

## **BİYOGAZ ENERJİSİ DESTEKLİ MOTOR İLE ÇALIŞTIRILAN SÜT SOĞUTMA SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU**

**Halil ATALAY\*,Nevfel Yunus COŞKUN\*, M.Turhan ÇOBAN\*\***

\*Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü  
66200 Merkez, Yozgat, [halil.atalay@bozok.edu.tr](mailto:halil.atalay@bozok.edu.tr), [nevfelyunus.coskun@bozok.edu.tr](mailto:nevfelyunus.coskun@bozok.edu.tr)

\*\*Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü  
35100 Bornova, İzmir, [turhan.coban@yahoo.com](mailto:turhan.coban@yahoo.com)

**Özet:** Süt soğutma işlemi çiftlik ortamında gerçekleştirilen zor proseslerden biridir ve aynı zamanda önemli bir maliyet gerektirmektedir. Bu nedenden dolayı ciddi bir problem teşkil etmektedir. Çiftliklerde meydana gelen önemli problemlerden bir diğeri ise hayvan gübrelerinin kullanımınıdır. Çünkü bu gübrelerin yayacağı kötü kokuları önlemek için kullanılmadan önce üzerindeki metan gazını almak gerekir ki bu da ek bir işlemin oluşmasına neden olmaktadır. Bu ek proseslerden biri oluşan hayvan gübrelerinin havasız ortamda çürütülmesini sağlamaktır. Bu sayede biyogaz elde etmek mümkündür. Bu çalışmanın temel amacı, bir çiftlik ortamında meydana gelen hayvan gübresini tamamen havasız bir ortamda çürüterek biyogaz elde etmek ve oluşan bu gaz ile içten yanmalı bir motoru çalıştırmaktır. Böylece bu motordan alınacak güç ile bir soğutma sisteminin kompresörü çalıştırılabilir ve bu sayede süt soğutma işleminin hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca, içten yanmalı motordan çıkacak olan egzoz gazlarından ve soğutma sisteminin kondenserinden elde edilecek olan ısı enerjisinin kullanılması ile de biyogaz reaktörünün optimum sıcaklıklarda tutulması söz konusu olabilir. Böylelikle sistemin çalışması için gerekli olan enerji miktarının tamamı sistemin kendisi tarafından üretilebilir ve ihtiyaç olmadığı takdirde, ek bir enerji kaynağına gereksinim duyulmayabilir. Bu durumda çiftliklerde süt soğutma işleminin maliyetinin önemli ölçüde düşürülmesi sağlanabilir. Bu çalışmada böyle bir sistemin optimum dizayn parametrelerinin belirlenmesi için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Java programlama dili kullanılarak geliştirilen bu sistem modelleme çalışması ile biyogaz üretimi sırasında minimal ve maksimal metan verimi için gazların termodinamik özellikleri ve yanma verimlerinin hesaplanması, süt soğutma ünitesi ile ilgili soğutma yüklerinin belirlenmesi, sistem üzerinde kullanılacak olan soğutucu akışkanın ve soğutma çevriminin termodinamik ve termofiziksel özelliklerinin hesaplanması söz konusu olmaktadır. Böylece, geliştirilen bu simülasyon programı sayesinde sistem ile ilgili optimum çalışma parametreleri önemli ölçüde belirlenebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyogaz Enerjisi, Süt Soğutma İşlemi, Simülasyon Çalışması.

## **SIMULATION OF THE MILK COOLING SYSTEM OPERATED BY A BIOGAS ENERGY ASSISTED ENGINE**

**Abstract:** Milk cooling is one of the most difficult processes in the farm environment and also requires significant costs. Because of this cause, it constitutes a serious problem. Another important problem that occurs in farms is the use of animal manure. Because it is necessary to take the methane gas before it is used to prevent the bad odors that these fertilizers will emit. Since it has to remove the methane gas before it is used in order to prevent the bad odors emitted by these fertilizers, this causes an additional process to occur. One of these additional processes is to ensure that animal manure formed is decomposed in an airless environment. Thus, it is possible to obtain biogas. The main purpose of this study is to obtain biogas by decomposing animal manure which occurs in a farm environment in a completely airless medium and to start an internal combustion engine with this gas. Thus, with the power to be taken from this engine, the compressor of a refrigeration system can be operated and the milk cooling process can be performed quickly and efficiently. In addition, it may be possible to keep the biogas reactor at optimum temperatures by using the heat energy to be obtained from the exhaust gases from the internal combustion engine and the condenser of the cooling system. Thus, the entire amount of energy required for the operation of the system can be produced by the system itself, and no additional energy source may be required. In this case, the cost of milk cooling in farms can be significantly reduced. In this study, a simulation study was carried out to determine the optimum design parameters

of such a system. With this system modeling study developed using Java programming language, the thermodynamic properties and combustion efficiency of gases for minimal and maximum methane yield during biogas production is detected. In addition, the cooling loads related to the milk cooling unit, the thermodynamic and thermophysical properties of the refrigerant to be used on the system, and the cooling cycle are determined. Thus, thanks to this developed simulation program, optimum operating parameters related to the system can be determined significantly.

**Keywords:** Biogas Energy, Milk Cooling System, Simulation Study.

## GİRİŞ

Bu çalışma kapsamında geliştirilmesi planlanan sistem bir döngü halinde çalışacak olup öncelikli olarak hayvan artıklarından biyogaz elde edilerek bu gazın içten yanmalı bir gaz motorunu çalıştırması sağlanacaktır. Bir sonraki aşamada ise içten yanmalı gaz motorunun soğutma sisteminde yer alan kompresörün çalışması için gereken gücü sağlaması ve bu sayede çiftlik ortamında hayvandan sağılan yaklaşık 36 °C sıcaklığındaki sütün muhafaza edilebilmesi için ulusal ve uluslararası standartların öngördüğü süre çerçevesinde hızlı bir şekilde 3-4 °C sıcaklığa kadar soğutulması söz konusu olacaktır. Böylece herhangi bir dış enerji kaynağına gereksinim duyulmadan süt soğutma işlemi gerçekleştirilecektir.

Bu çalışmada geliştirilecek sistem ile ilgili iki önemli kriter ön plana çıkmaktadır. Bu kriterler, sırasıyla biyogaz üretimi ve süt soğutma işlemidir. Literatürde hem biyogaz üretimi hem de süt soğutma sistemine yönelik yapılan simülasyon çalışmalarından bazılarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

Berglund vd., Enerji dengelerini, 8 farklı hammaddeye dayanan biyogaz sistemleri ile analiz etmişler ve biyogaz üretiminin yaşam döngüsü içindeki enerji performansını değerlendirmişlerdir. İsviçre koşullarında gerçekleştirmiş oldukları bu analizler sonucunda, biyogaz sistemlerine yapılan enerji girdisinin, üretilen biyogaz içerisindeki enerji içeriğinin %20-40'ına (ortalama olarak yaklaşık %30) karşılık geldiğini tespit etmişlerdir.

Börjesson vd., yakıt çevrimi emisyonları için biyogaz sistemlerinin çevresel sistem analizini yapmışlardır. Analizler İsviçre koşulları baz alınarak gerçekleştirilmiştir. İncelemiş oldukları yakıt döngüsü emisyon seviyeleri açısından biyogaz sistemleri arasında büyük farklılıklar gösterdiğini ve sindirilen hammaddelerin özelliklerinden, biyogaz üretiminin enerji verimliliğinden ve son kullanım teknolojisinden durumundan önemli ölçüde etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

Murphy vd., değişik su ve enerji tüketimi ile hızlı süt soğutma kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Değişken akış sağım makinesine bağlı hızlı süt soğutma tesisi için bir kontrol sistemi sunmuşlardır. İlk denetleyicinin ayar noktası olarak, istenilen süt ön soğutma sıcaklığını kabul etmişlerdir. Son süt sıcaklığı olarak sekiz farklı ön soğutma set değerini (13 °C - 20 °C) almışlardır. Geliştirmiş oldukları bu sistem ile daha az güç

tüketimine sahip süt soğutma işlemi gerçekleştirmişler ve sistemde kullanılan ideal su oranını %34,5 olarak belirlemişlerdir.

Platowsky vd., süt soğutma amacıyla bir monometilamin-su güneş soğurucu soğutma sisteminin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Yapılan çalışmada, Meksika'nın kırsal bölgelerinde süt soğutma amacıyla güneşle çalışan bir monometilamin-su tek aşamalı absorpsiyonlu soğutma çevriminin uygulanabilirliği ve teorik termodinamik simülasyonunu gerçekleştirilmiştir. Güneş sisteminin yıllık dinamik davranışının simülasyonu, yarı tropik bölgelerdeki tipik Meksika süt çiftliklerinin güneş radyasyon ve iklim verilerine göre belirlenmiştir.

Toledo vd., PV uygulamaları için buz depolamalı küçük bir süt soğutma sisteminin performans karakterizasyonu araştırmıştır. Yapmış oldukları bu çalışmada, PV uygulamaları için küçük bir çiftlik içi süt soğutma sisteminin geçici performansını tahmin etmek için bir hesaplama yöntemi önermişlerdir. Sistemde, geleneksel 20 L süt kutularında 17 L sütün hızlı soğutma için 3 kg buz kullanmışlardır. Bir soğutma olayı sırasında süt sıcaklığı ve enerji tüketiminin gelişimi, 20 °C, 30 °C ve 40 °C' lik farklı ortam sıcaklıklarında deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel verilerle ısıl dirençlerin ve COP değerlerinin ayarlandığı bir hesaplama modeli geliştirilmiştir. 20 °C ve 40 °C çevre sıcaklığı arasındaki sonuçlar COP düşüşünü yaklaşık %30 ve günlük toplam enerji tüketimini yaklaşık %100 oranında artırmıştır.

Alvares ve Trepp, su-amonyak absorpsiyonlu güneş enerjili soğutma sisteminin matematiksel olarak sistem optimizasyonu üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu modelleme çalışması ile Brezilya'daki süt çiftliklerinde soğutma işlemi günde iki kez sağımı yapılan sütün kalitesini korumak için hızlı ve alternatif enerjiyle gerçekleştirmeyi hedeflemişlerdir.

Yılmaz ve Atık yapay sinir ağı kullanılarak değişken soğutma kapasiteli bir mekanik soğutma sisteminin modellenme çalışmasını yapmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak çeşitli soğutma kapasitelerinde sistemin güç tüketimi, ısıl verimi, performans katsayısı (COP) teorik olarak tahmin edilmiştir. Elde edilen performans değerleri, bu işlem için tasarlanan Yapay sinir ağlarının (YSA) oluşturulmasında kullanılmıştır.

Yılmaz vd. yapmış oldukları çalışmada kök, gövde, yaprak ve meyve içeren domates ve biber bitkisi hasat



Anaerobik reaksiyonlar sonucunda elde edilecek olan biyogaz enerjisinin hem süt soğutma işlemi için kullanılması hem de çiftliğin diğer enerji ihtiyaçlarını da karşılayabilmesi öngörülmektedir. Biyogaz reaktörüne giren hayvansal atık üzerinden sadece metan vb. gazların alınması söz konusu olacağı için bu gübrenin fazla bir kayba uğramadan yine tarıma verilmesi sağlanacak ve böylelikle çiftlik ortamı içerisinde yeniden kullanılması söz konusu olacaktır. Ayrıca, gübre üzerinden metan vb. gazlar alınacağı için kalan gübrenin tarıma verilmesi durumunda herhangi bir koku ve bu nedenden dolayı sinek oluşumu gibi kırsal kesimin önemli bir sorunun da önüne geçilmiş olacak ve böylelikle çevreye olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen simülasyon modelinin temel hedefi, geliştirilmesi planlanan sisteme yönelik temel tasarım ve çalışma parametrelerini ortaya koymak ve elde edilecek optimum çözümlere göre bağımlı değişkenleri belirlemektir. Bu bağlamda ilk olarak geliştirilecek sisteme yönelik bağımsız ve bağımlı değişkenler tanımlanacaktır. Sistemdeki temel bağımsız değişkenler olarak sıcaklık, süt miktarı, biyogazın elde edileceği hayvansal atık miktarı ve çıkan biyogaz miktarı ele alınabilir. Bu amaç doğrultusunda öncelikli olarak temel bağımlı değişken olan hayvan gübresinden elde edilecek biyogazın gerçek anlamda verebileceği ısı enerjisi miktarı belirlenmeye çalışılacaktır. Biyogaz formül olarak çok fazla değişiklik gösterdiği için minimal ve maksimal metan verimi üzerinden iki ayrı gaz formülü kabul edilerek bu gazların yanma enerjileri karşılaştırılacaktır.

Anaerobik reaksiyon sonucunda oluşan biyogaz metan açısından zengin bir gaz karışımıdır. Tipik biyogaz karışım bileşenleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de de görüleceği üzere biyogaz girdi kalitesi ve reaksiyon sıcaklığına göre karışım olarak oldukça değişebilir bir mahiyet göstermektedir. Anaerobik fermantasyon 30 °C ile 700 °C sıcaklık aralığında gerçekleşebilmektedir[9]. Sıcaklığın artışıyla fermantasyon süresi kısalmıştır[10]. Anaerobik fermantasyonda bekleme süresine, atık su ve atık mikroorganizmalar topluluğunun yapısına göre 3 değişik sıcaklık bölgesinin varlığı ortaya çıkmaktadır.

1. Psikrofilik Fermantasyon (3-200 °C): Bu sistemlerde çürütme hızı çok yavaş olup ortalama bekleme süresi 100-300 gün arasındadır.
2. Mezofilik Fermantasyon (20-400 °C): Anaerobik fermantasyonda en çok uygulanan sıcaklık bölgesidir. Bekleme süreleri 20-40 gün arasında değişmektedir.
3. Termofilik Fermantasyon (40-700 °C): Çürütme hızı daha yüksek dolayısıyla çürütme süresi daha kısa olan fermantasyon şeklidir. Ortalama bekleme süreleri 10-16 gün arasında değişmektedir [9-11].

**Tablo 1.** Biyogazın Bileşenleri

Bileşenler	%
Metan (CH <sub>4</sub> )	50-75
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	25-45
Su Buharı(H <sub>2</sub> O)	2-7
Diğer Gazlar	<1

Mezofilik reaktörler en çok tercih edilen reaktör türleridir. Termofilik reaktörler ise daha yüksek ısı gereksinimlerinden dolayı daha az tercih edilmekle birlikte daha yüksek gaz çıktısı vermeleri sebebiyle kullanımları yaygın hale gelmektedir. Mezofilik reaktörün optimum sıcaklığı 37-380 °C, termofilik reaktörün optimum sıcaklığı ise 62-630 °C'dir. Proje kapsamında geliştirilecek olan bu çalışmada mezofilik reaktör kullanılması planlanmaktadır ve simülasyon çalışması da bu doğrultuda gerçekleştirilecektir. Bu tür bir reaktörde ortalama bekleme süresi 30 gündür. Reaksiyon sıcaklığının 370 °C olarak alınması düşünülmektedir. Biyogaz anaerobik fermantasyon prosesinin bir bilgisayar modeli oluşturularak (ısı+kütle transferi+biyokimyasal proses) çıkan gazın ve gübrenin karakterizasyonu belirlenmeye çalışılacaktır.

Bu amaç doğrultusunda biyogaz reaktörü ve içten yanmalı gaz motoru için basit bir ön yazılım geliştirilerek bu sistemlerin verimliliğinin ne olacağı konusunda bir öngöründe bulunulmaya çalışılmıştır. Projenin gerçekleştirileceği çiftlik ortamı hali hazırda 84 büyükbaş hayvan kapasitesine sahiptir ve toplam kapasitesi ise 300 büyükbaş hayvandır. Hayvanların günlük süt üretim kapasitesi ise ortalama 1500 Lt'dir. Hayvanların her biri ortalama 43 kg gübre oluşturmaktadır. Bu gübreden en iyi verimi alabilmek için diğer zirai atıklar, bitki atıkları, hayvanların altına serilen saman vb. diğer materyaller de reaktör girdisi olarak kullanılabilirliği için toplam girdi miktarının hayvan başına ortalama 45 kg olduğu varsayılmıştır. Standartlara göre 1 kg gübre başına gaz veriminin 18 m<sup>3</sup> olduğu göz önüne alındığında hayvan başına bu değer 810 m<sup>3</sup> /gün olacağı sonucu ortaya çıkmış ve hesaplamalar bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Bu ön simülasyon programında kullanılan minimal ve maksimal yaklaşım için gaz karışım değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Ön simülasyon çalışması için kullanılan biyogaz kompozisyonları

Yanma Gazları	Minimal Kompozisyon (kmol)	Maksimal Kompozisyon (kmol)
CH <sub>4</sub>	0.4	0.637
CO <sub>2</sub>	0.48	0.3
H <sub>2</sub>	0.1	0.05
N <sub>2</sub>	0.017	0.01
H <sub>2</sub> O	0.003	0.003

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan ön analiz çalışmasında 2.5 kW enerji eşdeğerinin çıktığı kabul edilmiştir. 2.5 kW'lık bu enerji değerinin 0.5 kW'lık kısmı içten yanmalı motor çıkışı, 1.5 kW'lık kısmı ısı enerjisi çıkışı ve 0.5 kW'lık kısmı ise enerji kaybı ve tersinmezliklerden oluşan kayıplar olarak alınmıştır. Biyogaz formül olarak çok fazla değişim gösterdiği için minimal ve maksimal metan verimi üzerinden iki ayrı formül kabul edilerek yanma enerjileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmadan yola çıkılarak yanma verimini hesaplayan bir ön simülasyon programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelleme çalışmasında minimal metan verimlerine için girdi değerleri ve çıktı değerleri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Benzer şekilde maksimal metan verimine yönelik girdi ve çıktı değerleri de sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Bu yazılım sonucunda minimal ve maksimal yaklaşım için hacimsel yakıt debisinin sırasıyla 0.635 Nm<sup>3</sup>/h ve 0.416 Nm<sup>3</sup>/h olabileceği tespit edilmiştir. Buna ek olarak, içten yanmalı gaz motorundan çıkacak egzoz gazlarının ısısından yararlanmak için hava- egzoz gazı ısı değiştiricisi yardımıyla elde edilecek ısı reaktör sıcaklığını muhafaza etmek için kullanılacaktır. Benzer şekilde soğutma sisteminin kondenserinden atılan ısıdan da su soğutmalı ısı değiştiricisi sayesinde reaktör cidar sıcaklığını korumak için yararlanılacaktır. Bu ısı değiştiriciler sayesinde sistemde oluşacak atık ısının

%50-60 oranında geri kazanılması söz konusu olacaktır. Böylelikle elde edilecek bu atık ısılarından yararlanılarak reaktörün sıcaklığının sabit tutulması sağlanacak ve sistemin çalışması için ek enerji kaynağının kullanılmasına gereksinim duyulmayacaktır.

Minimal ve maksimal yaklaşımda 1 kmol yakıt için açığa çıkan ısı enerjisi miktarları ise sırasıyla 19844.7 kJ/kg CH<sub>4</sub> ve 30252.9 kJ/kg CH<sub>4</sub> olarak hesaplanmıştır. Buna göre reaktör hacmi toplam gübre miktarı, büyükbaş hayvan sayısı, biyogaz bakterilerinin oluşum süresi (maksimum 30 gün) dikkate alınarak 171 m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Fakat reaktör içinde karıştırıcı ve ısıtıcı gibi elemanların ekleneceği göz önüne alındığında reaktör hacmi 200 m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Modern içten yanmalı motorlar, kimyasal reaksiyonla elde edilen enerji miktarının yaklaşık %20'si kadar enerji elde edebilmektedir. Bu durumda içten yanmalı motordaki enerji miktarı değerleri minimal ve maksimal yaklaşım için sırasıyla 3968.94 kJ/kg ve 6050.58 kJ/kg olarak belirlenmiştir. Bu durumda minimal ve maksimal yaklaşım için harcanan metan gazı miktarları ise sırasıyla 1.26x10<sup>-3</sup> kg/s ve 8.26x10<sup>-4</sup> kg/s olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, geliştirilecek bu sistemden yüksek verim elde edebilmek için yaklaşık 5 kW gücünde içten yanmalı gaz motorunun kullanılması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Yakıt karışımındaki gazın ismi	Yakıt karışımındaki gazın mol miktarı	mol % değeri
ch4	0.4	0.4
co2	0.48	0.48
h2	0.1	0.1
n2	0.017	0.017
h2o	0.003	0.003

Kazan verim analizi girdi sayfası

yakıt sıcaklığı, Tyakıt: 298.0 derece K

hava sıcaklığı, Thava: 298.0 derece K

Eksoz gazları sıcaklığı, Teksoz: 460.5 derece K

hava fazlalık katsayısı: 1.08 0.1..

istenilen kazan ısı çıktısı: 2.5 KW

Üst ısı değer ? Üst ısı değer

Kazan verimini hesaplamak için basınız

Şekil 2. Minimal metan verimi için girdi değerleri

ULIBTK'21 23. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi  
08-10 Eylül 2021, GAZİANTEP

Kazan verimi

giriş paneli | çıktı paneli

1 kmol yakıt için ısı enerjisi çıktısı Q=-317515.30881343636 KJ/kmol yakıt  
Yakıtın ısı değeri Q\_maksimum =-322002.18053713004 KJ/kmol yakıt  
kazan verimi Q/Qmaksimum= 0.9860657101259093  
Yakıt giriş sıcaklığı = 298.0 derece K  
Hava giriş sıcaklığı = 298.0 derece K  
Baca çıkış sıcaklığı = 460.5 derece K  
hava fazlalık katsayısı = 1.08  
istenilen ısı çıktı = 2.5 kW = 2149.51038925kCal/saat  
hacimsel yakıt debisi = 0.6353288401066481 Nm<sup>3</sup>/h  
kütlesel yakıt debisi = 0.8014122656035912 kg/h  
yakıtın molekül ağırlığı= 28.273407kg/kmol  
hacimsel tam hava yanma hava debisi = 2.5715691147173856Nm<sup>3</sup>/h  
oransal tam yanma oksijen katsayısı = 0.850000000000002kmol/kmol yakıt  
hacimsel gerçek yanma hava debisi = 2.7772946438947765 Nm<sup>3</sup>/h  
oransal gerçek yanma oksijen katsayısı = 0.9180000000000001kmol/kmol yakıt  
hava /yakıt oranı = 4.4606385999799345 kg hava/kg yakıt  
hava /yakıt oranı = 4.371428571428572kmol air/kmol fuel  
Adyabatik alev sıcaklığı= 2000.2885183481428 derece K Su yoğunlaşma sıcaklığı = 329.98307028948983 derece K = 56.833070289489854 derece C =  
Yakıt :  
ch4 0.4 0.4  
co2 0.48 0.48  
h2 0.1 0.1  
n2 0.017 0.017  
h2o 0.003 0.003  
Hava :  
o2 0.9180000000000001 0.21000000000000002  
n2 3.4534285714285717 0.79  
Baca gazı :  
Baca gazı su yoğunlaşma sıcaklığı : 329.98307028948983derece K =56.833070289489854derece C  
Baca gazı su kısmi basıncı : 0.1719396845637584 bar  
co2 0.88 0.16536912751677854  
h2o 0.903 0.16969127516778526  
so2 0.0 0.0  
n2 3.4704285714285716 0.6521610738255035  
o2 0.06800000000000006 0.012778523489932898  
Kuru Baca gazı :  
co2 0.88 0.1991658314203498  
so2 0.0 0.0  
n2 3.4704285714285716 0.7854440816062593  
o2 0.06800000000000006 0.01539008697339068  
Yanma denklemi :  
0.4\*ch4 + 0.48\*co2 + 0.1\*h2 + 0.017\*n2 + 0.003\*h2o + 0.9180000000000001\*( o2 + 3.7619047619047614\*n2 ) --->  
0.88\*co2 + 0.903\*h2o + 3.4704285714285716\*n2 + 0.06800000000000006\*o2

Şekil 3. Minimal metan verimi için çıktı değerleri

Kazan verimi

giriş paneli | çıktı paneli

Yakıt karışımındaki gazın ismi	Yakıt karışımındaki gazın mol miktarı	mol % değeri
ch4	0.637	0.637
co2	0.3	0.3
h2	0.05	0.05
n2	0.01	0.01
h2o	0.003	0.003

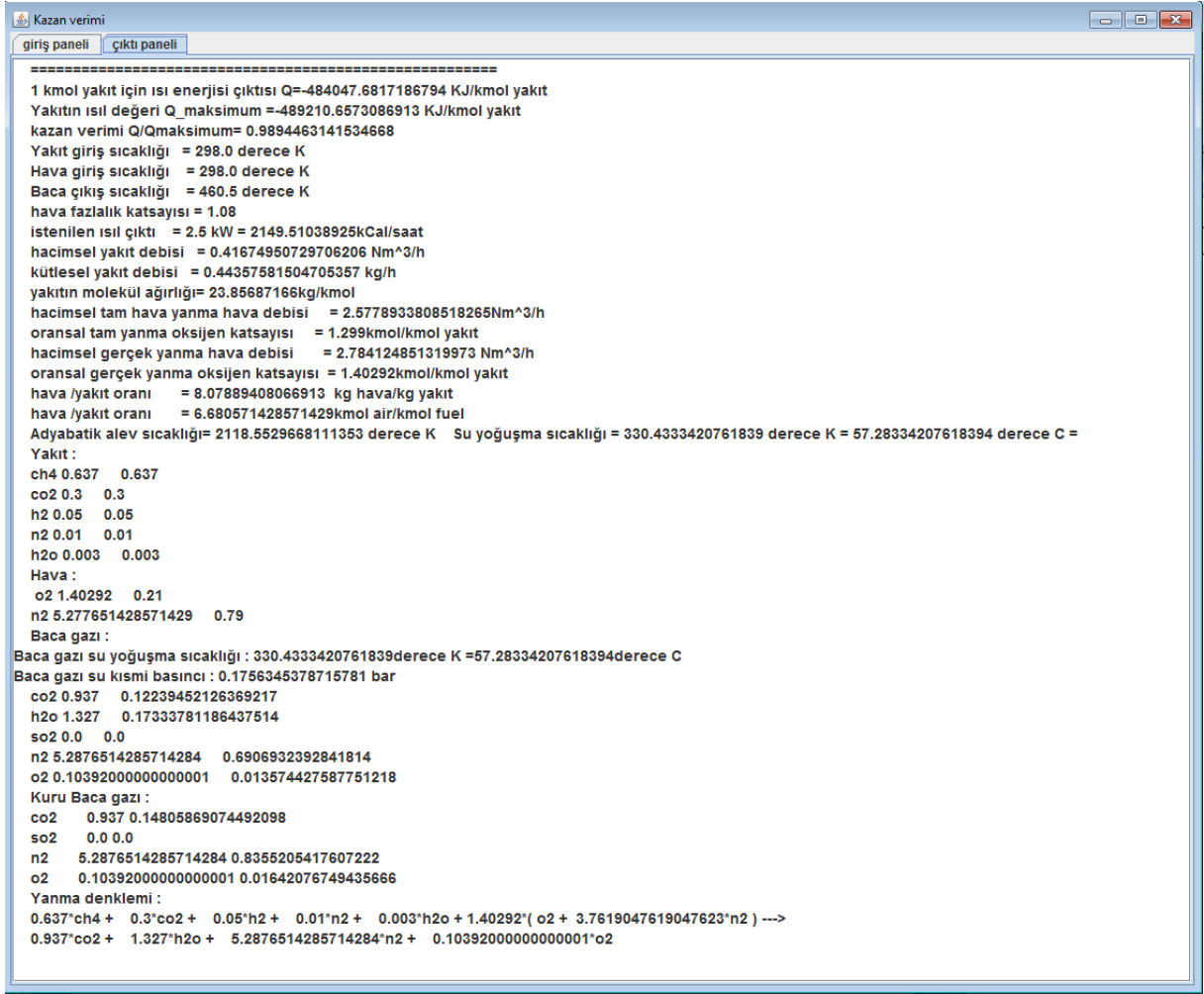
Kazan verim analizi girdi sayfası

yakıt sıcaklığı, Tyakıt	298.0	derece K
hava sıcaklığı, Thava	298.0	derece K
Eksoz gazları sıcaklığı, Teksoz	460.5	derece K
hava fazlalık katsayısı	1.08	0..1..
istenilen kazan ısı çıktısı	2.5	KW

Üst ısı değer ? Üst ısı değer

Kazan verimini hesaplamak için basınız

Şekil 4. Maksimal metan verimi için girdi değerleri



Şekil 5. Maksimal metan verimi için çıktı değerleri

Şekil 1’de verilen sistem akış şeması göz önüne alınarak ve hesaplanan veriler girdi verileriyle birleştirilerek süt soğutma sisteminin enerji potansiyeli irdelenebilir. Buna göre öncelikli olarak süt soğutma sistemine yönelik parametrelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için de Eş. [1-6] ‘da verilen genel enerji denklemleri kullanılarak bir ön yazılım çalışması geliştirilmiş ve soğutma sistemi ve süt soğutma tankının kapasiteleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Enerji analizi için sistemi oluşturacak her bir bileşene ait sıcaklık ve basınç değerleri belirlenmiştir. Yapılan analizlerde, soğutma sisteminin buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminden oluşması ve bu çevrimde R134a soğutucu akışkanının kullanılması düşünülmüştür. Soğutma çevrimi analizi sonuçlarına göre kompresör veriminin %80 ve kompresör gücünün ise yaklaşık 2,5 kW olması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, buharlaştırıcı ve yoğuşurucu ise gereken güç ve COP değerleri ise sırasıyla 10 kW ve 4,00 ile 12.1 kW ve 4.86 olarak belirlenmiştir. Sistemde yoğuşurucu, buharlaştırıcı ve hava-egzoz gazı ısı değiştiricisine adapte edilerek kullanılması planlanan sirkülasyon pompalarının kapasiteleri ise sırasıyla 40 m<sup>3</sup>/h, 40 m<sup>3</sup>/h, ve 35 m<sup>3</sup>/h olarak tespit edilmiştir. Bu durumda 1000 Lt süt soğutma kapasitesine sahip bir süt soğutma tankının reductör ve fan güçlerini de hesaba katılması sonucunda

yaklaşık 2.84 kW’lık bir güce ihtiyaç duyacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla bu durumda 5 kW gücünde bir jeneratörün süt soğutma sistemini çalıştırmak için yeterli olacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Süt soğutmada gerekli güç için hem süt sıcaklığını 36 °C’den 3-4 °C civarına düşürmek için gerekli soğutma yükü hem de tankta oluşabilecek ısı kayıplarının karşılanması için gerekli ek soğutma yükü baz alınmıştır. Ayrıca, geliştirilen bu simülasyon programları sayesinde gazların ve gaz karışımlarının termodinamik ve termodinamik özellikleri ile yanma veriminin hesaplanmasını sağlayan matematiksel modeller oluşturulmuştur. Bu modelleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar, soğutma çevriminin logP-h ve T-s diyagramları ise Şekil 6-8’de gösterilmiştir.

$$\dot{W}_{komp.} = \frac{\dot{m}(h_{2a} - h_1)}{\eta_c} \quad (1)$$

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{kond.} = \dot{m}(h_{2a} - h_3) \quad (3)$$

$$COP_{kond.} = \frac{\dot{Q}_{kond.}}{\dot{W}_{komp.}} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{eva.} = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (4)$$

$$COP_{eva.} = \frac{\dot{Q}_{eva.}}{\dot{W}_{Komp.}} \quad (6)$$

Soğutma Çevrimi

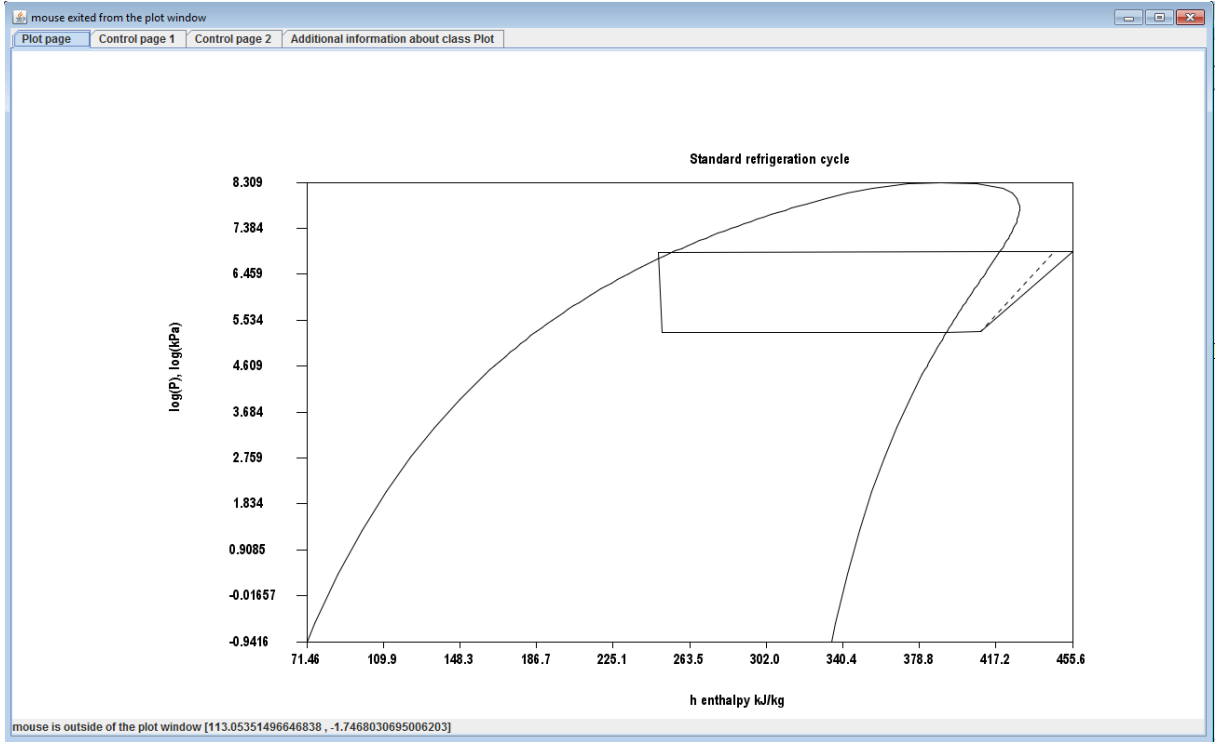
girdi sayfası çıktı sayfası

Soğutma sisteminin modellenmesi  
Dr. M. Turhan ÇOBAN, Dr. Halil ATALAY, Nevfel Yunus COŞKUN  
Ege Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Müh.  
Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak. Makina Müh.  
web : www.turhancoban.com

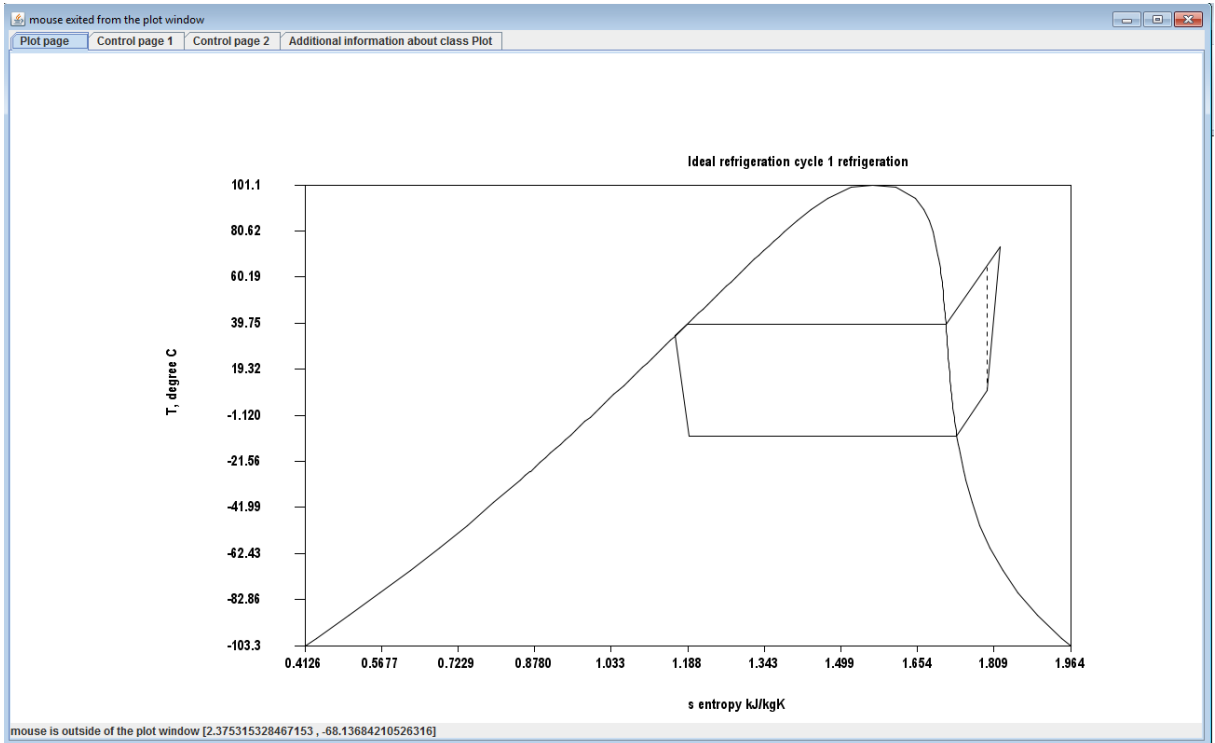
Özellik	Değer	Birim
Gaz ismi :	1,1,1,2-tetrafluoroethane CF3CH2F	
m :	0.06514179399904448	kg/s
W kompresör :	2.4965633537504464	kW
Q buharlaşma :	10.0	kW
Q yoğuşma :	12.127534270998446	kW
COP buharlaşma :	4.005506203148245	
COP yoğuşma :	4.857691375137721	
buharlaştırıcı çıkışı T1 :	3.8211808762441564	derece C
buharlaştırıcı çıkışı P1 :	312.62	kPa
buharlaştırıcı çıkışı h1 :	401.4698505265264	kJ/kg
kompresör çıkışı T2 :	49.0	derece C
kompresör çıkışı P2 :	886.9845154683112	kPa
kompresör çıkışı h2 :	432.1299008627154	kJ/kg
yoğuşturucu çıkışı T3 :	32.918666574293994	derece C
yoğuşturucu çıkışı P3 :	884.9845154683112	kPa
yoğuşturucu çıkışı h3 :	245.95857326347337	kJ/kg
genleşme vanası çıkışı T4 :	1.9589042009412299	derece C
genleşme vanası çıkışı P4 :	314.1603646075922	kPa
genleşme vanası çıkışı h4 :	247.95857326347337	kJ/kg
isentropik kompresör çıkışı T5 :	40.69067655952043	derece C
isentropik kompresör çıkışı P5 :	884.9845154683112	kPa
isentropik kompresör çıkışı h5 :	423.36361744546946	kJ/kg
yoğuşturucu doyma buhar x=1 T...	35.0	derece C
yoğuşturucu doyma buhar x=1 P...	886.9845154683112	kPa
yoğuşturucu doyma buhar x=1 h...	417.18755537546883	kJ/kg

Şekil 6. Soğutma çevrimi çıktı değerleri





Şekil 7. Soğutma çevrimi logP-h diyagramı



Şekil 8. Soğutma çevrimi T-s diyagramı

#### 4. SONUÇLAR

Geliştirilen bu modelleme çalışmasında ön analiz çalışmaları detaylı bir şekilde geliştirilerek sistemin tasarımı öncesinde optimum performans parametrelerinin net bir şekilde ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu simülasyon modelinde temel bağımlı değişken olan enerji çıkışının ne kadarının içten yanmalı

motor çıkışı, ne kadarının ısı enerji çıkışı olacağı ve ne kadarlık kısmının enerji kayıpları ve tersinmezlik sebebiyle oluşan kayıplara gideceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda geliştirilen bu modelleme çalışmasında minimal ve maksimal yaklaşım için biyogaz enerjisi gereksinim miktarlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda soğutma sistemi ile ilgili

optimum parametrelerin belirlenmesi açısından da önemli katkı sağladığı açıkça görülmektedir. Modelleme çalışmasından elde edilen sonuçlar ilerleyen aşamalarda deneysel verilerle karşılaştırılacaktır. Ayrıca hem simülasyon çalışmasından hem de deneysel çalışmalardan elde edilecek sonuçlar istatistiksel açıdan da Varyans Analizi kullanılarak değerlendirilecek ve uyumluluk dereceleri tespit edilecektir.

Simülasyon çalışmasının sonuçları, bir süt üretim çiftliğinde sütün soğutulmasının tamamen hayvan gübresinden elde edilen biyogaz enerjisi ile sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Sütün soğutulmasının yanı sıra çiftliğin diğer kullanımları için de gerekli enerjiyi bu şekilde sağlayabilmek söz konusu olacaktır. Bu tür çalışmalar hem kırsal kesimin kalkınmasına önemli katkı sağlayacak hem de süt soğutma sistemleri ile ilgili yeni bir teknolojinin ülkemize kazandırılmasına vesile olacaktır. Aynı zamanda kaliteli ve pompalarla araziye verilerek katı gübreye göre çok daha rahat kullanılacak tarımsal gübre sağladığı için suni gübre kullanımı azaltılarak ve gübrenin çürütülmesi sırasında atmosfere karışan metanı da yok ederek çevreye olumlu katkıda bulunacaktır.

## SEMBOLLER

$COP_{eva.}$	Evaporatör etkinlik katsayısı
$COP_{kond.}$	Kondenser etkinlik katsayısı
$h_{2a}$	Gerçek nokta entalpi değeri [kJ/kg]
$h_{2s}$	İzantropik nokta entalpi değeri [kJ/kg]
$\dot{m}$	Kütle debisi [kg/s]
$\dot{Q}_{kond.}$	Kondenser gücü [kW]
$\dot{Q}_{eva.}$	Evaporatör gücü [kW]
$W_{komp.}$	Kompresör gücü [kW]
$\eta_c$	Kompresör izantropik verimi

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 3501 Kariyer Geliştirme Programı kapsamında desteklenmektedir. Katkılarından dolayı TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç biliriz.

## KAYNAKÇA

Alvares, S., G., & Trepp, C., 1987, Simulation of a solar driven aqua-ammonia absorption refrigeration system Part 2: viability for milk cooling at remote Brazilian

dairy farms, International Journal of Refrigeration, 10(2), 70-76.

Anon. 1999, Biogas Digest Volume I- Biogas Basics, Information and Advisory Service on Appropriate Technology.

Berglund, M., Börjesson, P., 2006, Assessment of Energy Performance in The Life- Cycle Biogas Production, Biomass & Bioenergy, 30,254-266.

Börjesson, P., Berglund, M., 2006, "Environmental System Analysis of Biogas Systems- Part I: Fuel Cell Emissions." Biomass & Bioenergy, 30,469-485.

Murphy, M., D., Upton, J., O., Mohony, M., J., 2013, Rapid Milk Cooling Control with Varying Water and Energy Consumption, Biosystems Engineering.116,15-22.

Pekin, B., 1983, Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji)", Ege Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları, No:3, İzmir, sayfa: 368-385.

Platowsky, I., Rivera, W., Romero, J., R., 2004, Performance Evaluation of a Monomethylamine- Water Solar Absorption Refrigeration System for Milk Cooling Purposes, Applied Thermal Engineering. 24,1103-1115.

Rajeshwari, K., V., Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K., Kishore, V.V.N. 2000, State-of-Art of Anaerobic Digestion Technology for Industrial Wastewater Treatment, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4, sayfa: 135-156.

Toledo, V.T., Meissner, K. Coronas, A., Müller, J. 2015, Performance Characterization of a Small Milk Cooling System with Ice Storage for PV Applications, International Journal of Refrigeration. 60, 81-91.

Yılmaz, F., Ünşar, E., K., Akman, H., E., Perendeci, N., A., & Yaldiz, O., 2018, Büyükbaş Hayvan Atıkları ile Sera Hasat Atıklarından Biyogaz Üretimi ve Birlikte Anaerobik Parçalanma Prosesinin Modellenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 28(1), 62-69.

Yılmaz, S., & Atik, K., 2007, Modeling of a mechanical cooling system with variable cooling capacity by using artificial neural network, Applied Thermal Engineering, 27(13), 2308-2313.