



Saha Koşullarında Mısır Silajı Yapımında Silo İçi Basınç Değişimlerinin Belirlenmesi

Fulya TAN^{1*} İbrahim Savaş DALMIŞ² Birol KAYIŞOĞLU¹ Ersen OKUR¹

¹Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.

²Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.

*e-mail: ftan@nku.edu.tr

Alındığı tarih (Received): 10.05.2017

Kabul tarihi (Accepted): 24.01.2018

Online Baskı tarihi (Printed Online): 19.02.2018

Yazılı baskı tarihi (Printed): 30.04.2018

Öz: Silolama sırasında silaj materyale uygulanan sıkıştırma işlemi silaj kalitesi açısından önemlidir. Doğru bir sıkıştırma işlemi için, silo içerisinde tüm materyalin eşit ve yeterli oranda sıkıştırılması gereklidir. Bu çalışmada saha koşullarında toprak üstü beton siloda materyale uygulanan sıkıştırılması işlemine ilişkin bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle silolama işlemi süresince silo içerisinde materyale uygulanan basınç değerleri ölçülerek basınç değişimleri belirlenmiştir. Materyalin silo içerisindeki sıkıştırma etkinliğini karakterize edebilmek için siloda (üç bölge, üç konum ve tabaka kalınlığına göre üç farklı yükseklikte) 24 adet ölçüm noktası belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalara basınç ölçüm sensörleri yerleştirilmiştir. Basınç ölçümleri, silaj materyalde sıkıştırma basıncının ölçümüne yönelik geliştirilen basınç ölçüm sistemi ile yapılmıştır. Araştırma sonuçları silo içerisinde oldukça değişken basınç değerleri olduğunu göstermektedir. Silonun farklı bölgelerinde ve farklı materyal yüksekliğinde ölçülen basınç değişimleri istatistiksel olarak ($P < 0.05$) önemli bulunurken, silonun farklı konum noktalarında ölçülen basınç değişimi önemli olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Basınç, sıkıştırma, silaj, toprak üstü beton silo

Determination Of Pressure Changes Inside Silo In Corn Silage Making Under Field Condition

Abstract: The compaction process applied to silage material during ensiling are important for silage quality. For a correct compaction process, all materials in the silo must be compressed equally and sufficiently. In this study, it is aimed to obtain information about the compression process applied to the material in the bunker silos under field conditions. Therefore, the pressure values applied to the material during the ensiling were measured and the pressure changes were determined. To characterize the compression effect of the material in the silo (three regions, three locations and three heights according to the layers), 24 measuring points are specified. These point pressure measurement sensors are installed. Pressure measurements were made with a pressure measurement system developed for the measurement of compaction pressure in silage material. The results of the research show that there are quite variable pressure values in the bunker silo. Pressure changes measured at different areas and at different material heights of the bunker silo were statistically significant ($P < 0.05$), while insignificant at different locations.

Keywords: Pressure, compaction, silage, bunker silo

1. Giriş

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

Kaba yem olarak hayvan beslemede silaj yemler önemli yer tutmaktadır. Tüm muhafaza 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 olasıdır. Bu nedenle kaliteli silaj elde etmenin en önemli basamağı silolama tekniğinin iyi ve doğru şekilde gerçekleştirilmesidir (Tan ve ark. 2017a; Latsch 2014).

Silolama tekniğinin temel işlemi silajlık kıyılan materyalin siloya sıkıştırılması işlemidir. Bu işlemin etkin olarak yapılamaması silaj kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıkıştırma işleminde kullanılan traktör veya iş makinesinin ağırlığı, ürün nem içeriği, olgunluk dönemi, silaj tabakasının kalınlığı, sıkıştırma süresi gibi bir çok faktör önemlidir (Ruppel 1993; Muck ve Holmes 2000). Sıkıştırma süresi için Edner (1985)' e göre her bir ton ürün için 3-3.5 dakika olarak tanımlanmıştır. Ancak sıkıştırma işleminin kalitesi, sıkıştırma tekniği kadar ürünün karakteristik özelliklerinden de etkilenmektedir (Latsch 2014).

Bölgemizde saha koşullarında silaj yapımında;

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

Kıyılmış taze materyal traktör, kamyon, iş makinesi gibi araçlar kullanılarak doldurulmakta ve ezme işlemi gerçekleştirilmektedir. Yemlerin silolanması aşamalarında materyalin ezilmesi ve materyal içerisindeki hava kalmayacak şekilde sıkıştırılması silolamanın başarısı üzerinde önemli rol oynamaktadır. Ürün yoğunluğu sıkıştırmanın bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle yoğunluk üzerinde çalışmalar önem kazanmıştır (Hoffman ve ark. 2013a). Yapılan araştırmalar, silo içerisine yığılan materyal kalınlığının, ürün yoğunluğunun, ezme ve sıkıştırma amacıyla kullanılacak olan traktörün ağırlığının, sıkıştırma süresinin silolama kalitesi üzerine etkili olduğunu göstermektedir (Roy ve ark. 2001; Savoie ve ark. 2004). Ayrıca, mısır silajının fermantasyon parametreleri artan sıkıştırma basıncı ile pozitif olarak etkilendiği belirtilmiştir (Tan ve ark. 2017b).

Bu çalışma, saha koşullarında toprak üstü beton siloda materyale uygulanan sıkıştırma basıncını belirlemek, silo genelinde sıkıştırma

işleminin genel yapısı ile ilgili bilgi edinimi sağlamak amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

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

2.1. Toprak üstü beton silo

Toprak üstü beton silolar üç tarafı beton duvar ile çevrili yapıda olan silolardır. Silo 27 m uzunluğunda, 7.5 m eninde, 2.5 m yüksekliğinde ve % 5 eğime sahiptir. Toprak üstü beton siloya 350 ton mısır silajı depolanmıştır. Doldurma işleminde arkadan başlayarak öne doğru silolama tekniği kullanılmıştır.

2.2. Denemede kullanılan silajlık mısır ve silaj makinesi

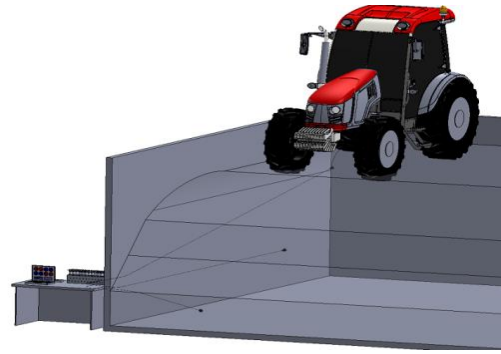
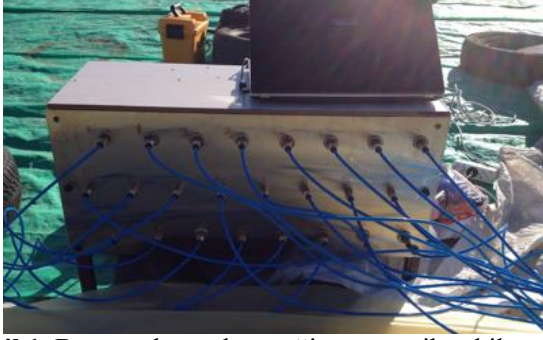
Denemelerde 30B74 Pioneer silajlık mısır kullanılmıştır. Verimi yüksek, adaptasyonu güçlü bir çeşittir. Mısır, kendi yürür CLASS 940 marka sıra bağımsız silaj makinesi ile 4-8 mm kıyılarak hasat edilmiştir. Silajlık mısır hasadı 18 Ekim 2014'de yapılmış olup, silolama işlemi ise üç gün devam etmiştir.

2.3. Sıkıştırma işlemi için kullanılan iş makinesi

Siloya materyalin sıkıştırılmasında 13.7 ton ağırlığa sahip, paletli tip iş makinesi kullanılmıştır. 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) dir. İş makinesi m² ye 67.48 kPa basınç uygulamaktadır.

2.4. Ölçüm sistemi

Ölçüm sistemi; basınç algılayıcı kauçuk küre, hidrolik hortum bağlantısı, basınç sensörü, veri toplama kayıt depolama ve bilgisayardan oluşmaktadır. Ölçüm sisteminin çalışma konumundaki şematik gösterimi Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Basınç ölçüm düzeneği ve şematik şekil

Figure 1. Pressure measurement system and schematic figure

2.4.1. Basınç sensörü

Araştırmada ölçümler için, 4 bar kapasiteli 4-20 mA analog çıkışlı basınç sensörü seçilmiştir. Silo içerisinde farklı noktalara konumlandırmak için aynı özellikte 24 adet basınç ölçüm sensörü kullanılmıştır. Sensörler basınç algılayıcı kürelere hidrolik hortumlarla bağlanmıştır. Basınç sensörlerine bağlanan 24 adet basınç algılayıcı küre silo içerisine dökülen hasıl mısır içerisine yerleştirilmiştir.

2.4.2. Kauçuk küre (basınç algılayıcı)

Basınç algılayıcı olarak 24 adet üç yollu kauçuk küre silo içerisine dökülen yığın içerisine yerleştirilmiştir. Küreler hidrolik hortumlar ile basınç sensörlerine bağlanmıştır. Böylelikle yığın

materyale her yönden etkiyen kuvvet ölçülebilmıştır. Hidrolik olarak çalışan sistemde basınç iletimi için su kullanılmıştır. Esnek yapıdaki küreler (basınç algılayıcı) silaj ile çevrelendiği için üzerinde oluşan toplam basıncı yön gözetmeksizin sensörlere iletebilecek yapıdadır. Turner ve Raper (2001) tarafından topraklarda sıkışma kuvvetini belirleyebilmek amacıyla geliştirilen ölçüm sisteminde benzer basınç algılayıcıları temel alınmıştır.

2.4.3. Hidrolik hortum

Kullanılan hortumlar 10 bar basınca kadar uygulamalara dayanabilecek yapıda seçilmiştir (Şekil 2). Bu hortumlar kolay bağlantı kaplinleri ile basınç sensörlerine bağlanmıştır.



Şekil 2. Basınç algılayıcı kauçuk küre ve hidrolik hortum

Figure 2. Pressure sensing rubber globe and hydraulic hose

2.4.4. Veri toplama ve depolama

Araştırmada kullanılan veri toplama ve depolama sisteminde Labview görsel programlama dili ile yazılan veri toplama programı kullanılmıştır. Labview ile hazırlanan

program bir dizüstü bilgisayara yüklenerek veri toplama modülünden gelen veriler depolanmıştır.

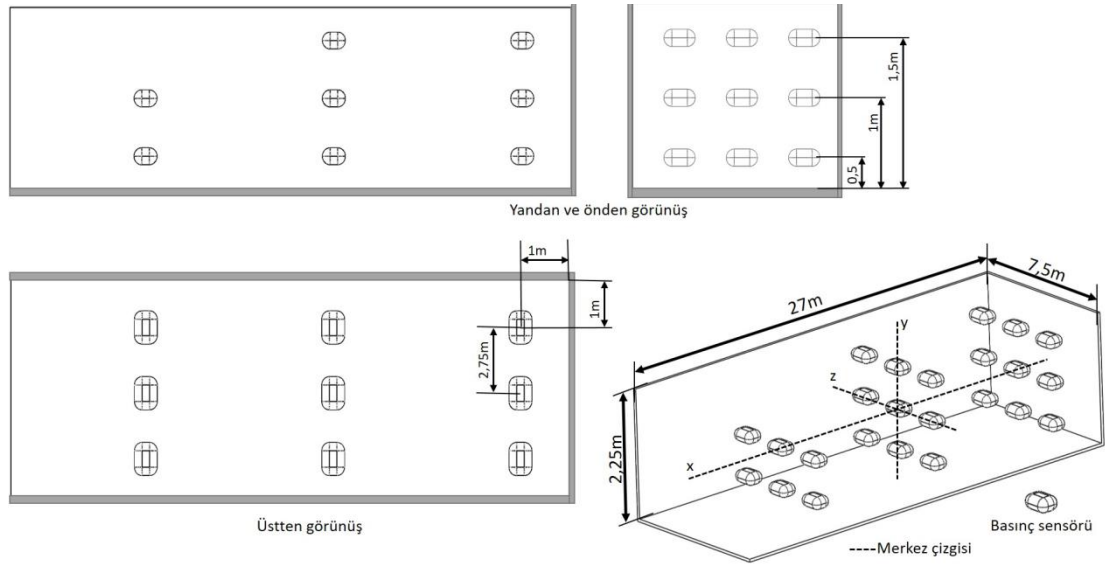
Verilerin toplanabilmesi için cDAQ-9184 CompactDAQ Chassis ve iki adet NI 9208, 24-bit akım giriş modülü kullanılmıştır. Bu modüller

üzerinde 16 analog giriş bulunup sistem gerektiğinde 32 analog çıkışlı sensörden gelecek verileri toplayabilecek özelliktedir.

2.5. Ölçüm noktaları

Siloda sıkıştırmanın genel durumunu belirleyebilmek için toplam 24 ölçüm noktası belirlenmiş ve bu noktalara basınç algılayıcı küreler yerleştirilmiştir (Amours ve Savoie 2005). Siloda üç grupta (bölge, konum ve yükseklik)

ölçüm yapılmıştır. Silo; arka duvara yakın olan bölge (A), orta bölge (B) ve silonun ön bölgesi (C) olarak üç bölgeye ayrılmıştır. Konum olarak; sağ duvara yakın (sağ), merkez (orta) ve sol duvara yakın (sol) konum olarak üç bölge tanımlanmıştır (Şekil 3). Sağ-sol ve arka duvarlar ile basınç algılayıcılar arasında 1 metre mesafe bırakılmıştır. Yükseklik olarak üç yükseklik değeri belirlenmiştir (1, 1.5 ve 2 m).



Şekil 3. Siloda tanımlanan ölçüm noktaları

Figure 3. Measurement points defined in the silo

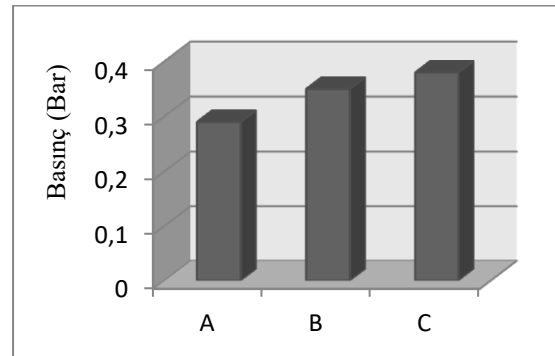
2.6. İstatistiksel analizler

Silo içerisinde bölge, konum ve yüksekliğe bağlı olarak basınç değerleri arasındaki istatistiksel farklılıklar SPSS İstatistik Paket Programı kullanılarak test edilmiştir (Soysal 2010).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bölgelere göre basınç değişimi

Toprak üstü beton siloda, tanımlanan bölgelerde alınan ölçümlerde basınç değerleri arasında farklılıklar belirlenmiştir. Şekil 4' de bölgelere göre sıkıştırma anında okunan ortalama basınç değerleri verilmiştir. Çizelge 1' de bölgeler arası basınç değişimi analizi verilmiştir.



Şekil 4. Bölgelere göre ölçülen basınç değerleri

Figure 4. Pressure values measured according to the areas

Çizelge 1. Bölgeler arası basınç değişimi analizi**Table 1.** Pressure variation analysis in the areas

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
A	0.29 a	0.08	0.015	0.19	0.50
B	0.35 b	0.12	0.023	0.12	0.54
C	0.38 b	0.09	0.017	0.26	0.63
Ort.	0.34	0.104	0.011	0.12	0.63

$P < 0.05$ önemli

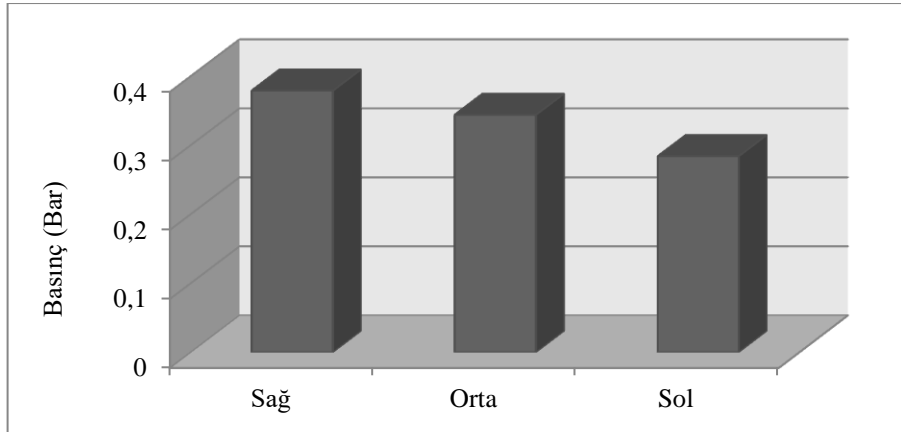
Toprak üstü beton siloda; arka duvara yakın olan A bölgesi, silonun orta B bölgesi ve ön tarafı C bölgesi olmak üzere üç bölgede yapılan basınç değişimi istatistiki olarak ($P < 0.05$) önemli bulunmuştur. Hoffmann ve ark. (2013b) gibi farklı noktalarda ölçülen sıkıştırma basıncı oldukça değişken bulunmuştur.

Şekil 4 ve Çizelge 1' den de görüldüğü gibi silo içinde bölgelere göre en yüksek basınç değeri C bölgesinde (0.38 bar) bulunmuştur. En düşük basınç değerleri ise A bölgesinde (0.29 bar) olmuştur. Bu durum, silo içerisinde sıkıştırma işleminde homojenliğin olmadığını (Muck ve

Holmes 2000), siloda arka duvara yakın olan bölgelerde yeterli sıkıştırmanın yapılamadığını göstermektedir. En yüksek sıkıştırmanın B bölgesi olması beklenirken en fazla sıkıştırmanın silonun ön bölgesinde olduğunu görülmektedir.

3.2. Konumlara göre basınç değişimi

Toprak üstü beton siloda tanımlanan konum noktalarında alınan ölçümlerde basınç değerleri arasında önemli farklar saptanmamıştır. Konumlara göre sıkıştırma anında okunan ortalama basınç değerleri Şekil 5' de, konumlara göre basınç değişimi analizi Çizelge 2' de verilmiştir.

**Şekil 5.** Konumlara göre ölçülen basınç değerleri**Figure 5.** Pressure values measured according to the location**Çizelge 2.** Konumlar arası basınç değişimi analizi**Table 2.** Pressure variation analysis in the locations

Bölge	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
Sağ	0.37*	0.12	0.04	0.19	0.63
Sol	0.28	0.05	0.02	0.23	0.46
Orta	0.34	0.08	0.01	0.19	0.39
Ort.	0.33	0.09	0.01	0.19	0.63

*: $P > 0.05$ önemsiz

Şekil 5 ve Çizelge 2' den de görüldüğü gibi silo içinde konumlara göre ortalama basınç

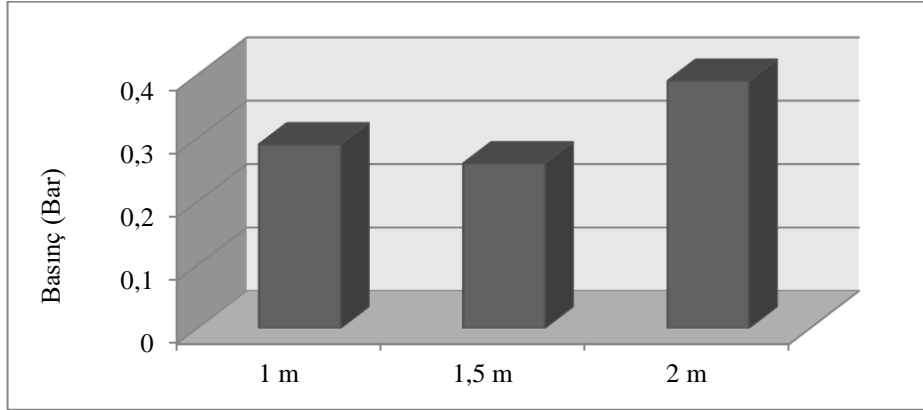
değişimi istatistiki olarak ($P > 0.05$) önemli olmamıştır. En yüksek basınç değeri sağ duvara

yakın olan konumda bulunmuştur. En düşük basınç değerleri ise sol duvara yakın olan sol konum hattında olmuştur. Bu durum, silo içerisinde sıkıştırma işlemi bir homojenliğin olmadığını göstermektedir (Tan ve ark. 2017b). En yüksek sıkıştırmanın orta konumda olması beklenirken en fazla sıkıştırmanın silonun sağ konumunda olduğunu görülmektedir. D'Amours ve Savoie (2004) tarafından çalışmamıza benzer şekilde duvar kenarına yakın konumlarında yüksek yoğunluk saptamışlardır. Latsch (2014) farklı lastik çapları ile yaptığı sıkıştırma uygulamalarında silonun orta bölümünde silaj yoğunluğu daha yüksek hesaplamıştır. Duvar kenarlarının daha az sıkıştırıldığının bilinmesi sebebiyle duvar kenarlarında daha fazla sıkıştırma

işleminin yapılmasına özen gösterilmiştir. Ancak, çoğunlukla sağ kenar hattından iş makinesinin geçiş yaptığı, sol kenar hattından ise daha az sayıda geçiş yaptığı görülmektedir. Bu durum, sıkıştırma süresince iş makinesini kullanan operatörün çok daha etkin olduğunun da bir göstergesidir.

3.3. Yükseklik (Tabaka kalınlığına) göre basınç değişimi

Toprak üstü beton siloda; sıkıştırma üzerinde tabaka kalınlığının etkisi önemli bulunmuştur. Şekil 6' da yüksekliklerine göre sıkıştırma anında okunan ortalama basınç değerleri verilmiştir. Çizelge 3' de yüksekliğe göre basınç değişimi analizi verilmiştir.



Şekil 6. Yüksekliklerine göre ölçülen basınç değerleri

Figure 6. Pressure values measured according to heights

Çizelge 3. Konumlar arası basınç değişimi analizi

Table 3. Pressure variation analysis in the heights

Yükseklik	Ort.	St. sapma	Hata	Min.	Max.
1	0.29 a	0.01	0.058	0.27	0.31
1,5	0.26 a	0.04	0.014	0.23	0.34
2	0.39 b	0.03	0.010	0.34	0.43
Ort.	0.34	0.05	0.010	0.23	0.43

$P < 0.05$ önemli

En yüksek basınç değeri 2 m yüksekliğe yerleştirilen üst katmanda bulunurken, en düşük basınç değerleri orta katmanda saptanmıştır. Burada, en az sıkıştırma süresinin orta katmanın sıkıştırılmasında olduğu anlaşılmaktadır. Sıkıştırma ekipmanı ile en çok üst katman yerleştirildikten sonra ezme için zaman harcandığı görülmektedir. Silo içerisinde tabaka kalınlığı az

olduğunda materyale etkiyen basınç değeri daha yüksek olmuştur.

Toprak üstü beton silolarda derinliğe bağlı olarak basınç değişimi istatistik 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

ve Holmes (2000), Ruppel (1993) farklı tabaka kalınlıklarının sıkıştırma üzerine etkili olduğunu belirtmişlerdir. Silaj kalitesi üzerinde sıkıştırma kuvvetinin önemli etkisini saptamışlardır Silaj kalitesinin artan sıkıştırma kuvvetine bağlı olarak pozitif olarak etkilendiğini bildirmiştir (Toruk ve ark. 2009).

4. Sonuçlar

Saha koşullarında yapılan silolamada silo içerisinde farklı noktalarda çok değişken basınç değerleri saptanmıştır. Bu sonuçlar silo içerisinde sıkıştırmanın homojen yapılamadığını göstermektedir. Silo içerisinde homojen bir sıkıştırma işleminin yapılamaması; yetersiz sıkıştırma, silo içerisinde havanın kalması ve silaj kalitesinin bozulması anlamına geldiğinden büyük önem taşımaktadır. Silolama sırasında silonun her bölgesinin eşit olarak sıkıştırılması için gerekli özen gösterilmelidir. Etkin bir sıkıştırma için kullanılan sıkıştırma ekipmanının ağırlığı, ek ağırlık kullanımı, lastik basınçları gibi bir çok kritere dikkat edilmesine rağmen siloda heterojen yapı çoğunlukla görülmektedir. Çalışmamızda da, silonun arka duvarına yakın olan bölgesinde yetersiz sıkıştırma yapıldığı, sol konumunda diğer hatlara oranla çok daha az sıkıştırma işleminin yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, sıkıştırma işlemi süresince ürün tabaka kalınlığına bağlı olarak materyal yüksekliği de sıkıştırma üzerine etkili olmuştur. Bu sonuçlara göre silolama tekniği ve sıkıştırma ekipmanını kullanan operatörün etkisinin oldukça büyük olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- D'Amour L and Savoie P (2004). Density profile of corn silage in bunker silos. ASAE paper no: 041136. Amer. Soc. Agr. Engr., St. Joseph, MI.
- Edner H (1985). Die verdichtung von siliergut und die lagerungsdichte von grünfuttersilage. Ph.D. diss., Humboldt-University of Berlin.
- Hoffman T, Schemel H and Füll C (2013a). Compaction of grass silage taking vibrating stress into account. Agric Eng Int; CIGR Journal, 15(1):114-123.
- Hoffman T, Geyer S, Bittner J, Kögler R and Schima M (2013b). Radiometric density measurement for silage compaction in bunker silos. Agric Eng Int; CIGR Journal, 15(3):191-197.
- Latsch R (2014). Grass silage compaction in horizontal silos. *International Conference of Agricultural Engineering*. AnEng 2014, 6-10 July. Zurich.

- Muck RE and Holmes BJ (2000). Factors affecting bunker silo densities. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(6):613-619.
- Roy MB, Tremblay Y and Pomerleau P (2001). Compaction and density of forage in bunker silos. ASAE paper no:01-1089.
- Ruppel KA (1993). Bunker silo management and its effects on hay crop quality. In proceedings from the national silage production conference: 67-82. NRAES publication 67, cooperative extension, Ithaca, NY.
- Savoie P, Muck RE and Holmes BJ (2004). Laboratory assessment of bunker silo density, part II: whole-plant corn. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(2), 165-171.
- Soysal Mİ (2010). Biometrinin Prensipieri. Ders notu, yayın yeri: NKÜ Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Tan F, Dalmıs IS and Dalmıs F (2017a). Determination of compaction force in bunker silos using a pressure measurement method. *International Journal of Current Research*, 9(01):45597-45599.
- Tan F, Dalmıs IS and Koc F (2017b). Effects of compaction pressure on silage fermentation in bunker silo. *Agronomy Research*. 15 (1): 298-306.
- Turner R and Raper RL (2001). Soil stress residuals as indicators of soil compaction. ASAE paper no. 011063.
- Toruk F, Gonulol E, Kayısoglu B and Koc F (2009). Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. *African Journal of Agricultural Research*, 5(1):055-059.