

## **Süt sağım makinası vakum pompalarında farklı vakum basınçlarının bazı parametre değerlerine etkilerinin belirlenmesi**

**Halil ÜNAL<sup>1</sup>, Şilan URAL<sup>2</sup>, Hasan BAYAT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa

<sup>2</sup>Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa

Alınış tarihi: 18 Haziran 2018, Kabul tarihi: 13 Şubat 2019

Sorumlu yazar: Halil ÜNAL, e-posta: hunal@uludag.edu.tr

### **Öz**

Bu çalışmada, süt sağım makinası vakum pompalarında farklı vakum basınçlarının hava debisi, güç gereksinimi, özgül enerji tüketimi, birim güç başına pompa hava debisi ve gürültü seviyesine etkileri incelenmiştir. Araştırmada motor ve pompa devirleri, maksimum pompa basınçları ve yağ tüketimleri de belirlenmiştir. Çalışmada farklı kapasitelerde 4 adet vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompalarının 50 kPa basınçtaki hava kapasiteleri firma kataloğunda sırasıyla 600, 1200, 1500 ve 2000 L/dak'dır. Bu pompalar sırasıyla VP-1, VP-2, VP-3 ve VP-4 olarak isimlendirilmiştir. Denemelerde pompa basınçları olarak 42, 44, 46, 48 ve 50 kPa seçilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, motor devri, pompa devirleri ve yağ tüketim değerleri farklı vakum basınçlarından etkilenmemiş, tüm basınçlarda aynı devir sayıları ve yağ tüketimlerini vermiştir. Dört farklı pompanın kendi aralarındaki motor devir sayılarında ve maksimum pompa basınçlarında istatistiki olarak bir fark olmamış ( $P>0.05$ ), ancak pompa devir sayılarında ve yağ tüketimlerinde istatistiki olarak fark görülmüştür ( $P<0.05$ ). Vakum pompaları içerisinde 50 kPa basınçta firmanın belirttiği kapasite büyüklüğünü VP-2 (1203 L/dak) ve VP-3 (1570 L/dak) tipi pompalar sağlamıştır. VP-1 pompası kapasitesinin %3, VP-4 pompa ise %13 düzeyinde daha az hava kapasitesi vermiştir. VP-4 pompası hariç diğer pompalar tüm vakumlarda anma motor güçlerinin altında güç tüketmişlerdir. VP-4 tipi pompanın anma motor gücü, 42 kPa basınçta %16, 50 kPa basınçta ise %23 daha fazla oranda güç tüketmiştir. VP-3 tipi vakum pompası tüm

basınçlarda en yüksek birim güç başına hava debisi (42 kPa'da 556.6 L/dak kW, 50 kPa da 401.8 L/dak kW) vermiştir. Özgül enerji tüketimi en düşük pompa VP-3, en yüksek ise VP-1 tipi pompada gerçekleşmiştir. 42-50 kPa vakum aralıklarında en düşük gürültü seviyesi VP-2 tipi pompada bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Süt sağım makinası, vakum pompası, hava debisi, birim güç başına pompa hava debisi, güç ve özgül enerji tüketimi, gürültü seviyesi

### **Determination of the effects of different vacuum pressures on some parameter values in milking machine vacuum pumps**

#### **Abstract**

In this study, the effects of different working vacuums on the air flow rate, power consumption, specific energy consumption, pump efficiency and noise level in vacuum pumps of milking machine were investigated. The engine and pump cycles, maximum pump vacuum and oil consumption were also determined in the study. In the study, 4 vacuum pumps with different capacity sizes were used. The air capacities of the vacuum pumps at the pressure of 50 kPa are 600, 1200, 1500 and 2000 L/min respectively in firm basis. These pumps are named VP-1, VP-2, VP-3 and VP-4, respectively. In the experiments, pump vacuums of 42, 44, 46, 48 and 50 kPa were selected. According to the results of the research, it has been found that the engine and pump cycles and oil consumption values are not affected by different working vacuums, all vacuums have the

same cycle numbers and oil consumption. There was no statistically significant difference ( $P>0.05$ ) between engine speeds and maximum pump vacuum among the four different pumps, but there was statistically significant difference between pump speeds and oil consumption ( $P<0.05$ ). Within the vacuum pumps, the capacities of VP-2 (1203 L/min) and VP-3 (1570 L/min) specified by the firm at 50 kPa vacuum are maintained. 3% of the capacity of the VP-1 pump, and 13% of the capacity of the VP-4 pump. Except for the VP-4 pump, all pumps consumed power below rated motor power at all operating vacuums. The rated motor power of the VP-4 type pump consumed 16% at 42 kPa and 23% more at 50 kPa. The VP-3 type vacuum pump delivered the highest yield (556.6 L/min kW at 42 kPa and 401.8 L/min kW at 50 kPa) at all operating vacuums. The lowest specific energy consumption was achieved with the pump VP-3 and the highest with the VP-1 type pump. The lowest noise level in the 42-50 kPa vacuum ranges was found on the VP-2 type pump.

**Key words:** Milking machine, vacuum pump, air flow, pump efficiency, power and specific energy consumption, noise level

## Giriş

Ülkemiz süt sığırcılığındaki gelişmeler, beraberinde makinalı sağımı da önemli kılmıştır. Süt verimi yüksek hayvanların çoğalmas ve işletme sayısındaki artış, ülkemizde seygar sağım makinalarının yerini, birim zamanda daha fazla hayvanın sağılmasına olanak sağlayan merkezi sağım tesislerinin kullanımını önemli ölçüde artırmıştır. 1990'lı yıllara kadar büyük bir kısmı dış ülkelerden getirilen seygar süt sağım makinalarının tamamına yakını, günümüzde yerli üretilmektedir. Geçmişte orta ve büyük ölçekli süt sığırcılığı işletmelerinin hemen hemen tümünde ithal markalı sabit süt sağım tesisleri mevcut iken, günümüzde yerli sanayinin önemli atılımlarıyla dengelenmiş durumdadır. Merkezi sağım odalı süt borulu tip tesisler ile güçlümlü sağım makinalarındaki aynı anda sağılan hayvan sayısının artması yönündeki yetiştirici talepleri, imalatçı firmaların sağım ünitesi sayısını artırma yoluna sevk etmiştir. Fakat, belki de sorun ya da sorunlar bundan sonra başlamaktadır. Çünkü, tesislerdeki sağım ünitesi sayısının artırılması, standartlarda belirtilen basınç ve hava debilerinin istenilen koşullarda elde edilmesi zorluğunu beraberinde getirmektedir.

Gürültü ve titreşim, sağımcı ve hayvan için rahatsız edici olduğu kadar, sağım sisteminin vakum stabilitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilir (Nosal ve Bilgery, 2004; TS ISO 5707, 2014). İnekler, tam verim potansiyellerine sadece kendilerini rahat hissettikleri ortamlarda ulaşabilmektedir. Sağım odası bu ortamı şekillendirmede önemli bir rol oynamaktadır. Pompa gürültü düzeyinin minimize edilmesi için vakum pompası grubunun olabildiğince izole edilmiş bir oda veya ortam içine konulması gereklidir. Sağım odası ortamındaki gürültü seviyesi ortalama 75 dB-A düzeylerinde olması arzu edilir. Aksi taktirde, inekler sağım odasına girmek istemez, inekler memelerinin tamamen boşaltılmasına izin vermez, sağım sırasında ve sonrasında kendini iyi hissetmez ve strese girer (Nosal ve Bilgery, 2004).

Makinayla süt sağımın başarısı, hayvan ve kullanan insan faktöründen çok sağım makinasının yapısal ve işlevsel özelliklerinin sağımın isteklerine cevap verebilmesine bağlıdır. Makinaya imalat veya kurulum (montaj) sırasında kazandırılan tüm yapısal özelliklerin, çiftlik şartlarındaki işletme sırasında da değişmeden kalması gerekir. Burada en önemli görev vakum pompasına düşmektedir (Mein ve ark., 1994; Mein ve ark., 1995; Bray, 1996; Anonim, 2012). Vakum pompası, bir süt sağım makinasının kalbi konumundadır ve sağım makinası sisteminden dışarıya sürekli olarak hava boşaltmak temel görevidir. Böylece sistem içinde sağım için gerekli olan vakum meydana gelir. TS ISO 5707 (2014) ve TS ISO 6690 (2014) standartları, sağımdaki işletme vakum değerinin 42-50 kPa arasında olduğu ve çalışma sırasında vakumda izin verilebilecek en yüksek sapmanın  $\pm 2$  kPa olması gerektiğini göstermektedir. Diğer taraftan, sağımda bir vakum pompasının kapasitesi, esas olarak sağımın gerçekleştiği sağım ünitesi sayısı ve yüksekliğe (rakıma) bağlıdır. Vakum pompası kapasitesini etkileyen diğer faktörler; sistemdeki temizleme ünitesi, otomatik başlık çıkarıcı, pulsator tipi ve sistemdeki hava kaçaklarıdır (Chilvers ve Love, 1986; Ünal, 2013; TS ISO 5707, 2014). Yapılan ulusal ve uluslararası araştırmalarda süt sağım makinalarında kullanılan farklı kapasitelerdeki vakum pompalarının performans değerlendirmeleri üzerine kapsamlı bir bilimsel araştırmaya rastlanılmamıştır.

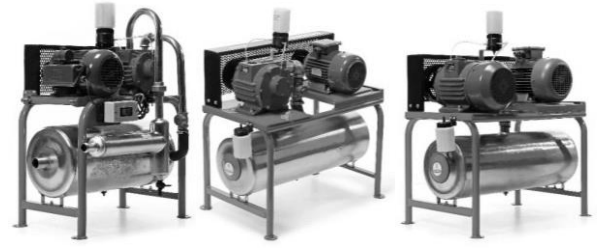
Bu araştırmanın amacı, yarı sabit kovalı süt sağım makinaları ve süt borulu sağım makinalarında kullanılan dört farklı tip vakum pompasının (VP-1, VP-2, VP-3 ve VP-4) yapısal ve işlevsel özellikleri,

sağım tekniği ve isteklerine uygunluk derecelerini belirlemektir. Ele alınan vakum pompalarının farklı işletme vakum basınçlarının (42-50 kPa arasında 2 kPa aralıklarla,) hava kapasitesi, güç ve özgül enerji gereksinimi, birim güç başına pompa hava debisi ve gürültü seviyesi etkilerini saptamak için temel ölçüm ve hesaplamalar yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, vakum pompalarının 42-50 kPa arasındaki belirtilen parametreleri belirlemek için regresyon ilişkileri incelenmiş ve deniz seviyesinde pompaların hava kapasitelerine göre sağım yapabileceği ünite sayıları belirlenmiştir.

### Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, yarı sabit kovalı süt sağım makinaları ve süt borulu sağım makinalarında kullanılan farklı hava kapasitelerine sahip yağlı, döner kanatlı ve motora kayış-kasnak bağlantılı dört adet vakum pompası kullanılmıştır. Vakum pompaları yerli üretici tek bir firmadan temin edilmiştir. Vakum pompalarının 50 kPa basınçtaki hava kapasiteleri firma kataloğunda sırasıyla 600, 1200, 1500 ve 2000 L/dak belirtilmiştir. Pompa, yatay bir silindir gövde ve eksantrik olarak bağlanmış bir rotordan oluşmuştur. Rotor, silindir gövde ile üst tarafa temas halindedir. Rotor ve gövde arasındaki boşluk hilal şeklindedir. Pompa giriş ağzı vakum boru hattının uzantısı, çıkış ağzı ise eksoz borusunun uzantısıdır. Rotor, 4 adet yuvaya sahiptir. Bu yuvalar, rotorun dönüşüne radyal olarak serbestçe kayarak girip çıkan kanatların yatağıdır. Kanatlarla gövde arasında merkezkaç kuvvetiyle oluşan temas sonucu

sürtünmeleri önlemek için, kanatlar fiber malzemeden yapılmıştır. Kanatlar, sürtünme kayıplarını azaltmak için gövde yüzeyine teğet olarak kaymakta ve kanatlar arasında kalan hava, kanatların dönmesiyle girişten çıkışa doğru götürülmektedir. Vakum pompalarının vakum üretme grubu üniteyi taşıyan bir şasi, trifaze elektrik motoru, motordan kayış-kasnak ile hareket alan yağlı tip vakum pompası, yağlama kabı, vakum tankı (yedek hava deposu) ve eksoz ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 1). Pompaların önemli teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.



VP-1

VP-2

VP-3, VP-4

Şekil 1. Araştırmada kullanılan farklı tip vakum pompa tipleri

Vakum pompası deneyleri, imalatçı firmanın laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneylerinde, çalışma ortamı sıcaklığı (°C), bağıl nem (%), gerçek atmosfer basıncı (kPa) ve rakım (m) gibi veriler belirlenmiştir. Sıcaklık ve bağıl nem sırasıyla 0.1°C ve %1 hassasiyete sahip bir termo-higrometre kullanılarak ölçülmüştür.

Çizelge 1. Vakum pompaları ve elektrik motorların bazı teknik özellikleri

Parametre	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
<i>Vakum Pompası</i>				
Kanat ölçüleri (K x G x U)*, (mm)	6 x 70 x 109.8	6 x 70 x 159.8	6 x 70 x 224.8	6 x 70 x 224.8
Stator çapı x uzunluğu, (mm)	Ø137 x 110	Ø170 x 160	Ø170 x 225	Ø170 x 225
Rotor çapı x uzunluğu, (mm)	Ø110 x 109.8	Ø139 x 159.8	Ø139 x 224.8	Ø139 x 224.8
Giriş ve çıkış çapları, (inç)	1" - 1"	1 ½" - 1 ½"	1 ½" - 1 ½"	1 ½" - 1 ½"
Katalog hava kapasitesi, (50 kPa'da) (L/dak)	600	1200	1500	2000
<i>Elektrik Motoru</i>				
Tipi	VM 100-4	VM 112-4	VM 112-4	VM 112-4
Güç, Devir, (kW - dev/dak)	2.2 - 1400	3 - 1405	4 - 1425	4 - 1425
Çalışma gerilimi, akım, frekans, (V - A - Hz)	380 - 5.3 - 50	380 - 6.9 - 50	380 - 8.6 - 50	380 - 8.6 - 50
<i>Kayış-Kasnak Düzeni</i>				
Motor ve pompa kasnakları çapı, (mm)	Ø100 - Ø125	Ø140 - Ø180	Ø130 - Ø180	Ø160 - Ø180
V kayış sayısı x genişliği x uzunluğu, (mm)	1 x 13 x 1000	2 x 17 x 1375	2 x 17 x 1300	2 x 17 x 1350

\*K= Kahlılık, G=genişlik, U=uzunluk

Deniz seviyesinden yükseklik ve atmosfer basıncı el tipi dijital bir cihaz (OREGON, RA123, 1-10.000 m arası yükseklik) kullanılarak ölçülmüştür. Atmosferik basınç hPa'da ölçülmüş ve kPa'ya (1 hPa

= 0.1 kPa) dönüştürülmüştür. Çalışmada, 20±1°C ortam sıcaklığı, %50±5 bağıl nem ve 101±1 kPa atmosfer basıncı uygun değerler olarak saptanmış ve tüm deneyler bu koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Deney ortamının deniz seviyesinden yüksekliği 8 m'dir. Vakum pompalarının hava debilerinin saptanması sırasında, vakum pompası hava giriş hattı vakum tankından ayrılmış ve bu kısma 3000 L/dak hava ölçüm kapasitesine sahip orifis tipi mekanik bir debi ölçer (AFM 3000 marka, 0-3000 L ölçüm aralıklı, ATV Agri Products, Netherlands) bağlanmıştır. Sağım sisteminin standartlarda belirtilen vakum basınçları dikkate alınarak, pompaların 42, 44, 46, 48 ve 50 kPa vakum basınçlarında ölçümleri yapılmıştır. Pompanın vakum değişimleri, debi ölçer üzerindeki giriş deliğine bir hortum ile bağlanan 0.1 kPa ölçüm hassasiyetli dijital bir vakum ölçerle (DVPM-01 marka, 0-100 kPa vakum ve atmosfer basınç aralıklı, ATV Agri Products, Netherlands) izlenmiştir. Pompaların güç ve enerji ihtiyacının belirlenebilmesi için dijital trifaze elektrik sayacı (Kaan marka 103 tipi) kullanılmıştır. Deneylerde ayrıca motor-pompa dönü sayıları, pompa yağ tüketimi ve maksimum pompa basıncı ölçümleri yapılmıştır. Pompa giriş borusuna bağlanan debi ölçerin hava kanalları tümüyle kapatılarak vakum ölçer ile pompaların maksimum vakum basınçları ölçülmüştür. Pompaların aşırı yüklenmeye maruz kalmaması için basıncın kısa sürede ölçümleri yapılmıştır. Pompa devir sayıları için 1 dev/dak hassasiyetli mekanik temashlı dijital göstergeli bir takometre (Shimpo EE-1, Digital Tachometer, Japan) kullanılmıştır. Pompaların gürültü seviyesini ölçmek için 0.1 desibel hassasiyetli, 35-130 dB aralıkta ölçüm yapabilen dijital bir desibelmetre (TES 1350 Sound Level Meter) kullanılmıştır. Gürültü seviye ölçümleri pompaların her vakum basıncı için ön, arka ve yan taraflarında birer metre mesafelerde yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Vakum pompasının basınç değişimlerindeki hava debisi, güç ihtiyacı ve gürültü değerleri üç tekrarlı olarak ölçülmüştür. Sonuçlar MINITAB (Versiyon 14, Texas Üniversitesi, Austin, ABD) ve MS-Excel yazılım programları tarafından analiz edilmiştir. Sonuçların analizinde tek yönlü varyans analizi ve LSD testi MSTAT-C (Sürüm 2.1., Michigan State University, USA) yazılım programı kullanılmıştır. Aksi belirtilmedikçe, farklar  $P < 0.05$ 'te anlamlı kabul edilmiştir.

### Bulgular ve Tartışma

Araştırmada kullanılan dört farklı tip vakum pompasının 42-50 kPa basınç aralıklarındaki motor ve pompa devir sayıları ile yağ tüketimi değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Denemelerde elektrik motoru ve pompa devirleri ile yağ tüketimlerinin

farklı vakum basıncı değişimlerinden etkilenmediği, tüm basınçlarda aynı devir sayılarını ve yağ tüketimini verdiği belirlenmiştir. Diğer yandan pompaların kendi aralarındaki motor devir sayılarında ve maksimum pompa basınçlarında istatistiki olarak bir fark olmamış ( $P > 0.05$ ), ancak pompa devir sayılarında ve yağ tüketimlerinde istatistiki olarak fark bulunmuştur ( $P < 0.05$ ).

Çizelge 2. Vakum pompalarının motor ve pompa devirleri, maksimum pompa basıncı, yağ tüketimi ölçüm sonuçları

Parametre	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
Elektrik motoru devri, dev/dak	1450 ÖD	1440 ÖD	1452 ÖD	1430 ÖD
Vakum pompası devri, dev/dak	1166 <sup>b</sup>	1088 <sup>c</sup>	1040 <sup>d</sup>	1244 <sup>a</sup>
Maksimum pompa basıncı, kPa	93.9 ÖD	96.1 ÖD	96.0 ÖD	94.3 ÖD
Pompa yağ tüketimi, mL/h	4 <sup>d</sup>	8 <sup>c</sup>	10 <sup>b</sup>	12 <sup>a</sup>

<sup>a-d</sup>: Aynı satırda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir ( $P < 0.05$ ); ÖD: Önemli değil.

Pompaların farklı vakum basınçlarındaki (42-50 kPa) hava debisi ilişkileri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi 42 kPa basınçta en yüksek debi değeri 2167 L/dak ile VP-4 tipi pompada, en düşük debi değeri ise 695 L/dak ile VP-1 tipi pompada ölçülmüştür. Diğer taraftan 50 kPa basınçta en düşük debi 583 L/dak ile VP-1 tipi pompada, en yüksek debi değeri de 1742 L/dak ile VP-4 tipi pompada ölçülmüştür. Pompalar içinde standartların belirttiği anma kapasitesini (50 kPa) VP-2 ve VP-3 tipi pompalar sağlamıştır. VP-1 pompası %3, VP-4 pompa ise kapasitesinin %13 düzeyinde daha az hava debisi vermiştir. Pompa basıncı artışına bağlı olarak hava debisi azalma oranları incelendiğinde, en fazla azalma oranı %19.6 ile VP-4 tipi pompada bulunmuştur. Bunu sırasıyla %19.4 ile VP-3, %17.5 ile VP-2 ve %16.1 ile VP-1 tipi pompalar izlemiştir. Mein ve ark. (1994) nın buldukları sonuçlar, bu çalışmada elde edilen sonuçları desteklemektedir. Pompaların kendi gruplarındaki basınç aralıklarında yapılan istatistiki analize göre ölçülen hava debisi değerleri arasındaki farklar önemli bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). Vakum pompaları birbirinden farklı kapasitelerde olduklarından, bunlar arasında fark olması kaçınılmazdır. Burada asıl vurgulanan, basınç farkları arasında pompa kapasitelerinin istatistiki olarak önemli ölçüde değişip değişmediğidir. Elde edilen sonuçlar bunu kanıtlamıştır.

Çizelge 3. Pompaların farklı vakum basınçlarına göre hava debisi (L/dak) değerleri

Vakum basıncı, kPa	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
42	695±3 <sup>a</sup>	1458±36 <sup>a</sup>	1948±40 <sup>a</sup>	2167±56 <sup>a</sup>
44	663±3 <sup>ab</sup>	1383±42 <sup>ab</sup>	1830±44 <sup>ab</sup>	2073±69 <sup>ab</sup>
46	632±5 <sup>bc</sup>	1333±51 <sup>bc</sup>	1742±45 <sup>bc</sup>	1943±62 <sup>bc</sup>
48	602±8 <sup>c</sup>	1278±52 <sup>cd</sup>	1660±49 <sup>cd</sup>	1835±64 <sup>cd</sup>
50	583±4 <sup>c</sup>	1203±40 <sup>d</sup>	1570±38 <sup>d</sup>	1742±64 <sup>d</sup>

<sup>a-d</sup>: Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (P<0.05).

Pompaların farklı basınçlardaki güç gereksinimleri incelendiğinde, 42 kPa basınçtaki en yüksek güç VP-4 pompasında (4.66 kW), en düşük güç ise VP-1 pompasında (1.48 kW) bulunmuştur (Çizelge 4). Pompaların 50 kPa basınçlarında ise en yüksek güç ihtiyacı 1.62 ve 4.92 kW ile sırasıyla yine VP-1 ve VP-4 tipi pompalarda ölçülmüştür. Çizelgede görüldüğü üzere pompa basıncının artışı vakum pompası güç ihtiyacı değerlerini de artırmıştır. En yüksek güç artış oranları VP-1 ve VP-4 tipi pompalarda (ortalama %13) belirlenmiştir. Pompaların kendi gruplarındaki basınç aralıklarında yapılan istatistiki analize göre ölçülen güç değerleri arasındaki farklar önemli bulunmuştur (P<0.05).

VP-4 tipi pompa hariç diğer tüm vakum pompaları anma motor güçlerinin altında güç tüketmiştir. VP-4 tipi pompa, VP-3 pompası ile aynı teknik özelliklere ve elektrik motoruna sahip olmasına karşın, kayış-kasnakla devir artışı sağlanarak hava kapasitesinin artırılma yoluna gidilmiştir. Ancak, güç gereksinimi sonuçları incelendiğinde, bu pompa devrinin artırılmasının, 42 kPa basınçta %16, 50 kPa basınçta ise %23 daha fazla oranda motorun aşırı yüklendiği saptanmıştır. Buradan, motorun VP-4 pompasını çalıştırmak için şebekeden fazla akım çektiği anlaşılmaktadır. Pompanın mevcut motor ile kullanılması motor ömrünü kısalttığı gibi tehlike riski de taşımaktadır. Kullanılan mevcut VP-4 tipi pompa için ya anma gücü 5.5 kW olan motor seçilmesi ya da pompa yapısal kapasitesinin büyütülerek buna uygun motor seçiminin yapılması önerilir.

Vakum pompalarının birim güç ihtiyacından hesaplanan pompa debileri Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, 42 kPa'da birim güç başına en yüksek pompa debisi 556.6 L/dak kW ile VP-3 tipi pompada, en düşük ise 441.4 L/dak kW ile VP-1 tipi pompada belirlenmiştir. Pompaların 50 kPa basınçlarında ise yine aynı tip pompalarda (sırasıyla 401.8 ve 327.8 L/dak kW) elde edilmiştir. Pompa

basıncı arttıkça birim güç başına debi de düşmektedir. Çizelge incelendiğinde, en yüksek düşüş oranı yaklaşık %28 ile VP-3 ve VP-4 tipi pompalarda bulunmuştur. En düşük düşüş oranı ise %25.7 ile VP-1 tipi pompada belirlenmiştir.

Çizelge 4. Pompaların farklı vakum basınçlarına göre güç gereksinimi (kW) değerleri

Vakum basıncı, kPa	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
42	1.48±0.01 <sup>c</sup>	2.73±0.02 <sup>e</sup>	3.55±0.04 <sup>d</sup>	4.66±0.02 <sup>d</sup>
44	1.51±0.01 <sup>bc</sup>	2.77±0.02 <sup>d</sup>	3.61±0.01 <sup>c</sup>	4.72±0.01 <sup>cd</sup>
46	1.54±0.01 <sup>b</sup>	2.82±0.01 <sup>c</sup>	3.74±0.01 <sup>b</sup>	4.76±0.03 <sup>c</sup>
48	1.59±0.02 <sup>a</sup>	2.88±0.02 <sup>b</sup>	3.83±0.03 <sup>a</sup>	4.84±0.03 <sup>b</sup>
50	1.62±0.01 <sup>a</sup>	2.94±0.03 <sup>a</sup>	3.87±0.02 <sup>a</sup>	4.92±0.07 <sup>a</sup>

<sup>a-e</sup>: Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (P<0.05).

Pompaların vakum artışına bağlı olarak birim güç başına debi düşüşleri arasında istatistiki olarak önemli fark vardır (P<0.05). Diğer yandan, her basınç için pompaların kendi aralarında da önemli farklar bulunmuştur (P<0.05). Burada, VP-3 vakum pompası tüm basınçlarda en verimli pompa olarak öne çıkmıştır.

Çizelge 5. Pompaların farklı vakum basınçlarına göre birim güç başına hava debisi (L/dak kW) değerleri

Vakum basıncı, kPa	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
42	441.4±3.7 <sub>a,D</sub>	506.5±11.5 <sub>a,B</sub>	556.6±7.0 <sub>a,A</sub>	474.2±10.8 <sub>a,C</sub>
44	412.0±2.9 <sub>b,C</sub>	486.6±11.3 <sub>ab,B</sub>	511.1±10.5 <sub>b,A</sub>	448.0±13.3 <sub>a,B</sub>
46	389.4±0.1 <sub>c,C</sub>	439.5±15.4 <sub>bc,B</sub>	474.9±10.7 <sub>c,A</sub>	406.7±10.2 <sub>b,BC</sub>
48	353.1±4.1 <sub>d,B</sub>	407.5±14.3 <sub>cd,A</sub>	436.0±10.1 <sub>d,A</sub>	370.8±10.4 <sub>c,B</sub>
50	327.8±1.2 <sub>e,C</sub>	372.5±10.6 <sub>d,B</sub>	401.8±8.0 <sub>e,A</sub>	342.0±7.6 <sub>c,C</sub>

<sup>a-e</sup>: Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (P<0.05).

<sup>A-D</sup>: Aynı satırda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir (P<0.05).

Vakum pompalarının farklı pompa basınçlarında sistemden çektiği birim hava miktarına göre özgül enerji tüketimleri (Wh/L) incelendiğinde, 42 ve 50 kPa pompa basınçlarında en düşük özgül enerji tüketimi 0.030 ve 0.042 Wh/L ile VP-3 tipi pompada, aynı basınçlarda en yüksek özgül enerji tüketimi ise 0.038 ve 0.051 Wh/L ile VP-1 tipi pompada gerçekleşmiştir (Çizelge 6). Tüm vakum pompalarının 42-50 basınç aralıklarında enerji

tüketimleri arasında istatistiki olarak farklılıklar bulunmuştur ( $P<0.05$ ). Pompa basıncı arttıkça enerji tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Yapılan istatistikler sonucunda pompa tiplerinin 46 ve 48 kPa basınçlarındaki enerji tüketimleri arasında istatistiki olarak farklar önemli çıkmıştır ( $P<0.05$ ). Pompaların 42, 44 ve 50 kPa basınçlarındaki özgül enerji tüketimleri arasında ise fark önemli çıkmamıştır ( $P>0.05$ ).

Çizelge 6. Pompaların farklı vakum basınçlarında birim hava miktarına göre özgül enerji tüketim (Wh/L) değerleri

Vakum basıncı, kPa	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
42	0.038± 0.000 <sup>b,ÖD</sup>	0.033± 0.001 <sup>b,ÖD</sup>	0.030± 0.000 <sup>b,ÖD</sup>	0.035± 0.001 <sup>b,ÖD</sup>
44	0.040± 0.000 <sup>b,ÖD</sup>	0.036± 0.001 <sup>b,ÖD</sup>	0.033± 0.001 <sup>b,ÖD</sup>	0.037± 0.001 <sup>b,ÖD</sup>
46	0.043± 0.000 <sup>a,A</sup>	0.038± 0.001 <sup>b,B</sup>	0.035± 0.001 <sup>b,B</sup>	0.041± 0.001 <sup>b,A</sup>
48	0.047± 0.001 <sup>a,A</sup>	0.041± 0.001 <sup>b,B</sup>	0.038± 0.001 <sup>b,B</sup>	0.045± 0.001 <sup>a,A</sup>
50	0.051± 0.000 <sup>a,ÖD</sup>	0.045± 0.001 <sup>a,ÖD</sup>	0.042± 0.001 <sup>a,ÖD</sup>	0.049± 0.001 <sup>a,ÖD</sup>

<sup>a-b</sup>: Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir ( $P<0.05$ ).

<sup>A-B</sup>: Aynı satırda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir ( $P<0.05$ ).

<sup>ÖD</sup>: önemli değil.

Vakum pompalarının yine farklı basınç değerlerindeki gürültü seviyesi sonuçları incelendiğinde, 42 kPa pompa basıncında en düşük gürültü seviyesi VP-2 tipi pompada (88.7 dB-A), en yüksek gürültü seviyesi ise VP-1 tipi vakum pompasında (90.9 dB-A) ölçülmüştür. 50 kPa basıncında ise en düşük ve en yüksek gürültü seviyeleri yine sırasıyla VP-2 ve VP-1 pompalarda sırasıyla 89.6 ve 92.2 dB-A değerlerinde ölçülmüştür (Çizelge 7). Tüm vakum pompalarının 42-50 kPa basınç aralıklarındaki gürültü seviyeleri arasında istatistiki olarak farklılıklar vardır ( $P<0.05$ ). Diğer yandan her basınç için pompaların kendi aralarındaki gürültü düzeyleri incelendiğinde, VP-2 pompanın gürültü seviyesi diğer pompalardan düşüktür. VP-1, VP-3 ve VP-4 pompalarının gürültü düzeyleri arasında önemli bir fark bulunmamıştır.

Literatürde sağım odasında sağımcı ve hayvanların olumsuz etkilenmemesi için ortalama gürültü düzeyi 75 dB-A düzeyinde olması önerilir. Bu nedenle, giriş bölümünde belirtildiği gibi; bu durumda, inekler sağım odasına girmek istemez, inekler memelerinin tamamen boşaltılmasına izin vermez, sağım

sırasında ve sonrasında kendini iyi hissetmez ve strese girer (Nosal ve Bilgery, 2004).

Çizelge 7. Pompalarının farklı vakum basınçlarına göre gürültü (dB-A) düzeyleri

Vakum basıncı, kPa	Vakum pompası tipi			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
42	90.9±0.2 <sup>c,A</sup>	88.7±0.3 <sup>c,B</sup>	90.8±0.3 <sup>c,A</sup>	90.6±0.2 <sup>c,A</sup>
44	91.4±0.1 <sup>b,A</sup>	88.9±0.1 <sup>b,c,B</sup>	91.3±0.2 <sup>b,A</sup>	91.2±0.2 <sup>b,A</sup>
46	91.7±0.3 <sup>ab,A</sup>	89.1±0.2 <sup>b,B</sup>	91.6±0.2 <sup>ab,A</sup>	91.5±0.2 <sup>ab,A</sup>
48	91.9±0.1 <sup>ab,A</sup>	89.4±0.1 <sup>ab,B</sup>	91.8±0.4 <sup>ab,A</sup>	91.8±0.4 <sup>ab,A</sup>
50	92.2±0.3 <sup>a,A</sup>	89.6±0.3 <sup>a,B</sup>	92.0±0.4 <sup>a,A</sup>	92.1±0.2 <sup>a,A</sup>

<sup>a-c</sup>: Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir ( $P<0.05$ ).

<sup>A-B</sup>: Aynı satırda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasındaki fark önemlidir ( $P<0.05$ ).

Vakum pompalarının 42-50 kPa aralığındaki basınçlarda hava kapasitesi, güç ve özgül enerji tüketimi, birim güç başına pompa hava debisi ve gürültü seviyesini belirlemek için regresyon ilişkileri incelenmiş ve aşağıdaki temel dekleme göre eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 8).

$$Y = A + BP_p \quad (1)$$

Çizelge 8'de görüldüğü gibi, vakum basıncı değişimlerine göre elde edilen tüm eşitliklerde determinasyon katsayıları yüksek doğruluklarda bulunmuştur. Hava kapasitesi-basınç, güç-basınç, özgül enerji-basınç, birim güç başına hava debisi-basınç ve gürültü-basınç ilişkileri için elde edilen eşitlikler güvenilir şekilde kullanılabilir. Tan ve ark. (1992) tarafından elde edilen regresyon denklemleri bu çalışmada bulunan sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Bu çalışmada vakum pompalarının farklı basınçlarda ürettikleri hava kapasitelerinden giderek sağım yapabilecekleri maksimum sağım ünitesi sayıları da belirlenmiştir (Çizelge 9). Hesaplamalarda kovalı süt sağım makinaları ve süt borulu sağım tesisleri için standartlarda ve referanslarda belirtilen rakımlara göre aşağıdaki ana parametreler dikkate alınmıştır (Reinemann ve ark. (2001); Billon, 2004; Bilgen ve Öz, 2006; TS ISO 5707, 2014; TS ISO 6690, 2014).

- Yedek kapasite, (Kovalı sağım makiası için 1-10 arası:  $80+25.n$  ve 10'dan fazla:  $330+10.(n-10)$ ; Süt borulu tesisler için 1-10 arası:  $200+30.n$  ve 10'dan fazla  $500+10.(n-10)$  dur.)
- Sağım ünitesi hava gereksinimi, (pnömatik 50.n L/dak; elektronik 35.n L/dak)
- Regülasyon kaybı, (35 L/dak)

- 1. ara toplam,
- Rakıma bağlı düzeltme faktörü (0-300 m arasında),
- 2. ara toplam,
- Hava hattı kaçığı ((2. ara toplam/0.95)\*0.05)
- Vakum pompasının her rakım aralığındaki toplam hava kapasitesi (2. ara toplam + hava hattı kaçığı) (L/dak).

Burada,  $n$  sağım ünitesi sayıdır.

Çizelge 8. Pompalarının farklı vakum basınçlarına göre bazı parametrelerinin regresyon ve determinasyon katsayıları

Parametre (Y)	Regresyon katsayıları		Determinasyon katsayısı (R <sup>2</sup> )
	(A)	(B)	
Hava kapasitesi (L/dak)			
Q <sub>VP-1</sub>	1225.5	-13.42	0.992
Q <sub>VP-2</sub>	2729.7	-31.17	0.997
Q <sub>VP-3</sub>	3881.3	-46.33	0.995
Q <sub>VP-4</sub>	4441.3	-53.0	0.994
Güç gereksinimi (kW)			
N <sub>VP-1</sub>	0.45	0.025	0.958
N <sub>VP-2</sub>	1.11	0.040	0.991
N <sub>VP-3</sub>	1.30	0.052	0.990
N <sub>VP-4</sub>	1.39	0.077	0.995
Özgül enerji tüketimi (Wh/L)			
ÖET <sub>VP-1</sub>	-0.0319	0.0016	0.986
ÖET <sub>VP-2</sub>	-0.0285	0.0015	0.992
ÖET <sub>VP-3</sub>	-0.0306	0.0014	0.997
ÖET <sub>VP-4</sub>	-0.0389	0.0017	0.990
Birim güç başına hava debisi (L/dak kW)			
η <sub>VP-1</sub>	1042.9	-14.31	0.996
η <sub>VP-2</sub>	1195.8	-16.45	0.999
η <sub>VP-3</sub>	1360.9	-19.24	0.998
η <sub>VP-4</sub>	1193.9	-17.08	0.995
Gürültü seviyesi (dB-A)			
S <sub>VP-1</sub>	84.49	0.155	0.968
S <sub>VP-2</sub>	83.98	0.112	0.991
S <sub>VP-3</sub>	84.53	0.152	0.969
S <sub>VP-4</sub>	83.24	0.178	0.964

Vakum pompalarının deniz seviyesinde farklı işletme vakum basınçlarına göre ölçülen hava kapasiteleri (Çizelge 3'te verilen) ile hesaplanan minimum hava kapasiteleri karşılaştırıldığında, sağım makinasının sağım yapabileceği maksimum ünite sayıları Çizelge 9'da verilmiştir. VP-1 vakum pompası güğüme veya doğrudan kovaya sağım yapan yarı sabit süt sağım makinalarında kullanıldığından, 42 kPa basınçta maksimum 8 ünite, 50 kPa da ise maksimum 4 üniteye hizmet verebileceği bulunmuştur. Diğer taraftan VP-4 pompası aynı basınçlarda sırasıyla 34 ve 21 sağım ünitesine hizmet edebilecektir. VP-3 tipi pompa ile VP-4 pompa arasında sadece devir farklılığı olduğundan, VP-3 pompanın sağım yapabileceği ünite sayısının daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Süt sığırcılığı işletmelerinde zorunlu olmadıkça yüksek süt boru hatlı tesislerin kurulması önerilmemektedir. Bu tip tesislerde sağılan sütün ayrıca yükseğe taşınabilmesi için ilave vakuma ihtiyaç olduğundan, tesisin yaklaşık 48-50 kPa işletme basınçlarında çalıştırılması gerekmektedir.

Yüksek basınçlar, hayvanın meme başı ucunda deformasyona sebep olabilmekte ve hayvanı strese sokabilmektedir. Bu yüzden sağım platformu zemininden aşağıya kurulan alçak süt hatlı sağım tesislerinde yaklaşık 42-44 kPa işletme vakum basınçları tercih edilmelidir.

Çizelge 9. Pompaların deniz seviyesinde farklı vakum basınçlarında sağım yapabileceği maksimum sağım ünitesi sayısı

Vakum basıncı, kPa	Sağım ünitesi sayısı			
	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4
42	8	20	30	34
44	7	19	27	31
46	6	17	24	27
48	5	15	21	24
50	4	13	19	21

## Sonuç

Çalışmada vakum pompalarının farklı vakum basınçlarındaki sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Vakum pompalarının 42-50 kPa basınç aralıklarındaki motor ve pompa devirleri ile yağ tüketimlerinde herhangi bir değişme olmamıştır. Diğer taraftan pompa tipleri arasında pompa devir sayısı ve yağ tüketimleri arasında istatiki olarak fark görülürken, motor devir sayısı ve maksimum pompa basınçlarında bir fark olmamış ( $P>0.05$ ).
- Pompalar içinde firmanın belirttiği kapasiteye 50 kPa basınçta VP-2 ve VP-3 tipi pompalar ulaşmıştır.
- VP-4 tipi pompanın devrinin artırılması, 42 kPa basınçta %16, 50 kPa basınçta ise %23 daha fazla oranda anma motor gücünün üzerinde güç tüketmiştir. Bu pompada kullanılan norm motor gücünün ya 5.5 kW'a çıkarılması ya da pompa yapısal kapasitesinin büyütülerek buna uygun motor seçilmesi önerilir.
- Tüm vakum basınçlarında en yüksek birim güç başına hava debilerini sırasıyla VP-3 ve VP-2 tipi pompalar sağlarken, bunları VP-4 ve VP-1 pompaları izlemiştir.
- Vakum pompalarının sistemden çektiği birim hava miktarına göre özgül enerji tüketimleri (Wh/L) hesaplandığında, 42 ve 50 kPa pompa basınçlarında en düşük özgül enerji tüketimi sırasıyla 0.030 ve 0.042 Wh/L ile VP-3 tipi pompada belirlenmiş, bunu sırasıyla VP-2, VP-4 ve VP-1 tipi pompalar izlemiştir.
- Tüm vakum basınçlarında, en düşük gürültü seviyesi VP-2 tipi pompada ölçülmüştür. Diğer üç pompanın gürültü seviyeleri birbirine yakın bulunmuştur.
- Vakum pompalarının deniz seviyesinde 50 kPa pompa basıncında sağım yapabileceği maksimum ünite sayısı VP-1 pompası için 4 adet iken, VP-2, VP-3 ve VP-4 pompaları için sırasıyla 13, 19 ve 21 adettir.

Süt sağım makinasının önemli elemanlarından olan ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan döner kanatlı tip vakum pompalarının farklı işletme basınçları için bu çalışmada elde edilen bulgular, vakum pompaları üzerinde çalışan araştırmacılara, üretici firmalara ve hayvancılıkla uğraşanlara yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

## Teşekkür

Çalışmadaki vakum pompalarında araştırma imkânı sağlayan Sezer Tarım ve Sağım Teknolojileri San. Tic. Ltd. Şti. yönetici ve çalışanlarına teşekkür ediyoruz.

## Kaynaklar

- Anonim, 2012. On vacuum pumps and milking machines. (<http://www.unitedvacuum.com/blog/>), (Erişim: 15.05.2018).
- Bilgen, H., Öz, H., 2006. Süt sağım makina ve tesislerinin standartlara uygun kontrolleri. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayınları No: 10, 77 s., İzmir.
- Billon, P., 2004. The designing of small and medium sized milking machines for dairy sheep. In: Proc, 10<sup>th</sup> Great Lakes Dairy Sheep Symposium, Eau Claire, Wisconsin, Nov. 4-6, 2004.
- Bray, D.R., 1996. Requirements of a milking system. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. (<http://edis.ifas.ufl.edu/>), (Erişim: 24.04.2018).
- Chilvers, R.A.H., Love, D.J., 1986. Measuring vacuum pump performance. Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association, 138-142.
- Mein, G.A., Bray, D.R., Collar, L.S., Johnson, A., Spencer, S.B., 1994. Sizing vacuum pumps for milking. National Mastitis Council, Proceedings of the 33<sup>th</sup> Annual Meeting: National Mastitis Council, 124-133.
- Mein, G.A., Bray, D.R., Brazil, L.H., Collar, L.S., Johnson, A.P., Spencer, S.B., 1995. Effective reserve and vacuum pump capacity for milking. Proceedings of the 34<sup>th</sup> Annual Meeting, TX.
- Nosal, D., Bilgery, E., 2004. Airborne noise, structure-borne sound and vacuum stability of milking systems. Czech Journal of Animal Science, 49(5): 226-230.
- Reinemann, D.J., Mein, G.A., Ruegg, P.L., 2001. Evaluating milking machine performance. In VII International Congress on Bovine Medicine, Oviedo, Asturias, Spain, June 29-July 1, 2001.
- Tan, J., Janni, K.A., Stelson, K.A., 1992. Mathematical modeling of milking machine vacuum systems. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 35(1): 327-332.
- TS ISO 5707, 2014. Süt Sağım Makina Tesisleri - Yapım ve Performans. Haziran 2014, TSE, 47 s. Ankara.
- TS ISO 6690, 2014. Süt Sağım Makina Tesisleri - Mekanik Deneyler. Haziran 2014, TSE, 34 s. Ankara.
- Ünal, H., 2013. Süt Sığırcılığında Mekanizasyon. Süttaş Süt Hayvancılığı Eğitim Merkezi. ISBN: 978-975-93554-4-9, Bursa, Sayı: 9, 73 s.