

Araştırma Makalesi

Yüksek Basıncı CNG Kompresör Tasarımı ve İmalatı

Battal Doğan ^{*a}^a Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.

Öz

Ülkemizde motorin ve benzin fiyatlarının yüksek olması sebebiyle sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) alternatif yakıt olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada CNG dolmuş tesislerinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere yüksek basınçlı gaz kompresörü tasarımı ve imalatı yapılmıştır. CNG kompresörü şehir içi şebeke hattından 0,022 bar basınçla alınan doğal gazı 200-250 bar basınçlara sıkıştırmaktadır. İmalatı yapılan kompresörün debisi 180 l/h'dir. Doğalgazın yüksek basınçlara sıkıştırma işlemi 4 kademe gerçekleştirilmektedir. Doğalgazın içeriğinde metan gazı bulunması sebebiyle kompresörde soğutma ihtiyacı fan aracılığıyla hava ile sağlanmaktadır. Ülkemizde CNG kullanan araçların dolmuş için istasyonlarda gerekli olan kompresörün imalatı gerçekleştirildikten sonra basınç, debi ve diğer testleri yapılarak çalışma sonunda verilmiştir.

Anahtar kelimeler: CNG, Yüksek Basınç, Doğalgaz, Kompresör

High Pressure CNG Compressor Design and Manufacturing

Abstract

In our country, due to the high price of diesel and gasoline, liquefied petroleum gas (LPG) and compressed natural gas (CNG) are preferred as an alternative fuel. In this study, it is made of design and manufacturing for high pressure gas compressor to meet the needs of CNG in filling stations. CNG compressor compresses to natural gas taken with a 0,022 bar pressure from the inner-city lines into 200 bar pressure. The flow of manufacturing compressor is 180 l/h. Process of compression of high pressure natural gas is carried out in four stages. The requirement of cooling the compressor is provided by through the fan with air because of the content of methane gas. In our country, after in the station for refilling of vehicles using CNG carried out the manufacturing of required compressors, then the pressure, flow and other tests are given at the end of study.

Key words: CNG, High pressure, Natural Gas, Compressor

Giriş

Enerji arzında fosil kaynakların önemli yer tutması nedeniyle çevresel sorunlar daha ciddi bir boyut kazanmaktadır. Dünya genelinde motorlu taşıtlar genel olarak fosil kaynaklı yakıtlarla çalışmaktadır. Benzin ve dizel gibi fosil yakıtların çevreye verdikleri zararlar son yıllarda tartışma konusu olmaktadır. Bu nedenle benzin ve dizel yakıtına alternatif yakıtlar

geliştirilmektedir. Doğal gazın yüksek basınçlara sıkıştırılmasıyla elde edilen CNG, dünyada kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Çevre açısından daha az zararlı ve maliyetinin diğer yakıt türlerine oranla daha uygun olması sebebi ile tercih edilen bir fosil yakıttır.

CNG'li araçların yakıt depolarının doldurulmasında evsel ve ticari dolmuş istasyonu

* Corresponding author
e-mail: btldgn@gmail.com

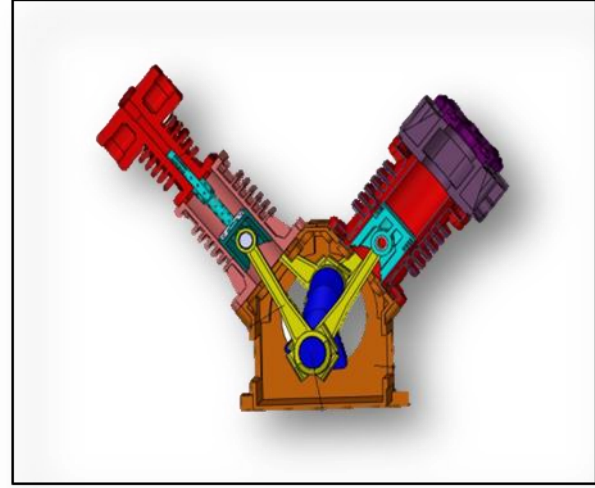
Received: 03.05.2016
Accepted: 13.07.2016

olarak iki alternatif bulunmaktadır. Evsel kullanımda araç sahibi evinin uygun bir yerine montajı yapılan düşük debili yüksek basınçlı CNG kompresörü kullanarak dolum gerçekleştirmektedir [1-2]. Ticari olarak dolum yapan istasyonlarda yüksek debi ve yüksek basınca sahip kompresörler kullanılmaktadır. Yüksek kapasitede (basınç ve debi) gaz kompresörü dizaynı yapılırken mekanik gerilmeler, yüksek sıcaklık ve enerji tasarrufu dikkate alınmalıdır [3]. CNG kullanılan araçların dolum istasyonları için kompresör dizayn edilirken dolum süresini etkileyen en önemli unsur debidir. Yüksek debide çalışan kompresörler dolum süresini azaltmaktadır [4]. Kompresör imal edildikten sonra çeşitli testler yapılmaktadır. Özellikle hava ve doğal gaz kullanılarak çalışan kompresörlerde gaz dinamiği testleri yapılmaktadır [5]. Literatürde gaz kompresörleri ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda yüksek basınçlarda gaz kompresörlerinin dayanım, debi ve sıcaklık değişimleri dikkate alınmaktadır [6-8]. Yüksek basınçlarda gaz sıkıştırılması soğutma sorunu ortaya çıkarmaktadır. Kademeler arasında akışkanın soğutulması tasarımda önemli bir parametredir [9]. Yüksek basınç kompresörlerinde ekipmanlarının davranışları ve basınç karakteristikleri sonlu eleman analizleri yapılarak belirlenebilir [10-12]. Çalışmada bir CNG kompresörün tasarım aşamaları ve imalatı detaylı şekilde incelenmiş ve performans testlerine ait sonuçlar verilmiştir. Ülkemizde üretimi olmayan ve yurt dışından ithal gelen CNG kompresörü ilk olması sebebiyle karşılaştırma yapılamamıştır. Yurt dışında üretilen kompresörlere ait literatür bilgileri yetersizdir. Bu çalışma ile literatürdeki önemli bir eksiklik giderilecektir.

Kompresör Tasarımı

CNG yüksek basınç değerlerinde sıkıştırılan ve basınçlı kaplarda saklanan bir gazdır. CNG sıkıştırılırken doğalgazın kompresöre giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı yüksektir. Bu yüksek basınç farkını pistonlu tip kompresörlerle sağlamak hem verim hem de soğutma açısından önemlidir. Şekil (1)'de çalışmada tasarımı yapılan kompresörün üç boyutlu kesit görüntüsü verilmiştir.

Tasarımı yapılan kompresör elektrik motorundan hareket enerjisini alarak krankın dönmesini sağlamaktadır. Biyel kolları vasıtasıyla pistonların emme ve basma işlemlerini yapmasını sağlayarak gazı sıkıştırır. Sıkıştırılan gaz tanka iletilerek depolanır.



Şekil 1. CNG Kompresör Kesit Görüntüsü (CNG Compressor Section Image)

Kademe Sayısı

Pistonlu CNG kompresörleri genellikle gazın sıkıştırılması prensibine dayanılarak, üç ve dört kademeli olarak imal edilir. Temel amaç gazın basıncının kaç farklı kademede artırılması ve debinin büyüklüğüdür. Bu yüzden kompresör kademesi üretim şekli, kullanılacak yer, istenen debi ve bütçeye göre seçilmektedir. Üç ve dört kademeli CNG kompresörlerinin avantaj ve dezavantajları tablo (1)'de verilmiştir.

Yüksek debi değerlerinin ayarlanmasındaki en önemli etmenlerden biri olan devir sayısının artması yüksek sıcaklık değerlerini beraberinde getirmekte, soğutma ihtiyacını da artırmaktadır. Ticari amaçlı olmayan kompresörler için zaman sıkıntısı olmadığından düşük devir sayılarında, yani düşük debide gaz sıkıştırma işlemi yapılabilir.

Tablo 1. Üç ve Dört Kademeli Kompresörlerin Karşılaştırması [16]. (Comparison of Three and Four Stage Compressors)

3 Kademeli CNG Kompresörü Avantajları	3 Kademeli CNG Kompresörü Dezavantajları	4 Kademeli CNG Kompresörü Avantajları	4 Kademeli CNG Kompresörü Dezavantajları
Daha az kademede yüksek basınçlara çıkabilmektedir.	Silindir Yüzeyleri daha çok ısınır ve soğutma yükü artar.	Kademeler arası soğutma sayısı fazla olduğu için gaz sıcaklığı düşürülerek basınç artırma işleminden daha fazla verim elde edilir.	Kademeler arası gaz soğutması kademe sayısından dolayı 1 adet fazladır. Bu durum maliyeti bir miktar artırmaktadır.
4kademeli kompresöre oranla ilave silindir ve piston gerekmez.	Sıcaklık değerleri yüksek olan ülkeler için 3 kademeli kompresör soğutma sorununu beraberinde getirmektedir	sıcaklık değerleri yüksek olan ülkeler için 4 kademeli kompresör kullanımı daha uygundur.	3 kademeli kompresöre oranla ilave silindir ve piston gerekir.
İstenilen debi ve yüksek basınçlara ulaşılmasını sağlar.	Kademeler arası soğutma sayısı düşüktür.	Silindir Yüzeyleri daha az ısınır ve daha az deforme olur.	3. ve 4. Kademe sıkıştırma işlemleri birbirine bağlı iki piston ile sağlanmaktadır.

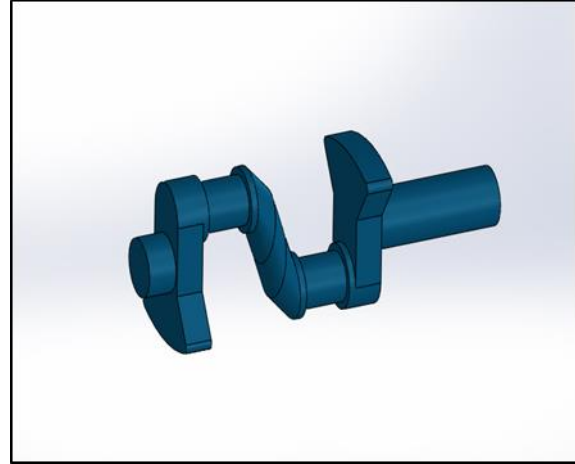
Kompresörün Elemanları

Kompresör sistemini oluşturan parçalar gruplandırılmak istenirse; krank-biyel mekanizma grubu, piston ve silindir grupları, gaz emme ve basma grupları, soğutma grubu, elektrik aksamı olarak gruplandırılabilir. Krank biyel mekanizması elektrik motorundan aldığı hareket enerjisini kullanan elemanlardan oluşur. Piston ve silindirler asıl sıkıştırma ve basınçlandırma işlemlerinin yapıldığı gruptur. Emme ve basma grupları ise gazın kompresöre girme çıkma işlemlerinin yapıldığı elemanlardır. Soğutma grubu silindir piston grubunda sıkıştırılan gazın sıcaklığını azaltmak ve kompresör parçalarının aşırı ısınmasını önleyen sistemlerdir. Elektrik aksamı ise başta elektrik motoru olmak üzere, cihaz kontrol ünitelerinin bulunduğu elektrik panosundan oluşur.

Krank Biyel Mekanizma Grubu

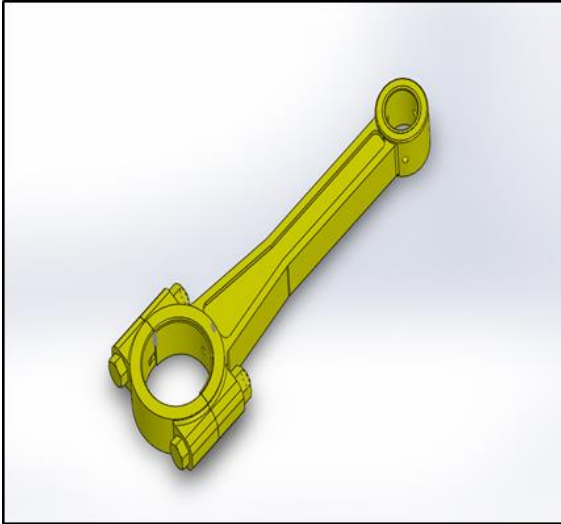
Krank biyel mekanizma grubu içerisinde; krank, biyel kolları, karter bloğu, rulmanlar bulunmaktadır. Krank tahrik motordan kayış kasnak sistemi vasıtasıyla aldığı hareket ile dairesel dönme hareketi yapar. Kranka bağlı olan biyel kolları aracılığıyla pistonların da silindir içerisinde doğrusal hareket yaparak gazı sıkıştırmalarına yardımcı olan parçadır. Çalışmada tasarımı yapılan kompresörün

krankının üç boyutlu görüntüsü şekil (2)'de verilmektedir.



Şekil 2. Krank Üç Boyutlu Görünümü (Crank Three Dimensional View)

Biyel kolları otomotiv sektörü başta olmak üzere pistonlu kompresörler ve birçok sektörde kullanılmaktadır. Kompresörün çalışması esnasında biyel kollarının piston yüzeyine etki eden basınç kuvvetini taşıması gerektiği gibi oluşacak atalet momentlerine, eğilme ve burulmalara karşı mukavemet gösterecek özelliklere sahip olması gerekir. Çalışmada tasarımı yapılan kompresörün biyel kolu şekil (3)'de verilmektedir.



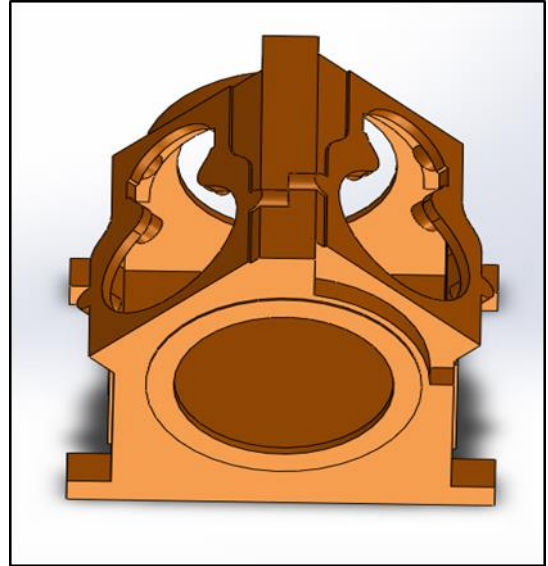
Şekil 3. Biyel Kolu Üç Boyutlu Çizimi (Connecting Rod Three-Dimensional Drawing)

Karter Bloğu

Karter bloğu kompresörün birçok önemli parçasının montajının yapıldığı ana bloktur. Karter bloğu içerisine; krank, biyel, rulmanlar gibi önemli parçalar montaj edilir. Karter bloğunun üstüne ve yanlarına da karter kapakları yerleştirilir. Ayrıca üst kısımlara da silindir bloklarının montajı yapılır. Karter dizaynı yapılırken silindir gruplarının hangi açı değerinde karter gövdesine yerleştirileceği, sağ ve sol tarafa ait eksen kaçıklıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada imalatı gerçekleştirilmiş kompresörün silindir grupları arasındaki açı 90° olarak belirlenmiştir. Karter kapaklarının yeri belirlenirken krank-biyel mekanizmalarının montajının kolay ve rahatlıkla yapılabilmesi için kartere iki adet dikdörtgen yan kapak yeri, krankın ön ve arka kısımlarına da iki adet silindirik kapak yeri olmak üzere şekil (4)'de verildiği gibi toplam dört adet kapak yeri açılmıştır.

Rulmanlar

Rulmanlar hareketin mümkün olan en az sürtünmeyle iletimini sağlayan ekipmanlardır. İmalatı yapılan kompresörde yüksek yük kapasitesine sahip olan 2 adet konik rulman kullanılmıştır. Konik makaralı rulmanlar, yüksek radyal yüklerin yanında tek bir yönden gelen aksel yükleri de karşılayabilirler. Karşı yönden gelen aksel kuvvetlerin karşılanması için ise normalde ikinci bir rulmanın simetrik olarak yataklamada yer alması gerekmektedir.



Şekil 4. Karterin Üç Boyutlu Çizimi (Crankcase Three Dimensional Drawing)

Piston ve Silindir Grupları

İmalatı yapılan kompresörde birinci ve ikinci kademe pistonları dökme demirden imal edilmiş olup, üçüncü ve dördüncü kademe pistonlarının daha yüksek basınç ve sıcaklık değerlerine dayanabilmesi için alüminyum alaşımlı malzemeden üretilmiştir. İmalatı yapılan kompresörde birinci kademe pistonunda 3 adet kompresyon, 1 adet yağ segmanı, ikinci kademe pistonunda 4 adet kompresyon, 1 adet yağ segmanı kullanılmıştır. Piston boylarını uzun ve çaplarını küçük olan üçüncü kademe pistonunda sekiz adet segman kanalı ve 8 adet segman yerleştirilmiştir. Dördüncü kademe pistonunda da 9 adet segman kanalı ve 18 adet segman bulunmaktadır.

Kompresörün birinci kademesinde piston biyel kolu ile direkt olarak pim ile bağlantısı yapılmıştır. Birinci ve ikinci kademe bu çalışma sistemine sahipken; üçüncü ve dördüncü kademelerde piston ile biyel kolu arasında yataklanmayı sağlayan ara bağlantı parçası mevcuttur.

Silindir grupları içerisinde pistonun sıkıştırma ve genleşme olmak üzere her iki yönde doğrusal hareket yaptığı ayrıca pistonların yataklanmasını sağlayan temel elemandır. Silindir iç yüzeyleri imal edilen kompresörde yüksek basınç ve sızdırmazlık önemli olduğu için silindir içerisine özel

alaşımli malzemelerden iç yüzeyi taşlanarak hazırlanan gömlekler yerleştirilir.

Emme ve Basma Grupları

Kompresörde gazı belirlenmiş basınç değerlerinde silindir içerisine alan ve istenilen basınç sağlandıktan sonra gazın silindirden tahliyesini yapan klape adı verilen mekanizmaları içeren gruptur. Klapeler kompresörlerde gazın silindir içerisine giriş ve çıkış yaptığı kısımlarda bulunan, gazın silindir içerisine düşük basınçta alınmasını ve silindirde basıncı artmış olan gazın tahliyesini sağlayan parçalarıdır. Klapeler özellikleri itibari ile emme ve basma olmak üzere iki çeşittir. İmalatı yapılan kompresörde 4 emme, 4 basma klapesi mevcuttur.

Soğutma Grubu

Kompresörde sıkıştırma işlemlerinde yüksek basınç ve sıcaklık artışı meydana gelmektedir. İmalatı yapılan 4 kademeli kompresörde kademe çıkışlarındaki sıcaklık değerlerinin bir sonraki kademeye düşürülmüş olarak giriş yapması istenmektedir. Bunun için şematik gösterimi Şekil (5)'de görüldüğü gibi radyatör vasıtası ile soğutma işlemi uygulanmaktadır.

Elektrik Motoru

Kompresörün gazı sıkıştırması için gerekli olan hareket enerjisi elektrik motoru vasıtası ile sağlanmaktadır. Elektrik motoru kompresörün elektrik aksamını oluşturan temel elemandır. Çalışmada imalatı yapılan kompresörünün elektrik motorunun gücü 18,5 kW'tır.

Kompresör İmalatı

Kompresör imalatı yapılırken ilk olarak ana gruplar ve bu gruplara ait parçaların imalatı

yapılmıştır. Dökümü yapılan parçaların işlenmesi ve montaja uygun hale gelmeleri için de çeşitli imalat yöntemleri uygulanmıştır. Krank, biyel kolu, pistonlar, silindirler gibi önemli parçalara hassas işleme yapılmıştır

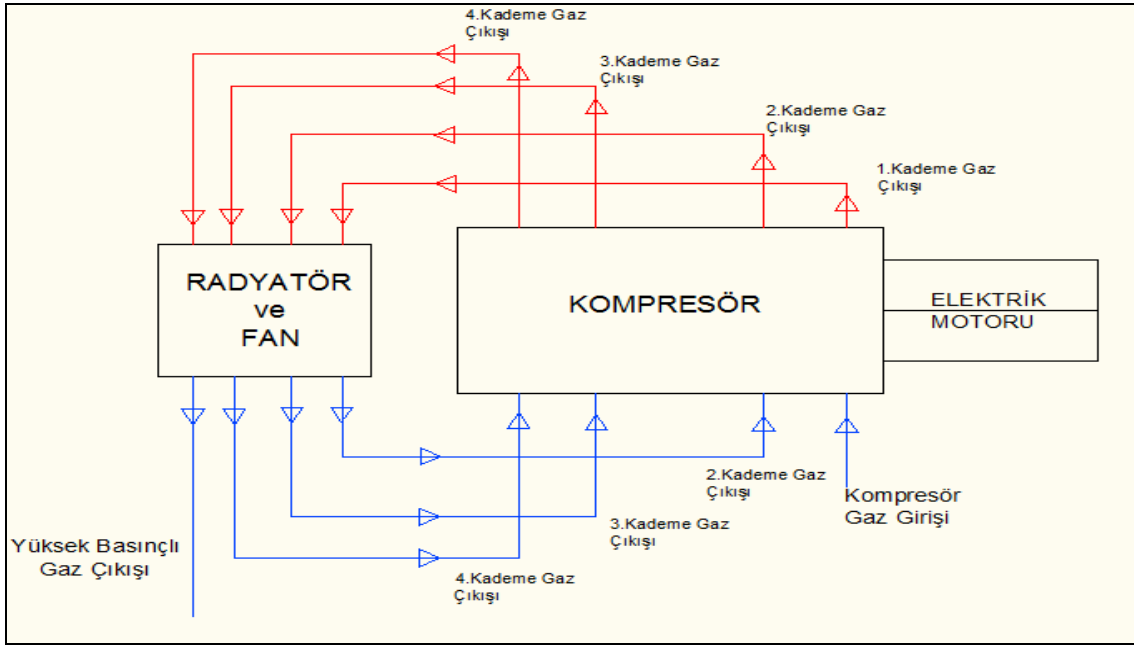
Kompresöre ait parçalar montaja hazır hale getirildikten sonra ilk olarak kompresör gövdesinin montajı yapılmıştır. Kompresör gövdesinin montaj yapılmış hali şekil (6)'de verilmiştir.

İmalatı yapılan bu kompresör için özel bir şase üretilmiştir. Kompresör elemanları, elektrik motoru, elektrik panosu, radyatör, fan ve basınç göstergeleri şekil (7)'de verildiği gibi şase üzerine montajı yapılmıştır.

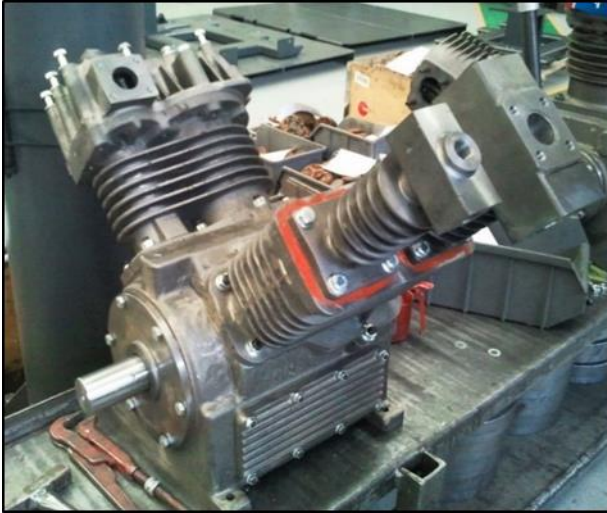
Performans Testleri

İmalatı yapılan CNG kompresörü test sırasında 21 mbar basıncında olan doğal gazı şehir içi şebeke hattından alıp 200 bar basınca çıkarmıştır. Testler sırasında elektrik motorun devir sayısı ve çalışma debisi sabittir. Şekil (8)'de akış diyagramı verilen deney düzeneğinde basınçlı gazın depolanması için 60 litre hacimli bir CNG tankı kullanılmıştır.

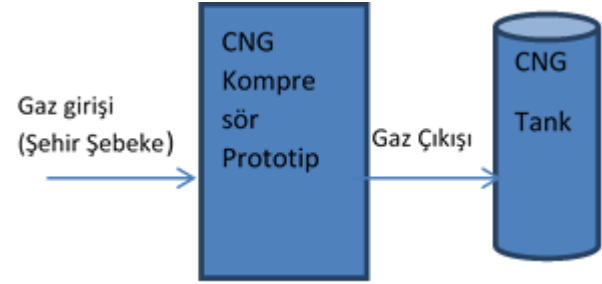
Deney esnasında değerlendirme kolaylığı sağlanması amacıyla tanktaki her 10 bar gaz basınç artımları arasında geçen süreler ölçülmüştür. Kompresörün sıkıştırılan gazı tanka basması ile birlikte her bir ölçüm için geçen süreler tablo (2) 'de verilmiştir. Kompresöre doğalgaz 0,022 bar basınçla girdiğinden dolayı 1. ölçümde yaklaşık 454 kat artışla 10 bar değerine gelmesi için 90 saniye süre geçmektedir. Bu başlangıç durumundan sonra her 10 bar artışta süre kısalmaktadır



Şekil 5. Kompresör Soğutma Sistemi (Compressor Cooling System)



Şekil 6. Kompresör Gövdesi Montaj (Compressor Body Mounting)



Şekil 8. Test İçin Akış Şeması (Flowchart For Test)

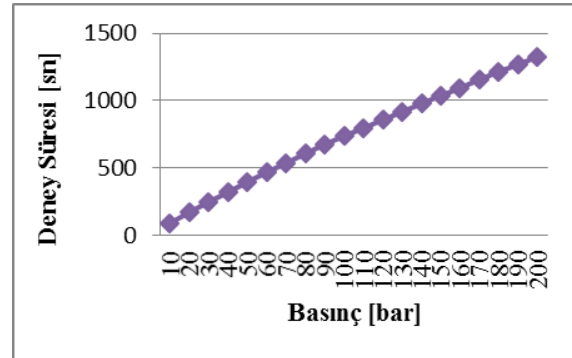


Şekil 7. Kompresör Şasesi ve Montajı (Compressor Chassis and Mounting)

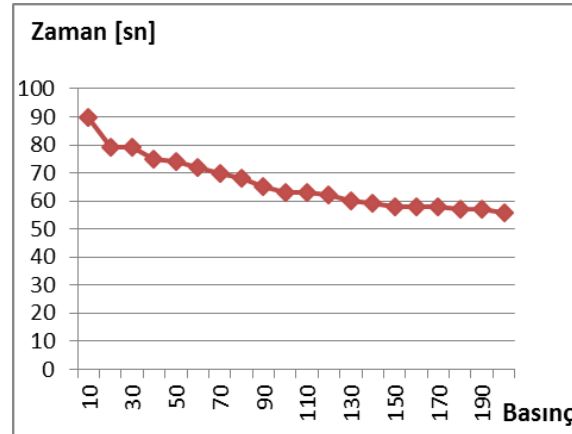
Tablo 2. Basınç ve Süre Ölçümleri (Measurements of Pressure and Time)

	Gaz Stok Basıncı [bar]	Geçen Süre [sn]
1. Ölçüm	10	90
2. Ölçüm	20	79
3. Ölçüm	30	79
4. Ölçüm	40	75
5. Ölçüm	50	74
6. Ölçüm	60	72
7. Ölçüm	70	70
8. Ölçüm	80	68
9. Ölçüm	90	65
10. Ölçüm	100	63
11. Ölçüm	110	63
12. Ölçüm	120	62
13. Ölçüm	130	60
14. Ölçüm	140	59
15. Ölçüm	150	58
16. Ölçüm	160	58
17. Ölçüm	170	58
18. Ölçüm	180	57
19. Ölçüm	190	57
20. Ölçüm	200	56

Test yapılırken kompresörün tanka bastığı gaz basıncı 200 bar seviyesine gelince durdurulmuştur. Ölçüm sonuçları şekil (9)'da grafik halinde verilmiştir. Test sonuçları incelendiğinde kompresör çalışırken basınç değeri yükseldikçe her 10 barlık sıkıştırma için geçen sürelerde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Kompresörün 80-100 bar değerlerine ulaşana kadar her 10 barlık değerler arasında geçen süreler yüksek değerler olurken; 100 bar değerinden sonra bu farklar düşük oranlarda kalmıştır. Bu kompresörün belirli bir dengelenme noktasında geldiğini ve 10 barlık sıkıştırma sürelerinin belirli bir sabit değere ulaşmaya başladığını göstermektedir. 120-200 bar değerlerinde kompresörün 10 bar değer artışlarında süreler azalmaya devam etmiştir. Kompresörün 120 bar basınç sonrası dengeli bir şekilde tanka dolum yaptığı görülmektedir.



Şekil 9. Basınç-Zaman Grafiği (Pressure-Time Graph)



Şekil 10. Deney Süresince Basınç Değişimi (During The Experiment The Pressure Change)

Kompresör deney sonuçları incelendiğinde şekil (10)'dan anlaşılacağı gibi kompresörün 60 litre kapasiteli CNG tankını 20-25 dakikada doldurduğu ve 200 bar basınç değerine çıkardığı görülmektedir.

Sonuçlar

İmalatı yapılan CNG kompresör 20 ile 25 dk değerleri arasında 60L kapasiteli bir CNG tankını 200 bar basınçta doldurmaktadır. Ticari amaçlı kompresör imalatında bu süreleri olabildiğince kısaltacak şekilde tasarım yapılması daha uygun olacaktır.

Kompresör deney esnasında basınç ve debi açısından incelenmiştir. Kompresörde bulunan basınç göstergeleri sayesinde her bir kademeye ait gaz basıncı anlık olarak görülebilmektedir. Bu sayede hem bir arıza durumunda problemin hangi kademede olduğunu anlamak adına hem de kompresörün kademelerinin istenilen basınç aralıklarında çalışıp çalışmadığını kontrol etmek adına da önemli bir yer tutmaktadır.

Radyatör üzerine yerleştirilmiş olan fanlı elektrik motoru sayesinde sıkıştırılmış gazın sıcaklığı azaltılmaktadır. Bu sayede kompresörde kademelere düşük sıcaklıkta gaz girmesi sağlanmakta dolayısı ile hem malzeme ömürleri uzamakta, hem de tanka daha fazla gaz sıkıştırma imkanı oluşmaktadır. Fakat fanın etkinliğini ve soğutma konusunda daha fazla verim alabilmek için elektrikli fan baca kanalı içerisine alınıp yapılması soğutmanın daha verimli olmasını sağlayacaktır.

Ayrıca kompresörün şase ve iskeletinin kabin ve kapaklarla kapatılması durumunda kompresör kabini içerisindeki sıcaklığın daha kolay absorbe edilmesini sağlayacaktır. Kompresörde silindir yüzeyleri için, debinin düşük olması sebebi ile su soğutma cepleri yapılmasına gerek duyulmamıştır. Fakat yapılmasında da bir mahsur bulunmamaktadır.

Kompresöre ait önemli kısımlardan kayış kasnak mekanizması da kompresör şase ve gövdesine montaj kolaylığı sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Kasnağın kanatçıklı yapıda imal edilmiş olmasından dolayı kompresöre ait bilindir bloklarını ve karterin de dönme hareketi sırasında soğumasına katkı sağlamaktadır. Bu

sayede asıl görevi hareket vermek olan kasnağın ilaveten soğutmaya da faydasının olması sağlanmıştır.

Kaynaklar

[1] “Türkiye 1. Enerji Şurası Alt Komisyon Raporları”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İstanbul, 2: 1-9 (1998).

[2] “What’s New in Natural Gas Vehicles&Equipment”, Pipeline&Gas Journal, Dec 1993,Vol 220, Issue 12, P53.

[3] Brezonick, Mike, “New High Capacity Natural Gas Compressor Package From Hurricane” Diesel Progress Engines&Drives, Oct 1995,Vol 61,Issue 10,P46

[4] Lochmann,K.,Ziche,G., “High-Pressure Compressor for CNG Filling Station:Development,Design,Application”,Gaswar me international, 1998, 47(4/5):267-271

[5] E. N. Vlasov, K. Mamaev, I. K. Shatalov, and E. V. Dedikov, “Improving Centrifugal Superchargers in Compressor Stations Ways of Acoustically”, Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 40, Nos. 1–2, 2004

[6] Koga,T.,”High Pressure,High Standarts: High Pressure Screw Gas Compressors”, Hydrocarbon Engineering,2009,14(2):73-78

[7] Reuss,N.,Mundt,C., “Experimental Investigations of Pressure Distorsions on the High Pressure Compressor Operating Behavior”, Journal of Propulsion and Power,May,jun 2009,25 ,P653-667.

[8] Zheng XQ, Zhang YJ,Yang MY, “Research and Development on Transonic Compressor of High Pressure Ratio Turbocharger for Vehicle Internal Combustion Engines”,Science China-Technological Sciences, Jul 2010, 53,P1817-1823

[9] Kern,M.Horn,W.Hiller,S.J.,Staudacher,S., “Effect of Tip Injection on the Performance of a Multi-Stage High-Pressure Compressor”, Ceas Aeronautical Journal,2011,2(1-4),99-110.

[10] Bidant,Y.,Baumann,U.,”Improving the Design of aa High Pressure Casing with the Help of Finite Element Analysis to Ensure the Rotor Dynamic Stability of High Pressure Centrifugal Compressor Equipped with a Hole Pattern Seal”,Journal of Engineering For Gas Turbines and Power-Transtactions of The Asme,Jul 2011,133.

[11] P.Droescher, M.Sattler, A.Laxander, "Dry Gas Seals For High-Pressure gas Injection Compressors Used in High-Pressure Service for Gas Injection" Pipeline and Gas Journal, 2011, 238,61-63

[12] Öztürk T. "Düşük Hızlı Santrifüj Kompresörlerde Üç Boyutlu Sayısal İnceleme" Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005

[13] Babayev Y. "Bir Kompresör Gövdesi İmalatının Toz Metalurjisi ve Difüzyon Kaynağı Yöntemleri Uygulanarak Optimizasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007

[14] Compressor Handbook, Editor Paul Hanlon, McGraw-Hill, 2001

[15] Kompresörler, Prof.Dr.Kirkor YALÇIN, TMMOB Yayınları, 2010

[16] Ünal İ., Doğan B. "Yüksek Basıncılı Gaz Kompresörlerinin Çalışma Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi", Mühendis Makine Dergisi, 2014

[17] Xueqiang F., Liangsheng G., Xiancai F., Yongzhang Yu "A New Type Of CNG Refueling System and Equipment" International Compressor Engineering Conference at Purdue, July 14-17, 2008