

Ev Tipi Olarak Tasarlanmış Bir CNG Kompresör Prototipinin Performans ve Çalışma Parametrelerinin İncelenmesi

Battal DOĞAN

Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale
(Geliş / Received : 27.01.2016 ; Kabul / Accepted : 30.03.2016)

ÖZ

Günümüzde ticari amaçlı yük ve yolcu taşımada kullanılan araçlarda çevre kirliliği azaltmak ve yakıt ekonomisinin sağlanması açısından enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanılmaktadır. Hususi araçlar içinde doğal gaz kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu araçlarda yakıt dolumu için istasyonlarda yüksek basınçlı doğal gaz (CNG) kompresörü kullanılmaktadır. Araçların dolum yaptığı merkezlerde bulunan CNG kompresörler şehir şebekesinden aldıkları doğal gazı 200-250 bar basınçta CNG tanklarına doldurmakta ve tanklardan araçların deposuna iletilmektedir. Bu çalışmada tasarımı ve imalatı yapılan 4 pistonlu CNG kompresör prototipi şehir içi şebeke hattından 0.022 bar basınçla alınan doğal gazı 200 bar basınçlara sıkıştırılmaktadır. İmalatı yapılan kompresörün debi ve basınç testleri yapılarak sonuçlar kısmında verilmiştir. Ayrıca CNG kompresörünün enerji performans testleri ve hesaplamaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CNG, Kompresör, Enerji

Analysing the Performance and Working Parameters of A CNG Compressor Prototype Designed As A Household Type

ABSTRACT

Nowadays, the natural gas has been used as energy resource to decrease environment pollution and support fuel economy in the vehicles, which are used in commercial load and passenger transport. Using natural gas has become prevalent in private vehicles. In this vehicles, high pressure natural gas compressor are used to fuel up in the station. CNG compressor, which is located in the center of filling up the vehicles, fill up natural gas to the CNG tank at 200-250 bar pressure, which is taken to the inner city lines, and natural gas has been transmitted from tanks to the storage of vehicles. In this study, the four-piston CNG compressor prototype that is designed and manufactured has been compressing the natural gas, which has been taken with a 0.022 bar pressure from the inner-city lines into 200 bar pressure. The pressure and flow tests of compressor that is manufactured have been given at result section. Moreover, energy performance tests and calculations of CNG compressor has been made.

Key Words: CNG, Compressor, Energy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Türkiye’de yolcu ve yük taşımada kullanılan araçlar çevreyi kirletmekte ve petrol fiyatlarının yüksek olması nedeniyle ekonomiye ağır yük getirmektedir. Bu nedenle alternatif yakıt kullanımı teşvik edilmelidir. Petrole alternatif yakıt olarak kullanılan CNG hem ekonomik hem de çevreci bir yakıttır. CNG kullanan araçlar atmosfere dizel araçlardan 22 kat daha az karbon monoksit salmakta ve daha sessiz çalışıp gürültü kirliliğini azaltmaktadır. Dünyada devlet teşviklerinin az olması ve alt yapı eksiklikleri bulunması nedeniyle doğal gazlı motora sahip araçlar tüketici ve filo şirketleri tarafından daha az tercih edilmektedir [1-3]. Yapılan araştırmalar CNG altyapısı ve yakıt ikmali probleminin

çözülmesi durumunda pazarın daha fazla genişleyeceğini göstermektedir [3-5].

CNG kullanan araçların deposunun doldurulmasında 200-250 bar gibi yüksek basınçlara çıkabilen yüksek basınçlı gaz kompresörleri gerekmektedir. Bu nedenle yüksek basınçlı CNG kompresörlerde en önemli tasarım kriteri basınçtır. Giriş basıncı ile çıkış basıncı arasındaki fark kademe sayısını ve soğutma sistemini belirlemektedir [6-7]. Kompresör tasarımında kademe sayısı akışkanın soğutulması açısından önemlidir. Genellikle CNG kompresörleri 3 veya 4 kademeli tasarlanır [8]. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus kompresörde bulunan silindir sayısı her zaman kademe sayısı ile aynı olmayabilir. Kademe sayısı kompresörün debisi ile ilişkilidir [9]. CNG kompresöründe debi dolun süresini ve performansı etkilemektedir [10]. Bir CNG kompresörü tasarlanırken basınç debi ve kademe sayısı yapılan hesaplamalarla belirlenir. Hesaplamalar-

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: btldgn@gmail.com

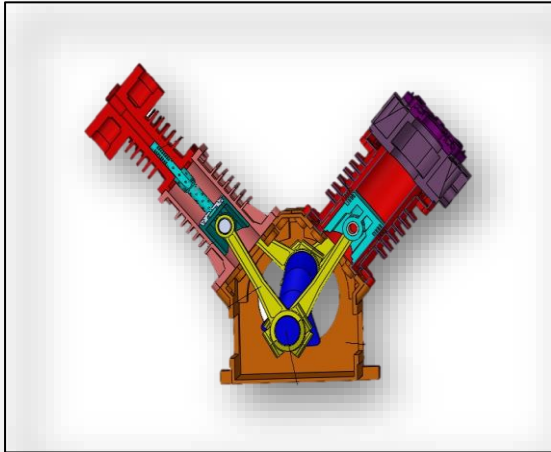
Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.4 427-431

dan sonra imalat çizimleri ve malzeme seçimleri tamamlanır. Kompresörde gövde, krank ve silindirler hassas parçalardır [11]. Döküm işlemi yapıldıktan sonra parçalar hassas tezgâhlarda işleme tabi tutulur. Montaj işleminden sonra deneme ve testler yapılır. Çalışmada imalatı yapılan kompresörün ülkemizde herhangi bir üretimi bulunmamaktadır. Büyük şehirlerde CNG kullanan şehir içi otobüslerinin doğalgaz yakıt teminini sağlayan CNG kompresörleri mevcuttur. Bu kompresörlerin debileri çok yüksektir. Çalışmada imalatı yapılan ev tipi kompresör belediyelerin kullandığı büyük debili makinelerle karşılaştırmak uygun değildir.

Bu çalışmada elektrik motorundan güç sağlayan 200 bar basınçta çalışan 4 kademeli bir CNG kompresör prototipin tasarım ve imalatı yapılmıştır. Değişik şartlarda testler gerçekleştirilmiş ve basınç, debi ve enerji tüketimine ait sonuçlar verilmiştir. Doğal gaz ile yapılan sıkıştırma işleminde genellikle dolum yapılan depoların belirli bir kritik basınç değerinde tutulmasının gerektiği belirlenmiştir.

2. TASARIM VE İMALAT (DESIGN AND MANUFACTURING)

CNG yüksek basınç değerlerinde sıkıştırıldığı için pistonlu kompresörler daha verimli çalışmaktadır. CNG sıkıştırılırken doğalgazın kompresöre giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkı yüksektir. Bu yüksek basınç farkını pistonlu tip kompresörlerle sağlamak soğutma açısından da önem arz etmektedir. Bu nedenle çalışmada Şekil 1’de kesiti verilen 4 kademeli pistonlu kompresör imal edilmiştir.



Şekil 1. CNG kompresör prototipinin kesit görüntüsü (CNG compressors prototype sectional view)

Şekil 1’deki kompresör 18.5 kW güçte elektrik motorundan hareket enerjisini alarak krankın dönmesini sağlamaktadır. Biyel kolları pistonların emme ve basma işlemlerini yapmasını sağlayarak gazı sıkıştırmaktadır. Prototipte 1. ve 2. kademelerin bulunduğu silindir gövdesi ile 3. ve 4. kademelerin buldukları silindir gövdeleri arasındaki açı 90° olacak şekilde ayarlanmıştır. Debinin ayarlanmasındaki en önemli etmenlerden biri olan devir sayısının artması yüksek sıcaklık değerlerini beraberinde getirmekte, soğutma ihtiyacı artmaktadır.

Ticari amaçlı olarak kullanılan kompresörlerde devir sayıları yüksek tutulur ve artan sıcaklığa karşı su ve soğutucu akışkan kullanılarak soğutma sağlanır. Ancak ticari amaçlı olmayan kompresörler için zaman sıkıntısı olmadığı için düşük devir sayılarında dolayısı ile düşük debide gaz sıkıştırma işlemi yapılabilir. Prototip şekil 2 verildiği gibi krank-biyel mekanizma grubu, piston ve silindir grupları, gaz emme ve basma grupları, soğutma grubu, elektrik aksamından oluşmaktadır.

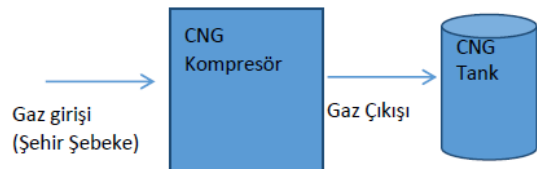


Şekil 2. Prototip şasesi montaj resmi (The prototype chassis assembly drawing)

Tasarım aşamasında kompresörün istenilen basınç değerlerine çıkabilmesinin yanında meydana gelebilecek deformasyonları önleyebilecek dayanıma da sahip olması önemlidir. Bu parametreler göz önüne alınarak sistemin optimum şartlarda çalışabilmesi için, radyatör vasıtası ile kademeler arasında doğal gazın soğutulması sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve analiz çalışmaları ile kompresörde bulunan önemli parçaların birçoğu standart ölçüler dışında olan parçalardır. Bu nedenle bütün parçalar için özel döküm kalıpları hazırlanmıştır.

3. PERFORMANS TESTLERİ (PERFORMANCE TESTS)

İmalatı yapılan CNG kompresörü test sırasında 21 mbar basıncında olan doğal gazı şehir içi şebeke hattından alıp 200 bar basınca çıkarmıştır. Şekil 3’de akış diyagramı verilen deney düzeneğinde basınçlı gazın depolanması için 60 litre hacimli bir CNG tankı kullanılmıştır.



Şekil 3. Test akış şeması (Test flow chart)

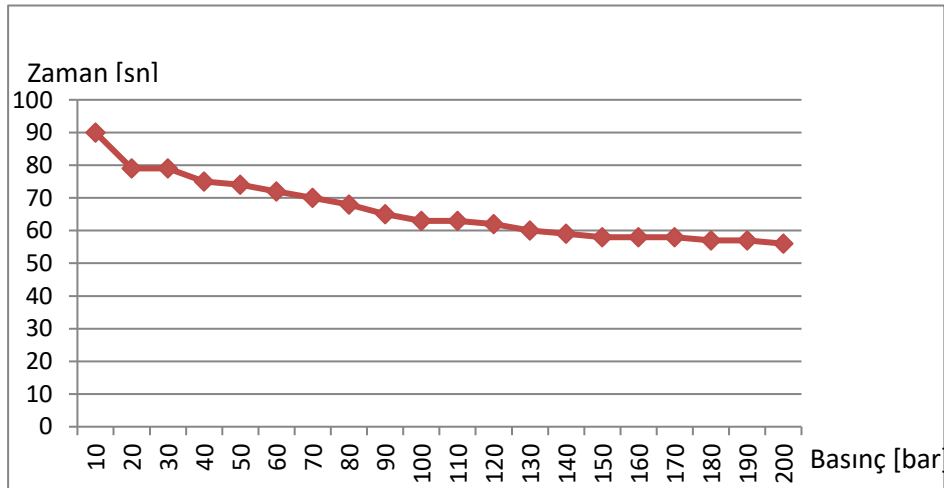
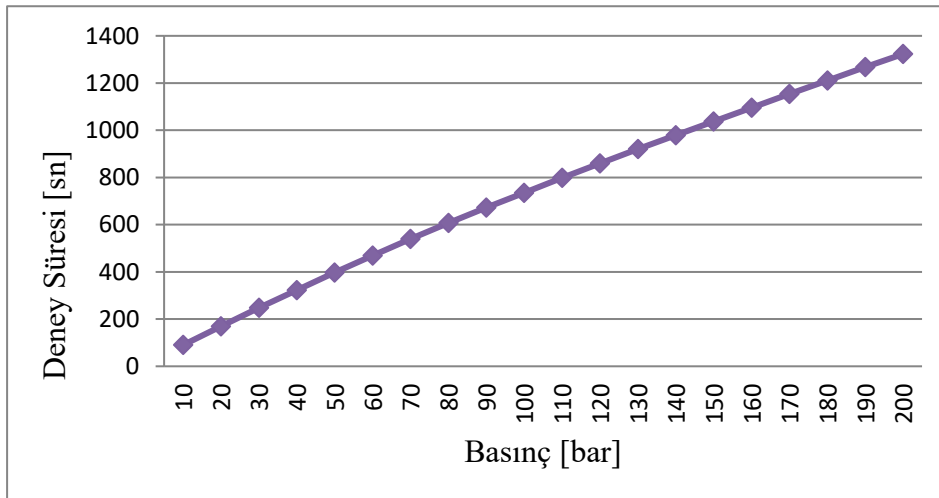
Deney esnasında değerlendirme kolaylığı sağlanması amacıyla tanktaki her 10 bar gaz basınç artımları arasında geçen süreler ölçülmüştür. Kompresörün sıkıştırılan gazı tanka basması ile birlikte her bir ölçüm için geçen süreler Çizelge 1’ de detaylı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 1. Deney basınç ve süre ölçümleri (Experimental 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

Deneyde kompresörün tanka bastığı gaz basıncı 200 bar seviyesine gelince durdurulmuştur Ölçüm sonuçları şekil 4’de grafik halinde verilmiştir. Deney esnasında her 10 barlık artışlar arasında geçen süreler incelendiğinde 0 bar başlangıç değerinden 10 bar ilk değerine kadar geçen süre 90 sn iken, 190 bar dan 200 bar değerine ulaşması için geçen süre 56-57 saniye olarak ölçülmüştür. 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.

Kompresör deney sonuçları incelendiğinde şekil 5’den anlaşılacağı gibi kompresörün 60 L lik CNG tankını 20-25 dakikada doldurduğu ve 200 bar basınç değerine çıkardığı görülmektedir. Prototipin soğutma sistemi ve

**Şekil 4.** Basınç-zaman grafiği (Pressure-time graph)**Şekil 5.** Deney süresince basınç değişimi (During the experiment the pressure change)

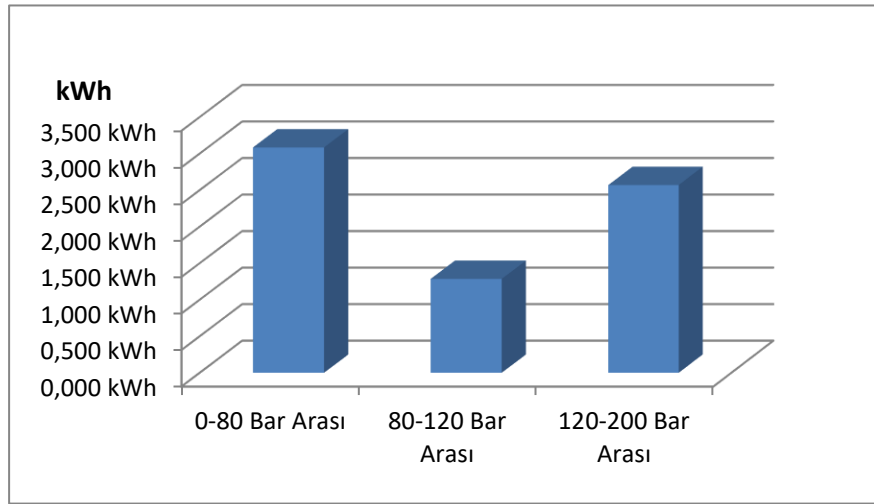
malzeme dayanımları geliştirilerek, yüksek devir şartlarında daha kısa sürede dolun yapılabilmesine imkan sağlanabilir.

Deney süresince meydana gelen enerji tüketimi miktarları şekil 6'da verilmiştir. Kompresördeki elektrik motoru 18,5 kJ/s olduğu dikkate alınarak kompresördeki çalışma sırasındaki zaman aralıkları bu güç değeri ile çarpılarak maliyet hesaplanmıştır. Test süresince en çok enerji tüketimi 0-80 bar basınç değerleri arasında yaklaşık 3 kWh ile gerçekleşmiştir. Kompresör 80-120 bar değerleri arasında yaklaşık 1,285 kWh lik bir enerji harcarken; 120-200 bar değerleri arasında da 2,569 kWh enerji maliyeti bulunmaktadır. Yüksek kapasiteli CNG kompresörlerinde dengelenme süresine kadar olan enerji maliyeti, dengelenme sonrasındaki enerji maliyetinden düşük kalmaktadır. Prototip ile yapılan deney sonucunda bu durum yeniden teyit edilmiştir.

işleminde harcanan süre kompresörün ev tipi kompresör olması dolayısıyla ile çok iyi sayılabilecek bir süredir. Fakat ticari amaçlı kompresörler imalatlarında bu süreler olabildiğince kısaltılacak şekilde tasarımı yapılması daha uygun olacaktır.

Kompresör deney esnasında basınç, debi açısından incelenebilmiştir. Enerji maliyetleri analiz edilmiştir. 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.

Literatürdeki bazı çalışmalar incelenmiş ve imalatı gerçekleştirilen kompresörün test sonuçları karşılaştırıl-

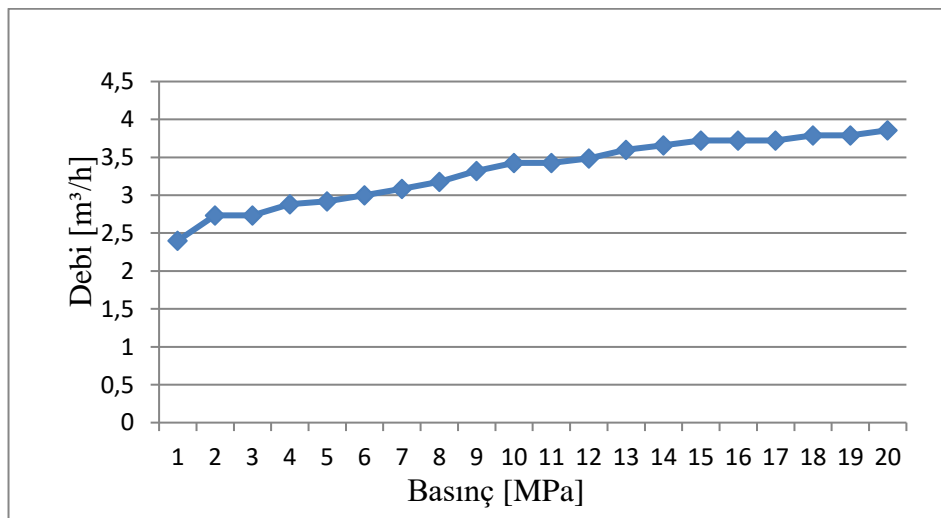


Şekil 6. Enerji tüketim miktarı (The amount of energy consumption)

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışmada imalatı yapılan CNG kompresör prototipi bir CNG tankını 200 bar basınçta doldurmaktadır. Bu dolun

mıştır. Test sonuçları karşılaştırıldığında [9] dolun sırasında basınç artarken belirli değerler arasında dengelenme olduğu görülmektedir. Testleri yapılan prototipin basınç-debi ilişkisini veren grafik şekil 7'de



Şekil 7. Prototip için debi-basınç ilişkisi (Flow-pressure relationship for prototype)

verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde 10-12 MPa değerlerinde bir dengelenme süreci meydana gelmiştir. Literatür çalışmaları [10] incelendiğinde doğalgaz sıkıştırma işleminde kritik bir basınç değerinde dengelenmenin başladığı görülmektedir.

Bu sebeple CNG tanklarına dolum yapılırken bu kritik noktalar göz önüne alınarak, tanktaki gaz basınç miktarının belirli bir seviyenin altına düşmemesi istenmektedir. Bu sayede dengelenme için geçen süre daha düşük olmakta ve enerji maliyetini azalmaktadır.

CNG kompresörleri artan enerji maliyetleri ve çevre kirliliği sorununun önüne geçecek temiz ve tasarruflu enerji olmasından dolayı güncelliğini koruyan bir konudur. Bu çalışma literatürde bulunan CNG kompresörleri konusundaki eksikliğin de giderilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada literatürde bulunan diğer çalışmalardan farklı olarak bir CNG kompresörünün tasarımı ve imalat aşamalarının tamamına yer verilmiş, CNG kompresörleri bileşenleri ve imalat aşamaları detaylı olarak anlatılmıştır. Kompresörün imalatı gerçekleştirilerek bu kompresörün CNG tankına gaz dolumu deney çalışmaları yapılmıştır. İmalatı yapılan kompresör ev tipi olması sebebi ile yüksek basınç ve düşük debi ile çalışan bir kompresörün çalışma parametrelerinin incelenmesi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1- Wegrzyn J., Gurevich M., "Adsorbent storage of natural gas", *Applied Energy*, 55: 71–83, (1996).
- 2- 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).
- 3- Cao W., Lu X-S, Lin W., Gu A., "Parameter comparison of two small-scale natural gas liquefaction processes in skid-mounted packages", *Applied Thermal Engineering*, 26(8–9): 898–890, (2006).
- 4- Xuping Li., Ogden Joan M., Kurani Kenneth S., "An overview of automotive home and neighborhood refueling", *EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*, Stavanger, Norway, May 13–16, (2009).
- 5- Koga T., "High Pressure, High Standarts: High Pressure Screw Gas Compressors", *Hydrocarbon Engineering*, 14(2): 73-78, (2009).
- 6- Reuss, N., Mundt C., "Experimental Investigations of Pressure Distorsions on the High Pressure Compressor Operating Behavior", *Journal of Propulsion and Power*, 25: 653-667, (2009).
- 7- 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*, 53: 1817-1823, (2010).
- 8- 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*, 2(1-4): 99-110, (2011).
- 9- Bidant, Y., Baumann, U., "Improving the Design of a 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-Transactions of The Asme*, 133, (2011).
- 10- Droscher P., Sattler M., Laxander A., "Dry Gas Seals For High-Pressure gas Injection Compressors Used in High-Pressure Service for Gas Injection", *Pipeline and Gas Journal*, 238: 61-63, (2011).
- 11- Ünal İ., Doğan B. "Yüksek Basıncılı Gaz Kompresörlerinin Çalışma Parametrelerinin Deneysel İncelenmesi", *Mühendis Makine Dergisi*, (2014).