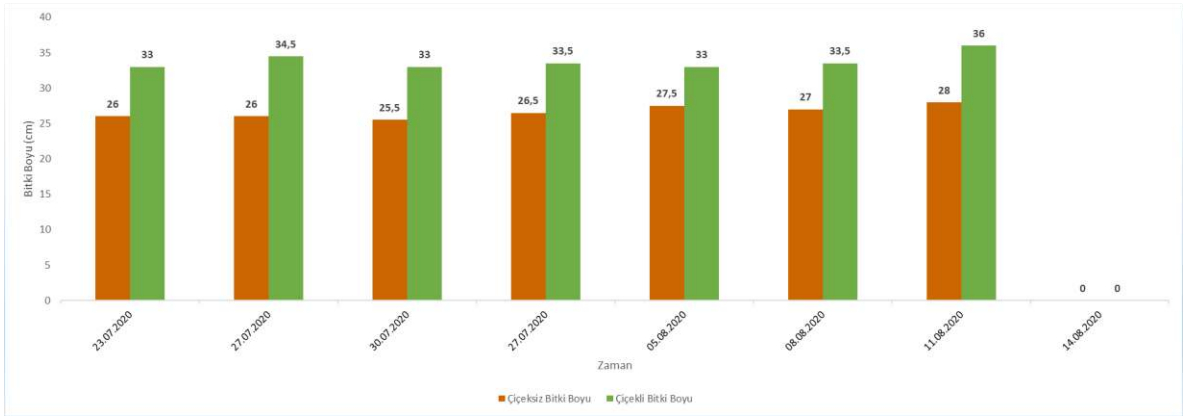
Şekil 4.24. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %2,5)



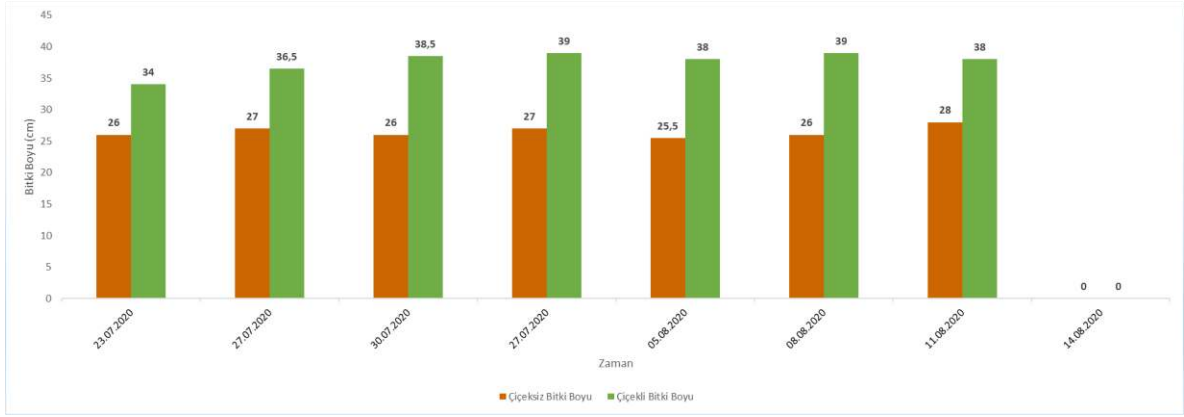
Şekil 4.25. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %5)



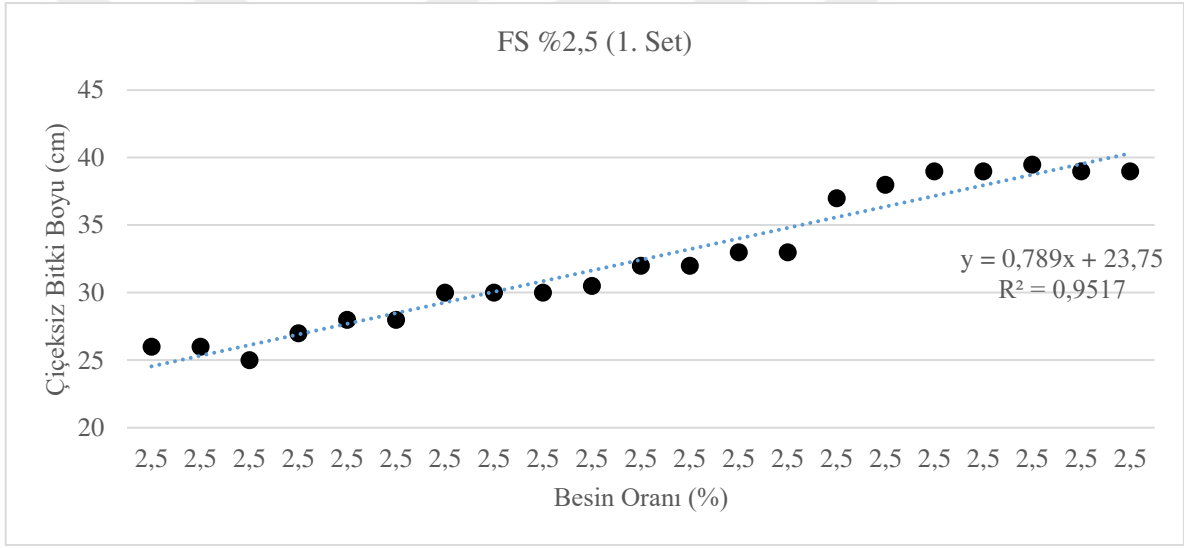
Şekil 4.26. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %10)



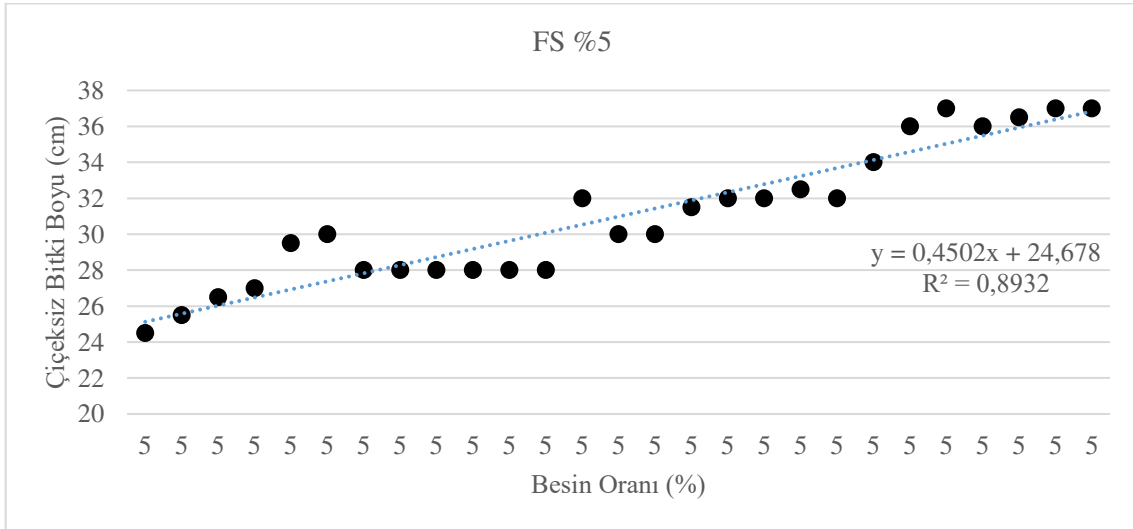
Şekil 4.27. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %25)



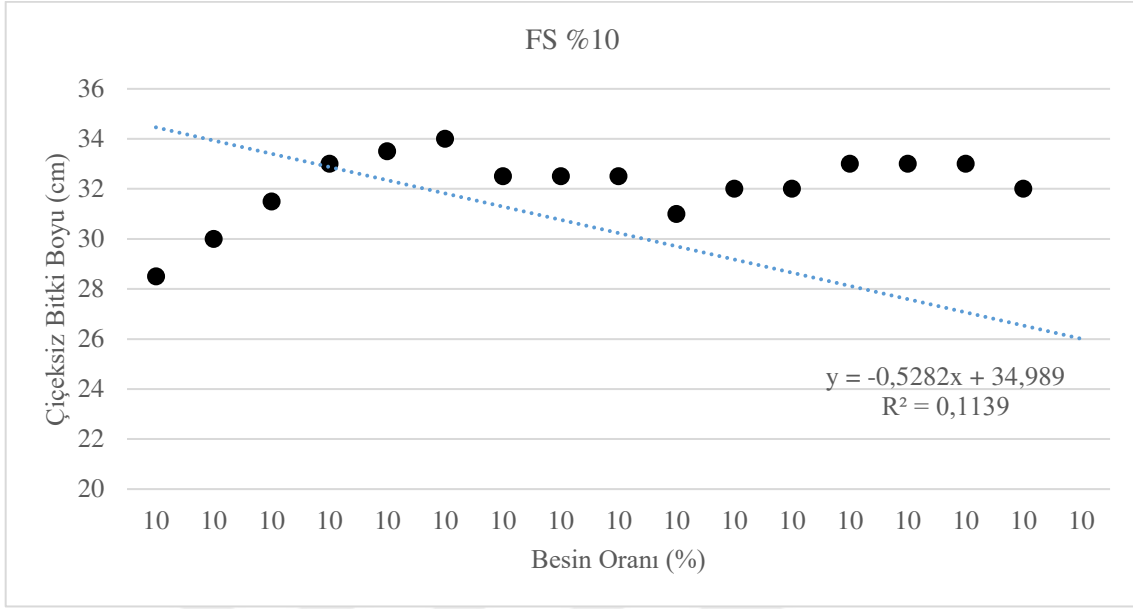
Şekil 4.28. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ilk set-FS %50)



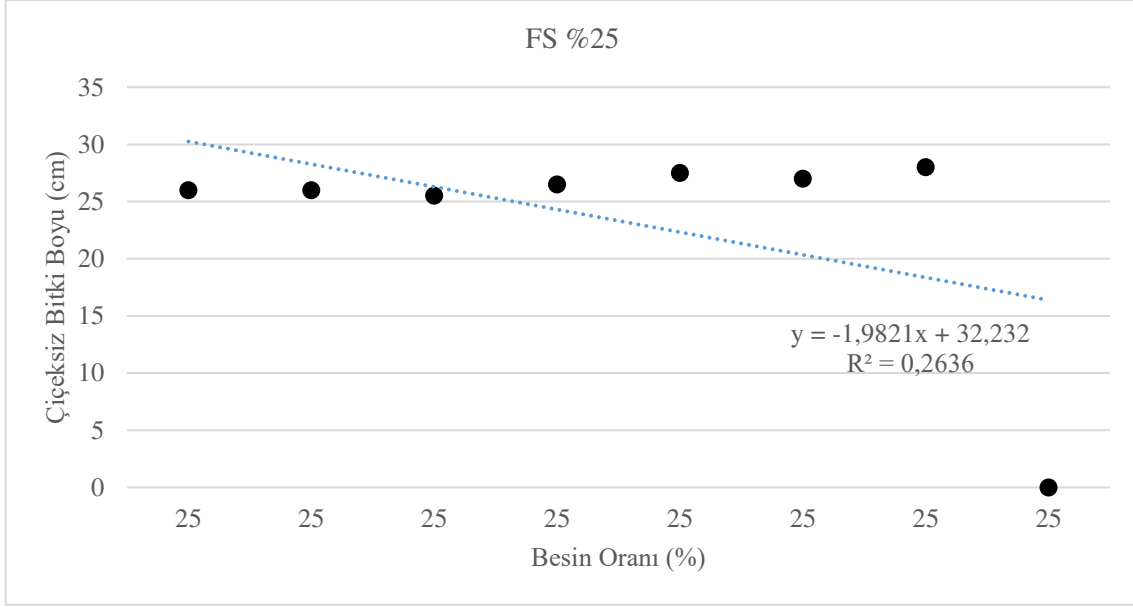
Şekil 4.29. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %2,5)



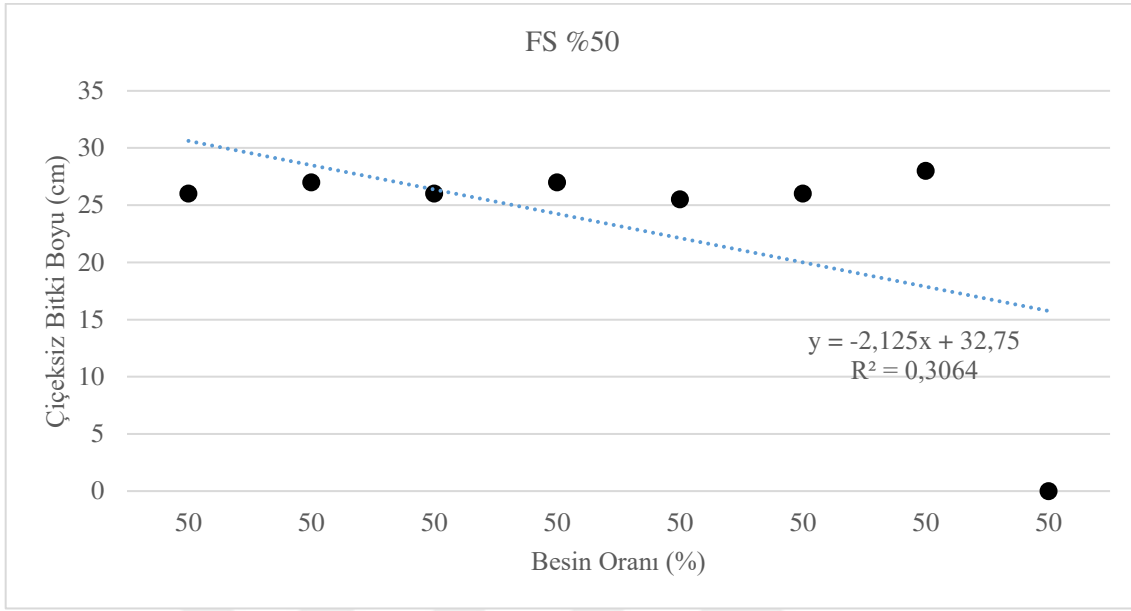
Şekil 4.30. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %5)



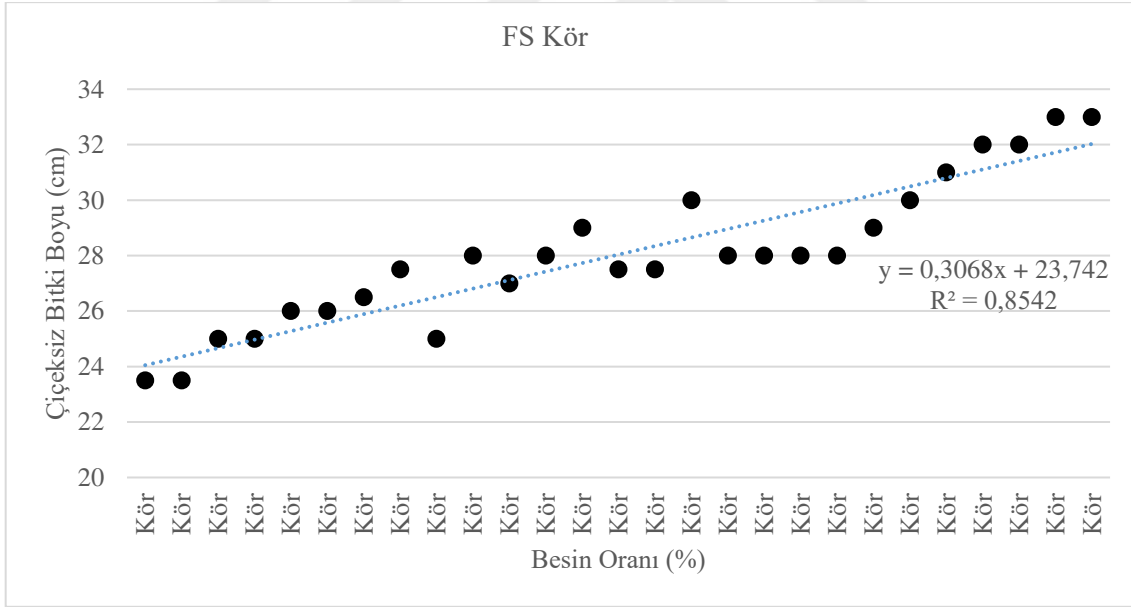
Şekil 4.31. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %10)



Şekil 4.32. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %25)



Şekil 4.33. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS %50)



Şekil 4.34. Büyüme oranına ait grafik (ilk set-FS Kör)

FS %50, FS %25, FS %10 derişimi ile beslenen bitkilerde ölüm gerçekleşmiştir. Kör, FS %5 ve FS %2,5 çalışmalarına baktığımızda ise R^2 değerinin FS %2,5 çalışmasında daha yüksek olduğu, büyümenin daha iyi olduğu görülmüştür.

Tablo 4.17 Bitki ölüm süreleri (Fermente Sıvı-ilk set)

Numune	Oran (Yüzde)	Deneyin Başladığı Tarih	Ölümün Gerçekleştiği Tarih	Geçen Süre (Gün)
FS	Kör	23.07.2020	-	-
FS	2,5	11.08.2020	-	-
FS	5	23.07.2020	-	-
FS	10	23.07.2020	15.09.2020	54
FS	25	23.07.2020	14.08.2020	22
FS	50	23.07.2020	14.08.2020	22

Tablo 4.16. içerisinde de belirtildiği gibi %10 oranında besin verilmiş olan bitkide 54 gün, %25 ve %50 oranında besin verilmiş olan bitkide 22 gün sonunda ölüm gerçekleşmiştir. Deney başlangıç, sırası ve deney setinin sonlanması ile ilgili fotoğraflar Görsel 4.9., Görsel 4.10. ve Görsel 4.11. ile verilmiştir.



Görsel 4.9 İlk set başlangıç (Fermente sıvı)



Görsel 4.10 İlk set ilerleme (Fermente sıvı)



Görsel 4.11 İlk set sonlandırma (Fermente sıvı)

İlk set deneyi sonucunda yaşayan bitkilerin altında biriken su toplanarak Görsel 4.12. ile belirtilen koşullu ortamda (+4°C) saklanmıştır. Örnekler 0,45 µm elekten geçirilerek ICP-OES ile akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz ile verilen besinin süzülerek suya geçen miktarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.17. ile gösterilmiştir.



Görsel 4.12. Koşullu ortam

Tablo 4.18. Fermente sıvı ile sulanan bitkilere ait toplanan su analiz değerleri

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		FS 2,5	FS 5	FS 10	KÖR
Bor	ppm	0,30	0,45	0,54	0,08
Baryum	ppm	0,05	0,07	0,05	0,02
Kalsiyum	ppm	102,00	223,00	131,00	54,60
Demir	ppm	0,88	0,53	0,45	0,03
Magnezyum	ppm	27,35	69,45	60,25	17,05
Mangan	ppm	0,17	0,13	0,09	0,04
Nikel	ppm	0,04	0,05	0,06	0,03
Silisyum	ppm	4,91	6,04	1,11	4,77
Çinko	ppm	0,09	0,08	0,11	0,01
Klor	ppm	105,82	346,77	509,20	18,48
Sülfat	ppm	136,60	402,32	310,83	5,76
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	157,30	194,00	200,30	21,21

Kükürt deneylerinde yapıldığı şekilde deney sonunda bitki topraktan çıkarılmış, bitki ve toprağın nemi uzaklaştırılarak susuzlaştırma işlemi yapılmıştır. Nem uzaklaştırıldıktan sonra toprak ve yaprak ayrı ayrı kırıcıdan geçirilerek 4 mm elekten geçirilmiştir. Elek altında kalan numuneden örnek alınarak mikrodalga cihazında asitle özütlenme sağlanarak, kral suyu ile parçalama yapılmış ve ICP-OES cihazında akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.18. ve Tablo 4.19. ile deney sonuçları verilmiştir. Bu deney ile toprak ve yaprakta biriken element miktarı belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 4.19. Katı mikrodalga analizleri-Toprak

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Toprak FS %2,5	Toprak %FS 5	Toprak %FS 10	Toprak KÖR
Bor	mg/kg	35,7	36,5	27,1	28,4
Baryum	mg/kg	159	162	119	138
Kalsiyum	mg/kg	35700	37000	25000	34700
Krom	mg/kg	77	113	65,4	64,3
Demir	mg/kg	29500	26900	20400	26000
Magnezyum	mg/kg	22900	21800	18200	21300
Mangan	mg/kg	611	550	447	563
Nikel	mg/kg	139	162	104	98,5
Kükürt	mg/kg	4280	2600	1870	2530
Silisyum	mg/kg	1370	2110	472	1120
Çinko	mg/kg	86,2	93,8	71,7	65,3

Tablo 4.20. Katı mikrodalga analizleri-Yaprak

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Yaprak FS %2,5	Yaprak FS %5	Yaprak FS %10	Yaprak KÖR
Bor	mg/kg	44,4	33,4	34,7	29,1
Baryum	mg/kg	151	37	48,8	31
Kalsiyum	mg/kg	27000	23000	25500	23900
Krom	mg/kg	45,3	24	19,6	30,1
Demir	mg/kg	19500	2070	2660	7160
Magnezyum	mg/kg	9370	5180	5300	7760
Mangan	mg/kg	323	63,8	129	157
Nikel	mg/kg	59,4	13,8	16,4	28
Kükürt	mg/kg	4070	3270	4010	2430
Silisyum	mg/kg	1470	2770	934	844
Çinko	mg/kg	90,3	88,1	92,5	35,1

İlk deney seti sonunda bitki topraktan ayrılarak toprak ve yaprak ayrı şekilde su içinde tutularak çözünmesi sağlanmıştır. Numune 45µm elekten geçirilerek ICP-OES cihazına gönderilmiştir ve akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.20. ve Tablo 4.21. ile gösterilmektedir.

Tablo 4.21. Katı-Sıvı Eluat-Toprak

Yapılan Analizler	Biri m	Numune Adı			
		Toprak FS %2,5	Toprak %FS 5	Toprak %FS 10	Toprak KÖR
Bor	ppm	0,24	0,37	0,39	0,15
Baryum	ppm	0,07	0,07	0,05	0,06
Kalsiyum	ppm	215,00	142,50	102,50	99,50
Bakır	ppm	0,03	0,04	0,04	0,07
Demir	ppm	0,08	0,13	0,23	0,28
Magnezyum	ppm	48,40	32,10	30,35	29,95
Mangan	ppm	0,25	0,19	0,14	0,18
Molibden	ppm	0,03	0,02	0,04	0,03
Nikel	ppm	0,02	0,02	0,03	0,03
Kükürt	ppm	224,00	112,50	72,80	99,80
Silisyum	ppm	11,90	11,15	10,95	13,10
Çinko	ppm	0,09	0,09	0,13	0,28
Klor	ppm	35,13	61,84	150,84	9,26
Sülfat	ppm	723,27	348,39	675,51	309,19
Nem	%	9,46	8,79	10,25	5,22
Kuru Madde	%	90,54	91,21	89,75	94,78

Tablo 4.22. Katı-Sıvı Eluat-Yaprak

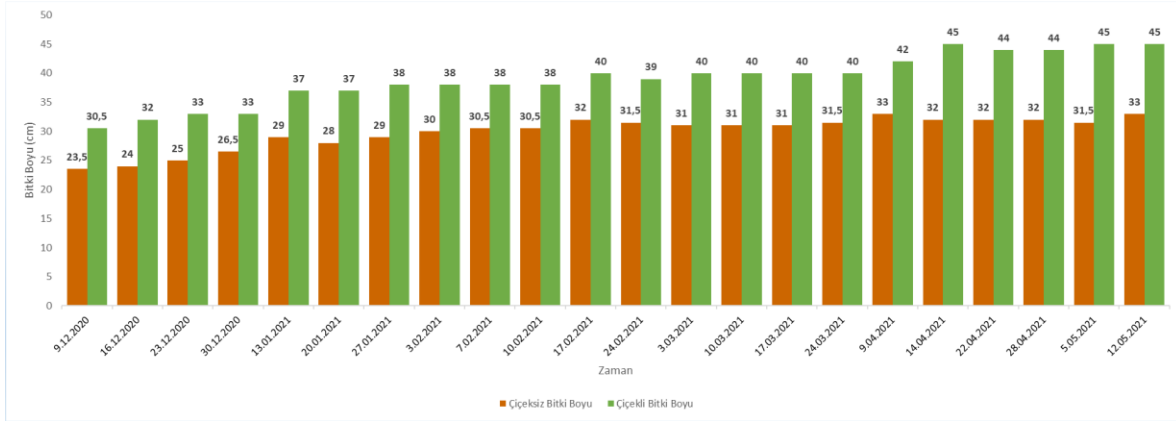
Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı			
		Yaprak FS 2,5	Yaprak FS 5	Yaprak FS 10	Yaprak KÖR
Bor	ppm	0,47	0,86	0,70	0,40
Baryum	ppm	0,22	0,16	0,27	0,27
Kalsiyum	ppm	244,50	192,00	421,50	246,00
Bakır	ppm	0,20	0,40	0,43	0,21
Demir	ppm	0,15	0,25	0,17	0,28
Magnezyum	ppm	208,00	270,50	326,50	254,50
Mangan	ppm	0,51	0,37	2,16	1,92
Molibden	ppm	0,03	0,14	0,03	0,04
Nikel	ppm	0,34	0,32	0,35	0,23
Kükürt	ppm	210,50	205,00	255,50	128,00
Silisyum	ppm	15,75	14,15	7,08	6,52
Çinko	ppm	1,45	2,57	2,87	1,05
Klor	ppm	481,47	1185,77	1326,18	260,31
Sülfat	ppm	572,19	488,09	675,51	314,2
Nem	%	9,46	8,79	10,25	5,22
Kuru Madde	%	90,54	91,21	89,75	94,78

İlk deney setinde yüksek konsantrasyon ile beslenen bitkilerinin ölümünün gerçekleşmesi ile besin yüzdeleri düşürülerek ikinci deney seti başlatılmıştır. Sulama sularının fermente sıvı içeriği %0,25, %0,5, %1 olarak belirlenmiştir ve ek olarak kör numune ile sulama yapılmıştır. Sulama bitkilerin su ihtiyacına göre yapılmıştır. 09.12.2020-12.05.2021 tarihleri arasında yapılan deneylerde Tablo 4.22. içerisinde belirtilen fermente sıvı miktarları beherlere alındıktan sonra üzerleri 400 ml su ile tamamlanarak besin karışımı oluşturulmuştur.

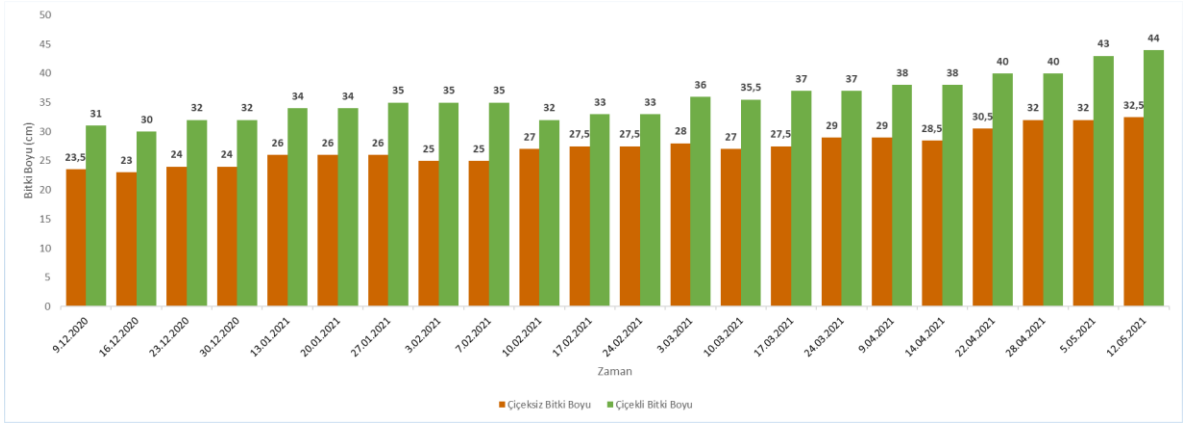
Tablo 4.23. Fermente sıvı sulama suyu içerik bilgileri-İkinci set

Su ve FS Oranları					
	Kör	0,25 %	0,50 %	1 %	2,50 %
Su	400 ml	400 ml olacak şekilde tamamlama yapıldı.			
FS	0	1 mg	2 mg	4 mg	10 mg

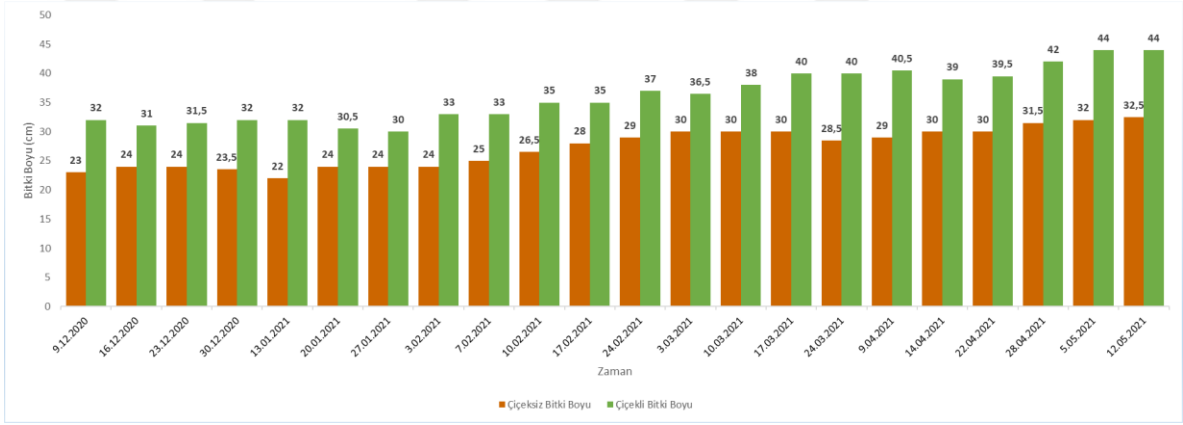
Yapılan sulama suyunun besin, sulama miktarları ve bitki boyları tarih sırası Ek 4 içerisinde verilmiştir. 23.07.2020-20.10.2020 tarihleri arasında yapılan ilk deney setinde elde edilen değerlere istinaden besin-bitki boyu ilişkisi grafiklerde verilmiştir. Şekil 4.35., Şekil 4.36., Şekil 4.37., Şekil 4.38. ile bitki boylarının büyüme grafikleri verilmiştir. Şekil 4.39., Şekil 4.40., Şekil 4.41., Şekil 4.42., Şekil 4.43. ile büyüme oranına ait grafikler verilmiştir.



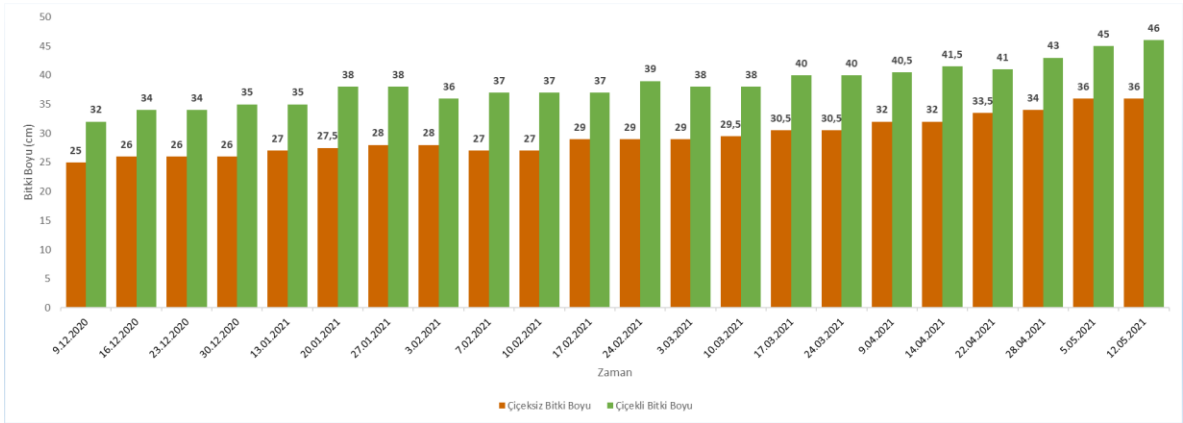
Şekil 4.35. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-kör)



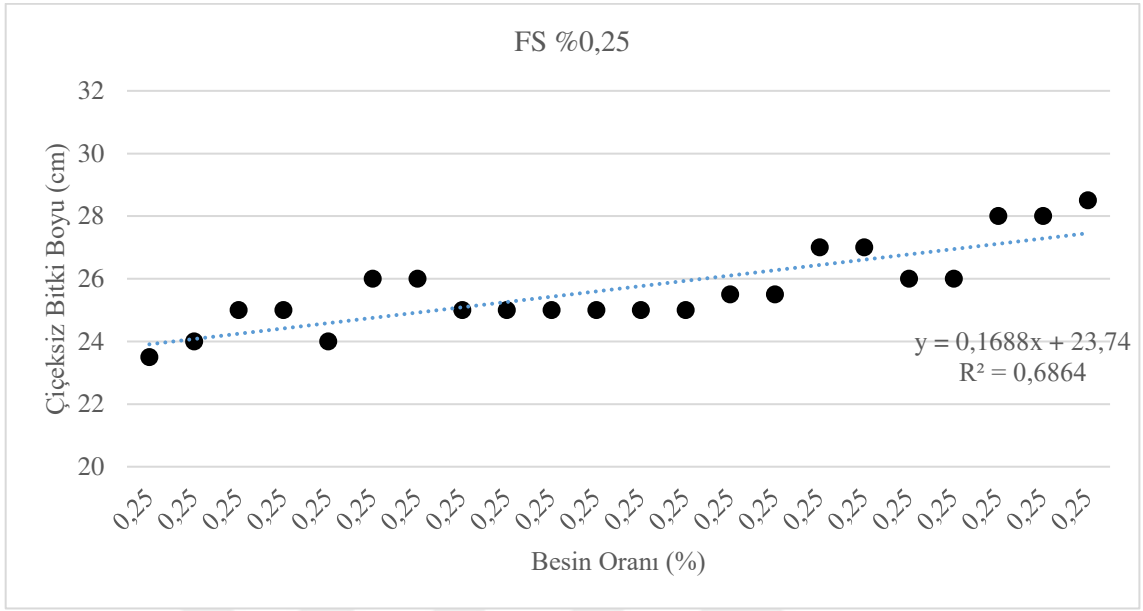
Şekil 4.36. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-%0,25)



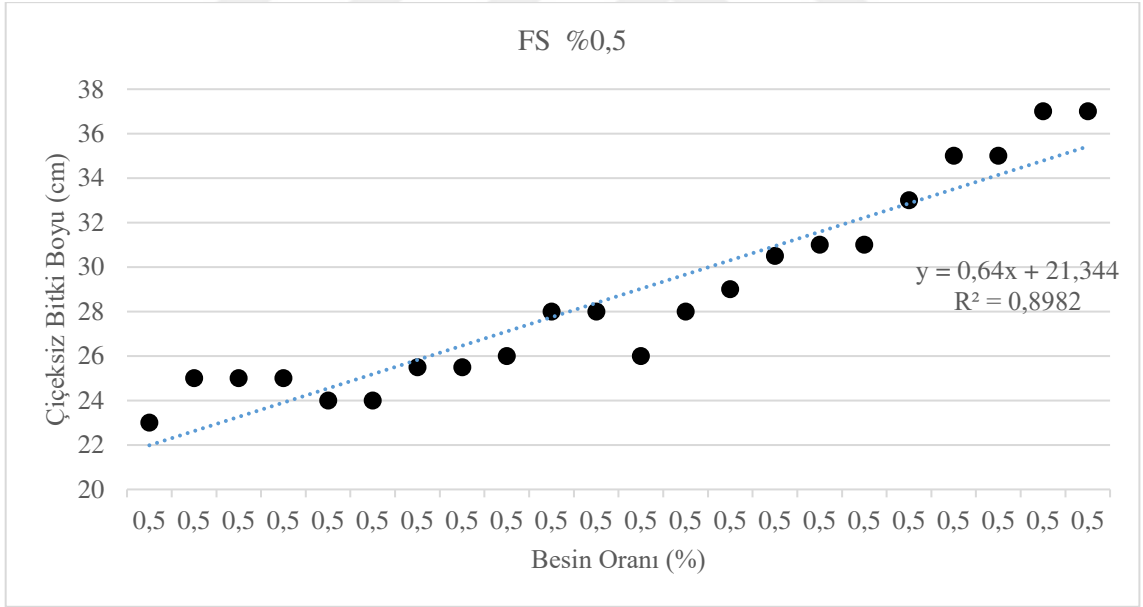
Şekil 4.37. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-%0,5)



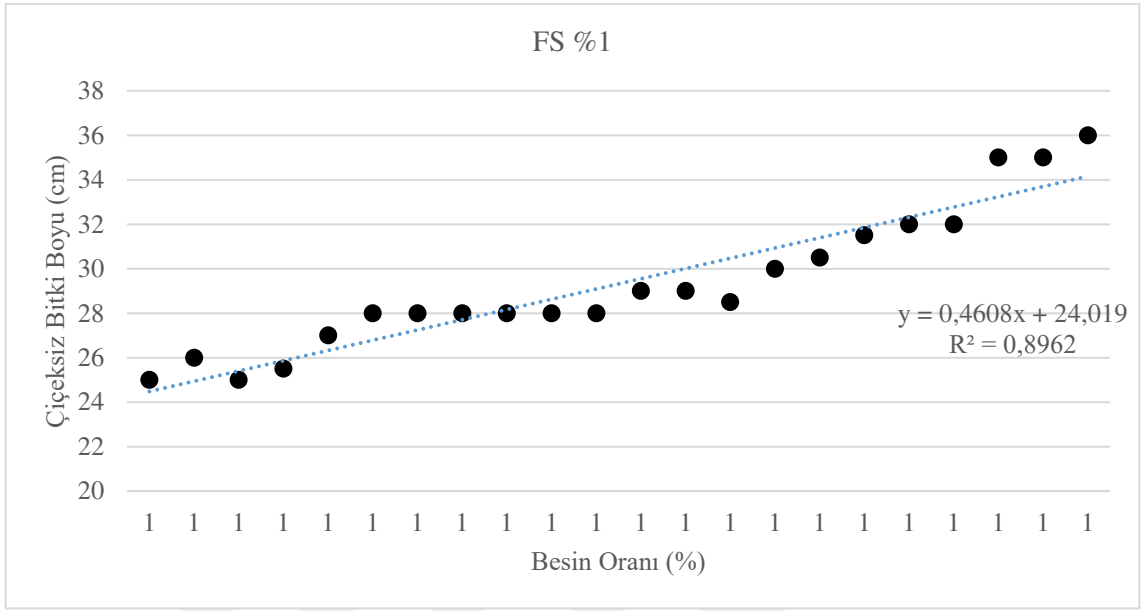
Şekil 4.38. Fermente Sıvı-Bitki boyu ilişkisine ait grafik (ikinci set-%1)



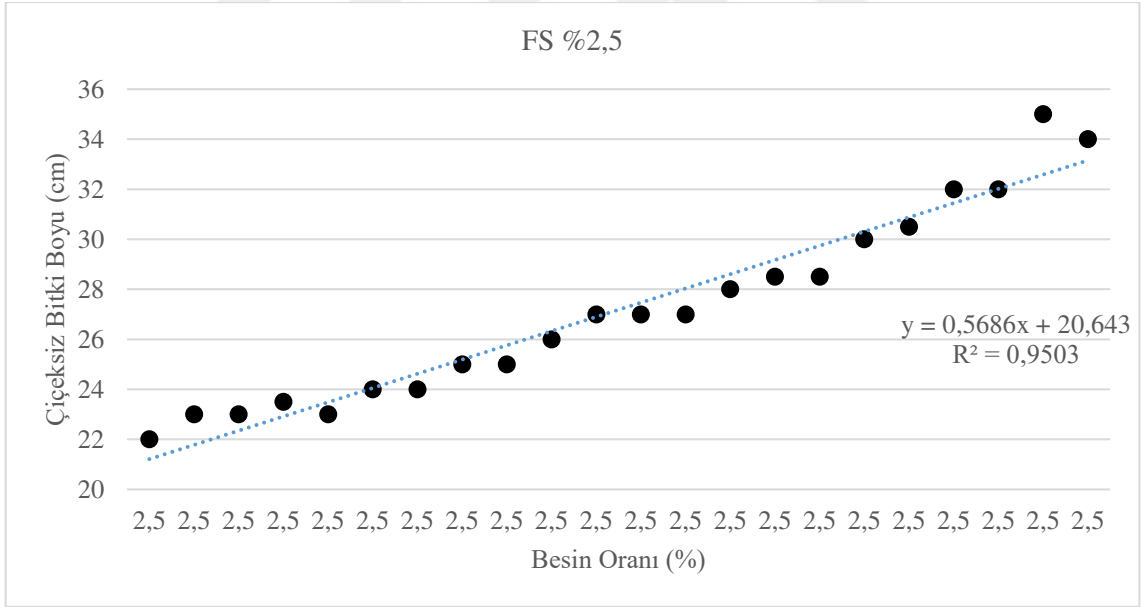
Şekil 4.39. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %0,25)



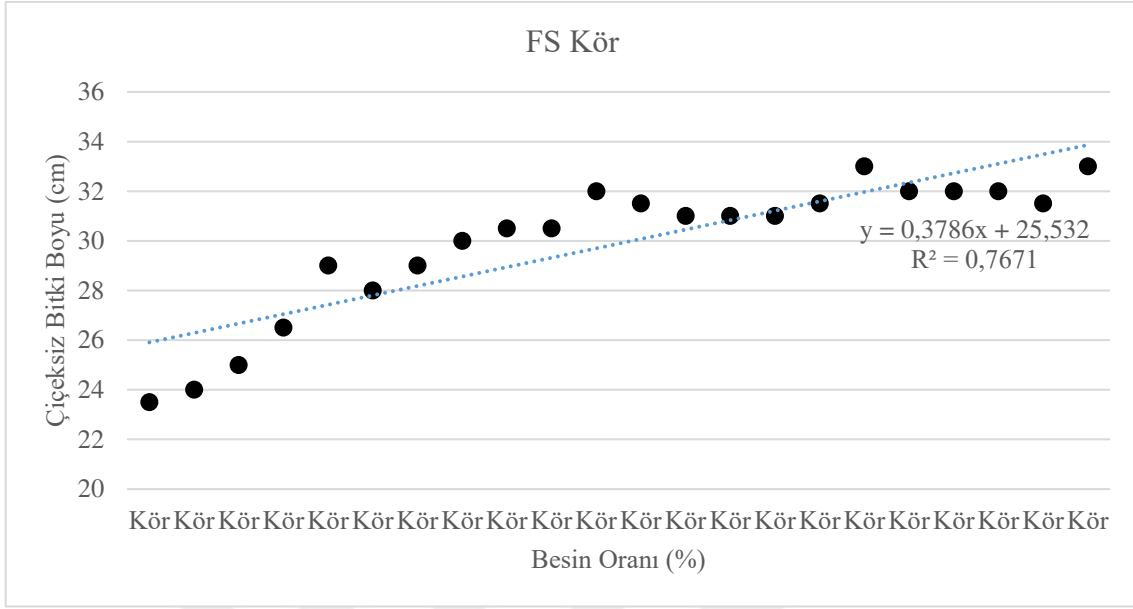
Şekil 4.40. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %0,5)



Şekil 4.41. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %1)



Şekil 4.42. Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS %2,5)



Şekil 4.43. *Büyüme oranına ait grafik (ikinci set-FS k r)*

R^2 değerlerine bakarak en iyi büyümenin FS %2,5 değişimi ile olduğunu görülmektedir. Ayrıca FS %2,5 deneyinde 1. Set deneyler ile sonuçların yakınlık gösterdiği görülmüştür. İkinci deney setine ait deney başlangıç ve ilerleme ile ilgili fotoğraflar Görsel 4.13. ve 4.14. ile gösterilmiştir.



Görsel 4.13. *İkinci set başlangıç (FS)*



Görsel 4.14. İkinci set ilerleme (FS)

İkinci deney seti sonucunda yaşayan bitkilerin altında biriken su toplanarak koşullu ortamda (+4°C) saklanmış ve 0,45 µm elekten geçirilerek ICP-OES ile akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar Tablo 4.23. ile gösterilmiştir.

Tablo 4.24. Fermente sıvı ile sulanan bitkilere ait toplanan numune analiz değerleri

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı				
		Kör	FS 0,25	FS 0,50	FS 1	FS 2,5
Baryum	ppm	0,039	0,037	0,031	0,051	0,041
Kalsiyum	ppm	200	108	52	58,40	83
Krom	ppm	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Bakır	ppm	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015
Potasyum	ppm	21,60	28,10	38,90	87,30	30,60
Demir	ppm	0,020	0,048	0,157	0,157	0,081
Magnezyum	ppm	47,20	38,30	22,30	23,00	25,20
Mangan	ppm	0,060	0,070	0,174	0,098	0,918
Nikel	ppm	<0,040	0,046	<0,040	<0,040	0,045
Sodyum	ppm	19,30	22,50	27,90	53,60	22,70
Kükürt	ppm	259,00	131,00	49,30	34,10	71,10
Silisyum	ppm	6,52	3,49	3,21	3,91	2,94
Stronsiyum	ppm	0,555	0,346	0,250	0,296	0,295
Çinko	ppm	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	0,063
Klorür	ppm	5,33	16,64	33,75	79,34	82,77
Sülfat	ppm	839,99	365,60	211,60	130,66	289,77
Çözünmüş Organik Karbon	ppm	32,15	23,87	22,56	23,69	75,20
TKN	ppm	1,68	-	-	-	-

İlk deney setinde olduğu gibi ikinci deney sonunda da bitki topraktan ayrılarak bitki ve toprağın nemi uzaklaştırılmış, susuzlaştırma işlemi yapılmıştır. Nem uzaklaştırıldıktan sonra toprak ve yaprak ayrı ayrı kırıcıdan geçirilerek 4 mm elekten geçirilmiştir. Elek altında kalan numuneden örnek alınarak mikrodalga cihazında asitle özütlenme sağlanarak, kral suyu ile parçalama yapılmış ve ICP-OES cihazında akredite laboratuvar tarafından elementel analiz gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.24. ve Tablo 4.25. ile sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.25. Katı mikrodalga analizleri-Toprak

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı				
		Toprak Kör	Toprak FS 0,25	Toprak FS 0,50	Toprak FS 1	Toprak FS 2,5
Baryum	mg/kg	151	168	134	148	246
Kalsiyum	mg/kg	44600	48500	46200	47000	78600
Kobalt	mg/kg	22,30	20,50	22,30	20,00	27,20
Krom	mg/kg	108	109	95,1	77	180
Bakır	mg/kg	47,40	60,00	57,90	72,20	89,30
Demir	mg/kg	30600	29000	27800	29000	36900
Potasyum	mg/kg	5960	5970	4440	4910	9580
Magnezyum	mg/kg	22100	20700	29100	21200	30600
Mangan	mg/kg	651	694	788	696	917
Sodyum	mg/kg	4290	4030	3380	4260	5930
Nikel	mg/kg	199	179	275	166	333
Kükürt	mg/kg	7000	6790	6380	7740	21300
Silisyum	mg/kg	918	2240	422	839	1230
Stronsiyum	mg/kg	302	236	231	278	420
Çinko	mg/kg	79,6	88,50	86,8	102	167
Titanyum	mg/kg	1600	1620	1190	1570	2080
Vanadyum	mg/kg	91,5	95,4	70,8	83,3	107

Tablo 4.26. Katı mikrodalga analizleri-Yaprak

Yapılan Analizler	Birim	Numune Adı				
		Yaprak Kör	Yaprak FS 0,25	Yaprak FS 0,50	Yaprak FS 1	Yaprak FS 2,5
Baryum	mg/kg	20,8	25,5	23,7	22,7	40,5
Kalsiyum	mg/kg	18500	20300	20800	19200	26000
Kobalt	mg/kg	<2,00	<2,00	<2,00	10,30	<2,00
Krom	mg/kg	10,1	<2,00	11,3	12,9	17,3
Bakır	mg/kg	27,90	70,10	99,10	<2,00	<2,00
Demir	mg/kg	2400	739	1820	1990	3960
Potasyum	mg/kg	24400	28000	27500	24000	23400
Magnezyum	mg/kg	4770	3610	5200	4160	6500
Mangan	mg/kg	152	164	205	212	223
Sodyum	mg/kg	1210	1590	2150	2250	3700

Tablo 4.27. (Devam) Katı mikrodalga analizleri-Yaprak

Nikel	mg/kg	27,9	11,8	21,9	21,5	34,7
Kükürt	mg/kg	4240	3350	4580	4810	4520
Silisyum	mg/kg	2490	1220	1960	1530	1640
Stronsiyum	mg/kg	69,1	73,1	77,5	65,6	107
Çinko	mg/kg	46,2	39,40	55,3	44	60,3
Titanyum	mg/kg	193	38,8	106	102	272
Vanadyum	mg/kg	12,1	8,95	12,9	9,91	15
TKN	%	7,05	-	-	-	-
Nem	%	67,82	69,00	68,20	73,98	71,21
Kuru Madde	%	32,18	31,00	31,80	26,02	28,79
Toplam Organik Karbon	%	40,85	41,77	40,39	32,77	28,05

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde sera ve kontrollü iklim koşullarında yürütülen denemeler sonucunda farklı fermente sıvı ve kükürt içerikli besin sularının bitkilerin verimlerinde ve biyobirikimlerinde değişimlere neden olduğu görülmüştür. Bu değişimlerin derecesi denemede yetiştirilen çeşitlere ve uygulama dozlarına göre farklılık göstermektedir.

Toprağa uygulanan kükürt içerikli bitki besininin yüksek konsantrasyonlarda geçirimsizlik oluşturması sebebi ile verimli olmadığı, düşük konsantrasyonlarda ise besin eklenmemiş su ile sulanmasının da aynı büyüme değerlerini gösterdiği gözlemlenmiştir. Düşük konsantrasyonlarda kullanılmasının herhangi bir zararının olmadığı ancak herhangi olumlu bir etkisinin de olmadığı yapılan deneyler ile tespit edilmiştir. Ayrıca ilk deney setinde hayatta kalan bitkilerde (Kör, %1) kükürtün ağır metal konsantrasyonlarını tuttuğu görülse bile ikinci deney setine ve genele baktığımızda bu yorum doğru olmayacaktır.

Sera koşullarında gerçekleştirilen bu çalışmada çıkan elementel analizler sonucunda kükürt noksanlığı mevcut olan topraklarda biyometanizasyon tesislerinde oluşan kükürtün bitki besini olarak kullanılması ile kükürt eksiliğinden kaynaklanan verim kayıplarının önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Ancak benzer çalışmaların farklı koşullarda (nem, hava, rüzgâr vb.) da yapılması ile bitki dayanıklılığının test edilmesi yararlı olacaktır. Kükürt besinin verilmesi ile bitkilerin kükürtün toprakta asit etkisi yapması sonucu toprak pH'ının düşmesi ile özellikle sodyum değerinin toprakta azaldığı, bitkiler tarafından alınabilirliğinin arttığına ulaşılmıştır.

Toprağa uygulanan fermente sıvının yüksek konsantrasyonlarda geçirimsizlik oluşturması sebebi ile verimli olmadığı, düşük konsantrasyonlarda ise besin eklenmemiş sudan daha iyi bir büyüme etkisi gösterdiği gözlemlenmiştir. En iyi büyümenin %2,5 fermente sıvı içeren sulama suyunda olduğu görülmüş olup aynı zamanda bitkiler için gerekli olan Ca, Mg, S, Zn değerlerinin arttığı analizler sonucunda tespit edilmiştir.

Fermente sıvının bitki besini olarak kullanılması ile Ca, Mg, S, Zn noksanlığından kaynaklı verim kayıplarının, bitkilerde oluşan hastalıkların önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Bu yöntem sayesinde endüstriyel simbiyoz sağlanacaktır ve biyometanizasyon tesislerinden çıkan fermente sıvı besin olarak kullanılabilir. Bu şekilde ekonomik kazanç, çevresel fayda, bitkilerin yetiştirilmesi sürecinde verimlilik artışı oluşacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] F. Avcı, *Belediye Katı Atıklarının Termal Yöntemlerle Bertarafı Teknolojik ve Ekonomik İncelenmesi*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2016.
- [2] A. KEMİRTLEK, «Entegre Katı Atık Yönetimi,» *İstaç*, 2016.
- [3] «Atık Yönetimi Yönetmeliği,» 2015.
- [4] H. Palabıyık ve D. Altunbaş, *Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi*", Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politikve Yönetmelik Perspektifler, İstanbul: Beta, 2004.
- [5] «Atık Yönetimi Genel Esasları Yönetmeliği,» cilt 26927, RG. 05.07.2008.
- [6] Ş. Sayar, *Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü*, Sakarya: Sakarya Üniversitesi, 2012.
- [7] N. AKPINAR, *Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006.
- [8] D. El-Beny, «Katı atık düzensiz sahaları için uygun gaz oluşum modellerinin belirlenmesi,» *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2002.
- [9] Demir, A. ve Tüylüoğlu, B.S., «Düzenli depolama tesislerinin tasarım ve işletilmesi,» %1 içinde *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, İstanbul, 1999, pp. 273-281.
- [10] «Katı Atık Depolama Alanlarında Yangın Oluşumu ve Yangınların Önlenmesi,» MNE Proje, 2020.
- [11] G. Tchobanoglous, H. Theisen ve S. Vigil, «Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues,» *McGrawHill International Editions*, 1993.
- [12] L. Johannessen, «Guidance note on recuperation of landfill gas from municipal solid waste landfills,» The World Bank, USA, 1999.
- [13] J. Heide ve M. Eisma, «Soil Management part 3: Municipal solid waste disposal selected topics,» Delft University of Technology, 1997.
- [14] J. Alvarez, «Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes,» IWA Publishing, London, 2003.

- [15] M. Türker, «Hidrojen Sülfür İçeren Gazların Arıtılması-1:Fizikokimyasal Yöntemler,» *SKKD*, cilt 1, pp. 15-26, 2000.
- [16] E. İ. Demirtaş, «Kentsel Katı Atık Kompostunun Tarımda Kullanımı,» *Derim*, cilt 21, no. 2, pp. 27-34, 2004.
- [17] B. Kaçar ve V. Katkat, «Gübreler ve Gübreleme Tekniği,» Bursa, Uludağ Üniversitesi, 1999, pp. 20-29.
- [18] İ. Bolat ve Ö. Kara, «Bitki Besin Elementleri: Kaynakları, İşlevleri, Eksik ve Fazlalıkları,» *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, pp. 218-228, 2017.
- [19] E. Epstein ve A. Bloom, Mineral nutrition of plants: principles and perspectives, Sunderland: Sinauer, 2005.
- [20] M. Aktaş ve M. Ateş, Bitkilerde Beslenme Bozuklukları Nedenleri ve Tanımları, Ankara: ENGİN, 1998.
- [21] R. Järvensivu, «Reuse Possibilities for Elemental Sulfur Sludge,» *Helsinki Metropolia University of Applied Sciences*, 2015.
- [22] N. Çepel, Toprak İlmi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, 1988.
- [23] A. Boşgelmez, S. Savaşçı, N. Pahlı ve İ. Boşgelmez, Ekoloji-II (Toprak), Ankara: Başkent Klişe Matbaacılık, 2001.
- [24] A. McCauley, C. Jones ve J. Jacobsen, «Nutrient Management,» *Nutrient management module 9 Montana State University Extension Service*, Cilt %1 / %24449-9, pp. 1-16, 2009.
- [25] V. Katkat ve B. Kaçar, Bitki Besleme, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., 2010.
- [26] N. K. Fageria, The use of nutrients in crop plants, Florida: CRC Pres, 2009.
- [27] H. Özbek, Z. Kaya, M. Gök ve H. Kaptan, Toprak Bilimi, Adana: ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No 73, Ders Kitapları Yayın No A-16, 2001.
- [28] A. Şevket, «Türkiye'nin doğal Sardunya [*Pelargonium* L'Hér. Geraniaceae] türleri ve kullanımı,» *Bağbahçe Bilim Dergisi*, pp. 14-19, 2017.
- [29] «Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi ve İşletme Kılavuzu,» Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014.

- [30] U. S. F. A. USFA, «Landfill Fires, Their Magnitude, Characteristics and Mitigation,» TriData Corporation, Arlington, Virginia, Tech. Rep, 2002.
- [31] R. E. White, Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource, London: Wiley-Blackwell Scientific Publication, 2006.
- [32] J. B. Jones, «Plant nutrition and soil fertility,» %1 içinde *Nutrient management module 2*, Montana State University Extension Service, 2012.
- [33] «Milliyet ve Cumhuriyet Gazeteleri,» 1993.
- [34] N. Güzel, K. Güllüt ve G. Büyük, «Toprak Verimliliği ve Gübreler,» %1 içinde Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 246, Adana, Ders Kitapları Yayın No: A-80, 2004.
- [35] Erdoğan, D., Sayın U., «Belediye Atıkları Yönetiminde Biyometanizasyon Teknolojisi,» Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, pp. 1-26, 2011.
- http-1:** <https://www.tarlasera.com/haber-9786-edirneye-kati-atik-tesisi> (Erişim tarihi: 01.06.2022)
- http-2:** <https://www.iha.com.tr/haber-manisa-coplugunde-yangin-485955/> (Erişim tarihi:18.05.2022)
- http-3:** <https://ceysangerikazanim.com/entegre-kati-atik-yonetimi-nedir-akis-diyagrami-ve-hiyerarsisi/> (Erişim tarihi: 18.05.2022)
- http-4:**<https://www.statista.com/statistics/916749/global-generation-of-municipal-solid-waste-by-country/> (Erişim tarihi: 18.05.2022)

EKLER

EK-1. Kükürt Deney Gözlem Sonuçları-İlk Set

Numune	Oran (Yüzde)	Tarih	Sulama (ml)	Besin (mg)	Çiçekli Bitki Boyu	Çiçeksiz Bitki Boyu
S	1	23.07.2020	400	4	30	26
S	2,5	23.07.2020	400	10	32	26,5
S	5	23.07.2020	400	20	36,5	29,5
S	10	23.07.2020	400	40	32,5	24
S	25	23.07.2020	400	100	34	27,5
Kör	Kör	23.07.2020	400	0	31	23,5
S	1	27.07.2020	400	4	31,5	27,55
S	2,5	27.07.2020	400	10	35	26,5
S	5	27.07.2020	400	20	36,5	29,5
S	10	27.07.2020	400	40	33,5	24
S	25	27.07.2020	400	100	34,5	27,5
Kör	Kör	27.07.2020	400	0	31,5	23,5
S	1	30.07.2020	400	4	32,5	28,5
S	2,5	30.07.2020	400	10	37,5	28
S	5	30.07.2020	400	20	36,5	27
S	10	30.07.2020	400	40	37	29,5
S	25	30.07.2020	400	100	37,5	28
Kör	Kör	30.07.2020	400	0	33,5	25
S	1	27.07.2020	400	4	32,5	28,5
S	2,5	27.07.2020	400	10	37,5	28
S	5	27.07.2020	400	20	37	31
S	10	27.07.2020	400	40	37	25
S	25	27.07.2020	400	100	38	28
Kör	Kör	27.07.2020	400	0	33,5	25
S	1	05.08.2020	400	4	31,5	27
S	2,5	05.08.2020	400	10	37	27
S	5	05.08.2020	400	20	42,5	31,5
S	10	05.08.2020	400	40	36	25
S	25	05.08.2020	400	100	37	28
Kör	Kör	05.08.2020	400	0	35,5	26
S	1	08.08.2020	400	4	32,5	28
S	2,5	08.08.2020	400	10	37,5	28
S	5	08.08.2020	400	20	43	31,5
S	10	08.08.2020	400	40	37	25
S	25	08.08.2020	400	100	38	28
Kör	Kör	08.08.2020	400	0	35,5	26
S	1	11.08.2020	400	4	40	32,5

S	2,5	11.08.2020	400	10	38	28,5
S	5	11.08.2020	400	20	42	32
S	10	11.08.2020	400	40	0	0
S	25	11.08.2020	400	100	0	0
Kör	Kör	11.08.2020	400	0	37,5	26,5
S	1	14.08.2020	400	4	41	32,5
S	2,5	14.08.2020	400	10	38	29
S	5	14.08.2020	400	20	43	31
Kör	Kör	14.08.2020	400	0	38,5	27,5
S	1	17.08.2020	400	4	41,5	32
S	2,5	17.08.2020	400	10	37	27
S	5	17.08.2020	400	20	42,5	32
Kör	Kör	17.08.2020	400	0	36	25
S	1	20.08.2020	400	4	40	31
S	2,5	20.08.2020	400	10	36	27,5
S	5	20.08.2020	400	20	41	31
Kör	Kör	20.08.2020	400	0	38	28
S	1	25.08.2020	400	4	40	33
S	2,5	25.08.2020	400	10	36	27
S	5	25.08.2020	400	20	41	31
Kör	Kör	25.08.2020	400	0	37	27
S	1	28.08.2020	400	4	40	34
S	2,5	28.08.2020	400	10	36	27
S	5	28.08.2020	400	20	41	31
Kör	Kör	28.08.2020	400	0	39	28
S	1	31.08.2020	400	4	40	30
S	2,5	31.08.2020	400	10	0	0
S	5	31.08.2020	400	20	42	31
Kör	Kör	31.08.2020	400	0	40	29
S	1	03.09.2020	400	4	52	32
S	2,5	03.09.2020	400	10	0	0
S	5	03.09.2020	400	20	43	32,5
Kör	Kör	03.09.2020	400	0	35	27,5
S	1	08.09.2020	400	4	52	32
S	5	08.09.2020	400	20	43	32,5
Kör	Kör	08.09.2020	400	0	35	27,5
S	1	11.09.2020	400	4	41	30
S	5	11.09.2020	400	20	0	0
Kör	Kör	11.09.2020	400	0	36	30
S	1	15.09.2020	400	4	41	31
S	5	15.09.2020	400	20	0	0
Kör	Kör	15.09.2020	400	0	37,3	28

S	1	19.09.2020	400	4	41,5	31,5
S	5	19.09.2020	400	20	0	0
Kör	Kör	19.09.2020	400	0	38	28
S	1	22.09.2020	400	4	41,5	31,5
S	5	22.09.2020	400	20	0	0
Kör	Kör	22.09.2020	400	0	38	28
S	1	26.09.2020	400	4	42	31,5
Kör	Kör	26.09.2020	400	0	38	28
S	1	29.09.2020	400	4	44	32
Kör	Kör	29.09.2020	400	0	38	29
S	1	02.10.2020	400	4	44	32,5
Kör	Kör	02.10.2020	400	0	38,5	30
S	1	06.10.2020	400	4	45	33
Kör	Kör	06.10.2020	400	0	40	31
S	1	09.10.2020	400	4	46	33
Kör	Kör	09.10.2020	400	0	43	32
S	1	14.10.2020	400	4	46	33
Kör	Kör	14.10.2020	400	0	43	32
S	1	16.10.2020	400	4	46,5	34
Kör	Kör	16.10.2020	400	0	44	33
S	1	20.10.2020	400	4	46,5	34
Kör	Kör	20.10.2020	400	0	47	33

Ek-2. Kükürt Deney Gözlem Sonuçları-İkinci Set

Numune	Oran (Yüzde)	Tarih	Sulama (ml)	Besin (mg)	Çiçekli Bitki Boyu	Çiçeksiz Bitki Boyu
S	0,25	9.12.2020	400	1	31	23,5
S	0,5	9.12.2020	400	2	32	23
S	1	9.12.2020	400	4	32	25
Kör	Kör	9.12.2020	400	0	30,5	23,5
S	0,25	16.12.2020	400	1	30	23
S	0,5	16.12.2020	400	2	31	24
S	1	16.12.2020	400	4	34	26
Kör	Kör	16.12.2020	400	0	32	24
S	0,25	23.12.2020	400	1	32	24
S	0,5	23.12.2020	400	2	31,5	24
S	1	23.12.2020	400	4	34	26
Kör	Kör	23.12.2020	400	0	33	25
S	0,25	30.12.2020	400	1	32	24
S	0,5	30.12.2020	400	2	32	23,5
S	1	30.12.2020	400	4	35	26
Kör	Kör	30.12.2020	400	0	33	26,5
S	0,25	13.01.2021	400	1	34	26
S	0,5	13.01.2021	400	2	32	22
S	1	13.01.2021	400	4	35	27
Kör	Kör	13.01.2021	400	0	37	29
S	0,25	20.01.2021	400	1	34	26
S	0,5	20.01.2021	400	2	30,5	24
S	1	20.01.2021	400	4	38	27,5
Kör	Kör	20.01.2021	400	0	37	28
S	0,25	27.01.2021	400	1	35	26
S	0,5	27.01.2021	400	2	30	24
S	1	27.01.2021	400	4	38	28
Kör	Kör	27.01.2021	400	0	38	29
S	0,25	3.02.2021	400	1	35	25
S	0,5	3.02.2021	400	2	33	24
S	1	3.02.2021	400	4	36	28
Kör	Kör	3.02.2021	400	0	38	30
S	0,25	7.02.2021	400	1	35	25
S	0,5	7.02.2021	400	2	33	25
S	1	7.02.2021	400	4	37	27
Kör	Kör	7.02.2021	400	0	38	30,5
S	0,25	10.02.2021	400	1	32	27
S	0,5	10.02.2021	400	2	35	26,5
S	1	10.02.2021	400	4	37	27

Kör	Kör	10.02.2021	400	0	38	30,5
S	0,25	17.02.2021	400	1	33	27,5
S	0,5	17.02.2021	400	2	35	28
S	1	17.02.2021	400	4	37	29
Kör	Kör	17.02.2021	400	0	40	32
S	0,25	24.02.2021	400	1	33	27,5
S	0,5	24.02.2021	400	2	37	29
S	1	24.02.2021	400	4	39	29
Kör	Kör	24.02.2021	400	0	39	31,5
S	0,25	3.03.2021	400	1	36	28
S	0,5	3.03.2021	400	2	36,5	30
S	1	3.03.2021	400	4	38	29
Kör	Kör	3.03.2021	400	0	40	31
S	0,25	10.03.2021	400	1	35,5	27
S	0,5	10.03.2021	400	2	38	30
S	1	10.03.2021	400	4	38	29,5
Kör	Kör	10.03.2021	400	0	40	31
S	0,25	17.03.2021	400	1	37	27,5
S	0,5	17.03.2021	400	2	40	30
S	1	17.03.2021	400	4	40	30,5
Kör	Kör	17.03.2021	400	0	40	31
S	0,25	24.03.2021	400	1	37	29
S	0,5	24.03.2021	400	2	40	28,5
S	1	24.03.2021	400	4	40	30,5
Kör	Kör	24.03.2021	400	0	40	31,5
S	0,25	9.04.2021	400	1	38	29
S	0,5	9.04.2021	400	2	40,5	29
S	1	9.04.2021	400	4	40,5	32
Kör	Kör	9.04.2021	400	0	42	33
S	0,25	14.04.2021	400	1	38	28,5
S	0,5	14.04.2021	400	2	39	30
S	1	14.04.2021	400	4	41,5	32
Kör	Kör	14.04.2021	400	0	45	32
S	0,25	22.04.2021	400	1	40	30,5
S	0,5	22.04.2021	400	2	39,5	30
S	1	22.04.2021	400	4	41	33,5
Kör	Kör	22.04.2021	400	0	44	32
S	0,25	28.04.2021	400	1	40	32
S	0,5	28.04.2021	400	2	42	31,5
S	1	28.04.2021	400	4	43	34
Kör	Kör	28.04.2021	400	0	44	32
S	0,25	5.05.2021	400	1	43	32

S	0,5	5.05.2021	400	2	44	32
S	1	5.05.2021	400	4	45	36
Kör	Kör	5.05.2021	400	0	45	31,5
S	0,25	12.05.2021	400	1	44	32,5
S	0,5	12.05.2021	400	2	44	32,5
S	1	12.05.2021	400	4	46	36
Kör	Kör	12.05.2021	400	0	45	33



Ek-3. Fermente Sıvı Deney Gözlem Sonuçları-İlk Set

Numune	Oran (Yüzde)	Tarih	Sulama (ml)	Besin (mg)	Çiçekli Bitki Boyu	Çiçeksiz Bitki Boyu
Kör	Kör	23.07.2020	400	0	31	23,5
FS	5	23.07.2020	400	20	34	24,5
FS	10	23.07.2020	400	40	35,5	28,5
FS	25	23.07.2020	400	100	33	26
FS	50	23.07.2020	400	200	34	26
Kör	Kör	27.07.2020	400	0	31,5	23,5
FS	5	27.07.2020	400	20	35	25,5
FS	10	27.07.2020	400	40	39	30
FS	25	27.07.2020	400	100	34,5	26
FS	50	27.07.2020	400	200	36,5	27
Kör	Kör	30.07.2020	400	0	33,5	25
FS	5	30.07.2020	400	20	36	26,5
FS	10	30.07.2020	400	40	42	31,5
FS	25	30.07.2020	400	100	33	25,5
FS	50	30.07.2020	400	200	38,5	26
Kör	Kör	27.07.2020	400	0	33,5	25
FS	5	27.07.2020	400	20	40,5	27
FS	10	27.07.2020	400	40	45,5	33
FS	25	27.07.2020	400	100	33,5	26,5
FS	50	27.07.2020	400	200	39	27
Kör	Kör	05.08.2020	400	0	35,5	26
FS	5	05.08.2020	400	20	41,5	29,5
FS	10	05.08.2020	400	40	45,5	33,5
FS	25	05.08.2020	400	100	33	27,5
FS	50	05.08.2020	400	200	38	25,5
Kör	Kör	08.08.2020	400	0	35,5	26
FS	5	08.08.2020	400	20	42	30
FS	10	08.08.2020	400	40	46	34
FS	25	08.08.2020	400	100	33,5	27
FS	50	08.08.2020	400	200	39	26
Kör	Kör	11.08.2020	400	0	37,5	26,5
FS	2,5	05.08.2020	400	10	30,5	26
FS	5	05.08.2020	400	20	42	28
FS	10	05.08.2020	400	40	47	32,5
FS	25	08.08.2020	400	100	33,5	27
FS	50	08.08.2020	400	200	39	26
Kör	Kör	14.08.2020	400	0	38,5	27,5
FS	2,5	14.08.2020	400	10	33	26
FS	5	14.08.2020	400	20	42	28

FS	10	14.08.2020	400	40	48	32,5
FS	25	14.08.2020	400	100	0	0
FS	50	14.08.2020	400	200	0	0
Kör	Kör	17.08.2020	400	0	36	25
FS	2,5	17.08.2020	400	10	35	25
FS	5	17.08.2020	400	20	43	28
FS	10	17.08.2020	400	40	49	32,5
Kör	Kör	20.08.2020	400	0	38	28
FS	2,5	20.08.2020	400	10	35	27
FS	5	20.08.2020	400	20	43	28
FS	10	20.08.2020	400	40	48	31
Kör	Kör	25.08.2020	400	0	37	27
FS	2,5	25.08.2020	400	10	36,5	28
FS	5	25.08.2020	400	20	42	28
FS	10	25.08.2020	400	40	48	32
Kör	Kör	28.08.2020	400	0	39	28
FS	2,5	28.08.2020	400	10	36	28
FS	5	28.08.2020	400	20	42	28
FS	10	28.08.2020	400	40	47	32
Kör	Kör	31.08.2020	400	0	40	29
FS	2,5	31.08.2020	400	10	36	30
FS	5	31.08.2020	400	20	48,5	32
FS	10	31.08.2020	400	40	46	33
Kör	Kör	03.09.2020	400	0	35	27,5
FS	2,5	03.09.2020	400	10	44	30
FS	5	03.09.2020	400	20	46,5	30
FS	10	03.09.2020	400	40	41,5	33
Kör	Kör	08.09.2020	400	0	35	27,5
FS	2,5	08.09.2020	400	10	44	30
FS	5	08.09.2020	400	20	46,5	30
FS	10	08.09.2020	400	40	41,5	33
Kör	Kör	11.09.2020	400	0	36	30
FS	2,5	11.09.2020	400	10	44,5	30,5
FS	5	11.09.2020	400	20	46,5	31,5
FS	10	11.09.2020	400	40	41,5	32
Kör	Kör	15.09.2020	400	0	37,3	28
FS	2,5	15.09.2020	400	10	47,3	32
FS	5	15.09.2020	400	20	47	32
FS	10	15.09.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	19.09.2020	400	0	38	28
FS	2,5	19.09.2020	400	10	47,5	32
FS	5	19.09.2020	400	20	47	32

FS	10	19.09.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	22.09.2020	400	0	38	28
FS	2,5	22.09.2020	400	10	48	33
FS	5	22.09.2020	400	20	48	32,5
FS	10	22.09.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	26.09.2020	400	0	38	28
FS	2,5	26.09.2020	400	10	48	33
FS	5	26.09.2020	400	20	48	32
FS	10	26.09.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	29.09.2020	400	0	38	29
FS	2,5	29.09.2020	400	10	48,5	37
FS	5	29.09.2020	400	20	47	34
FS	10	29.09.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	02.10.2020	400	0	38,5	30
FS	2,5	02.10.2020	400	10	49	38
FS	5	02.10.2020	400	20	47	36
FS	10	02.10.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	06.10.2020	400	0	40	31
FS	2,5	06.10.2020	400	10	50	39
FS	5	06.10.2020	400	20	47,5	37
FS	10	06.10.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	09.10.2020	400	0	43	32
FS	2,5	09.10.2020	400	10	50	39
FS	5	09.10.2020	400	20	46	36
FS	10	09.10.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	14.10.2020	400	0	43	32
FS	2,5	14.10.2020	400	10	50	39,5
FS	5	14.10.2020	400	20	46	36,5
FS	10	14.10.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	16.10.2020	400	0	44	33
FS	2,5	16.10.2020	400	10	51	39
FS	5	16.10.2020	400	20	46	37
FS	10	16.10.2020	400	40	0	0
Kör	Kör	20.10.2020	400	0	47	33
FS	2,5	20.10.2020	400	10	53	39
FS	5	20.10.2020	400	20	50	37
FS	10	20.10.2020	400	40	0	0

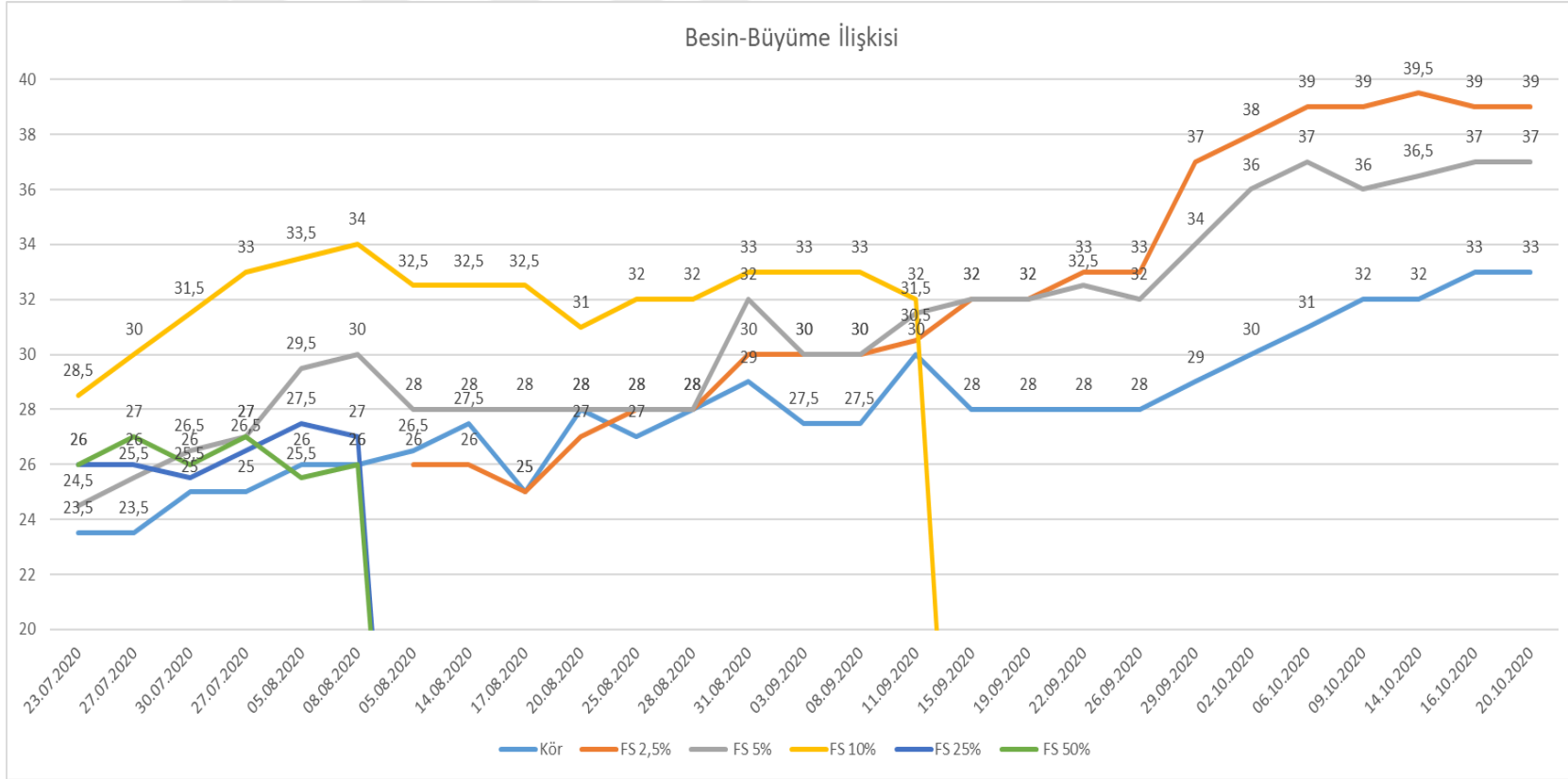
EK-4 Fermente Sıvı Deney Gözlem Sonuçları-İkinci Set

Numune	Oran (Yüzde)	Tarih	Sulama (ml)	Besin (mg)	Çiçekli Bitki Boyu	Çiçeksiz Bitki Boyu
FS	0,25	9.12.2020	400	1	30	23,5
FS	0,5	9.12.2020	400	2	29	23
FS	1	9.12.2020	400	4	32	25
FS	2,5	9.12.2020	400	10	30	22
Kör	Kör	9.12.2020	400	0	30,5	23,5
FS	0,25	16.12.2020	400	1	32	24
FS	0,5	16.12.2020	400	2	30	25
FS	1	16.12.2020	400	4	32	26
FS	2,5	16.12.2020	400	10	32	23
Kör	Kör	16.12.2020	400	0	32	24
FS	0,25	23.12.2020	400	1	32	25
FS	0,5	23.12.2020	400	2	31	25
FS	1	23.12.2020	400	4	33	25
FS	2,5	23.12.2020	400	10	32	23
Kör	Kör	23.12.2020	400	0	33	25
FS	0,25	30.12.2020	400	1	32	25
FS	0,5	30.12.2020	400	2	33	25
FS	1	30.12.2020	400	4	33	25,5
FS	2,5	30.12.2020	400	10	31	23,5
Kör	Kör	30.12.2020	400	0	33	26,5
FS	0,25	13.01.2021	400	1	32	24
FS	0,5	13.01.2021	400	2	34,5	24
FS	1	13.01.2021	400	4	33,5	27
FS	2,5	13.01.2021	400	10	31,5	23
Kör	Kör	13.01.2021	400	0	37	29
FS	0,25	20.01.2021	400	1	31,5	26
FS	0,5	20.01.2021	400	2	34	24
FS	1	20.01.2021	400	4	35	28
FS	2,5	20.01.2021	400	10	33	24
Kör	Kör	20.01.2021	400	0	37	28
FS	0,25	27.01.2021	400	1	32	26
FS	0,5	27.01.2021	400	2	34	25,5
FS	1	27.01.2021	400	4	35	28
FS	2,5	27.01.2021	400	10	33	24
Kör	Kör	27.01.2021	400	0	38	29
FS	0,25	3.02.2021	400	1	32	25
FS	0,5	3.02.2021	400	2	34	25,5
FS	1	3.02.2021	400	4	35	28
FS	2,5	3.02.2021	400	10	34	25

Kör	Kör	3.02.2021	400	0	38	30
FS	0,25	7.02.2021	400	1	30	25
FS	0,5	7.02.2021	400	2	35	26
FS	1	7.02.2021	400	4	33	28
FS	2,5	7.02.2021	400	10	34	25
Kör	Kör	7.02.2021	400	0	38	30,5
FS	0,25	10.02.2021	400	1	31,5	25
FS	0,5	10.02.2021	400	2	36	28
FS	1	10.02.2021	400	4	33	28
FS	2,5	10.02.2021	400	10	36	26
Kör	Kör	10.02.2021	400	0	38	30,5
FS	0,25	17.02.2021	400	1	32	25
FS	0,5	17.02.2021	400	2	36	28
FS	1	17.02.2021	400	4	34	28
FS	2,5	17.02.2021	400	10	36	27
Kör	Kör	17.02.2021	400	0	40	32
FS	0,25	24.02.2021	400	1	34	25
FS	0,5	24.02.2021	400	2	36,5	26
FS	1	24.02.2021	400	4	35	29
FS	2,5	24.02.2021	400	10	36,5	27
Kör	Kör	24.02.2021	400	0	39	31,5
FS	0,25	3.03.2021	400	1	34	25
FS	0,5	3.03.2021	400	2	35	28
FS	1	3.03.2021	400	4	35	29
FS	2,5	3.03.2021	400	10	34	27
Kör	Kör	3.03.2021	400	0	40	31
FS	0,25	10.03.2021	400	1	34	25,5
FS	0,5	10.03.2021	400	2	35	29
FS	1	10.03.2021	400	4	37	28,5
FS	2,5	10.03.2021	400	10	34	28
Kör	Kör	10.03.2021	400	0	40	31
FS	0,25	17.03.2021	400	1	35	25,5
FS	0,5	17.03.2021	400	2	38	30,5
FS	1	17.03.2021	400	4	37	30
FS	2,5	17.03.2021	400	10	37	28,5
Kör	Kör	17.03.2021	400	0	40	31
FS	0,25	24.03.2021	400	1	35	27
FS	0,5	24.03.2021	400	2	38	31
FS	1	24.03.2021	400	4	35	30,5
FS	2,5	24.03.2021	400	10	37	28,5
Kör	Kör	24.03.2021	400	0	40	31,5
FS	0,25	9.04.2021	400	1	36	27

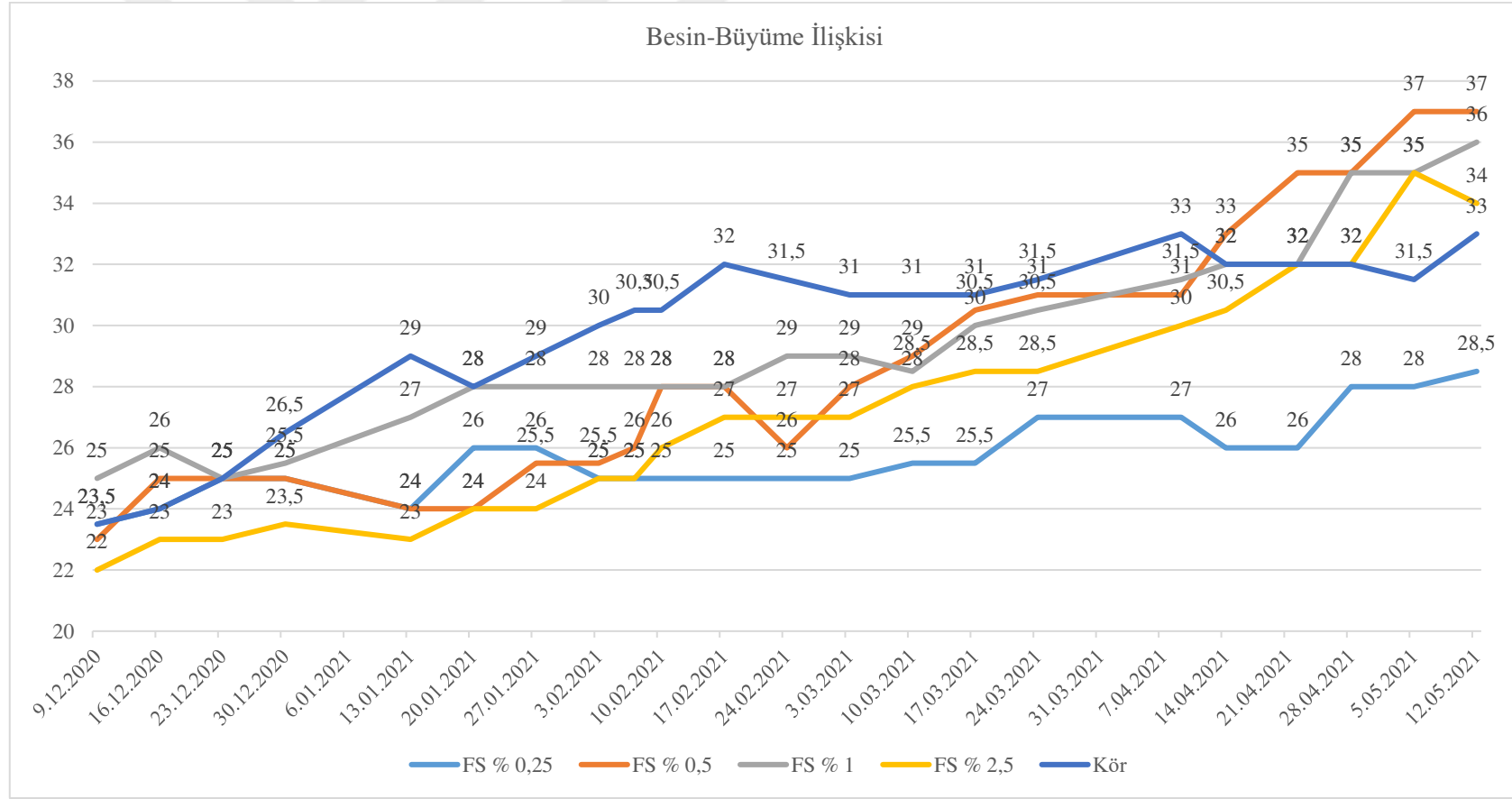
FS	0,5	9.04.2021	400	2	38,5	31
FS	1	9.04.2021	400	4	38	31,5
FS	2,5	9.04.2021	400	10	38	30
Kör	Kör	9.04.2021	400	0	42	33
FS	0,25	14.04.2021	400	1	36	26
FS	0,5	14.04.2021	400	2	39	33
FS	1	14.04.2021	400	4	38	32
FS	2,5	14.04.2021	400	10	40	30,5
Kör	Kör	14.04.2021	400	0	45	32
FS	0,25	22.04.2021	400	1	35	26
FS	0,5	22.04.2021	400	2	39	35
FS	1	22.04.2021	400	4	40	32
FS	2,5	22.04.2021	400	10	40	32
Kör	Kör	22.04.2021	400	0	44	32
FS	0,25	28.04.2021	400	1	38	28
FS	0,5	28.04.2021	400	2	42	35
FS	1	28.04.2021	400	4	43	35
FS	2,5	28.04.2021	400	10	44	32
Kör	Kör	28.04.2021	400	0	44	32
FS	0,25	5.05.2021	400	1	38	28
FS	0,5	5.05.2021	400	2	44	37
FS	1	5.05.2021	400	4	43	35
FS	2,5	5.05.2021	400	10	47	35
Kör	Kör	5.05.2021	400	0	45	31,5
FS	0,25	12.05.2021	400	1	40	28,5
FS	0,5	12.05.2021	400	2	43	37
FS	1	12.05.2021	400	4	44	36
FS	2,5	12.05.2021	400	10	47	34
Kör	Kör	12.05.2021	400	0	45	33

EK-5. Besin Büyüme İlişkisi-FS İlk Set



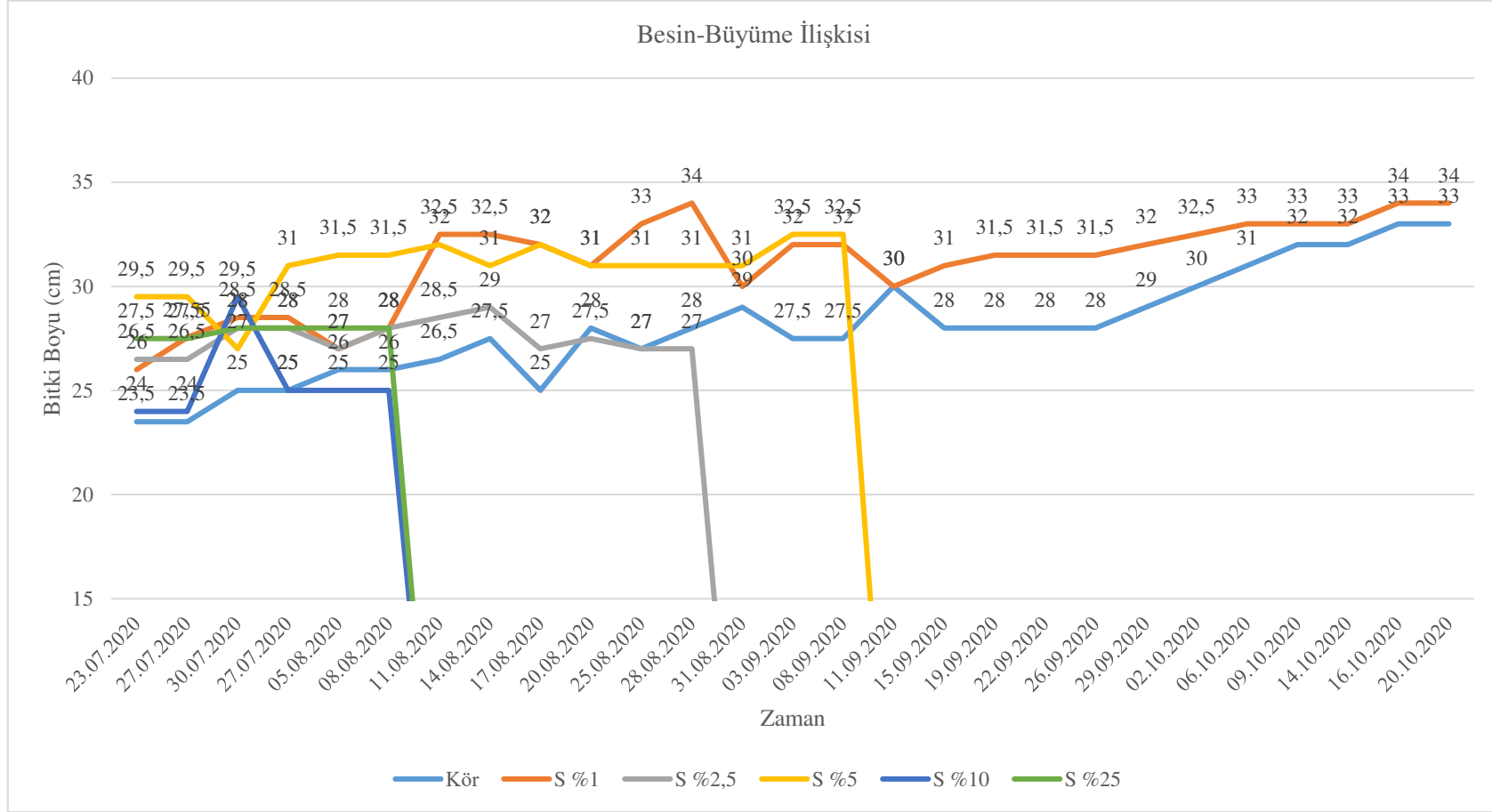
EK-5. Besin Büyüme İlişkisi-FS İlk Set

EK-6. Besin Büyüme İlişkisi-FS İkinci Set



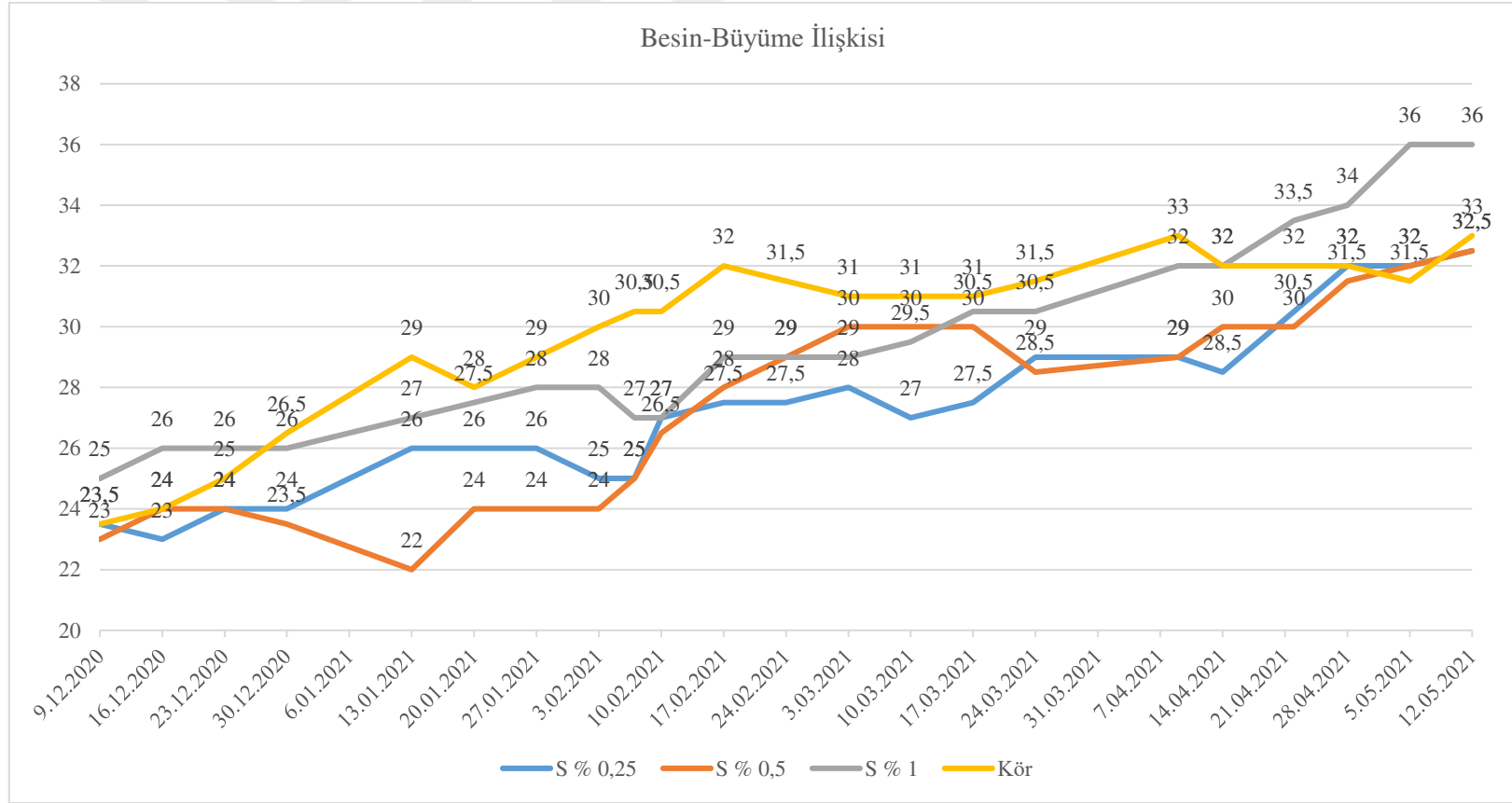
EK-6. Besin Büyüme İlişkisi-FS İkinci Set

EK-7. Besin Büyüme İlişkisi-S İlk Set



EK-7. Besin Büyüme İlişkisi-S İlk Set

EK-8. Besin Büyüme İlişkisi-S İkinci Set



EK-8. Besin Büyüme İlişkisi-S İkinci Set

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bartu Can TÜZÜN

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2022, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Bilimleri, Çevre Mühendisliği
- 2017, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- 2018, Biyolojik Süreçler Şefi, ITC Invest Trading & Consulting
- 2017, Çevre Mühendisi, Temçev Mühendislik