



# PRES MAKİNELERİNDEKİ DENGESİLİNDİRİNİN CACOS 4.0 İLE TERMAL OPTİMİZASYONU

Ayhan KARASOY

## ÖZET

Bu çalışmada, servo veya hidrolik kontrollü preslerde kullanılan pnömatik dengeleme silindirelerinde termal optimizasyonun nasıl yapıldığı karşılaştırmalı CACOS 4.0 ® analizleri ile ele alınmıştır. Endüstride kullanılan dengeleme silindirelerinde, ısınma probleminin sebepleri ve bu problemin nasıl giderilebileceğine dair çözümler ortaya konulmuştur. Yapılan analizlerin sonucunda dengeleme sistemi (silindir, hava tankı, hava hortumu) seçimi için belirli örnekler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda optimum dengeleme silindiri ve bileşenleri gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Denge Silindiri, Termal Optimizasyon, Servo Kontrollü Pres

## ABSTRACT

In this study, the thermal optimization of the counterbalance cylinders used in servo and hydraulically controlled presses are discussed with comparative analysis of CACOS 4.0 ®. The reason why thermal problems are encountered in counterbalance cylinders which are used in industry and the solutions of this problem are demonstrated. As a result of the analysis made, performance of certain examples are observed for the choice of counterbalance system (cylinder, air tank, air tube). The optimum counterbalance cylinder and components are demonstrated accordingly.

**Key Words:** Counterbalance Cylinder, Thermal Optimization, Servo press

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, servo ve hidrolik kontrollü pres makinelerinde koç başının dinamik hareketi ile oluşan yükü dengelemek için kullanılan dengeleme silindirelerinde termal optimizasyonun nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Pres makinelerinde enerji verimliliğinin sağlanması ve mekanizmada oluşan kuvvetlerin azaltılması için aşağı ve yukarı hareket esnasındaki yük dengesinin statik olarak sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle dengeleme sistemleri kullanılmaktadır. Belirtilen sistemlerde hidrolik veya pnömatik silindir kullanılabilir. Bu çalışmada sadece pnömatik dengeleme silindireleri incelenmiştir.

Pnömatik dengeleme silindiri seçimi yapılırken koç başından gelen dinamik yük dağılımı, ortam koşulları, pres çalışma frekansı, silindirelerin çalışma stroğu, silindirin ön ve arka ölü strok değerleri, hava tankının basınç ve hacim değerleri gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Bu parametreler doğrultusunda dengeleme silindiri, hava tankı veya hava hortumlarının seçiminde yapılan büyük veya küçük boyutlandırılmalar sonucu, pnömatik dengeleme silindirende ısınma sorunu oluşacaktır ve silindirin arızalanması, çalışma ömrünün kısalması gibi sorunlar ortaya çıkacaktır.

Bu çalışmada, belirli yük ve çalışma frekansı altında uygun ve uygun olmayan dengeleme silindireleri seçilerek CACOS 4.0 ® simülasyon programı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda basınç ve sıcaklık değişimlerinin grafikleri incelenmiştir.

## 2. ANALİZ GİRDİLERİ

Havanın sıkıştırılması durumunda her zaman sıcaklık artışı olmayabilir. Eğer sıkıştırma yavaş bir şekilde gerçekleştirilirse ve sıkıştırma işleminin yapıldığı kapaklar iyi bir ısı iletkeni ise, içerdeki havanın sıcaklığı sabit kalır. Buna izotermal sıkıştırma denir.

Bununla birlikte, eğer kapaklar mükemmel bir şekilde yalıtılmışsa veya sıkıştırma işlemi çok hızlı bir şekilde gerçekleşirse, silindirin içerisindeki havanın sıcaklığında artış gözlemlenir. Bu olaya ise adyabatik sıkıştırma denir. Adyabatik sıkıştırma işleminde sistem, çevre ile ısı transferi yapmaz. Mükemmel yalıtım durumunda, kap ısı akışını durdurur ve hızlı sıkıştırma durumunda herhangi bir ısı iletimi için işlem çok hızlı gerçekleşir. Isı transferi yavaş gerçekleşen bir işlemdir. Sıkıştırılan hava ile artan sıcaklık değerleri aşağıda açıklanmıştır.

$$\Delta U = \Delta Q - P\Delta V \quad (1)$$

Adyabatik işlemler için,  $\Delta Q = 0$  alınır. (2)

Böylece elde edilen denklem,  $\Delta U = -P\Delta V$  olur. (3)

İdeal gazlar için,  $U = c_v n \Delta T$  'dir. (4)

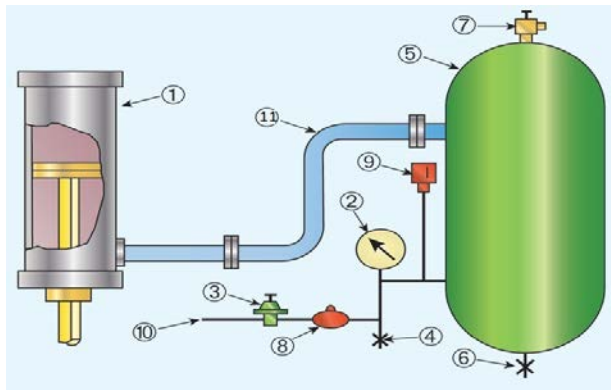
Üstteki denklemde yerine konulduğunda,  $c_v n \Delta T = -P\Delta V$  (5)

Sıkıştırma işlemi için,  $\Delta V < 0$  ve  $\Delta T > 0$  sonucuna ulaşılır.

Genleşme işlemi için,  $\Delta V > 0$  ve  $\Delta T < 0$  sonucuna ulaşılır. [2]

Bundan çıkarılacak anlam, gazın sıkışması için yapılan iş iç enerjiye dönüşmüştür. Hem izotermal hem de adyabatik işlemler idealdir, pratikte sınırlayıcı olguları vardır. Çoğu pratik işlem sırasında şartlar izotermal ve adyabatik durum şartları arasında bir yerdedir. Yani, işlem adyabatik olmak için yeterince hızlı ya da izotermal olmak için yeterince yavaş olmayabilir. Bunun gibi durumlarda da havanın sıkıştırılması sonucu sıcaklıkta belirli bir artış gerçekleşir ancak adyabatik bir işlemde olduğu kadar artış olmaz.

Servo kontrollü pres dengeleme sistemlerinde kullanılan bileşenler Şekil 1'de gösterilmiştir. Pnömatik Silindir (Şekil 1.) dinamik hareket sonucu oluşan ivmeye bağlı atalet yükünü statik dengeye ulaştırmak için kullanılır. Bu amaçla kullanılan pnömatik silindire karşı denge silindiri (Şekil 2.) olarak da adlandırılır. Hava Tankı (Şekil 1.) ise silindir içinde sıkışan basınçlı havanın bir sonraki pres döngüsüne kadar depolanmasında kullanılır. Manometre (Şekil 1.) ise güvenlik amaçlı olarak hava tankının basıncının ölçülmesinde kullanılır. Zaman içerisinde kapalı sistemde meydana gelen hava kaçaqları sonucunda silindir başlangıç konumu değişecektir. Tekrar doğru pozisyona gelmesi Açma-Kapama Valfi'nden (Şekil 1.) hava tankına ilave hava girişi ile sağlanır. Hava Tankının emniyet limitlerine yaklaşan yüksek hava basınçları Emniyet Çek Valf'i yardımıyla tahliye edilir. Yine emniyet önlemi olarak tank içerisinde oluşacak emniyet limitleri üzerindeki vakum etkisini engellemek için düşük hava basıncı anahtarı kullanılır (Şekil 1.). Hava kalitesinde oluşacak değişimler sonucunda zamanla tank içerisinde birikebilecek su ve tortunun temizlenmesi için Drenaj'lar (Şekil 1.) kullanılır.



- 1) Pnömatik Silindir
- 2) Manometre
- 3) Açma-kapama valfi
- 4) Drenaj
- 5) Hava Tankı
- 6) Drenaj
- 7) Emniyet Çek valfi
- 8) Çek valfi
- 9) Düşük hava basıncı anahtarı
- 10) Hava Girişi
- 11) Hava Hortumu

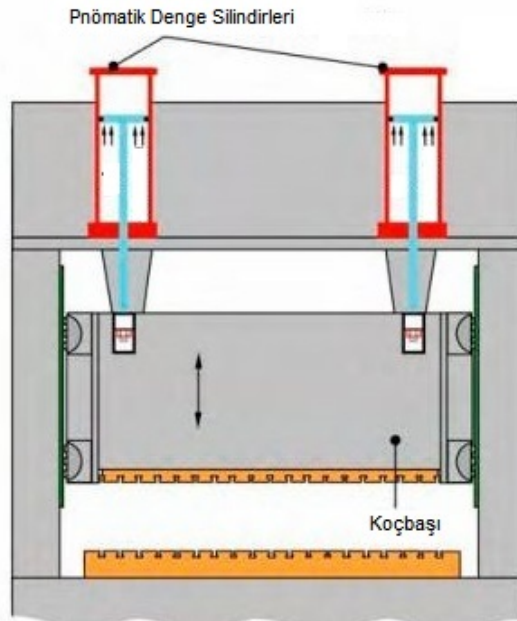
Şekil 1. Dengeleme Sistemi Şematik Gösterimi [1]

Servo motor tahrikli preslerde çalışma esnasında yaşanan en büyük problem denge silindirlerinin (Şekil 2.) ısınmasıdır. Transfer edilemeyen ısı sonucunda silindirin sıcaklığı artacak ve sızdırmazlık elemanlarının çalışma sıcaklığını aşabilecektir. Bunun sonucunda keçelerde kalıcı deformasyon oluşur. Silindir içerisindeki iç kaçaklar kabul edilebilir seviyenin üzerine çıkacak ve de silindirin işlev görmemesine neden olacaktır. Bu sorunları önlemek için denge silindirlerinde üç farklı termal şart incelenmiş ve optimizasyon sağlanmıştır. Bu optimizasyonlardan ilkinde mevcutta kullanılan silindir incelenmiştir. Diğer ikisinde alternatif çözümlere analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre en uygun silindir sıcaklığını sağlayan ya da düşük maliyetli çözümüne karar verilir. Böylece hedeflenen makine hızına ve yük değerlerine erişilmesi sağlanır.

Termal analizin yapılabilmesi için bazı sabit değişkenlerin bilinmesi ve de bazı parametrelerin değerleri için seçim yapılması gerekmektedir. Tablo 1.'de bu değişkenler verilmiştir. Silindir tipine göre sürtünme katsayısı ve ısı iletim katsayısı gibi bazı değişkenler sabittir.

**Tablo 1.** Gerekli Değişkenler

	Değişken	Birim
<b>Dengeleme Silindiri</b>	Silindir Gövde Tipi	
	Silindir Çapı	mm
	Strok	mm
	Silindir Bitiş Konumu	mm
	Sürtünme Katsayısı	
	Isı İletim Katsayısı	$\bar{W}/m.K$
	Ölü Konum Basıncı	bar
	Hava Portu Çapı	mm
	Susturucu Çapı	mm
<b>Hava Tankı</b>	Hacim	$m^3$
	Basınç	bar
<b>Ortam Koşulları</b>	Sıcaklık	$K$
	Basınç	bar
<b>Servo Pres</b>	Çalışma Frekansı	Hz
	Yük	N
<b>Hava Hortumu</b>	Çeşidi	
	Çapı	mm
	Uzunluğu	mm



**Şekil 2.** Yük-Denge Silindiri Şematik Gösterim [4]



Mevcut durum simülasyonunda ve alternatif iki optimizasyonda aynı kalan değerler alt kısımdaki Tablo 2.'de görülebilir. Mevcut durum için yapılan simülasyon için girdi verileri Tablo 3.'te gösterilmiştir. Alt kısımdaki Tablo 4.'te görülebileceği gibi Optimizasyon-083544'de pnömatik denge silindirin stroğu sabit tutulmuş ve tank hacmi 18,5 dm<sup>3</sup>'ten 100 dm<sup>3</sup>'e çıkartılarak basınç-zaman ve sıcaklık-zaman eğrilerindeki değişiminin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.

**Tablo 2.** Tüm analizlerde sabit olan değerler

Değişken	Değer	Birim
Silindir çapı	320	mm
Üst ölü konumu	45	mm
Alt ölü konumu	105	mm
Silindir montaj doğrultusu	-90	derece
Yük	3750	kg
Bir ileri-geri strok süresi	1,67	saniye
Ortam sıcaklığı	0~30	°C

**Tablo 3.** Mevcut durumda değişkenler

Değişken	Değer	Birim
Strok	160	mm
Tank Hacmi	18,5	dm <sup>3</sup>

**Tablo 4.** Optimizasyon-083544 için değişkenler

Değişken	Değer	Birim
Strok	160	mm
Tank Hacmi	100	dm <sup>3</sup>

**Tablo 5.** Optimizasyon-105415 için değişkenler

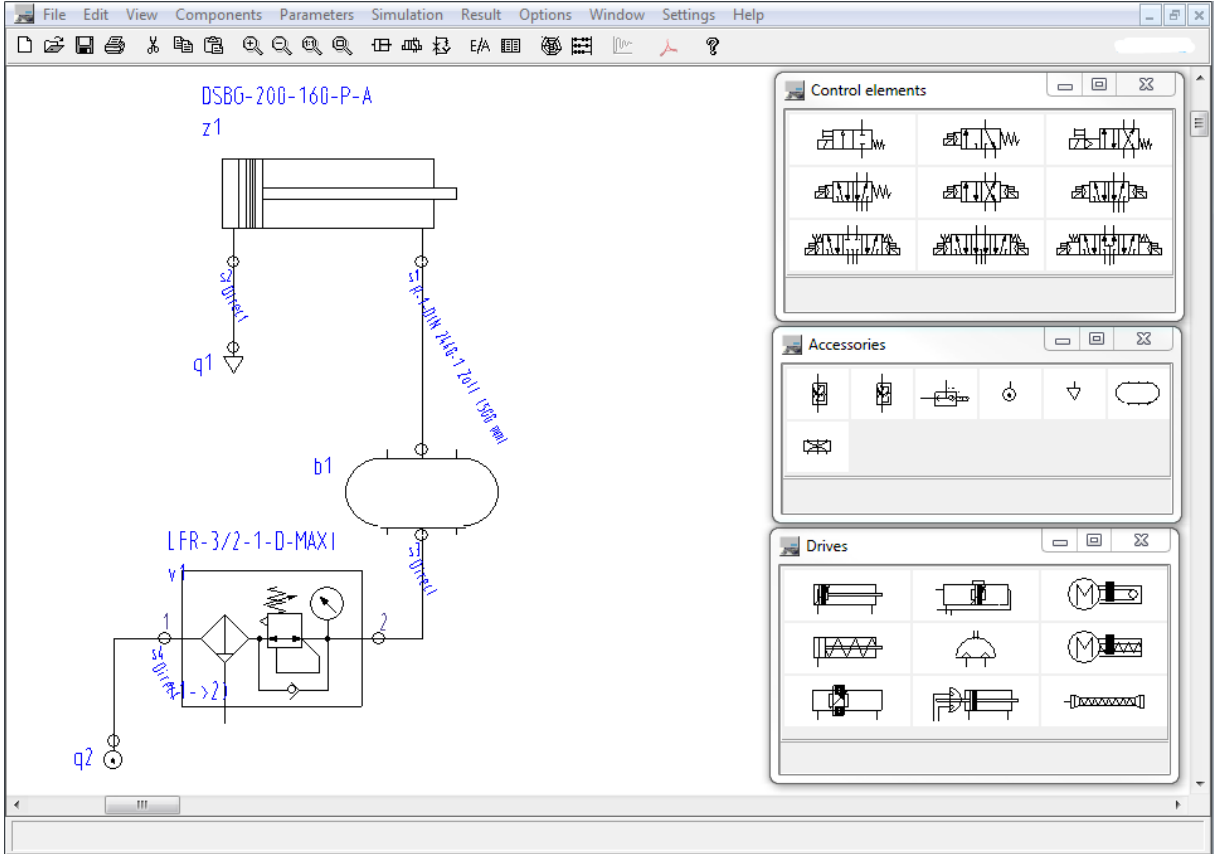
Değişken	Değer	Birim
Strok	500	mm
Tank Hacmi	0,1	dm <sup>3</sup>

Optimizasyon-105415'te çoğunlukla pres makinelerinde kullanımı tercih edilen hava tankı (Şekil 2.) kullanılmamış ve sadece silindirin toplam boyu artırılarak sıcak-zaman ve basınç-zaman eğrileri incelenmiştir. Silindir stroğu 160 mm'den 500 mm'ye çıkartılmıştır. Kapak içerisindeki hava giriş deliğinde bulunan havanın yaratacağı etkinin analizlerde görülebilmesi için bu şartları karşılayacak zahiri 0.1 dm<sup>3</sup>'lük hava tankı tanımlanmıştır. Gerçek uygulamada bu tank kullanılmaz.

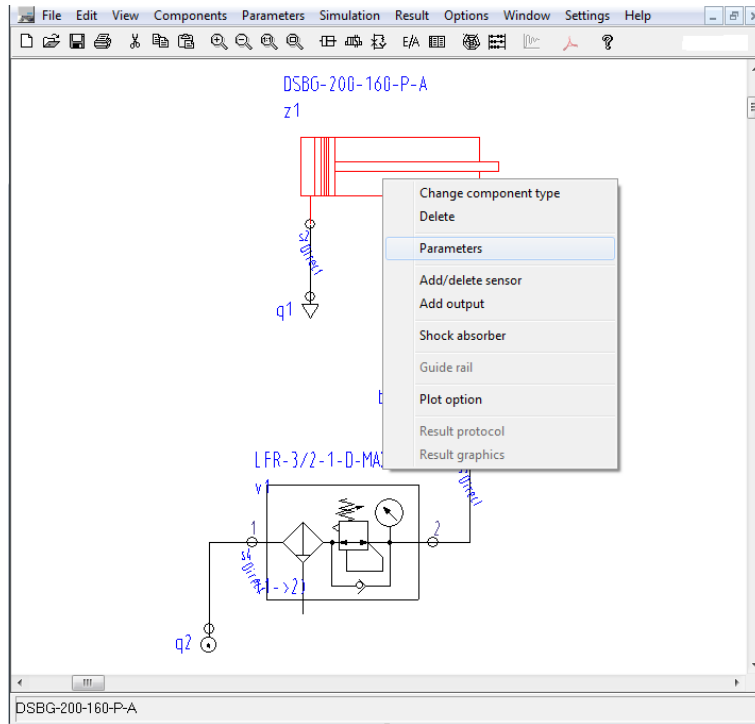
### 3. SİMÜLASYON

Bir özel şirkete ait ve sadece şirket içi kullanıma açık olan sunucu üzerinden çalışan bir bilgisayar yazılımı olması sebebiyle bu aşama sınırlı açıklanmıştır.

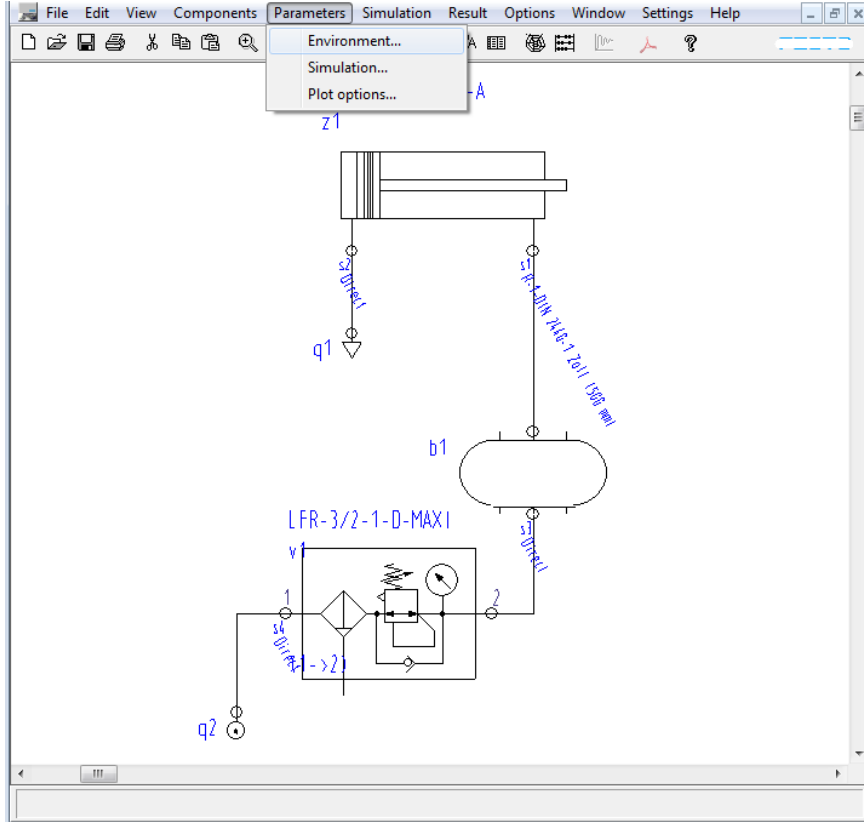
İlk olarak sistemin devre şeması (Şekil 3.) simülasyona uygun şekilde tut-sürükle-bırak esasına göre tasarlanır. Ardından her bir devre elemanı için parametrik hazırlanmış boyutlardan (Şekil 4.) uygun olanlar seçilir.



Şekil 3. CACOS Yazılımında Pnömatik Devre Şemasının Kurulması



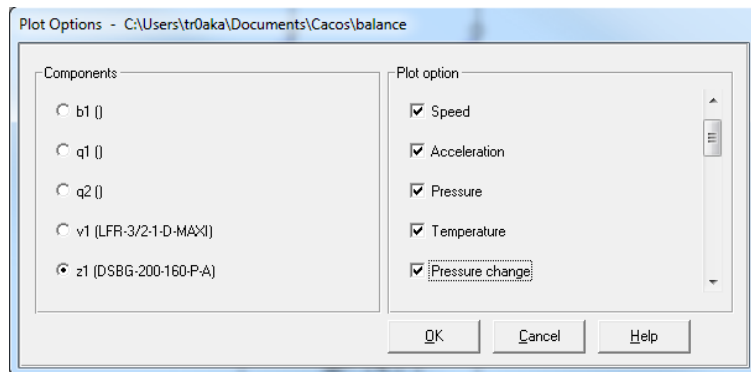
Şekil 4. CACOS Yazılımında Parametre seçimi



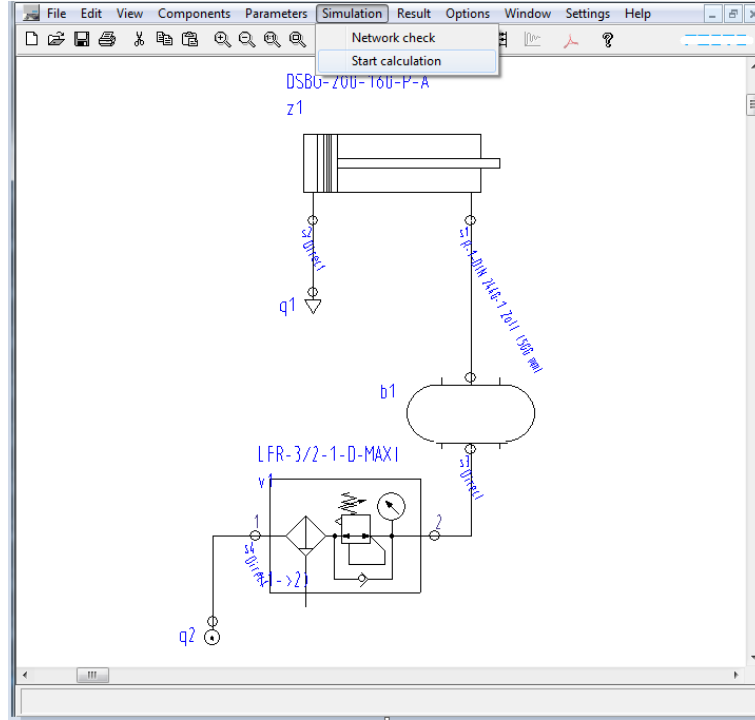
**Şekil 5.** CACOS Yazılımında Ortam Şartları, Simülasyon Şartları ve Grafik Seçenekleri Girişi

Ortam sıcaklığı ve basıncı Environment (Şekil 5.) seçeneğinden girilir. Yine aynı sekme altından simülasyon süresi ve çözünürlüğü belirlenir. Ayrıca Şekil 6.'da görülen Plot Option seçeneği altından her bir devre elemanı için ön tanımlı hangi grafiklerin sonuç verisinde bulunacağına karar verilir.

Tik işareti konulan tüm değişkenler simülasyon tarafından hesaplanacak ve sonuç ekranına getirilecektir. Daha sonrasında ise devredeki tüm elemanların birbiri ile bağlantısı Network Check (Şekil 7.) ile programa kontrol ettirilir. Eğer herhangi bir sorun yoksa "Start Calculation" seçeneği ile analiz başlatılır. Analiz süresi simülasyonun çözünürlük değerine göre 1 dakika ile 1 gün arasında değişkenlik gösterse de bu analizde benzer devre şemaları yaklaşık 2 dakika içerisinde sonuçlanmıştır.



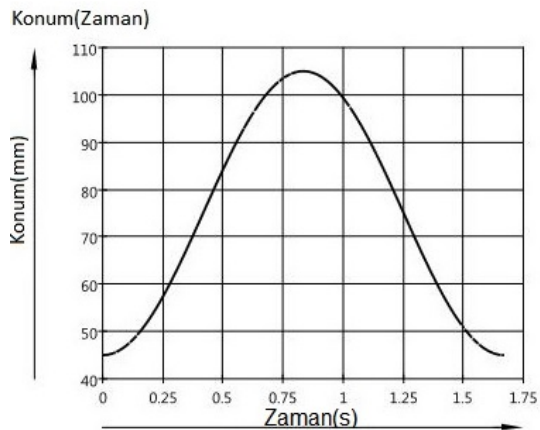
**Şekil 6.** CACOS Yazılımında Sonuç Verisi Seçimi



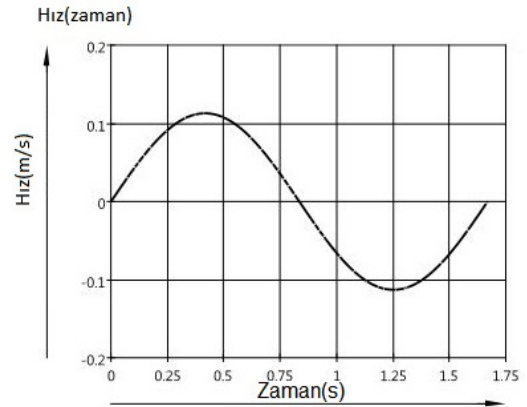
Şekil 7. CACOS Yazılımında Devre Kontrolü ve Hesaplatma

#### 4. SONUÇLAR

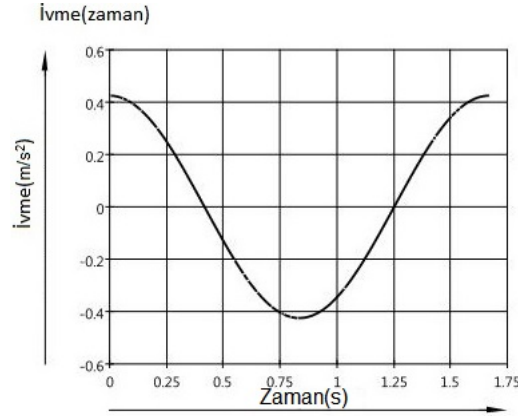
Aşağıdaki Şekil 8., Şekil 9. ve Şekil 10.'da CACOS 4.0 ® ile yapılan simülasyonlar için ortak olan dinamik verilere ait simülasyon çıktı grafikleri verilmiştir. Dinamik koşullar sabit tutularak analizler yapılmıştır. Bu nedenle üç durum için de zamana bağlı konum, hız ve ivme eğrilerinin aynı değerlerde olduğu görülebilir.



Şekil 8. Silindir Mili Konum-Zaman Grafiği



Şekil 9. Silindir Mili Hız-Zaman Grafiği

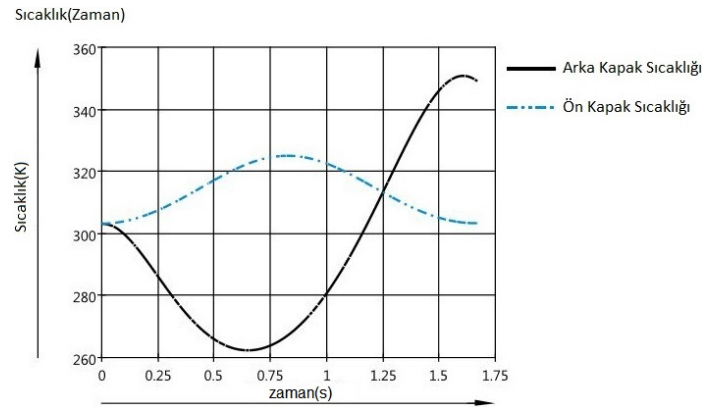


**Şekil 10.** Silindir Mili İvme-Zaman Grafiği

Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen diyagramlar aşağıda karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

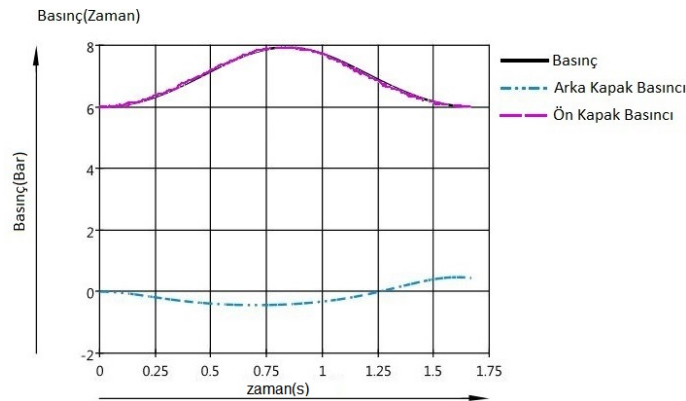
#### 4.1. Mevcut silindirin analiz sonuçları:

Mevcut durumda pres makinesi üzerindeki silindirler yukarıda belirtilen dinamik şartlar altında simüle edilmiş ve alt kısımdaki Şekil 11. ve Şekil 12.'deki sıcaklık-zaman ve basınç-zaman grafikleri elde edilmiştir.



**Şekil 11.** Mevcut Silindir Sıcaklık-Zaman Grafiği

Ön kapakta sıcaklık artışı yaklaşık  $20^{\circ}\text{C}$  olduğu Şekil 6.'da gözlemlenebilir. Arka kapakta oluşan sıcaklık değişimlerinin, ön kapağa nazaran daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



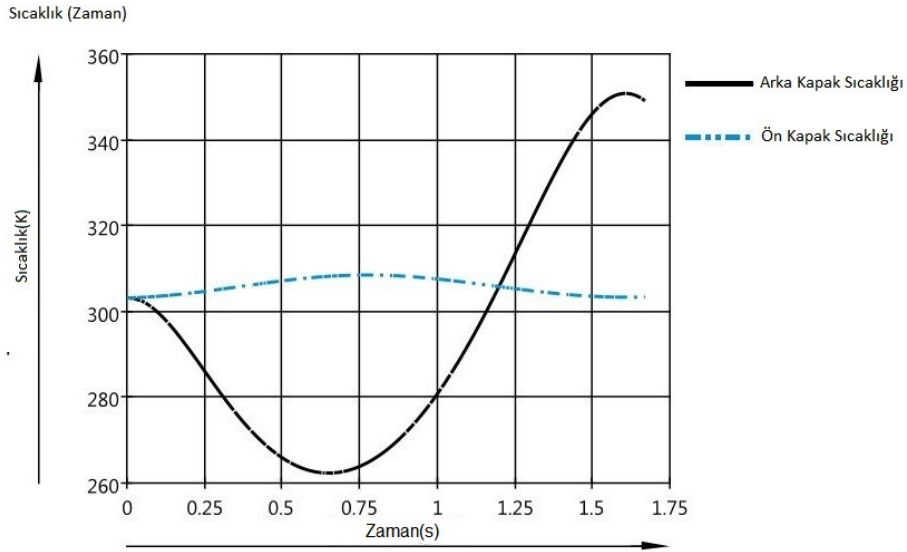
**Şekil 12.** Mevcut Silindir Basınç-Zaman Grafiği



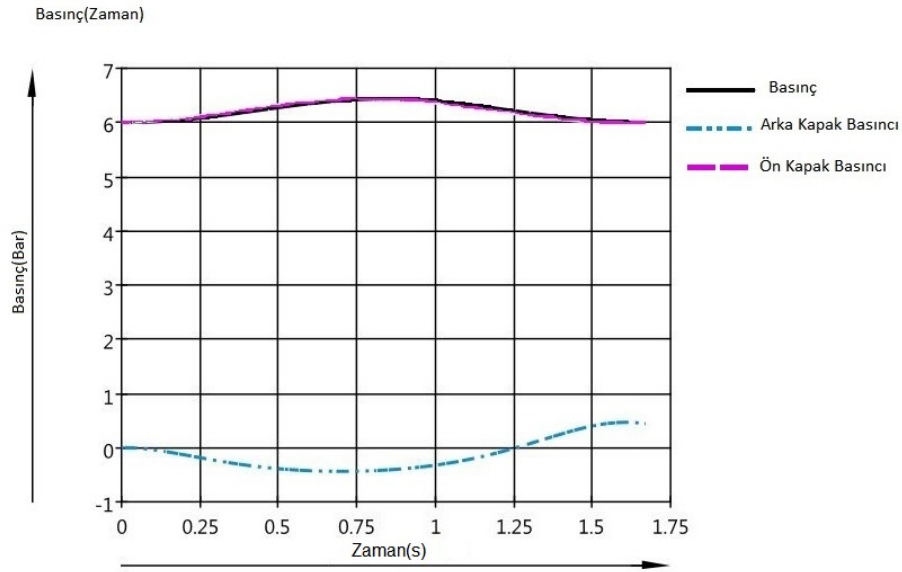
Ön kapakta oluşan basınç farkı yaklaşık 2 Bar olduğu için (Şekil 7.) kullanılan mevcuttaki silindirin belirtilen yük ve dinamik şartlar için yetersiz olduğu anlaşılır.

#### 4.2. Optimizasyon-083544 analiz sonuçları:

Hava tankının hacminin 5,4 kat artırılması ile ön kapakta oluşan sıcaklık değişiminin 15°C düşerek 5°C'ye gerilediği Şekil 8.'deki analiz sonucunda gözlemlenmiştir. Arka kapaktaki sıcaklık değişimi mevcut kullanılan silindire göre farklılık göstermemektedir (Bknz. Şekil 11. ve Şekil 13.). Basınç değişimi incelendiğinde Şekil 9.'da görüldüğü gibi ön kapaktaki basınç artışının 0,5 Bar olduğu görülür. Bu optimizasyon ile istenen çalışma performansı silindir ömrü etkilenmeden sağlanabilir.



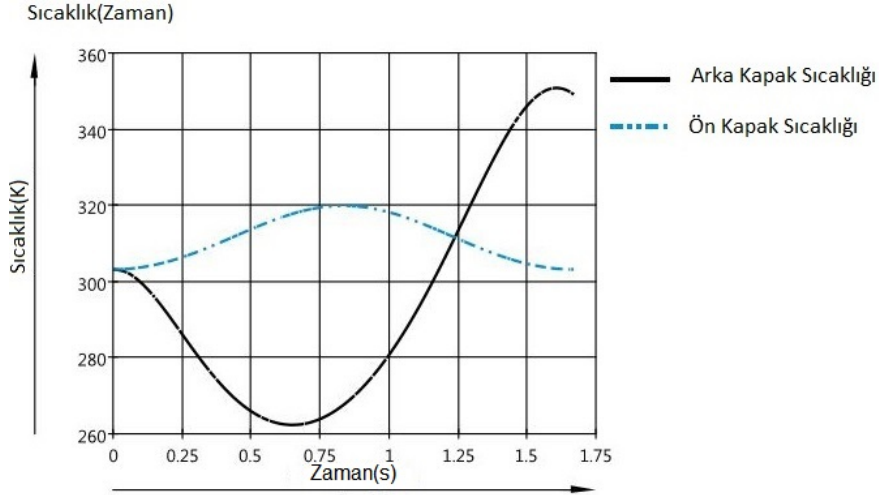
Şekil 13. Optimizasyon-083544 Silindir Sıcaklık-Zaman Grafiği



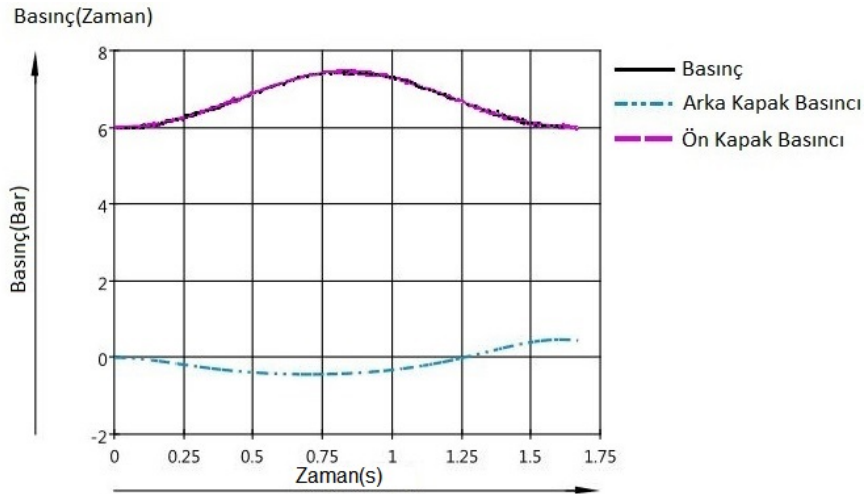
Şekil 14. Optimizasyon-083544 Silindir Basınç-Zaman Grafiği

#### 4.3. Optimizasyon-105415 analiz sonuçları:

Ön kapaktaki sıcaklık değişimi Şekil 10.'da görüleceği gibi bu simülasyon sonucuna göre 15°C dir. Arka kapaktaki sıcaklık değişimi mevcut duruma göre aynı olacağı görülmektedir (Şekil 11.). Aynı şekilde bu optimizasyonun ön kapaktaki basınç değişimini 0,5 Bar düşürerek istenen seviyeye indirdiği görülür (Şekil 16.).



Şekil 15. Optimizasyon-105415 Silindir Sıcaklık-Zaman Grafiği



Şekil 16. Optimizasyon-105415 Silindir Basınç-Zaman Grafiği

#### 5. Tüm sonuçların değerlendirilmesi

Yapılan gözlemler sonucu her iki optimizasyonun da ideal çalışma şartlarını sağlayabileceğine analizler sonucunda karar verilmiştir. Bu iki optimizasyon arasında seçim yapılırken aşağıdaki çıkarımlardan faydalanılabilir:

1. Silindirin yaptığı her strokta oluşan yüksek sıcaklıklar her iki optimizasyon ile ortadan kaldırılabilir. Isınma probleminin ortadan kalkmasıyla bazı silindir içi elemanların (piston keçe ve o-ring'lerinin) çalışma ömrü artırılabilir.



2. Karşı yük balans silindiri simülasyonları ile sistem elemanları seçiminde yüksek sıcaklık sızdırmazlık elemanlarına (Viton vb. özel hammadelere) olan ihtiyaç ortadan kalkacak ve sistemin kurulum maliyeti düşecektir.
3. Optimizasyon-083544 montaj alanına iki adet 100 litrelik hava tankının kullanılmasını gerektirmektedir. Pres üzerindeki silindirin yerleştiği alanda boyutsal kısıtların olması halinde bu optimizasyon kullanılabilir.
4. Optimizasyon-105415 silindirin stroğunun artırılması ve de böylece ön kapak tarafındaki hava hacmin artırılması sağlanmıştır. Sıkışma ve genişleme sırasında oluşacak basınç ve sıcaklık farklılıkları düşürülmüştür. Bu optimizasyonun bir diğer avantajı ise sistemdeki hava tankının iptal edilerek maliyet avantajı sağlamasıdır. Makine tasarımı sırasında silindirin montajı için yeterli alanın bırakılması halinde maliyet avantajı sağlayacağı için bu optimizasyon daha sıklıkla tercih edilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Smith D. A. , “Press Pneumatic Counterbalances,” Erişim Tarihi: 22.06.2017  
<http://www.metalfformingmagazine.com/magazine/>
- [2] Susobhanan A. , “Heat Up of Compressed Air” Erişim Tarihi: 30.06.2017  
<https://www.quora.com/How-does-compressing-air-heat-it-up>
- [3] Kosarzecki C. , “A Counterbalance Valve's Biggest Enemy- Hysteresis” Erişim Tarihi: 30.06.2017  
<http://www.hydraulicspneumatics.com/hydraulic-valves/counterbalance-valve-s-biggest-enemy-hysteresis>
- [4] Overly S. , “Press Balancing Systems Pneumatic Counterbalancers” Erişim Tarihi: 30.06.2017  
<https://www.aida-global.com/aida-tech/>
- [5] Moskowitz F. “Heat Recovery and Compressed Air Systems” Erişim Tarihi: 30.06.2017  
<http://www.airbestpractices.com/technology/air-compressors/>

## ÖZGEÇMİŞ

### Ayhan KARASOY

1983 yılı Almanya doğumludur. 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nde Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2005-2013 yılları arasında Sofra Camı Şekillendirme Makineleri Tasarım Mühendisi olarak çalışmıştır. Takip eden yıllarda Demir-Çelik, Gıda, Paketleme ve İmplant sektörlerinde mekanik sistemler tasarımı ve tasarım yöneticiliği yapmıştır. 2015 yılından bu yana Endüstriyel Ekipmanlar üreten bir firmada katalog dışı çözümlerin üretildiği birimde SA ve Tasarım Takımı Lideri olarak görev yapmaktadır.