

**SİLAJ MATERYALDE YOĞUNLUK  
HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI  
Yüksek Lisans Tezi**

**Mustafa ŞAHİN**  
**Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman : Doç. Dr. Fulya TAN**  
**2018**

**T.C**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLAJ MATERYALDE YOĞUNLUK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN**  
**KARŞILAŞTIRILMASI**

**MUSTAFA ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Fulya TAN**

**TEKİRDAĞ-2018**

**Her hakkı saklıdır**

Doç. Dr. Fulya TAN danışmanlığında, Mustafa ŞAHİN tarafından hazırlanan “SİLAJ MATERYALDE YOĞUNLUK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİ KARŞILAŞTIRILMASI” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliğiyle kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Abdullah SESSİZ

*İmza :*

Üye : Doç. Dr. Fulya TAN (Danışman)

*İmza :*

Üye : Dr. Öğretim üyesi Cihangir SAĞLAM

*İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SİLAJ MATERYALDE YOĞUNLUK HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

**MUSTAFA ŞAHİN**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fulya TAN

Bu çalışmada, saha koşullarında toprak üstü yığın siloda mısır silajı yapımında materyalin yoğunluğunu belirlemek amacıyla farklı yoğunluk hesaplama yöntemleri test edilmiştir. Kaba yoğunluk ölçümü, yığın yoğunluğu ölçümü (D1, D2, K1 ve K2) ve penetrometre ölçümü olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Yoğunluk ölçümleri silolama aşamasında ve silolama sonrası açım aşamasında olmak üzere iki farklı dönemde yürütülmüştür. Ölçümler silonun genel durumunu ifade edebilmek için silonun alt, orta ve üst katmanlarında tekrarlamalı olarak yapılmıştır. Silo içerisinde aynı zamanda katmanlarda PMS (basınç ölçüm sistemi) kullanılarak sıkıştırma kuvveti ve silo içerisine yerleştiren ve veri-kayıt özelliği olan sıcaklık sensörleri vasıtası ile silo içi sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Böylece, silonun sıkıştırılmasının yönetimine göre silaj yoğunluğunun değişkenliği incelenebilmiştir. Sıcaklık değerleri de doğru fermantasyon sürecini ifade etmesi anlamında önemlidir. Bu araştırma yoğunluk ölçümlerinin silolama aşamasında yapılması anlamında da önemli bir araştırmadır. Sıkıştırmanın yeterli seviyede olması nitelikli silaj elde etmede önemlidir. Bu nedenle silaj yemlerin açım sonrası analizlerine göre Flieg puanlama sistemleri yapılmış ve yoğunluk ölçümlerine göre incelenmiştir. Araştırma sonucuna göre, incelenen tüm yöntemlerde yoğunluk değerlerinde farklılıklar hesaplanmasına rağmen, tüm yöntemlerde materyal yoğunluğu üst katmandan alt katmana doğru indikçe artış göstermiştir. Bu durum açım aşamasında da benzer sonuçlar göstermiştir. En yüksek yoğunluk sıkıştırma basıncının yüksek ölçüldüğü noktada hesaplanırken, en iyi Flieg puanlaması da bu bölgeden alınan silaj örneklerinde hesaplanmıştır. Silo genelinde eşit düzeyde yüksek yoğunluk, doğru bir silo yönetimi ile mümkündür.

**Anahtar kelimeler:** Yoğunluk, silaj, silo, hacim, basınç

**2018, 69 Sayfa**

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **COMPARISON OF INTENSITY MEASUREMENT METHODS IN SILAGE MATERIAL**

**Mustafa ŞAHİN**

Namık Kemal University in Tekirdağ  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department Of Biosystem Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Fulya TAN

In this study, different methods of intensity measurement have been tested in order to determine the intensity of the material in corn silage making on surface mass silo on site conditions. Three different methods, bulk intensity measurement, mass intensity measurement (D1, D2, K1, K2) and penetrometer measurement, have been used. Intensity measurements have been carried out within two different periods as during ensilaging and after ensilaging. Measurements have been made repetitively on bottom, middle and upper layers in order to express the general state of the silo. At the same time, compression force has been measured on the layers by using PMS (pressure measurement system) and the potential temperature has been measured by using temperature sensors which were located inside the silo and can save data. Therefore, the variability of silo intensity can be observed according to the compression of the silo. Potential temperatures are important for expressing the correct fermentation process. This study is important in the meaning of making the intensity measurements during ensilaging. The compression being at sufficient level is important for obtaining quality silage. Thus, according to the analysis of the silage after opening Flieg scoring systems have been made and observed according to the intensity measurements. According to the result of the study, although there have been different measurements in intensity rates for all methods observed the material intensity has increased by going from the upper layer to the bottom layer in all methods. This situation has been similar during the opening. The highest intensity has been measured at the point that the compression pressure is high and the best Flieg scores have been measured at the silage samples taken from this section. High intensity at equal levels in every part of silo is possible with a correct silo management.

**Keywords :** density, silage, silo, volume, pressure

**2018, 69 Pages**

<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ.....</b>	<b>v</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ.....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....</b>	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Yoğunluk .....	2
1.2. Yığın Materyallerde Yoğunluk.....	7
1.3. Silaj Materyallerde Yoğunluk.....	11
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>15</b>
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>26</b>
3.1. Materyal.....	26
3.1.1. Araştırmada Kullanılan Mısır Çeşidine İlişkin Özellikler.....	26
3.1.2. Silaj Makinesi.....	27
3.1.3. Sıkıştırma Ekipmanı.....	28
3.1.4. Silo.....	29
3.2. Yöntem.....	30
3.2.1. Silolama Tekniği Ve Denemelerin Yürütülmesi.....	30
3.2.2. Yoğunluk Ölçümü Ve Denemede Kullanılan Yoğunluk Ölçüm Metotları.....	31
3.2.2.1. Yoğunluk Ölçümü.....	31
3.2.2.2. Yoğunluk Ölçüm Metotları.....	32
3.2.3. Sıcaklık Ölçümü.....	38
3.2.4. Basınç Ölçümü.....	39
3.2.5. Nem İçeriğinin Saptanması.....	40
3.2.6. Kuru Madde İçeriğinin Saptanması.....	41
3.2.7. pH İçeriğinin Saptanması.....	41
3.2.8. Silaj Niteliğinde Flieg Puanı.....	42
3.2.9. İstatistiksel Analizler.....	43
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>44</b>

4.1. Yoğunluğa İlişkin Araştırma Sonuçları.....	44
4.1.1.Metot-I İlişkin Araştırma Sonuçları.....	44
4.1.2.Metot-Iı İlişkin Araştırma Sonuçları.....	46
4.1.3.Metot-Iıı İlişkin Araştırma Sonuçları.....	52
4.1.4.Metot-I-Iı Ve Iıı İlişkin Araştırma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	54
4.2. Sıcaklık Ölçümlerine İlişkin Araştırma Sonuçları.....	56
4.3. Basınç Ölçümlerine İlişkin Araştırma Sonuçları.....	58
4.4. Silaj Kalitesine İlişkin Araştırma Sonuçları.....	59
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>61</b>
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>62</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>68</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>69</b>

Şekil 1.1. Sıvı İle Yer Değiştirerek Hacim Hesaplama.....	5
Şekil 1.2. Taneli Katı Cisimlerde Yer Değiştirme Yöntemi İle Hacim Hesaplama.....	5
Şekil 1.3. Gaz Piknometresi İle Katı Cisimlerde Hacim Hesaplama.....	6
Şekil 1.4. Duvara Dayanmış Konik Yığın Hacmi Hesaplama.....	7
Şekil 1.5. Piknometre İle Hacim Hesaplama.....	8
Şekil 1.6. Yığın Materyal Boyutu.....	9
Şekil 1.7. Yığın Yoğunluğu.....	10
Şekil 1.8. Koni Şeklindeki Yığın Materyalde Hacmin Ölçümü.....	10
Şekil 1.9. Yığın Yoğunluk.....	11
Şekil 2.1. Silajda Büyük Blok Ölçüm Metodu.....	15
Şekil 2.2. Silaj Örnek Alma Aparatı Ve Siloda Alınan Örnekleme Noktaları.....	15
Şekil 2.3. Radyometrik Ölçüm Düzenegi (A-Ölçüm Tekerleği, B-Detektör, C-Kurşun Kılıflı Sezyum Kaynağı, D-Üç Nokta Bağlantı İçin Çerçeve).....	18
Şekil 2.4. Penetrometre Ölçümleri.....	18
Şekil 2.5. Toprak Üstü Yüzeysel Siloda Yatay Ve Düşey Yönde Kütle Yoğunluğu Haritası.....	19
Şekil 2.6. Örnek Alma Aparatı (A), Örnek Alımı (B).....	20
Şekil 2.7. Silolama Tekniği; Alttan Üste Doğru Katmanlar Şeklinde Silolama (A), Sağ Köşeden Silo Önüne Doğru Arkadan Öne Doğru Doldurma Tekniği (B) Kullanılarak Yapılan Silolama Yöntemleri.....	23
Şekil 3.1. Denemelerde Kullanılan Silaj Makinesi.....	27
Şekil 3.2. Denemelerde Kullanılan Sıkıştırma Ekipmanı.....	28
Şekil 3.3. Denemelerin Yürütüldüğü Silo.....	29
Şekil 3.4. Silolama Aşamasına İlişkin Resimler.....	30
Şekil 3.5. Kaba Yoğunluk Ölçümü.....	32
Şekil 3.6. Yığın Yoğunluk Ölçümünde Kullanılan Hacmi Belli Kaplar.....	34
Şekil 3.7. Kaba Yoğunluğun Hesaplanması Amacıyla Kullanılan Küp Şeklindeki Kaplar.....	35
Şekil 3.8. Kaba Yoğunluğun Hesaplanması Amacıyla Kullanılan Silindir Şeklindeki Kaplar.....	36
Şekil 3.9. Penetrometre İle Yoğunluk Ölçümü.....	37
Şekil 3.10. Denemelerde Kullanılan Su Geçirmez Hobo Marka Sıcaklık Dataloggeri.....	39
Şekil 3.11. Basınç Ölçüm Sistemi.....	39
Şekil 3.12. Kuru Madde Analizi.....	41



Şekil 3.13. Ph Analizi.....	42
Şekil 4.1. Metot-I'e Göre Silolama Aşaması Ve Silolama Sonrası Katmanlar Arasındaki Yoğunluk Değişimi.....	45
Şekil 4.2. Metot-II' Ye Göre Silolama Aşamasında Katmanlar Arasındaki Yoğunluk Değişimi.....	47
Şekil 4. 3 Metot-II' Ye Göre Silolama Aşamasında Alt Katman (A), Orta Katman (B), Üst Katmanda (C) Hesaplanan Yoğunluk Değişimleri.....	47
Şekil 4.4. Metot-II' Ye Göre Açım Sonrası Aşamasında Katmanlar Arasındaki Yoğunluk Değişimi.....	49
Şekil 4. 5. Metot-II' Ye Göre Silolama Aşamasında Alt Katman (A), Orta Katman(B), Üst Katmanda(C)' Hesaplanan Yoğunluk Değişimleri.....	50
Şekil 4.6. Metot II Silolama Aşaması Yoğunluk Değişimi.....	51
Şekil 4.7. Metot II Açım Sonrası Aşaması Yoğunluk Değişimi.....	52
Şekil 4.8. Metot-III'e Göre Silolama Aşaması Ve Silolama Sonrası Katmanlar Arasındaki Penetrasyon Değişimi.....	54
Şekil 4.9. Silolama Aşamasında Yöntemlere Göre Yoğunluk.....	55
Şekil 4.10. Açım Sonrası Yöntemlere Göre Yoğunluk.....	56
Şekil 4.11. Silolama Aşaması Ve Silolama Sonrası Açım Aşamalarında Katmanlar Arasındaki Sıcaklık Değişimi.....	57
Şekil 4.12. Silolama Aşamalarında Katmanlar Arasındaki Ölçülen Ortalama Basınç Değerlerinin Değişimi.....	59

Çizelge 1.1. Düzgün Geometrik Cisimlerin Hacim Hesabı.....	4
Çizelge 1.2. 2004–2014 Yılları Arasında Türkiye’de Üretilen Silajlık Mısırın Ekim Alanı, Üretim Ve Verimlilik Değerleri.....	12
Çizelge 2.1. Farklı Tip Silolarda Hesaplanan Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	16
Çizelge 2.2. Kuru Madde Kaybı İle Silaj Yoğunluğu Arasındaki İlişki.....	20
Çizelge 2.3. Referanslara Göre Silaj Yoğunluğu.....	21
Çizelge 3.1. Silaj Makinesine İlişkin Teknik Özellikler.....	27
Çizelge 3.2. Sıkıştırma Ekipmanına İlişkin Teknik Özellikler.....	28
Çizelge 3.3. Yığın Siloya İlişkin Teknik Özellikler.....	29
Çizelge 3.4. Denemelerde Kullanılan Yöntemler.....	32
Çizelge 3.5. Ölçüm Kaplarına İlişkin Teknik Özellikler.....	34
Çizelge 3.6. Denemelerin Yürütüldüğü Zamana İlişkin İklimsel Veriler.....	38
Çizelge 3.7. Sıcaklık Sensörüne İlişkin Teknik Özellikler.....	39
Çizelge 3.8. Fleig Puanına Göre Silaj Kalite Sınıfı.....	42
Çizelge 4.1. Silolama Aşaması Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	44
Çizelge 4.2. Açım Sonrası Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	45
Çizelge 4.3. Silolama Aşaması Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	46
Çizelge 4.4. Açım Sonrası Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	48
Çizelge 4.5. Metot II' De Yöntemler Arası Silolama Aşaması Ve Açım Sonrası Aşamalarında Hesaplanan Yoğunluk Değerleri.....	51
Çizelge 4.6. Silolama Aşaması Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	52
Çizelge 4.7. Açım Sonrası Ortalama Yoğunluk Değerleri.....	53
Çizelge 4.8. Yöntemler Arası Silolama Aşamasında Hesaplanan Yoğunluk Değerleri.....	54
Çizelge 4.9. Yöntemler Arası Silo Açım Aşamasında Hesaplanan Yoğunluk Değerleri.....	55
Çizelge 4.10. Silolama Aşaması Ve Açım Sonrası Aşamasında Ölçülen Sıcaklık Değerleri..	57
Çizelge 4.11. Silolama Aşaması Ve Açım Sonrası Aşamasında Ölçülen Basınç Değerleri....	58
Çizelge 4.12. Flieg Puanlama Cetveli.....	59

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

D1	:Metot-II ye göre küçük kesitli daire kullanılan yöntem
D2	: Metot-II ye göre büyük kesitli daire kullanılan yöntem
K1	: Metot-II ye göre küçük kesitli kare kullanılan yöntem
K2	: Metot-II ye göre büyük kesitli kare kullanılan yöntem
L	: Litre
m	: Kütle
v	: Hacim
$\rho$ (rho)	:Yoğunluk (Özkütle)
Kg	: Kilogram
$\pi$	: Pi sayısı
r	: Yarıçap
h	: Yükseklik
$M_p$	: Boş piknometre kütlesi,
$M_{ps}$	: Sıvı ile dolu piknometre kütlesi,
$M_{öp}$	: Örnek + piknometre kütlesi,
$M_{öps}$	: Örnek + sıvı ile dolu piknometre kütlesi
V	: Yığın materyalin hacmi,
A	: Yığının koni şeklindeki tepesinin duvardan uzaklığı,
$\rho$	: Silaj yoğunluğu (Kg KM /m <sup>3</sup> )
$m_v$	: Sıkıştırma ekipmanının kütlesi (ton)
KM	: Kuru madde içeriği (% yaş ağırlık esasına göre)
LAB	: Laktik asit bakterileri
SI	: Uluslararası Birim Sistemi

## 1. GİRİŞ

Silaj, taze ya da kısmen soldurulmuş otların kıyılarak havasız (oksijensiz) koşullarda fermantasyonu sağlanarak elde edilen bir hayvan yemidir. Silaj, yüksek nem oranına sahip bitkilerin, oksijensiz kapalı bir ortamda depolanarak, bitki içerisindeki suda eriyebilen karbonhidratların laktik asit bakterileri tarafından (LAB), başta laktik asit olmak üzere organik asitlere dönüştürüldüğü, pH düzeyinin düşürülerek muhafaza edildiği bir yem üretme tekniğidir (Woolford 1990, Filya 2005). Hayvancılık işletmelerinde kullanılan kaliteli kaba yem ihtiyacının önemli bir bölümünü silaj yemlerinden sağlanmaktadır. Hayvan otlatmanın mümkün olmadığı bölgelerde ve özellikle kış aylarında yeşil yemlerin bulunmadığı dönemler için besin madde içeriği yüksek olan silaj yemler önemli yem kaynağıdır. Hasat döneminde yem bitkileri %75-80 oranında yem içerir. Bunlar doğrudan ya da kısa bir süre soldurulduktan sonra kıyılıp siloya yerleştirilir. Bazı yem bitkileri kıyılmadan önce kısmen kurutma ve soldurmaya bırakılır. Hasattan sonra yapılan soldurma işlemi ile ürün nem içeriği % 60-70'e kadar düşürülür. Soldurulmuş yem bitkisi namı şekline getirilerek uygun bir sistemle namludan alınıp kıyılır ve silolanır. Aşırı nemli yem kötü fermantasyona sebep olabilir. Aşırı kuru silajda kötü paketlenir ve bozulur. Bu yüzden biçilecek ürün uygun hasat neminde yapılmalıdır (Pınar ve Sessiz, 1998). Dolayısıyla hasat nemi silaj yeminin kalitesi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Ayrıca, birçok yeşil bitkiden silaj üretimi mümkün olmakla birlikte, dünyada silaj yapımında en çok kullanılan bitkilerin başında mısır gelmektedir (Wilkins ve ark. 1999). Mısır silajdan en iyi sonucu elde etmek için mısır bitkisinin hem gövdesinin hem de koçanlarının çok iyi bir şekilde parçalanması gerekmektedir.

Bunun yanı sıra kaliteli bir silaj elde etmede dikkat edilmesi gereken önemli bir kaç husus bulunmaktadır. Bunlar; silolama aşaması ve silolama sonrası yönetim aşamalarıdır. Silolama aşaması; hasat, siloya dolun ve sıkıştırma uygulamalarından oluşmaktadır. Silolama aşamasının doğru yönetilmesi, silaj yemin kalitesinin belirlenmesi üzerine etkilidir (Weinberg ve Ashbell 2003). Bu süreçte makina ile kıyılan silajlık materyalin silo yada silaj çukurunda sıkıştırılması işlemi, silolamanın en etkin aşamasıdır. Bu süreç tamamen yoğunlukla ilişkilidir. Bu aşamanın doğru yönetilmesinde birçok değişken parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerini; ürün nemi, hasat dönemi, sıkıştırma işleminde kullanılan ekipmanının kütlesi, sıkıştırma için uygulanan süre (Ruppel 1993), tabaka yükseklikleri, lastik basıncı silo kapasitesi, kuru madde oranı, tahmini verim olarak sıralayabiliriz (Holmes ve Muck 2007, Roy ve ark. 2001, D'Amours ve Savoie 2004, Holmes 2008, Tan ve ark. 2018). Bu parametreler iyi bir fermantasyon sağlayarak, besin maddesi içeriğinin maksimum değerde

tutulmasını, kayıpların azaltılmasını ve silaj yemin kalitesinin artırılmasında doğrudan etkilidirler. Çünkü, silolama aşamasında temel olan, silajlık kıyılmış materyalin silo içerisine aralarında hava kalmayacak şekilde sıkıştırılmasının sağlanmasıdır. Materyalin doğru sıkıştırılması, fermantasyon sürecinin doğru ilerlemesinin sağlaması açısından önemlidir. Bu nedenle silolama aşamasında materyale uygulanan sıkıştırma işleminin etkinliği, genel olarak silaj yemin yoğunluğu ile ölçülmektedir.

Silaj yapımında kullanılan bitkisel materyaller yığın materyal sınıfında olup, elastik malzeme özelliğine sahiptir. Bu nedenle silolama sürecinde sıkıştırma işleminin etkin olarak yürütülmesi oldukça güç olmakta ve yoğunluğun saptanması zorlaşmaktadır.

Silaj materyalin yoğunluğu yem kalitesi üzerine etkilidir. Bu nedenle, silaj materyalin yoğunluğunun bilinmesi depolanma ve silolama açısından önemli olduğundan silaj yoğunluğunun belirlenmesine yönelik çok sayıda çalışmalar yürütülmüştür (Savoie ve ark. 2006, Charley 2008, Holmes ve Muck 2007, Roy ve ark. 2001). Ancak, yapılan araştırmaların çoğunluğu silolama sonrası açılan silaj yemlerin yoğunluğunun belirlenmesine yönelik olarak yürütülmüştür (Latsch ve Sauter 2013).

## **1.1. Yoğunluk**

Yoğunluk, bir maddenin birim hacminin kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, birim hacimdeki madde miktarına yoğunluk denmektedir. Yoğunluk aynı zamanda özkütle olarak da adlandırılmaktadır. Yoğunluk yardımı ile bir maddenin belli bir sistem içerisinde karakterize edilmesi mümkün hale gelmektedir. Kütle ve hacimle doğrudan ilişkili olup, bu bileşenlerde oluşan değişiklikler yoğunluğun da değişmesine neden olmaktadır.

Hacim, en basit haliyle maddenin boşlukta kapladığı yer olarak tanımlamak mümkündür. Başka bir ifadeyle; bir nesnenin uzayda kapladığı üç boyutlu alandır (Gusev 1997). “Uluslararası Birim Sistemi” (Système International d'Unités) “SI Birimleri”ne göre hacim ölçü birimi  $m^3$  olarak ifade edilmektedir. “SI” birim sistemi bilim ve ticaret alanında ifade karmaşasının yaşanmaması için oluşturulmuş, 1960 yılında yapılan “11. Ağırlıklar ve Ölçü Genel Konferansı”nda kabul edilerek tüm dünya tarafından kullanılan evrensel bir birim sistemidir (TÜBİTAK 2017).

Her madde bir hacme sahip olmakla birlikte, her maddenin hacim değeri farklılık gösterebilmektedir. Katı ve sıvı maddelerin hacimleri birbirlerinden farklı ölçülmekte ve farklı birimler ile ifade edilmektedir. Katı maddelerin hacmi  $m^3$  cinsinden değerlendirilirken, sıvı maddelerin hacim birimi litre (L) veya mililitre (ml) olarak ifade edilmektedir (Gusev 1997, Drugan ve Willis 1996).

Kütle ise, bir cisimdeki madde miktarı olarak ifade edilmektedir. Bir cismin kütlesi ne kadar büyükse cisimdeki madde miktarı o kadar çoktur. Kütle "m" simgesiyle gösterilmektedir. Bir cismin kütle miktarı her yerde aynıdır. Kütle skalerdir yönü yoktur. Temel bir büyüklüktür. Birimi SI sistemine göre kilogram'dır (kg). Kütle, eşit kollu terazi ile ölçülmektedir.

Materyallerin yoğunluğunun belirlenebilmesi için hacim ve kütlelerinin bilinmesi gereklidir. Yığın materyalleri ele alacak olursak, söz konusu malzemenin hacmini bilmek yani kapladığı alanı ölçümsel olarak tayin etmek, o malzemenin taşıma ve depolama ekipmanlarının boyutlandırılması açısından oldukça önemlidir. Silaj gibi materyallerde hacim, materyalin kalitesini ifade eden bir kriter olan yoğunluğun belirlenebilmesi amacıyla önemlidir (Kanit ve ark. 2003).

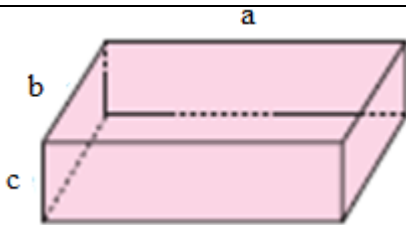
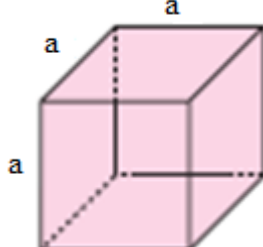
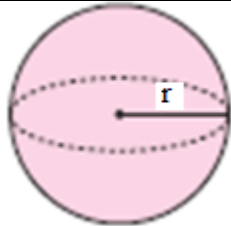
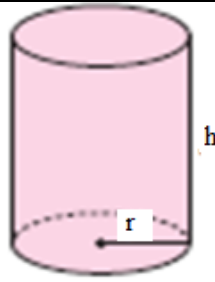
Katı cisimlerin hacimlerini belirlemede kullanılan ölçüm yöntemleri, belli bir geometrik şekle sahip katı cisimler ve belli bir şekle sahip olmayan katı cisimler olarak ikiye ayrılmaktadır (Dilts 2007).

Düzgün bir geometrik şekle sahip katı cisimlerin hacim hesaplamaları en bilindik hesaplama modelleridir. Bu cisimlerin hacimleri  $m^3$  mantığından yola çıkılarak cismin üç boyutunun ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Belli bir geometrik şekle sahip katı cisimlere ait hacim hesaplamaları Çizelge 1.1' de gösterilmiştir (Shinners ve ark. 2007).

Dikdörtgen şekle sahip katı cisimlerin hacim ölçümü, cismin üç boyutuna ait uzunlukların ölçülerek birbiriyle çarpılması sonucu elde edilmektedir. Küp şekle sahip katı cisimlerin hacim hesaplaması yapılırken yine üç kenar uzunluğu alınmaktadır. Tüm kenar uzunlukları eşit olduğundan kenar uzunluğunu "a" kabul edersek, hacmi " $a^3$ " olarak ifade etmek de mümkündür. Küre şeklindeki cisimlerin hacmi kürenin yarı çapının küpü alınarak ( $r^3$ ), pi sayısı ve 4/3 ile çarpılması sonucunda hesaplanmaktadır. Silindir şekle sahip cisimlerin

hacmi ise silindirin uzunluğunun pi sayısı ve silindirin yarıçapının karesi ile çarpılması sonucunda hesaplanmaktadır.

**Çizelge 1.1.** Düzgün geometrik cisimlerin hacim hesabı

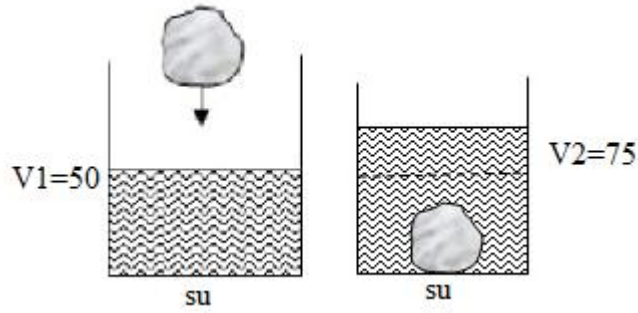
	Şekil	Hacim
Dikdörtgen		$a.b.c$
Küp		$a^3$
Küre		$4/3.\pi.r^3$
Silindir		$\pi.r^2.h$

Bazı cisimler belli bir şekle sahip olmakla birlikte, bu şeklin herhangi bir geometrik şekle benzememesi ve boyut uzunluklarının ölçülmesinin mümkün olmadığı durumlarda uygulanan çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Shuthar ve Das 1996).

Düzgün bir geometrik şekle sahip olmayan materyaller için yer değiştirme yöntemi veya diğer adı ile dereceli silindir yöntemi kullanılmaktadır. Bunun nedeni yöntemin

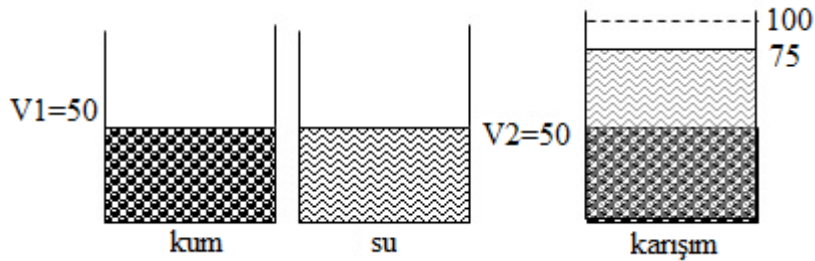
uygulanmasında dereceli silindir veya piknometrelerin kullanılmasıdır. Yer değiştirme yöntemi sıvılar, gazlar veya katılar kullanılarak farklı şekilde uygulanmaktadır.

En bilindik uygulama sıvılar kullanılarak uygulanan yer değiştirme yöntemidir. En çok kullanılan sıvılar su ve alkoldür. Hacmi hesaplanmak istenen katı cisim sıvının içine atılmaktadır (Şekil 1.1). Katı cisim atıldıktan sonra artan sıvı hacmi ilk sıvı hacmi ile karşılaştırılır ve belirlenen artı miktar cismin hacmi olarak kabul edilmektedir.



**Şekil 1.1.** Sıvı ile yer değiştirerek hacim hesaplama

Çok taneli cisimlerin hacim hesaplamalarında taneler arasındaki boşluklara dolan hava hesaba katılmalıdır. Taneli cisimler kum gibi çok ince tanelerden oluşsa dahi taneler arasında hava yer almakta ve bu havanın bir hacmi bulunmaktadır. Böyle durumlarda yine sıvı ile yer değiştirme yöntemi kullanılarak hacim hesaplama yapılmaktadır. Şekil 1.2’de taneli kumun su yardımı ile hacminin ölçülmesi gösterilmektedir. Buna göre,  $50\text{m}^3$  hacmi bulunan kum ile yine aynı hacimdeki su karıştırılmaktadır. Toplam hacmin  $100\text{m}^3$  olması beklenirken  $75\text{m}^3$  olduğu görülmektedir. Bunun nedeni  $25\text{m}^3$ ’ün kumun içinde bulunan havanın hacmi olması ve su ile karıştırıldığında havanın boşalmasıdır. Yani kumun gerçek hacmi aslında  $25\text{m}^3$ ’dür.

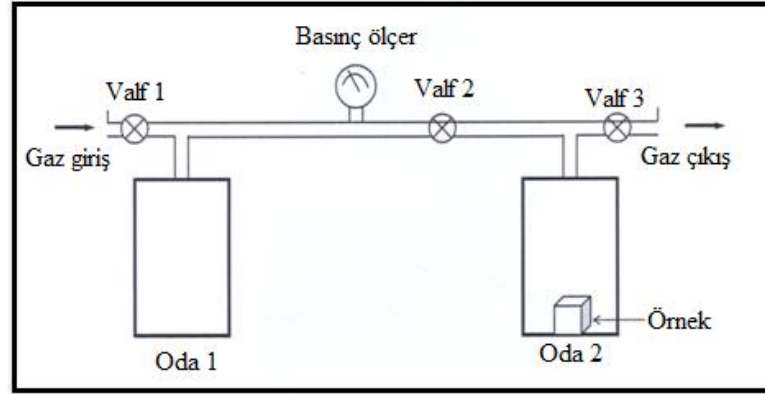


**Şekil 1.2.** Taneli katı cisimlerde yer değiştirme yöntemi ile hacim hesaplama

Yer değiştirme yöntemi ile hacim hesaplamada kullanılan bir diğer uygulama gaz ile hava yer değiştirme yöntemidir. Bu yöntem için en sık kullanılan cihaz gaz piknometresi, en



çok kullanılan gaz ise helyumdur. Bu yöntemde Archimedes'in akışkan taşması prensibi ve Boyle Kanunu'ndan faydalanılarak katı ve toz haldeki maddelerin hacmi hesaplanmaktadır. Gaz piknometrisi iki hazneden oluşmakta ve bu haznelerden birine yerleştirilen katı cisimle gaz yer değişimi metoduna bağlı olarak hacim hesaplaması yapmaktadır (Şekil 1.3). Özellikle helyum gibi maddenin her gözenegine girebilen gazlar yardımı ile yapılan ölçümlerin doğruluğu maksimum seviyededir.



**Şekil 1.3.** Gaz piknometresi ile katı cisimlerde hacim hesaplama

Katı cisimlerin bir başka katı cisimle yer değiştirmesi esasına dayalı hacim hesaplamasında genellikle cam boncuklar, kum ve tohumlardan faydalanılmaktadır. En yaygın kullanılan ise kolza tohumudur. Bu yöntem özellikle gıda endüstrisinde ve şekli düzgün olmayan katı cisimlerin hacim hesaplamalarında kullanılmaktadır. Kolza tohumu cam kaba doldurularak üzeri düzleştirilmekte daha sonra kolza tohumunun yığın yoğunluğu belirlenmektedir.

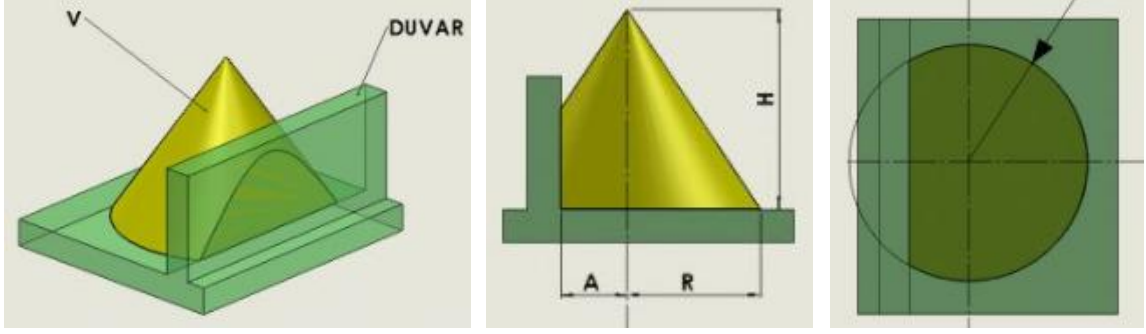
Yığın materyallerde tank veya silonun boyutlarının belirlenmesi için hacim ölçümü yapılırken, bazen materyalin konumu yığın hacminin hesaplanmasına uygun olmayabilmektedir. Örneğin; Şekil 1.4'de verildiği gibi duvar önüne yığılmış bir materyal, duvarın sınırlayıcılığı nedeniyle standart ölçüm formülleri ile hesaplamak mümkün değildir. Hesaplamak için aşağıdaki formül uygulanmaktadır (Gusev 1997, Kanit ve ark. 2003).

$$V = (R^2 \cdot H) \cdot \{0.524 + 1.12 \cdot (A/R) - 0.596 \cdot (A/R)^2\} \quad (1)$$

Bu durumda;

- V : Yığın materyalin hacmi,
- A : Yığının koni şeklindeki tepesinin duvardan uzaklığı,
- H : Koni yüksekliği,

R : koni yarıçapı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 1.4. Duvara dayanmış konik yığın hacmi hesaplama

## 1.2. Yığın materyallerde yoğunluk

Materyallerin iki farklı yoğunluğu bulunmaktadır. Bunlar;

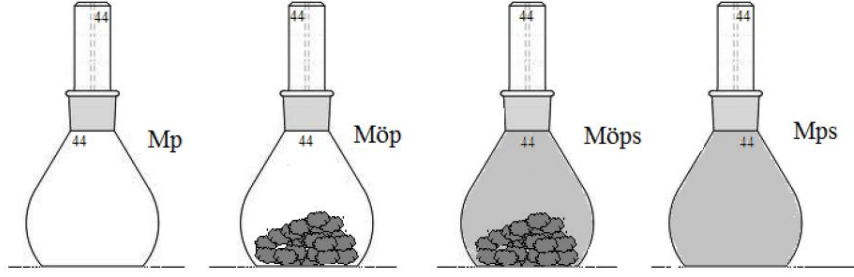
- Gerçek ve
- Yığın yoğunluktur.

Depolanma ve işlem aşamalarında kullanılacak ekipmanların belirlenmesi ve ürün niteliklerinin tanımlanabilmesi amacıyla materyallerin yığın ve gerçek yoğunluğunun bilinmesi önemlidir (Johnson ve ark. 1989, Durmuş ve Livaoğlu 2013, Erdemoğlu 2016).

### a) Gerçek yoğunluk

Maddenin gerçek yoğunluğu; “saf bir maddenin yoğunluğu ya da kütle ve hacim korunumu dikkate alınarak bileşenlerinin yoğunluklarından hesaplanan boşluksuz olarak hesaplanan yoğunluk” anlamına gelmektedir (Erdemoğlu 2016).

Taneli katı materyallerin gerçek yoğunluklarının hesaplanmasında piknometrelerden yararlanılmaktadır. Piknometre Şekil 1.5’de görülmektedir. Piknometre yardımı ile hacim hesaplamada çoğunlukla alkol veya su kullanılmaktadır (Microw 1983, Erdemoğlu 2016).



**Şekil 1.5.** Piknometre ile hacim hesaplama (Erdemoğlu 2016).

Gerçek Yoğunluk ;

$$(P_{\text{gerçek}}) = (M_{\text{öp}} - M_p) / (M_{\text{öp}} + M_{\text{ps}}) - (M_p + M_{\text{öps}}) \quad (2)$$

formülü uygulanarak hesaplanmaktadır (Erdemoğlu 2016, Microw 1983).

Burada;

$M_p$  : Boş piknometre kütlesi,

$M_{ps}$  : Sıvı ile dolu piknometre kütlesi,

$M_{öp}$  : Örnek + piknometre kütlesi,

$M_{öps}$  : Örnek + sıvı ile dolu piknometre kütlesi'ni ifade etmektedir.

### **b) Yığın yoğunluk**

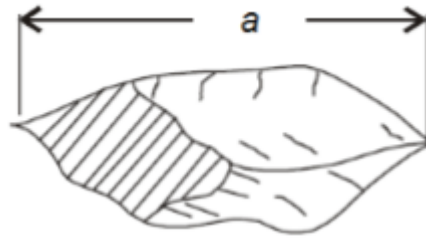
Bir yığını meydana getiren tüm parça veya partiküllerin toplam yoğunluğuna yığın yoğunluk denilmektedir. Yığın yoğunluğu belirleyen iki unsur bulunmaktadır: parça yapısı ve parçalar arasındaki boşluklardır.

Materyaller; gaz, sıvı, yarı sıvı ve katı olmak üzere fiziksel formlarına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Yığın materyaller, katı sınıfında ele almakta ve sahip olduğu nem içeriği, parça boyut dağılımına göre farklılık göstermektedir (Shah 2017).

Yığın materyaller ayrıca türü ve kullanım amacına göre sınıflandırılmaktadır. Örneğin, kum, çakıl gibi yığın materyaller, yeryüzü materyal sınıfında değerlendirilmekte ve çeşitli yapı-inşaat alanlarında kullanılmaktayken, silaj ve kompost gibi yığınlar organik veya tarımsal yığınlar sınıfında ele alınmakta ve hayvancılıkta kullanılmaktadır (Ayık 1997).

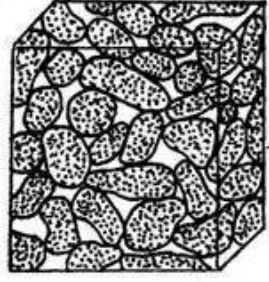
Yığın materyaller; teknik olarak yığma yöntemi ile bir araya getirilen, belli bir yer kaplayan ve kütlesi bulunan kümelerdir. Yığın halinde bulunan, depolanabilir ve ağırlığı hesaplanabilen tüm materyaller, yığın materyal sınıfında ele alınmaktadır. Depolama koşullarına göre yığın materyaller içinde buldukları kabın veya yüzeyin şeklini alabilmektedir (Purutyan ve ark. 1998).

Yığın materyaller, çok farklı özelliklere sahip ve çok sayıda malzemeyi kapsamaktadır (Crawford 2013). Yığın materyaller toz halinde, granüler veya parça halinde de bulunabilir ve yığınlar halinde depolanabilir. Bu malzemeler cevher, kömür gibi mineral çeşitleri, çakıl, kum, kil gibi yeryüzü malzemeleri, çimento, tuz gibi işlenmiş ürünler veya tahıl, silaj gibi tarımsal ürünlerden oluşabilmektedir. Yığın materyallerin boyut, ağırlık, yoğunluk, nem içeriği, akışkanlık gibi temel özelliklere sahiptir (Shah 2017). Yığın materyalin boyutu, özellik bakımından belirleyici bir unsurdur. Yığının tüm uzanımlarının kapladığı yer boyut olarak adlandırılmaktadır. Yığın materyallerin boyutu partikül boyutlarının dağılımı ile belirlenmektedir. Yığın materyalin Şekil 1.6'da gösterildiği gibi en uzun köşesi baz alınarak ölçülmekte ve bu ölçü yığının parçacık boyutunu vermektedir.



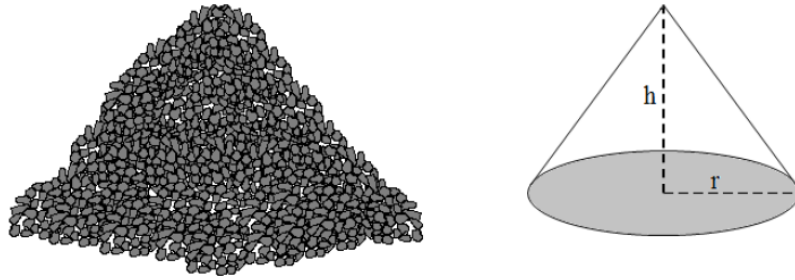
**Şekil 1.6.** Yığın materyal boyutu (Shah, 2017)

Yığın materyallerde partiküller arasındaki boşluklar olabilmektedir. Şekil 1.7'de görüldüğü üzere parça boyutu ne kadar büyük olursa aradaki boşluklar o derece artmaktadır. Bu durum yığın yoğunluğunun da düşmesine neden olmaktadır. Silaj materyallerde hasat dönemi, ürün kuru maddesi porozite seviyesi üzerine etkili parametrelerdir (Toruk ve ark. 2009, Williams 1994).



**Şekil 1.7.** Yığın yoğunluğu

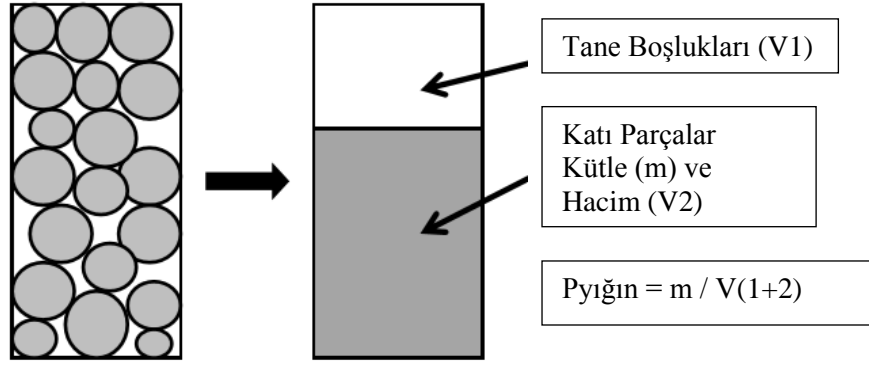
Bir yığın materyalin yoğunluğu, yığının kütesinin hacmine olan oranı ile hesaplanmaktadır. Şekil 1.8’de gösterildiği gibi yığının koni halinde bulunduğunu varsayarsak, öncelikle koninin yükseklik ve yarıçapından faydalanılarak hacmi hesaplanmaktadır (Durmuş ve Livaoglu 2013, Erdemoğlu 2016).



**Şekil 1.8.** Koni şeklindeki yığın materyalde hacmin ölçümü (Erdemoğlu 2016).

Koni şeklindeki yığının hacminin bulunmasının ardından, tartılarak yığın kütlesi belirlenmektedir. Böylece yığın kütlesi, yığın hacmine bölünerek yığın yoğunluğu belirlenmektedir (Johnson ve ark. 1989).

Yığın yoğunluk hesabı yığını oluşturan tanelerin, bu taneler arasındaki boşluklara olan oranı ile ilgilidir. Şekil 1.9’da şematik olarak gösterilmektedir (De Vos ve ark. 2005).



**Şekil 1.9.** Yığın yoğunluk (Grigal ve ark. 1989)

Yığın materyallerde bir başka parametre nem içeriğidir. Nem içeriği yığın materyalin kalitesi gibi özelliklerini doğrudan etkileyen bir özelliktir. Azalan nem içeriği ile birlikte silolamada porozite değerleri daha yüksek saptanmıştır (Toruk ve ark. 2009). Bu da yoğunluğun azalması anlamına gelmektedir.

### 1.3. Silaj materyallerde yoğunluk

Silajlık bitkinin sıkıştırılarak kapatılmasının ardından yararlı mikroorganizmalar silo içinde hızla çoğalmaya başlamaktadır. Bu durum aynı zamanda silo içindeki pH seviyesini hızla düşürerek silajın kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Silaj oluşumunu sağlayan yararlı mikroorganizmaların başında laktik asit bakterileri gelmektedir. Laktik asit bakterileri en az besin kaybı ile en iyi fermantasyonu sağlamaktadırlar (Kılıç 1997, Coşkun ve ark. 1998). Silaj oluşum sürecinde yararlı bakterilerin çoğalabilmesi için gerekli koşulların sağlanması gerekmektedir. Yararlı organizmalar karbonhidratı yakarak gerekli laktik asidin ortamda çoğalmasını sağlarlar. Bu nedenle kolay çözülebilir karbonhidratlar, silaj kalitesinde belirleyici bir unsurdur (Setala 1989, Axelsson 1993). Silaj kalitesinde önemli olan mikroorganizmaların istenen şekliyle görevlerini yapabilmeleri için ideal ortamların sağlanması gereklidir. Bu da, silo yönetiminin doğru yürütülmesi ile mümkün olmaktadır.

Yetersiz sıkıştırma işleminin uygulamasının bir sonucu olarak *Clostridium* türleri, mayalar ve küf mantarları siloda gelişmektedir. *Clostridium* türleri devamlı olarak silaj içindeki şekeri ve organik asitleri, bütirik aside dönüştürmektedir. Bu durum sindirilebilir enerjide büyük kayıpların oluşmasını sağlamakta ve silaj kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Mayalar, laktik asitleri parçalayarak etanol ve karbondioksit dönüştürürken, küf mantarları ise, hava ile temas eden yerlerde hızla çoğalarak silajda besin kaybına neden olmaktadır (Bolsen 1996, Mc Donald 1998).

Türkiye’de her yıl yaklaşık 9 milyon ton silaj üretilmektedir. Bu miktarın yaklaşık %85’i mısır silajı, geri kalan %25’i ise tahıllar, yonca ve baklagiller oluşturmaktadır (Filya 2008). Ülkemizde 2004–2014 yıllarında mısır silajının ekim alanı, üretim miktarı ve verime ilişkin değerler Çizelge 1.2’de verilmiştir. Çizelge 1.2’den de görüldüğü gibi, ülkemizde silaj üretimi yetersiz olmakla birlikte yıllar içinde düzenli olarak artış görülmektedir (Sucu ve ark. 2016).

Silaj yemleri Dünyada özellikle ABD, Fransa, Hollanda ve Almanya’da protein açığı giderilmiş mısır silajı hayvancılığın ana besin maddesi olarak kullanılmaktadır (Akın 1997, Wilkinson 1988).

**Çizelge 1.2.** 2004–2014 Yılları arasında Türkiye’de üretilen silajlık mısırın ekim alanı, üretim ve verimlilik değerleri

<b>Yıl</b>	<b>Ekilen Alan (ha)</b>	<b>Üretim (ton)</b>	<b>Verim (kg/ha)</b>
2004	130 000.00	6 200 000	47 710
2005	180 000.00	7 600 000	42 240
2006	240 661.30	10 069 968	41 880
2007	255 273.50	10 259 595	40 270
2008	272 303.10	11 183 290	41 790
2009	260 885.20	11 099 653	42 930
2010	284 472.80	12 446 450	43 980
2011	300 796.90	13 294 380	44 450
2012	337 159.20	14 956 457	44 500
2013	388 509.20	17 835 115	45 950
2014	401 591.30	18 563 390	46 300

Ülkemizde silaj yemi üretiminde her geçen yıl artış olmasına rağmen gerek üretim miktarı ve gerek silaj kalitesi istenilen düzeyde değildir. Hayvancılık işletmelerinin en büyük problemi kaliteli yemin sağlanamamasıdır. Bu anlamda üretilen yem kaynaklarının kaliteli besin maddeleri olarak hazırlanması ve hayvan tüketimine sunulabilmesi önem

kazanmaktadır. Silaj kalitesinin belirlenmesinde yoğunluk önemli bir faktördür (Roy ve ark. 2001).

Yüksek yoğunluk silo içerisinde sıcaklık artışının olmamasına, fermantasyon sürecinin doğru ilerlemesine ve bozulma etkisinin olmamasına neden olmaktadır. Diğer bir ifade ile materyal arasında düşük bir porozitenin olmasına ve düşük oksijen varlığı ile doğru silolamanın olmasına neden olmaktadır (Pitt 1986, Toruk ve ark. 2009).

Silolama sürecinde ürün nemi, silaj yoğunluğunu etkileyen diğer bir önemli bir parametre silaj nem içeriğidir. Silaj yoğunluğu ürün nemine bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermektedir. Yüksek ürün neminde (%75) 170 Kg KM/m<sup>3</sup> düşük yoğunluk ifade edilirken, düşük ürün neminde (%50) 295 Kg KM/m<sup>3</sup> yoğunluk ifade edilmiştir (McGechan 1990).

Sıkıştırma ekipmanının kütlesi ve sıkıştırma süresi de yoğunluk üzerine etki eden diğer önemli faktörler olarak ifade edilmiştir. Silaj yoğunluğu, bazı çalışmalarda sadece traktörün kütlesinin bir fonksiyonu olarak bir model oluşturularak hesaplanmıştır. Bu nedenlerle, büyük işletmelerde traktör kütlesi 20 ton ve daha ağır traktör kullanımı olarak bildirilmektedir (Darby ve Jofriet 1993). Silolama sırasında sıkıştırma süresini kısaltabilmek amacıyla iki traktör kullanımı da önerilmiştir (Ruppel 1993). Bununla birlikte genellikle, büyük silolarda iş makinesi kullanılmakta, küçük silolarda ise küçük traktörler kullanılarak silolama yapılmaktadır. Silaj yapımında kuru madde yoğunluğunun artırılması amacı ile silolama aşamalarında ağır kütleye sahip ekipmanların kullanımı yaygındır (Darby ve Jofriet 1993). Ancak, bu tip uygulamalar özellikle küçük işletmeler için kullanılabilir uygulamalar değildir. Üreticiler genel olarak kendi traktörlerini, dolayısı ile küçük yapıdaki ekipmanları kullanma eğilimi göstermektedir.

Yürütülen çalışmalarda yoğunluğun oldukça heterojen bir dağılım gösterdiği ifade edilmiştir. Özellikle beton silolarda duvar kenarlarında düşük, merkez konumlarda daha yüksek yoğunluk değerleri belirlenmiştir.

Yoğunluk, silaj kalitesinin belirlenmesi, silo yönetiminin doğru sağlanabilmesi için bilinmesi istenmektedir. Bu amaçla çalışmalar yürütülmüş ve farklı ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Ancak, çalışmalarda yapılan yoğunluk ölçümleri genel olarak silolama sonrası yani açım döneminde yapılmıştır.



Bu çalışmada, da farklı ölçüm metotları kullanılarak silolama aşamasında silajlık materyalin yoğunluğunun saptanması ve uygulanan yöntemlerin doğruluklarının test edilmesi amaçlanmıştır. Ölçümler, siloda sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yapılmıştır. Çalışmalar silaj yapımında yaygın olarak kullanılan toprak üstü yığın siloda yürütülmüştür. Uygulanan metotların silaj yemin yoğunluğunun saptanması amacıyla test edilmesi ve doğruluklarının incelenmesi çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır.

Ayrıca, materyalin yoğunluğunun silolama aşamasında belirlenmesi, silolama işleminin doğru yönetilmesini sağlaması açısından çok daha önemlidir. Silolama sonrası olası yoğunluğun hesaplanması iyileştirme sağlamayacaktır. Bu nedenle silolama aşamasında yoğunluğun belirlenmesi, iyileştirme sağlanabilmesi anlamında da önemli çalışmalardır. Bu yönüyle çalışma sonuçlarının saha uygulamalarına yönelik silaj kalitesinin iyileştirmesini sağlaması amacıyla, ülkemiz hayvancılığı için de önemli bir araştırmadır.

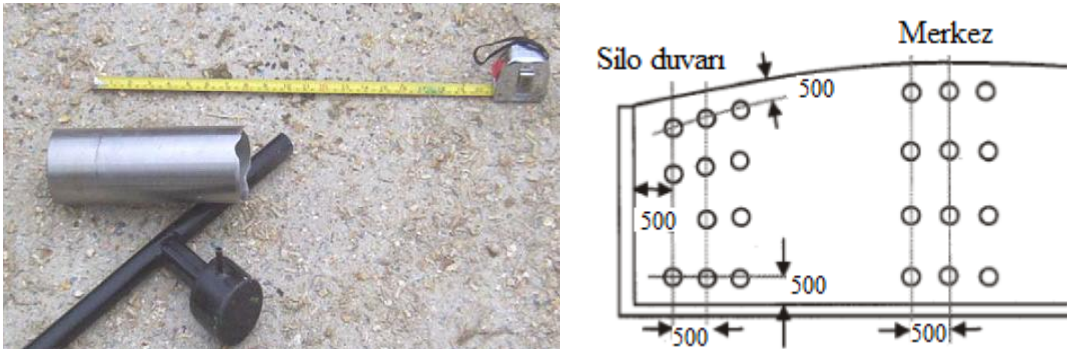
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Latsch ve Sauter (2013) tarafından yoğunluğun saptanmasına yönelik en çok kullanılan yöntemin (silaj büyük blok metot) kütleler halinde silajın yığından kesilerek, alınan silaj parçası üzerinde yapıldığı ifade edilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Silajda büyük blok ölçüm metodu

Bir başka çalışmada ise, toprak üstü beton siloda açım sonrası silonun farklı konumlarından 180 mm uzunluğunda ve 73 mm çaplı aparat ile manuel olarak örnekler alınmıştır (Şekil 2.2). Siloda mısır silajının yoğunluk profilinin belirlenmesine çalışılmıştır (D'Amours ve Savoie 2005).



Şekil 2.2. Silaj örnek alma aparatı ve siloda alınan örnekleme noktaları

Norell ve ark. 2013 yaptıkları çalışmalarında; toprak üstü beton silo ve yığın silolarda olmak üzere toplam 16 farklı hayvancılık işletmesinde mısır silajının yoğunluğunu farklı metotlar kullanarak saptamışlardır. Silaj yoğunluklarının depolama sırasında meydana gelen kuru madde kaybı ile negatif bir ilişkisi olduğunu ve yoğunluk ölçümlerinin kuru madde kaybını belirlemek amacıyla kullanıldığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında örnek alma kapları kullanılarak elde ettikleri metodun kullanım açısından uygun olduğunu önermişlerdir. Çizelge 2.1.' de yöntemlere elde ettikleri yoğunluk değerlerini verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi kullandıkları metotlara göre farklı sonuçlar saptamışlardır.

**Çizelge 2.1.** Farklı tip silolarda hesaplanan ortalama yoğunluk değerleri

Silo tipi ve boyutları			Ortalama yoğunluk (Kg m <sup>-3</sup> )		
Tipi	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Yöntem1	Yöntem2	Yöntem3
Beton	8.53	3.20	208.24	200.23	360.41
Beton	8.53	3.35	240.27	225.86	160.18
Beton	9.14	3.65	227.46	219.45	267.51
Beton	9.14	4.57	248.28	243.48	181.00
Beton	9.44	3.81	219.45	216.25	345.99
Beton	11.58	3.50	240.27	230.66	329.98
Beton	11.88	3.04	248.28	240.27	269.11
Beton	16.45	4.41	217.85	257.89	237.07
Beton	34.13	6.09	201.83	205.03	136.16
Yığın	10.36	3.35	227.46	211.44	206.63
Yığın	11.27	4.26	227.46	235.47	256.29
Yığın	23.47	4.26	254.69	272.31	189.01
Yığın	27.73	5.12	277.11	347.60	243.48
Yığın	30.11	4.17	245.08	214.64	366.82
Yığın	34.13	6.09	201.83	205.03	376.43
Yığın	38.1	4.57	222.65	224.26	181.00

Silaj gibi yığın materyallerde yoğunluk ölçümlerinde örnekleme yöntemi, silaj materyalin yoğunluğunun belirlenmesi için en güvenilir metot olarak ifade edilmiştir. Bu

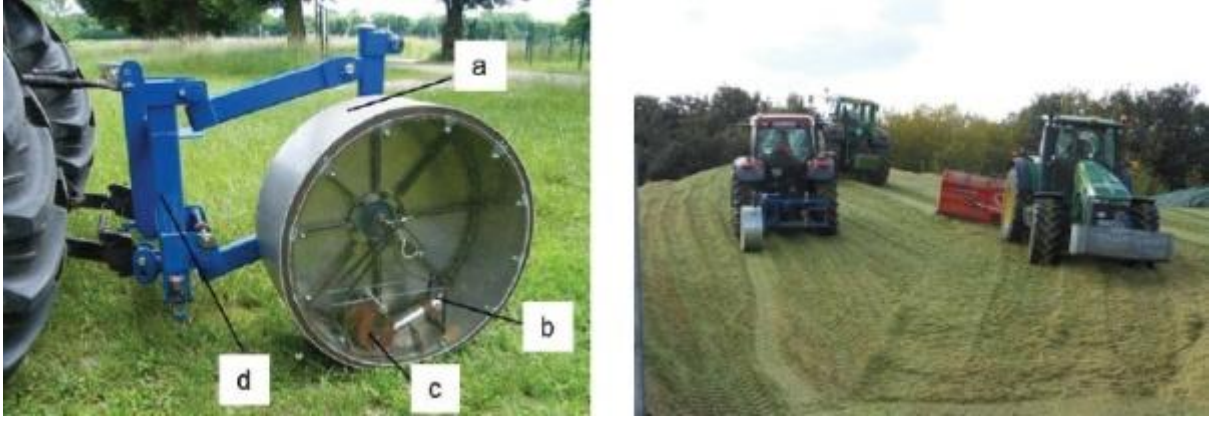
yöntemde elde edilen sonuçların doğruluğu en yüksek olduğu ancak ölçümler sırasında sonuçların çeşitli faktörlere bağlı olduğu belirtilmiştir. Ölçümlerde elde edilen sonuçların doğruluğu özellikle toprak üstü beton silolarda duvar yakını, merkez konum gibi örnekleme yapıldığı lokasyona bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Deponun alt kısmında daha yüksek yoğunluk hesaplanırken, duvar yakınlarda daha düşük yoğunluk görülmektedir. Bu nedenle silaj yoğunluğunun ifade edilmesinde genel olarak bu değerlerin ortalamasının verilmesinin uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Muck ve Holmes 2000; Silaj yoğunluğunun ölçümleri için iki farklı yöntem geliştirmişlerdir. Tarla denemeleri ile elde edilen verileri, regresyon eşitliği geliştirmek amacıyla kullanmışlardır. Sonuç olarak mısır silajının yoğunluğunun çok değişken olduğunu ifade etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında toprak üstü beton silolarda mısır silajına ait yoğunluğu 125 ile 378 kg KM/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini hesaplamıştır.

Hoffmann ve Geyer 2014, Sıkıştırma işlemi sırasında silolanan silaj materyalin yoğunluğunu belirlemek amacıyla farklı bir metot geliştirmişlerdir. Radyometrik metot ölçüm yönteminin temeli gamma-fotonların radyometrik yoğunluk tayini üzerine kurulmuştur. Radyometrik yöntem ahşap gibi doğal materyallerin yoğunluğunun belirlemek için kullanılan bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Foton kaynağı olarak Sezyum Cs-137 kullanmışlardır. Sezyum kaynağı ve detektörü, silo üzerinde sıkıştırma aracı tarafından izlenen bir 1 m çapında ve 0.4 m genişlikte yapılan ölçme tekerleğini üzerine konumlandırılmıştır. Diferansiyel Global Konumlandırma Sisteminden (DGPS) gelen verilerle birlikte, yoğunluk değerleri ilişkilendirilmiştir.

Araştırmada oluşturdukları ölçüm düzeneği ve ölçme çalışmalarına ilişkin resimler Şekil 2.3' de gösterilmiştir. Çalışmalarında yaptıkları maliyetlerin ve faydaların değerlendirilmesinde, süt ineklerinin sayısı 135 ineği aştığında radyometrik ölçüm yönteminin uygun maliyetli olduğunu ifade etmişlerdir.



**Şekil 2.3.** Radyometrik ölçüm düzeneği (a-ölçüm tekerleği, b-detektör, c-kurşun kılıflı sezyum kaynağı, d-üç nokta bağlantı için çerçeve)

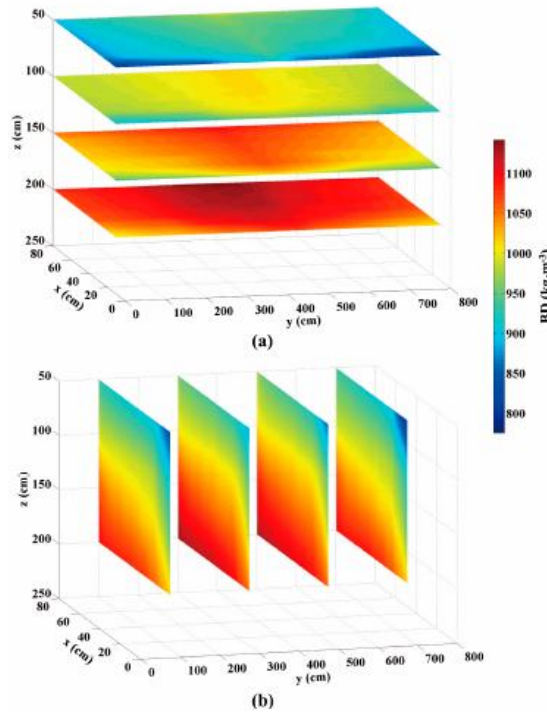
Li ve ark, 2016; Toprak üstü beton silolarda silaj materyalin kütle yoğunluğunu görselleştirmek için Şekil 2.4' de gösterilen penetrometre tabanlı haritalama sistemi geliştirmişlerdir.



**Şekil 2.4.** Penetrometre ölçümleri

Silolama kalitesini ifade edebilmek için silo içerisinde silaj materyalin yoğunluğunun görülmesi istenmektedir. Toprak üstü beton siloda mısır silajının yüzeyinde penetrometre ile ölçümler yaparak, yığın materyalin yoğunluğunu yatay ve düşey yönde haritalama ile

görüntüleme yapmışlardır (Şekil 2.5). Silonun alt katmanlarında yoğunluğun yüksek, üst katmanlarda daha az olduğunu görüntülemiştir.



Şekil 2.5. Toprak üstü yüzeysel siloda yatay ve düşey yönde kütle yoğunluğu haritası

Wang R, 2012; bir çalışmada silaj yoğunluğunun silaj yemi kalitesi açısından önemli olduğunu ve toprak üstü beton siloda silaj materyalin yoğunluğunu hesaplamak için delme yöntemini kullanmıştır. Şekil 2.6'da görülen delici (a) ile örnekler (b) almıştır. Çalışmada iki farklı çap ölçüsüne sahip delici (23.2 mm-39.8 mm) ile ot silajında örnekler almıştır.

Alınan örneklerde hacim ve ağırlıkları ile yoğunluğu hesaplamıştır. Yaptığı çalışmada uygulanan metotlar arasında yüksek korelasyon saptamıştır. Sonuçta, siloda hava girişinin azaltılması ve silolamada iyi sıkıştırmanın yapılması, yüksek silaj yoğunluğunu. fakat silaj yoğunluğunu saha koşullarında pratik olarak ölçmenin oldukça zor olduğunu ifade etmiştir.





(a)



(b)

**Şekil 2.6.** Örnek alma aparatı (a), örnek alımı (b)

Ruppel 1992, tarafından yapılan toprak üstü beton silolarda yürüttüğü çalışmasında; yonca silajının yoğunluğu ve kuru madde kaybı arasındaki ilişki Çizelge 2.2' de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi siloda materyalin yoğunluğu arttığında saptanan kuru madde kaybı azalmıştır.

**Çizelge 2.2.** Kuru madde kaybı ile silaj yoğunluğu arasındaki ilişki

Yoğunluk (kg KM/m <sup>3</sup> )	160	224	240	256	288	352
Kuru madde kaybı 180 gün (%)	20.2	16.8	15.9	15.1	13.4	10.0

Holmes 2008, Silaj materyalin yoğunluğunun silonun depolama kapasitesi ile ilgili olduğunu belirtmiştir. Yoğunluğun artması siloda depolama kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Siloda depolanan silajın miktarının hesaplanabilmesi için gerekli olan yoğunluğun genel olarak ihmal edildiğini fakat silonun tüketim aşamasının planlanması için gerekli olduğunu da ifade etmiştir.

Yöntemler arası hesaplanan yoğunluk değişimini, anlamlı derecede yüksek hesaplamıştır (p <0.001). Örnekleme ile alınan silajda hesaplanan yoğunluk değerlerinin hesaplanan değerlere yakın olduğunu ancak besleme aşamasında hesaplanan yoğunluk değerlerinin ilişkili olmadığını ifade etmiştir.

D'Amour ve Savoie 2005; Toprak üstü beton silolarda silaj materyalin yoğunluğunun konumlara göre değiştiğini; silo üstünde alınan örneklerin, zemine yakın yerden alınan örneklere kıyasla % 23 daha az yoğunluğa sahip olduğunu, merkezde alınan örneklerin yoğunluğunun duvarın yakınından alınan örneklere göre ortalama% 7 oranında daha yoğun hesaplamıştır. Genel olarak silo profilinde yoğunluğun 196 ile 293 kg KM/m<sup>3</sup> arasında değiştiğini saptamıştır.

Ruppel ve ark. 1995; Yaptıkları çalışmalarında depolama sırasında meydana gelen kuru madde kayıplarının genel olarak yoğunluk ile ilişkili olduğunu gözlemlemiştir. Oluşturdukları model ile, altı aydan uzun süreli depolama durumunda yoğunluk 160 kg KM/m<sup>3</sup> den 320 kg KM/m<sup>3</sup> artması durumunda oluşacak kuru madde kayıplarının % 20 'den % 10'a düşebileceğini belirtmiştir.

Stone 2014, yaptığı derlemede silo tip ve ürün çeşitlerinde araştırmacılara göre belirlenen silaj yoğunlukları Çizelge 2.3' de verilmiştir. Ortalama kuru madde yoğunluğunun, kuru madde kaybını minimum olmasını sağlamak amacıyla 240 Kg/m<sup>3</sup> olması gerektiğini ifade etmiştir.

**Çizelge 2.3.** Referanslara göre silaj yoğunluğu

Silo tipi	Silaj çeşidi	Örnek sayısı	Ortalama (Kg/m <sup>3</sup> )	Değer aralığı	Referans
Bunker	Ot	87	237	105-434	Muck ve Holmes (2000)
Bunker	Mısır	81	232	125-378	Muck ve Holmes (2000)
Bunker	Ot	31	254	158-435	Visser (2005)
Yığın	Ot	14	219	131-366	Visser (2005)
Bunker	Mısır	22	203	133-262	Craig ve Roth (2005)
Bunker	Mısır	21	217	177-269	Craig ve Roth (2005)
Bunker	Mısır	27	225	133-301	Oelberg ve ark. (2006)
Yığın	Mısır	13	208	129-302	Oelberg ve ark. (2006)



Latsch ve Sauter 2013, Mısır silajından dört farklı şekilde silodan örnekler alarak hesapladıkları yoğunluk değerleri sonuçları değerlendirmiştir. Büyük boylarda alınan silaj örneklerinin heterojen bir yapıya sahip olduğunu ve küçük kalıplarda alınan örneklemelerde yoğunluğun daha doğru ve pratik olduğunu vurgulamışlardır.

Bolton ve Holmes 2006, Yaptıkları çalışmalarında siloda yüksek yoğunluğun sağlanmasının depolama maliyetlerini azaltmak ve kuru madde kayıplarını minimuma indirebileceğini vurgulamıştır. Silolama için yüksek bir yoğunluğa sahip olmanın belli başlı iki nedeni bulunmaktadır. Bunları; temel olarak silajın porozitesi ve silonun kapasitesi olarak ifade etmişlerdir. Porozite silajın kuru madde içeriği ve yoğunluğuna bağlıdır. Silo içerisinde bulunan hava miktarını ve dolayısı ile depolama ve yemleme aşamalarında bozulmayı belirleyici önemli bir faktör olarak belirtmiştir.

Tan ve ark. 2017a, Yığın materyallerde sıkıştırma basıncının saptanabilmesi amacıyla basınç ölçüm sistemi geliştirerek, silaj yapımında silolama aşamasında sıkıştırma işleminin etkinliğinin silo genelinde belirlenebileceğini belirtmişlerdir.

Tan ve ark. 2017b, Yaptıkları çalışmalarında toprak üstü beton siloda mısır silajının silolamasında ve fermantasyon döneminde silajın yoğunluğunu etkileyen sıkıştırma basıncını ölçmüşlerdir. Silo içerisinde çok değişken basınç değerleri saptamışlardır. Siloda materyalin sıkıştırılmasına üzerine sıkıştırma ekipmanını kullanan operatörün etkisinin büyük olduğunu belirtmişlerdir.

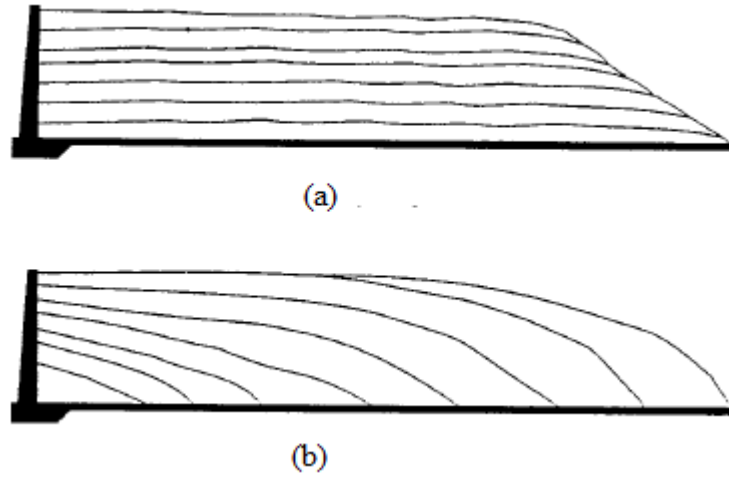
Tan ve ark. 2018, Yaptıkları çalışmalarında silolama sırasında silo içerisinde sıcaklık ve materyalin sıkıştırılması için uygulanan sıkıştırma basıncı ile arasında bir ilişki olup olmadığını araştırmışlardır. Sıkıştırma basıncı düşük ölçülen silonun arka duvarına yakın konumda saptanan sıcaklık değerlerini en düşük olduğunu belirlemişlerdir. Silo içi sıcaklık değerleri ile sıkıştırma basıncı arasında yüksek korelasyon değerleri belirlemişlerdir. Artan sıkıştırma basıncı ile fermantasyon parametrelerinin pozitif etkilendiğini saptamışlardır.

Toruk ve ark. 2009, Farklı hasat dönemlerinde ve farklı sıkıştırma kuvvetlerinde ayçiçeği silajında yoğunluk, porozite ve geçirgenlik değişimlerini incelemişlerdir. Hasat döneminin artması ile birlikte yoğunluk azalırken, porozite ve geçirgenlik artış göstermiştir. Artan sıkıştırma kuvveti ile yoğunluğun arttığını, porozite değerlerinin azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

Savoie ve ark. 2004, Yaptıkları çalışmalarında siloda materyalin sıkıştırılması üzerine siloya serilen materyal kalınlığının, ürün yoğunluğunun, ezme ve sıkıştırma amacıyla kullanılacak olan traktör veya iş makinesinin ağırlığının ve sıkıştırma süresinin etkili olduğunu ifade etmişlerdir .

Roy ve ark. 2001, Toprak üstü beton silolarda kaba yemlerin yoğunluk ve sıkıştırma konulu araştırmalarında 100-400 Kg KM /m<sup>3</sup> arasında değişken değerler hesaplamıştır. Laboratuvar koşullarında yürüttükleri çalışmalarda düşük yoğunlukta daha fazla kayıp oranının arttığını, artan sıkıştırma uygulamaları ile silaj yoğunluğunun arttırdığını belirtmiştir.

Huhnke RL 1990, Silolama yöntemi olarak materyalin dolun aşamasında iki farklı yöneme göre silolandığını belirtmiştir. Şekil 2.7' de alttan üste doğru katmanlar şeklinde silolama (a), Sağ köşeden silo önüne doğru arkadan öne doğru doldurma tekniği (b) kullanılarak yapılan silolama yöntemleri şematik olarak ifade edilmiştir.



**Şekil 2.7.** Silolama Tekniği; alttan üste doğru katmanlar şeklinde silolama (a), Sağ köşeden silo önüne doğru arkadan öne doğru doldurma tekniği (b) kullanılarak yapılan silolama yöntemleri

Holmes ve Muck 2004, Yoğunluk ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğunun toprak üstü beton silolarda ve kule tipi silolarda yürütüldüğünü ifade etmiş ve çalışmaları genel olarak özetlemiştir. Genel olarak yoğunluğu;

- Silaj yoğunluğunun üst katmandan alt katmana daha doğru artış gösterdiğini,
- Silaj yoğunluğunun silonun merkezinde duvar kenarına göre daha yüksek olduğunu,

- Silaj yoğunluğunun azalan tabaka kalınlığı, artan traktör ağırlığı ve artan traktör geçiş sayısı ile arttığı ifade etmiştir.

Holmes ve Muck 2007, Silolamada ürün neminin artmasının silo yoğunluğunun arttırdığını belirtmiştir. Artan sıkıştırmanın ve traktör ağırlığının yoğunluk üzerine etkisini vurgulamıştır.

Darby ve Jofriet 1993, Toprak üstü beton silolarda silaj materyalinin yoğunluğunun arttırmak için genel olarak 20 ton ve daha fazla ağırlığa sahip olan sıkıştırma ekipmanlarının tercih edildiğini vurgulamıştır. Traktör kütesinin bir fonksiyonu olarak silaj yoğunluğunu belirlemek amacıyla bir model oluşturmuştur.

$$\rho = 200 + 4 m_v$$

Burada;

$$\rho = \text{Silaj yoğunluğu (Kg KM /m}^3\text{)}$$

$$m_v = \text{Sıkıştırma ekipmanının kütlesi (ton)}$$

Messer ve Hawkins 1977, Silaj yoğunluğunu ürün nemi ile ilişkilendirerek ot ve mısır silajı için model oluşturmuştur. Çalışmasında ot silajı için yoğunluğu 134-176 Kg KM /m<sup>3</sup>, mısır silajı için silaj yoğunluğunu 174-194 Kg KM /m<sup>3</sup> arasında hesaplamıştır.

$$\rho_{\text{ot}} = 92.2 + 1.67 (100 - M)$$

$$\rho_{\text{mısır}} = 139 + 1.38 (100 - M)$$

Burada;

$$\rho = \text{Silaj yoğunluğu (Kg KM /m}^3\text{)}$$

$$M = \text{Nem içeriği (\% yaş ağırlık esasına göre)}$$

Bodman ve Holmes 1997, yaptıkları çalışmalarında yüksek yoğunluğa sahip silolarda silolama maliyetlerinin düşük yoğunluğa sahip silolara göre azaldığını da bildirilmiştir.

Yapılan çalışmaların çoğunluğunda yoğunluk ölçümü, silonun açım döneminde olgunlaşmış silaj yemlerde yapılmaktadır. Silo dolum sırasında ve hemen silolama sonrası ölçümler genel olarak yapılmamaktadır.

Silonun sıkıştırılması silaj yemin kalitesini etkileyen en önemli etmenlerin başında gelmektedir. Bunun yanı sıra silonun kapasitesinin doğru kullanımı, silolama yönetiminin başarılı olması anlamında da oldukça büyük önem taşımaktadır. Silaj gibi yığın materyallerde yoğunluk ölçümleri oldukça zordur. Materyalin zelliklerine ve nem içeriklerine bağlı olarak değişmekle birlikte ezme işlemi sırasında materyalin esnemesi sıkıştırma işlemini zorlaştırmakta, doğru sıkıştırmanın yapıldığını tanımlayabilecek kesin bir sınır ifade edilememektedir. Özellikle üç tarafı duvar ile çevrili olan toprak üstü beton silolarda silo içerisindeki sıkıştırma oldukça değişkenlik göstermektedir. Yapılan bir çok çalışmada silo duvar kenarları ve köşe noktalar ile merkez noktalar, silonun st yüzeyi ile silonun alt katmanları arasında da farklar olduğu ifade edilmiştir. Bu değişiklik silo yönetiminde silonun dolum metodu ile de yakından ilişkilidir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. Materyal**

Silajlık mısır çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Araştırmanın yoğunluk ölçümleri toprak üstü yığın halinde silolanmış ve sıkıştırılmış mısır silajında yapılmıştır.

Silolara materyal yığılmadan önce oluşturulan sert toprak zemin üzerine silajın toprak ile bulaşıklığını önlemek amacıyla saman serilmiştir. Materyalin silolanması sırasında arkadan öne doğru dolum tekniği uygulanmıştır. Bu nedenle arkadan öne doğru tabakalar arasına önceden belirlenen konumlara sırası ile basınç sensörleri yerleştirilmiştir.

Ölçümler, silonun farklı noktalarında ve genel sıkıştırma seviyesini belirleyebilecek konumlardan tekrarlamalı olarak yapılmıştır.

##### **3.1.1. Araştırmada kullanılan mısır çeşidine ilişkin özellikler**

Araştırmada Pioneer P2948W silajlık mısır çeşidi kullanılmıştır. Kullanılan mısır çeşidine ilişkin temel özellikleri aşağıda listelenmiştir (Pioneer ®).

Bunlar;

- Beyaz koçanlı bir çeşittir,
- Yeşil kalma özelliği yüksektir,
- Silaj verimi çok yüksektir,
- Nişasta verimi yüksektir,
- Suda eriyebilir karbonhidrat içeriği çok yüksektir,
- Lignin, hemiselüloz, ADF, NDF içeriği oldukça düşüktür,
- NEL (Net enerji) laktasyon değeri çok yüksektir,
- Etkin lif sindirilme değeri oldukça yüksektir,
- Hem ana ürün hem de ikinci ürün silajlık olarak ekilebilir nitelikte bir çeşittir.

### 3.1.2. Silaj makinesi

Denemelerde silajlık mısırın hasadı tek sıra mısır silaj makinesi kullanılarak yapılmıştır. Denemelerde kullanılan silaj makinesine ilişkin resim Şekil 3.1' de, silaj makinesine ilişkin teknik özellikler Çizelge 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Denemelerde kullanılan silaj makinesi

Çizelge 3.1. Silaj makinesine ilişkin teknik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Uzunluk	3900	mm
Genişlik	2400	mm
İş genişliği	650	mm
Yükseklik	3380	mm
Ağırlık	1100	Kg
Güç gereksinimi	50	HP
Parçalayıcı bıçak sayısı	12	Adet
PTO devri	540- (750)	Devir/dk

### 3.1.3. Sıkıştırma ekipmanı

Denemelerde sıkıştırma amaçlı kullanılan traktör ekipmanına ilişkin resim Şekil 3.2' de, silaj makinesine ilişkin teknik özellikler Çizelge 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Denemelerde kullanılan sıkıştırma aracı ve ekipmanı

Çizelge 3.2. Sıkıştırma ekipmanına ilişkin teknik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Marka/Model	John Deere/6230	
Güç	95/70	HP/kW
Tork	384	Nm
Genişlik	2275	mm
Yükseklik	2718	mm
Uzunluk	4289	mm
Yüksüz ağırlık	4640	Kg
Azami yüklü ağırlık	7600	Kg
Ön lastik boyutları	380/85R24	
Arka lastik boyutları	420/85R38	
Ön lastik basıncı	1,40-1,60	Bar
Arka lastik basıncı	1,40-1,60	Bar

Denemelerde silolama için 4640 kg ağırlığa sahip John Deere 6230 tip traktör kullanılmıştır. Denemede sıkıştırma amacıyla bir adet traktör kullanılmıştır.

### 3.1.4. Silo

Denemelerde silajlık kıyılan materyal, toprak üstü yığın siloda silolanmıştır. Denemelerin yürütüldüğü siloya ilişkin resim Şekil 3.3' de, siloya ilişkin teknik özellikler Çizelge 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.3. Denemelerin yürütüldüğü silo

Çizelge 3.3. Yığın siloya ilişkin teknik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Uzunluk	8000	mm
Genişlik	2400	mm
Yükseklik	1300	mm
Hacim	24,96	m <sup>3</sup>



## 3.2. Yöntem

Silaj ve materyale dayalı ölçümler, Banarlı/Tekirdağ' da bulunan özel hayvancılık işletmesinde yürütülmüştür. İşletmede silolama çalışmalarında herhangi müdahalede bulunulmamıştır. Ölçümler, siloda sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra sıkıştırılmış silaj üzerinde yapılmıştır.

### 3.2.1. Silolama tekniği ve denemelerin yürütülmesi

II. ürün silajlık mısır bitkisi 02.11.2017 tarihinde tek sıra mısır silaj makinesi ile kıyılarak hasat edilmiştir. Silajlık kıyılan mısır hasılı, özel olarak oluşturulan toprak üstü siloda yığın halinde silolanmıştır. Silolama işlemine ilişkin resimler Şekil 3.4' de görülmektedir.



Şekil 3.4. Silolama aşamasına ilişkin resimler

Yığın silo yapımında, materyalin toprakla bulaşmasını önlemek amacıyla sert toprak zemin üzerine saman serilmiştir. Kıyılan hasıl mısır bu zemin üzerine tabaka halinde serilerek alttan üste doğru silolama tekniği kullanılmıştır. Her tabaka eşit miktarda tüm silo alanına dağıtıldıktan sonra diğer parti ürün gelene kadar sıkıştırma işlemine devam edilmiştir.

Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra sıkıştırılmış mısır silajının üst katmanından yoğunluk ölçümü için tekerrürlü olarak ölçümler yapılmıştır.

### 3.2.2. Yoğunluk ölçümü ve denemede kullanılan yoğunluk ölçüm metotları

Sıkıştırma basıncının ölçümü için ölçüm setinin basınç algılayıcıları, silo yapımı sırasında materyal içerisine yerleştirilerek basınç ölçümleri yapılmıştır. Silonun genel durumunu ifade edebilmek amacıyla silo içerisinde ölçüm noktaları belirlenmiştir.

Sıcaklık ölçümleri için, sıcaklık sensörleri silo yapımı sırasında belirlenen ölçüm noktalarına sıcaklık ölçüm sensörleri yerleştirilerek yapılmıştır.

#### 3.2.2.1. Yoğunluk ölçümü;

Denemede kullanılan farklı yöntemler ile kütle ve hacmi belirlenen materyallerin yoğunluk değeri (1) No'lu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Wang ).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Burada;

$\rho$  : yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

m : kütle (Kg),

v : hacim (m<sup>3</sup>).

### 3.2.2.2. Yoğunluk ölçüm metotları

Bu çalışmada üç farklı yoğunluk ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler Çizelge 3.4'de kodlanmıştır.

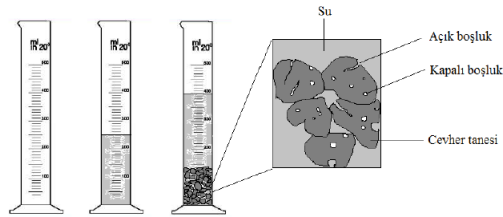
**Çizelge 3.4.** Denemelerde kullanılan yöntemler

Yöntemler		Kod
Yöntem 1	-	Y1
Yöntem 2	(Kare/B)	K1
	(Kare/K)	K2
	(Daire/B)	D1
	(Daire/K)	D2
Yöntem 3	-	Y3

#### Yöntem 1:

#### Kaba yoğunluk ölçümü (Y1)

Bu yöntemde yoğunluk değerleri, materyalin sıvı ile yer değiştirme esasına göre hacmin belirlenmesi yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemde, materyalin hacmi piknometreler (özgül ağırlık şişeleri) veya ölçü silindirleri ile ölçülmektedir. Şekil 3.5'de kaba yoğunluğun hesaplanmasına ilişkin ölçü silindirleri ile yapılan ölçüm görülmektedir.



**Şekil 3.5.** Kaba yoğunluk ölçümü

Bu yöntemin uygulanmasında dereceli silindir veya piknometrelerin kullanılmasından dolayı dereceli silindir yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Yer değiştirme yöntemi sıvılar, gazlar veya katılar kullanılarak farklı şekilde uygulanmaktadırlar. En çok kullanılan yer değiştirme yöntemi, sıvı en çok da su kullanılarak yapılan yer değiştirme yöntemidir.

Çalışmada hacmi hesaplanmak istenen silajlık kıyılan materyal, sıvı olarak kullanılan su içine atılarak ölçümler yapılmıştır. Silajlık kıyılmış materyal suya atıldıktan sonra artan sıvı hacmi ilk sıvı hacmi ile karşılaştırılmakta ve belirlenen artı miktarı cismin hacmi olarak kabul edilmektedir.

Denemelerde ölçüm kapları ile alınan silaj materyallerin, dereceli silindir kullanılarak yer değiştirme yöntemi ile hacimleri hesaplanmıştır. Hacimleri belirlenen materyallerin yoğunlukları eşitlik (1) yardımıyla belirlenmiştir.

## **Yöntem 2:**

### **Yığın Yoğunluğu (Y2)**

Yığın (bulk) halde paketlenen veya istiflenen bir materyalin yoğunluğudur. Partikül haldeki katı materyallerin yığın yoğunluğu boyutları bilinen bir kap içerisine dökülerek ölçülebilir. Doldurma şekli ve kap boyutları ölçümü etkilemektedir. Yoğunluk, katı yoğunluğuna, geometrisine, boyutuna, yüzey özelliklerine ve ölçüm yöntemine bağlıdır. Yığın yoğunluğu, yığın ağırlığının, yığın hacmine bölünmesi ile eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

Silaj materyalin yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla en çok kullanılan yöntem ve uygulamaları oluşturmaktadır. Genel olarak dairesel örnekleme kapları kullanılarak alınan örneklerde yoğunluk hesaplaması yapılmaktadır.

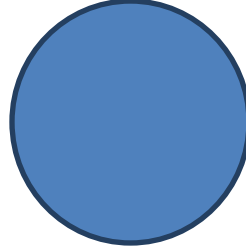
Bu çalışmada, kapların şekil ve boyutlarının etkisini görebilmek amacıyla iki farklı boyut ve iki farklı şekle sahip kaplar yapılarak denenmeye alınmıştır.

Çalışmada; sıkıştırma sonrası yoğunluk farkı olup olmadığını belirlemek için boyutları ve hacmi bilinen iki farklı şekle sahip kap formu (B1, B2) kullanılmıştır.

Şekil 3.6'da kaba yoğunluğun hesaplanması amacıyla kullanılacak kapların formları görülmektedir. Kapların iki farklı boyutu önceden yapılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan kaplar içleri boş olacak şekilde ve benzer yükseklik ölçülerinde yapılmıştır. Çizelge 3.5' de denemelerde kullanılan kaplara ilişkin teknik özellikler verilmiştir.






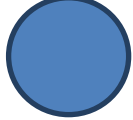
(a) Kare



(b) Daire

Şekil 3.6. Yığın yoğunluk ölçümünde kullanılan hacmi belli kaplar

Çizelge 3.5. Ölçüm kaplarına ilişkin teknik özellikler

Ölçüm kapları				
Yöntem 2	K1	K2	D1	D2
Kenar /Çap (cm)	8.94	12.65	10	14.25
Yükseklik (cm)	5	5	5	5
Ağırlık (g)	1150	2410	907	2082
Alan (cm <sup>2</sup> )	80	160	78.5	159.3

Denemede dört farklı özellik ve boyutta kaplar kullanılmıştır. Sıkıştırılan silajlık materyalde kaplar ile örnekler alınmıştır. Alınan örneklerin materyal ağırlığı ve hacmi belirlenerek yoğunlukları hesaplanmıştır.

Hacim, materyalin kalitesini etkileyen önemli özelliklerden biridir. Ürünün boyutu, görüntüsü, yoğunluğu, depolama koşullarının elverişliliği gibi bir çok ayrıntı ile de ilişkilidir. Ayrıca hacim yoğunluk hesaplamada faydalanılan bileşenlerden biridir. Bu sebeple yığın materyallerin hacim hesaplamaları önemli bir ölçümdür (Kanit ve ark. 2003).

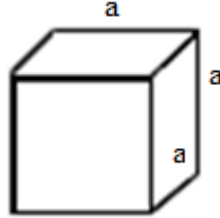
Katı cisimlerin hacimlerini belirlemede belli bir geometrik şekle sahip katı cisimler kullanılmaktadır (Dilts 2007).

Belli bir geometrik şekle sahip katı cisimlerin hacim hesaplamaları, düzgün bir geometrik şekle sahip katı cisimlerin hacim hesaplamaları en bilindik hesaplama modelleridir. Bu cisimlerin hacimleri  $m^3$  mantığından yola çıkılarak cismin üç boyutunun ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Bu nedenle bunlara doğrusal veya boyutsal hesaplama da denmektedir. Belli bir geometrik şekle sahip katı cisimlere ait hacim hesaplamaları yapılmaktadır (Shinners ve ark. 2007).

Denemelerde küp ve silindirik şekle sahip kaplar kullanılarak ölçümler yapılmış. Bunlar;

#### **Küp şekle sahip kaplarda:**

Bu şekle sahip katı cisimlerin hacim hesaplaması yapılırken yine üç kenar uzunluğu alınarak birbirleri ile çarpılır. Tüm kenar uzunlukları eşit olduğundan kenar uzunluğunu “a” kabul edersek, hacmi “ $a^3$ ” olarak ifade etmek de mümkündür. Şekil 3.7'de kaba yoğunluğun hesaplanması amacıyla kullanılacak küp şeklindeki kaplar verilmiştir.



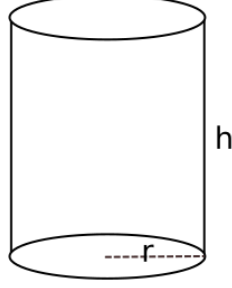
**Şekil 3.7.** Kaba yoğunluğun hesaplanması amacıyla kullanılan küp şeklindeki kaplar

Küp formundaki şekle sahip kaplarda hacim hesaplamalarında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Hacim} = a^3 \quad (2)$$

### Silindir şekle sahip kaplarda:

Silindirik şekle sahip cisimlerin hacmi, silindirin uzunluğunun pi sayısı ve silindirin yarıçapının karesi ile çarpılması sonucunda hesaplanmaktadır. Şekil 3.8'de kaba yoğunluğun hesaplanması amacıyla kullanılacak silindir şeklindeki kaplar verilmiştir.



Şekil 3.8. Kaba yoğunluğun hesaplanması amacıyla kullanılan silindir şeklindeki kaplar

Küp formundaki şekle sahip kaplarda hacim hesaplamalarında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\text{Hacim} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3)$$

Denemelerde kullanılan belli geometrik şekle sahip kaplar yardımıyla ağırlık ve hacmi (2 ve 3 No'lu eşitlik yardımıyla) hesaplanan silaj yemlerde ölçümler yapılarak (1) No'lu eşitlik yardımıyla sahip oldukları yoğunluk değerleri saptanmıştır.

Küp ve silindir şeklinde kullanılan kapların silolama sırasında sıkıştırma üzerinde etkilerinin gözlenmesi çalışmanın temel amaçlarını oluşturmaktadır.

### Yöntem 3:

#### Penetrometre (Y3)

Yoğunluk ölçümünde el penetrometresi kullanılmıştır. Ejkelkamp marka el penetrologger ile ölçüm yapılacaktır. Şekil 3.9'da penetrometre ile yoğunluğun hesaplanmasına ilişkin ölçüm görülmektedir.



Şekil 3.9. Penetrometre ile yoğunluk ölçümü

Bu yöntemde yoğunluk ölçümleri, sıkıştırma işlemi biten silonun üst noktasında örnekleme yapıldığı farklı noktalardan tekrarlamalı olarak yapılmıştır.

Denemelerde yoğunluk ölçümleri iki farklı dönemde yürütülmüştür. Denemede kullanılan üç yöntemde göre iki dönemde hesaplamalar yapılmıştır. Bunlar;

- Sıkıştırma işlemi sonrasında silolama dönemi
- Silonun olgunlaşma sonrası açım dönemi.

Ölçümler, kullanılan tüm metotlarda silonun üç farklı katmanında tekrarlamalı olarak yapılmıştır. Her bir tekrür en az dört kez yapılmıştır. Silonun yönetiminde alt katmandan üste doğru dolun tekniği uygulanmıştır. Bu nedenle her katmanda sıkıştırma sonrası ölçümler yürütülmüştür.



Siloda ölçüm yapılan katmanlar;

- (1) Alt katman
- (2) Orta katman ve
- (3) Üst katman 'dır.

Silo üç ana bölgeye ayrılmıştır. Her katmanda ve bölgede olmak üzere 21 adet ölçüm noktası belirlenmiştir. Ölçümler, üç farklı yoğunluk yöntemine göre hesaplanmıştır. Hesaplanan yoğunluk değerleri karşılaştırılarak, yöntemler arası farklılıklar belirlenmesine çalışılmıştır.

### 3.2.3. Sıcaklık ölçümü

Sıcaklık arttıkça yoğunluk azalmakta, sıcaklık düştükçe, yoğunluk artmaktadır. Yoğunluk sıcaklık ve basınca bağlı olduğundan çalışmaların yürütüldüğü zamana ait ortam sıcaklık değerleri ve silodaki materyalin sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Çizelge 3.6' de denemelerin yürütüldüğü zamana ilişkin iklimsel veriler verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Denemelerin yürütüldüğü zamana ilişkin iklimsel veriler

Tarih	Sıcaklık	Nem
1.11.2017	18	85
2.11.2017	20	75
3.11.2017	20	75

Silo içi sıcaklık ölçümleri Hobo E-348-UA-002-08 model sıcaklık dataloggerları yardımı ile yapılmıştır. Şekil 3.10' da sıcaklık ölçüm sensörünün resmi gösterilmiştir. Çizelge 3. 7'da sıcaklık sensörüne ilişkin teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.10. Denemelerde kullanılan su geçirmez Hobo marka sıcaklık datalogeri

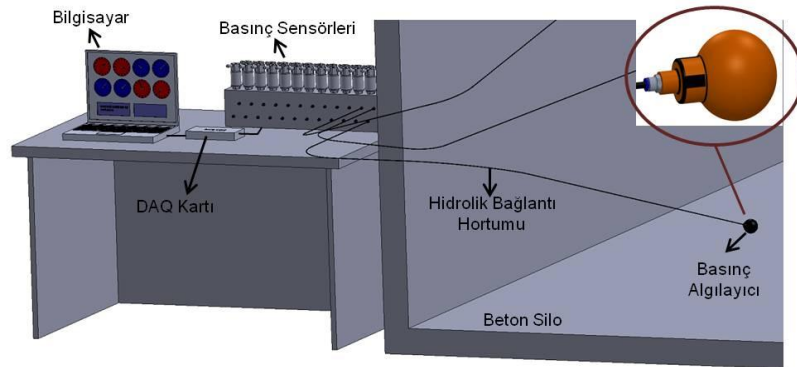
**Çizelge 3.7. Sıcaklık sensörüne ilişkin teknik özellikler**

Sıcaklık ölçüm aralığı	-20° ile 70°C (-4° ile 158°F)
Derinlik	30 m
Ağırlık	18 g
Boyut	58 x 33 x 23 mm
Hafıza	8K bytes

**3.2.4. Basınç ölçümü**

Silolama sırasında materyale uygulanan sıkıştırma basıncı basınç ölçüm sistemi kullanılarak yapılmıştır.

Basınç ölçüm sistemi, yığın materyallerde basınç ölçümü yapabilmek amacıyla geliştirilmiştir (Tan ve ark. 2017). Denemede kullanılan basınç ölçüm sistemine ilişkin resim Şekil 3.11' de verilmiştir.



Şekil 3.11. Basınç ölçüm sistemi

Basınç ölçüm sistemi;

- Basınç algılayıcılar,
- Bağlantı hortumları,
- Basınç sensörleri ve
- Veri toplama bölümlerinden oluşmaktadır.

Traktör lastik basınçları genelde 2-2.5 bar arasında değişmektedir. Basınç ölçüm sisteminde kullanılan basınç sensörleri, 4 bar kapasiteli 4-20 mA analog çıkış özelliğine sahiptir. Bu nedenle sensör kapasiteleri traktör lastik basıncını ölçebilecek kapasitedir.

Basınç algılayıcı kauçuk küreler, esnek yapıdaki kürelerdir. Silaj ile çevrelendiği için üzerinde oluşan toplam basıncı yön gözetmeksizin sensörlere iletebilecek yapıdadır (Turner ve Raper 2001). Kullanılan hidrolik hortumlar 10 bar basınca kadar uygulamalara dayanabilecek yapıdadır (Turner ve Raper 2001, Tan ve ark. 2017).

Veri toplama ve depolama sisteminde National Instruments firmasının geliştirdiği Labview görsel programlama dili ile yazılan veri toplama programı kullanılmıştır. Labview ile hazırlanan program bir dizüstü bilgisayara yüklenerek veri toplama modülünden gelen verileri depolamaktadır. Toplanan veriler Excel formatında depolanmıştır.

### 3.2.5. Nem içeriğinin saptaması

Silajların nem içeriği (ASAE Standartds 2002)' a göre yapılmıştır. Silaj materyali tepsiye boşaltılmış ve örnekler elle karıştırıldıktan sonra, her örnekten üçer adet olmak üzere, bir miktar silaj örneği alınmış ve alüminyum kurutma tabakları içine konmuştur. İçi silaj örneği dolu olan alüminyum kurutma tabakları 0,01hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra, kurutma fırınında 103 °C, 24 saat etüvde kurutularak belirlenmiştir. Örnekler, hassas terazide tartılarak silajların nem içeriği belirlenmiştir (Şekil 3.12).

Yaş ağırlık – Kuru ağırlık

$$\text{Nem oranı (\%)} = \frac{\text{Yaş ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}}{\text{Yaş ağırlık}} \times 100 \quad (4)$$

Yaş ağırlık



**Şekil 3.12.** Kuru madde analizi

### **3.2.6. Kuru madde içeriğinin saptanması**

Silajların kuru madde oranları Akyıldız (1984) ve Ergül (1988)'e göre aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{Kuru madde oranı (\%)} = 100 - \text{Nem oranı (\%)} \quad (5)$$

### **3.2.7. pH içeriğinin saptanması**

Silaj materyallerin pH değeri, Flieg puanlama sistemine göre kalite sınıfının belirlenebilmesi amacıyla incelenmiştir. Genel olarak "PEKİYİ" özellikte bir silajın pH değerini Açıkgöz ve ark. (2002) tarafından 3.5 ile 4.2 arasında olması gerektiği belirtilmiştir.

Silaj yemlerin pH değerleri, Chen ve ark. (1994)'e göre yapılmıştır. Bunun için 10g silaj örneği bir behere konularak 0,01 hassasiyetteki terazide tartılmıştır. Örneğin üzerine 125 ml saf su ilave edilerek blendırda 5 dakika süre ile karıştırılıp homojenize edildikten sonra, karışımdan süzülerek 30 ml örnek alınmış ve alınan bu süzükte WTW İNOLAB marka dijital pH metre ile örneğin pH değeri ölçülmüştür. Şekil 3.13' de pH ölçümüne ilişkin resim gösterilmiştir.



Şekil 3.13. pH analizi

### 3.2.8. Silaj niteliğinde Flieg puanı

Silaj yemlerin niteliğini ifade etmede Alman Tarım Örgütü (DLG 1987) tarafından oluşturulan Fleig Puanlama Yöntemi kullanılmıştır (Kılıç 1986; Alçıçek ve Özkan 1996). Flieg puanı silajlık yemin kuru madde oranı (%) ve pH değerine göre belirlenmektedir. Çizelge 3.8’de silajların fiziksel özelliklerine göre değerlendirilmesinde kullanılan Fleig Puanlama yöntemi verilmiştir. Hesaplanan Fleig puanı, silajın kalitesi hakkında genel bir bilgi vermektedir (Nauman ve Bassler 1993).

Çizelge 3.8. Fleig puanına göre silaj kalite sınıfı

Hesaplanan Fleig puanı	Silaj kalite sınıfı
81-100	Pekiyi
61-80	İyi
41-60	Orta
21-40	Değeri az
0-20	Kötü

Fleig puanı:  $220+(2x \% \text{ kuru madde}-15)-40 \text{ pH}$

(6)

### 3.2.9. İstatistiksel Analizler

Siloda sıkıştırılmış silajlık mısırdaki ölçülen ve hesaplanan yoğunluk değerleri arasındaki istatistiksel farklılıklar SPSS İstatistik Paket Programı kullanılarak test edilmiştir (Soysal 2010).

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Yoğunluğa İlişkin Araştırma Sonuçları

Bu araştırmada, yoğunluk ölçümleri silolama sırasında ve olgunlaşma sonrası açım döneminde olmak üzere iki farklı dönemde yapılmıştır. Araştırma sonuçları her iki dönem için de hesaplanmıştır. Ölçümler, kullanılan tüm metotlarda silonun üç farklı katmanında tekrarlamalı olarak yapılmıştır.

#### 4.1.1. Metot-I ilişkin araştırma sonuçları

Toprak üstü yığın siloda metot-I' e göre yapılan ölçüm sonuçları, silonun üç katmanından 4 tekrarlamalı olarak alınan örneklerin ortalama sonuçlarıdır. Silolama sırasında yürütülen ölçümlere ilişkin elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1' de, silonun açım sonrası döneminde yapılan yoğunluk ölçüm sonuçlarına ilişkin ortalama sonuçlar Çizelge 4.2' de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Silolama aşaması ortalama yoğunluk değerleri

Katman	N	Kütle (g)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )
Alt	4	342.6	393	0.872	871.75 <sup>a</sup>
Orta	4	326.4	394	0.828	828.42 <sup>b</sup>
Üst	4	298.9	390	0.766	766.41 <sup>c</sup>
Ort.	4	322.63	392.3	0.822	822.19

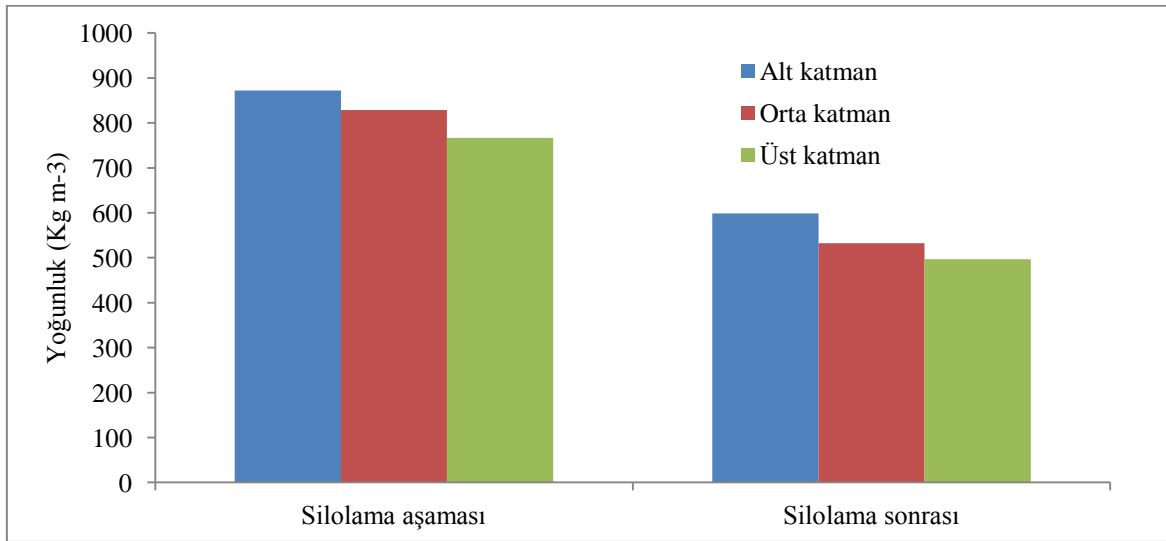
Çizelgeden görüleceği gibi silolama aşamasında katmanların yoğunluk üzerine etkisi önemli bulunmuştur. Silolama aşamasında ölçülen yoğunluk değerleri, katmanlar arasında istatistiki olarak farklılık göstermiştir ( $P<0.05$ ). En yüksek yoğunluk değeri alt katmanda saptanırken (871.75 Kg/m<sup>3</sup>), en düşük yoğunluk değeri, üst katmanda saptanmıştır (766.41 Kg/m<sup>3</sup>).

Bunun temel nedeni traktör ve ekipmanın alt katmandan üst katmana doğru sürekli sıkıştırarak diğer katmanlara göre daha iyi sıkıştırmasıdır. Dolayısıyla siloya materyal dağıtılıp sıkıştırıldıkça alta doğru sıkışma miktarında artma meydana gelmektedir. Bu yüzden sıkıştırma yapılırken her 30-40 cm yığın yüksekliğinde nem durumuna dağılımına göre eşit miktarda sıkıştırma yapılmalıdır. Benzer durum açım sonrası ölçümlerde de görülmüştür. Çizelge 4.2' den de görüldüğü gibi açım sonrası aşamasında da katmanların yoğunluk üzerine etkisi önemli bulunmuştur ( $P<0.05$ ).

**Çizelge 4.2.** Açım sonrası ortalama yoğunluk değerleri

Katman	N	Kütle (g)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )
Alt	4	252	421.40	0.598	598.25 <sup>a</sup>
Orta	4	218	409.77	0.532	532.12 <sup>b</sup>
Üst	4	206	415.32	0.496	496.63 <sup>c</sup>
Ort.	4	225.33	415.49	0.542	542.33

En yüksek yoğunluk değeri alt katmanda 598.25 Kg/m<sup>3</sup> olarak saptanırken, en düşük yoğunluk değeri, üst katmanda 496.63 Kg/m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır. Yoğunluk genel olarak silolama aşamasında ölçülen değerler ile farklılık göstermemiştir. Silolama aşamasında ve sonrasında en yüksek yoğunluk alt katmanda olurken, en düşük yoğunluk üst katmanda olmuştur.



**Şekil 4.1.** Metot-I'e göre silolama aşaması ve silolama sonrası katmanlar arasındaki yoğunluk değişimi



Şekil 4.1.' de Metot-I'e göre silolama aşaması ve silolama sonrası katmanlar arasındaki yoğunluk değişimi verilmiştir. Açım sonrası yoğunluk değerleri yaklaşık %30-35 azalma göstermiştir. Aşama arasındaki değişim önemli bulunmuştur ( $F=168.613^{**}$ ). Bu siloda fermantasyon süresince silo suyu kaybı, kuru madde kaybı ve olgunlaşma süreci nedeni ile oluşmaktadır.

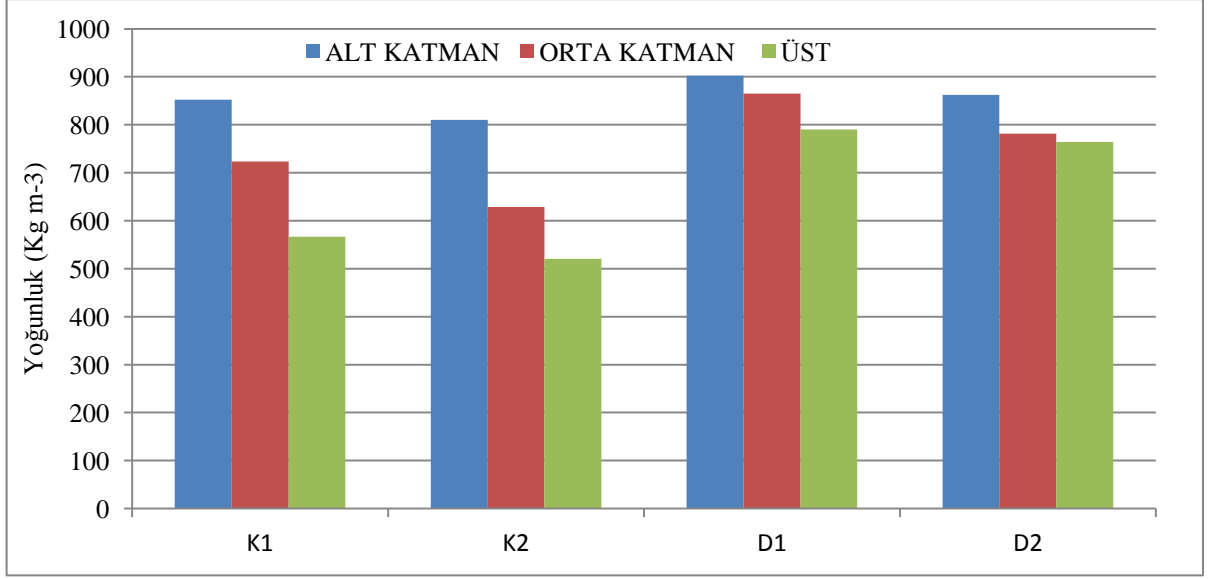
#### 4.1.2. Metot-II ilişkin araştırma sonuçları

Silolama sırasında yapılan ölçümlere ilişkin elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3' de, silonun açım sonrası döneminde yapılan yoğunluk ölçüm sonuçlarına ilişkin ortalama sonuçlar Çizelge 4.4' de verilmiştir. Silolama aşamasında ölçülen yoğunluk değerleri, tüm metotlarda katmanlar arası istatistiki olarak farklılık göstermiştir ( $P<0.05$ ).

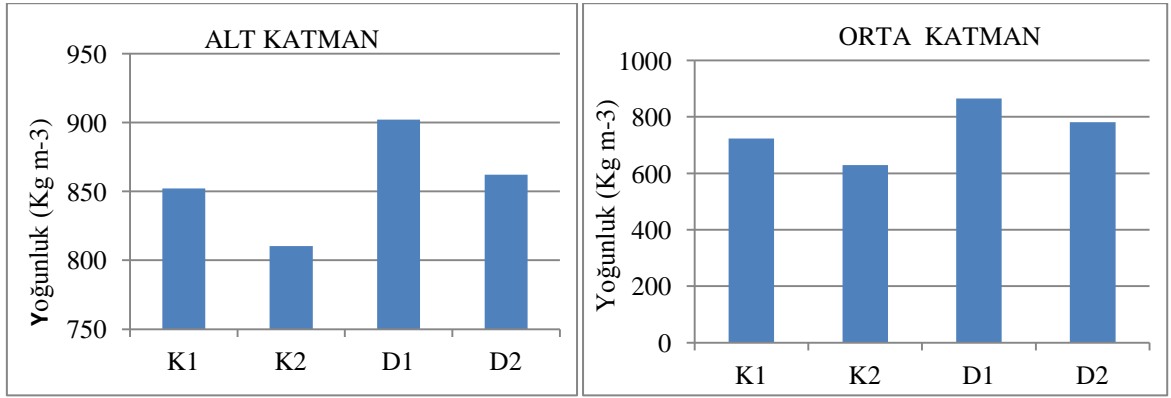
**Çizelge 4.3.** Silolama aşaması ortalama yoğunluk değerleri

Örnek	N	Kütle (g)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>ALT</b>					
K1	3	340.90	400	0.852	852.25 <sup>a</sup>
K2	3	648.16	800	0.810	810.27 <sup>a</sup>
D1	3	354.03	392.5	0.902	902.21 <sup>a</sup>
D2	3	686.65	796.4	0.862	862.20 <sup>a</sup>
Ort.	3	501.68	597.22	0.842	842.35
<b>ORTA</b>					
K1	3	289.50	400	0.723	723.75 <sup>b</sup>
K2	3	502.40	800	0.628	628.96 <sup>b</sup>
D1	3	339.51	392.5	0.865	865.13 <sup>b</sup>
D2	3	638.32	796.4	0.781	781.80 <sup>b</sup>
Ort.	3	468.68	597.22	0.749	749.91
<b>ÜST</b>					
K1	3	226.62	400	0.566	566.55 <sup>c</sup>
K2	3	416.31	800	0.520	520.38 <sup>c</sup>
D1	3	310.07	392.5	0.790	790.40 <sup>c</sup>
D2	3	608.45	796.4	0.764	764.00 <sup>c</sup>
Ort.	3	512.38	597.22	0.66	660.33

Şekil 4.2.' de Metot-II' ye göre silolama aşaması sırasında katmanlar arasındaki yoğunluk değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.3 (a) alt katman, Şekil 4.3 (b) orta katman, Şekil 4.3 (c)' de üst katmanda hesaplanan yoğunluk değişimleri verilmiştir.

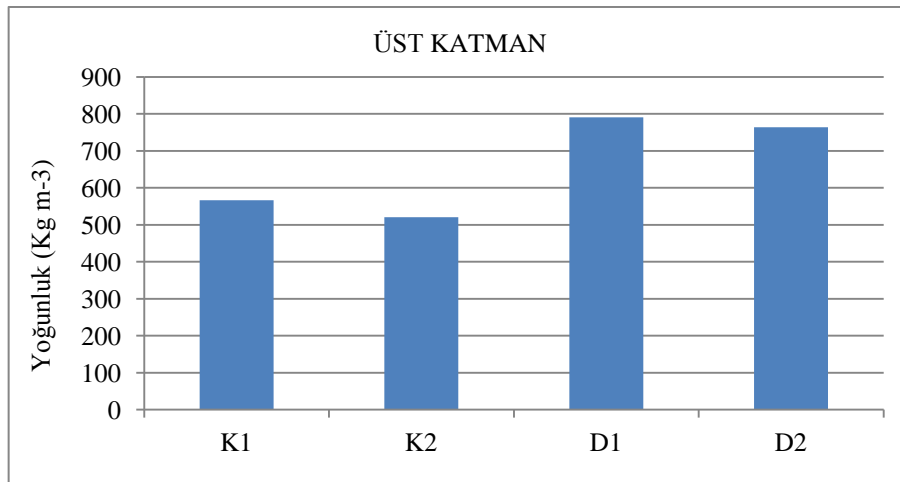


Şekil 4.2. Metot-II' ye göre silolama aşamasında katmanlar arasındaki yoğunluk değişimi



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.3. (a) Metot-II' ye göre silolama aşamasında alt katman, (b) orta katman, (c)' de üst katmanda hesaplanan yoğunluk değişimleri

Tüm katmanlarda D1 değerleri en yüksek bulunurken, K2 değerleri en düşük olmuştur. Krüger ve ark. (2017) yaptıkları çalışmalarında hacmi belli silindir kap kullanarak tarla koşullarında silaj yoğunluğunun 571-861 Kg m<sup>-3</sup> olarak hesaplamıştır. Sonuçlar bizim çalışmamız ile benzerlik göstermektedir.

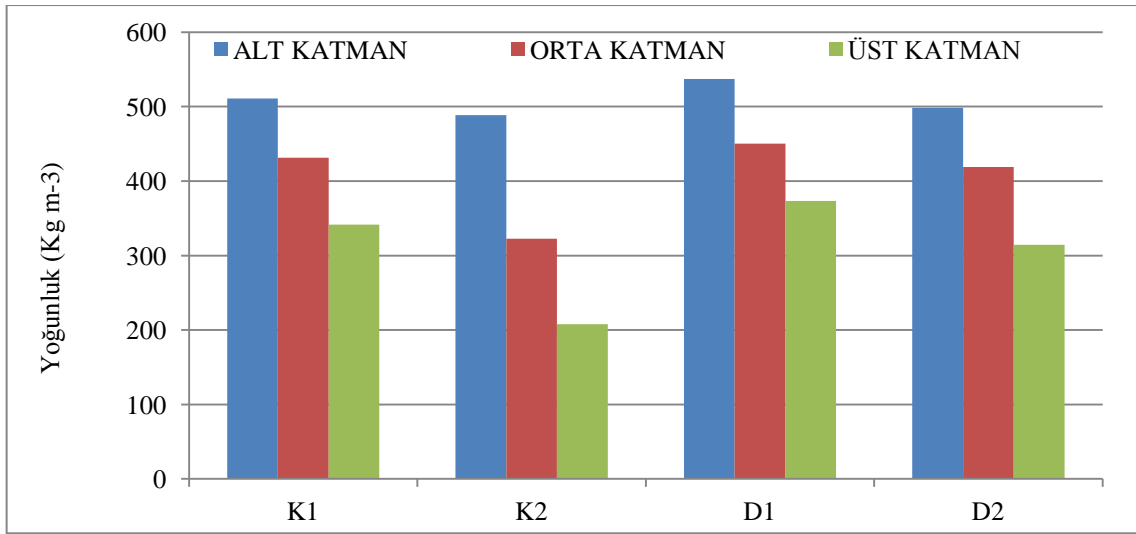
**Çizelge 4.4.** Açım sonrası ortalama yoğunluk değerleri

Örnek	N	Kütle (g)	Hacim (cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )
<b>ALT</b>					
K1	3	204.4	400	0.511	510.75 <sup>a</sup>
K2	3	390.4	800	0.488	488.58 <sup>a</sup>
D1	3	210.77	392.5	0.537	536.94 <sup>a</sup>
D2	3	396.61	796.4	0.498	498.32 <sup>a</sup>
Ort.	3	300.54	597.22	0.508	508.65
<b>ORTA</b>					
K1	3	172.4	400	0.431	431.4 <sup>b</sup>
K2	3	257.6	800	0.322	322.52 <sup>b</sup>
D1	3	176.62	392.5	0.45	450.31 <sup>b</sup>
D2	3	332.89	796.4	0.418	418.99 <sup>b</sup>
Ort.	3	234.87	597.22	0.405	405.81
<b>ÜST</b>					
K1	3	136.4	400	0.341	341.55 <sup>c</sup>
K2	3	165.6	800	0.207	207.62 <sup>c</sup>
D1	3	146.4	392.5	0.373	373.24 <sup>c</sup>
D2	3	250.06	796.4	0.314	314.56 <sup>c</sup>
Ort.	3	174.65	597.22	0.308	309.24

Açım sonrası aşamasında ölçülen yoğunluk değerleri, tüm metotlarda katmanlar arası istatistiki olarak farklılık göstermiştir ( $P<0.05$ ). En yüksek yoğunluk değeri alt katmanda saptanırken (508.65 Kg/m<sup>3</sup>), en düşük yoğunluk değeri, üst katmanda saptanmıştır (207.62 Kg/m<sup>3</sup>). Açım sonrası yoğunluk değerleri yaklaşık %40-55 azalma göstermiştir. Bu siloda fermentasyon süresince silo suyu kaybı, kuru madde kaybı ve olgunlaşma süreci nedeni ile oluşmaktadır.

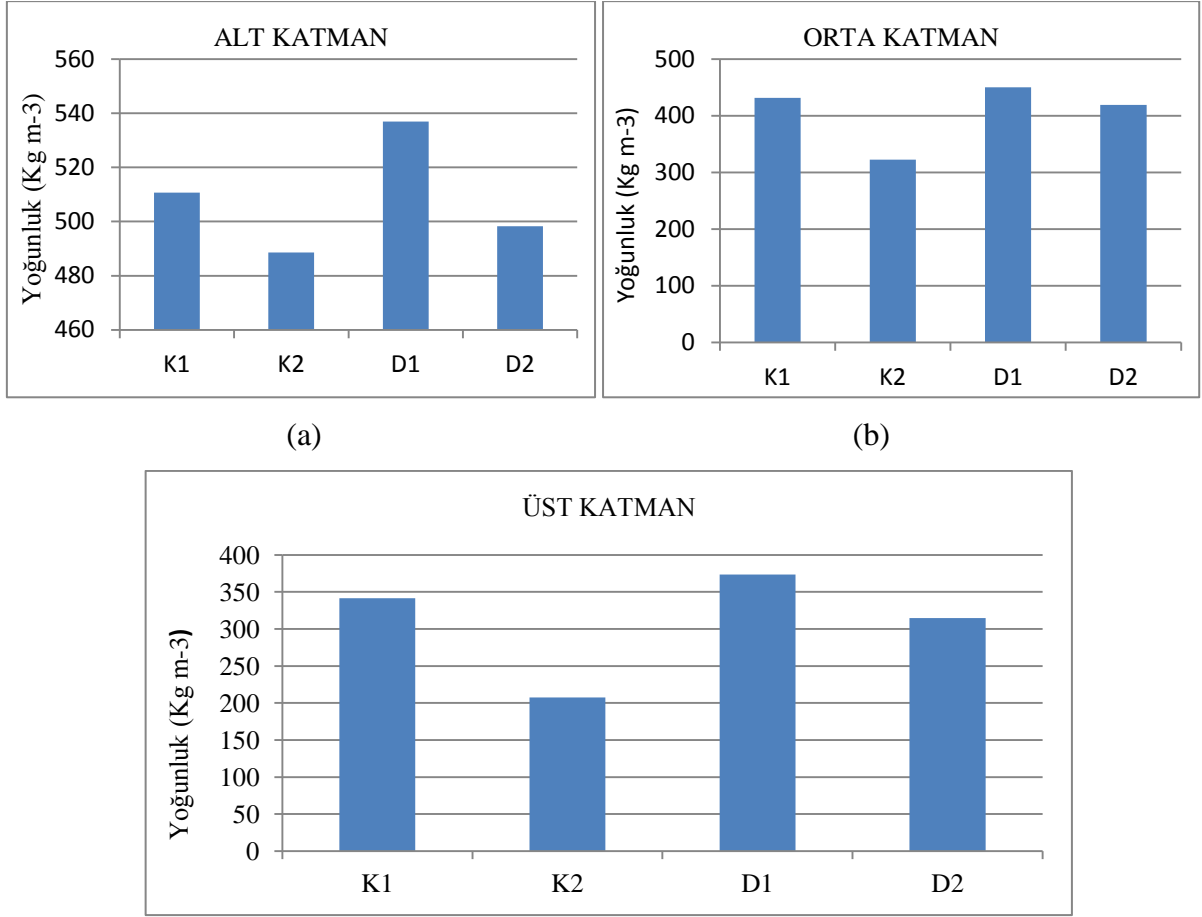
Jobim ve ark. (2007)' ye göre, silaj yoğunluğunun optimum bir değeri olmamasına rağmen, yoğunluk değeri aralığının 550- 850 Kg m<sup>-3</sup> uygun koşullar altında en uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda açım sonrası silaj yoğunluğunun değer aralığı ise 309- 508 Kg m<sup>-3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu, silaj yoğunluğunun olması gerekenden daha az seviyede olduğunu bir göstergesidir.

Şekil 4.4' de Metot-II' ye göre silolama aşaması sırasında katmanlar arasındaki yoğunluk değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.5 (a) alt katman, Şekil 4.5 (b) orta katman, Şekil 4.5 (c)' de üst katmanda hesaplanan yoğunluk değişimleri verilmiştir.



**Şekil 4.4.** Metot-II' ye göre açım sonrası aşamasında katmanlar arasındaki yoğunluk değişimi

Açım sonrası mısır silajı yoğunluğunun 207.62 Kg/m<sup>3</sup> ile 536.94 Kg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği hesaplanmıştır. Ortalama 372.28 Kg/m<sup>3</sup> yoğunluğu sahip olmakla birlikte, silo genelinde mısır silajının yoğunluğu değişkenlik göstermektedir. Ancak silaj yoğunluğu, Oelberg ve ark. (2006) tarafından bildirilen yığın tipi siloda mısır silajının yoğunluğundan (129-302 Kg/m<sup>3</sup>) yüksek değer aralığında bulunmuştur. Bu, siloda sıkıştırma işleminin etkin olarak yürütüldüğünün de bir göstergesidir. Genel olarak silaj yoğunluğu oldukça yüksek olarak saptanmıştır. Nitekim, açım sonrası mısır silajının görünüş, koku ve strüktür olarak da güzel bir yem olduğu da görülmüştür.



**Şekil 4. 5.** (a) Metot-II' ye göre silolama aşamasında alt katman, (b) orta katman, (c)' de üst katmanda hesaplanan yoğunluk değişimleri

Norell ve ark. (2013) toprak üstü yığın tipi siloda mısır silajının yoğunluğunu 376.43 Kg/m<sup>3</sup> olarak belirtmişlerdir. Çalışmamızda saptanan yoğunluk değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Farklı yöntemler ile yaptıkları ölçümlerde yoğunluğu; 201.83 Kg/m<sup>3</sup>, 205.03 Kg/m<sup>3</sup>, 376.43 Kg/m<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır. Bizim çalışmamızda da Norell ve ark. (2013) gibi ölçüm yöntemleri arasında belirgin farklılıklar saptanmıştır.

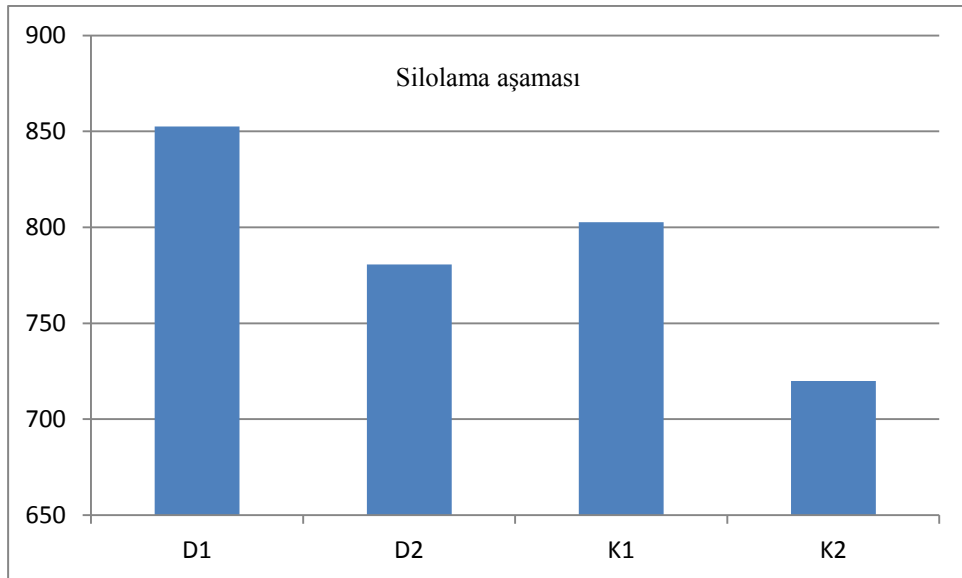
Metot II' ye göre yapılan ölçümlerde gerek silolama aşaması ve gerekse silonun açım sonrasında yapılan yoğunluk ölçümlerinde; D1, K1 ve D2 ölçümleri K2 ölçümlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, D1, K1 ve D2 ölçüm metodunun K2 ölçümlerine göre daha doğru sonucu yansıttığı göstermektedir.

Çizelge 4.5' de silolama aşaması ve açım sonrası aşamalarında hesaplanan yöntemler arasında yoğunluk değerleri, Şekil 4.6' da silolama aşaması yöntemler arası yoğunluk değişimi, Şekil 4.7' de açım sonrası yöntemler arası yoğunluk değişimi görülmektedir.

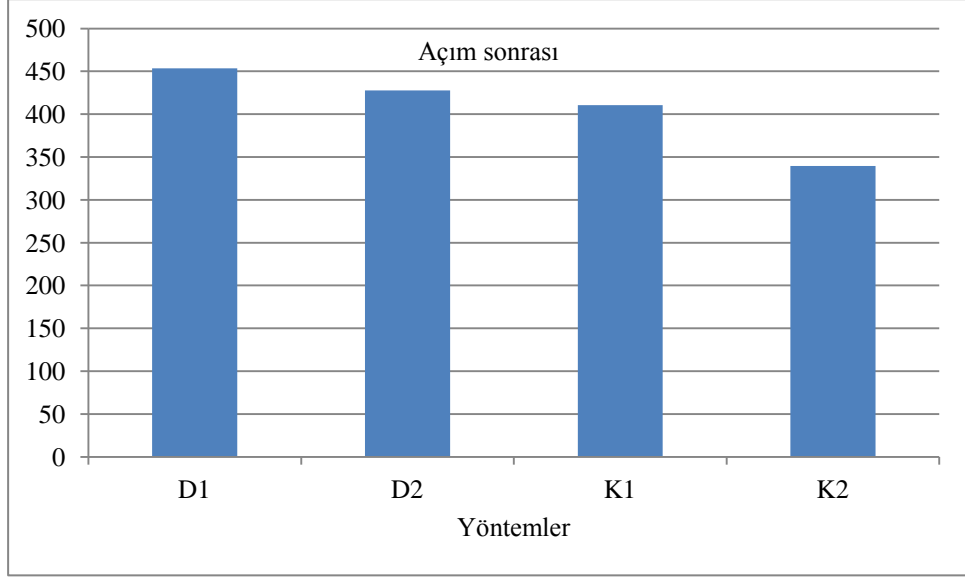
**Çizelge 4.5.** Metot II' de yöntemler arası silolama aşaması ve açım sonrası aşamalarında hesaplanan yoğunluk değerleri

Yöntem	Silolama aşaması (Kg/m <sup>3</sup> )	Açım sonrası (Kg/m <sup>3</sup> )
D1	852.58	453.49
D2	780.66	427.90
K1	802.66	410.62
K2	719.87	339.57
Ort.	788.94	407.89
Fark	132.71	113.91

Silolama aşamasında D1 ve D2 yöntemi arasında %8.45, K1 ve K2 yöntemleri arasında % 10.32'lik fark belirlenmiştir. Bu fark, açım sonrası aşamasında; D1 ve D2 için % 5.64, K1 ve K2 için % 17.3 olarak hesaplanmıştır. Buradan da görüleceği gibi her iki aşamada da K grubu ölçüm yöntemlerinde olası fark değeri artış göstermiştir. D grubu ölçüm yöntemleri daha düşük ölçüm farkı yaratması sebebiyle K grubu yöntemlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.



**Şekil 4.6.** Metot II silolama aşaması yoğunluk değişimi



**Şekil 4.7.** Metot II açım sonrası aşaması yoğunluk değişimi

Yöntemler arası silolama aşamasında  $132.71 \text{ Kg/m}^3$  fark saptanırken, açım sonrası saptanan yoğunluk farkı  $113.91 \text{ Kg/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Norell ve ark. (2013) toprak üstü yığın tipi siloda farklı yöntemler arası mısır silajının yoğunluk farkını  $174.6 \text{ Kg/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bizim araştırmamızda metot II' de yöntemler arası yoğunluk farkı bu değerlerden daha az saptanmıştır.

#### 4.1.3. Metot-III ilişkin araştırma sonuçları

Toprak üstü yığın siloda metot-III' e göre yapılan ölçüm sonuçları, silonun üç katmanından tekrarlamalı olarak ölçülen örneklerin ortalama sonuçlarıdır. Silolama sırasında yürütülen ölçümlere ilişkin elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6' da, silonun açım sonrası döneminde yapılan penetrasyon ölçüm sonuçlarına ilişkin ortalama sonuçlar Çizelge 4.7' de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Silolama aşaması ortalama yoğunluk değerleri

Katman	N	Sertlik (Kg/cm <sup>2</sup> )
Alt	4	5.0
Orta	4	4.0
Üst	4	3.7
Ort.	4	4.23

**Çizelge 4.7.** Açım sonrası ortalama yoğunluk değerleri

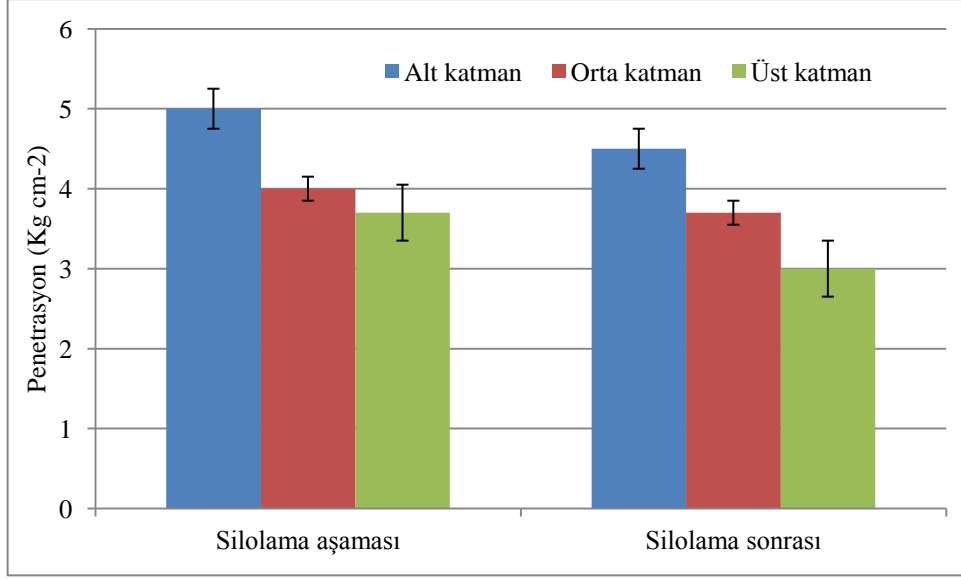
Katman	N	Sertlik (Kg/cm <sup>2</sup> )
Alt	4	4.5
Orta	4	3.7
Üst	4	3.0
Ort.	4	3.73

Silolama aşamasında ölçülen sertlik değerleri, katmanlar arasında farklılık göstermiştir. Sıkıştırmayı ifade eden en yüksek sertlik değeri alt katmanda saptanırken (5.0 Kg/cm<sup>2</sup>), en düşük penetrasyon değeri, üst katmanda saptanmıştır (3.7 Kg/cm<sup>2</sup>). Krüger ve ark. (2017) penetrometrenin yoğunluk belirlemede kullanılabileceğini, sıkışmanın tahmini ile ilgili olarak regrasyon eşitliği geliştirdiklerini de ifade etmişlerdir.

Yoğunluk, katmanlar arasında farklılık göstermiştir. En yüksek yoğunluk değeri alt katmanda saptanırken (4.5 Kg/cm<sup>2</sup>), en düşük yoğunluk değeri, üst katmanda saptanmıştır (3.0 Kg/cm<sup>2</sup>). Yoğunluk genel olarak katmanlar arasında silolama aşamasında ölçülen değerler gibi silonun alt katmanından üst katmanına doğru azalma göstermemiştir. Silolama aşamasında ve sonrasında en yüksek yoğunluk alt katmanda olurken, en düşük yoğunluk üst katmanda olmuştur.

Silolama aşaması ve silolama sonrası katmanlar arasındaki penetrasyon değerleri arasında farklılık görülmektedir. Şekil 4.8' de Metot-III'e göre silolama aşaması ve silolama sonrası katmanlar arasındaki yoğunluk değişimi verilmiştir. Açım sonrası yoğunluk değerleri yaklaşık %10-15 azalma göstermiştir.





**Şekil 4.8.** Metot-III'e göre silolama aşaması ve silolama sonrası katmanlar arasındaki penetrasyon değişimi

#### 4.1.4. Metot-I-II ve III ilişkin araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 4.8' de silolama aşamasında metot I, II ve III' e göre hesaplanan yoğunluk ortalamaları silo içinde alt, orta ve üst katmanlara göre verilmiştir. Çizelge 4.9' da silo sonrası açım aşamalarında metot I, II ve III' e göre hesaplanan yoğunluk ortalamaları silo içinde alt, orta ve üst katmanlara göre verilmiştir. Metot II' ye ilişkin veriler dört uygulamanın ortalama sonuçları olarak ifade edilmiştir.

**Çizelge 4.8.** Yöntemler arası silolama aşamasında hesaplanan yoğunluk değerleri

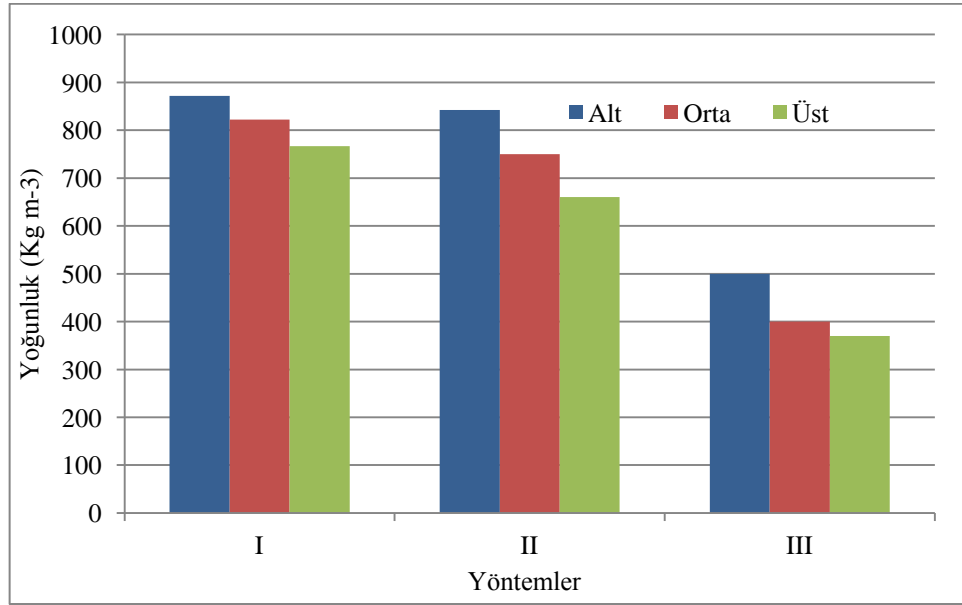
Katman	Metot		
	I	II	III
Alt	871.75	842.35	5.0
Orta	822.42	749.91	4.0
Üst	766.41	660.33	3.7
Ort.	820.19	750.86	4.23

Her üç metotta da en yüksek yoğunluk değeri alt katmanda, en düşük yoğunluk değeri ise üst katmanda ölçülmüştür. Üstten aşağı doğru yoğunluk artış göstermektedir.

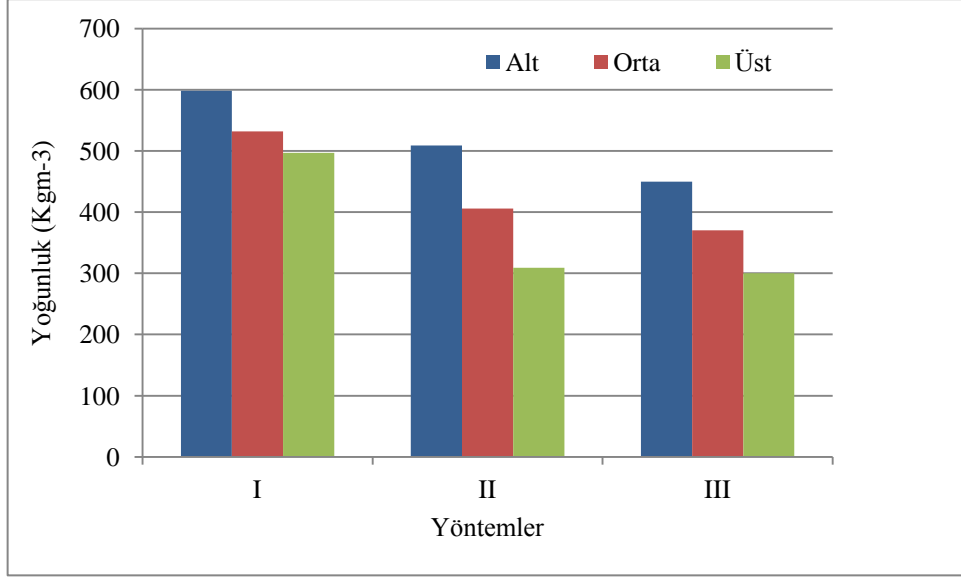
**Çizelge 4.9.** Yöntemler arası silo açım aşamasında hesaplanan yoğunluk değerleri

	<b>Metot</b>		
<b>Katman</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Alt	598.25	508.64	4.5
Orta	532.12	405.80	3.7
Üst	496.63	309.24	3.0
Ort.	542.33	407.9	3.73

Şekil 4.9' de yöntemlere göre silolama aşamasında katmanlar arasındaki yoğunluk değişimi, Şekil 4.10' de yöntemlere göre silolama sonrası açım aşamasında hesaplanan katmanlar arasındaki yoğunluk değişimleri verilmiştir.



**Şekil 4.9.** Silolama aşamasında yöntemlere göre yoğunluk



**Şekil 4.10.** Açım sonrası yöntemlere göre yoğunluk

Çalışmada ele alınan her üç yöntemde de silo genelinde üst katmandan aşağı katmana inildikçe siloda silajlık materyalin daha yüksek bir yoğunluk değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, tüm ölçüm metotları ile siloda materyalin sıkıştırılmasına yönelik yoğunluğu belirlemede doğru sonuca ulaşılabildiğini göstermektedir.

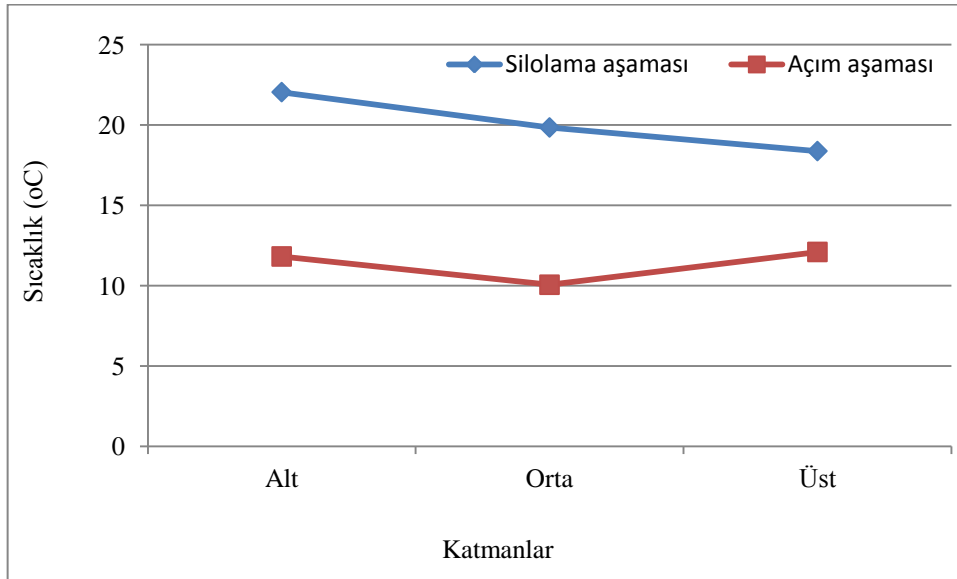
Yöntemler arasında silolama aşaması ve açım aşamalarında yapılan hesaplamalarda farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıklar yapılan diğer literatür sonuçlarında görülmektedir. Bizim çalışmamızda bu fark  $135 \text{ Kg m}^{-3}$  olarak belirlenirken, Norell ve ark. (2013) tarafından yöntemler arasında  $20-175 \text{ Kg m}^{-3}$  farklılıklar hesaplanmıştır. Sonuçlar literatür değerleri arasında bulunmuştur.

#### **4.2. Sıcaklık Ölçümlerine İlişkin Araştırma Sonuçları**

Çizelge 4.10' da silolama aşaması ve açım sonrası aşamasında ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamaları silo içinde alt, orta ve üst katmanlara göre verilmiştir. Şekil 4.11' da silolama aşaması ve silolama sonrası açım aşamalarında katmanlar arasındaki ölçülen sıcaklık değerlerinin değişimi gösterilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Silolama aşaması ve açım sonrası aşamasında ölçülen sıcaklık değerleri

<b>Katman</b>	<b>Silolama aşaması (°C)</b>	<b>Açım sonrası (°C)</b>
Alt	22.52	13.17
	21.57	10.45
	22.04	11.81
Orta	19.47	10.74
	20.21	09.36
	19.84	10.05
Üst	18.52	12.88
	18.22	11.30
	18.37	12.09
Ort.	20.08	11.31



**Şekil 4.11.** Silolama aşaması ve silolama sonrası açım aşamalarında katmanlar arasındaki sıcaklık değişimi

Silolama aşamasında sıcaklık, alt katmanda en yüksek, üst katmanda ise en düşük ölçülmüştür. Bu durum, sıkıştırmanın başlaması ile fermantasyon sürecinin başlamasını da ifade etmektedir. Aynı zamanda sıcaklık değerlerinin 25 °C' nin üzerine çıkmaması ikinci

ürün silajlarda havanın soğuk olduğu döneme denk gelmesinin önemli derecede etkisi bulunduğunu göstermektedir.

Açım sonrası dönemde yapılan sıcaklık değeri en yüksek üst katmanda olmuştur. Bu durum, hava sıcaklığına bağlı olarak kaynaklanmıştır. Ölçülen en yüksek sıcaklık 13.17 °C ile alt katmanda olmuştur.

Siloda sıcaklık dağılımı da sıkıştırmanın bir etkisi olarak silo içinde benzer dağılımı göstermektedir.

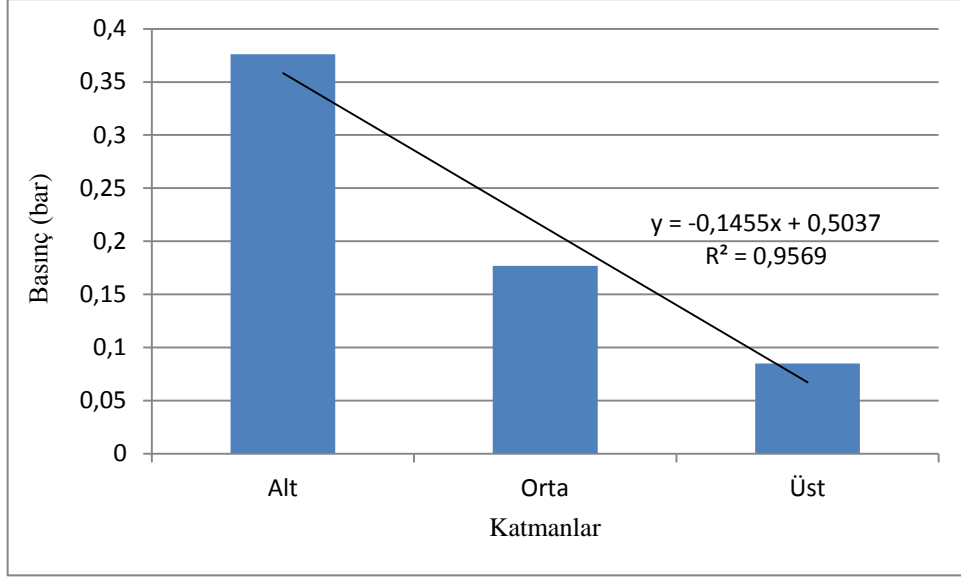
### 4.3. Basınç Ölçümlerine İlişkin Araştırma Sonuçları

Çizelge 4.11' de silolama aşamasında ölçülen basınç değerlerinin ortalamaları silo içinde alt, orta ve üst katmanlara göre verilmiştir. Şekil 4.12' da silolama aşamalarında katmanlar arasındaki ölçülen ortalama basınç değerlerinin değişimi gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Silolama aşamasında ölçülen basınç değerleri

<b>Katman</b>	<b>Silolama aşaması (bar)</b>
Alt	0.376
Orta	0.177
Üst	0.085
Ort.	0.212

Silolama işleminin yürütülmesinde uygulanan sıkıştırma işlemleri aşamasında saptanan basınç değerleri ortalamaları en yüksek alt katmanda 0.376 bar, en düşük basınç ölçümü ise üst katmanda 0.085 bar olarak saptanmıştır.



**Şekil 4.12.** Silolama aşamalarında katmanlar arasındaki ölçülen ortalama basınç değerlerinin değişimi

Basınç değerlerine paralel olarak ölçülen yoğunluk değerleri de her üç yönetime göre en yüksek alt katmanda, en düşük üst katmanda bulunmuştur. Uygulanan basınç, materyalin yoğunluğunu etkilediği görülmektedir. Benzer sonuçlar Muck ve ark. (2004) tarafından yürütülen araştırmada da uygulanan basıncın ve materyal kuru madde içeriğinin materyal yoğunluğu üzerinde pozitif bir ilişkisi olduğunu belirtilmiştir. Aynı araştırmacılar siloda bulunan tabaka kalınlığının istatistiki anlamda önemli olmadığını da ifade etmişlerdir.

#### 4.4. Silaj Kalitesine İlişkin Araştırma Sonuçları

Açım sonrası katmanlardan alınan örneklerin Flieg puanlamaları Çizelge 4.12' de verilmiştir.

**Çizelge 4.12.** Flieg Puanlama cetveli

Katman	pH	KM (%)	Puan	Değerlendirme
Alt	3.30	24.74	73.49	iyi
Orta	3.52	25.82	64.72	İyi
Üst	3.60	24.91	61.50	iyi

Flieg Puanlama: (Pekiyi: 81-100, iyi: 61-80, orta:41-60, değeri az:21-40, kötü: 0-20)

Silonun açım sonrası ölçümlerin yapıldığı sensör noktalarından alınan örnek materyallerde, en iyi puanlama alt katmanda alınan örneklerde belirlenmiştir.

Silolama sırasında; uygulanan sıkıştırma işlemleri aşamasında saptanan basınç değerleri ortalamaları da en yüksek alt katmanda, en düşük basınç ölçümü ise üst katmanda saptanmıştır. Buna bağlı olarak saptanan yoğunluk değerleri de bu sonuçlarla paralel olarak tüm metotlarda en yüksek yoğunluk alt katmanda sırası ile orta katman ve üst katmanda hesaplanmıştır.

Silonun alt, orta ve üst katmanlarında silajın "iyi" nitelikte bir yem olduğu görülmektedir. Silaj yemin "pekiyi" özelliklerde olması için uygulanan sıkıştırma işleminin yetersiz olduğu görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada farklı yöntemler ile silaj materyalin yoğunlukları hesaplanmıştır. Yöntemler arası yoğunluk değerlerinde kullanılan yönteme bağlı olarak farklılıklar saptanmasına rağmen, silo genelinde katmanlar arasında tüm yöntemlerde elde edilen sonuçlar benzerlik göstermiştir. Tüm metotlarda alt katmanda en yüksek, üst katmanda ise en düşük yoğunluk değeri hesaplanmıştır.

Yoğunluk silolama aşamasında ortalama M-I metodunda  $820.19 \text{ kg/m}^3$ , M-II yönteminde  $750.86 \text{ kg/m}^3$ , M-III yönteminde ise  $4.23$  olarak belirlenmiştir. M-II yönteminde en yüksek yoğunluk ölçümü ortalaması  $852.58 \text{ kg/m}^3$  silolama aşaması ve  $453.49 \text{ kg/m}^3$  açım sonrası aşamada da D1 yönteminde bulunmuştur.

Materyal yoğunluğuna ilişkin saptanan sonuçlar, basınç ölçüm sistemi kullanılarak elde edilen sıkıştırma etkinliği ile benzer sonuçlar göstermiştir. En yüksek basınç değeri alt katmanda ( $0.376 \text{ bar}$ ), en düşük basınç değeri ölçümü ise üst katmanda ( $0.085 \text{ bar}$ ) saptanmıştır. Benzer şekilde en yüksek yoğunluk değeri alt katmanda, en düşük yoğunluk değeri ise üst katmanda belirlenmiştir. Bu durum, materyale uygulanan basınç ile materyalin yoğunluğu arasında önemli bir ilişki olduğunu ifade etmektedir. Aynı zamanda benzer ölçüm noktalarından alınan silaj materyallerinde yapılan kalite sınıflandırma niteliğini ifade eden Flieg Puanlamaları da benzer sonuçları göstermiştir. En yüksek nitelikli silaj yemler alt katmanda bulunurken, genel olarak hepsi "iyi" nitelikli silaj sınıfında bulunmuştur.

Araştırma sonuçlarına göre, sıkıştırma uygulamalarının etkin yürütülmesi ve doğru silo yönetiminin uygulanması durumunda yoğunluğu yüksek nitelikli silaj yemlerin elde edilebilir olduğu görülmektedir.

Saha koşullarında silo yapım sürecinde materyal yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla hacmi belli olan küçük ölçekli örnek alma kapları ile materyal alınarak silaj hasılının yoğunluğu kolay bir şekilde belirlenebilir. Yoğunluğun yeterli aralıklarda olmaması durumunda siloda sıkıştırma işleminin devam ettirilmesi sağlanarak daha nitelikli ürünlerin elde edilebilmesi sağlanabilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Açıkgöz E, Turgut İ, Filya, İ (2002). Silaj Bitkileri Yetiştirme Ve Silaj Yapımı. Hasad Yayıncılık, İstanbul.
- Alçıçek A, Özkan K (1996). Silo Yemlerinde Destilasyon Yöntemi İle Süt Asiti, Asetik Asit Ve Bütirik Asit Tayini. Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg. 33(2-3), 191-198.
- Akın M (1997). Kaba Yem Kaynağı Olarak Türkiye’de Silaj Mısırın Önemi, Ziraat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 312, Ankara.
- Akyıldız A.R (1984). Feeds Information Laboratory Guide. Ankara, 236 Pp. (In Turkish).
- ASAE Standarts (2002). Moisture Measurement -Forages. ASAE S358.2. Standards 2002: 565. St. Joseph, MI.
- Ayık M (1997). Hayvancılıkta Mekanizasyon. A.Ü. Zir. Fak. Yay. No:1463, Ders Kitabı:433. Ankara.
- Axelssonş A.S (1993). Classification And Phsiology (In: Lactic Acid Bacteria, Ed:Seppo Salminen And Atte Von Wright), Marcel Dekker Inc. New York.
- Bodman G.R , Holmes B.J (1997). Managing And Designing Bunker And Trench Silos. AED 43. Mid.West Plan Service,Iowa State University,Ames,IA.
- Bolsen K.K. (1996). İmproving Dilage Quality, Cattlement’s Day: 62-64.
- Bolton K, Holmes BJ (2006). Management Of Bunker Silos And Silage Piles. UW-Extension Team Forage Web Site. [www.Uwex.Edu/Ces/Crops/Uwforage/Storage.Htm](http://www.Uwex.Edu/Ces/Crops/Uwforage/Storage.Htm)
- Charley R (2008). Silage Packing Density. The Saskatchewan Stockgrower-March 2008.
- Chen J, Stokes M.R, Wallace C.R (1994). Effects Of Enzyme-Inoculant Systems On Preservation And Nutritive Value Of Hay Crop And Corn Silages. J.Dairy Sci,77:501-512.
- Coşkun B, Şeker E, İnal F. (1998). Yemler Ve Teknolojisi, Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayın Ünitesi, Konya.
- Craig P.H , Roth G (2005). Penn State University Bunker Silo Density Study Summary Report 2004-2005. Pennsylvania State University.
- Crawford M.K. (2013). Determination Of Bulk Density Of Rock Core Using Standard Industry Methods. Michigan Technological University. Mastaer’s Report. [Http://Digitalcommons.Mtu.Edu/Etds/661](http://Digitalcommons.Mtu.Edu/Etds/661) Erişim Tarihi: 11.10.2017.
- D’Amours L, Savoie P (2004). Density Profile Of Corn Silage İn Bunker Silos. ASAE Paper Number: 041136.

- D'Amours L.D, Savoie P (2005). Density Profile Of Corn Silage In Bunker Silos. *Canadian Biosystems Engineering*.47:2.21-2.28.
- Darby D.E, Jofriet J.C (1993). Density Of Silage In Horizontal Silos. *Canadian Agric. Engr.*, 35 (4):275-280.
- De Vos, B , Van Meirvenne M, Quataert P, Deckers J, Muys B (2005). Predictive Quality Of Pedotransfer Functions For Estimating Bulk Density Of Forest Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 500–510.
- Dilts M. D. (2007). Application Of The Rollermill And Hammermill For Biomass Fractionation. MS Thesis. Ames, Iowa: Iowa State University, Department Of Agricultural Engineering.
- DLG (1987). DLG –Pattern For The Evaluation Of The Fermentation Quality Of Grass Silages On The Basis Of Chemical Analyses. Frankfurt Am Main: Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft. Bewertung von Grünfütter, Silage und Heu. Merkblatt, No.224 DLG Verlag, Frankfurt.
- Drugan W.J, Willis J.R. (1996). A Micromechanics-Based Nonlocal Constitutive Equations And Estimates Of Representative Volume Element Size For Elastic Composites. *J. Mech. Phys. Solids* 44, 497–524.
- Durmuş A, Livaoğlu R (2013). Evaluation Of Seismic Behavior Of Rigid Squat Silo-Bulk Material System, 50th International Conference On Earthquake Engineering, May, Skopje, Macedonia, Proceedings CD.
- Ergül M (1988). Yemler Bilgisi Ve Teknolojisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No:487, 318 S, İzmir.
- Erdemoğlu M (2016). Yoğunluk Saptanması Deneyi. İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü 321 Cevher Hazırlama Laboratuvarı I.
- Filya İ (2005). Silaj Yapımı Teknolojisi Ve Kullanımı. Hayvancılık Serisi: 2 Süttaş Yetiştirici El Kitabı. Süttaş Süt Hayvancılığı Eğitim Merkezi Yayınları, Bursa.
- Filya İ (2008). Türkiye’de Kaba Yem Sorunu Ve Çözüm Yolları. *Hasat Hayvancılık Der.*, 23: 28-33
- Sucu E, Kalkan H, Canbolat O, Filya İ (2016). Effects Of Ensiling Density On Nutritive Value Of Maize And Sorghum Silages. *Revista Brasileira De Zootecnia*. 45(10):596-603.
- Grigal D.F, Brovold S.L, Nord W.S , Ohmann L.F (1989). Bulk Density Of Surface Soils And Peat In The North Central United States. *Can. J. Soil Sci.* 69: 895–900.
- Gusev A.A (1997). Representative Volume Element Size For Elastic Composites: A Numerical Study. *J. Mech. Phys. Solids* 45, 1449–1459.
- Hoffmann T , Geyer S (2014). Determination Of Silage Density In Bunker Silos Using A Radiometric Method. *Agronomy Research* 12 (1):65-72.

- Huhke R.L (1990). Bunker Silo Sizing And Management [Http://Pods.Dasnr.Okstate.Edu/Docushare/Dsweb/Get/Document-2266/BAE-1011web.Pdf](http://Pods.Dasnr.Okstate.Edu/Docushare/Dsweb/Get/Document-2266/BAE-1011web.Pdf). (Erişim Tarihi 20.05.2018).
- Holmes B.J, Muck R .E (2004). Managing And Designing Bunker And Trench Silos (AED-43). Midwest Plan Service. Ames, IA.
- Holmes B. J (2006). Density İn Silage Storage. Silage For Dairy Farms: Growing, Harvesting, Storing And Feeding Conference Proceedings (NRAES-181), Natural Resource, Agriculture And Engineering Service, Ithaca, New York
- Holmes B.J, Muck R.E (2007). Packing Bunkers And Piles To Maximise Forage Preservation. In: Proceedings Of The 6th International Dairy Housing Conference, Minneapolis, 16–18 June 2007. St Joseph, MI, USA: American Society Of Agricultural And Biological Engineers, Publication 701p0507e.
- Holmes B.J (2008). Determining Silage Density. Proceedings İn World Dairy Expo. 1<sup>st</sup> October.
- Jobim CC; Nussio LG; Reis RA; Schmidt P. (2007). Avanços Metodológicos Na Avaliação Da Qualidade Da Forragem Conservada. Revista Brasileira De Zootecnia 36:101–119. DOI: 10.1590/S1516-35982007001000013
- Johnson A.H , Siccama T.G, Ryan D.F. (1989). Carbon, Organic Matter, And Bulk Density Relationships İn A Forested Spodosol. Soil Sci. 148: 380–386.
- Kanit T, Forest S , Galliet I , Mounoury V, Jeulin D (2003). Determination Of The Size Of The Representative Volume Element For Random Composites: Statistical And Numerical Approach. International Journal Of Solids And Structures, 40, 3647–3679.
- Kılıç A. (1986). Silo Yemi Öğretim, Öğrenim Ve Uygulama Önerileri, Bilgehan Basımevi, İzmir.
- Kılıç A. (1997) Silo Yemi Hazırlanmasında Fermentasyon Biyolojisi, Türkiye Birinci Silaj Kongresi, S 235-240, 16-19 Eylül, Celal Bayar Üniversitesi, Hasad Yayıncılık, İstanbul.
- Krüger A.M, Jobim C.C,Carvalho I.Q.D, Moro J.G (2017). A Simple Method For Determining Maize Silage Density On Farms. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales (2017) Vol. 5(2):94–99 94 DOI: 10.17138/TGFT(5)94-99
- Li M, Jungbluth KH, Sun Y, Cheng Q, Maack C, Buescher W, Lin J, Zhou H, Wang Z (2016). Developing A Penetrometer-Based Mapping System For Visualizing Silage Bulk Density From The Bunker Silo Face. Sensors 2016, 16, 1038; Doi:10.3390/S16071038.
- Latsch R, Sauter J (2013). Comparison Of Methods For Determining The Density Of Grass Silage. Agricultural And Food Science. 22:189-193.
- Mc Donald P. (1998). The Biochemistry Of Silage, John Wiley And Sons, Chichester.

- Mcgechan M.B (1990). Operational Research Study Of Forage Conservation Systems For Cool, Humid Upland Climates. Part 2: Comparison Of Hay And Silage Systems. *J. Agric. Eng. Res.*46:129-145.
- Messer H.J.M, Hawkins J.C (1977). The Influence Of Moisture Content And Chop Length Of Forage Maize On Silage Bulk Density And The Pressure On Bunker Silo Walls. *J. Agric. Engng Res.* 22:175-182.
- Microw J (1983). Observations On The Density Dependence Of The Dielectric Properties Of Particulate Materials. *Power*, Vol. 18, No. 2, Pp. 143–153.
- Muck R.E , Holmes B.J (2000). Factors Affecting Bunker Silo Densities. *Applied Engineering In Agriculture.* 16(6), 613-619.
- Muck R.E, Savoie P , Holmes B.J (2004). Laboratory Assessment Of Bunker Silo Density, Part I: Alfalfa And Grass. *Applied Engineering In Agriculture* 20(2): 157-164.
- Nauman C ,Bassler R. (1993). *Die Chemische Untersuchung Von Futtermitteln. Methodenbuch, Band III.* VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Norell R.J , Hines S, Chahine M, Fife T , Marti M.D.H, Parkinson S.C (2013). Comparing Three Different Methods For Assessing Corn Silage Density. *Journal Of Extension.* 51 (5). 2008.
- Oelberg T , Harms C, Ohman D, Hinen J, Defrain J (2006). Survey Shows More Packing Of Bunkers And Piles Needed. *Proceedings 2006 High Plains Dairy Conference.* Pp 47-54.
- Pinar, Y. Ve A. Sessiz.1998. *Hayvansal Üretim Mekanizasyonu.* Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:14, Samsun
- Pitt R.E (1986). Dry Matter Losses Due To Oxygen Infiltration Into Silos. *Journal Of Agricultural Engineering Research*, 35, 193–205.
- Purutyan H, Pittenger B.H, Carson J.W (1998). Solve Solids Handling Problems By Retrofitting. *Chemical Engineering Progress.* 27–39.
- Roy M.B, Tremblay Y, Pomerleau P (2001). Compaction And Density Of Forage In Bunker Silos. *ASAE Paper Number:*01-1089.
- Ruppel K.A (1992). Effect Of Bunker Silo Management On Hay Crop Nutrient Preservation. *M.S. Thesis.* Cornell University, Ithaca,NY.
- Ruppel K.A (1993). Bunker Silo Management and Its Effects On Haycrop Quality. In *Proceedings From The National Silage Production Conference:* 67-82. NRAES Publication, 67, Cooperative Extension, Ithaca, NY
- Ruppel K.A, Pitt R.E, Chase L.E, Galton D.M (1995). Bunker Silo Management and Its Relationship to Forage Preservation on Dairy Farms. *Journal of Dairy Science.* 78:141-153.
- Savoie P, Muck R.E , Holmes B.J (2004). Laboratory Assessment of Bunker Silo Density, Part II: Whole-Plant Corn. *Applied Engineering in Agriculture* 20(2): 165-171.

- Savoie P, D'Amours L, Amyot A , Theriault R (2006). Effects of Density, Cover, Depth and Storage Time on Dry Matter Loss of Corn Ssilage. ASABE Paper No:061048.
- Shah K.P (2017). Characteristics of Bulk Materials. [www.practicalmaintenance.net](http://www.practicalmaintenance.net) (erişim Tarihi: 04.10.2017).
- Shinners K.J , Binversie B.N , Muck R.E , Weimer P.J (2007). Comparison of Wetand Dry Corn Stover Harvest and Storage. Biomass and Bioenergy 31:211-221.
- Soysal Mİ (2010). Biometrinin Prensipleri. Ders Notu, Yayın Yeri: NKÜ Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Setala J. (1989). Enzymes in Grass Silage Production Biotechnology, 2(2): 211-225.
- Stone B (2014). Better Silage Packing Density. Dairy Advisor™.
- Suthar S.H, Das S. K. (1996). Some Physical Properties of Karingda (Citrulluslanatus) seeds. Journal of Agricultural Engineering Research, 65(1), 15–22.
- Tan F, Dalmıs I.S , Dalmıs F (2017a). Determination of compaction force in bunker silos using a pressure measurement method. International Journal of Current Research, 9, Issue, 01, pp.45597-45599.
- Tan F, Dalmıs I.S , Koc F (2017b). Effects of compaction pressure on silage fermentation in bunker silo. Agronomy Research. Vol 15 (1) 298-306.
- Tan F, Kayısoglu B, Okur E (2018). Effects of Compaction Pressure on The Temperature Distribution in Bunker Type Silage Silo. Indian Journal of Animal Sciences 88 (1): 116–120.
- Toruk F ,E. Gonulol ,B. Ulger P. , Kocabıyık H. (2009). Density, Porosity and Permeability Rates of Sunflower Silage Under Different Compaction Condition. Journal of Animal and Veterinary Advances. Vol. 8(9), pp. 1873-1877.
- Turner R , Raper R.L (2001). Soil stress residuals as indicators of soil compaction. ASAE Paper No. 011063.
- TÜBİTAK (2017). SI birimleri. <http://www.ume.tubitak.gov.tr/tr/si-birimleri> (erişim tarihi 09.05.2017).
- Visser B (2005). Forage density and fermentation variation: a survey of bunkers, piles and bags across Minnesota and Wisconsin dairy farms. Four-State Dairy Nutrition and Management Conference Proceedings. (MWPS-4SD18). MidWest Plan Service. Ames, IA.
- Wang R (2012). Estimation of Silage Density in Bunker Silos By Drilling. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Nutrition and Management, 396. Master Thesis.
- Weinberg Z.G , Ashbell G (2003). Engineering aspects of ensiling. Biochemical Engineering Journal, 13:181-188.

- Williams A.G (1994). The permeability and porosity of grass silage as affected by dry matter. *J. Agric. Eng. Res.*, 59(2):133-140.IDs No:PQ165.
- Wilkins R.J., Syrjala-Qvist L , Bolsen K.K (1999). The future role of silage in sustainable animal production, in: T. Pauly (Ed.), *Proceedings of the 12th International Silage Conference*, Uppsala, Sweden, 5–7 July 1999, pp. 23–40.
- Wilkinson J.M (1988). Model of Dry Matter Losses in Well Managed Silage Systems, *Journal of the Royal Agric. Soc. of England*, pp. 158-167.
- Woolford M.K. (1990). The detrimental effects of air on silage, *J. Appl. Bacteriol.* 68:101–116.

## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırma sırasında eleştiri ve önerileriyle beni yönlendiren başta danışman hocam Doç. Dr. Fulya TAN olmak üzere tüm Biyosistem Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri'ne, Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLUNA, Öğretim Üyesi Dr. Cihangir SAĞLAM'a ve Dr. Mehmet Recai DURGUT'a, manevi desteğinden dolayı babama ayrıca merhume olmuş anneciğime teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ŞAHİN 1991 yılında Tekirdağ ili Malkara ilçesi' nde doğdu. İlköğretim ve Liseyi Malkara'da okudu. 2010-2011 Eğitim-Öğretim yılında İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi İlköğretim Matematik Öğretmenliği bölümüne kayıt yaptırdı. 2014 Yılında mezun oldu. Aynı yıl Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne kayıt yaptırdı. Halen öğrenciliği devam etmektedir. 2015-2016 Eğitim Öğretim Yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Bekardır.