

# LPG DEPOLAMA TANKLARININ GAZ VERME KAPASİTELERİNİN İNCELENMESİ

Fehmi AKGÜN

## 1. ÖZET

Sunulan çalışmada, LPG depolama tanklarının gaz verme kapasitelerinin belirlenmesi amacıyla yönelik zamana bağlı ve sürekli rejim durumları için çözümlenmeye imkan veren bir model geliştirilmiştir. Modelde, kütle ve enerjinin korunumu ilkeleri dikkate alınarak, seçilen küçük zaman aralıklarında düzgün akışlı dengeli açık sistem yaklaşımı uygulanmıştır. Modelde dış ortam sıcaklığı, tankın doluluk oranı ve büyüklüğü değişken olarak dikkate alınmış ve bu parametrelerin tankın gaz verme kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Böylece, bilinen parametrelere bağlı en kötü halde sağlanabilecek gaz debisi veya bunun tersi olarak istenen debiyi sağlayacak parametrelerin ne olması gerektiği araştırılmıştır.

## 2. GİRİŞ

Günümüzde doğal gazın mevcut olmadığı yerlerde LPG'nin (sıvılaştırılmış petrol gazı) kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. LPG tank içerisinde belli bir basınç altında doymuş sıvı-buhar karışımı halinde bulunmaktadır. Buhar fazındaki LPG, enerji ihtiyacına göre değişen debide ve belli bir basınç altında kullanım yerine sevk edilmektedir. LPG'nin buharlaşması için gerekli enerji ya doğal olarak dış ortamdan sağlanmakta veya bir ısıtıcıdan (gaz tüketim miktarı yüksek ise) elde edilmektedir [1]. Tank içerisindeki LPG'yi buharlaştırmak için değişik tipte ısıtıcılar (sıcak su, sıcak hava, atık gaz, buhar veya elektrik tüketen sistemler gibi) kullanılmaktadır. Ancak, ısıtıcı kullanmak gerek ilk yatırım ve gerekse işletme açısından ek bir maliyet oluşturmaktadır. Bir LPG tankının seçiminde, maliyet, dolum periyodu, anlık gaz tüketim miktarı ve dolum tesisine olan uzaklık gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak, ısıtıcı kullanımına gerek duymayacak tank boyutunun seçimi işletme maliyeti açısından birinci derecede önem arz etmektedir. Çünkü, Tablo 1'de görüleceği üzere, 150 kPa basınç altındaki bir ton doymuş sıvı propanı bir elektrikli ısıtıcı yardımı ile buharlaştırmanın parasal bedeli 8.2 USD'na eşittir. Propan fiyatının bu maliyete oranı ise %3.3 civarındadır.

Buharlaşma için gerekli enerjinin dış ortamdan elde edilmesi tamamen tank ve dış ortam arasındaki ısı transferi ile ilişkilidir. Dolayısı ile bir tankın gaz verme kapasitesi tank içerisindeki akışkan sıcaklığına, dış ortam sıcaklığına, ısı geçiş yüzey alanına ve bu iki ortam arasındaki ısı geçişi parametrelerine bağlıdır.

Bir tankın gaz vermesi esnasında, tank içerisindeki karışımın kütlesi ve sahip olduğu enerjisi zamana bağlı olarak azalmaktadır. Diğer yandan gaz ihtiyacı sürekli olmak yerine, çoğu kere kesintili olmaktadır (günlük ihtiyacın sekiz saat olması gibi). Bu nedenle, birim zamanda olan değişimler yerine belirli bir zaman aralığı içerisindeki değişimler çok daha önemlidir.

Geliştirilen bilgisayar programı ile propan ve butan veya bunların değişik oranlardaki karışımlarını içeren tankların doğal buharlaşma şartlarındaki gaz verme kapasiteleri zamana bağlı ve sürekli rejim halleri için incelenebilmektedir. Kapasiteyi birçok değişik parametre etkilemektedir. Ancak tank boyutu (hacim ve yüzey alanı olarak), tankın doluluk oranı, dış ortam sıcaklığı, karışım oranı gibi parametreler daha etkindir. Uygulama açısından da daha önemli olan söz konusu bu parametreler, çözümlenelerde değişken olarak ele alınarak incelenmiştir.

**Tablo 1.** Elektrikli ısıtıcının işletme maliyeti değerleri

Propanın ısıl değeri, MJ/ton	46465
Parasal değeri, USD/ton	250
Buharlaştırma için gerek duyulan enerji (0 °C'de), MJ/ton	379.5
Elektrik enerjisi fiyatı, USD/MJ	0.02
Isıtıcıda harcanan elektrik enerjisinin toplam fiyatı*, USD/ton	8.2
Isıtıcıda buharlaştırma maliyetinin propan bedeline oranı, %	3.3

\* :Isıtıcı için %90 ısı verim kabulü yapılmıştır.

### 3. TEORİK MODELLEME

Burada sunulan tüm bağıntılar, propan-bütan karışımları örneğinde olduğu gibi iki akışkanın sıvı/buhar fazı halinde bulunduğu karışım durumları için verilmiştir. Ancak, eşitliklerin tek akışkan hali için de geçerli olacağı açıktır.

#### 3.1. Karışımın Faz Dengesi

Farklı buharlaşma basınçları olan sıvıların bir kap içerisindeki karışımının sıvı bileşimi ile buhar bileşimi birbirinden farklı olup, kaptan buhar çekildikçe sözkonusu bileşim oranları sürekli değişmektedir. Bu nedenle, sıvı ve buhardan oluşan bütan ve propan karışımında herbir bileşenin sıvı ve buhar fazında ne oranda bulunduğu tespit edilmesi gereklidir. Bu oranlara göre karışımın termodinamik özellikleri belirlenmektedir.

Tek bileşenli bir akışkanda buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklığı aynı olup, bu sıcaklık doyma sıcaklığı olarak adlandırılır. Çok bileşenli bir karışımında ise buharın yoğunlaşmaya başladığı sıcaklığa çığlenme sıcaklığı (dew point temperature), sıvının buharlaşmaya başladığı sıcaklığa ise buharlaşma sıcaklığı (bubble point temperature) denmektedir. Böylece yoğunlaşma, ilk önce daha az uçuculuk özelliğine sahip olan akışkanda başlamaktadır. Buharlaşma ise, yoğunlaşmanın aksine, öncelikle buharlaşma özelliği yüksek olan akışkanda başlar. Bu davranış faz denge diyagramları (phase equilibrium diagram) ile ifade edilmekte olup, iki bileşenli bir karışımın faz dengesi diagramı (T-X diyagramı) Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir [2]. Ayrıca, bileşenlerin sıvı ve buhar fazındaki molekül derişiklikleri ile ilgili bağıntılar (1) ve (2) nolu eşitliklerde verilmiştir.

$$X_A = \frac{N'_A}{N'} \quad X_B = \frac{N'_B}{N'} \quad N'_A + N'_B = N' \quad (1)$$

$$Y_A = \frac{N''_A}{N''} \quad Y_B = \frac{N''_B}{N''} \quad N''_A + N''_B = N'' \quad (2)$$

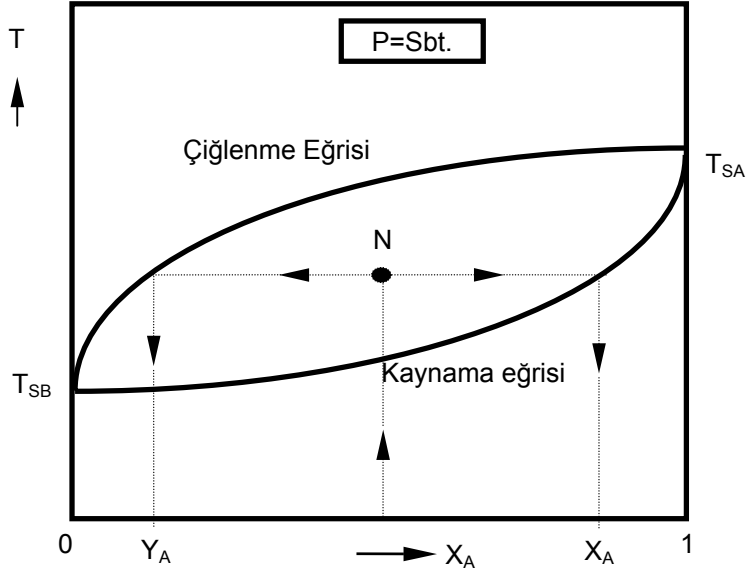
Molekül derişiklik bağıntılarını dikkate alınarak, aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$X_A + X_B = 1 \quad (3)$$

$$Y_A + Y_B = 1 \quad (4)$$

$$X_A P_{AS} = Y_A P \quad (5)$$

$$X_B P_{BS} = Y_B P \quad (6)$$



Şekil 1. Tank içerisindeki karışımın faz dengesi.

### 3.2. Karışımın İle İlgili Termo-Fiziksel Bağıntılar

Sıvı fazda bileşenlerin kütsel oranları biliniyor iken hacimsel oranları aşağıdaki eşitlikler ile bulunur.

$$w_{hp} = \frac{v_{sp} w_{mp}}{v_{sb} + (v_{sp} - v_{sb}) w_{mp}} \quad (7)$$

$$w_{hb} = 1 - w_{hp} \quad (8)$$

Karışımın sıvı yoğunluğu ve özgül hacmi ise,

$$\rho_{mixp}^s = \frac{w_{hp}}{v_{sp}} \quad (9)$$

$$\rho_{mixb}^s = \frac{w_{hb}}{v_{sb}} \text{ olmak üzere} \quad (10)$$

$$\rho_{mix}^s = \rho_{mixp}^s + \rho_{mixb}^s \quad \text{ve} \quad (11)$$

$$v_{mix}^s = \frac{1}{\rho_{mix}^s} \quad (12)$$

şeklindedir.

Buna göre sıvı fazdaki kütle miktarları:

$$m_{mixp}^s = \rho_{mixp}^s * V * \phi \quad (13)$$

$$m_{mixb}^s = \rho_{mixb}^s * V * \phi \quad (14)$$

Sıvı fazdaki 'i' bileşeninin molekülsel oranı ( $X_{mixi}$ ),

$$C_{mixi} = \frac{\rho_{mixi}^s}{M_i} \text{ olmak üzere} \quad (15)$$

$$X_{mixi} = \frac{C_{mixi}}{\sum C_{mixi}} \text{ şeklindedir.} \quad (16)$$

Sıvı ve buhar fazı toplam basınçları, sanki dengeli hal ve ideal gaz kabulleri altında birbirine eşittir. Buna göre sıvı fazda kısmi basınçlar;

$$P_{mixi}^s = X_i P_{si} \quad (17)$$

$$P_{mix}^s = \sum_{i=1}^2 P_{mixi}^s \quad (18)$$

Buhar fazında bileşenlerin mol oranları;

$$Y_{mixi} = \frac{P_{mixi}^s}{P_{mix}^s} X_{mixi} \quad (19)$$

şeklindedir.

### 3.3. Kütle ve Enerji Dengesi

Genel ifadeyle tank içerisindeki akışkan kütlelerinin zamana bağlı değişimi aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dm}{dt} + \sum \dot{m}_\zeta - \sum \dot{m}_g = 0 \quad (20)$$

$\dot{m}_g = 0$  olduğuna göre, ortalama gaz debisi:

$$\dot{m}_\zeta = \frac{m_1 - m_2}{\Delta t} \quad (21)$$

olur.

Buna göre  $\Delta t$  zaman aralığı için enerji dengesi:

$$\dot{Q} \Delta t = m_2 h_2 - m_1 h_1 - V(P_2 - P_1) + \dot{m}_\zeta \Delta t h_\zeta \quad (22)$$

Dış ortam ile tank içerisindeki akışkan arasındaki ısı geçişi ifadesi:

$$\dot{Q} = A K (T_o - T_d) \quad (23)$$

şeklindedir.

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gaz tüketiminin olmadığı belli bir zaman diliminde tank içerisindeki akışkan ile dış ortam arasında bir ısıl dengenin oluşacağı açıktır. Isıl dengenin olduğu andaki tankın iç basıncı, dış ortam sıcaklığına karşılık gelen doyma basıncına eşittir. Tanktan gaz alınmaya başlandığı andan itibaren denge bozulacak ve tank basıncı ile sıcaklığı zamana bağlı olarak azalacaktır. Bu azalma farklı basınç ve sıcaklık şartlarında yeni bir ısıl dengenin oluşması ile sona erecek ve bu noktada sürekli rejim hali meydana gelecektir. Sürekli rejim halinde tanktan alınan gaz debisi, denge şartları altında sabittir.

Ancak, şartların dengeye geldiği zaman dilimi, gazın kullanılma süresinden daha uzun olabilir. Bu durumda sürekli rejim halinden söz etmek mümkün değildir. Dolayısıyla, gaz ihtiyacının kesintili olması durumunda zamana bağlı çözümler önem kazanmaktadır.

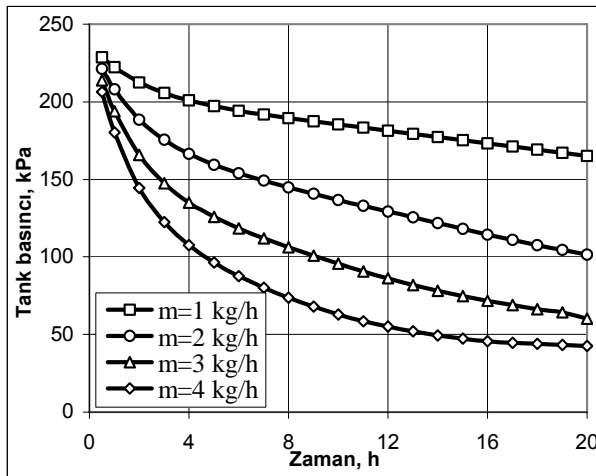
Tank içerisinde gaz fazında bulunan karışım belli bir basınç altında kullanım yerine sevk edilmektedir. Tesisattaki basınç düşümlerini de dikkate aldığımızda, tank basıncının 150 kPa'ın altına düşmemesi gerekmektedir. Yapılan çözümlerde, tank basıncı olarak söz konusu bu basınç değeri esas alınmıştır.

Şekil 2'de dış ortam sıcaklığının 0 °C ve tank doluluk oranının %20 olduğu 500 lt'lik bir tankta, farklı gaz debileri için elde edilen tank basıncının zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Sekiz saatlik tüketim süresi baz alındığında, bu tanktan en fazla 2 kg/h debide gaz alınabilmektedir. Daha yüksek debideki gaz, tank basıncının aşırı düşmesine neden olmaktadır.

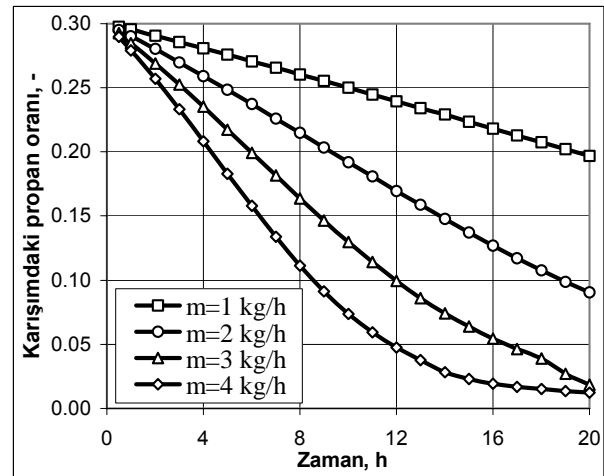
Ülkemizde ticari olarak satışı yapılan LPG, %30 propan ve %70 bütan'dan oluşmaktadır [3]. Yapılan çözümlerde ilk şartlar için sözü edilen bu oranlar sabit ve aynen alınmıştır. Ancak bu oranlar, propanın bütana göre buharlaşmaya daha fazla yatkın olmasından dolayı gaz kullanımı süresince zamana bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3'de, karışımdaki propan oranının yukarıda sözü edilen şartlardaki zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Burada, ilk anda tank içerisinde %30-70 propan-bütan karışımının olduğu kabul edilmiştir. Tanktan 16 kg gaz alınması halinde (2 kg/h'lik debi ve 8 saatlik tüketim süresi ile) tank içerisindeki propan oranı, %30'dan yaklaşık olarak %22'ye düşmektedir.

Tank içerisindeki sıvı hacminin toplam tank hacmine oranı olarak tanımlanan tankın doluluk oranı, doğal buharlaşmayı ve dolayısıyla gaz debisini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Sıvı fazın ısı taşınım katsayısı gaz fazına göre yaklaşık 15 kat daha fazladır. Bu durum sıvı ile temastaki tank yüzeyinden daha fazla ısı akısının olacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla bir tankın doluluk oranı yüksek ise dış ortamdan tanka olan toplam ısı geçişi daha yüksek olacağından; tankın gaz verme kapasitesi artmaktadır. Şekil 2 ve 3'de %20 doluluk oranı için verilen sonuçlar Şekil 4 ve 5'de %80 doluluk oranı için tekrarlanmıştır. Buradan görüleceği üzere, söz konusu tank aynı şartlarda %80 dolu iken 3.5 kg/h, %20 dolu iken 2 kg/h gaz verebilmektedir.

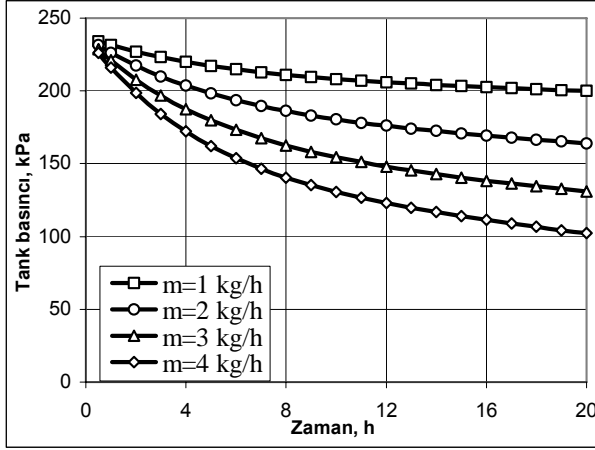
Dış ortamdan tanka olan ısı transferi tank yüzey alanına doğrudan bağlıdır. Doluluk oranı %20 olan 5000 lt'lik bir tankta dış ortam sıcaklığı 0 °C iken, Şekil 6'da tank basıncının Şekil 7'de ise karışımdaki propan oranının farklı gaz debileri için elde edilen zamana bağlı değişimleri verilmiştir. Bu çözümler, tank doluluk oranının %80 olma durumu için tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Buna göre 5000 lt'lik bir tank, sekiz saatlik bir süre için %20 dolu iken 15 kg/h, %80 dolu iken yaklaşık 30 kg/h debide gaz verebilmektedir.



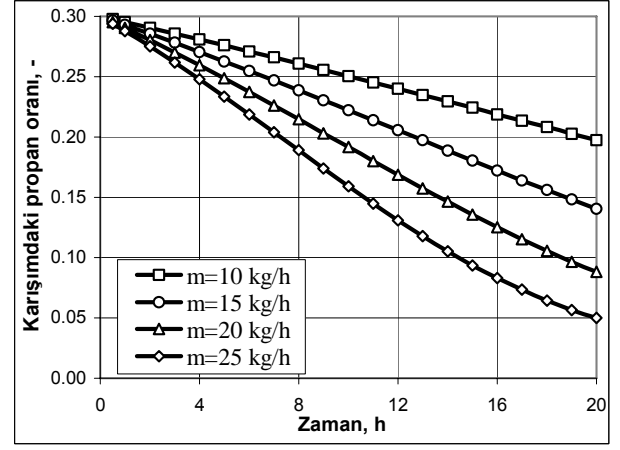
**Şekil 2.** Tank basıncının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 500 lt, Tank doluluk yüzdesi: %20, Ortam sıcaklığı: 0°C)



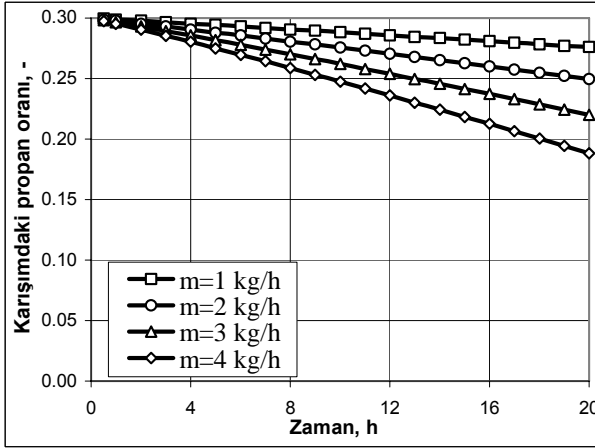
**Şekil 3.** Karışımdaki propan oranının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 500 lt, Tank doluluk yüzdesi: %20, Ortam sıcaklığı: 0°C)



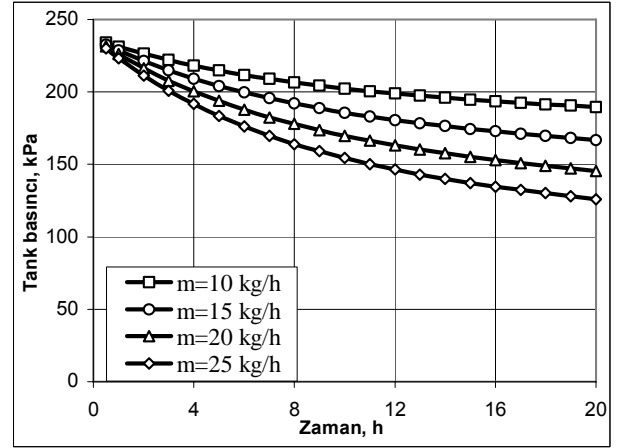
**Şekil 4.** Tank basıncının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 500 lt, Tank doluluk yüzdesi: %80, Ortam sıcaklığı: 0°C)



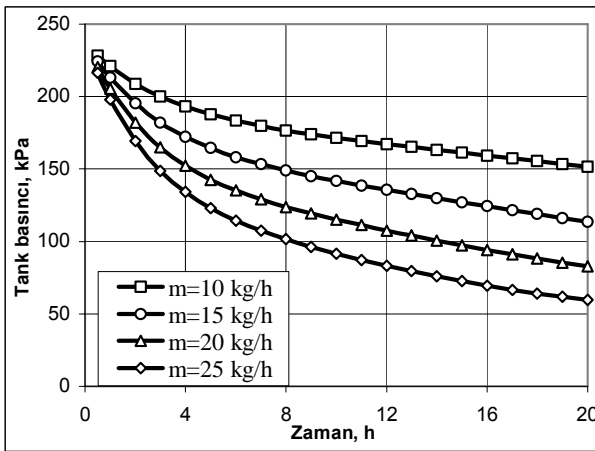
**Şekil 7.** Karışımdaki propan oranının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 5000 lt, Tank doluluk yüzdesi: %20, Ortam sıcaklığı: 0°C)



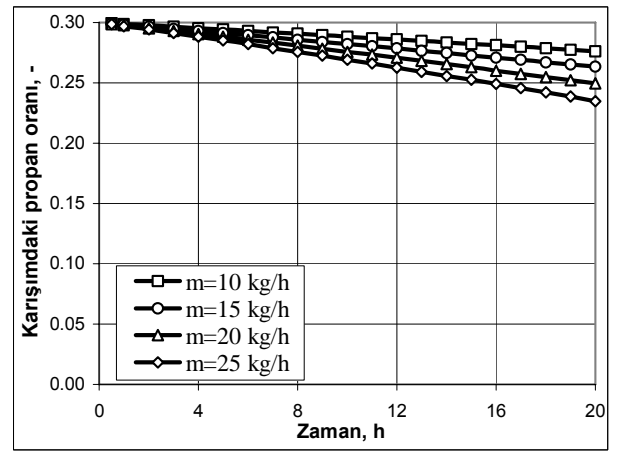
**Şekil 5.** Karışımdaki Propan oranının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 500 lt, Doluluk yüzdesi: %80, Ortam sıcaklığı: 0°C)



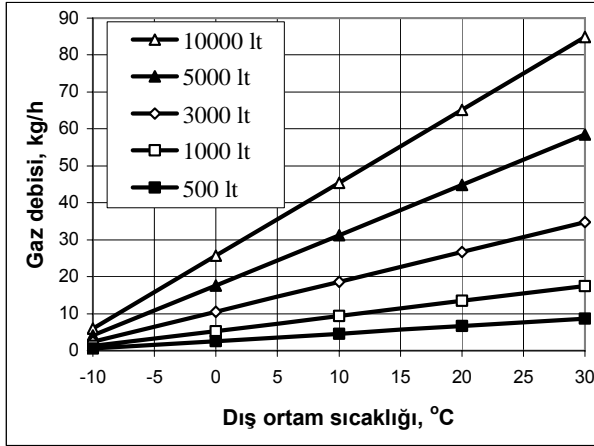
**Şekil 8.** Tank basıncının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 5000 lt, Tank doluluk yüzdesi: %80, Ortam sıcaklığı: 0°C)



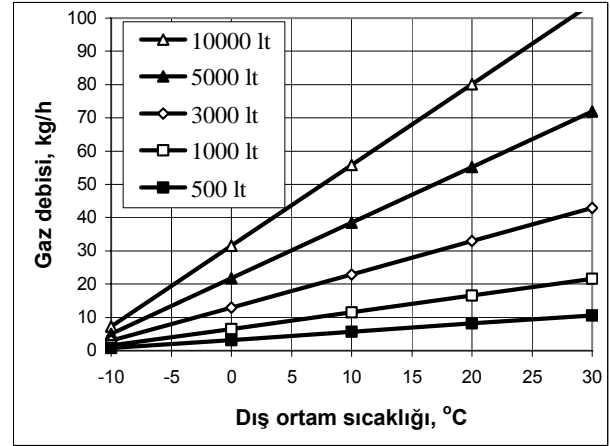
**Şekil 6.** Tank basıncının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 5000 lt, Tank doluluk yüzdesi: %20, Ortam sıcaklığı: 0°C)



**Şekil 9.** Karışımdaki propan oranının zamana bağlı değişimi (Tank hacmi: 5000 lt, Tank doluluk yüzdesi: %80, Ortam sıcaklığı: 0°C)



**Şekil 10.** Değişik boyutlardaki tanklar için gaz debisinin ortam sıcaklığına göre değişimi (%30-70 Propan-Bütan karışımı, Doluluk oranı: %20, Basınç: 150 kPa)



**Şekil 11.** Değişik boyutlardaki tanklar için gaz debisinin ortam sıcaklığına göre değişimi (%30-70 Propan-Bütan karışımı, Doluluk oranı: %80, Basınç: 150 kPa)

Şekil 10 ve Şekil 11'de farklı boyutta tanklar için sürekli rejim şartlarında elde edilen gaz debisinin dış ortam sıcaklığına göre değişimleri verilmiştir. Sürekli rejim halinde gaz debisi minimum değerdedir. İhtiyaca uygun tank seçiminin sürekli rejim şartlarına göre yapılması, söz konusu nedenden dolayı pratik açıdan kabul edilebilir bir yaklaşımdır.

## 5. SONUÇ

LPG tanklarının seçiminde çok sayıda değişken etkin rol oynamaktadır. Ancak, ekonomik açıdan birinci derecede önem verilmesi gereken husus, ihtiyaca uygun ve ısıtıcı kullanımına gerek bırakmayacak bir depolama tankının seçilmesidir.

Sunulan çalışmada, tankların gaz verme kapasitelerini belirlemeye yönelik zamana bağlı ve sürekli rejim şartları için çözümleme yapmaya imkan veren teorik bir model geliştirilmiştir. Çözümlemeler sonucunda doluluk oranı, dış ortam sıcaklığı ve tank boyutunun doğal buharlaşma şartlarındaki kapasite üzerinde etkili parametreler olduğu belirlenmiştir.

## 6. SEMBOLLER

A	:Isı geçiş yüzey alanı
C	:Moleküler derişiklik
h	:Antalpi
K	:Dış ortam ile akışkan arasındaki toplam ısı geçiş katsayısı
m	:Kütle
$\dot{m}$	:Kütlesel debi
N'	:Sıvı fazı karışımın mol sayısı
N' <sub>A</sub>	:Sıvı fazındaki A bileşenin mol sayısı
N' <sub>B</sub>	:Sıvı fazındaki B bileşenin mol sayısı
N''	:Buhar fazı karışımın mol sayısı
N'' <sub>A</sub>	:Buhar fazındaki A bileşenin mol sayısı

$N_B$	:Buhar fazındaki B bileşenin mol sayısı
$P$	:Karışımın toplam basıncı
$P_{AS}$	:A bileşenin kısmi basıncı
$P_{BS}$	:B bileşenin kısmi basıncı
$\dot{Q}$	:Isı akısı
$t$	:Zaman
$T_d$	:Tank içerisindeki akışkan sıcaklığı (belli bir basınçta doyma sıcaklığına eşittir)
$T_o$	:Dış ortam sıcaklığı
$v$	:Özgül hacim
$V$	:Tank hacmi
$w_m$	:Kütlesel oran
$X_A$	:Sıvı fazındaki A bileşenin mol oranı
$X_B$	:Sıvı fazındaki B bileşenin mol oranı
$Y_A$	:Buhar fazındaki A bileşenin mol oranı
$Y_B$	:Buhar fazındaki B bileşenin mol oranı
$w_h$	:Hacimsel oran
$\Phi$	:Tank doluluk oranı
$\rho$	:Yoğunluk

#### İndisler

1	:İlk hal
2	:Son hal
b	:Bütan
ç	:Çıkan
g	:Giren
i	:Bileşen
p	:Propan
s	:Sıvı fazı

#### KAYNAKLAR

- [1] Denny, L.C., Luxon, L.L., ve Hall, B.E., "Handbook Butane-Propane Gases", 4. Baskı, Chilton Company, California, 1962.
- [2] Moran, M.J., ve Shapiro, H.N., "Fundamentals of Engineering Thermodynamics" 3. Baskı, Wiley, New York, 1995.
- [3] Aygaz A.Ş. Dökmegaz Yayınları No:1, "Yeni Bir Dökme LPG Uygulaması", 1997.

#### ÖZGEÇMİŞ

1960 Giresun doğumludur. Makina Mühendisliği dalında Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimini sırasıyla 1985, 1989 ve 1994 yıllarında İ.T.Ü.'de tamamladı. 1996 yılında TÜBİTAK-NATO burslusu olarak The Ohio State Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmalar yaptı. 1986-1997 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Mart 1997 tarihinden itibaren TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü'nde Uzman Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. İlgilendiği konuların bazıları yanma, yanma kaynaklı hava kirliliği ve kontrolü, enerji sistemlerinin ısı optimizasyonu ve enerji tasarrufudur.