

**SAHA KOŞULLARINDA TOPRAK
ÜSTÜ BETON SİLOLARDA
UYGULANAN SIKIŞTIRMA BASINCININ
BELİRLENMESİ**

Yürütücü: Doç.Dr.Fulya TAN

Aratırmacı: Prof.Dr. Birol KAYISOGLU
Yrd.Doç.Dr. Savaş DALMIŞ
Araş.Gör.Dr.Ersen OKUR
Öğretim Görevlisi Figen DALMIŞ

ÖNSÖZ

Ülkemiz üretici koşullarında silaj yemler, toprak üstü beton yada geçici tip silolarda yapılmaktadır. Bu çalışmada da toprak üstü beton silo seçilerek çalışmalar, bu tip siloya sahip bir işletmede yürütülmüştür. Toprak üstü beton silolar genellikle orta ve büyük ölçekli işletmelerin seçmiş olduğu silolama tipidir. Bölgemizde yaygın olarak toprak üstü beton tip silo öncelikli olarak çalışma alanı seçilmiştir. Silaj yemlerin kaliteli olmasında en etkili silo yönetim işleminin sıkıştırma uygulaması olduğu bilinmektedir. Toprak üstü beton silolarda sıkıştırma işleminin sağlıklı yürütülmesi genellikle daha zor olmaktadır. Bu, silo duvarlarının yan kenarlarının ve köşe kenarlarının düzenli ve eşit sıkıştırılmasının zor olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada da saha koşullarında uygulanan sıkıştırma işleminin silonun her noktasında eşit yapılıp, yapılmadığı veya ne oranda değiştiğini test edebilmektir. Silonun orta, yan kenarları veya derinlik olarak alt katman ile orta ve üst katmanlar arası sıkıştırma işleminden kaynaklanan yoğunluk farkı olup olmadığını gözlemlemek, silaj yemler içerisine yerleştirilen basınç sensörleri sayesinde tespit edilen noktalarda uygulanan sıkıştırma kuvvetlerini belirlemektir.

Bu çalışmada silo içerisine ön, orta ve arka kenar olmak üzere ve derinlik olarak alt, orta ve üst katmanda üçer noktada olmak üzere toplam 24 adet basınç sensörü yerleştirilmiştir. Fermantasyon sıcaklığını da belirleyebilmek için her orta katmana üçer adet olmak üzere toplam 9 adet sıcaklık sensörü yerleştirilmiştir.

Araştırma Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Çizelge Listesi	1
Şekil Listesi	2
Özet	5
Abstract	7
1.Giriş	9
2. Kaynak özetleri	12
3. Materyal ve Metot	18
3.1. Toprak üstü beton silo	18
3.2. Denemede kullanılan silajlık mısır ve silaj makinesi	19
3.3. Sıkıştırma işlemi için kullanılan iş makinesi	20
3.4. Basınç ölçüm yöntemi	22
3.4.1. Basınç sensörü	22
3.4.2. Kauçuk küre	22
3.4.3. hidrolik hortum	23
3.4.4. Veri toplama ve depolama	24
3.4.5. Ölçüm sistemi	25
3.4.6. Ölçüm sisteminin kalibrasyonu	26
3.4.6.1.Hysteresis	27
3.4.6.2. Tekrarlı ölçüm	27
3.5. Sıcaklık ölçümü	27
3.6. Yoğunluk ölçümü	30
3.7. Besin madde içeriğinin belirlenmesi	31
3.8. Mikrobiyolojik analizler	31
3.9. Aerobik bozulmaya dirence ilişkin analizler	31
3.10. İstatistik analizler	31
3.11. Denemelerin yürütülmesi	31
3.12. Ölçüm noktaları	35
4. Araştırma sonuçları ve tartışma	37
4.1. Açım sonrası besin madde analizi	37
4.2. Sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar	39
4.2.1. Silo doldurma süresince sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar	39
4.2.2. Silo doldurma sonrası fermantasyon süresince sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar	41
4.2.3.Fermantasyon sonrası sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar	45
4.3. Basınç ölçümüne ilişkin sonuçlar	51
4.3.1. Bilgisayar destekli ölçüm setinin kalibrasyon değerleri	51
4.3.1.1.Değişken yüklenme (Hysteresis) değerleri	51
4.3.1.2. Tekrarlı ölçüm değerleri	53
4.3.2.Silo içi basınç değişimi	53
4.3.3.Sıkıştırma işlem sonrası basınç değişimi	62
5.Sonuç	67
6.Kaynaklar	68

Çizelge Listesi

Sayfa No

Çizelge 2.1. Basınç ve tabaka kalınlığına bağlı olarak ürün yoğunluğunda azalma .	12
Çizelge 3.1. Kendi yürür tip mısır silaj makinesi	20
Çizelge 3.2. İş makinesine ilişkin teknik özellikler	21
Çizelge 3.3. Termal kameraya ilişkin teknik özellikler	29
Çizelge 4.1. Belirlenen ölçüm noktalarında örneklere ilişkin besin madde analizi	37
Çizelge 4.2.Bölgelere göre besin madde analiz sonuçları	38
Çizelge 4.3.Silo yapım süresince silo içi sıcaklık ortalaması	39
Çizelge 4.4.Bölgelere göre sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları	39
Çizelge 4.5.Sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişim analizi	39
Çizelge 4.6. Silo dolum sonrası fermantasyon süresince ölçülen ortalama silo içi sıcaklık değerleri	41
Çizelge 4.7. Bölgelere göre fermantasyon süresince sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları	42
Çizelge 4.8. Fermantasyon süresince ortalama sağ,sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi	42
Çizelge 4.9. Fermantasyon süresince bölgelere göre ortalama sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi	43
Çizelge 4.10. Silo dolum sonrası fermantasyon süresince ölçülen ortalama silo içi sıcaklık değerleri	45
Çizelge 4.11. Bölgelere göre fermantasyon süresince sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları	48
Çizelge 4.12 Fermantasyon süresince ortalama sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi	49
Çizelge 4.13. Basınç sensörleri değişken yüklenme değerleri (kg)	51
Çizelge 4.14. Tekrarlı yüklenme değerleri	53

Çizelge 4.15. Silo içerisinde sıkıştırma anında ölçülen basınç değerleri (bar)	54
Çizelge 4.16. Bölgeler arası basınç değişimi analizi	60
Çizelge 4.17. Yerden yüksekliğe bağlı olarak basınç değişimi	61
Çizelge 4.18. Yerden yüksekliğe bağlı olarak basınç değişimi	63

Şekil Listesi

	Sayfa No
Şekil.2.1. Plastik torba silajlarda yoğunluk ölçüm noktaları	13
Şekil 2.2. Balya yoğunluğu ölçümü	14
Şekil 2.3. Silo içerisinde ölçüm noktaları	14
Şekil 2.4. Toprak sıkışıklığı ölçüm seti	15
Şekil 2.5. Farklı lastik tiplerinde topraktaki sıkıştırma basıncı	15
Şekil 2.6. Sıkıştırma kuvveti ölçüm düzeneği	16
Şekil 2.7. Yığın tip siloda sıkıştırma	17
Şekil 3.1. Çalışmanın yürütüldüğü toprak üstü beton silo	18
Şekil 3.2. Mısır hasadı	19
Şekil 3.3. Sıra bağımsız kendi yürür tip silaj makinesi	19
Şekil 3.4. Sıkıştırma işleminde kullanılan iş makinesi	20
Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan Mesens 500 Series basınç sensörü	22
Şekil 3.6. Basınç iletiminde kullanılan plastik küre	23
Şekil 3.7. Silaj içi basınçları iletiminde kullanılan kauçuk küre ve hortum bağlantısı	23
Şekil 3.8. Basınç ölçüm düzeneği ve bağlantı	24
Şekil 3.9. Veri toplama programı arayüzü	24
Şekil 3.10. Veri toplama şasesi ve kartı	25
Şekil 3.11. Ölçüm sistemi	25
Şekil 3.12. Şematik olarak planlanan basınç ölçüm sistemi	26
Şekil 3.13. Denemelerde kullanılan su geçirmez Hobo marka sıcaklık dataloggeri	28
Şekil 3.14. Termal kamera	28
Şekil 3.15. Yoğunluk ölçümü	30
Şekil 3.16. Silonun doldurulması	32
Şekil 3.17. Yığın içerisine yerleştirilen filenin örneği	32
Şekil 3.18. Ölçüm kitinin yerleşimi	32
Şekil 3.19. Ölçümlerin alınması	33
Şekil 3.20. Ölçüm kontrol ve kayıt noktası	33
Şekil 3.21. Sıkıştırma işlemine ait resimler	34
Şekil 3.22. Sensör yerleşiminin şematik görünümü	36
Şekil 4.1. Silo yapım sürecinde A,B ve C bölgelerinde sıcaklık değişimi	40
Şekil 4.2. Fermantasyon süresince bölgeler arası sıcaklık değişimi	43
Şekil 4.3. Fermantasyon süresince A,B ve C bölgelerinde sıcaklık değişimi	44
Şekil 4.4. Fermantasyon süresince alt, orta ve üst katmanlarda sıcaklık değişimi	45
Şekil 4.5. Fermantasyon sonrası bölgeler arası sıcaklık değişimi	48
Şekil 4.6. Fermantasyon sonrası sıcaklık değişimi	49
Şekil 4.7. Fermantasyon sonrası silo içerisinde alt, orta ve üst katmanlar arası sıcaklık değişimi	50
Şekil 4.8. Basınç sensörlerinin mesafeye (5,10,15 m) bağlı kalibrasyon grafikleri	52
Şekil 4.9.Üst katmanda basınç değişimi	55
Şekil 4.10.Orta katmanda basınç değişimi	55
Şekil 4.11.Alt katmanda basınç değişimi	56

Şekil 4.12.A bölgesinde işlem sırasına göre alt katmanda ölçülen basınç değişimi	57
Şekil 4.13.B bölgesinde işlem sırasına göre alt katmanda ölçülen basınç değişimi	57
Şekil 4.14.C bölgesinde işlem sırasına göre alt katmanda ölçülen basınç değişimi	58
Şekil 4.15.A,B ve C bölgesinde sağ konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri	59
Şekil 4.16.A,B ve C bölgesinde orta konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri	59
Şekil 4.17.A,B ve C bölgesinde sol konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri	60
Şekil 4.18. Kapatılan silo ve sıkıştırma sonrası ölçümlerin alınması	62
Şekil 4.19. Sıkıştırma işlem sonrası basınç değişimi	63
Şekil 4.20. A bölgesinde sıkıştırma sonrası ölçülen basınç değişimi (10 günlük)	65
Şekil 4.21. B bölgesinde sıkıştırma sonrası ölçülen basınç değişimi (10 günlük)	65
Şekil 4.22. C bölgesinde sıkıştırma sonrası ölçülen basınç değişimi (10 günlük)	66

Özet

Silaj yapımında en önemli etken silajlık kıyılmış materyalin içerisinde hava kalmayacak şekilde sıkıştırılmasıdır. saha koşullarında yığın siloların yapımında sıkıştırma işlemi, traktör ile yığın üzerinde ileri geri hareketlerle materyalin ezilmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu uygulama her işletme ve her yığın için değişmektedir. Genellikle dolu bir yem vagonu gelene kadar ezme işlemi devam etmektedir. Kısa aralıklarla materyal siloya geldiğinde bu süre oldukça kısalmaktadır. Materyalin yanlış şekillerde zemine dökülmesi, olduğundan kısa süre sıkıştırma süresi uygulanması, materyalin nemi, yoğunluğu silodaki yemin kalitesi üzerinde etkili unsurlardır. Yüksek kalitede silaj yem elde edebilmek için, iyi fermantasyon koşullarının yaratılması gereklidir. Bu da fermantasyon için uygun ortamın yaratılmasına bağlıdır. Sıkıştırma aşamasının doğru şekilde yapılması iyi bir fermantasyon ve sonuçta besleme kalitesi yüksek, kaliteli yemlerin elde edilmesi anlamına gelmektedir.

Bölgemizde silaj yapım tekniği olarak toprak üzerine yığın silo yapımı yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Yığın silolamada sıkıştırma işleminde farklı uygulamaların yapılması, silaj kalitesini değiştirmektedir. Silolama sırasında kıyılmış materyalin sıkıştırılması aşamasında farklı traktör kullanımı, sıkıştırma için farklı sürelerde ezme işleminin yapılması, materyal kalınlığının değişmesi, ürün nemi, ürün yoğunluğunun farklı olması, silo derinliği gibi bir çok nedenden dolayı uygulanan sıkıştırma kuvveti değişmektedir. Bu değişim silonun farklı noktaları içinde değişkenlik göstermektedir. Sıkıştırma ve ezme işlemi için kullanılan traktör ile her nokta eşit şekilde ezilememektedir. Tüm bu problemler silaj yemin nitelik ve kalitesi üzerine etkilidir.

Farklı (120 ve 480 kPa) basınç uygulanarak yapılan mısır silolamada silajın yoğunluğunun değiştiği ifade edilmiştir. Yüksek yoğunluk porozitenin azalması, solunum kaybı ve depolama maliyetinin azalmasında da etkindir. Aynı zamanda farklı tabaka kalınlıkları ve ürün neminin sıkıştırma üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir. Tek lastikli traktör ve çift lastikli traktör denemelerinde, çift lastik uyguladıklarında basınç ve ürün yoğunluğunun arttığını ifade etmişlerdir (Roy ve ark. 2001). Ruppel (1993) traktör kütlesinin ve sıkıştırma için uygulama süresinin silaj kalitesi üzerine etkili olduğunu vurgulamıştır. Sıkıştırma süresi üzerine ürün kütlesi ve tabaka yüksekliğinin önemli olduğunu belirtmiştir. Muck ve Holmes (1999) son ürün yoğunluğunun tabaka kalınlığından etkilendiğini belirterek ürün nemi, tabaka kalınlığına bağlı olarak ürün modeli oluşturmuştur. Sıkıştırma sonrası ürün yoğunluğu 100-400 kg KM m⁻³ sıkıştırma aşamasında kullanılan ekipmana göre değiştiğini ifade etmiştir. Traktör kütlesine bağlı olarak yoğunluk değişimini belirtmiştir (Roy ve ark. 2001). Ürün yoğunluğunun fazla olması sıkışmanın iyi olduğunun da bir göstergesidir. Yüzeysel silolarda doldurmada mümkün olduğunca yemin ince ve eşit bir tabaka oluşturacak şekilde tüm silo içerisine dağıtılması ve daha sonra sıkıştırılması esas prensip olarak benimsenmektedir (Kılıç, 1985).

Laboratuvar koşullarında kontrol, vakum, 150, 248 ve 498 kPa sıkıştırma kuvveti uygulayarak ayçiçeği silajı yapılmıştır. 5.2 L silo kaplarına yapılan silajlarda, sıkıştırma kuvvetinin silaj kalitesi üzerine etkisinin (p<0.05) önemli olduğunu,

sıkıştırma kuvvetinin artmasına bağılı olarak kalite parametrelerinin olumlu yönde değıştirdiğini belirtmişlerdir (Toruk ve ark. 2009a).

Farklı hasat dönemlerinde %78, %70, ve %60 nem içeriğinde kıyılmış ayçiçeği silajlarını laboratuvar koşullarında farklı sıkıştırma işlemlerine tabi tuttuklarında porozite, geçirgenlik (permeabilite) ve yoğunluklarının önemli derecede etkilendiğini saptamışlardır. Hasat döneminin gecikmesi ile porozite artarken, yüksek nem içeriğine sahip materyallerin silolanmasında düşük porozite elde edilmiştir. Sıkıştırma kuvvetinin artmasına bağılı olarak da porozite ve geçirgenlik azalmış, yoğunluk ise artmıştır (Toruk ve ark. 2009b). Görüldüğü gibi materyallerin sıkıştırılması ile porozite, geçirgenlik ve yoğunluk değerinin ilişkisi önemlidir (Roy, 2001).

Bu nedenlerle çalışma, saha koşullarında üreticilerin uygulamış oldukları koşullarda yüzeysel silolarda yapılacaktır. Bu, çalışma için yüzeysel sabit beton silo seçilmiştir . Böylece en çok kullanılan silo tipinde üretici koşullarındaki mevcut durum saptanabilecektir. Silolar yapılır iken belirlenen noktalara basınç ölçüm sensörleri yerleştirilerek farklı noktalarda ölçümler yapılacak ve fermantasyon süresi boyunca da meydana gelecek değışimler ölçülerek kaydedilmesi sağlanacaktır. Böylelikle sıkıştırma sırasında, sonrasında silo içerisinde meydana gelen değışimler de kaydedilecektir. Silonun alt tabakasından başlayarak her tabakadan, kenar noktalardan, orta bölmeden ve üst yüzeyden ölçümler yapılacaktır. Toplanan veriler ile silaj nitelikleri karşılaştırılarak önemli faktörler ve etkileri belirlenerek, üretici koşulları için uygun sıkıştırma basıncının sağlanabilmesi yönünde öneri getirilmesine çalışılacaktır.

Basınç ölçümünde, sensörlerin traktör kütlesinden etkilenmemesi ve kırılmaması için farklı tipte basınç ölçüm sistemleri yapılarak silo içerisine döşenecektir. Ölçümler bir datalogger tarafından kaydedilecektir.

Yapılacak değerlendirmelerde, saha koşulları için minimum sıkıştırma süresi belirlenerek, saha koşullarına uygun metodlar geliştirilebilecektir. Yapılacak diğer çalışmalar için de örnek bir araştırma olacaktır.

Abstract

The most important factor in silage making is compressed no air in the chopped silage material. The compression of the stack silos under field conditions are made in the form of crushed material back and forth on the stack with a tractor. This process varies for each company and each stack. Compression continues until the addition of chopped material. The material comes in a short time, the compression time is also shortened. Product moisture, density and compression time influences the quality of silage. To obtain high-quality silage, it is necessary to create the best fermentation conditions. This depends on the creation of a suitable environment for fermentation. Good fermentation and high-quality forage with the correct compression is achieved.

In our region, as silage making techniques, stack silos are applied widely. of Different compression application is affected the quality of silage. The compressive force are affected by the depth of silo, the tractor weight, compression time, the material thickness, product moisture. Therefore, the compression force is varied at different points silo. All points of the silo with a tractor equally incompressible. All these problems have an impact on the quality of silage. Roy et al. (2001) reported silage density varies at different pressures (120 ve 480 kPa). Porosity of silage, dry matter loss and storage costs with the increased silage density are reduced. Different layer thickness, and product moisture are also effective in the compression process. They have detected higher product density on compression with dual tires on tractor. Ruppel (1993) emphasized that mass of the tractor and compression time on silage quality is effective. Product mass and layer thickness are important for the compression time. Muck and Holmes (1999) reported that final product density is influenced by layer thickness. They found a pattern associated with the product moisture and they layer thickness. Product density $100-400 \text{ kg KM m}^{-3}$ varies according to the compression equipment and tractor mass (Roy et al. 2001). High product density is an indication of better compression. Compression basic principle is to apply a thin and uniform layers (Kılıç,1985).

Under laboratory conditions (control, vacuum, 150, 248 and 498 kPa) applied compression forces at sunflower silage. 5.2 L silo containers are used. They found that the compression force had a statistically significant effect on silage quality. Silage quality increased linearly with increasing compression level (Toruk ve ark. 2009a).

The effect of different maturity stage (78%, 70%, ve 60%) and the compression level on the porosity, permeability and density were examined. The highest densities were at low moisture content and the lowest densities at high moisture content. Porosity and permeability decreased and density increased with increasing compression level (Toruk et al. 2009b). The relationship between compression force and porosity, permeability, density are important (Roy et al, 2001).

Therefore, this research will be made at the manufacturer conditions in field. Surface silos were selected. The aim is to determine the current situation. Sensors will be placed in the designated points inside the silo and measurement will be taken. Pressure changes occurring during compression in the silo will also be recorded.

Measurements (bottom, middle and top) will be placed in all layers. The aim of this study was to compare forage quality with the collected data, to determine the important factors and their effects and influences, to determine the appropriate compression pressure for producers and to make suggestions.

In pressure measurement, pressure measurement system is made unaffected by the tractor mass . Measurements were recorded by a datalogger .In this research, new method can be developed in accordance with field conditions with determining the minimum compression time for the field conditions. This study will also be an example for other work to do.

1. Giriş

Türkiye’de 2012 yılı verilerine göre yaklaşık 14 milyon BBHS bulunmakta ve bunların sadece yaşama payı besin madde gereksinimlerini kaba yemlerle karşılamak için yılda ortalama 70 milyon ton kaliteli kaba yem gereksinim duyulmaktadır. Ancak kaliteli kaba yem üretimimiz 33 milyon ton düzeyinde kalmaktadır. Mevcut üretim düzeyimiz ile hayvanlarımızın yaşama payı ihtiyacının ancak % 58’i karşılanabilmektedir. Durum böyle olunca da gelişmiş ülkelerde altlık olarak kullanılan saman ülkemizde önemli bir kaba yem kaynağı haline gelmektedir. Samanın gereğinden fazla kullanılması, süt sığırı rasyonlarının temel yiyeceği olarak algılanması aşırı miktarda kesif yem kullanımını zorunlu kılmaktadır. Böylesi bir besleme sistemi ise, süt sığırcılığında karlılığı olumsuz yönde etkilemektedir.

Bir hayvancılık işletmesinde toplam harcamaların %60-70’ i yem giderlerinden oluşmaktadır. Kaba yemi işletmelerin kendi bünyelerinde yapması, yem maliyetlerinin azalmasında da etkili olmaktadır. Bu, daha doğru ve karlı bir hayvancılık işletmesinin temelini de oluşturmaktadır.

Kaba yem olarak hayvan beslemede silaj yemler önemli bir yer tutmaktadır. Tüm saklama metotlarında olduğu gibi, silaj yapımında da bazı kayıplar söz konusudur. Silolama sırasında oluşabilecek bu tip kayıpları, hasat kayıpları, solunum ile gerçekleşen kayıplar, silo suyu ile gerçekleşen kayıplar ve aerobik bozulma ile gerçekleşen kayıplar olmak üzere değişik kategorilerde incelemek mümkündür. Ancak, silolama sonrası oluşacak fermentasyon kayıpları istediğimiz son ürünün kalitesi üzerine etkilidir. Bu nedenle kaliteli yem elde etmenin en önemli aşaması silolama tekniğinin iyi ve doğru şekilde gerçekleştirilmesidir.

Silolama tekniğinin temel işlemi silajlık kıyılan materyalin siloya sıkıştırılması işlemidir. Bu işlemin etkin olarak yapılması silaj kalitesini ve ürünün bozulmasını etkilemektedir. Sıkıştırma işleminde kullanılan traktör yada iş makinesinin ağırlığı, ürün nem içeriği, olgunluk dönemi, silaj tabakasının kalınlığı, sıkıştırma süresi gibi bir çok faktör önemlidir.

Bölgemizde saha koşullarında silaj yapımında;

- Toprak üstü geçici silo ve
- Toprak üstü beton silolar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Toprak üstü silolarda, kıyılmış taze materyal traktör, kamyon, iş makinesi gibi araçlar kullanılarak doldurulmakta ve ezme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yemlerin silolanması aşamalarında materyalin ezilmesi ve materyal içerisindeki havanın çıkarılması silolamanın başarısı üzerinde etken rol oynar. Bu nedenle işlem süresince sürekli titiz davranmak gerekir. Uygulamada geniş kullanım alanı bulunan yüzeysel siloların doldurulmasında çeşitli olanaklardan yararlanmak mümkündür. Toprak üstü siloların yüzey alanının geniş olması, ezme işlemi süresince eşit olarak her alanın sıkıştırılmasını daha da zor hale getirmektedir. Saha koşullarında üreticiler tarafından farklı şekillerde uygulamalar olmaktadır. Silolama tekniği iyi bir plan gerektirmektedir.

Toprak üstü yatay silolar, mekanik olarak silonun doldurulmasının ve boşaltılmasının daha kolay yapılması, silo masraflarının uygun olması gibi nedenlerle oldukça yaygın kullanıma sahiptir.

Yemlerin mümkün olduğunca ince ve eşit bir tabaka oluşturacak şekilde silo içerisine dağıtılması ve daha sonra traktör yada kamyon ile sıkıştırılması doğru yoğunluğun kısa sürede elde edilebilmesinde önemlidir.

Üretici koşullarında bir çok değişken vardır. Bu nedenle her işletmeye özgü planlama yapılması gereklidir. Öncelikli olarak; ekilen ürün cinsi ve ekim alanı, üretilen miktar farklıdır. Silajlık materyalin ekili olduğu tarla ile silonun yapıldığı yerin arasındaki mesafe farklıdır, kullanılan silaj makinası ve traktör sayısına bağlı olarak siloya materyalin gelme süresi değişmektedir. Kullanılan araç sayısı, tipi, ağırlığı, silo büyüklükleri değişkendir. Bu nedenlerle tek bir öneri getirilememektedir.

Yapılmış araştırmalar, silo içerisine yığılan materyal kalınlığının, ürün yoğunluğunun, ezme ve sıkıştırma amacıyla kullanılacak olan traktörün ağırlığının, kullanım süresinin silolama kalitesi üzerine etkili olduğunu göstermektedir.

Silolamada doğru sıkıştırmanın yapılması, içeride hava kalmaması iyi bir fermentasyon gelişimine ve yüksek kalitede silaj yem elde edilmesine neden olmaktadır. Bilindiği gibi tüm yem saklama yöntemlerinde besin madde kaybı meydana gelmektedir. Silolamanın doğru yapılmaması meydana gelen besin madde kayıplarının artmasına hatta tüm silodaki materyalin bozulmasına kadar sebep olabilmektedir. Ancak bu kayıpların en az düzeyde kalması için her türlü önlemin alınması gereklidir. Muck and Holmes (2000)' de yaptıkları araştırmalarında yığın silolarda traktör ağırlığının, doldurma süresinin ve ürün tabaka kalınlığının silaj yoğunluğu üzerine etkili olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı çalışmalarında makineleri kullanan operatörlerin de etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Ruppel (1993) traktör kütlesinin ve sıkıştırma için uygulama süresinin, silaj kalitesi üzerine etkili olduğunu vurgulamıştır. Sıkıştırma süresi üzerine ürün kütlesi ve tabaka yüksekliğinin önemli olduğunu belirtmiştir. McGechan (1990), silajı sıkıştırmak için kullanılan traktör kütlesini belirleyememiştir.

Sıkıştırma süresi, soldurulmuş ot silajlarında her bir ton ürün kütleri için 3-3.5 dakika olarak ifade etmiştir. Sıkıştırmanın etkin olabilmesi için tabaka kalınlığının 30 cm olmasını, traktör lastik basınçlarının 2.5 bar veya daha üstü olması gerektiğini de belirtmiştir. Sıkıştırma sırasında sıkıştırma araçlarının geçiş sayıları da sıkıştırma kalitesi üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır (Edner, 1985). Roy (2014)'e göre siloda sıkıştırma işlemindeki en önemli teknik faktörler; sıkıştırma süresi, sıkıştırmada kullanılan traktörün ağırlığı, materyalin çeşitliliği ve tabaka kalınlığı olarak ifade etmiştir. Silajın sıkıştırılabilme etkisine materyalin parça boyu, ürün nemi ve ham selüloz içeriğinin önemini de belirtmiştir. Yetersiz sıkıştırma sonrası silaj içerisinde kalan oksijen nedeni ile silajın bozulma etkeni oluşmaktadır. Silaj içinde sıcaklık yükselmektedir. Bu sıcaklık kontrolü ile tespit edilebilmektedir. Bu nedenle çalışmamızda silaj sıcaklığın kontrolü için termal kamera kullanılarak sıcaklık ölçümü yapılacaktır.

Yapılan çalışmalarda silonun sıkıştırılması amacıyla çift tekerlekli, daha ağır yapıdaki traktörler yada vasıtalar kullanılmaktadır. Bölgemizde ise, genellikle üretici elinde mevcut olan traktörünü bu iş için kullanmaktadır. Çoğunlukla ek ağırlık bile kullanılmamaktadır. Mevcut traktör tipleri ve ağırlıkları belirlenerek ortalama ağırlık için kullanım süresi belirlenebilir.

İşletme sahip olduğu silaj yemin bozulması durumunda dışarıdan satın alma yoluna gidecek ve yem maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır. Diğer yandan zaten üretim alanlarımızdan elde ettiğimiz kaba yemlerin yetersiz olduğunu da düşünürsek sorun daha da büyümektedir.

Çalışmada, üretici koşullarında silolama sırasında uygulanan silo yapım tekniğinde, materyalin ezme ve sıkıştırılması için ayrılan süre, kullanılan araç tipi, kullanım şekli, ağırlıkları araştırılacaktır. Silonun her tarafına eşit şekilde sıkıştırma uygulanıp uygulanmadığını anlamak için silo yapım sırasında aşamalı olarak silo içersine yerleştirilecek olan basınç sensörleri ile takip edilecektir (Turner vd,2001).

Böylelikle silonun genel yapısı hakkında sürekli veri kaydedilebilecektir. Eğer basınç her noktada eşit değilse silaj yemin kalitesi üzerine etkileri de sorgulanacaktır.

Araştırma sonucu olarak saha koşullarında traktör kullanım süresi ve sıkıştırma derecesine bağlı olarak silaj kalitesi ve silaj yoğunluğuna bağlı veriler elde edilecektir. Bu sonuçlar altında üreticilere yönelik bir veri elde edilebilecek ve gerekli önerilerde bulunabilecektir.

2. Kaynak Özetleri

Roy ve ark., (2001) yüzeysel silolarda sıkıştırmaya bağlı olarak ürün yoğunluğunda dört kat artış saptamışlardır. Ürün yoğunlukları (100-400 kg KM/m³) arasında değişmiştir. En yüksek solunum kayıpları, en düşük yoğunluğa sahip örneklerde saptanmıştır. Yoğunluk silaj kalitesini belirlemede en önemli faktör olarak belirtilmiştir. Aynı zamanda yüksek yoğunluklu silo yapmanın birim yem masrafını azalttığını vurgulamıştır. Ürün yoğunluğu üzerine sıkıştırma sırasındaki lastiğin basıncı, boyutu, ilk tabaka kalınlığının, ürün tipinin ve nem içeriğinin etkisini belirtmiştir. Çizelge 2.1 de sıkıştırma ve tabaka kalınlığına bağlı olarak ürün yoğunluğunda (mısır silajı) meydana gelen azalma gösterilmiştir. Sıkıştırma sırasında uygulanan basıncın azalması ile birlikte ürün yoğunluğu da azalma göstermiştir. Benzer sıkıştırma basıncında ürün tabaka kalınlığı arttığında ürün yoğunluğunun da azaldığı görülmektedir.

Çizelge 2.1. Basıncı ve tabaka kalınlığına bağlı olarak ürün yoğunluğunda azalma

Basıncı (Kpa)	Tabaka kalınlığı (m)	Yoğunluk (Kg KM/m ³)	24 h sonra yoğunluk (Kg KM/m ³)	Yoğunluk kaybı (%)
483	0.1	152.7	140.7	7.9
483	0.2	146.6	139.1	5.1
277	0.1	142.5	104.8	26.4
277	0.2	136.1	127.7	6.2
233	0.1	155.2	142.5	8.2
233	0.2	152.7	135.6	11.2
Ortalama		147.7	131.7	10.8

McGechan (1990). Yatay tip silolar için silaj yoğunluklarını ot silajı için yüksek nemde (%75) 170 kg KM/m³, düşük nemde (%50) 295 kg KM/m³ olarak belirtmiştir. Ancak traktör ağırlığını belirtmemiştir.

Messer ve Hawkins (1977). Silajda kuru madde yoğunluğu için önemli faktörün nem içeriği olduğunu ifade etmiştir. Ot silajı ve mısır silajı için ürün nemine bağlı olarak iki ayrı model önermiştir.

Darby ve Jofriet (1993). Kuzey Amerika' da büyük yatay siloların 20 ton ve daha ağır traktör ile sıkıştırıldığını bildirmiştir. Traktör kütlesine bağlı olarak silaj yoğunluğunun belirlenebilmesi amacıyla model oluşturmuştur. Bu modele göre yoğunluk genel olarak 200-250 kg KM/m³ arasında değişmektedir. Silaj yoğunluğunun ürün nemi, tabaka kalınlığı, parça boyutu gibi faktörlerin etkilediğini belirtmiştir. Ağır sıkıştırma ekipmanları yığın silolarda silajın yoğunluğunun arttırmak için kullanılmaktadır. Ancak ufak işletmelerde bu uygulamaların sorunlu olduğu pratik olarak kullanılmadığını vurgulamıştır. Ürün nemi, parça uzunluğu, tabaka kalınlığının son ürünün yoğunluğunun yüksek olmasında önemli bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Ruppel (1993). Traktör kütlesi ve silaj yapım sırasındaki tabaka kalınlığının önemini belirtmiştir. İlk tabaka kalınlığının son ürün yoğunluğu üzerinde etkisinin

büyük olduğunu da vurgulamıştır. Yoğunluk ile ürün parça boyutu arasında önemli bir ilişki belirtmemiştir.

Ruppel (1997). Silo yönetiminde başarılı olmak için küçük işletmelerin sıkıştırma işlemine uygun bir traktör boyutunu bilerek sahip olmasının önemini açıklamıştır. Doğru sıkıştırma ile yüksek yoğunluğa sahip silaj daha az kayıp ve üründen faydalanma ile maliyeti arasındaki ilişkiyi belirtmiştir.

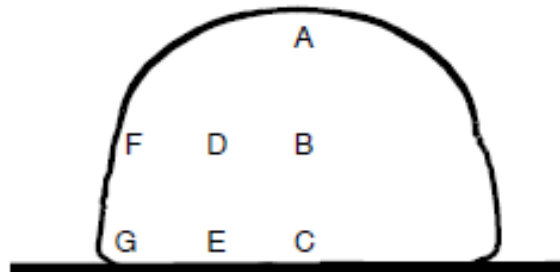
Muck ve Holmes (1995). Silo yoğunluğunun üstten alta doğru arttığını gözlemledi. Duvar kenarlarında yoğunluğun değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir.

Muck ve Holmes (1999). Parça boyunun artması ile birlikte daha yüksek yoğunluk arasında bir korelasyon olduğunu belirtmiştir. Bunu daha büyük işletmelerde daha uzun parça boyutundaki materyallerin daha ağır ekipmanlar ile sıkıştırılması, küçük işletmelerde ise daha hafif yapıdaki ekipmanlar ile sıkıştırılmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Ayrıca 1970 lerde genel silolarda sıkıştırma sonrası ürün yoğunluğunun 150-180 kg/m³ iken, 1990 larda ürün yoğunluğunun 200-240 kg/m³ e yükseldiğini ifade etmiştir. Bunun nedeni olarak sıkıştırma işleminde daha büyük ekipmanların kullanıldığını belirtmiştir. Benzer uygulamalarda ürün neminin değişken sonuçlara sebep olduğunu da belirtmiştir.

Muck ve Holmes (2000). Wisconsin 'de 81 silodan aldığı örneklerde mısır silajı yoğunluğunun siloda çok değişken olduğunu, yoğunluğun 125 ile 378 Kg KM/m³ arasında olduğunu ifade etmiştir. Yüksek yoğunluk seviyesinin istenen bir uygulama olduğunu, benzer hacimde daha fazla ürünün depolanabildiğini birim depolama maliyetlerinin de azalmasına sebep olduğunu söylemiştir.

Muck ve ark. (2004). Yonca ve ot silajında yoğunlukların basınç, ürün nemi, ürün türü ve parça boyutundan etkilendiğini saptamış fakat tabaka kalınlığı ve sıkıştırma süresinin yoğunluk üzerine etkisini bulmamıştır.

Muck ve Holmes (2006). Plastik torba silajlar için ürün yoğunluğu belirlemek amacıyla belli ölçüm noktaları belirlemişlerdir (Şekil 2.1). Toplam 47 torba silajda yaptığı çalışmalarında yoğunluğun 160-270 kg/m³ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Artan parça boyuna bağlı olarak yoğunluğun azaldığını belirlemiştir.



Şekil.2.1. Plastik torba silajlarda yoğunluk ölçüm noktaları

Savoie ve ark. (2004). Silaj yoğunluğunda bir çok faktörün etkili olduğunu belirtmiştir. Silajın nem içeriği, sıkıştırmada kullanılan traktörün kütlesi, lastik basıncı,

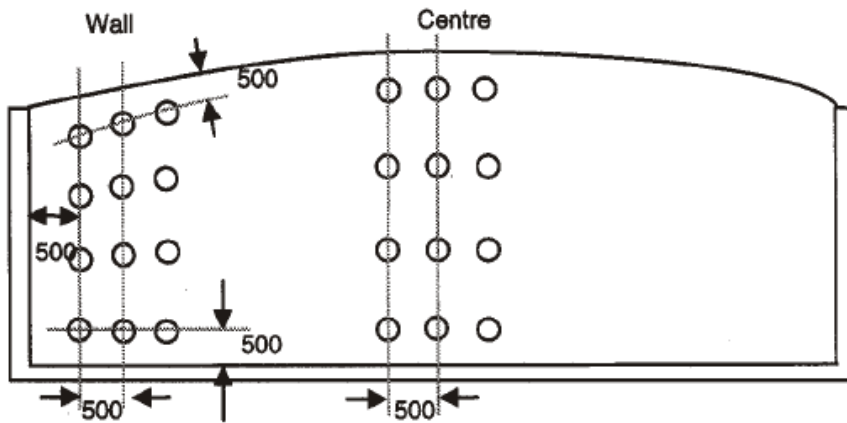
sıkıştırma süresi, silajın yüksekliği, tabakanın inceliği ve tabaka sayısının da etkili olduğunu sıralamıştır.

Sun ve ark. (2010). Silaj kalitesinde yoğunluğun önemli bir rol oynadığı belirtmiştir. Çalışmasında değişken hacimli balya makinaları ile yaptıkları balyaların yoğunluklarını incelemiştir. Şekil 2.2 de balya silajların yoğunluğunu belirlemede toprak sıkışıklığı ölçmede kullanılan penetrometre kullanılmıştır. Balyalarda 60 cm derinliğe kadar ölçüm yapmışlardır. Penetrasyon direnci ortalama 500-550 N bulunurken 4 nolu balyada 965 N olarak ölçülmüştür. Balya yoğunluğu 4 nolu balyada en yüksek olmuştur. Genel olarak balyalarda derinliğe bağlı olarak yoğunluk değişmekle birlikte merkezde daha düşük olmuştur. Çalışmalarında kullandıkları penetrometre ile yığın silajlar ve dikdörtgen silajlar için de uygun olabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.2. Balya yoğunluğu ölçümü

Amours ve Savoie (2004). Silolarda mısır silajının yoğunluk profilini araştırmıştır. Altı farklı hayvancılık işletmesinde çalışmalar yürütmüşlerdir. Sıkıştırma işlemi yapan traktörlerin ağırlıkları, lastik boyutu ve lastik hava basıncını ölçmüşlerdir. Üç farklı yükseklikte (0.15-0.30 ve 0.45 m) ölçümler yapmışlardır. Silaj profilini karakterize etmek için silo içerisinde ölçüm noktaları oluşturmuştur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Silo içerisinde ölçüm noktaları

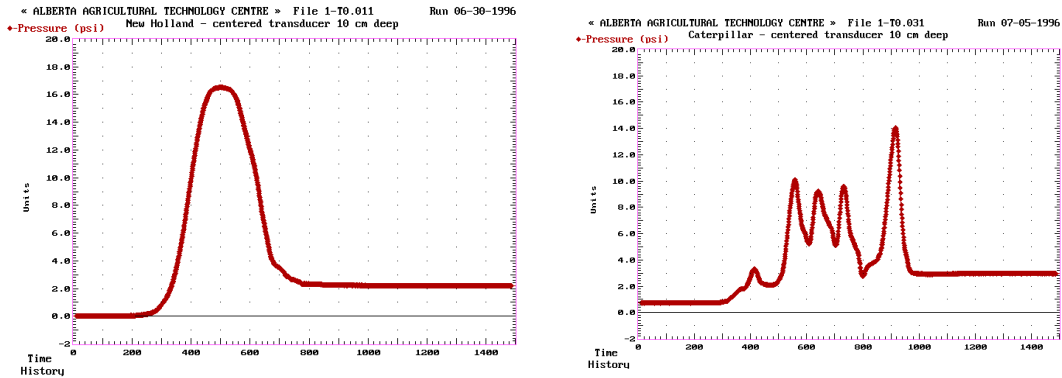
Yoğunluğun genel olarak üst noktalarda daha düşük, alt noktalarda ise daha yüksek olduğunu ifade etmiştir. Merkez konumdaki noktalarda yoğunluğun duvar kenarlarına göre %7 daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Turner ve Raper (2001). Toprak sıkışmasında kalıcı toprak stresini ve sıkıştırmayı belirlemek için farklı yöntemler denenmiştir. Şekil 2.4' de gösterilen ölçüm setini oluşturmuştur. Çalışmamızda Turner ve Raper (2001) tarafından geliştirilen sistem temel alınarak silo içi ölçüm sistemi oluşturulmuştur.



Şekil 2.4. Toprak sıkışıklığı ölçüm seti

Farklı lastik tiplerinde topraktaki basıncın etkisini gözlemlemiştir. Her ikisinde de benzer ve 13 ton ağırlığında bir traktör kullanılmıştır (Şekil 2.5).

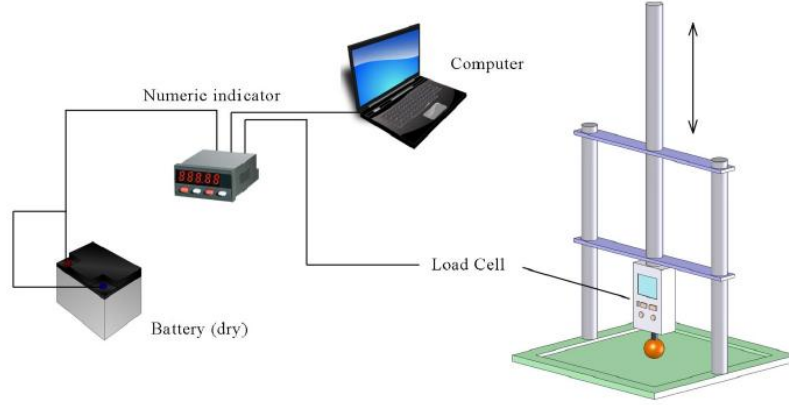


Şekil 2.5. Farklı lastik tiplerinde topraktaki sıkıştırma basıncı

Shinners ve ark. (1994). Silajda artan parça boyu ile yoğunluk arasında bir ilişki bulmuştur. Parça boyutu 8.7 mm den 25.2 mm ye çıktığında yoğunluğun %14 azaldığını belirtmiştir.

Toruk ve ark. (2009a). Farklı sıkıştırma koşulları altında ayçiçeği silajında yoğunluk, porozite ve geçirgenlik oranını incelemiştir. Üç farklı olgunluk döneminde hasat edilen ayçiçeklerini 150, 248 ve 498 kpa ile sıkıştırmıştır. Sıkıştırma kuvveti silaj yoğunluğu üzerinde etkisini önemli bulmuştur. En yüksek yoğunluk 498 kpa ile sıkıştırma uygulanan yöntemde ve üçüncü hasat döneminde (BL) %64 saptamıştır. Silajın porozitesi olgunluk dönemi ile birlikte artış göstermiş, sıkıştırma kuvvetinin artmasına bağlı olarak azalma göstermiştir. En yüksek geçirgenlik (permeabilite) geç olgunluk dönemine ait silajlarda ve sıkıştırma kuvvetinin düşük olduğu yöntemlerde belirlemiştir.

Toruk ve ark. (2009b). Silaj kalitesi üzerine sıkıştırmanın etkisini incelemişlerdir. Uyguladıkları sıkıştırma kuvvetini ölçmek için laboratuvar koşullarında sıkıştırma kuvveti ölçüm düzeneği oluşturmuşlardır (Şekil 2.6). Silaj kalitesi üzerinde sıkıştırma kuvvetinin önemli etkisini saptamışlardır. Silaj kalitesinin artan sıkıştırma kuvvetine bağlı olarak pozitif olarak etkilendiğini bildirmiştir.

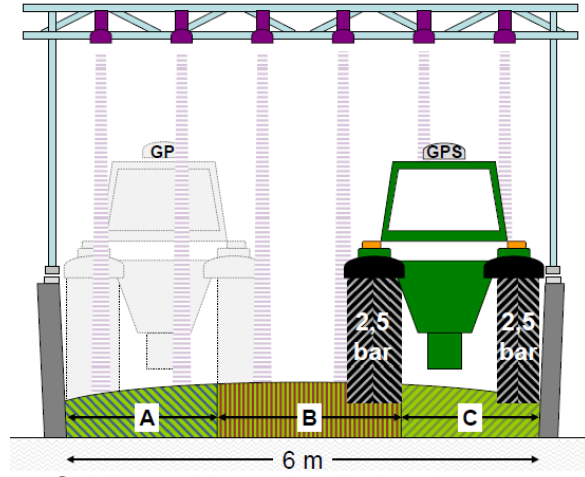


Şekil 2.6. Sıkıştırma kuvveti ölçüm düzeneği

Toruk ve Koç (2009). Silajda uygulanan sıkıştırma kuvvetinin aerobik stabilite üzerine etkilerini araştırmıştır. Sıkıştırma kuvvetinin artması silolama özelliklerinin iyileşmesine neden olmakla birlikte aerobik stabilite üzerinde belirgin farklılık yaratmamıştır. Fakat, olgunlaşma döneminin aerobik stabilite üzerinde etkisi belirlenmiştir.

Tan ve Büyüktosun (2016). Mısır silajı üç farklı seviyede (0.07 mPa, 0.1 mPa and -0.1 mPa) plastik torbaların içerisine vakumlanmıştır. Silajda vakumlamanın yoğunluk ve kuru madde kaybı üzerine etkisini incelemişlerdir. Aynı zamanda kullandıkları plastiklerin özelliklerinin de yoğunluk kaybı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Torba silajlarda artan vakum ile yoğunluğun azaldığını, artan nem içeriği ile lineer olarak yoğunluğun arttığını ifade etmişlerdir. Kullanılan plastiklerin kuru madde kaybı üzerinde etkisi bulunmuştur. Vakumlanmış torba mısır silajının yoğunlukları $0.11-0.34 \text{ g cm}^{-3}$ arasında değişkenlik göstermiştir.

Roy- (2014). Siloyu üç ayrı bölgeye ayırarak sıkıştırmanın etkisini incelemiştir. Sensörler ile tabaka kalınlığını ölçerek sıkıştırma sürelerini hesaplamıştır. Traktör lastiğinin sol tarafı standart tip lastik kullanırken (sol arka 650/65R38, sol ön 540/65R28), sağ tarafta ise ince (sağ arka 20.8R38, sağ ön 16.9R28) lastik kullanmıştır. A (1.89 m), B (2.11 m) ve C (1.77 m) olacak şekilde bölgeye ayırmıştır (Şekil 2.7). Sıkıştırmada 10.1 ton ağırlığında traktör kullanmıştır.



Şekil 2.7. Yığın tip siloda sıkıştırma

A, B ve C bölmelerinde silaj yoğunluğu arasında önemli bir fark saptanamamıştır. B bölgesindeki sıkıştırma süresi daha uzun süre olduğu halde bölgeler arasında önemli bir fark saptanamamıştır. Gerek uzun sıkıştırma süresi gerek daha küçük lastik kullanımının silaj yoğunluğu üzerinde belirgin etkisi bulunmamıştır.

3. Materyal ve Metot

Araştırma materyali olarak, bölgemizde en yoğun silajı yapılan mısır silajı seçilmiştir. Çalışmalar, Tekirdağ-Malkara ilçesinde bulunan Doruklar Hayvancılık İşletmesinde yürütülmüştür.

3.1. Toprak üstü beton silo

Toprak üstü beton silolar üç tarafı beton duvar ile çevrili yapıda olan silolardır. Çalışmanın yürütüldüğü toprak üstü beton silonun resmi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmanın yürütüldüğü toprak üstü beton silo

Silo üç tarafı duvar ile çevrili, 300-350 ton silaj kapasitesine sahip olup 27 metre uzunluğunda, 7.5 metre eninde ve 2.5 metre yüksekliğe sahiptir. Silo, %5 eğime sahiptir. Toprak üstü beton siloya 350 ton mısır silajı depolanmıştır. Siloya her bir silaj ağırlığı tartılmış 24 adet kamyon tarafından getirilen silajlık mısır doldurularak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Doldurma işlemi arkadan başlayarak öne doğru yapılmıştır.

3.2. Denemede kullanılan silajlık mısır ve silaj makinesi

Denemelerde 30B74 Pioneer silajlık mısır kullanılmıştır. Verimi yüksek, adaptasyonu güçlü bir çeşittir. Mısır silajı hasadına ilişkin resim Şekil 3.2' de verilmiştir. Mısır, kendi yürür tip tip CLASS 940 marka silaj makinesi ile 4-8 mm kıyılarak hasat edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan silaj makinesi Şekil 3.3' de gösterilmiştir.

Silajlık mısır hasadı 18.Ekim 2014 de yapılmıştır. Silolama işlemi üç gün devam etmiştir.



Şekil 3.2. Mısır hasadı



Şekil 3.3. Sıra bağımsız kendi yürür tip silaj makinesi

Kendi yürür tip mısır silaj makinesi ön ataçmanı sıra bağımsız silaj makinesi şeklindedir. İş genişliği 6495 mm dir.

Auto-fill otomatik doldurma sistemine sahiptir. Bu sistem, 3D dijital analiz sistemine göre çalışmaktadır. Kameradan elde ettiği görüntüye göre köşeleri belirleyerek römorkun tamamen doldurulmasını sağlamaktadır. Ayrıca karanlıkta da aktif çalışabilmektedir. Çizelge 3.1' de CLASS kendi yürür tip silaj makinesine ilişkin özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kendi yürür tip mısır silaj makinesi

Özellik	Birim	Değer
Tip	model	OM 471 LA
İş genişliği	mm	6495
Yükseklik (İş konumu)	mm	6335
Yükseklik (Taşıma konumu)	mm	3945
Uzunluk	mm	8590
Ön başlıksız ağırlık	Kg	12.500
Mısır tablası ORBIS sıra bağımsız		600 / 450
Mısır tablası (sıra/genişlik)	m	8/20(6)
Motor gücü	Hp/kw	350 / 476
Boğaz genişliği	Mm	730
Auto-Fill otomatik doldurma sistemi	3 D analiz sistemi	Mevcut
V-max bıçak sistemi	Adet	24
Kesme uzunluğu	mm	3.5-44

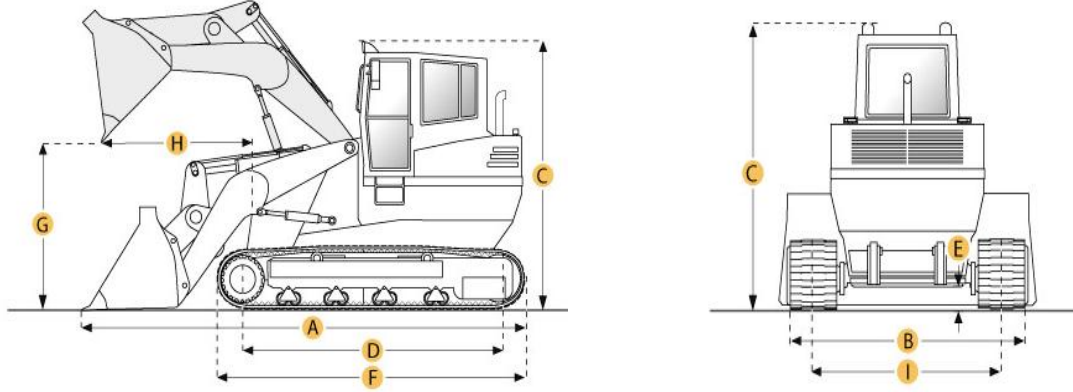
3.3. Sıkıştırma işlemi için kullanılan iş makinesi

Siloya materyalin sıkıştırılmasında kullanılan CAT 955 L tipi iş makinesine ilişkin resim Şekil 3.4' de, İş makinesine ilişkin teknik özellikler Çizelge 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.4. Sıkıştırma işleminde kullanılan iş makinesi

Çizelge 3.2. İş makinasına ilişkin teknik özellikler



Ölçüler	
Kepçe yerdeyken uzunluk	4950 mm
Genişlik (palet dışından)	2160 mm
Kabin yüksekliği	2290 mm
Aks yüksekliği	416 mm
Boşaltma yüksekliği	2900 mm
Kepçenin ulaşabileceği mesafe	1170 mm
Şasi	
Genişlik (palet merkezinden)	1680 mm
Motor	
Üretici	Caterpillar
Model	D331
Güç	96.9 kw
Besleme	turbocharged
Silindir sayısı	4

Ağırlık	13700 kg
Yakıt deposu	238 L
Kaldırma kapasitesi (sabit)	8440 kg
Kepçe kapasitesi (silme)	1.3 m ³
Kepçe kapasitesi (tepeleme)	1.5 m ³
Çalışma voltajı	24 V
Maksimum hız	11.3 km/h
Şasi	
Palet iz genişliği	380 mm
Palet tekerleği sayısı	6
Palet uzunluğu (yerde)	2360 mm
Zeminle temas alanı	1.8 m ²

3.4. Basınç ölçüm yöntemi;

Araştırmada iş makinesinin silo içerisindeki materyale uygulamış olduğu sıkıştırma kuvvetini ölçmek amacıyla bir ölçüm seti oluşturulmuştur. Turner ve Raper (2001) tarafından geliştirilen ölçüm seti temel alınmıştır. Araştırmacılar toprak için sıkıştırma kuvvetini belirleyebilmek amacıyla bu ölçüm sistemini kurmuştur. Bizim çalışmamızda ağır yapıdaki iş makinesinin ezme işlemi sırasında uyguladığı sıkıştırma kuvvetini saptamak için benzer bir sistem tasarladık. Yığın içerisine yerleştirilecek olan basınç sensörlerinin kırılmaması ve ölçümü yapabilmesi tasarlanmıştır. Ölçüm sensörleri yığın içerisinde yerleştirilmesi mümkün olmadığı için basınç algılayıcı plastik küreler yığın içerisine yerleştirilmiştir. Küre ile basınç sensörleri hidrolik hortum ile bağlantıları sağlanmıştır. Benzer şekilde küre ve hortum içine iletim için su doldurulmuştur (Turner ve Rapel, 2001).

3.4.1. Basınç sensörü;

Araştırmada Mesens 500 Series 4 bar kapasiteli 4-20 mA analog çıkış verebilen sensörler kullanılmıştır (Şekil 3.5). Sensör kapasiteleri traktör lastik basıncına göre belirlenmiştir. Traktör lastik basınçları genelde 2-2.5 bar arasında kullanılmaktadır. Bu araştırmada ölçüm güvenliği de düşünülerek belirlenen basınç aralıklarında sensör kullanımına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan Mesens 500 Series basınç sensörü

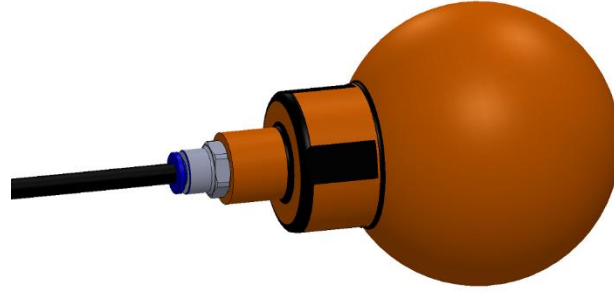
Basınç sensörleri, silo içerisine yerleştirileceği için sıkıştırma işlemi yapan traktör veya iş makinesinin kütesinden etkilenmemesi ve üzerinde ezme-sıkıştırma işlemi sırasında kırılmaması için gereken özellikte olması gerekmektedir (Turner vd. 2001). Basınç sensörleri silo açım süresince içerisinde silo içerisine kalacaktır. Bu süre içerisinde siloda meydana gelen basınç değişimleri de sürekli olarak kaydedilecektir. Sensörler yerleştirilirken silo açıldığında alınan silaj örneklerinin ölçüm bölgesini doğru temsil etmesi için 1 kg silaj materyali ile bir tül yardımı ile bohçalayarak yerleştirilmiştir. Sıcaklık sensörleri de yine bu bohçaların içerisine yerleştirilmiştir.

3.4.2. Kauçuk küre;

Silaj yapım aşamasında oluşan basınç algılamasının ölçülmesi için kullanılan sensörlere basıncın iletilebilmesi için özel kauçuk küreler ve hortumlar kullanılmıştır (Şekil 3.6). Hidrolik olarak çalışan sistemde basınç iletimi için su kullanılmıştır. Uygulama kolaylığı ve bir kaçak durumunda silajın etkilenmemesi açısından sistemde

su kullanımı tercih edilmiştir. İçeri su ile doldurulacak olan kauçuk küre ve hortumlar hidrolik sistem mantığı ile çalışarak üzerlerine uygulanan basıncı direkt sensörlere iletilmektedir.

Sistemde kauçuk kürelerin kullanılma sebebi silaj basıncının doğru ölçülebilmesidir. Esnek yapıdaki küreler (basıncı algılayıcı) silaj ile çevrelediği için üzerinde oluşan toplam basıncı yön gözetmeksizin sensörlere iletebilecek yapıdadır.



Şekil 3.6. Basıncı iletiminde kullanılan plastik küre

3.4.3. Hidrolik hortum;

Kullanılan hortumlar 10 bar basınca kadar uygulamalara dayanabilecek yapıda seçilmiştir (Şekil 3.7). Bu hortumlar kolay bağlantı kaplinleri ile sensörlere bağlanmaktadır. Hidrolik olarak çalışan sistemde basıncı iletimi için su kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Silaj içi basınçları iletiminde kullanılan kauçuk küre ve hortum bağlantısı

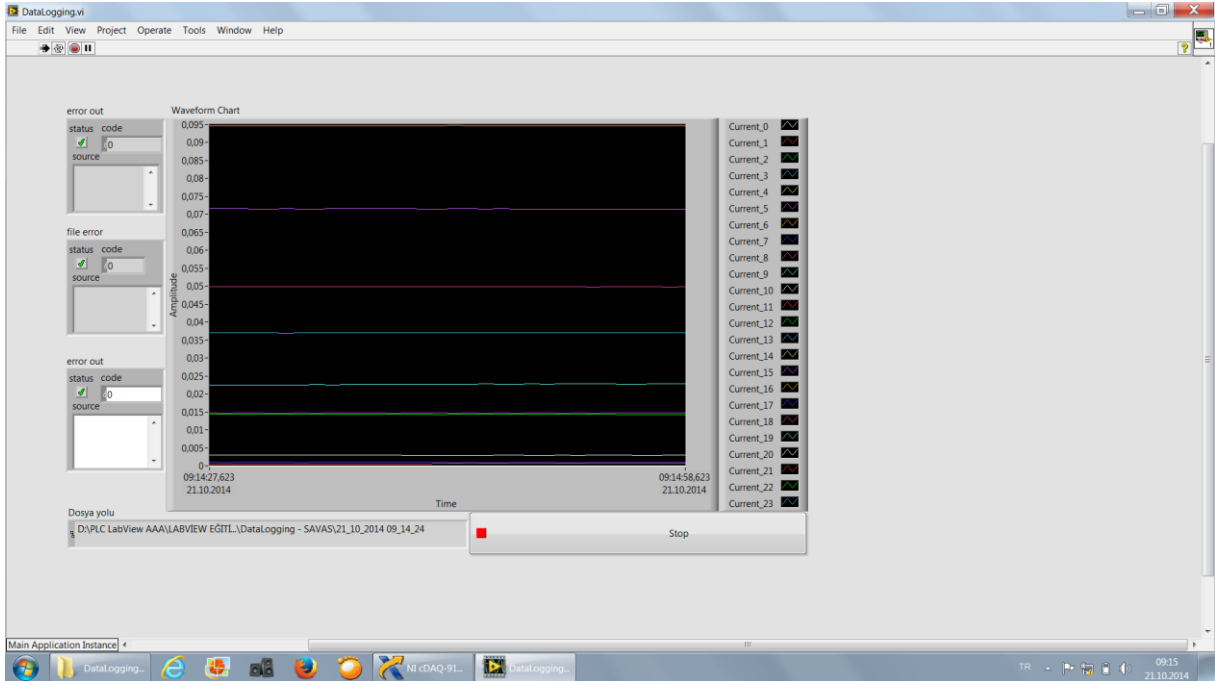
Çalışma için ölçüm düzeneği oluşturulmuştur. Şekil 3.8. de hidrolik hortumların ölçüm kitinde basınç sensörlerine bağlantısı görülmektedir. Yığın materyal arasına yerleştirilen lastik toplar hidrolik hortumlar ile basınç sensörlerine bağlanarak silo dışına çıkışı sağlanacak ve DAQ kartı (kaydedici)ye bağlantısı yapılmıştır.



Şekil 3.8. Basınç ölçüm düzeneği ve bağlantı

3.4.4. Veri toplama ve depolama;

Araştırmada kullanılan 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 depolanabilmektedir. Şekil 3.9'da denemelerde kullanılan veri toplama programı arayüzü görülmektedir.



Şekil 3.9. Veri toplama programı arayüzü

Verilerin toplanabilmesi için cDAQ-9184 CompactDAQ Chassis ve iki adet NI 9208, 24-bit akım giriş modülü kullanılmıştır (Şekil 3.10). Bu modüller üzerinde 16 analog giriş bulunup sistem gerektiğinde 32 analog çıkışlı sensörden gelecek verileri toplayabilecek özelliğindedir.



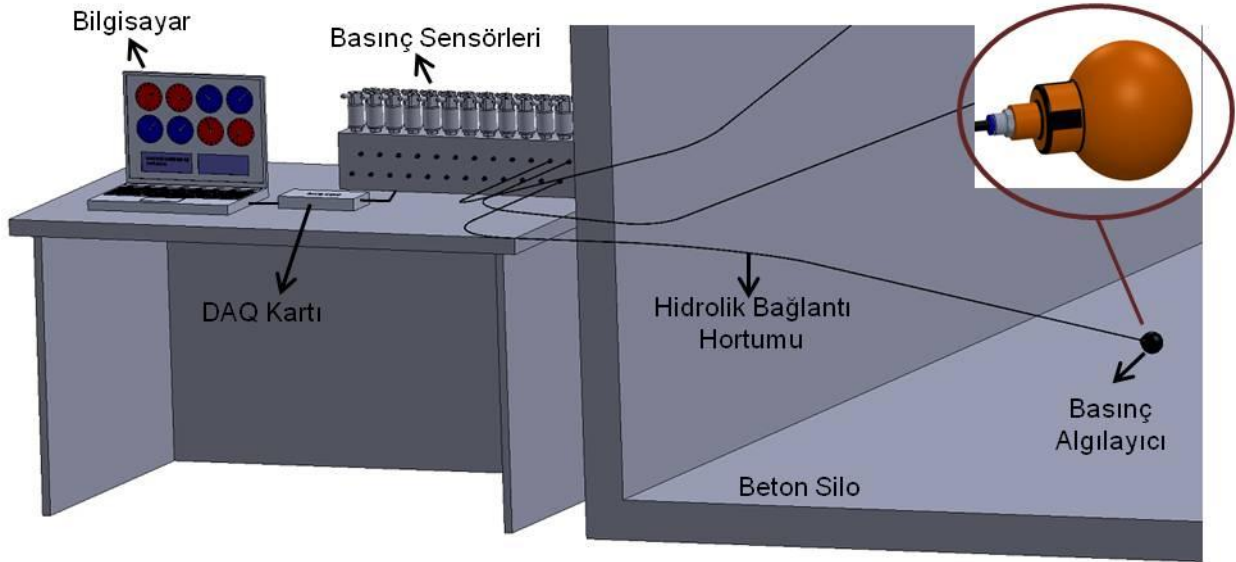
Şekil 3.10. Veri toplama şasesi ve kartı

Planlanan 24 sensör için kablo bağlantılarının zorluğu düşünülerek kullanılan veri toplama modüllerinin özel kablo soketleri kullanılmıştır. Bu iki soket yardımı ile sensörlerin bağlantıları kolayca yapılabilmektedir.

3.4.5. Ölçüm sistemi;

Ölçüm sistemi; basınç algılayıcı kauçuk küre, hidrolik hortum bağlantısı, basınç sensörü, veri toplama kayıt depolama ve bilgisayar dan oluşmaktadır.

Basınç ölçümü için materyal aralarına yerleştirilecek olan basınç algılayıcılarından alınan ölçümlerin kaydedilmesi için yapımı planlanan ölçüm düzeneği Şekil 3.11' de gösterilmiştir.

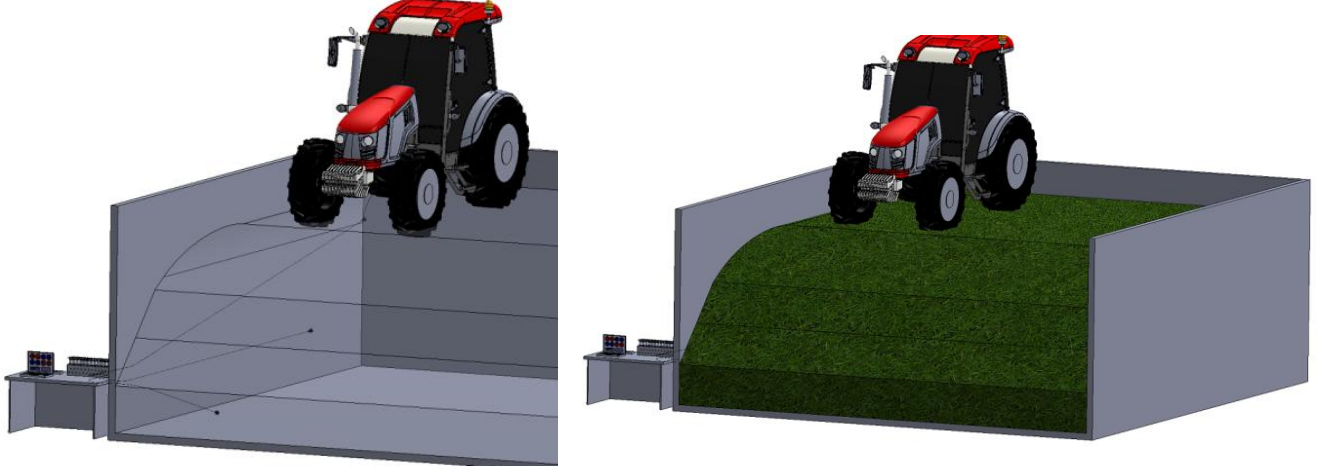


Şekil 3.11. Ölçüm sistemi

Ölçüm sisteminin çalışma konumundaki şematik gösterimi Şekil 3.12 de gösterilmiştir. Ölçüm seti silonun yan yüzeyini ortalayacak şekilde merkezi bir konuma yerleştirilmiştir. Çalışma süresince sensör hareket ve kayıtları bilgisayar ortamından izlenerek sensör verileri kontrol edilmiştir.

Ölçümler sadece siloda materyalin sıkıştırma işlemini değil sıkıştırma sonrası silo içerisinde kalan ağırlığı da tespit etmek içinde ölçüme devam edilmiştir.

Ölçümler ve veri alımı fermantasyon süresince materyal üzerindeki etki kaybolana kadar devam ettirilmiştir. Böylelikle ürünün kendi ağırlığı ve fermantasyon süresince ürünün etkisini gözlemlemek mümkün olmuştur.



Şekil 3.12. Şematik olarak planlanan basınç ölçüm sistemi

Siloda basınç değişimlerinin sorgulanması için, Şekil 3.9 da görüldüğü üzere silo tabanı, orta ve üst bölgeler esas olmak üzere sensör yerleşim noktaları tesbit edilmiştir. Böylelikle tabaka kalınlığının ve silo içerisindeki merkez ya da duvar kenarına yakın bölgeler arasında sıkıştırma kuvveti bakımından farklılık olup olmadığı test edilebilecektir. Silo içerisindeki yoğunluk sıkıştırma işlemine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Silonun yan yüzey alanı ve orta merkez noktası esas alınarak birbirinden 500 mm uzaklıkta ve silo içerisine doğru olmak üzere toplam 24 örnekleme bölgesine ayrılmıştır. Bu nedenle 24 ölçüm noktası ve 24 adet basınç sensörü kullanılmıştır (D'Amours and Savoie,2005). Basınç sensörleri arka, orta ve ön bölme ve sağ-orta-sol duvar noktasına yakın olmak üzere toplam 24 adet basınç sensörü silo içerisine yerleştirilmiştir.

Her bir bölgedeki basınç değerleri sıkıştırma sırasında ve sonrasında fermantasyon süresi boyunca basınç sensörleri ile ölçülerek kaydedilmiştir. Aynı zamanda ortam sıcaklığı da bu süreler içerisinde sıcaklık sensörleri tarafından sürekli kayıt altına alınmıştır.

3.4.6. Ölçüm Sisteminin Kalibrasyonu

Geliştirilen ölçüm sisteminin güvenilirliğinin tespiti amacıyla kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Ölçme setinde kullanılan basınç algılama sensörlerinin özellikle dinamik koşullarda elde edilen değerlerin doğru ve güvenilir değerler olduğunu belirlemek için iki farklı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Kalibrasyon denemelerinde dinamik

koşullarda ani yükleme veya yüklenme azalması durumunda oluşan değişimin belirlenmesinde hysteresis yöntemi kullanılmıştır.

Tekrarlı yüklenmelerde ölçüm değerlerindeki sapmaların belirlenmesinde ise tekrarlı ölçüm deneyleri yapılmıştır.

Deneylerde seçilen yük değerleri saha koşullarında karşılaşılması olası yükler ve sensor kapasiteleri dikkate alınarak seçilmiştir.

Kalibrasyon çalışmaları esnasında sistemde kullanılan ölçüm noktası uzaklıklarının ölçüm hassasiyetine etkilerinin saptanabilmesi amacı ile 5,10 ve 15 metrelik ölçüm mesafeleri için kalibrasyon eğrileri oluşturulmuştur. Bu mesafeler ölçüm noktalarının ölçüm sistemi kontrol ünitesine olan uzaklıklarına göre belirlenmiştir.

Yukarıda genel olarak belirtilen sistem kalibrasyonuna ilişkin yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.4.6.1. Hysteresis:

Basınç sensörleri üzerinde, dinamik koşullarda yüklenme, yük etkisinin azalması veya ortadan kalkması durumunda, kuvvet değerlerindeki değişimin saptanması uygulanan yöntemdir. Denemelerde her bir sensör üzerinde yerleştirilen 2 kg ağırlığındaki yükleme sepetine 1 Kg artış değeri ile 6 kg'a kadar yükleme yapılmış ve yine 1kg'lık azalış değerleri ile yük azalması, geri yükleme koşulu sağlanmıştır. Statik koşullarda yapılan bu deneme ile dinamik koşullarda oluşabilecek yük değişiminin hücreler üzerindeki etkisi bulunmuştur (Dalmış, 2006; Akıncı 1994).

3.4.6.2. Tekrarlı Ölçüm:

Yük hücrelerinin tekrarlı yüklenme koşullarında kuvvet değişim oranının saptanması için, yük hücreleri çok tekrarlı olarak sabit yük etkisi altında bırakılmıştır. Sabit yük değeri 1 kg'dır (Dalmış, 2006; Akıncı 1994).

3.5. Sıcaklık ölçümü

Sıcaklık, silaj kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Silo içi sıcaklığının optimal 15-25 °C olması ideal bir durumdur. Sıcaklığın 35-40 °C' ye çıkması ise siloda fermantasyonun yolunda gitmediğinin bir işaretidir ve böyle bir yemde yüksek oranda enerji ve besin madde kaybı beklenilmelidir. Bu nedenle silo içerisinde farklı noktalardan sıcaklık ölçümleri de fermantasyon süresince kontrol edilecektir.

Silo içi sıcaklık lümleri Hobo E-348-UA-002-08 model sıcaklık dataloggerları yardımı ile yapılmıştır. Basınç sensörleri ile birlikte Silo içerisine yerleştirilen bu sensörler silaj aılana kadar silo içerisinde sıcaklık verilerini toplamaya devam ettirilmiştir (şekil 3.13).



şekil 3.13. Denemelerde kullanılan su geçirmez Hobo marka sıcaklık dataloggeri

Sıcaklık, silaj kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Silo içi sıcaklığının optimal 15-25 C olması ideal bir durumdur. Sıcaklığın 35-40 C' ye çıkması ise siloda fermantasyonun yolunda gitmediğinin bir işaretidir ve böyle bir yemde yüksek oranda enerji ve besin madde kaybı beklenilmelidir. Silo içerisinde fermantasyon gelişiminin bölgelere göre değişimini saptamak amacıyla belirlenen konumlara sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Silonun kapatılması ile birlikte ölçüm kayıtları alınmaya başlanmıştır. Böylece fermantasyon süresince oluşan mevcut sıcaklık değişimleri saptanmıştır.

Basınç lümü için belirlenen ölçüm noktalarından üst, orta ve alt noktaya olmak üzere sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir.

Aynı zamanda termal kamera ile silo fotoğrafları kaydedilerek silo içerisindeki sıcaklık haritası belirlenerek bölgelere sıcaklık dağılımı belirlenecek ve sıkıştırma ile arasında bir ilişkinin olup olmadığı değerlendirilecektir. lüm noktalarına göre silaj kalite parametreleri de değerlendirilecektir. şekil 3.14 de termal kamera, izelge 3.3' de termal kameraya ilişkin teknik özellikler verilmiştir.



şekil 3.14. Termal kamera

Çizelge 3.3. Termal kameraya ilişkin teknik özellikler

Sıcaklık	
Sıcaklık ölçüm kademesi (-10 °C altında kalibre edilmemiştir)	-20 °C ile +250 °C (-4 °F to + 482 °F)
Doğruluk	± 5 °C veya 5 %
Görüntüleme Performansı	
Görüntü alanı	23° x 17°
Uzamsal çözünürlük(IFOV)	2.5 mRad
Minimum odak mesafesi	Termal lens: 15 cm (6 in)
Odak	Manual
Imaj frekansı	9 Hz yenileme hızı
Dedektör tipi	160 X 120 Odaksal düzlem dizini, soğutmasız microbolometer
Infrared lens tipi	20 mm F = 0.8 lens
Termal hassasiyet (NETD)	≤ 0.2 °C, 30 °C de (200 mK)
Kızılötesi spektrum bantı	7.5 µm ile 14 µm
Görüntü sunumu	
Palet	Mavi-kırmızı, yüksek kontrast
Görüntü ve veri saklama	
Depolama ortamı	SD bellek kartı (2 GB bellek kartı en az 1200 tam radyometrik IR veya 3000 temel IR görüntü kaydedilebilir)
Genel Özellikler	
Sıcaklık Çalışma	-10 °C to 50 °C (14 °F to 122 °F) -20 °C to +50 °C (-4 °F to 122 °F)
Bağıl nem	%10 ile %90 arası
Gösterge	9.1 cm (3.6 in) diagonal landscape color VGA (640 x 480) LCD with backlight (selectable bright or auto)
Yazılım	SmartView®
Boyut	0.27 m x 0.13 m x 0.15 m (
Ağırlık	1.2 kg

3.6. Yoğunluk ölçümü

Yoğunluk ölçümleri sıkıştırma sonrası silo üst yüzeyinde arka, orta ve ön yüzeye yakın yerden sağ-orta ve sol konum olmak üzere temel dokuz noktadan Ejkelkamp marka el penetrologer ile ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yoğunluk ölçümü

3.7. Besin madde içeriğinin belirlenmesi

Araştırmada silaj örneklerinde gerçekleştirilecek kimyasal analizler; pH, kuru madde (KM), ham protein (HP), suda çözünebilir karbonhidratlar (SÇK), organik asitler (asetik, laktik), NH₃-N (amonyağa bağlı nitrojen) olarak sıralamak mümkündür. Örneklerde pH tayini Anonim (1986) tarafından bildirilen yöntem doğrultusunda gerçekleştirilecektir. Tüm örneklerdeki ham besin madde analizleri (KM, HP,) Weende Analiz tekniği esasına göre yürütülecektir (Akyıldız, 1984). Örneklerde NH₃-N ve SÇK analizleri Anonim (1986) tarafından bildirilen metotlar doğrultusunda saptanacaktır. Silolama sonrası elde edilen örneklerde organik asit (laktik, asetik asit) spektrofotometrik metot (Anonim, 1986) kullanılacaktır.

3.8. Mikrobiyolojik analizler

Çalışmada değerlendirmeye tabi tutulacak mikroorganizma grupları için ekim ve inkübasyonda uygulanacak işlemlere ilişkin bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

-Maya ve Küfler

Ekim ortamı: Malt Ekstrakt Agar

İnkübasyon sıcaklığı: 30°C

İnkübasyon süresi: 5 gün (Seale ve ark., 1990).

3.9. Aerobik bozulmaya dirence ilişkin analizler

Silajların aerobik stabilite testlerinde 15 gün süre ile açıkta bırakılarak, kitledeki sıcaklık değişimlerinden hareketle (Chen vd. 1994) materyalin aerobik bozulmaya ilişkin direnci saptanmaya çalışılacaktır.

3.10. İstatistiksel analizler

Mısır silajında SPSS İstatistik Paket Programı kullanılarak penetrasyon (sıkışma) direnci ile yoğunluk arasındaki ilişkinin en uygun modeli saptanacaktır.

Ayrıca, silaj içinde oluşan farklı yoğunluklardaki bölgelerde sıcaklığın zamanla değişiminin önemli olup olmadığı ve bu değişimin sıkıştırma basıncıyla ilişkisi de regresyon analizi ile test edilecektir (Soysal,1993).

3.11. Denemelerin yürütülmesi

Silonun doldurulması, sıkıştırılması ve planlanması işlemlerinde herhangi müdahalede bulunulmamıştır. Silo içerisinde konuları önceden belirlenen noktalara materyalin konulması ile birlikte sensörlerin yerleştirme işlemleri yapılmıştır. Belirlenen noktalarda materyal dolumu yapıldığı zamanlarda sensör yerleşimi yapılmıştır. Silonun doldurulması arkadan başlayarak öne doğru yapılmıştır. Bu nedenle arkadan öne doğru sıra ile sensör yerleşimi yapılmıştır. Arka bölmenin alt, orta ve üst bölmeye ait sensörlerin yerleşimi tamamlandıktan sonra orta bölmenin alt, orta ve üst sensörleri yerleştirilmiştir. En son ön bölmeye ait sensörlerin yerleşimi olmuştur (Şekil 3.16).

Sensörlerin açıldıktan sonra da rahat bulunabilmesi amacıyla yığın içerisine bir file ile konulmuştur. Benzer noktalarda sıcaklık ölçümü yapılabilmesi için file içerisine sıcaklık

sensörü de konulmuştur (Şekil 3.17). Ölçüm filelerinin yığın içerisinde yerleştirilmesine ait resimler Şekil 3.18 de gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Silonun doldurulması



Şekil 3.17. Yığın içerisinde yerleştirilen filenin örneği



Şekil 3.18. Ölçüm kitinin yerleşimi



Şekil 3.19. Ölçümlerin alınması

Şekil 3.19' da ölçümlerin alınması, Şekil 3.21' de çalışma süresinde kayıtların alındığı ölçüm noktası görülmektedir. Silo içerisine yerleştirilen basınç toplarının, basınç sensörlerine bağlandığı ve bilgisayar tarafından silonun ortasına denk gelecek şekilde ayarlanmış ve ölçüm noktası merkez olarak belirlenmiştir. Ölçüm toplarının bağlı olduğu hidrolik hortumların kalibrasyonu yapılmıştır. Borular içerisine su konularak hidrolik iletim sağlanmıştır. Ölçümlerin kaydı sırasında her bir noktadan veri alımı kontrol edilmiştir. Ölçümler, sensörlere herhangi bir ağırlık kaydının iletimi olmadığı zamana kadar devam ettirilmiştir. Sıkıştırma sonrası yığının kendi ağırlığı ve fermantasyon süresince materyaldeki değişimler ile bir süre daha ölçümler devam etmiştir.



Şekil 3.20. Ölçüm kontrol ve kayıt noktası

Sıkıştırma işlemi; CAT 955 L tipi iş makinesi ile yapılmıştır. Sıkıştırma süresine ait resimler Şekil 3.21 de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Sıkıştırma işlemine ait resimler

Kıyılmış silajlık materyal silo duvarının arkasından öne doğru dökülmüştür. Sıkıştırma işlemi silonun arka duvarına yakın olan bölmesinden başlayarak öne doğru gelmiştir. Bu nedenle önce arka C1,C2,C3 ve B1,B2 ve B3 kodları yerleştirilmiştir. Sonra orta bölme C1, C2, C3 ve B1,B2 ve B3 yerleştirilmiştir. Ön

bölmeye ait C1,C2 ve C3 yerleşimi yapıldıktan sonra Arka bölmenin A1, A2 ve A3 orta bölmeye ait A1, A2 ve A3 ve ön bölmeye ait B1, B2 ve B3 kodlarının yerleşimi yapılmıştır.

Silolama işlemi iki gün süre ile devam etmiştir. Silonun sıkıştırılmasında bir adet iş makinesi kullanılmıştır. Makine dolum yapılmayan tüm zamanlarda etkin olarak sıkıştırma işlemine devam etmiştir. Genel dolum tamamlandıktan sonra üst yüzeyde toplam 4 saat tekrar ezme işlemine devam etmiştir.

Sıkıştırma işleminin tamamlanmasının ardından silonun üzeri silo örtüsü ile kapatılmıştır. Kontrol noktasındaki ölçüm seti ve bilgisayar silonun yanında bir ay süre ile ölçüm için bırakılmıştır.

Silo içerisine yerleştirilen fileler ise, silonun açılması ile birlikte sırasıyla ön bölmedekiler sonra orta bölme ve en son arka bölmedekiler alınmıştır.

Sıcaklık ölçümleri sensör kayıtlarından alınmış, ölçüm noktalarından alınan silaj örneklerinden ise besin madde analizleri yapılmıştır.

3.12. Ölçüm noktaları

Şekil 3.22' de silo içerisine yerleştirilen basınç ölçüm sensörlerinin kodlaması ve yerleşim noktaları gösterilmiştir. Silo 27 m x 7.5 m x 2.5 m ölçülerine sahiptir.

Silo içerisine materyal yerleşimi arkadan başladığı için silo arka duvarına yakın yerleştirilen sensörler A kodlamasına sahiptir. Orta bölmeye yerleştirilen B ve ön bölmede yer alan C grubu sensörler arasında 8 m mesafe bırakılarak yerleştirilmiştir.

Arka duvar ile mesafe;

Arka duvardan itibaren 1 metre mesafe ile yerleştirilmiştir.

Yan yüzeyde yerleşim;

A1(1,2,3) , A2 (1,2,3) ve A3 (1,2,3) sensörleri arası 2.75 metre mesafe ile ortalanmıştır. Her iki yan duvarlar ile sensörler arası 1 metre mesafe bırakılmıştır.

Yükseklik;

1 (üst): Tabandan yüksekliği 2 metre

2 (orta) : Tabandan yüksekliği 1,5 metre

3 (alt): Tabandan yüksekliği 1 metre

Tüm sensör yerleşim ölçüleri orta ve ön bölme içinde benzer şekilde uygulanmıştır.

Arka

A1, A2, A3

Orta

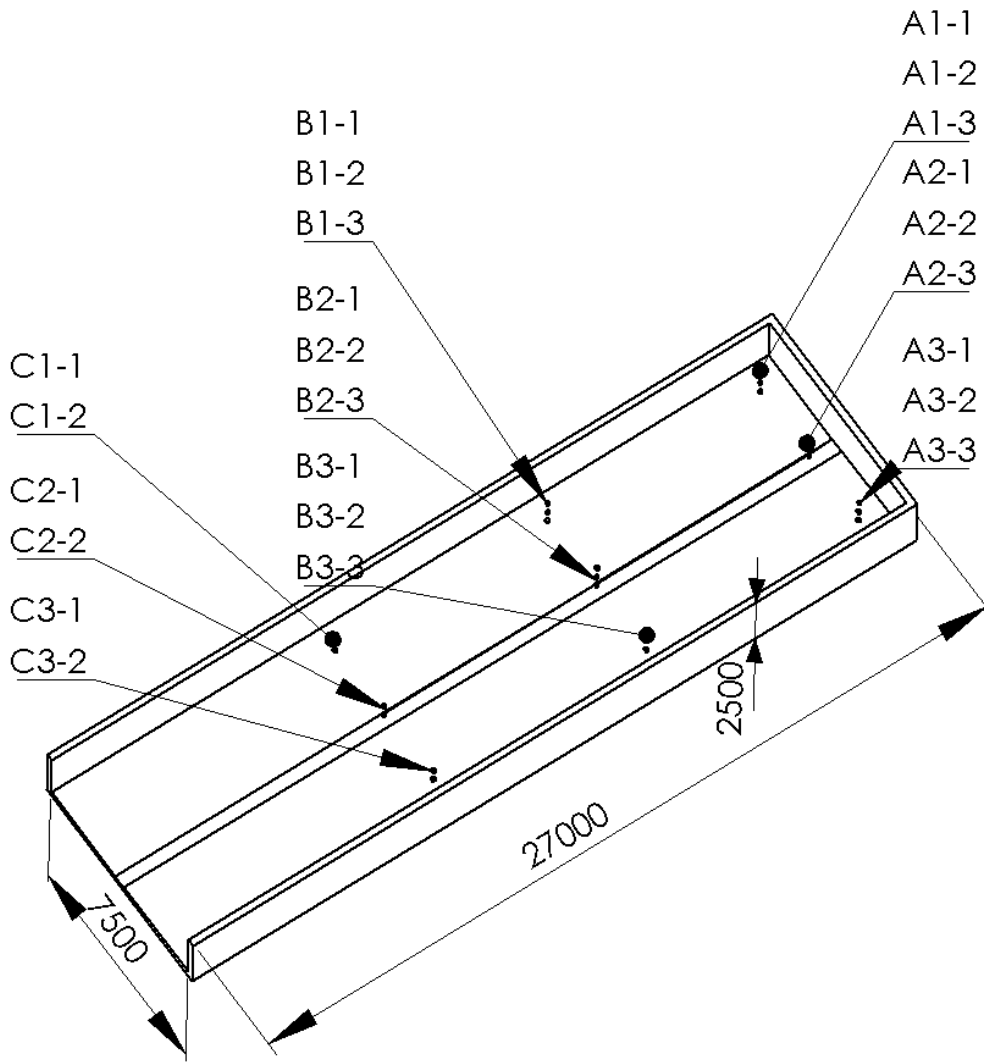
B1, B2, B3

Ön

C1, C2, C3

KODLAMA

Sağ	orta	sol
A1	A2	A3
A1-1	A2-1	A3-1 (Üst katman)
A1-2	A2-2	A3-2 (Orta katman)
A1-3	A2-3	A3-3 (Alt katman)
B1	B2	B3
B1-1	B2-1	B3-1
B1-2	B2-2	B3-2
B1-3	B2-3	B3-3
C1	C2	C3
C1-1	C2-1	C3-1
C1-2	C2-2	C3-2
C1-3	C2-3	C3-3



Şekil 3.22. Sensör yerleşiminin şematik görünümü

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Silajlık mısır bitkisi % 25 kuru madde de 19.10.2014 tarihinde sıra bağımsız kendi yürür tip silaj makinesi ile hasat edilmiştir.

4.1. Açım sonrası besin madde analizi

Silo açıldıktan sonra ilk olarak silonun ön bölgesine yerleştirilmiş olan ölçüm noktalarına ulaşılmıştır. Bu bölgelerden alınan örneklerle sıra ile besin madde analizi yapılmıştır. Ölçüm noktalarındaki kodlamalar esas alınarak o bölgelere ilişkin silaj materyalinin besin madde analizleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Belirlenen ölçüm noktalarında örneklere ilişkin besin madde analizi

	Ölçüm Noktası	KM	PH	NH ₃ -N	LA	SÇK	Maya	Küf
İLK AÇIM	C1-1	26,33	3,27	0,08	14,00	122,30	1,65	0
	C1-2	25,54	3,29	0,08	14,14	122,40	1,60	0
	C2-1	26,33	3,16	0,44	14,70	109,41	1,60	0
	C2-2	25,54	3,16	0,47	14,80	109,00	1,69	0
	C3-1	25,54	3,28	0,16	14,10	104,24	1,77	0
	C3-2	26,93	3,25	0,15	14,24	104,00	1,60	0
İKİNCİ AÇIM	B1-1	26,23	3,70	0,06	13,30	104,18	1,65	0
	B1-2	25,54	3,86	0,07	13,24	104,60	1,77	0
	B1-3	26,30	3,88	0,16	13,12	104,10	1,60	0
	B2-1	26,33	3,67	0,14	13,96	115,19	1,54	0
	B2-2	25,54	3,69	0,14	13,87	115,39	1,40	0
	B2-3	25,70	3,90	0,23	13,23	115,10	4,15	0
	B3-1	23,44	3,71	0,41	13,32	107,00	1,60	1,81
	B3-2	24,24	3,67	0,38	13,12	107,12	1,47	1,80
	B3-3	24,76	3,82	0,46	13,10	106,82	1,40	0
ÜÇÜNCÜ AÇIM	A1-1	21,65	3,68	0,50	14,50	48,80	1,69	0
	A1-2	21,65	3,77	0,49	13,50	48,84	1,77	0
	A1-3	23,40	4,01	0,55	13,20	60,20	1,85	0
	A2-1	20,07	3,67	0,16	12,80	122,2	1,75	0
	A2-2	21,69	3,69	0,16	12,76	122,5	1,95	0
	A2-3	23,51	3,94	0,36	12,30	122,0	1,90	0
	A3-1	23,44	3,86	0,66	9,00	107,03	1,60	0
	A3-2	24,44	3,71	0,65	7,00	107,09	1,90	0
	A3-3	24,87	3,87	0,60	7,20	106,65	1,90	0

Siloya getirilen kıyılmış materyallerin kuru madde içeriklerinde çok büyük değişkenlik görülmemekle birlikte siloya ilk getirilen materyallerin kuru madde içeriğinin çok daha düşük olduğu görülmektedir. Siloya yerleştirme ve dolun aşamaları A bölgesi yani silonun arka duvarından başlamıştır. Arka sağ bölme ve orta noktaya benzer içerikte materyal gelmiştir. Bu farklılık silajlık mısır bitkisinin üç ayrı tarladan alınmasının etkisidir. Çizelge 4.2 de bölgelere göre kuru maddenin değişimi görülmektedir.

Çizelge 4.2. Bölgelere göre besin madde değerlerinin analiz sonuçları

Bölge	KM	PH	NH ₃ -N	LA	SÇK	Maya	Küf
A	22,15±1,54 a	3,73±0,7 b	0,43±0,2	11,59±2,9 a	92,74±34,7	1,77±0,1 b	0,0±0,0
B	25,22±1,14 b	3,71±0,7 b	0,20±0,1	13,46±0,3 ab	108,9±5,08	1,57±0,1 a	0,6±0,9
C	26,03±0,58 b	3,23±0,1 a	0,23±0,2	14,3±0,3 c	111,8±8,4	1,65±0,0 ab	0,0±0,0
ORT.	24,47±2,03	3,56±0,2	0,28±0,2	13,1±1,9	104,51±21,3	1,66±0,1	0,2±0,6
Min.	20,07	3,16	0,06	7,00	48,80	1,40	0,0
Max.	26,93	3,86	0,66	14,80	122,50	1,95	1,81
F	18,59**	101,84**	2,801	4,01	1,46	4,91	2,50
	P>0.05	P>0.05	ns	P>0.05	ns	P>0.05	ns
Bölge	,800**	-,847**	-	,577*	-	-	-
Km	-	-,520*	-	-	-	-	-
PH	-,520*	-	-	-,501*	-	*	*
NH ₃ -N	*	*	*	-,526	*	*	*

ns: P<0.05 önemsiz

KM:Kuru madde,

PH: pH,

NH₃-N:

LA: Laktik asit,

SÇK: Suda çözülebilir karbonhidrat,

* Korelasyon 0.05 de önemli

** Korelasyon 0.01 de önemli.

4.2. Sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar

Silo içerisine sıcaklık sensörleri yerleştirilmiştir. Sıcaklık sensörleri her bölgede (A, B,C) alt-orta ve üst olmak üzere bir katmana yerleştirilmiştir.

4.2.1. Silo doldurma süresince sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar

Silonun doldurulması üç gün süre ile devam etmiştir. Çizelge 4.3'de silonun dolun günlerine ilişkin ortalama silo içi sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelge 4.4' de bölgelere göre sıcaklık değişimi analiz değerleri, Çizelge 4.5' de sağ, sol ve orta bölmeler arasındaki sıcaklık değişimi analiz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Silo yapım süresince silo içi sıcaklık ortalaması (°C)

	A			B			C		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Gün	Sağ	Orta	Sol	Sağ	Orta	Sol	Sağ	Orta	Sol
1	20,20	19,80	19,73	19,96	19,79	19,74	25,01	25,01	24,85
2	17,33	16,96	16,99	20,81	20,06	20,54	29,85	29,85	29,98
3	19,60	17,54	16,63	27,54	26,66	27,13	33,54	32,15	33,17
Ort.	19,04	18,10	17,78	22,77	22,17	22,47	29,46	29,00	29,33
Bölge	18,30			22,47			29,26		

Bölgelere göre sıcaklık değerlerini incelediğimizde en yüksek sıcaklık derecelerinin 29,26 °C ile silonun ön bölgesinde (C) olduğu görülmektedir. Silonun orta bölgesinde (B) 22,47 °C ile daha düşük, arka bölme (A) de ise 18,57 °C ile en düşük değerler ölçülmüştür. Bölgelere göre sıcaklık değerleri $P>0.05$ önemli bulunmuştur. A , B ve C bölgesi istatistiki olarak farklı bir grup içinde olmuştur. silo yapımı aşamasında silo içerisinde sıcaklık bölgelere göre değişmektedir.

Çizelge 4.4. Bölgelere göre sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
A	18,30 a	1,44	0,83	16,63	20,20
B	22,47 b	4,03	2,32	19,74	27,54
C	29,26 c	4,04	2,33	24,85	33,54
Ort.	23,34	5,62	1,87	16,63	33,54
F**=30,84					

$P>0.05$ önemli

Çizelge 4.5. Sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
Orta	23,76 ^{ns}	5,51	1,83	17,33	33,54
Sol	23,09 ^{ns}	5,52	1,83	16,96	32,15
Sağ	23,19 ^{ns}	5,87	1,95	16,63	33,17
Ort.	23,35	5,42	1,04	16,63	33,54
F=0,37					

ns: $P<0.05$ önemsiz

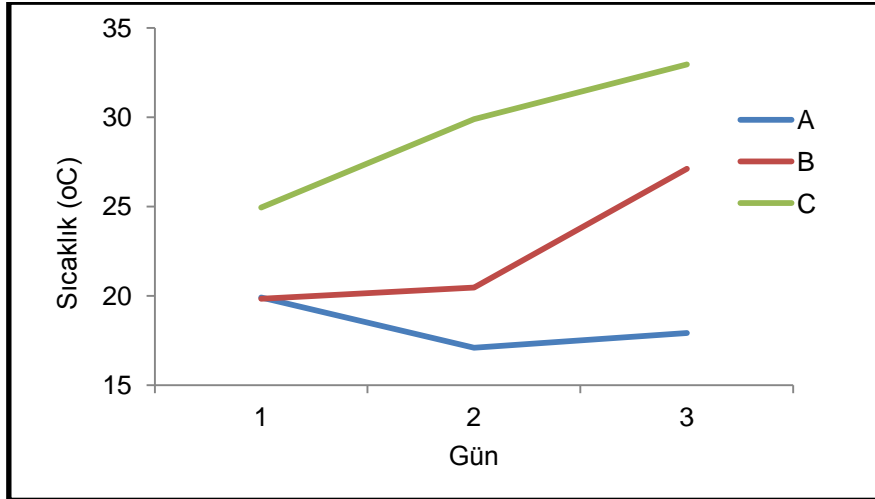
Siloda sağ, orta ve sol duvar kenarındaki sıcaklık ölçümleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Silonun sağ duvarına yakın sensörler sağ, orta bölmede yer alan sensörle orta ve sol duvara yakın konumda yerleştirilmiş olan sol noktadaki sensör kayıtları incelendiğinde; en yüksek sıcaklık değerlerinin her üç bölmede de sağ duvar kenarına yakın olan sensörlerde ölçüldüğü görülmektedir. A bölgesinde 19,04 °C, B bölgesinde 22,77 °C ve C bölgesinde 29,46 °C dir. B ve C bölgesinde en düşük sıcaklık değeri orta konumdaki sensörlerde (22,17 °C -29,00 °C) ölçülmüştür. A bölgesinde ise en düşük sıcaklık sol taraftaki sensörde olmuştur.

Katman olarak sıcaklık değerlerini incelediğimizde alt katmanın her zaman en yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Silo yüzeyine en yakın katmanda ise en düşük sıcaklık değerleri görülmüştür. Silonun üst yüzeyinden alta doğru inildikçe sıcaklığın artış gösterdiği saptanmıştır.

Silonun dolun günlerine göre sıcaklıklarını incelediğimizde sıcaklıkların ilerleyen gün ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Bu silo içerisinde fermantasyon olayının başladığının da bir göstergesidir. A bölgesinde üst yüzeyde sıcaklığın yüksek olması önce bu bölgenin doldurulması ve gün sıcaklık ortalamasının yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

Siloda ön bölgeden arka bölgeye doğru gidildikçe sıcaklık azalmaktadır. Silonun ön bölgesinde sıcaklık daha yüksek olmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Silo yapım süresince A,B ve C bölgelerinde sıcaklık değişimi

Silonun üst yüzeyinden alta doğru gidildikçe sıcaklık artış göstermektedir. Silo üst yüzeyinde sıcaklık daha düşük, silonun altında ürün sıcaklığı daha yüksek olmaktadır. B ve C bölgelerinde Sıcaklık önce azalma sonra artma eğilimindedir. C bölgesinde sürekli sıcaklık artışı tespit edilmiştir.

Silonun sağ konumunun sıcaklık değerinin orta ve sol konuma göre yüksek olmasının nedeni ya o bölgenin daha fazla sıkıştırılmasından ya da güneşi direk olarak gören kenar olmasından kaynaklanabilir.

4.2.2. Silo doldurma sonrası fermantasyon süresince sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar

Silonun kapatılması ile sıcaklıklar yükselmiştir. A bölgesinde 18,57 °C den 21,76 °C' ye, B bölgesinde 22,47 °C' den 28,86 °C' ye ve C bölgesinde 29,26 °C'den 33,54 °C' ye yükselmiştir. Çizelge 4.6' da silo dolum sonrası fermantasyon süresince ölçülen ortalama silo içi sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6. silo dolum sonrası fermantasyon süresince ölçülen ortalama silo içi sıcaklık değerleri (°C)

Gün	A			B			C		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	Sağ	Orta	Sol	Sağ	Orta	Sol	Sağ	Orta	Sol
1	21,76	19,84	18,76	28,86	28,02	28,78	33,54	33,54	34,47
2	22,97	21,47	20,81	28,98	28,55	29,18	33,92	33,92	34,9
3	23,67	22,39	22,11	28,95	28,51	29,15	33,95	33,95	35,04
4	24,4	23,32	23,53	28,84	28,39	29,07	33,9	33,9	35,11
5	25,15	24,2	24,53	28,75	28,22	29,03	33,79	33,8	35,18
6	25,69	24,83	24,98	28,67	28,19	28,93	33,74	33,74	35,61
7	26,05	25,26	25,2	28,57	28,13	28,81	33,74	33,74	35,95
8	26,26	25,51	25,32	28,47	28,04	28,66	33,78	33,78	35,92
9	26,39	25,65	25,39	28,36	27,93	28,51	33,94	33,95	35,76
10	26,45	25,7	25,42	28,24	27,82	28,35	34,14	34,14	35,6
11	26,48	25,71	25,42	28,13	27,71	28,18	34,4	34,4	35,54
12	26,48	25,71	25,42	28,04	27,6	28,02	34,6	34,61	35,56
13	26,43	25,7	25,41	27,96	27,49	27,9	34,69	34,69	35,65
14	26,39	25,7	25,33	27,87	27,39	27,75	34,69	34,69	35,74
15	26,39	25,7	25,32	27,8	27,3	27,61	34,57	34,57	35,67
16	26,39	25,7	25,32	27,76	27,22	27,48	34,43	34,43	35,54
17	26,37	25,7	25,26	27,69	27,14	27,34	34,33	34,33	35,33
18	26,3	25,65	25,22	27,66	27,07	27,21	34,26	34,26	35,07
19	26,29	25,61	25,2	27,66	26,97	27,09	34,18	34,18	34,79
20	26,29	25,61	25,12	27,66	26,92	26,95	34,15	34,15	34,5
21	26,29	25,57	25,12	27,66	26,86	26,84	34,06	34,06	34,21
22	26,29	25,51	25,04	27,66	26,78	26,72	33,97	33,97	33,91
23	26,29	25,51	24,99	27,66	26,73	26,62	33,87	33,87	33,61
24	26,29	25,45	24,93	27,66	26,68	26,51	33,72	33,72	33,32
25	26,23	25,41	24,92	27,69	26,6	26,41	33,58	33,59	32,03
ORT	25,75	24,89	24,56	28,13	27,53	27,88	34,07	34,07	34,96
	25,06			27,84			34,36		

Bölgelere bakıldığında en yüksek sıcaklık silonun C bölgesinde, bunu takip eden sıcaklık değeri B bölgesinde, en düşük sıcaklık değeri A bölgesinde saptanmıştır. Çizelge 4.7' de bölgelere göre sıcaklık değişimi analiz değerleri, Çizelge 4.8' de sağ, sol ve orta bölmeler arasındaki sıcaklık değişimi analiz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bölgelere göre fermantasyon süresince sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
A	25,06 a	1,46	0,29	20,12	25,87
B	27,84 b	0,67	0,13	26,90	28,90
C	34,36 c	0,47	0,09	33,06	35,04
Ort.	29,09	4,03	0,46	20,12	35,04
F**=608,98					

P>0.05 önemli

Fermantasyon süresince bölgelere göre ölçülen sıcaklık değerleri P>0.05 önemli bulunmuştur. A, B ve C bölgesi istatistiki olarak farklı bir grup içinde olmuştur. Toprak üstü beton silolarda sıcaklık değişiminin bölgelere göre farklı seyrettiği görülmektedir. Genel olarak sıcaklık silonun ön tarafından arka tarafa doğru gidildikçe azalmaktadır.

Bölgelere göre sıcaklık değerlerini incelediğimizde en yüksek sıcaklık derecelerinin 29,26 °C ile silonun ön bölgesinde (C) olduğu görülmektedir. Silonun orta bölmesinde (B) 22,47 °C ile daha düşük, arka bölme (A) de ise 18,57 °C ile en düşük değerler ölçülmüştür. A bölgesinde sıcaklık 6,49 °C artmış, B bölgesinde sıcaklık 5,37 °C, C bölgesine sıcaklık 5,1 °C artış göstermiştir. Sıcaklık artışı en fazla A bölgesinde olmuştur.

Çizelge 4.8. Fermantasyon süresince ortalama sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
Sağ	29,32 ^{ns}	3,60	0,41	21,76	34,69
Orta	28,83 ^{ns}	4,00	0,46	19,84	34,65
Sol	29,13 ^{ns}	4,52	0,52	18,76	35,95
Ort.	29,09	4,05	0,27	18,76	35,95
F=0,27					

ns: P<0.05 önemsiz

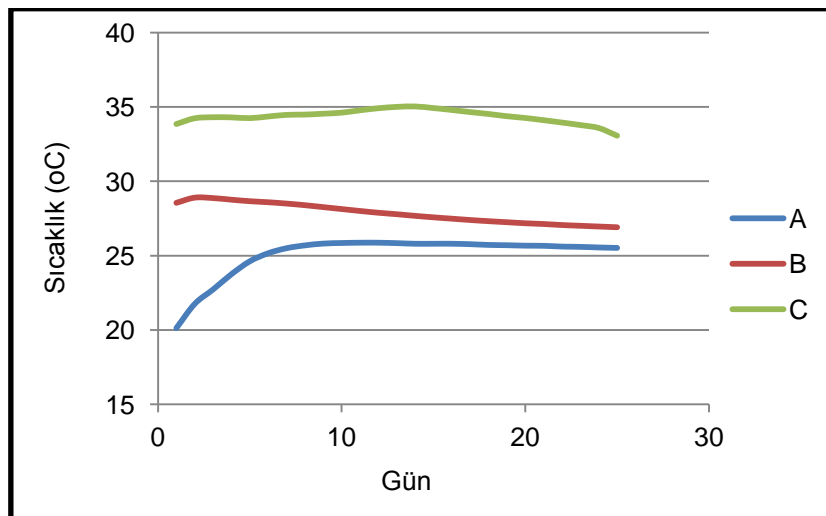
Sağ duvar kenarı, orta bölme ve sol duvar kenar boyunca ortalama sıcaklık değişimleri istatistiki olarak önemsiz (P<0.05) bulunmuştur. Çizelge 4.9' da sağ, sol ve orta bölmeler arasındaki her bir bölgede saptanan sıcaklık değişimi analiz değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Fermantasyon süresince bölgelere göre ortalama sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
SAG KENAR					
A	25,75 a	1,23	0,24	21,76	26,48
B	28,13 b	0,49	0,09	27,66	28,98
C	34,07 c	0,34	0,06	33,54	34,69
Ort.	29,32	3,60	0,41	21,76	34,69
ORTA					
A	24,89 a	1,53	0,30	19,84	25,71
B	27,53 b	0,62	0,12	26,60	28,55
C	34,07 c	0,34	0,06	33,54	34,69
Ort.	28,83	4,00	0,46	19,84	34,69
SOL KENAR					
A	24,56 a	1,63	0,32	18,76	25,42
B	27,88 b	0,92	0,18	26,41	29,18
C	34,96 c	0,94	0,18	32,03	35,95
Ort.	29,13	4,52	0,52	18,76	35,95

Sağ, orta ve sol bölmede alınan sıcaklık ölçümleri bölgeler arasında değerlendirildiğinde her bölgede sağ, sol ve orta noktada sıcaklık ölçümlerinin istatistiki olarak ($P>0.05$) önemli olduğu bulunmuştur.

Silonun sağ duvarına yakın sensörler sağ, orta bölmede yer alan sensörle orta ve sol duvara yakın konumda yerleştirilmiş olan sol noktadaki sensör kayıtları incelendiğinde; sağ-orta ve sol kenardaki ölçümler arasında belirgin farklılıklar kaydedilmemiştir. A ve B bölgesinde en yüksek sıcaklıklar sağ duvar kenarına yakın ölçüm noktalarında bulunmuştur. C bölgesinde ise sol duvar kenarına yakın ölçüm noktalarında sıcaklık en yüksek olmuştur (Şekil 4.2).

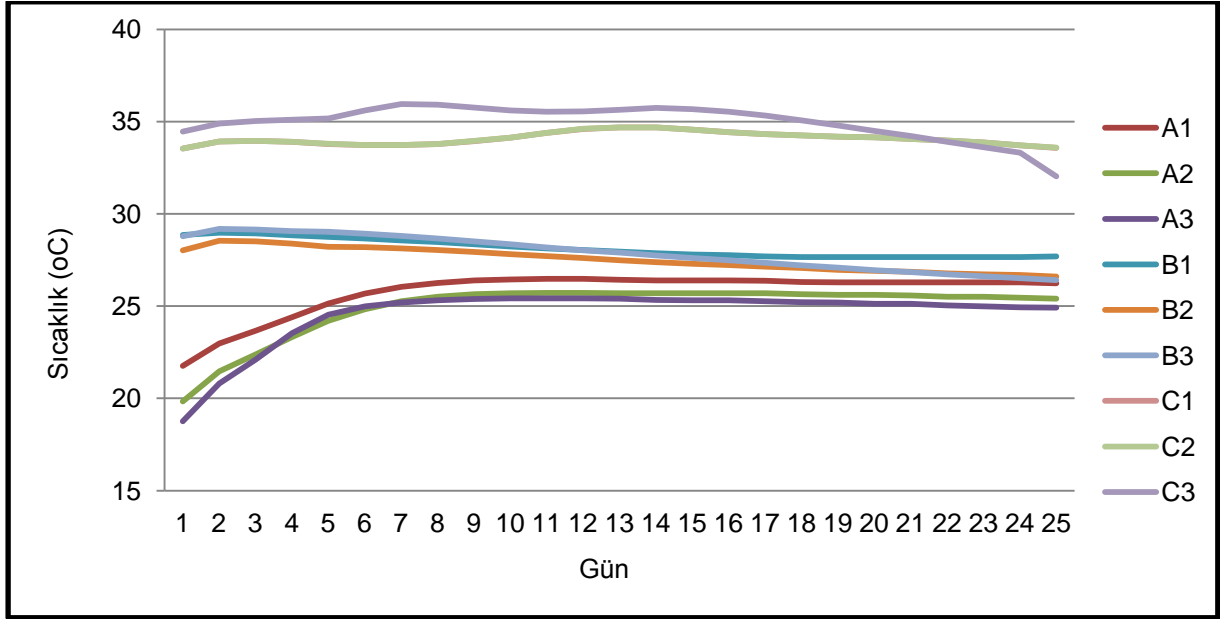


Şekil 4.2. Fermantasyon süresince bölgeler arası sıcaklık değişimi

Başlangıç sıcaklıkları farklı olmasına rağmen A ve B bölgesinde fermantasyon süresi ve sonunda benzer süreç sergilenmiştir. C bölgesi A ve B bölgesinden oldukça farklı ve yüksek sıcaklık değerleri göstermiştir.

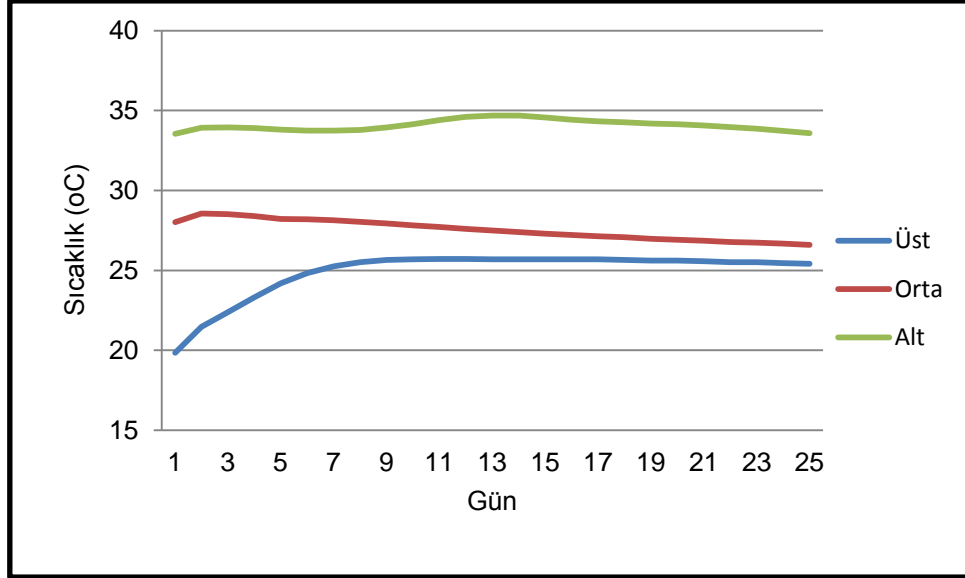
Silonun kapatılmasını takip eden fermantasyonun devam ettiği 25 günde A bölgesinde sıcaklık artışı 12 süre ile devam etmiş sonrasında azalmaya başlamıştır.

B bölgesinde de 12. günde sıcaklık azalmaya başlamıştır. C bölgesinde sıcaklık 15.günde azalmaya başlamıştır. Silonun A ve B bölgesi benzer durum gösterirken A bölgesinde fermantasyon daha uzun süre devam etmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Fermantasyon süresince A, B ve C bölgelerinde sıcaklık değişimi

Silonun üst yüzeyinden silo tabanına doğru ilerledikçe sıcaklığın arttığı görülmektedir. Silonun alt katında ürün sıcaklığı orta ve üst katmana göre daha sıcaktır. Siloda alt, orta ve üst katmanlarda ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.4' de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Fermantasyon süresince alt, orta ve üst katmanlarda sıcaklık değişimi

Yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa sırasıyla Alt> orta>üst katman olarak sıralanmaktadır. Alt tabakada sıcaklık artışı daha fazla olmuştur.

4.2.3. Fermantasyon sonrası sıcaklık ölçümüne ilişkin sonuçlar

Sıcaklık ölçümleri fermantasyon sonrası da takip edilmiştir. Beraberinde basınç değişimleri de devam etmiştir. Çizelge 4.10' da fermantasyon sonrası üç aylık periyotta ölçülen ortalama silo içi sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. silo dolum sonrası fermantasyon süresince ölçülen ortalama silo içi sıcaklık değerleri (°C)

	B2	B1	A3	A1	A2	B3	C2	C3	C1
1	26,73	27,66	24,99	26,29	25,51	26,62	33,87	33,61	33,87
2	26,68	27,66	24,93	26,29	25,45	26,51	33,72	33,32	33,72
3	26,60	27,69	24,91	26,29	25,41	26,41	33,59	32,03	33,58
4	26,58	27,76	24,83	26,23	25,35	26,32	33,43	32,71	33,43
5	26,49	27,76	24,82	26,19	25,31	26,24	33,27	32,35	33,27
6	26,48	27,76	24,73	26,19	25,27	26,16	33,1	31,95	33,11
7	26,39	27,84	24,73	26,19	25,22	26,09	32,95	31,6	32,95
8	26,93	27,86	24,64	26,19	25,16	26,01	32,78	31,32	32,78
9	26,30	27,91	24,63	26,19	25,12	25,96	32,63	31,05	32,63
10	26,29	27,99	24,55	26,19	25,05	25,9	32,45	30,76	32,45
11	26,22	28,06	24,54	26,19	24,97	25,82	32,33	30,52	32,32
12	26,19	28,06	24,46	26,19	24,93	25,79	32,22	30,3	32,22
13	26,14	28,06	24,44	26,10	24,89	25,71	32,07	30,09	32,07
14	26,09	28,15	24,36	26,09	24,83	25,67	31,91	29,9	31,91
15	26,08	28,15	24,34	26,09	24,78	25,61	31,73	29,66	31,73

16	26,00	28,15	24,25	26,01	24,73	25,57	31,55	29,44	31,55
17	26,00	28,15	24,20	26,00	24,68	25,51	31,37	29,26	31,37
18	25,93	28,15	24,14	26,00	24,64	25,49	31,19	29,07	31,19
19	25,90	28,16	24,05	25,93	24,57	25,41	31,00	28,89	31,00
20	25,88	28,15	23,96	25,90	24,54	25,41	30,80	28,67	30,80
21	25,80	28,15	23,86	25,83	24,46	25,32	30,58	28,43	30,58
22	25,80	28,15	23,76	25,80	24,44	25,32	30,38	28,21	30,38
23	25,75	28,15	23,65	25,71	24,35	25,24	30,20	27,99	30,20
24	25,70	28,15	23,55	25,67	24,34	25,22	30,04	27,72	30,04
25	25,70	28,08	23,43	25,61	24,25	25,18	29,84	27,40	29,84
26	25,61	28,06	23,33	25,52	24,22	25,12	29,66	27,11	29,66
27	25,61	28,06	23,23	25,50	24,15	25,11	29,46	26,86	29,46
28	25,56	28,00	23,11	25,42	24,12	25,03	29,28	26,65	29,28
29	25,51	27,96	22,98	25,39	24,06	24,96	29,22	26,51	29,22
30	25,50	27,95	22,88	25,31	24,03	24,93	29,08	26,37	29,08
31	25,42	27,86	22,78	25,23	23,95	24,90	28,90	26,26	28,90
32	25,41	27,84	22,67	25,17	23,86	24,83	28,72	26,14	28,72
33	25,33	27,76	22,58	25,12	23,76	24,82	28,60	26,03	28,60
34	25,31	27,71	22,47	25,03	23,58	24,74	28,45	25,92	28,44
35	25,22	27,66	22,38	27,93	23,62	24,73	28,27	25,8	28,27
36	25,22	27,57	22,28	24,87	23,45	24,65	28,08	25,68	28,08
37	25,14	27,50	22,19	24,83	23,33	24,64	27,76	25,56	27,90
38	25,12	27,46	22,10	24,75	23,25	24,56	27,76	25,43	27,76
39	25,07	27,32	22,01	24,71	23,20	24,54	27,63	25,26	27,63
40	25,02	27,32	21,91	24,64	23,20	24,46	27,47	25,13	27,47
41	24,94	27,25	21,82	24,55	23,29	24,43	27,29	24,96	27,29
42	24,93	27,17	21,73	24,49	23,18	24,35	27,12	24,85	27,12
43	24,88	27,08	21,65	24,42	23,15	24,28	26,87	24,71	26,94
44	24,83	27,02	21,56	24,34	23,14	24,22	26,68	24,58	26,78
45	24,82	26,95	21,47	24,25	23,14	24,15	26,63	24,43	26,63
46	24,74	26,87	21,39	24,19	23,12	24,06	26,47	24,30	26,47
47	24,73	26,79	21,31	24,14	23,10	23,98	26,33	24,18	26,33
48	24,66	26,75	21,23	24,06	23,08	23,88	26,18	24,05	26,18
49	24,64	26,68	21,16	24,06	23,06	23,79	26,08	23,92	26,08
50	24,59	26,65	21,07	23,98	23,04	23,70	25,95	23,78	25,95
51	24,54	26,58	20,99	23,96	22,96	23,59	25,82	23,65	25,81
52	24,51	26,51	20,90	23,96	22,95	23,47	25,67	23,53	25,67
53	24,44	26,45	20,83	23,95	22,90	23,36	25,55	23,43	25,55
54	24,43	26,39	20,76	23,87	22,89	23,25	25,43	23,32	25,43
55	24,35	26,30	20,69	23,87	22,86	23,13	25,30	23,22	25,30
56	24,35	26,25	20,59	23,86	22,84	22,98	25,18	23,11	25,17
57	24,28	26,17	20,49	23,85	22,82	22,84	25,04	23,00	25,04
58	24,25	26,07	20,41	23,77	22,78	22,67	24,90	22,88	24,91
59	24,22	25,97	20,32	23,71	22,77	22,51	24,78	22,77	24,78

60	24,15	25,86	20,21	23,67	22,74	22,35	24,67	22,64	24,67
61	24,15	25,75	20,11	23,54	22,67	22,18	24,54	22,44	24,53
62	24,07	25,65	20,00	23,40	22,56	22,00	24,41	22,16	24,41
63	24,06	25,54	19,89	23,23	22,45	21,82	24,29	21,87	24,29
64	24,01	25,42	19,79	23,02	22,20	21,64	24,14	21,56	24,14
65	23,96	25,28	19,68	22,80	21,80	21,45	23,96	21,24	23,96
66	23,93	25,17	19,58	22,55	21,75	21,27	23,76	20,94	23,76
67	23,86	25,02	19,46	22,31	21,69	21,09	23,64	20,62	23,64
68	23,84	24,89	19,34	22,08	21,57	20,92	23,54	20,27	23,54
69	23,77	24,77	19,23	21,86	21,41	20,75	23,44	19,93	23,43
70	23,74	24,66	19,12	21,66	21,33	20,58	23,33	19,62	23,33
71	23,67	24,55	19,04	21,48	20,80	20,42	23,22	19,35	23,21
72	23,64	24,44	18,87	21,32	20,87	20,27	23,08	19,08	23,08
73	23,58	24,34	18,77	21,15	20,67	20,12	22,96	18,85	22,96
74	23,52	24,25	18,67	21,01	20,58	19,99	22,84	18,64	22,84
75	23,48	24,16	18,58	20,86	20,42	19,87	22,71	18,46	22,71
76	23,42	24,06	18,48	20,74	20,02	19,74	22,59	18,24	21,59
77	23,38	23,97	18,39	20,61	19,50	19,63	22,46	17,95	22,46
78	23,31	23,88	18,32	20,49	19,45	19,53	22,36	17,62	22,36
79	23,29	23,78	18,23	20,37	19,20	19,43	22,17	17,34	22,17
80	23,20	23,69	18,15	20,25	19,00	19,35	21,99	17,16	21,99
81	23,18	23,60	18,11	20,13	19,00	19,26	21,88	17,02	21,88
82	23,10	23,52	18,04	20,03	18,98	19,18	21,78	16,90	21,78
83	23,06	23,39	17,99	19,87	18,93	19,07	21,68	16,67	21,68
84	23,00	23,26	17,95	19,69	18,90	18,92	21,49	16,34	21,49
85	22,92	23,18	17,86	19,54	18,86	18,77	21,31	16,08	21,31
86	22,98	23,10	17,83	19,43	18,82	18,66	21,19	15,94	21,19
87	22,82	23,00	17,76	19,32	18,74	18,56	21,10	15,82	21,1
88	22,80	22,92	17,70	19,21	18,65	18,47	21,04	15,76	21,04
89	22,71	22,83	17,66	19,11	18,57	18,4	20,92	15,71	20,92
90	22,68	22,74	17,59	19,02	18,46	18,33	20,81	15,66	20,81
91	22,62	22,66	17,57	18,93	18,33	18,25	20,67	15,66	20,67
92	22,56	22,56	17,57	18,82	18,24	18,19	20,59	15,66	20,58
93	22,52	22,49	17,57	18,75	18,21	18,14	20,52	15,64	20,51
94	22,44	22,42	17,57	18,68	18,18	18,08	20,46	15,57	20,46
95	22,41	22,34	17,52	18,60	18,10	18,04	20,42	15,51	20,42
96	22,33	22,28	17,47	18,50	18,03	17,96	20,36	15,41	20,36
97	22,30	22,23	17,41	18,40	17,88	17,92	20,32	15,29	20,32
98	22,23	22,14	17,37	18,29	17,87	17,85	20,24	15,15	20,24
99	22,19	22,09	17,32	18,19	17,62	17,78	20,19	15,03	20,19
10	22,14	22,04	17,24	18,07	17,54	17,7	20,13	14,88	20,13
101	22,08	21,95	17,20	17,94	17,46	17,62	20,04	14,75	20,04
102	22,04	21,86	17,13	17,81	17,58	17,55	19,96	14,59	19,96
103	21,96	21,80	17,06	17,70	17,44	17,47	19,9	14,45	19,9

104	21,95	21,72	16,99	17,57	17,30	17,37	19,82	14,30	19,80
105	21,85	21,64	16,90	17,44	17,23	17,28	19,74	14,17	19,74
106	21,85	21,56	16,84	17,33	17,10	17,20	19,66	14,08	19,66
ORT	24,38	25,72	20,80	22,95	21,98	22,37	25,91	22,80	25,90

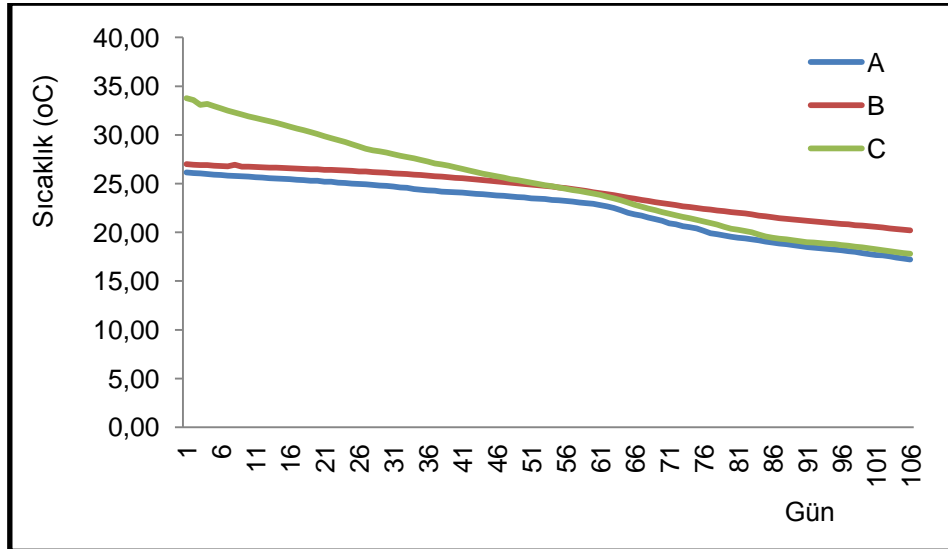
Fermantasyon sonrası 106 gün süre ile yapılan ölçümlerde bölgeler arası farklılıklar Çizelge 4.11' de verilmiştir. Silo içi sıcaklık yine benzer şekilde değişmekle birlikte fermantasyon sonrası sıcaklık değerleri bölgeler arasında daha yakın değerlerde olmuştur. Sıcaklık genel olarak en yüksek silonun ön bölgesinde, sonra orta bölgede en düşük sıcaklık ise arka duvara yakın olan bölgede saptanmıştır.

Çizelge 4.11. Bölgelere göre fermantasyon süresince sıcaklık değerlerinin analiz sonuçları

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
A	22,43 a	2,84	0,27	17,21	26,14
B	24,16 b	2,21	0,21	20,21	27,01
C	24,87 b	4,75	0,46	17,80	33,78
Ort.	23,82	3,58	0,20	17,21	33,78
F**=14,05					

P>0.05 önemli

Fermantasyon sonrası ölçülen silo içi sıcaklık değerleri bölgeler arasında istatistiki açıdan (P>0.05) önemli bulunmuştur. A bölgesinde silo içi sıcaklık A bölgesinde en düşük seyrederken B ve C bölgesinde benzer şekilde seyretmiştir. Şekil 4.5 de fermantasyon sonrası bölgeler arası sıcaklık değişimi verilmiştir.



Şekil 4.5. Fermantasyon sonrası bölgeler arası sıcaklık değişimi

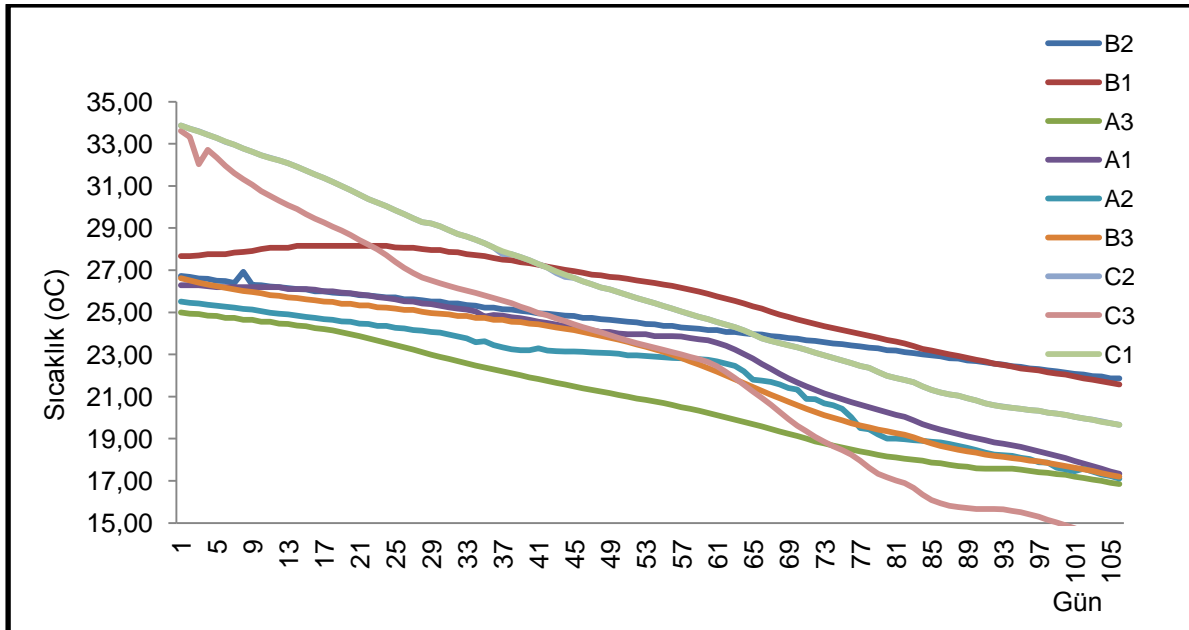
B ve C bölgesinde sıcaklık benzer seyrederken B bölgesinde sıcaklık ikinci aydan sonra yükselme göstermiştir. C bölgesi başlangıçta B ve A bölgesinden daha yüksek sıcaklığa sahip iken iki aylık süre sonrasında A bölgesi ile benzer sıcaklığa gelmiştir.

Fermantasyon sonrasında sağ, orta ve sol kenardaki ölçüm noktalarının bölgeler arası farklılıklar incelenerek Çizelge 4.12'de verilmiştir.

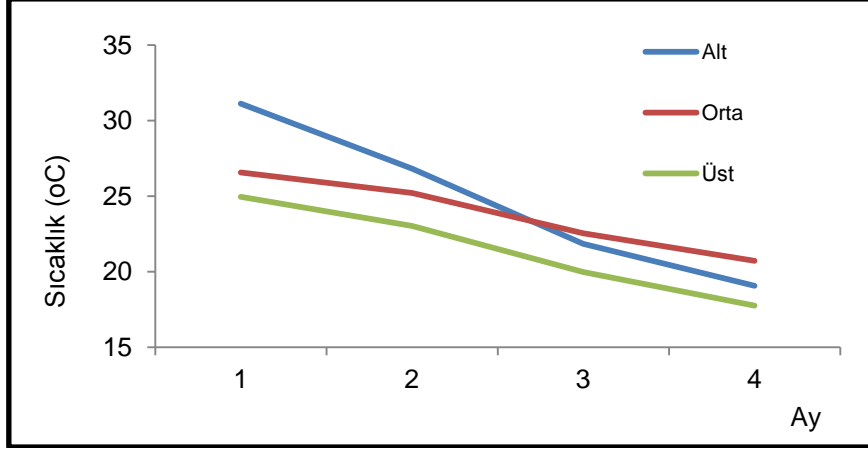
Çizelge 4.12. Fermantasyon süresince ortalama sağ, sol ve orta bölgeler arası sıcaklık değişimi analizi

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
SAG KENAR					
A	22,95 a	2,91	0,28	17,34	27,94
B	25,72 b	2,21	0,21	21,57	28,16
C	25,90 b	4,33	0,42	19,66	33,87
Ort.	24,86	3,53	0,19	17,34	33,87
ORTA					
A	21,98 a	2,61	0,25	17,10	25,51
B	24,38 b	1,41	0,13	21,86	26,93
C	25,91 c	4,32	0,41	19,66	33,87
Ort.	24,09	3,42	0,19	17,10	33,87
SOL KENAR					
A	20,80 a	2,63	0,25	16,84	24,99
B	22,37 b	3,03	0,29	17,20	26,62
C	22,80 b	5,62	0,54	14,08	33,61
Ort.	21,99	4,06	0,22	14,08	33,61

Sıcaklık değeri ortalaması en yüksek sağ kenar ölçülmüştür. Bunu orta ve sol duvar kenarındaki ölçümler izlemiştir. Sağ, orta ve sol bölmede alınan sıcaklık ölçümleri bölgeler arasında değerlendirildiğinde her bölgede sağ, sol ve orta noktada sıcaklık ölçümlerinin istatistik olarak ($P>0.05$) önemli olduğu bulunmuştur. Şekil 4.6'da fermantasyon sonrası ölçüm noktalarında üç ay süre ile alınan sıcaklık değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 4.6. Fermantasyon sonrası sıcaklık değişimi



Şekil 4.7. Fermantasyon sonrası silo içerisinde alt, orta ve üst katmanlar arası sıcaklık değişimi

Şekil 4.7. den de görüldüğü gibi başlangıçta alt ve üst katman arası $6,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkı bulunmaktadır. alt ve üst katmanlar arası sıcaklık farkı dört ay sonrasında $3,27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmüştür.

4.3. Basınç ölçümüne ilişkin sonuçlar

Toprak üstü beton siloda kıyılmış mısır CAT 955 L tipi iş makinesi kullanılarak sıkıştırılmıştır. Silonun başından sonuna kadar sıkıştırma işlemi tek bir iş makinesi kullanılarak yapılmıştır. Silonun doldurulup sıkıştırılması işlemi üç gün süre ile devam etmiştir.

Sıkıştırmada kullanılan iş makinesinin toplam ağırlığı 13.7' ton dur. İş makinesi palet iz genişlikleri 432 mm, yer ile temas eden palet uzunluğu 2355 mm' dir. Paletlerin ikisinin toplam yüzey alanı 2,03 m² (Tek palet 1.017 m²) olmaktadır.

İş makinesinin m² ye olan ağırlığı 6748 kg, cm²'ye 0,67 bar, 67,48 Kpa m²'ye basınç etki ettirmektedir.

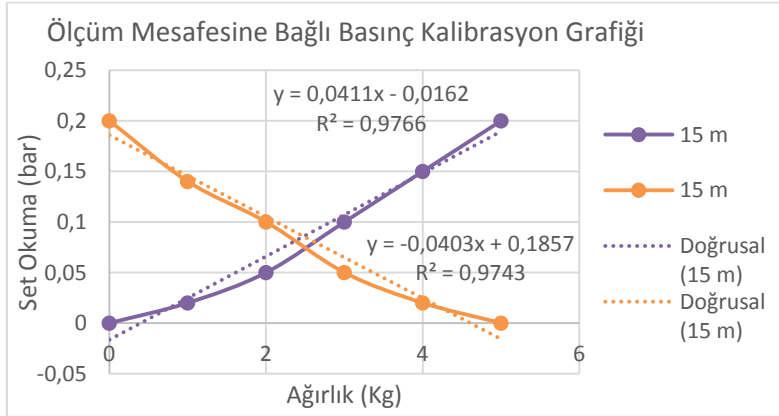
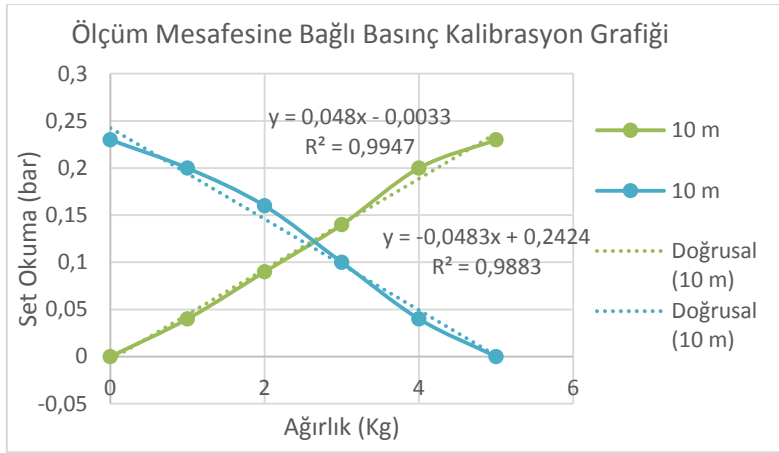
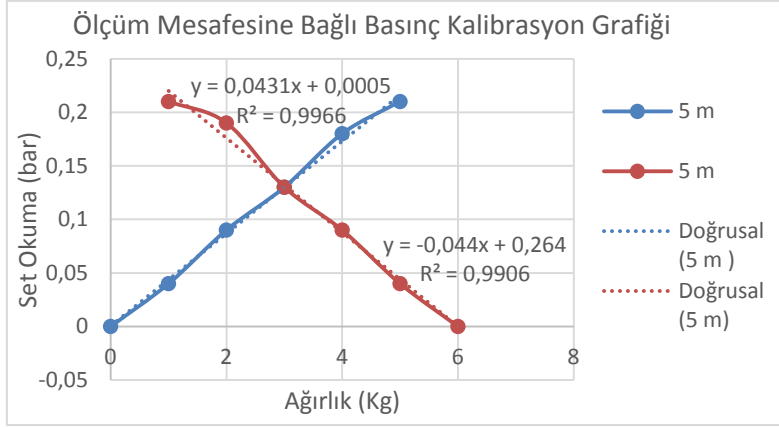
4.3.1. Bilgisayar Destekli Ölçüm Setinin Kalibrasyon Değerleri

4.3.1.1. Değişken Yüklenme (Hysteresis) Değerleri

Ölçüm setinde kullanılan basınç sensörleri silaj havuzu içerisindeki basınçları ölçerken sürekli olarak değişken kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır. Bu kuvvetler silaj havuzu içerisindeki silaj materyalinin sıkıştırması için kullanılan dozer yada traktörü etkisiyle oluşmaktadır. Sistemde kullanılan ölçüm topları üzerindeki yükler buradan basınç sensörlerine iletilmektedir. Yüklenme ve geri yüklenme şeklinde tanımlanan değişken yüklenmelerin her bir basınç sensörü üzerindeki etkileri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.8'de açıklanmıştır.

Çizelge 4.13. Basınç sensörleri değişken yüklenme değerleri, (Kg)

Ağırlık (Kg)	Sensör ölçüm mesafeleri (m)			Sensör ölçüm mesafeleri (m)		
	5 m	10 m	15 m	5 m	10 m	15 m
	Sensörden Okunan Yükleme Değeri (bar)			Sensörden Okunan Geri Yükleme Değeri (bar)		
0	0	0	0	0,21	0,23	0,2
1	0,04	0,04	0,02	0,19	0,2	0,14
2	0,09	0,09	0,05	0,13	0,16	0,1
3	0,13	0,14	0,1	0,09	0,1	0,05
4	0,18	0,2	0,15	0,04	0,04	0,02
5	0,21	0,23	0,2	0	0	0



Şekil 4.8. Basınç sensörlerinin mesafeye (5, 10 ve 15 m) bağlı kalibrasyon grafikleri

Çizelge 4.13 ve Şekil 4.8 incelendiğinde prototip ölçüm setinde kullanılan basınç sensörlerinin mesafeye bağlı olarak yüklenme koşulları ile geri yüklenme koşullarındaki ağırlık etkisinin yaklaşık aynı değerlerde olduğu, her üç mesafede de yüklenme ve geri yüklemeye ait regresyon eşitlikleri iyilik derecelerinin $R^2 = 0.97$ ile 0.99 gibi yüksek bir değerde olduğu saptanmıştır.

4.1.1.2. Tekrarlı Ölçüm Değerleri

Ölçüm setinde kullanılan basınç sensörlerinin tekrarlı yükleme koşullarında ölçülen basınç değerleri Çizelge 4.14'de verilmiştir. Tekrarlı ölçümlerde 5 kg'lık yük kullanılmıştır.

Çizelge 4.14'de görüldüğü gibi, üç tekrarlı olarak yapılan tekrarlı ölçüm denemelerinde ortalama yüklenme değerleri 5 m ölçüm uzaklığında 0,206 bar, 10 m ölçüm uzaklığında 0,194 bar ve 15 m ölçüm uzaklığında 0,124 bar'dır. Her bir ölçüm mesafesi için standart hata değeri 5 m ölçüm uzaklığında 0.0009, 10 m ölçüm uzaklığında 0.0025 ve 15 m ölçüm uzaklığında 0.0008 değerindedir.

Çizelge 4.14. Tekrarlı Yükleme Değerleri

Yüklenme Değeri (5 Kg)	Sensörden Okunan Yükleme Değeri (bar)		
	Sensör ölçüm mesafeleri (m)		
	5 m	10 m	15 m
1	0,205	0,195	0,125
2	0,205	0,197	0,123
3	0,207	0,189	0,123
4	0,207	0,196	0,125
5	0,207	0,194	0,124
Ortalama	0,206	0,194	0,124
Standart Hata	0,0009	0,0025	0,0008

Yapılan tekrarlı ölçümlerde elde edilen yüklenme değerlerindeki farklılığın küçük olması, sistemin değişik zamanlarda ve farklı yüklenme koşullarında doğru ve güvenilir ölçümler yapabileceğini göstermektedir.

4.3.2. Silo içi basınç değişimi

Silo içi basınç ölçümleri silonun yapım aşamasında ölçülen basınç değerlerini kapsamaktadır.

Siloda silajlık materyalin sıkıştırılmasında en zor etmen materyalin fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yiğın materyal olan silajlık ürün esnek yapıda bir materyaldir. Siloda fermantasyon koşullarının iyi seyretmesi ve nitelikli yem elde edebilmenin temeli doğru ve etkin bir sıkıştırmanın uygulanabilmesidir. Bu amaçla saha koşullarında toprak üstü beton siloda sıkıştırmanın etkinliği incelenmiştir.

Silo içerisine farklı 24 adet noktaya yerleştirilen basınç sensörleri ile kaydedilen ölçümler silo içerisindeki bölgelere ve alt, üst, orta katmanlardaki değişimler olarak incelenmiştir. Çizelge 4.15' de işlem sırasına göre silo içerisine yerleştirilen sensörlerde sıkışma anında okunan basınç değerleri verilmiştir.

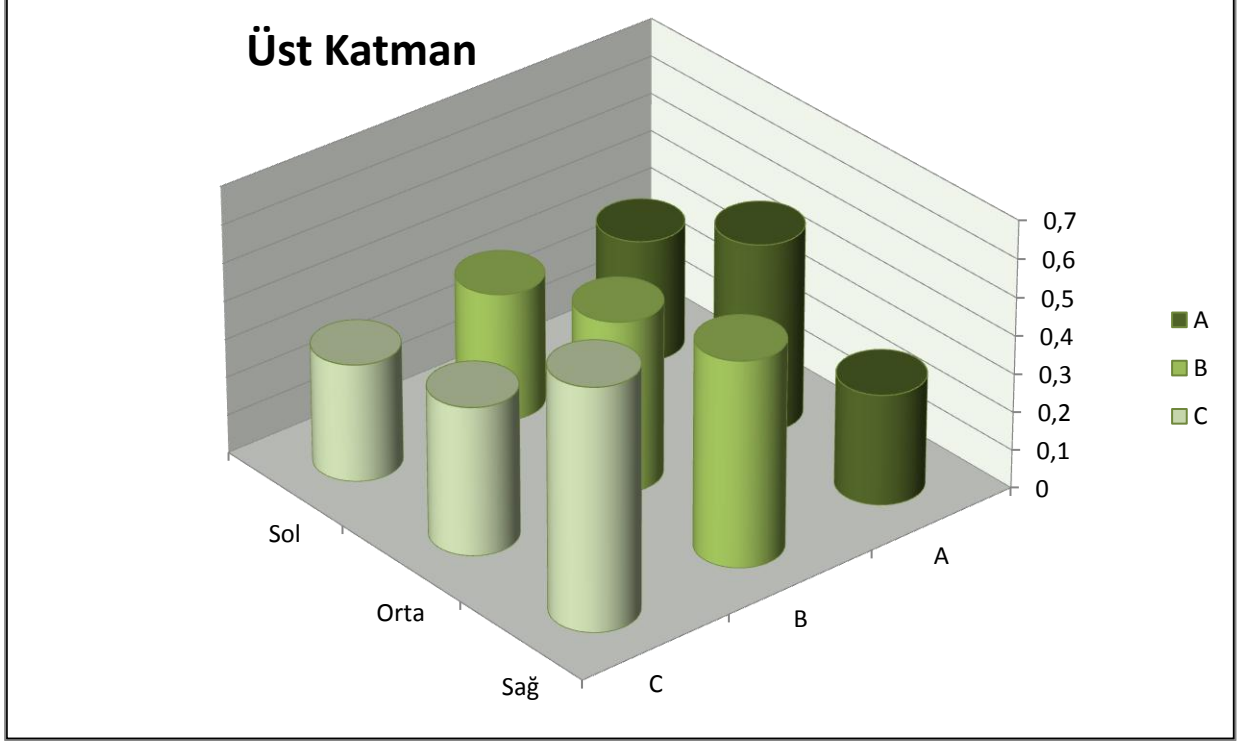
Çizelge 4.15. Silo içerisinde sıkıştırma anında ölçülen basınç değerleri (Bar)

İŞLEM	Yerden Yükseklik	Tabaka	A Bölgesi		
			A1-3	A2-3	A3-3
1	1	Alt	0,3620	0,3927	0,2871
			A1-3	A2-3	A3-3
2	1,5	Orta	0,3057	0,2868	0,2332
			A1-2	A2-2	A3-2
	1	Alt	0,1942	0,2254	0,1850
			A1-3	A2-3	A3-3
3	2	Üst	0,2898	0,4969	0,3233
			A1-1	A2-1	A3-1
	1,5	Orta	0,1963	0,2016	0,2116
			A1-2	A2-2	A3-2
	1	Alt	0,2434	0,2457	0,2996
			A1-3	A2-3	A3-3
			B Bölgesi		
1	1	Alt	0,3944	0,4428	0,2788
			B1-3	B2-3	B3-3
2	1,5	Orta	0,3030	0,2816	0,2340
			B1-2	B2-2	B3-2
	1	Alt	0,2076	0,1826	0,1234
			B1-3	B2-3	B3-3
3	2	Üst	0,5380	0,4505	0,3370
			B1-1	B2-1	B3-1
	1,5	Orta	0,2370	0,1357	0,2087
			B1-2	B2-2	B3-2
	1	Alt	0,4360	0,4608	0,2857
			B1-3	B2-3	B3-3
			C Bölgesi		
1	1	Alt	0,3756	0,2587	0,2709
			C1-3	C2-3	C3-3
2	1,5	Üst	0,6305	0,3876	0,3082
			C1-2	C2-2	C3-2
	1	Alt	0,4187	0,2720	0,2892
			C1-3	C2-3	C3-3

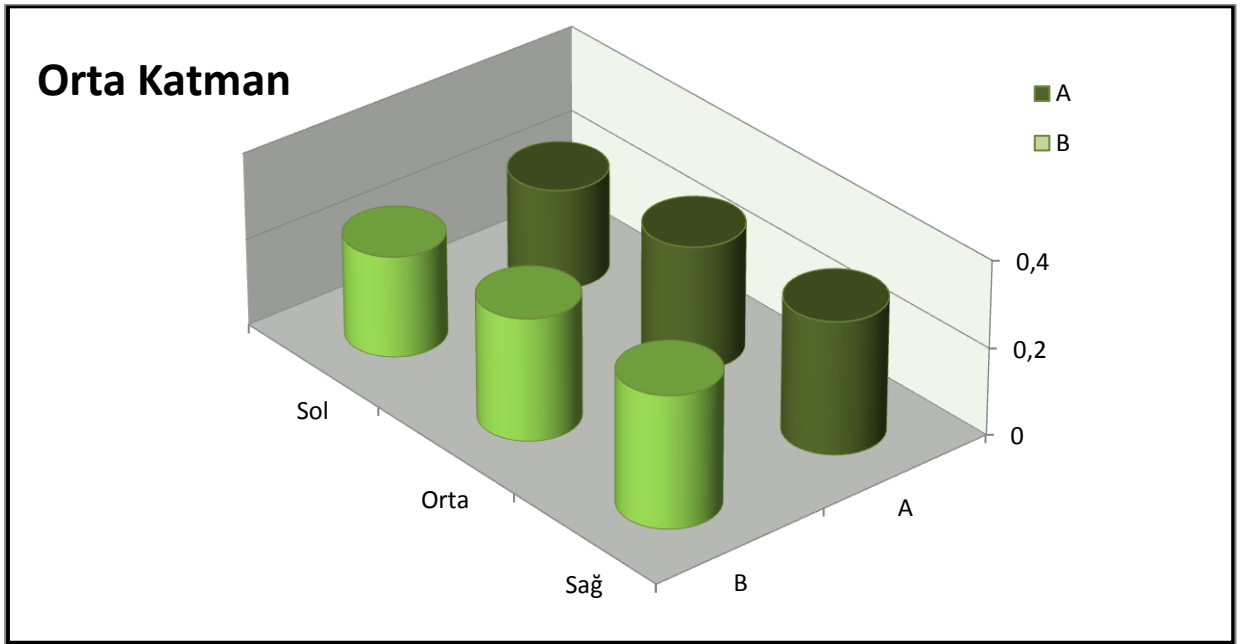
A ve B bölgesinde al, orta ve üst bölme olmak üzere iki tabaka bulunmaktadır. C bölgesinde alt ve üst olmak üzere iki tabaka bulunmaktadır. Bunun nedeni siloların ön yüzeylerinin eğimli şekil olması ve katman yüksekliğinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.15 de işlem sırasına göre materyal katmanları üzerinde ölçülen basınç değerleri verilmiştir. Her bölgede önce alt katman sonra orta ve en son üst katmanda sıkıştırma yapılmıştır. Böylelikle her katmandan sonra alt katmanlara etkiyen basınç da saptanmıştır.

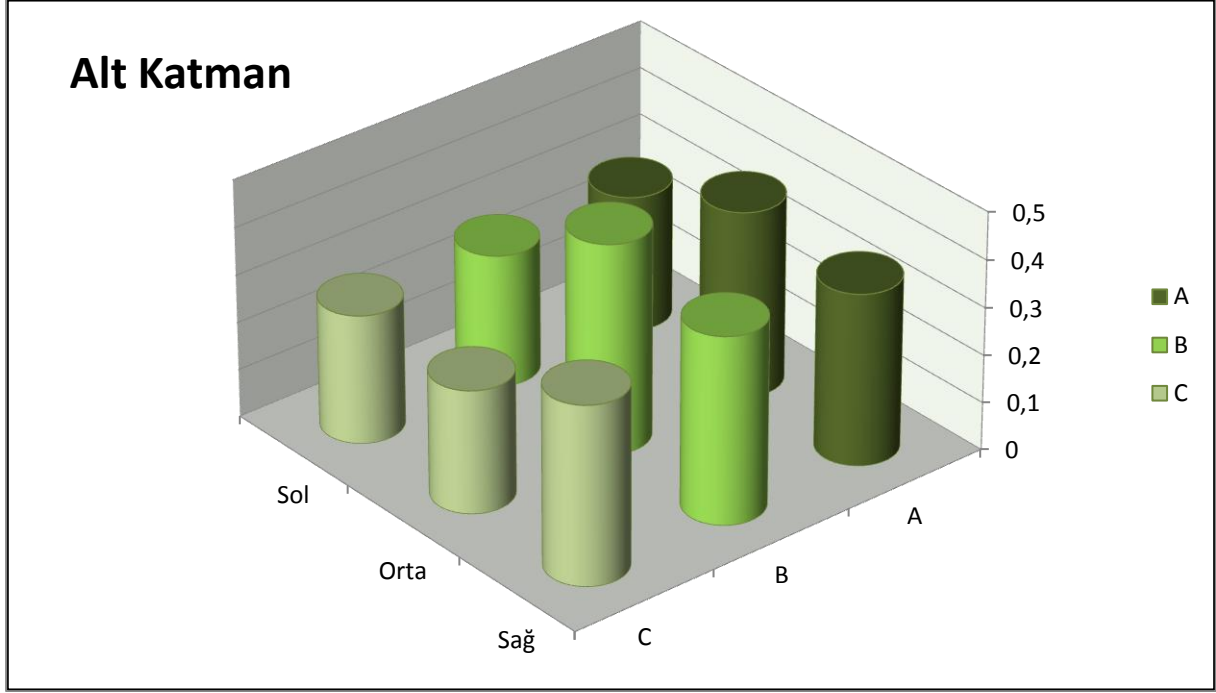
Şekil 4.9' da üst katmanın sıkıştırılması sırasında ölçülen basınç değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.10' da orta katmanın sıkıştırılması sırasında ölçülen basınç değişimleri, Şekil 4.11'de alt katmanın sıkıştırılması sırasında ölçülen basınç değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.9. Üst katmanda basınç değişimi



Şekil 4.10. Orta katmanda basınç değişimi



Şekil 4.11. Alt katmanda basınç değişimi

Şekil 9,10 ve 11' den de görüldüğü gibi en yüksek basınç değeri üst katmanda ölçülmüştür. Katmanlar arasında en yüksek basınç sırası ile üst katman, alt katman ve orta katmanda olmuştur.

Üst katmanda B ve C bölgelerinde uygulanan basınç kuvveti A bölgesinden daha yüksek bulunmuştur. Sağ kenarda ölçülen basınç orta ve sol kenardan yüksek değere sahip olmuştur.

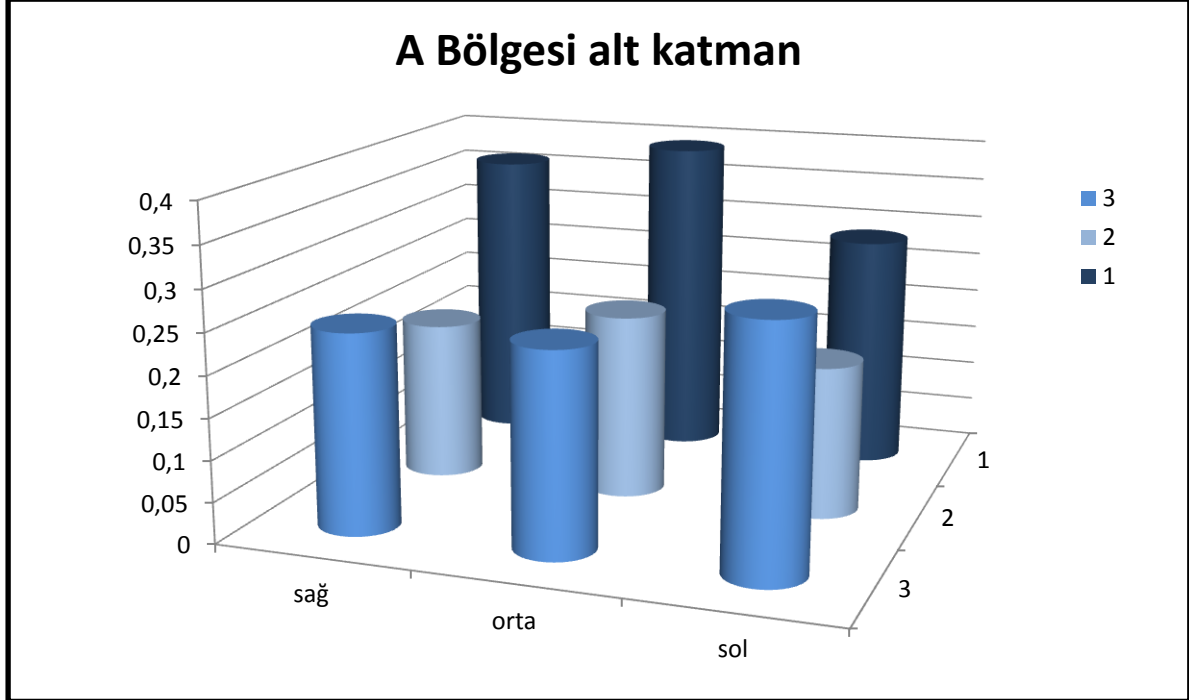
Orta katmanda basınç değerleri A ve B bölgelerinde benzer seviyede ölçülmüştür. Sağ kenarda ölçülen basınç orta ve sol kenardan yüksek değere sahip olmuştur.

Alt katmanda ölçülen basınç değerleri en yüksek B bölgesinde saptanmıştır. en düşük ise C bölgesinde olmuştur. Sağ kenarda ölçülen basınç orta ve sol kenardan yüksek değere sahip olmuştur.

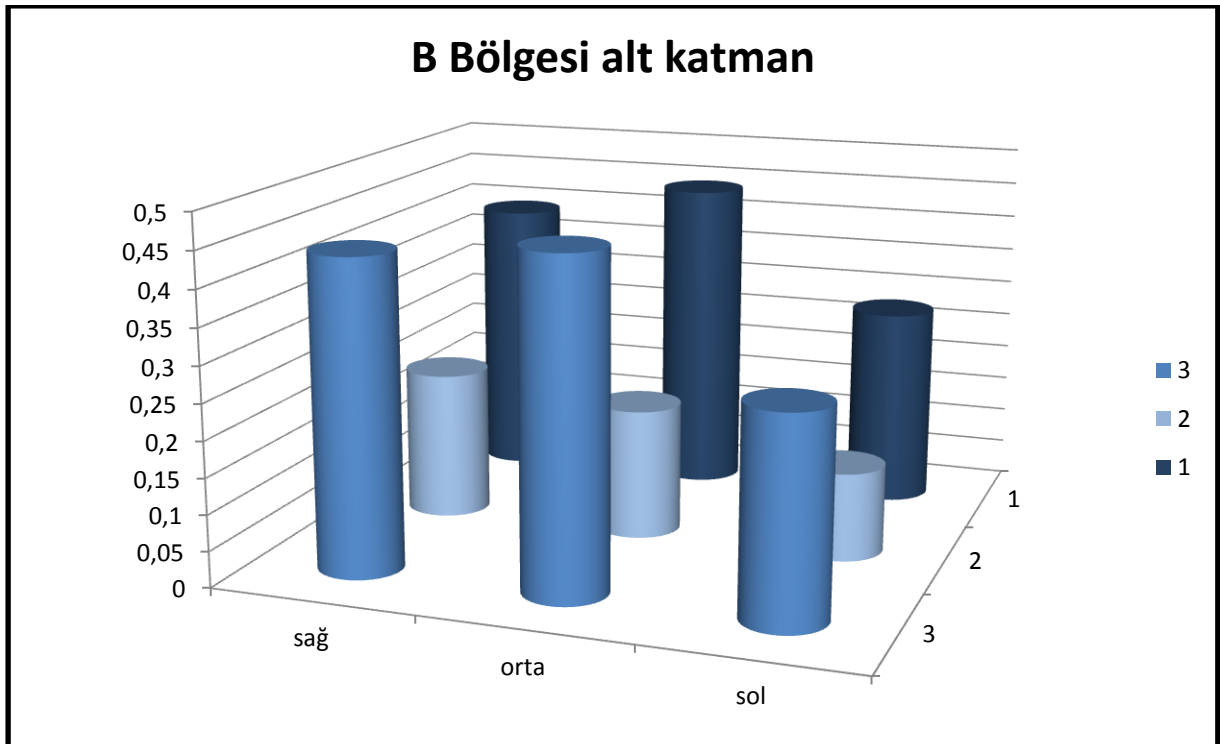
Alt, orta ve üst katmanların hepsinde en yüksek basınç değeri sağ duvar kenarına yakın olan ölçüm noktalarında bulunmuştur. Genel olarak en düşük ölçümler sol duvar kenarına yakın ölçüm noktalarında ölçülmüştür. Genel olarak orta noktalarda en yüksek basınç değerleri olması beklenirken en yüksek değerler sağ kenarda olmuştur. Bu, iş makinesini kullanan operatörün bu hat üzerinde diğer hatlara oranla daha fazla geçiş yapmasından kaynaklanabilir.

Şekil 4.12' de A bölgesinde alt katmanın hissettiği basınç değerleri işlem sırasına göre verilmiştir. Bir nolu işle A bölgesinde sadece alt katmanın yerleştirildiğinde yani silo tabanında 1 metre silajlık materyal olduğu anda yapılan ölçümleri göstermektedir. İki nolu işlem orta tabakanın yerleştirildiğinde alt katmanın

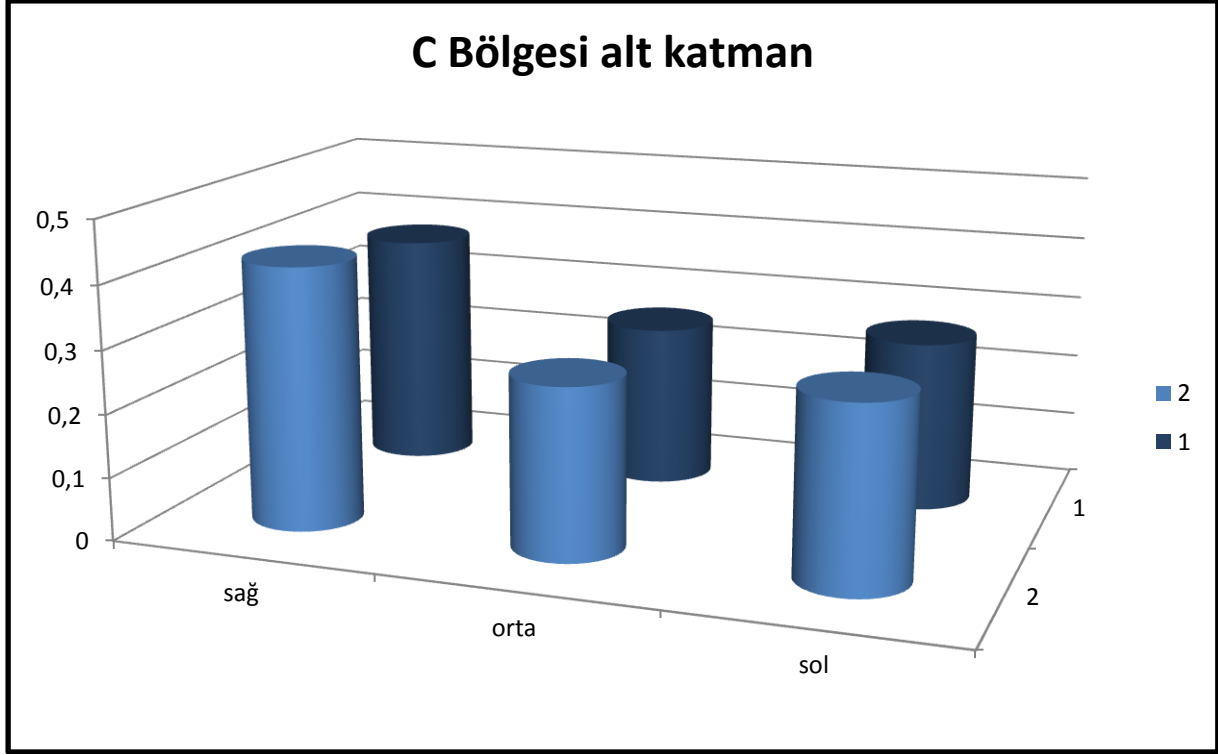
hissettiği basıncı göstermektedir. Üç nolu işlem ise üst katmanın yerleştirildikten sonra sıkıştırılması sırasında alt katmanda ölçülen basıncı göstermektedir. Benzer ölçümler B bölgesi için Şekil 4.13' de, C bölgesi için Şekil 4.14' de verilmiştir.



Şekil 4.12. A Bölgesinde işlem sırasına göre alt katmanda ölçülen basınç değişimi



Şekil 4.13. B Bölgesinde işlem sırasına göre alt katmanda ölçülen basınç değişimi



Şekil 4.14. C Bölgesinde işlem sırasına göre alt katmanda ölçülen basınç değişimi

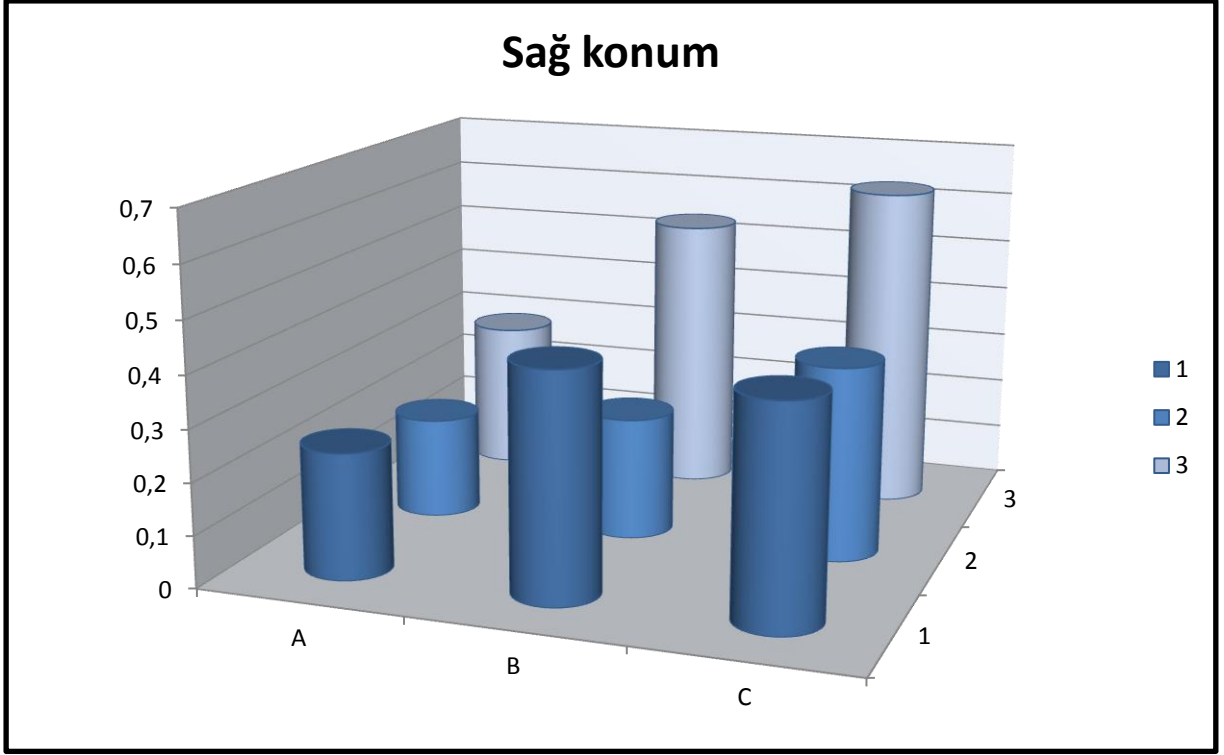
A bölgesinde 1 nolu işlemde sadece alt katman sıkıştırıldığında materyalde en fazla basınç ölçülmüştür. Orta tabaka sıkıştırıldığında alt katmanda ölçülen basınç en düşük değerlerde olmuştur. Üst katmanın sıkıştırılması sırasında ölçülen değerlerde alt katman basınç değerlerinde yükselme kaydedilmiştir. Bu, alt katmanın her katmanın ezildiği sürede alt katmanda sürekli basıncın olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda da materyalin kendi ağırlığı ile de katman üzerindeki basınç artış göstermektedir.

B bölgesinde de benzer ölçümler elde edilmiştir. En düşük ölçülen basınç değerleri orta katmanın sıkıştırılması sırasında alt katmanda saptanan basınç değerleri olmuştur.

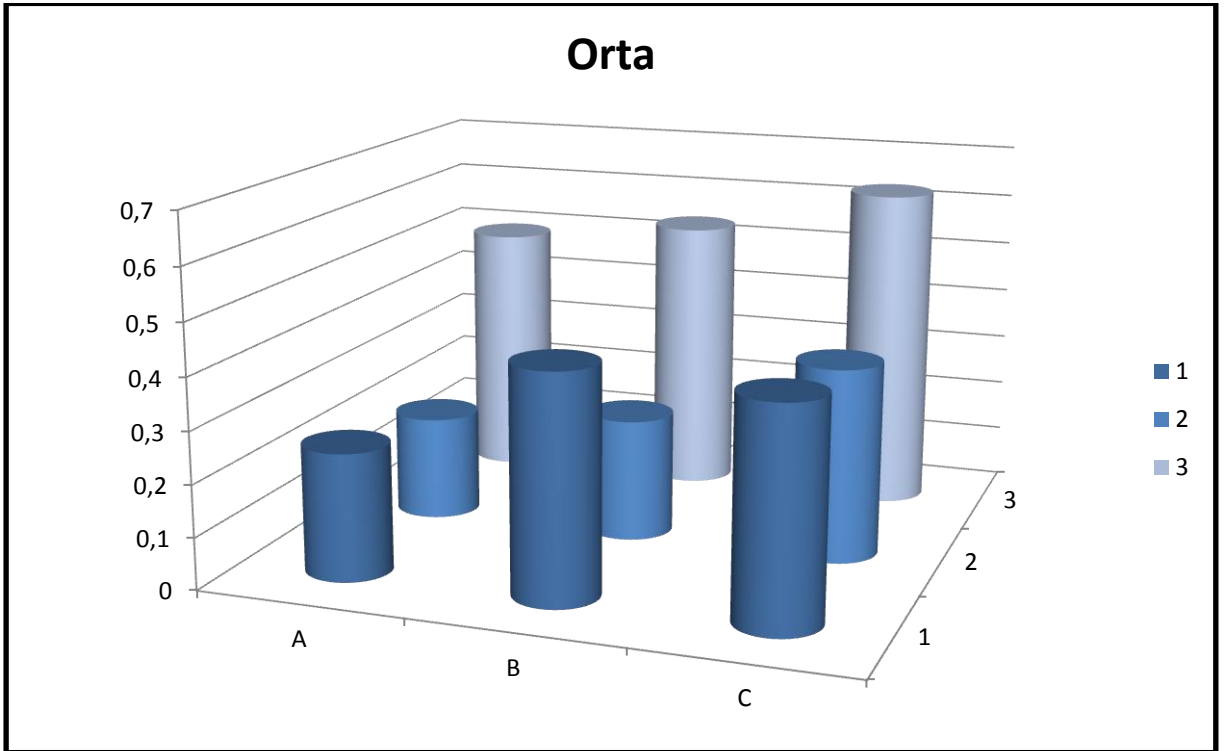
C bölgesinde en yüksek basınç değerleri üst katmanın sıkıştırılması süresinde alt katmanda saptanan basınçtır. Üst katmanda basıncın yüksek olmasının bir diğer nedeni diğer katmanlardan daha uzun süre sıkıştırma işlemine tabi kalmasıdır.

Şekil 4.15' de A,B ve C bölgesinde sağ konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri işlem sırasına göre verilmiştir. Şekil 4.16' da orta konumda, Şekil 4.17'de sol konumda ölçülen basınç değerleri işlem sırasına göre verilmiştir.

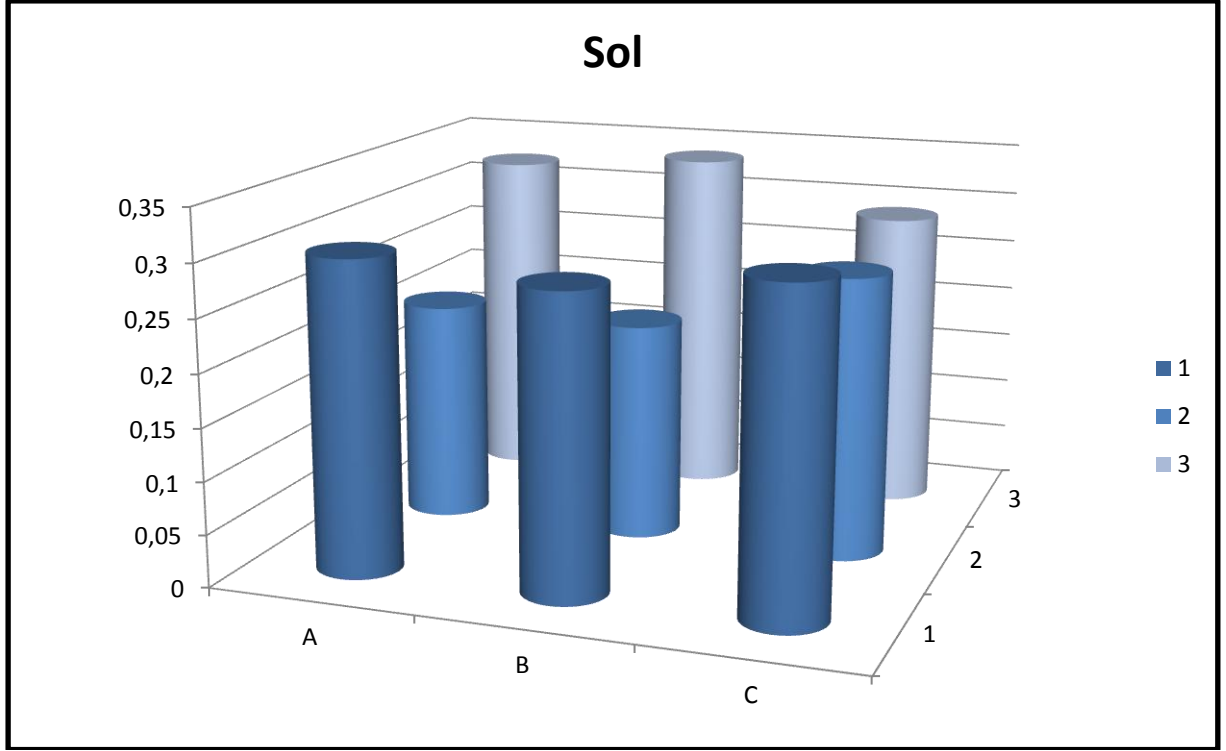
Bir nolu işle A bölgesinde sadece alt katmanın yerleştirildiğinde yani silo tabanında 1 metre silajlık materyal olduğu anda yapılan ölçümleri göstermektedir. İki nolu işlem orta tabakanın yerleştirildiğinde alt katmanın hissettiği basıncı göstermektedir. Üç nolu işlem ise üst katmanın yerleştirildikten sonra sıkıştırılması sırasında alt katmanda ölçülen basıncı göstermektedir.



Şekil 4.15' de A, B ve C bölgesinde sağ konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri



Şekil 4.16' de A, B ve C bölgesinde orta konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri



Şekil 4.17' de A, B ve C bölgesinde sol konumda yer alan basınç sensörlerinde saptanan basınç değerleri

En yüksek sıkışma değerleri üst katmanın sıkıştırılması sırasında görülmektedir. Okunan basınç kuvvetleri genel olarak en yüksek sırası ile sağ, orta ve sol kenarda olmuştur.

Çizelge 4.16'da Silo içerisinde tanımlanan A , B ve C bölgelerinde uygulanan sıkıştırmanın etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.16. Bölgeler arası basınç değişimi analizi

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
A	0,2948 a	0,08	0,015	0,19	0,50
B	0,3512 b	0,12	0,023	0,12	0,54
C	0,3817 b	0,09	0,017	0,26	0,63
Ort.	0,3426	0,104	0,011	0,12	0,63
F=5,354**					

P>0.05 önemli

Çizelge 4.16' dan da görüldüğü gibi bölgelerde basınç değişimi istatistiki olarak P>0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. A bölgesinde saptanan basınç B ve C bölgesinden düşük olmuştur. Arka bölmeye yerleştirilen silajlık materyallerin sıkıştırılması beton silolarda daha güç olmaktadır. Ön bölgede iş makinesinin hareketini diğer bölgelere oranla daha fazla olmasından dolayı C bölgesinde basınç değerlerinin daha yüksek olması normal olabilmektedir. Sıkıştırmaya bakıldığında en yüksek basınç silonun önünden arka tarafa doğru ilerleme göstermektedir. Bu da her geçişte bu bölgelerden geçmesinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 4.17 ' de derinliğe bağlı olarak bölgelerde ölçülen basınçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.17. Yerden yüksekliğe bağlı olarak basınç değişimi

Bölge	Yerden yükseklik mesafesi (m)	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
A	1	0,2706 a	0,07	0,02	0,19	0,39
	1,5	0,2397 a	0,03	0,01	0,20	0,31
	2	0,3741 b	0,06	0,02	0,29	0,50
	Ort.	0,2948	0,08	0,01	0,19	0,50
F=13,050**						
B		Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
	1	0,3125 a	0,12	0,04	0,12	0,46
	1,5	0,3028 a	0,12	0,04	0,14	0,54
	2	0,4384 b	0,05	0,01	0,34	0,54
	Ort.	0,3512	0,12	0,02	0,12	0,54
F=4,481**						
C		Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
	1	0,2948 a	0,08	0,015	0,19	0,50
	2	0,3817 b	0,09	0,017	0,26	0,63
	Ort.	0,3426	0,104	0,011	0,12	0,63
F=6,423**						

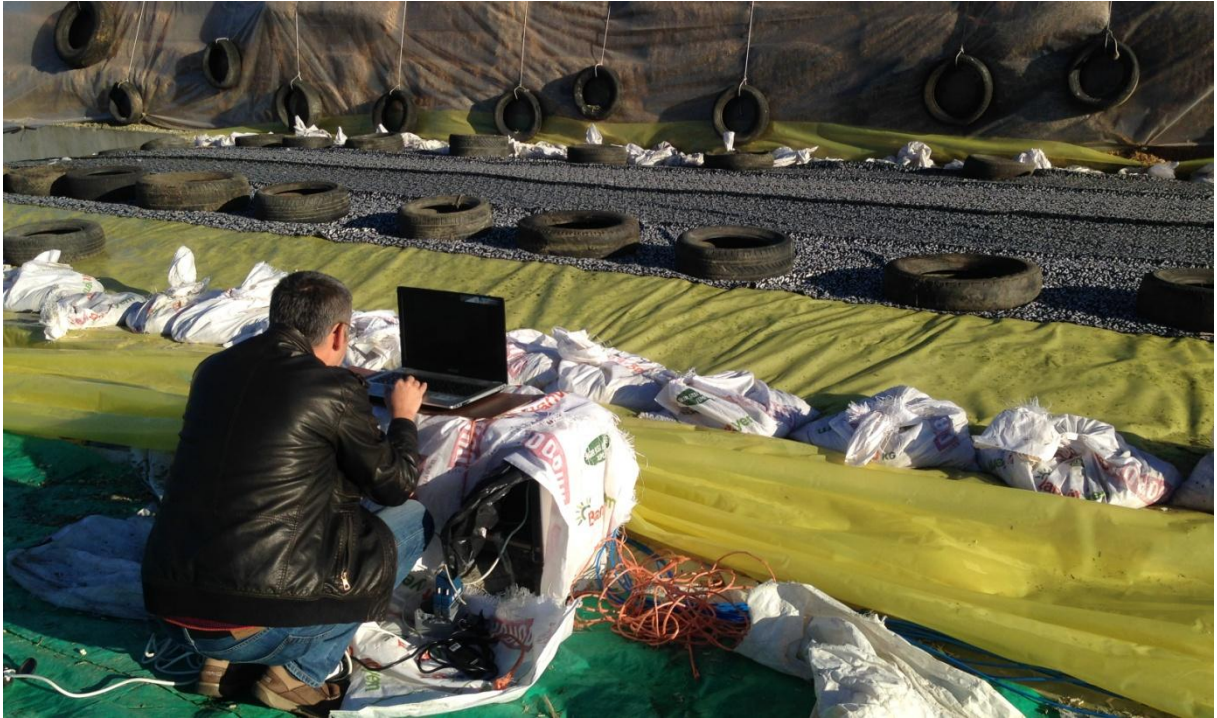
P>0.05 önemli

Çizelge 4.17'den de görüldüğü gibi tüm silo içerisine basıncın en büyük etkisi yerden 2 metre yükseklikte konumlandırılan basınç sensörlerinde okunmuştur. Toprak üstü beton silolarda derinliğe bağlı olarak basınç değişimi istatistiki olarak (P>0.05) önemli bulunmuştur. Basıncın genel etkisi en fazla silonun yüzeyinde ölçülmüştür. Tabana doğru ilerledikçe sıkıştırma kuvvetinin etkisinin azaldığı görülmektedir. Roy ve ark. (2001), Muck and Holmes (2000), Ruppel (1993) farklı tabaka kalınlıklarının sıkıştırma üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir.

4.3.3. Sıkıştırma işlem sonrası basınç değişimi

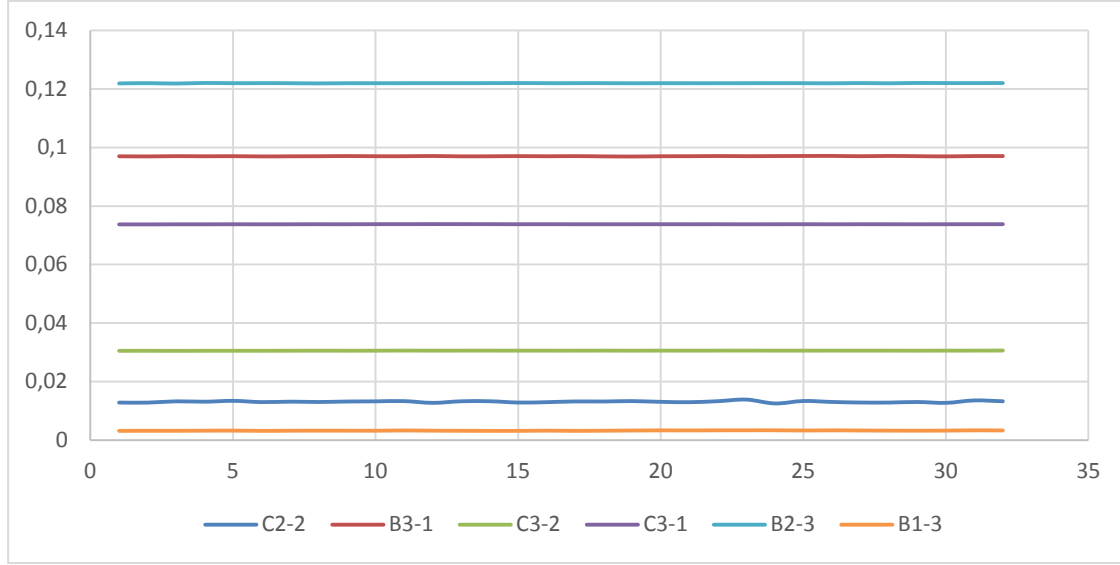
Sıkıştırma işlem sonrası silo içerisinde materyalin kendi ağırlığından kaynaklanan basıncın etkisinin kontrolü için alınan ölçümlerde, ölçüm noktaları üzerinde kalan basınçlar saptanmıştır.

Şekil 4.18' de sıkıştırma sonrasında üzeri kapatılan silo ve ölçüm çalışmalarına ait resimler gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Kapatılan silo ve sıkıştırma sonrası ölçümlerin alınması

Şekil 4.19 da sensörler üzerinde kalan basınca ilişkin örnek ölçüm kaydı gösterilmektedir. Çizelge 4.18' de silo içerisinde kalan basınca ilişkin analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.19. Sıkıştırma işlem sonrası basınç değişimi

Çizelge 4.18. Yerden yüksekliğe bağlı olarak basınç değişimi

Katman	Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
Alt	A	0,0265 a	0,014	0,02	0,0015	0,0309
	B	0,0685 b	0,03	0,01	0,030	0,0946
	C	0,0482 b	0,02	0,01	0,026	0,0737
		0,0421	0,03	0,01	0,0015	0,0944
F=7,007**						
Orta		Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
	A	0,0181 ^{ns}	0,01	0,06	0,0011	0,0324
	B	0,0364 ^{ns}	0,018	0,09	0,0120	0,0514
		0,0303	0,017	0,05	0,0011	0,0514
F=1,546						
Üst		Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
	A	0,0093 a	0,01	0,06	0,0019	0,028
	B	0,0214 ab	0,06	0,03	0,012	0,025
	C	0,0410 b	0,02	0,01	0,012	0,070
	0,0239	0,02	0,05	0,0019	0,070	
F=3,710**						

**P>0.05 önemli

ns:(P<0.05) önemsiz

Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra silo üst yüzeyi kapatılmıştır. Bu günü takip eden 10 gün süre ile basınç ölçümü gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.18' de on süre ile yapılan ölçümler gösterilmiştir. Bu günden sonra silo içerisinde ölçülebilir seviyede basınç kaydedilememiştir. Fermantasyon sürecinde materyalin gevşemesi ile basınç azalmaktadır.

Alt ve üst katmanda basınçlar arasındaki değişim istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P>0.05). Orta katmanda bölgeler arasında önemli bir fark saptanamamıştır (P<0.05).

Genel olarak 10 gün sonrasında silo içerisinde kalan toplam basınçlarda en yüksek basınç sırasıyla; alt katmanda (0,0421 bar), orta katman (0,0303 bar) ve üst katmanda (0,0239 bar) olarak hesaplanmıştır. En düşük basınçlar üst katmanda görülmektedir. Materyalin kendi ağırlığı ile birlikte en yüksek basınç tabana yakın olan alt katmanda görülmektedir.

Üst katmanda ölçülen en düşük basınç; A bölgesinde 0,0093 bar, B bölgesinde 0,0214 bar ve C bölgesinde 0,0410 bar olmuştur. En yüksek basınç C bölgesindedir.

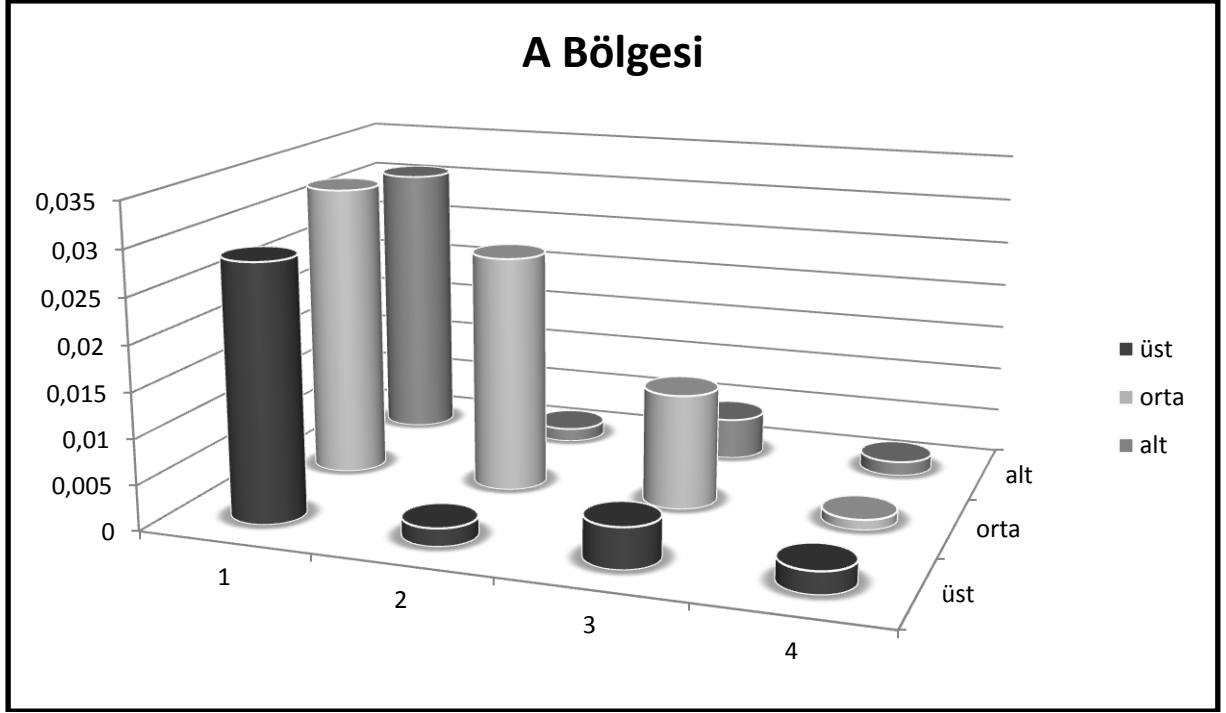
Orta katmanda ölçülen en düşük basınç ise; 0,0181 bar ile A bölgesinde olmuştur. Sıkıştırma sonrasında da silo içerisinde kalan basınçlarda A bölgesinde düşük seviyede sıkışmanın etkileri görülmektedir.

Alt katmanda ölçülen en düşük basınç; A bölgesi, C bölgesi ve B bölgesinde kaydedilmiştir.

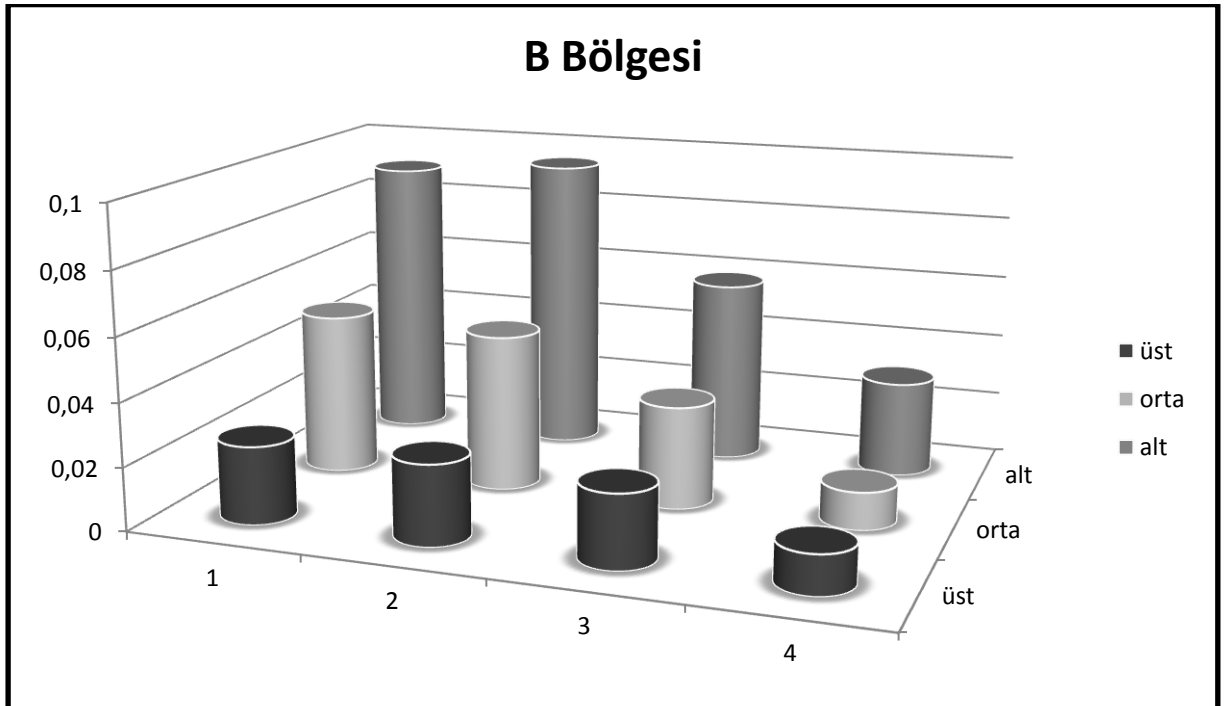
Genel olarak 13,7 ton ağırlığında ve 2.03 m² palet yüzeyine sahip iş makinesi ile sıkıştırma uygulanan toprak üstü beton siloda en yüksek sıkışma katmanlara göre; Alt, orta ve üst katman şeklinde olmuştur. Silo yüzeyinden aşağıya inildikçe sıkıştırmanın etkisi artmıştır. Sıkıştırma işlemleri sırasında ise en yüksek basınç üst katmanda saptanırken sıkıştırma sonrası alt katmanda basınç artmakta, üst katmanda azalmaktadır.

Araştırma sonuçları Muck ve Holmes (1995) tarafından yapılan çalışma ile uyumlu bulunmuştur. Silo yoğunluğunun üstten alta doğru arttığını ifade etmiştir. Duvar kenarlarında yoğunluğun değişkenlik gösterdiğini belirtmiştir. Bizim çalışmamızda da alt katmanda sıkıştırma fazla olmuştur. Bu anlamda sonuçlar benzerdir. Duvar kenarlarında da değişken basınçlar saptanmıştır.

Şekil 4.20' de A bölgesinde derinliğe bağlı olarak katmanlar arası basınç değişimi görülmektedir. Şekil 4.21' de B bölgesinde derinliğe bağlı olarak katmanlar arası basınç değişimi, Şekil 4.22' de C derinliğe bağlı olarak katmanlar arası basınç değişimi görülmektedir.

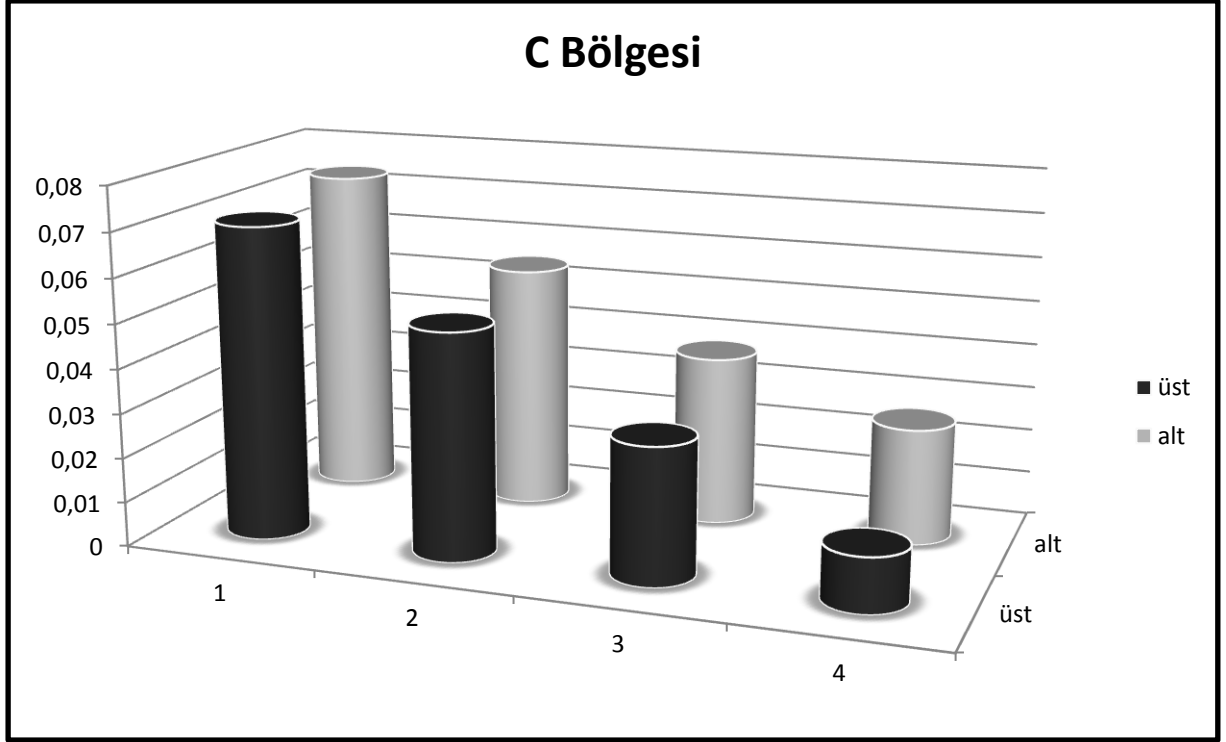


Şekil 4.20. A bölgesinde sıkıştırma sonrası ölçülen basınç değişimi (10 günlük)



Şekil 4.21. B bölgesinde sıkıştırma sonrası ölçülen basınç değişimi (10 günlük)

Basınçlar ilerleyen günlere bağlı olarak azalmaktadır. En yüksek basınç alt katmanda, sonra orta en düşük üst katmanda olmuştur.



Şekil 4.22. C bölgesinde sıkıştırma sonrası ölçülen basınç değişimi (10 günlük)

C bölgesinde de alt katmanda basınç daha fazla ölçülmüştür.

5. Sonuç

Yüzeysel toprak üstü beton silolarda 13,7 ton ağırlığındaki iş makinesi ile yapılan ölçümlerde silo içerisinde sıkıştırma işlemine bağlı olarak değişkenlikler saptanmıştır.

Bölgelere göre sıcaklık değerlerini incelediğimizde en yüksek sıcaklık derecelerinin 29,26 °C ile silonun ön bölgesinde (C) olduğu görülmektedir. Silonun orta bölmesinde (B) 22,47 °C ile daha düşük, arka bölme (A) de ise 18,57 °C ile en düşük değerler ölçülmüştür. Bölgelere göre sıcaklık değerleri $P>0.05$ önemli bulunmuştur.

Fermantasyon sonrası ölçülen silo içi sıcaklık değerleri bölgeler arasında istatistiki açıdan ($P>0.05$) önemli bulunmuştur. A bölgesinde silo içi sıcaklık A bölgesinde en düşük seyrederken B ve C bölgesinde benzer şekilde seyretmiştir.

Silonun ön bölgelerinde saptanan basınç en yüksek seviyede olmuştur. Genel olarak ön bölgeden arkaya doğru gidildikçe sıkıştırmanın etkisi azalmakta basınç kuvveti daha düşük olmaktadır. Bu, sıkıştırma sonrasında materyal içerisinde kalan basınç da benzer şekilde etki göstermeye devam etmiştir.

Katmanlar arası basınç değişimine bakıldığında sıkıştırma işlemi sürecinde en büyük sıkışma basınca üst katman, orta katman ve alt katmanda olur iken, sıkıştırma sonrası silo içerisinde kalan basınç değişmiştir. En yüksek basınç değerleri sırasıyla alt katman, orta katman ve üst katmanda gerçekleşmiştir.

Alt ve üst katmanda sıkıştırma işlem sonrası basınçlar arasındaki değişim istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($P>0.05$). Orta katmanda bölgeler arasında önemli bir fark saptanamamıştır ($P<0.05$).

Genel olarak 10 gün sonrasında silo içerisinde kalan toplam basınçlarda en yüksek basınç sırasıyla; alt katmanda (0,0421 bar), orta katman (0,0303 bar) ve üst katmanda (0,0239 bar) olarak hesaplanmıştır. En düşük basınçlar üst katmanda görülmektedir. Materyalin kendi ağırlığı ile birlikte en yüksek basınç tabana yakın olan alt katmanda görülmektedir.

Silo içerisindeki sıkışma, uygulanan sıkıştırma işlem yöntemi, sıkıştırma işleminde kullanılan ekipman, sıkıştırma süresi ve katman kalınlığından etkilenmiştir. Silo kapatıldıktan sonra da uygulanan sıkıştırma işleminin etkinliği görülmektedir.

Uygulanan sıkıştırma işlemi silaj kalitesine üzerine etkisi önemlidir. Bu nedenle bu çalışma saha koşulları için örnek bir çalışma olup, farklı silolar için de çalışmaların yapılması gereklidir.

Kaynaklar

- Akıncı, İ., 1994. Traktör-Tarım Makinası Enerji İlişkilerinin Saptanması İçin Bilgisayar Destekli Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi Ve Mekanizasyon Planlamasında Temel İşletmecilik Verilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- Amour L, Savoie P, 2004. Density Profile of Corn Silage In Bunker Silos. ASAE Paper No: 041136. Amer. Soc. Agr. Engr., St. Joseph, MI.
- Dalmış, İ.S., 2006. Domatesin Hasat Sonrası İşlemlerine Yönelik Bazı Fizikomekanik Özelliklerinin Saptanması İçin Prototip Ölçüm Setinin Geliştirilmesi. T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Tekirdağ
- Darby D E, and J C Jofriet, 1993. Density of Silage in Horizontal Silos. Canadian Agrc. Engr. 35 (4):275-280.
- Edner, H. 1985. Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Ph.D. diss., Humboldt-University of Berlin.
- McGechan M B, 1990. A Review Of Losses Arising During Conservation Of Grass Forage: Part 2, Storage Losses. J. Agric. Engng Res. 45:1-30.
- Messer H J M and J C Hawkins, 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.
- Muck R E and B J Holmes, 1999. Factors Affecting Bunker Silo Densities. ASAE Paper No:991016. Amer. Soc. Agr. Engr., St. Joseph, MI.
- Muck R E and B J Holmes, 2000. Factors Affecting Bunker Silo Densities. Applied Engineering in Agriculture. Vol.16(6):613-619.
- Muck R E and B J Holmes, 2006. Bag Silo Densities And Losses. Transaction Of The ASABE. Vol. 49(5):1277-1284.
- Roy M B, Tremblay Y, Pomerleau P,2001. Compaction and Density of Forage In Bunker Silos. ASAE Paper No:01-1089.
- Roy L,2014. Grass Silage Compaction in Horizontal Silos. AgEng 2014. International Conference of Agricultural Engineering. 6-10 July.
- 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, 1997. Economics Of Silage Management Practices: What Can I Do To Improve The Bottom Line Of My ensiling Business? In Proceedings From The

- North American Silage Conference: 125-136. NRAES Publication 99, Cooperative Extension, Ithaca, NY.
- Savoie P, R E Muck and B J Holmes, 2004. Laboratory Assessment Of Bunker Silo Density, Part II: Whole-Plant Corn. *Applied Engineering In Agriculture* 20 (2):165-171.
- Shinners, K.J., R.E. Muck, R.G. Koegel, and R.J. Straub. 1994. Silage Characteristics As Affected By Length-of-cut. ASAE Paper No. 94-1524. St. Joseph, MI: ASAE.
- Sun Y, Buescher W, Lin J, Lammers P S, Ross F, Maack C, Cheng Q, Sun W. 2010. An Improved Penetrometer Technique For Determining Bale Density. *Biosystems Engineering* 105 (2010) 273-277.
- Turner R and R L Raper, 2001. Soil Stress Residuals As Indicators of Soil Compaction. ASAE Paper No. 011063.
- Tan F and Büyüktosun N. 2016. Effect On Density And Dry Matter Losses Of Vacuum In Vacuum-Packed Polythene Bags Silage. *International Journal of Current Research*. Vol. 8, Issue, 06, pp.33185-33188, June, 2016
- Toruk F, E. Gonulol, P. Ulger and H. Kocabiyik, 2009a. Density, Porosity and Permeability Rates of Sunflower Silage Under Different Compaction Conditions. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8 (9):1873-1877, ISSN: 1680-5593.
- Toruk F, E. Gonulol, B Kayısoglu and F Koc, 2009b. Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 5(1), pp. 055-059, 4 January, 2010
- Toruk F ve F Koc, 2009. Effects On Silage Quality And Aerobic Stability Of Different Compaction Levels In Sunflower Silage. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15 (No 3) 2009, 269-275