

Hurşit SENGİR

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2009

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

CNG TANKLARI İÇİN HİDROSTATİK
PATLAMA BASINCI TEST DÜZENEĞİ TASARIMI

HURŞİT SENGİR

EKİM 2009

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

CNG TANKLARI İÇİN HİDROSTATİK
PATLAMA BASINCI TEST DÜZENEGİ TASARIMI

HURŞİT SENGİR

EKİM 2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürünün onayı.

...../...../.....

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN
Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali ERİŞEN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN

ÖZET

CNG TANKLARI İÇİN HİDROSTATİK PATLAMA BASINCI TEST DÜZENEĞİ TASARIMI

SENGİR, Hurşit

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN

Ekim 2009, 72 sayfa

Petrol rezervlerinin her geçen gün azalıyor olması, dünya ülkelerinin önümüzdeki yıllarda petrol temini konusunda bir çıkmaza sürükleneceğinin kaçınılmaz olması, bütün bunların yanı sıra fosil kaynaklı yakıtların çevre üzerinde sahip olduğu olumsuz etki ve tahrip edici özellikler, birçok ülkeyi ve kuruluşu alternatif enerji kaynakları konusunda arayış içerisine itmiştir.

Doğalgaz, 1970'li yıllarda yaşanan bir enerji darboğazından sonra birçok ülke tarafından gündeme gelmiş ve alternatif bir enerji kaynağı olarak kendine yer bulmaya başlamıştır. Rezerv ve temin bakımından bol olması, bunun neticesinde maliyetler yönünden fosil kökenli yakıtlardan çok daha avantajlı olması, hem çok temiz, hem de çok verimli yanma özelliklerinin olması bu yakıt türünün kullanımını oldukça arttırmıştır. Doğalgazın araçlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılması da, zaman içerisinde gelişmiş ve pratikte kendine ciddi oranda yer bulmaya başlamıştır.

Doğalgaz, araçlarda genellikle CNG (sıkıştırılmış doğalgaz) olarak, yüksek basınç tanklarında depolanmaktadır.

Bu tez çalışmasında CNG tankları için hidrostatik patlama basıncı test düzeneği tasarımı gerçekleştirilmiştir. Deney tesisatında kullanılan cihazların seçimi yapılmış, akışkanın gerekli basıncını ve debisini sağlayacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: CNG, Tank, Patlama Basıncı.

ABSTRACT

A SYSTEM DESIGN FOR HYDROSTATIC BURST PRESSURE TESTING OF CNG VESSELS

SENGİR, Hurşit

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Sadettin ORHAN

October 2009, 72 pages

As the petroleum reserves have been decreasing most of the countries are going to suffer inevitably from the lack of petroleum reserves and the petroleum' s bad effects on the nature and environment in emission point of view, they are going to look for some new alternative fuels.

Natural gas has been introduced to the whole world after an energy crisis which took place in the 1970s, and only then it has started to become an important alternative fuel resource. Since it is abundant in the nature in terms of reserves and supply, remained as a reasonable alternative fuel when compared to the other fossil fuels, since it always possessed the advantage of being the most cleanest and the most efficient combustible. Its usage as an alternative fuel for vehicles has started

gradually by being a part of this process. In this thesis, a system of hydrostatic burst pressure test apparatus for CNG vessels is prepared.

Key Words: CNG, Vessels, Burst Pressure

TEŐEKKÖR

Tezimin hazırlanması esnasında bilgisini, tecrubesini ve yardımlarını esirgemeyen, tez yöneticisi hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN' a, çalışmalarımnda destek ve yardımlarını sakınmayan hocalarım Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK ve Sayın Doç. Dr. M. Hüsnu DİRİKOLU' na, çalışmalarım esnasında yardımını ve desteğini gördüğüm hocalarım Sayın Doç. Dr. H. Kemal ÖZTÖRK ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILANCI' ya, çalışmalarım esnasında desteğini gördüğüm Sayın Arş. Gör. Barış KALAYCIOĞLU ve Sayın Arş. Gör. Öner ATALAY' a ve her zaman desteklerini üzerimde hissettiğim aileme teşekkür ederim.

KISALTMALAR

ANG	Adsorbe edilmiş doğalgaz
C ₂ H ₆	Etan
C ₃ H ₈	Propan
CNG	Sıkıştırılmış doğalgaz
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
HC	Hidrokarbon
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı
NO _x	Azot oksit
PEE	Petrol enerjisi eşdeğeri
PM	Partikül madde

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

1.1. Kriyojenik doğalgaz tankı.....	6
1.2. ANG depolama prensibi.....	7
1.3. CNG tankı.....	8
1.4. Tek yakıtlı sistem.....	15
1.5. İki yakıtlı sistem.....	16
1.6. Çift yakıt uygulaması.....	17
1.7. CNG sistem elemanlarının taşıt üzerindeki yerleri.....	19
1.8. Dolum ucu.....	19
1.9. Selenoidli dolum ucu.....	20
1.10. Harici dolum ucu.....	21
1.11. Tank valfi.....	21
1.12. Benzin selenoid valfi.....	22
1.13. Koruyucu kapak.....	23
1.14. Vent borular.....	23
1.15. Yüksek basınç boruları.....	24
1.16. Regülatör.....	24
1.17. Çeşitli mikserler.....	26
1.18. Doğalgaz tankları.....	26
2.1. Esneklik katsayısına göre karbon elyaf tipleri.....	31

2.2. Metal  gömlek (Liner) retiminden görünümler.....	39
2.3. Filaman sargı cihazının Şematik görünüşü.....	40
2.4. Otomobillerde CNG tankı kullanımı.....	43
2.5. Otobüslerde kullanılan CNG tankları.....	44
2.6. Hidrostatik basınç patlama testi düzeneği.....	45
2.7. Yaylı ek valflerin 2 ayrı durumu	50
2.8. Akış denetim valfi	50
2.9. Belli bir basına ayarlanmış emniyet valfi.....	51
2.10. Basıncı ayarlanabilen emniyet valfi	52
2.11. Filtre	52
2.12. Tüplü manometrenin iç yapısı	54
2.13. Hidrolik hortumların montajında dikkat edilecek önemli noktalar	55
2.14. Depo	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

1.1. Egzoz gazı emisyon değerleri.....	11
1.2. Yakıt ekonomilerinin karşılaştırılması.....	11
1.3. Doğalgazlı araç ve dolum istasyonu sayıları.....	14
2.1. Testlerin CNG tanklarının tipine göre uygulanışı.....	38
2.2. Hidrostatik basınç patlama testi ekipmanları.....	45
2.3. Hidrolik pompaların çeşitli özellikleri	47
2.4. Depo elemanları	57
3.1. Hidrolik pompaların çeşitli özellikleri	60

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
İÇİNDEKİLER	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özetleri	3
1.2. Doğalgaz' ın Motor Yakıtı Olarak Kullanımı	5
1.2.1. LNG	6
1.2.2. ANG	7
1.2.3. CNG	7
1.2.3.1. CNG' nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	8
1.2.3.2. CNG' nin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması	10
1.2.3.3. CNG' nin Avantajları	12
1.2.3.4. CNG' nin Dezavantajları.....	13
1.2.3.5. Dünya' da ve Türkiye' de Doğalgazın Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı	13
1.2.4. CNG Yakıt Sistemleri	14

1.2.4.1. Tek Yakıtlı Sistemler	14
1.2.4.2. İki ve Çift Yakıtlı Sistemler	15
1.2.4.3. Çok yakıtlı sistemler	18
1.2.5. CNG Yakıt Dönüşüm Sisteminin Elemanları	18
1.2.5.1. Dolum Ucu	19
1.2.5.2. Selenoidli Dolum Ucu (Opsiyonel)	20
1.2.5.3. Harici Dolum Ucu (Opsiyonel)	20
1.2.5.4. Tank Valfi	21
1.2.5.5. Benzin Selenoid Valfi	22
1.2.5.6. Koruyucu Kapak	22
1.2.5.7. Vent Borular	23
1.2.5.8. Çelik Boru	23
1.2.5.9. Regülatör	24
1.2.5.10. Mikser	25
1.2.5.11. Elektrik Tesisatı	26
1.2.5.12. Yakıt Tankı	26
2. MATERYAL VE YÖNTEM	27
2.1. Taşıtlarda Kullanılan CNG Tankları	27
2.2. Kullanılan Malzemeler	28
2.2.1. Kompozit Malzemeler	28
2.2.2. Elyaf lar	29
2.2.2.1. Cam elyaf	30
2.2.2.2. Karbon Elyaf	31
2.2.2.3. Aramid (Organik) Elyaf	32
2.2.3. Reçineler	32

2.2.4. Alüminyum İç Gömlek	34
2.3. Sertifikasyon İçin Gerekli Testler	34
2.4. Kompozit CNG Tankı Üretim Teknikleri	38
2.4.1. Metal İç Gömlek Üretimi	39
2.4.2. Kompozit Sarımı	40
2.5. CNG Tankların Tasarımında Hesaplama Yöntemleri	40
2.6. CNG Tanklarının Uygulama Alanları	42
2.6.1. Otomobiller	42
2.6.2. Minibüsler, Otobüsler ve Kamyonlar	43
2.7. Hidrostatik Basınç Patlama Testi Düzenegi	44
2.7.1. Hidrolik Pompalar	46
2.7.1.1. Radyal Pistonlu Pompa	48
2.7.1.2. Pompa Seçimi	48
2.7.2. Pompayı Çalıştıran Elektrik Motorunun Gücünün Hesaplanması	48
2.7.3. Çek Valf	49
2.7.4. Akış Denetim Valfi	50
2.7.5. Basınç Emniyet Valfi	51
2.7.6. Filtre	52
2.7.6.1. Emiş Hattı Filtresi	53
2.7.6.2. Basınç Hattı Filtresi	53
2.7.6.3. Dönüş Hattı Filtresi	53
2.7.7. Manometre	54
2.7.8. Hortumlar	55
2.7.9. Hidrolik Akışkanlar	56
2.7.10. Depo	57

2.7.10.1. Yağ Deposunun Görevleri	58
2.7.10.2. Yağ Deposunun Yapımında Dikkat Edilecek Noktalar	58
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	60
3.1. Test Düzeneği Elemanlarının Seçimi	60
3.1.1. Pompa Seçimi	60
3.1.2. Elektrik Motoru Seçimi	61
3.1.3. Hortum Seçimi	61
3.1.3.1. Basınç Hattı Hortum Çapı Seçimi	61
3.1.3.2. By Pas Hattı Hortum Çapı Seçimi	63
3.1.3.3. Emme Hattı Hortum Çapı Seçimi	63
3.1.3.4. Dönüş Hattı Hortum Çapı Seçimi	64
3.1.4. Basınç Emniyet Valfi Seçimi	64
3.1.5. Manometre Seçimi	65
3.1.6. Toplu valf	65
3.1.7. Filtre Seçimi	65
3.1.8. Çek Valf seçimi	65
3.1.9. Akış Ayar Valfi	66
3.1.10. Hidrolik Yağ Seçimi	66
3.1.11. Depo Seçimi	66
3.2. Hidrostatik Basınç Patlama Testinin Gerçekleştirilmesi	66
4. SONUÇ ve TARTIŞMA	68
KAYNAKLAR	70
EK- 1	72

1. GİRİŞ

Dünyada mevcut enerji kaynaklarının tükenmekte olması, bu kaynaklarla çalışmakta olan taşıt motorlarının egzoz emisyonları ve gürültü nedeni ile çevre kirliliğinin had safhalara ulaşması, insanları alternatif enerji kaynakları arayışına sevk etmiştir⁽¹⁾. Özellikle, egzoz gazları emisyonun zararlarının azaltılması için yapılan çalışmalar bunların başını çekmektedir. Bu sorunları çözerken, alternatif yakıtın ekonomik olması, bu yakıt için tasarımı planlanan motorun da mümkün olduğunca tasarımının kolay, maliyetinin düşük ve emisyonlarının da standartlara uygun olması istenmektedir.

Motorlarda kullanılacak, alternatif yakıtlardan biri de doğalgazdır. Doğalgazın egzoz emisyonlarının çevre için daha iyi olması bu yakıtın diğer yakıtlara göre daha ekonomik olmasından dolayı taşıt motorlarında kullanılma çareleri araştırılmış ve oldukça da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Doğalgazın difüzyon katsayısının benzine oranla iki kat fazla olması, hava ile daha kolay ve hızlı karışması, çift yakıtlı motorlarda kullanımı açısından yarar sağlamaktadır⁽²⁾. Hava kirliliğine olumlu etkisi ve bulunabilirlik açısından üstünlükleri olan doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı uygun çözüm olarak görülmektedir. Benzin ve dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yakıt ekonomisi yönünden avantajlı görülen doğalgazın, içten yanmalı motorlarda kullanımı tüm dünyada yaygın biçimde artış göstermektedir. Bolluk, düşük maliyet ve temiz yanma karakteristikleri ve dağıtım sistemlerinin var oluşuna ek olarak daha düşük taşıt emisyonlarına imkan vermesi, doğalgazı son derece elverişli bir alternatif yakıt yapmaktadır⁽³⁾. Doğalgaz, enerji kaynağı olarak, gelecek 40 – 50 yıl için en cazip alternatif yakıt olarak

görülmektedir⁽⁴⁾. Şehir içi ulaşımda kullanılan otobüsler, yoğun yerleşim merkezlerinde hava kirliliğine neden oldukları için doğalgaz uygulamasının başlangıç noktaları olmaktadır. Ayrıca, bu taşıtların yakıt ikmaline uygun bir bölge içinde kullanılıyor olmaları da farklı yakıt kullanımının getirdiği sakıncaları en aza indirmektedir. Gerek Otto gerekse Dizel çevrimine göre çalışan motorlarda gaz yakıtların kullanımı, motor ve yakıt özelliklerinin uyum göstermesiyle mümkündür. Otto motorlarında doğalgazın kullanımı daha kolay olmasına karşın dizel motorlarda bazı tasarım değişikliklerine gereksinim duyulmaktadır. Doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımı ile egzoz emisyonunun azaltılması ve yakıt ekonomisi yönünden avantaj sağlamasının yanında, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde de azalmalar elde edilmektedir. Benzin ve dizel yakıtı ile çalışan motorlara oranla, doğalgazlı motorların yağlama yağlarının kirlenme süresi daha uzun olmakta ve motorların aşınması azalarak ömürleri daha uzun olmaktadır⁽⁴⁾.

Benzin, Dizel ve LPG' nin araçlarda kullanımı için depolanmasının kolaylığına karşın, doğalgazın depolanması oldukça zordur. Doğalgaz, araçlarda ya sıvılaştırılarak (LNG), ya da sıkıştırılarak (CNG) kullanılır. Doğalgazın sıvılaştırılması -160 C^0 de olur ve taşıtlarda cryogenic tanklarda depolanabilmektedir. Depolama basıncı 3-6 bar dır. Doğalgaz 200 – 250 bar basınçta sıkıştırılarak taşıtlarda yüksek basınç tanklarında depolanabilir. Yüksek basınç tanklarının imali için TS EN ISO 11439 standardı yürürlükte dir. Bu standarda göre üretimi yapılan kullanıma hazır bütünü temsil eden 3 adet CNG tankı hidrostatik patlama basıncı deneyine tabi tutulur. Tüp patlama basınçları en az 450 bar olmalıdır⁽⁵⁾.

Bu çalışmada CNG tankları için hidrostatik patlama basıncı test düzeneği tasarlanmıştır. Deney tesisatında kullanılan cihazların seçimi yapılmış, akışkanın gerekli basıncını ve debisini sağlayacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

1.1. Kaynak Özetleri

Çetinkaya (2007) ⁽⁶⁾ Benzin ve Dizel Motorlarının Doğalgaz Motoruna Dönüştürülmesi adlı çalışmasında doğalgazlıya dönüştürülen buji ile ateşlemeli bir motor ile pilot dizel yakıtlı doğalgazlıya dönüştürülen bir dizel motorunda, doğalgazın motor karakteristiklerine etkisini değerlendirmiştir. Doğalgaza dönüşüm için regülatör, gaz karıştırıcı ve yüksek basınca dayanıklı doğalgaz tüpü kullanmıştır.

Güven vd. (2007) ⁽⁷⁾ Taşıtlarda Kullanılan Kompozit CNG Tanklarının Sertifikasyonu adlı bildirilerinde taşıtlarda kullanılan kompozit CNG tankı uygulamaları ve uluslararası sertifikasyon gereklerini sunmaktadırlar. Bildirinin giriş bölümünde CNG tankı çeşitleri, tanklarda kullanılan malzemeler, ilgili standartlar ve diğer genel bilgiler verilmiştir. Bildirinin birinci bölümünde uluslararası sertifikasyon gereklerini belirleyen kriterler ve ilgili standartlar sunulmuştur. İkinci bölümde kompozit CNG tankı üretim teknikleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde kompozit CNG tankı malzeme seçimi ve tasarım aşamaları açıklanmıştır. Bildirinin dördüncü bölümünde kompozit CNG tanklarının uygulama alanları sunulmuştur. Bildirinin sonuç bölümünde, kompozit CNG tanklarının taşıtlardaki mevcut uygulamaları ve sertifikasyonun önemi irdelenmiş, gelecek çalışmalar hakkında öneriler verilmiştir.

Prevazi (2003) ⁽⁸⁾ Araçlarda CNG uygulamaları adlı makalesinde, doğalgazın özellikleri hakkında genel bilgi sunmuş, otomotiv sektöründe doğalgazın durumunu

ve doğalgaz dönüşüm standartlarını açıklamış, İtalya da doğalgaza verilen teşviklerden bahsetmiş, doğalgazı ekonomik yönden irdelemiş, doğalgaz dönüşümünde kullanılan malzemeleri tanıtmış ve sonuç bölümünde ise doğalgaz fiyatının EPDK tarafından düzenlenerek tüketicilerin doğalgaz kullanmaya teşvik edilmesini istemiştir.

Çetinkaya ve Keskin (2001) ⁽⁹⁾ Buji ile ateşlemeli bir benzin motorunun doğal gazla çalışır hale getirilmesinin motorun performansına etkisi adlı çalışmalarında, buji ile ateşlemeli bir motor doğal gazlıya dönüştürülmüştür. Doğal gaza dönüşüm için regülatör, gaz karıştırıcı ve yüksek basınca dayanıklı doğal gaz tüpü kullanılmıştır. Doğal gazın oktan sayısının yüksek olmasından dolayı, bu özelliğinden yararlanarak motorun termik verimini artırmak düşüncesiyle, tasarımının müsaade ettiği ölçüde silindir kapağından talaş alınarak sıkıştırma oranı artırılmış, benzin ve doğal gaz için motor performans değerlerini belirlemek üzere deneyler yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, doğal gazla çalışmanın performans değerlerinde benzinle çalışmaya göre azalma olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, özgül enerji maliyetinin düşük olması, doğal gazın benzine göre daha ekonomik olduğunu göstermiştir.

Keskin ve Çetinkaya (1999) ⁽¹⁰⁾ Buji ile ateşlemeli bir motorun doğal gazlıya dönüşümünün yakıt ekonomisine etkisi adlı çalışmalarında, buji ile ateşlemeli bir motoru doğal gazlıya dönüştürmüş ve yakıt ekonomisi sağlayıp sağlamadığını araştırmışlardır. Doğal gazlıya dönüşüm için bir regülatör, gaz karıştırıcı ve yüksek basınca dayanıklı doğal gaz tüpü kullanılmıştır. Doğal gazın oktan sayısının yüksek olmasından dolayı motorun ısı verimini artırmak düşüncesiyle konstrüksiyonun müsaade ettiği ölçüde silindir kapağından talaş kaldırılarak sıkıştırma oranı

artırılmıştır. Yakıt ekonomisini belirlemek için yakıt tüketimi, özgül enerji tüketimi ve özgül enerji tüketiminin maliyeti değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, doğal gazın benzine göre dikkate değer oranda ekonomik olduğu görülmüştür. Sonuçlar, üç silindirin pasifleştirilmesiyle rölanti ve düşük hızlarda yakıt ekonomisi sağlandığı yönündedir.

Altın ve Çetinkaya (1991) ⁽¹¹⁾ Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Doğal Gazın Kullanılması adlı makalelerinde içten yanmalı motorlarda doğalgazın yakıt olarak kullanılması sırasında karşılaşılan problemleri incelemişler ve bu maksatla dizel motorunda doğalgaz yakıtla birlikte pilot dizel yakıtı kullanarak, motor karakteristiklerine etkisini değerlendirmişlerdir. Deney sonucunda optimum devir sayılarında ve yüklerde çift yakıtlı çalışmanın dizel yakıtıyla çalışmadan daha ekonomik olduğu görülmüştür.

1.2. Doğalgaz'ın Motor Yakıtı Olarak Kullanımı

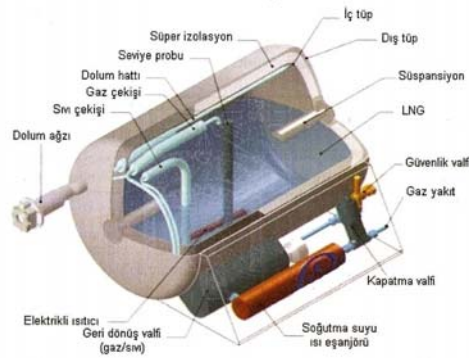
Doğalgazın taşıtlarda kullanımı ilk olarak 1930 yılında İtalya'da başlamakla beraber yeni nesil araçlarda son 10 yılda yaygınlaşmaya başlamıştır. 1990 yılında BOTAŞ ve Ankara Büyükşehir Belediyesi desteğiyle ODTÜ'de mevcut belediye otobüslerin de doğalgaz kullanımı için çift yakıt sistemi geliştirilmiştir. Benzer bir çalışma da İstanbul'da belediye otobüslerinin doğalgaza dönüşümü için başlatılmış, ilk etapta 100 otobüsün dönüşümü yapılmıştır ⁽¹²⁾. Doğalgazın benzine göre oktan sayısı daha yüksektir (120 -130 oktan). Silindirlerde daha yüksek termik verim elde edilir. Partikül oluşmaması, yağ ile karışmaması daha uzun motor ömrü sağlar. Doğalgaz ile çalışan motorların bakımları daha az maliyetlidir. Temiz bir yakıt olması nedeniyle motor ömrünü uzatır. Zamanla oluşan yakıt tüketimi artışı

olmamaktadır. Özel motor bakımları gerektirmemektedir. Sadece Doğalgaz kitinin periyodik bakımları yapılabilir.

Doğalgazla çalışan motor benzinle veya motorinle çalışan motora göre daha uzun ömürlüdür. Doğalgazla çalışan motor daha az bakım ister. Benzin, LPG veya Motorin ile karşılaştırıldığında Doğalgaz'dan elde edilen tasarruf maksimum düzeydedir. Doğalgaz taşıtlarda sıvılaştırılarak (LNG), adsorbe edilerek (ANG) veya basınç altında (CNG) depolanabilir⁽⁶⁾.

1.2.1. LNG (Sıvılaştırılmış Doğalgaz)

Doğalgaz $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de likit olarak kriyojenik tanklarda depolanabilmektedir. Depolama basıncı 3 - 6 Bar olup, sıvılaştırılmış doğalgaza LNG (Liquid Natural Gas) adı verilmektedir. Şekil 1.1. de kriyojenik doğalgaz tankı görülmektedir.



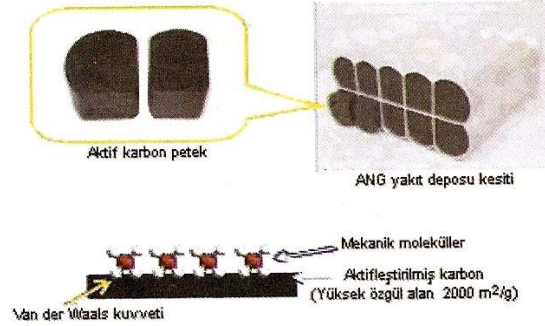
Şekil 1.1. Kriyojenik doğalgaz tankı ⁽¹³⁾

Gemilerle taşımada tankerlerde, doğalgazın sıvı hale gelmesi için $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar soğutulur, böylece yakıtın enerji yoğunluğu artırılır. LNG' nin genleşme oranı

1/600'dür. Yani 1 m³ LNG 600 m³ Doğalgaz'a eşdeğerdir. Daha yüksek depolama yoğunluğuna ek olarak, motor yakıtı olarak CNG ile aynı avantajlara sahiptir. LNG, genel olarak; fazla yakıt tüketimi olan araçlara uygundur.

1.2.2. ANG (Soğurulmuş Doğalgaz)

21 °C de, 35 bar basınçta sıkıştırılmış gazdır. ANG deposu, aktive edilmiş karbonun yüksek miktarda soğurulmasını sağlar. ANG uygulaması hem araç üzerinde, hem de istasyonlarda yapılan depolama için ilgi çekicidir. Geleneksel CNG depolama yöntemine göre ana fark, daha yüksek metan depolama hacmidir (35 barda CNG nin 4 katı). Şekil 1.2. de ANG depolama prensibi görülmektedir.



Şekil 1.2. ANG depolama prensibi ⁽⁶⁾

1.2.3. CNG (Sıkıştırılmış Doğalgaz)

Yüksek basınç altında sıkıştırılmış doğalgaz'a CNG (Compressed Natural Gas) denmektedir. Taşıtlarda yüksek basınç gaz tanklarında depolanır. (Şekil 1.3.)

Depolama basıncı, 200 – 250 bar kadardır. 250 barda atmosfer basınç ve sıcaklığındaki doğalgaza oranla 1/200 hacim kaplar⁽⁶⁾. CNG yakıtlı taşıtın tam yükte kat edeceği mesafe, tankların basınç ve hacmine bağlıdır. CNG genellikle, küçük araçlara veya kısa mesafeli seyahatler için uygundur.



Şekil 1.3. CNG tankı

1.2.3.1. CNG' nin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Doğalgaz, renksiz kokusuz bir gazdır, yanarken duman çıkarmaz. Normal şartlar altında gaz halinde olan doğalgazın kaynama sıcaklığının -162°C olması nedeni ile daha düşük sıcaklıklarda sıkıştırılması basınç altında mümkündür⁽¹⁴⁾.

Doğalgaz, kullanıma sunulmadan önce ağır hidrokarbonları elenir; hidrojen sülfür, karbondioksit, azot, helyum ve su buharı gibi bileşenleri giderilir. Elde edilen gaz, hemen hemen saf metan gazıdır. Yoğunluğu havaya göre daha düşük olduğundan, ağırlığı havanın yaklaşık yarısı kadardır. Bu nedenle, sızan gaz atmosferde hızla yükselerek, hızlı bir şekilde seyrelir.

Doğalgaz çeşitli gazların bir karışımıdır. Toplam hacimde %80'den %98'e varan oranlarda metan, daha düşük oranlarda etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) ve daha ağır hidrokarbonları içeren doğalgaz küçük oranlarda azot (N_2), oksijen (O_2), karbon

dioksit (CO₂), kükürtlü bileşikler ve su gibi kirleticiler içerebilir. Doğalgazın oktan sayısı çok yüksektir. Bu da enerji tüketimine olumlu bir etki sağlayan, nispeten yüksek bir sıkıştırma oranına (12/1) müsaade eder. Oktan sayısının yüksek olması nedeniyle, vuruntunun önlenmesi ve termik verimin artması sağlanır. Doğalgaz, difüzyon katsayısının yüksek olması sebebiyle, hava ile daha kolay ve hızlı karışım oluşturur. Sıvı yakıtların aksine, doğalgazın yanmadan önce buharlaşması gerekmediğinden motorun soğukken ki ilk hareketinde zengin karışıma gerek kalmadan kolayca tutuşur.

Doğalgazın ısı değeri benzine oranla daha yüksektir ve daha yüksek hava fazlalık katsayısında tutuşabilir. Bu nedenle motorun fakir karışımla çalıştırılıp, yakıt ekonomisi ve egzoz gazı emisyonları açısından avantaj sağlaması mümkündür. Doğalgazın alev hızının, benzin / hava karışımına göre düşük olması nedeniyle yanma süresi uzundur. Bu zaman kaybı, güç ve verimde düşüşe neden olmaktadır⁽¹⁵⁾.

İçten yanmalı motorlarda, yakıt olarak doğalgazın kullanılması durumunda yanma sonu sıcaklığında düşme olmaktadır. Yanma sonu sıcaklığının düşmesi NO_x emisyonlarında azalma sağlayacaktır. Bununla birlikte doğalgazın kullanımı, motorlu taşıtların gürültü düzeyinde azalmalara neden olacaktır. Çok temiz ve özellikleri sabit olan bir yakıt türüdür. Çevre kirliliği yapmaz. Sıvı yakıtı gaz haline getirmek, basıncını düşürmek ve motora uygun şartlarda vermek için özel ekipmanlara ihtiyaç vardır⁽¹⁶⁾.

Genellikle doğalgaz içerisinde nem bulunmamaktadır. Bu yüzden doğalgazın korozyon etkisi yoktur. Ancak bazı bölgelerde çıkarılan doğalgazlarda bir miktar neme rastlanmakta ve bu da motor için korozyon tehlikesi oluşturmaktadır⁽²⁾.

1.2.3.2. CNG' nin Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması

Benzin ile CNG arasında bazı asal farklılıklar vardır. CNG, motoru gaz olarak besleyen bir metan, etan ve az miktarda propan karışımıdır. Böylece optimal karışım hazırlanışı basitleşmekte, bunun yanında emilen hava ile karışımı kolaylaşmaktadır. Normal sıvı yakıtların aksine, CNG, emme zamanı esnasında gaz halinde olduğu için daha büyükçe hacme yayılır.

CNG diğer yakıtlara göre motor içinde daha temiz bir yanma oluşturmaktadır. Bu nedenle motor yanma odasını ve motor karterini kirletmemektedir. Ateşleme bujilerinin ömrünü uzatmaktadır. CNG, depo içinde basınçlı olduğundan ayrıca bir yakıt pompasına ihtiyaç duyulmamaktadır. CNG, akaryakıt ürünlerindeki gibi bazı katkı malzemelerine de ihtiyaç duymamaktadır. Oktan seviyesi benzinden daha yüksektir ve benzinden daha düzenli bir yanma sağlar. CNG yakıtını yakmak için kullanılan karbüratör, benzinli motorlardaki gibi bir karbüratör temizleme ve bakım servisine ihtiyaç duymaz. Enjeksiyonlu motorlarda da CNG kullanılması mümkündür.

CNG, motorlarda aşınmayı azaltır, motor yağının değişme ömrünü 2-3 kat uzatmaktadır. Buna bağlı olarak, bakım ve servis süreleri azaldığından filo işletmeleri için zamandan tasarruf önemli mertebelere çıkmaktadır. Taşıt tesisatları tamamen kapalı bir sistem olduğundan, akaryakıttaki gibi akıntı ve sızıntı ihtimali olmayıp, akıtma ve buharlaşma kaybı olmadığından ekonomik kayıp ve çevresel kirlenmeye de sebep olmaz. Egzoz emisyonları benzine ve dizele göre çok düşüktür.

Diğer yakıtlar ile (soğuk ve sıcak motor için ayrı ayrı) karşılaştırma için yapılan araştırma⁽¹⁷⁾ sonucunda elde edilen emisyon değerleri Çizelge 1.1. de sunulmuştur. Bu emisyon değerleri, buji ateşlemeli enjeksiyonlu, normal emişli

turbo, dizel ve turbo dizel motorlara sahip Honda, Opel, WW, Lancia, Volvo, Mercedes, Nissan, Peugeot ve Ford gibi değişik markalı taşıtlardan elde edilmiştir.

Çizelge 1.1. Egzoz gazı emisyon değerleri⁽¹⁷⁾

Yakıt Türü	CO(g/km)		CO ₂ (g/km)		HC (g/km)		NO _x (g/km)	
	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak	Soğuk	Sıcak
Benzin	1.97	0.45	224	218	0.27	0.10	0.18	0.13
LPG	1.01	0.53	211	192	0.15	0.09	0.15	0.10
CNG	0.36	0.34	203	189	0.37	0.17	0.17	0.14
Dizel	0.68	0.49	241	222	0.12	0.09	0.78	0.74

Yakıt ekonomisi yönünden yapılan karşılaştırmalar Çizelge 1.2. de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Yakıt ekonomilerinin karşılaştırılması⁽¹⁷⁾

	Benzin	LPG	CNG	Motorin
Son satış fiyatları (TL)	3,0	1,8	1,20	2,2
Yakıt tüketimi (lt/100km)	7,50	9,00	7	7
Tüketim miktarı (TL/100km)	22,5	16,2	8,4	15,4

Doğalgaz m³ ya da kg olarak satılmaktadır.

1 Kg doğalgaz yaklaşık 1,33 m³ gelmektedir.

1 m³ Doğalgaz, 1,1 Lt. Benzin veya 1 Lt. Motorin'e eşdeğerdir.

1 m³ NG = 1,1 Litre Benzin (1 kg NG = 1,33 Litre Benzin)

1 m³ NG = 1,3 Litre LPG

1 m³ NG = 1,0 Litre Motorin (1 kg NG = 1,22 Litre Motorin)

1 Lt LPG = 0,83 Litre Benzin

1.2.3.3. CNG' nin Avantajları

- Diğer yakıtlara göre ekonomiktir.
- Boru hatlarıyla daha kolay taşınabilir. Gerekli olan yerde bir doğalgaz kompresörü eklenerek dolun yapılabilir.
- Kullanımdan önce çok az rafinasyon gerektirmektedir.
- Yakıt dolun işlemi kolay ve temizdir.
- Daha düşük bakım maliyeti gerektirir.
- Sızıntı durumunda havadan hafif olması nedeniyle çabucak yayılarak dağılır ve benzin veya diesel yakıttan farklı olarak havada sadece %5 ile %15 konsantrasyon aralığında yanabilir.
- Taşıtlar için CNG yakıt tankları benzin depolarından çok daha kuvvetli yapılmaktadır. Bu nedenle büyük kazalarda dahi sağlam kalabilir.
- CNG kullanan taşıtlarda, sera gazı etkisi yapan emisyonlarda büyük azalma görülür.
- CNG yakıt sistemleri tamamen yalıtılmıştır ve dolun sırasında hiçbir zararlı madde yaymazlar.

1.2.3.4. CNG' nin Dezavantajları

- Dolum istasyonları yaygın değil, kurulması daha pahalıdır.
- Büyük hacimli yakıt tüpleri fazla yer kaplar ve sınırlı sürüş mesafesi sağlamaktadır.
- CNG kullanan taşıtlar karşılaştırılabilir rakiplerine oranla daha pahalıdır.
- CNG' ye dönüşüm yapılan araçlarda, motor karakteristiklerine bağlı olarak taşıt performansı bir miktar düşmektedir.

1.2.3.5. Dünya'da ve Türkiye'de Doğalgazın Taşıt Yakıtı Olarak Kullanımı

Doğalgaz kolay temin edilmekte ve çevreci özellikleri nedeniyle tüm dünyada teşvik edilmektedir. 2009 yılı itibariyle tüm dünyada 10 milyon'a yakın araç doğalgazı yakıt olarak kullanmaktadır ve 15 bin'e yakın dolum istasyonu mevcuttur. Doğalgaz dolum istasyonlarının yaygın olmaması sebebiyle, bu tip taşıtlar çift yakıtlı olarak üretilmektedir. Üreticiler, pazarın büyümesi sebebiyle fabrika çıkışı doğalgazlı araç sağlamaktadırlar. Mercedes, Volvo, BMW, Honda, Toyota, Renault, Opel, Fiat, M.A.N., Isuzu ve Iveco' nun bu tip modelleri mevcuttur..

Türkiye'nin birçok şehrinde doğalgaz hatları tesis edilmiş olup, oto doğalgaz istasyonu kurulması için gerekli altyapı oluşmuştur. 2009 yılı itibariyle Türkiye'de 3.056 araç doğalgaz kullanmakta ve 9 dolum istasyonu bulunmaktadır. (Çizelge 1.3.)

Çizelge 1.3. Doğalgazlı araç ve dolum istasyonu sayıları⁽¹⁸⁾

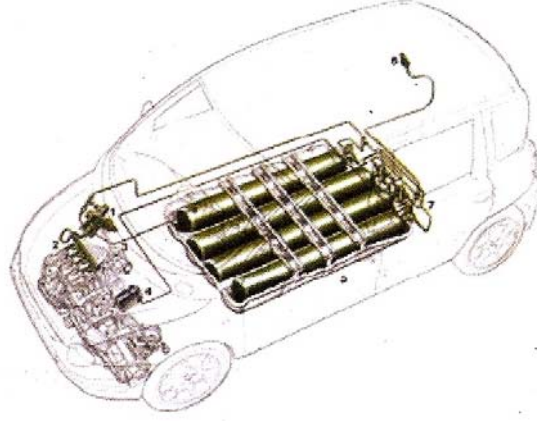
	Ülke	Doğalgazla Çalışan Araç Sayısı	Doğalgaz Dolum İstasyonu Sayısı	Güncelleme yılı
1	Pakistan	2,000,000	2,600	2008
2	Arjantin	1,745,677	1,801	2008
3	Brezilya	1,588,331	1,688	2008
4	İran	1,000,000	500	2008
5	Hindistan	650,000	463	2008
6	İtalya	580,000	700	2008
7	Cin	400,000	1,000	2008
8	Kolombiya	280,340	401	2007
9	Bangladeş	150,253	337	2008
10	Türkiye	3,056	9	2007

1.2.4. CNG Yakıt Sistemleri

CNG yakıt sistemlerini tek yakıtlı, iki ve çift yakıtlı ve çok yakıtlı olmak üzere üç başlıkta inceleyeceğiz.

1.2.4.1. Tek Yakıtlı Sistemler

Tek yakıtlı doğalgazlı taşıt, sadece doğal gazla çalışan taşıt demektir. (Şekil 1.4.) Tek yakıtlı doğal gazlı taşıtlar, doğal gazlıya dönüştürülmüş benzinli taşıtlar da olabilir. Ancak, tek yakıtlı doğal gazlı taşıtların çoğu yeni imalattır. Doğal gazlı olarak imal edilen taşıtlar, diğer yeni taşıtlardan beklenenlerle aynı yüksek performans düzeyini, servis ve garantiyi sunmaktadır. Daha fazla taşıt imalatçısı doğalgazlı taşıtlar imal ettikçe, satın alınması da doğal olarak kolaylaşacaktır⁽⁶⁾.



Şekil 1.4. Tek yakıtlı sistem

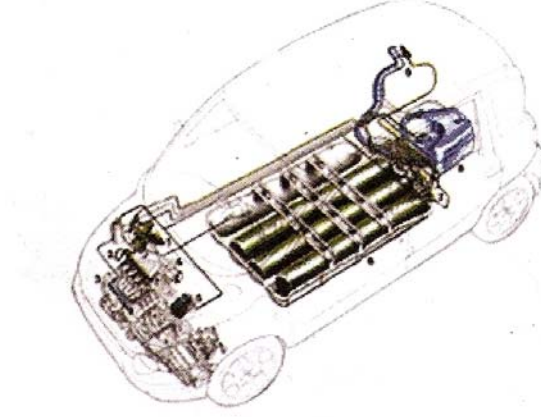
Tek yakıtlı sistemlerin avantajları en uygun motor olabirliliği, yüksek güç çıkışı, düşük yakıt tüketimi, daha iyi egzoz gaz emisyonları, CNG tankları için daha fazla yer ve yönetim programlarının daha iyi kullanımınıdır.

Tek yakıtlı sistemlerin dezavantajları daha yüksek sistem fiyatı, kısıtlı menzil ve doldurma istasyonlarının bulunabilirliğine bağımlılıktır.

1.2.4.2. İki ve Çift Yakıtlı Sistemler

İki yakıtlı bir taşıt, doğalgaz veya benzinden herhangi birini kullanabilir. Araçların birçoğu, doğal gaz bittiğinde otomatik olarak benzine geçecek biçimde tasarlanır. (Şekil 1.5.) Doğalgazlıya dönüştürülen benzinli motorlarda, doğal gazın silindire giren oksijeni % 8 - 10 kadar azaltması nedeniyle % 8 - 10 kadar güç kaybı olmaktadır. 1 litreden daha büyük motorlar doğal gazlıya dönüştürüldüğünde, güç kaybı küçük motorlara oranla daha az olmaktadır.

İvmelenme bakımından, doğal gazın 130 olan oktan sayısı performansın normal benzinli taşıtinkine yakın olmasına imkan tanır.

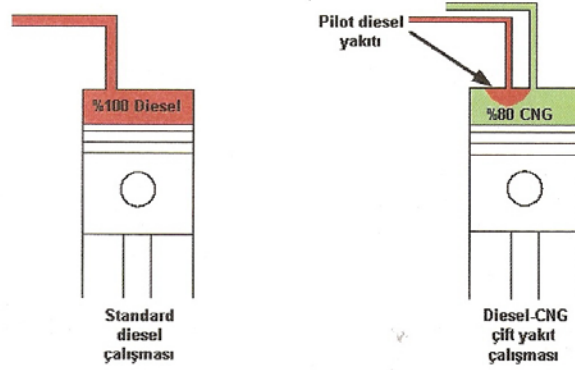


Şekil 1.5. İki yakıtlı sistem

Dizel motorlarında genellikle CNG çift yakıt kavramı kullanılmaktadır. Bir taşıt sadece dizel yakıtı veya dizel yakıtı ile doğalgazı birlikte kullanıyorsa, bu taşıta çift yakıtlı taşıt denir. Çift yakıt teknolojisinde, düşük basınçlı doğal gaz giriş havası ile karıştırılarak, sıkıştırma strokunun sonunda silindire enjekte edilen küçük (pilot) miktardaki dizel yakıtı ile tutuşturulur. (Şekil 1.6.) Pilot yakıt, sıkıştırma sonu sıcaklığının etkisiyle alevlenme öncesi reaksiyonları hızla gerçekleştirerek tutuşur ve silindirdeki geri kalan hava-yakıt karışımını da tutuşturur.

Hava ve esas yakıt, silindirde önceden karıştığından, çift yakıtlı motorlar buji ile ateşlemeli motorlarla birçok ortak özellik gösterir. Çift yakıtlı motorlarda buji ile ateşlemeli motorlarda olduğu gibi vuruntu sınırlıdır ve vuruntu, kullanılan yakıtın bileşimine bağlıdır. Dizel pilot yakıtın sıkıştırma ile ateşlenmesine bağlı olarak da dizellerle de bazı ortak yönleri bulunmaktadır. Çift yakıtlı motorlarda, emme havasına karıştırılan gaz yakıt miktarı arttıkça, pilot yakıtın tutuşma gecikmesi de artar. Bu durum kısa süreli çalışmalarda dizel pilot miktarlarını azaltmayı ve NOx azaltımını sınırlandırır. Çift yakıtlı motorların avantajlarından biri, motorun doğal gaz ve dizel dönüşümlü çalışabilmesinin yanı sıra, sadece dizel yakıtıyla çalışabilir

olarak da tasarlanabilmesidir. Bir diğer avantaj da, mevcut hemen hemen tüm dizel motorlarının çift yakıtlıya dönüştürülebilme kolaylığıdır⁽⁶⁾.



Şekil 1.6. Çift yakıt uygulaması⁽⁶⁾

Çift yakıtlı motorların performans ve emisyonları, çalışma koşullarına ve kontrol sisteminin mükemmelliğine bağlıdır. Bu motorlar, ortadan yüksek yüklerle kadar iyi çalışırlar ve bu koşullardaki yakıt ekonomileri saf dizel' e eşit veya daha iyidir. Fakir hava/yakıt oranlarıyla çalıştırıldıklarında, saf dizel motorlarından özellikle NOx ve PM olmak üzere daha düşük emisyonlar üretirler. Mevcut çift yakıt dönüşümlerinin, hafif yük çalışmalarında CO - HC emisyonlarının artışı ve yakıt ekonomisi kaybı olumsuzluğu bulunmaktadır.

Çift yakıtlı sistemin avantajları, sistemin düşük maliyetli oluşu, altyapıya bağımlı olmayışı ve çift yakıt sistemine bağlı olarak daha fazla menzile sahip olmasıdır.

Çift yakıtlı sistemin dezavantajları motor teknolojisine uyum ve en uygun depolama çözümünün olmayışıdır.

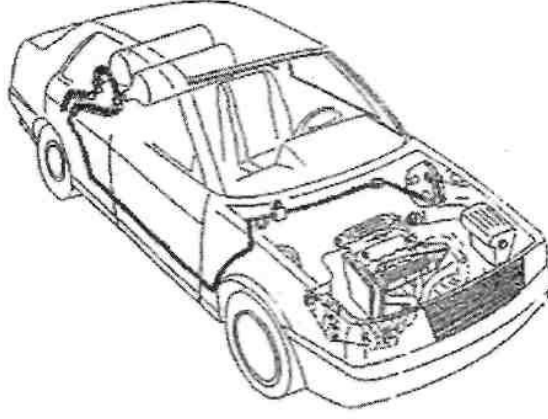
1.2.4.3. Çok yakıtlı sistemler

Benzin, etil alkol, vb. ile CNG arasında geçişi sağlayan yakıt enjeksiyon sistemlerine sahip çok yakıtlı taşıt uygulamalarıdır.

1.2.5. CNG Yakıt Dönüşüm Sisteminin Elemanları

CNG sistemi elemanlarının taşıt üzerindeki yerleri Şekil 1.7. de verilmiştir. Sıkıştırılmış doğalgazı kullanmak için kullanılan dönüşüm sisteminde bulunan ana elemanlar şunlardır:

- Dolum ucu
- Selenoidli dolum ucu (tercihli)
- Harici dolum ucu (tercihli)
- Tank valfi
- Benzin selenoid valfi
- Koruyucu kapak
- Vent borular
- elik boru
- Regülatör
- Mikser
- Elektrik tesisatı
- Gaz ayar vanası
- Tank
- Yakıt seçici anahtar



Şekil 1.7. CNG sistem elemanlarının taşıt üzerindeki yerleri⁽⁸⁾

1.2.5.1. Dolum Ucu

Dolum ucu, motor bölümünde tank ve regülatör arasına yerleştirilmiştir. Dolum sistemi ve acil bir durum sırasında ya da bakım sırasında kullanılmak üzere manuel olarak çalışan, top şeklinde bir açma-kapama düğmesi ile bağlantıyı içermektedir. (Şekil 1.8.) Sektörde uygulanmakta olan standartlara bağlı kalınarak kullanılabilir farklı dolum bağlantıları mevcuttur. Taşıt benzinle çalışırken ya da kontak kapalıyken regülatörün üzerinde yer alan yüksek basınç solenoid valfi doğalgazın akışını durdurur⁽⁸⁾.



Şekil 1.8. Dolum ucu

1.2.5.2. Selenoidli Dolum Ucu (Tercihli)

Motorun bulunduğu bölümde tank ve regülatör arasına yerleştirilmiş bu cihaz, dolum sırasında, taşıt benzinle çalışırken ya da kontak kapalıyken doğalgazın regülatöre girişini kesen gaz kesme selenoid valfi (besleme 12V, bobin güç kapasitesi 20W) ve İtalyan tipi dolum sistemi ile bağlantıyı içerir. Yüksek basınç gaz selenoid valfi olmayan regülatörle birlikte kullanılır. Şekil 1.9. da Selenoidli dolum ucu görülmektedir.



Şekil 1.9. Selenoidli dolum ucu

1.2.5.3. Harici Dolum Ucu (Tercihli)

Harici dolum ucu, içeriye yerleştirilmiş bir kontrol valfi ve tankın üzerinde bulunan ikinci bir kontrol valfi ile bağlantılıdır. (Şekil 1.10.) Bu düzen kaportayı açmaya gerek kalmadan doğalgaz dolumunun yapılabilmesini sağlar⁽⁸⁾.



Şekil 1.10. Harici dolum ucu

1.2.5.4. Tank Valfi

Tankın üzerine bağlanan dolum sırasında doğalgazın girişini ve gazla çalışırken de regülatörden dışarı çıkışını sağlar. Bir acil durum sırasında ya da bakım sırasında kullanılmak üzere manuel olarak kullanılan bir sisteme sahiptir. Şekil 1.11. de tank valfi görülmektedir. Uygulanmakta olan yasalara bağlı kalınarak daha fazla güvenlik sağlayacak ilave ekipmanlardan (aşırı akım valfi gibi gaz akışını kesen veya sınırlandıran dolum ucu) veya belirli bir ısıya, ya da basınca ulaşınca gazın tanktan aracın dışına atılmasını sağlayan sistemler mevcuttur⁽⁸⁾.



Şekil 1.11. Tank valfi

1.2.5.5 Benzin Selenoid Valfi

Benzin otomatığı ve karbüratör arasına monte edilen elektromanyetik valftir. Benzin selenoid valfi, CNG çalışması sırasında motora benzin sağlamayı keser. Valf üzerinde açma kapamaya yarayan bir anahtar vardır. Kontak anahtarı açık olmadığında veya yakıt seçme anahtarı CNG pozisyonunda olduğu durumda, yay ile itilen valf, benzin akışını keser. Yakıt seçme anahtarı benzin konumuna getirildiğinde bobinde elektromanyetik alan oluşur, bu güç ile valfin açılması ve benzinin geçişi sağlanır. Benzin selenoid valfi yalnız karbüratörlü taşıtlara monte edilir. Şekil 1.12. de benzin selenoid valfi görülmektedir.



Şekil 1.12. Benzin selenoid valfi

1.2.5.6. Koruyucu Kapak

Güvenlik aracı olan bu koruyucu kapak, tank valfini çevreler ve havalandırma hortumları ve delikleri yoluyla, oluşan herhangi bir gaz kaçağını aracın dışına tahliye eder. Alüminyum ve plastik olarak iki çeşidi mevcuttur⁽⁸⁾. Şekil 1.13. de koruyucu kapak görülmektedir.



Şekil 1.13. Koruyucu kapak

1.2.5.7. Vent Borular

Vent boruları koruyucu kapak ve valf bağlantılarından oluşabilecek gaz kaçağını hapsederken bu kaçağın aracın dışına tahliye edilmesini sağlar. Gaz sızıntısı olduğu takdirde gaz kapanır ve hortumlar sayesinde bagaj dışına atılır. Şekil 1.14. de Vent boruları görülmektedir. Gaz geçirmez kabın işlev görmesi, dış ortamdan iyi bir yalıtımla sağlanır, hava dolaşımı ise aracın hareketi ile sağlanır⁽⁸⁾.



Şekil 1.14. Vent borular

1.2.5.8. Çelik Boru

Doğalgazın tanktan motora getirilmesinde, dikişsiz kalın etli çelik çekme çelik boru veya çelik alaşımlı benzer borular kullanılır. 300 bar basınca dayanması gerekmektedir ve mutlaka koruyucu plastik ile kaplanmalıdır. Kaynak veya eklemeli olmamalıdır. Kesinlikle yolcu bölümünden geçmemelidir. Isı kaynaklarından (egzoz

gibi) 10 cm uzakta olmalı ve her 80 cm' de bir kelepçe ve vida marifeti ile kaportaya sabitlenmelidir⁽⁸⁾. Şekil 1.15. de yüksek basınç boruları görülmektedir.



Şekil 1.15. Yüksek basınç boruları

1.2.5.9. Regülatör

Sistemin beynidir, basıncı düşürmek için kullanılır, sistemin optimum performansı için, en yüksek akış debisini ve ısı verimini sağlayacak şekilde tasarlanır. (Şekil 1.16.)



Şekil 1.16. Regülatör

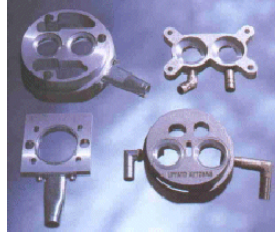
Regülatör üç kademededen oluşmaktadır.

- Pnömatik (karbüratörlü taşıtlarda)
- Elektronik (karbüratör ve enjeksiyonlu taşıtlarda)
- Turbo (yüksek kapasiteli taşıtlarda)

Regülatörün ikinci ve üçüncü kademesi arasında bir elektro valf bulunmaktadır. Bu elektro valf motorun kazara stop etmesi durumunda motora giden gaz akışını keser. Birinci kademe 5 bara kadar bir basınç düşürme işlemi yapılmaktadır. Birinci kademe odacığına bir emniyet valfi eklenmiştir. 12 barı geçen basınçları atmosfere boşaltmaya yardımcı olmaktadır ve böylece regülatörü emniyet altına alır. Gaz çıkış basıncı motor gücüne göre ayarlanır. 70 kw'a kadar olan motorlar için gaz çıkış basıncı 0,9 bardır, 100 kw'a kadar olan motorlarda 1,4 bar ve bu gücün üstündeki motorlarda ise 1,8 bardır. Tercih edilirse regülatörün üzerine bir basınç monometresi de konulabilir. Üretici tarafından kaçak kontrolü yapılarak bir sertifika ile beraber satılmaktadır⁽⁸⁾.

1.2.5.10. Mikser

Mikser, vakum oluşturarak regülatörden gazın emilmesini kolaylaştırır. Ayrıca karışımın ayarlanmasına yardımcı olur. Şekil 1.17. de çeşitli mikserler görülmektedir.



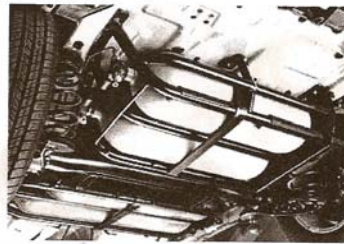
Şekil 1.17. Çeşitli mikserler

1.2.5.11. Elektrik Tesisatı

Elektrik tesisatı aracın benzin veya doğalgaz ile çalışmasına yardımcı olur. Ayrıca enjeksiyonlu taşıtlarda değişik ürünler bir araya getirilerek aracın düzgün çalışmasını sağlar.

1.2.5.12. Yakıt Tankı

Gazı yüksek basınçta (200 bar veya daha fazla) depolayan yakıt deposudur. Gazın basıncı 250 bara kadar ulaşabilir. Depo, rijit olarak bagaja veya döşeme altına monte edilir ve üzeri kapatılarak gizlenir. Üzerinde bir kapatma (shutoff) valfi ve bir güvenlik patlama diskisi bulunur. (Şekil 1.18.)



Şekil 1.18. Doğalgaz tankları

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Taşıtlarda Kullanılan CNG Tankları

Taşıtlarda kullanılan CNG tank uygulamalarına bakıldığında, 4 farklı uygulama olduğu görülür⁽⁵⁾. Bunlar:

Tip 1- Tamamı metal,

Tip 2- Metal üzeri çember sarımlı,

Tip 3- Metal iç gömlek üzeri tamamen kompozit sargı,

Tip 4- Plastik iç gömlek üzeri tamamen kompozit sargı şeklindedir.

Tankın tasarımında belirleyici olan düşük ağırlığa olan ihtiyaç ve maliyetlerdir. Tank çeşitlerinden Tip 1, tamamen metalden imal edilip (alüminyum veya çelik), ucuz ancak ağır bir seçenek sunmaktadır. Tip 2 CNG tanklarında metal iç gömlek üzerine cam veya karbon elyaf kompozit düz sargı yapılır. Burada iç basınçtan kaynaklanan gerilimler metal iç gömlek ve kompozit sargı tarafından yaklaşık %50-%50 oranında karşılanır. Bu tank tipi, Tip 1'e göre daha hafif, ancak daha yüksek maliyetlidir. Tip 3 tanklarda ise metal iç gömlek üzerine tamamen kompozit sargı uygulanır. Bu tank tipinde iç gömlek daha az gerilim taşırken, oluşan gerilimin büyük kısmı kompozit sargı tarafından karşılanır. Tip 3 tanklar düşük ağırlık avantajı sunmakla birlikte maliyeti yüksektir. Tip 4 tanklar ise gaz sızdırmaz özellikli plastik bir iç gömlek üzerine tamamen kompozit sarılmasıyla imal edilir. Oluşan gerilim ise tamamen dıştaki kompozit sargı tarafından karşılanır. Bu tip, en düşük ağırlık seçeneğini sunar, ancak pahalıdır. Aynı standart gereksinimlerini karşıladıkları sürece tüm tipler eşit derecede güvenlidir.

Taşıtlarda kullanılacak olan CNG tanklarında düşük maliyet, düşük ağırlık, emniyetli kullanım ve uzun ömürlülük gibi kriterler öne çıkmaktadır. Bu ihtiyaçlar göz önüne alındığında Tip 3 kompozit CNG tankları ihtiyaçları karşılayabilmektedir.

2.2. Kullanılan Malzemeler

CNG Tankını oluşturan malzemeler, kompozit malzemeler ve metal iç gömlek malzemesi olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Metal iç gömlek malzemesi olarak sadece alüminyum ele alınırken, kompozit malzemeler ise elyaflar ve reçineler olmak üzere iki ayrı grupta incelenmiştir. Metal iç gömlek malzemesi olarak alüminyum seçilmesinin sebebi, çelik, titanyum vb. metallere göre daha hafif olmasıdır. Halihazırda pazarda bulunan kompozit CNG tanklarının büyük çoğunluğunun alüminyum iç gömlek kullanılarak üretilmelerinin temel sebeplerinden biri de hafiflik avantajıdır.

2.2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, kelime anlamı olarak birden fazla bileşeni olan malzemeler için kullanılan genel bir ifade olmakla birlikte, yaygın olarak elyaf takviyeli polimerik malzemelere verilen genel isim olarak karışımıza çıkmaktadır. Bu tür malzemelerde yük taşıyıcı unsur elyaftır ve takviye olarak adlandırılmaktadır. Polimer ise elyafları bir arada tutar ve yükü elyaflara aktarır. Matris ya da reçine olarak da adlandırılmaktadır. Elyaflar ile polimerik malzemelerin malzeme özellikleri ve yapı içindeki oryantasyonları nihai malzemenin davranışını belirlemektedir. Bu yüzden, son ürün davranışının tahmin edilebilmesi tasarım

açısından büyük önem taşımaktadır. Takviye malzemesi olarak kullanılan elyafların (cam, karbon, aramid, bazalt, bor, vs.) farklı yapısal özelliklere sahip olması, benzer şekilde polimerik reçinelerin (polyester, vinilester, epoksi, fenolik, vs.) özellikleri ile de birleşmesi sonucu metal ve metal alaşımları gibi klasik yapısal malzemelere karşı büyük avantajlar sağlamaktadır.

Bu malzemelerin tek başlarına ya da hibrit kullanımları sayesinde istenen yapısal özelliğe (mekanik, ısı, elektriksel, vb) sahip mükemmel malzemeler elde edilebilmektedir. Diğer taraftan, kullanım alanı veya koşullarına göre de son derece önemli avantajlar sağlanabilmektedir. Örneğin; karbon elyaf/epoksi veya cam elyaf/epoksi reçine kullanılarak üretilen kompozit malzemenin yorulma direnci; çeliğe ve yorulma dayanım limiti (endurance limit) olmayan alüminyuma göre büyük üstünlük sağlamaktadır. Çok sayıda tüpün bir arada kullanımı söz konusu olduğunda, kullanılan malzemeler dolayısıyla kompozit tanklarda patlama sırasında domino etkisinin olmayışı filaman sargı ile üretilen tankların deniz ve kara taşımacılığında, çoklu olarak aynı ortamda kullanımına olanak vermektedir. Özellikle deniz taşımacılığında yüksek ağırlık kriterlerinin olmayışı, sayı çokluğu ile birleşince bu tankların özellikle cam/epoksi malzemedan üretimini oldukça avantajlı hale getirmektedir⁽⁷⁾.

2.2.2. Elyaf lar

Cam, karbon ve aramid malzemeler en sık kullanılan elyaf malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu malzemelerin elyafları "orifice" denilen bir delikten çekilerek değişik işlemlerden geçirildikten sonra demetler halinde toplanarak makaralara sarılmaktadır. Ancak bu işlem den önce her elyaf yüzeyi "sizing" denilen

kaplama işleminden mutlaka geçirilmektedir. Böylelikle hem elyafın korozyon, oksidasyon, aşınma gibi dış etkenlerden korunması, hem de reçine matrisleri ile daha uyumlu hale getirilmesi sağlanmaktadır.

2.2.2.1. Cam elyaf

Özellikle sivil sektöre yönelik kullanım alanı en fazla olan elyaf türüdür. Cam elyaf; farklı özelliklere sahip sınıflara ayrılmaktadır. Bunların başlıcaları:

E-Cam; En çok kullanılan ve en ucuz elyaf sınıfıdır. "E" işareti elektriksel özelliklerinin iyileştirilmesi sebebiyle kullanılmaktadır. E-cam; çoğu karbon ve aramid elyafa göre yüksek mukavemete (2100 - 3400 MPa arasında) ancak düşük esneklik katsayısına (~ 72 GPa) sahiptir.

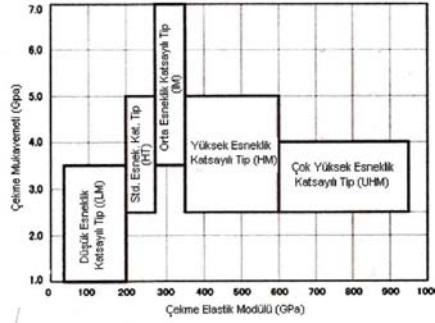
S-Cam; Havacılık - uzay sanayi için geliştirilmiş daha yüksek mukavemete (~ 4200 MPa) ve esneklik katsayısına (~ 86 GPa) sahip bir cam elyaftır. "S" işareti Owens-Corning firmasının markasıdır. Bazı üreticilerin benzer ürün için kullandıkları diğer işaretler ise, "Te-cam" ve "R-cam" dır. Ancak "S" işareti ile kullanım genel hale dönüşmüştür.

C-Cam; Özellikle korozyona karşı dayanıklıdır. Genellikle kompozit yapının dış yüzeyinde kullanılarak korozyona karşı koruma sağlanmaktadır. Cam elyafların göreceli daha düşük mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen ucuz oluşları, en büyük avantajlarıdır. Yoğunluklarının $2,5 \text{ gr/cm}^3$ oluşu, düşük yoğunluğa sahip karbon ve aramid elyaflara göre en büyük dezavantajlarıdır.

2.2.2.2. Karbon Elyaf

Bazen grafit elyaf olarak da adlandırılan karbon elyaf, değişik organik malzemeler veya petrol türevi olan polimer elyaflar kullanılarak üretilmektedir. Bu malzemeler öncelikle başlangıç malzemesi olarak elyaf haline getirilmekte, sonra da 3 basamaklı işlemden geçmektedir: oksidasyon, karbonizasyon ve grafitasyon.

En çok kullanılan başlangıç malzemeleri, "pitch" ve "polyacrylonitrile (PAN)" esaslı başlangıç malzemeleridir. Karbon elyaf, başlangıç malzemesi ve prosese bağlı olarak geniş bir aralıktaki mukavemet (1500 - 7000 MPa) ve esneklik katsayısı değerlerine (230 - 830 GPa) sahip olabilmektedir. (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Esneklik katsayısına göre karbon elyaf tipleri⁽⁷⁾

Karbon elyaflar, yüksek çekme dayanımları, düşük yoğunlukları (1,8 gr/cm³) ve düşük esnemeleri ile filaman sargıyla üretilen basınçlı tanklarda tercih nedenidir. Ancak, tüp maliyetinin yaklaşık %40' ini oluşturan karbon elyaf maliyeti, en büyük dezavantajdır. Yolcu taşınması yapılan araçlarda karbon elyaf kullanımı özellikle yüksek patlama basıncının yanı sıra, delinme olması durumunda patlamaya (catastrophic failure) neden olmaması avantajı ile tercih edilmektedir.

2.2.2.3. Aramid (Organik) Elyaf

Aramid elyaf, aksel dizilen aromatik - polyamid polimer moleküllerinin hidrojen atomlarıyla radyal düzlemde bağlanması ile oluşan bir elyaftır. Kevlar (Dupont firması tarafından üretilmektedir) ve Twaron (Teijin-Twaron firması tarafından üretilmektedir) ticari isimleri ile bilinen iki marka en çok kullanılan elyaf markalarıdır. Çekme mukavemeti ortalama değerinde (3000 - 3700 MPa arasında) iken, esneklik katsayısı cam elyafa göre daha yüksektir (~110 GPa). Basma özellikleri oldukça kötüdür. Oldukça tok bir malzeme olduğundan darbe ve balistik yüklere karşı direnci çok yüksektir.

CNG' nin elyaflara etkisinin anlaşılabilmesi için, gerçekleştirilen bir deneyde⁽⁷⁾ karbon, cam, Kevlar malzemeleri, oda sıcaklığında, 1 yıl süre ile, 35 Bar basınç altında, doğal gaz ortamında bekletilmiş ve periyodik olarak aksel çekme testine (ASTM D3379) maruz bırakılmıştır. Sonuçta her üç fiberin de doğal gaz ortamından etkilenmesinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Taşımacılıkta kullanılan basınçlı tanklarda, karbon üzerine cam elyaf sarılması ile darbe dayanımı yüksek, aynı zamanda patlatma basıncı değeri de kabul edilebilir sınırlarda ürünlerin üretimi yapılabilmektedir⁽⁷⁾.

2.2.3. Reçineler

Reçineler polimer esaslı kimyasallar olup kompozit malzeme içerisinde takviye malzemelerinin arada tutulması, yük aktarımı, çevresel koşullara karşı koruma vs. işlevleri yerine, kimyasal yapılarına göre reçineler termoset ve termoplastik olmak üzere iki gruba ayrılır. Termoset reçineler ise; polyester,

vinilester, epoksi, fenolik gibi aromatik hidrokarbon bileşenleridir. Bunlar içerisinde en yaygın kullanılanı polyester reçinelerdir.

Filaman sargı basınçlı tankların üretiminde çoğunlukla epoksi reçine kullanılmaktadır. Vinilester ve polyester reçineler de teorik olarak kullanılabilir özelliklere sahip olmasına rağmen pratik örnekleri oldukça sınırlıdır. Vinilester reçinelerin kullanımda tercih edilmemesinin ana nedeni olarak, epoksinin vinilestere göre daha yüksek yorulma direncinin bulunması ve epoksinin maksimum gerinim değerinin vinilesterden % 2,5 daha yüksek olması (epoksi % 7, vinilester % 4,5) gösterilebilir.

Maksimum gerinim değeri, matris yapı içerisinde mikro çatlakların oluştuğu gerinim değerinin yaklaşık 10 katı bir değere sahiptir. Bu da sistem başarısızlığa uğramasına da nem ve suyun kompozit yapıya sızması, reçine ve elyaf üzerindeki kaplama (sizing) tabakasında yer almasına olanak sağlamaktadır. Yapı içerisine sızan nem ve su, uzun vadede sistemin yorulmaya ve çevresel dayanıma zayıf hale gelmesine neden olmaktadır. Bu açıdan, hidrolize uygun ester gruplarına sahip vinilester yorulma dayanımı açısından, 20 yıl gibi uzun bir sürede epoksiye göre dezavantajlı duruma düşebilmektedir⁽⁷⁾.

Ayrıca, vinilesterler' in polimerleşme sırasında epoksilere oranla yüksek çekme değerine sahip olması bir başka dezavantaj olarak gösterilebilir. CNG' nin reçine matrisine etkisinin anlaşılabilmesi için gerçekleştirilen bir deneyde⁽⁷⁾, epoksi reçine (Ciba-Geigy), vinilester reçine ve HDPE1 (Honam), HDPE2 (Samsung) iç gömlek malzemeleri, oda sıcaklığında, 1 yıl süre ile, 35 Bar basınç altında, doğal gaz ortamında bekletilmiş ve periyodik olarak aksel çekme testine (ASTM D3379)

maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak her iki reçine türünün ve iki polietilen iç gömlek malzemesinin de doğal gaz ortamından etkilenmesi ihmal edilebilir düzeydedir.

2.2.4. Alüminyum İç Gömlek

Basınçlı tankların üretiminde iç gömlek olarak alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Çürümeye olan dayanımı ve hafif oluşu alüminyumun seçilmesinde önemli rol almaktadır. Alüminyum alaşımları, içerdiği ana alaşım maddelerine göre sınıflara ayrılmaktadır⁽⁷⁾.

1000, 3000 ve 5000 serisi alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri, uygulanan soğuk işlemin içeriğine, işlem sonrası tavlama uygulanıp uygulanmamasına bağlıdır. Dolayısıyla bu serideki alaşımlar da kendi aralarında alt sınıflara ayrılmaktadır. 2000, 4000, 6000, 7000 ve 8000 serisi alaşımların özellikleri ise ısıtılma sırasında maruz kaldığı sıcaklık ve zaman parametrelerine, hangi sıcaklıktan hangi ortam ve oranda soğutulduğuna, yaşlandırma işlemine, vs. bağlı olarak değişmektedir.

2.3. Sertifikasyon İçin Gerekli Testler

Uluslararası standartlarda CNG tanklarının ve bu tankların üretiminde kullanılacak malzemelerin bazı özellikleri tanımlanmaktadır. Tankla ilgili kriterler; çalışma basıncı, beklenen en yüksek çalışma basıncı, servis ömrü, önerilen bakım sıklığı gibi özelliklerdir. Malzeme kriterleri ise kullanılan iç gömlek, reçine ve elyafların tiplerine ve özelliklerine göre belirtilmektedir.

Standartta⁽⁵⁾ verilen gaz tanklarının özellikleri ve performans gerekleri aşağıda belirlenmiştir;

Çalışma basıncı, 200 bar ve 250 bar'dır. Beklenen en yüksek çalışma basıncı 200 bar normal çalışma basıncı için 260 bar, 250 bar normal çalışma basıncı için bu değerın 1,25 katıdır. CNG tankının servis ömrü ise 15000 dolun olarak tanımlanmıştır. Ayrıca tankların bir yılda en fazla 1000 defa doldurulduğu, en uzun servis ömrünün de 20 yıl olduğu belirtilmiştir. Standartlara göre tankların SAE J1616, kuru gaz ve ıslak gaz olmak üzere üç adet gaz kompozisyonu için de uygun olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Tankların çalışma sıcaklığı da -40 °C ile 82 °C arası olarak tanımlanmıştır. Ayrıca dış yüzey ve kaplamanın maruz kalacağı ortamlar da nem, tuz, güneş, darbe ve çeşitli asitler ile kimyasallar olarak belirlenmiştir. Tankların patlama öncesi sızdırma (leak before break) şeklinde başarısızlık göstermesi gerekmektedir. Ayrıca tankların herhangi bir gaz kaçağını tamamen engelleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir⁽⁷⁾.

Standartlara göre sertifikasyon yapılması sırasında üretilen ilk üretim partisine çeşitli test ve muayeneler uygulanır. Öncelikle kullanılan hammaddelerin kupon bazında test edilmesi gerekmektedir. Örneğin metal iç gömleklere darbe testleri, çelik için kükürt şartlandırma testi ve alüminyum iç gömleklere de korozyon dayanımı ile çatlak testleri yapılmaktadır. Ayrıca metal iç gömleklere yüzey sertliği testi de yapılması gerekmektedir. Reçineler için kesme dayanımı testleri yapılması gereklidir.

Ürünün kalifikasyonu veya sertifikasyonu için yapılacak testler temel olarak devir ve ömür tayin testleri, dış etkilere dayanım testleri gibi çalışmalardır⁽⁷⁾.

ECE R110' a göre kalifikasyon için gerekli olan testler;

- A12 Patlama: Cam: 700 bar / Aramid: 600 bar / Karbon: 470 bar

- A13 Devir: 45000 Devir - Basınç Aralığı: 20 bar - 260 bar

- A14 Asit aşındırma: 1. Silindirin üzerinde 150 mm çapında bir alan; 26 MPa basınçta, 100 saat süresince, % 30 luk sülfürik asit çözeltisine (akü asidi) maruz bırakılır.2. Patlatma testinde % 85 tasarım patlatma basıncına kadar dayanım beklenir.

- A15 Yanma testi:

1. Test edilecek numune, 1,65 m uzunluğunda bir alev kaynağının 100 mm üzerine yatay olarak yerleştirilir ve alev silindir yüzeyine, yaklaşık olarak merkezine gelecek ve silindir çapını çepeçevre saracak şekilde direk olarak uygulanmalıdır.

2. Vana ve diğer parçalar ise metal kalkan ile korunarak direk yanma etkisine maruz bırakılmaz.

3. Aralarında en az 0,75 m uzaklık olan en az üç adet metal ile korunmuş "thermocouple" ile her 30 saniyede bir ölçüm alınır.

4. Yanma başlar başlamaz alev numune üzerine direk uygulanmış olmalıdır.

5. Testin ilk 5 dakikalık zamanında "thermocouple" lardan en az birisinin 590°C okuması gerekir ve bu asgari sıcaklık, test süresince muhafaza edilmelidir.

6. Test süresince patlamaya izin verilmez. Test sonucunda emniyet valfinden basınç tahliye edilebilmelidir.

- A16 Balistik: Çalışma basıncında 7.62 mm armour piercing (Zırh delici) ile yapılır.

- A17 Hata toleransı: Gözle görülecek büyüklükte hata içeren numuneye 15000 devir basınç testi yapılır. 3000 devirden sonra sadece gaz kaçağına izin verilir.

- A18 Yüksek sıcaklık: Tg (Camlaşma sıcaklığı) 100 °C' den büyük ise yapılmaz.

- A19 Hızlandırılmış başarısızlık:

1. Kaplamasız bir numune 65 °C' de su ile 26 MP çalışma basıncına kadar hidrostatik olarak doldurulur.

2. Bu şartlarda 1000 saat beklenir.

3. Patlatma testinde % 85 tasarım patlatma basıncına kadar dayanım beklenir.

- A20 Serbest düşüş: 1,8 metreden serbest düşüş. 1000 * yıl ömür = 20000 devir testinden sonra %85 patlatma basıncına kadar dayanım beklenir.

- A21 Geçirgenlik: 200 barda maksimum 0,25 ml doğalgaz / saat

- A24 Emniyet vanası performansı: 24 saat şartlandırma sonrası minimum 20000 devir.

- A25 Tork testi: Gövdeden sabitlenen numuneye her iki yönde 500 Nm tork üç kez uygulanır. Test sonucunda dişli bağlantılarda gevşeme olmamalıdır.

- A27 CNG Devir: 300 devir testinde doğalgaz kaçağı olmaması beklenir. 1 devir; doldurma ve boşaltma olarak tanımlanır ve dolun süresi maksimum 1 saat olmalıdır.

- A6 LBB (Leak Before Break): Ömür 45000 devir ise uygulanmaz. Aksi durumda başarısızlık kriteri devir testinde sızdırma şeklinde olması beklenir. Yıkıcı patlama olmaması gerekmektedir.

- A7 Sınır sıcaklıklarda devir:

1. 48 saat 65 °C' de şartlandırdıktan sonra 10000 devir test,
2. Oda sıcaklığına indirgeme,
3. - 40°C' de 10000 devir test.
4. Kriter: patlatma basıncı en az % 85 (cam için min. 595 bar)

Testlerin CNG tanklarının tipine göre uygulanışı Çizelge 2.1. de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Testlerin CNG tanklarının tipine göre uygulanışı⁽⁷⁾

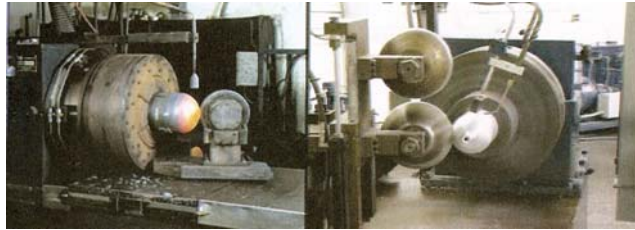
TEST TANIMI	CNG-1	CNG-2	CNG-3	CNG-4
A, 12 Patlatma	X	X	X	X
A, 13 Devir	X	X	X	X
A, 14 Asit Şartlandırma		X	X	X
A, 15 Yanmazlık	X	X	X	X
A, 16 Balistik	X	X	X	X
A, 17 Hata Toleransı		X	X	X
A, 18 Yüksek Sıcaklık (Creep)		X	X	X
A, 19 Hızlandırılmış Başarısızlık		X	X	X
A, 20 Serbest Düşüş			X	X
A, 21 Geçirgenlik				X
A. 24 Emniyet Vanası Performansı	X	X	X	X
A. 25 Tork Testi				X
A, 27 CNG Devir				X
A, 6 LBB(Leak Before Break)	X	X	X	X
A, 7 Sınır Sıcaklıklarda Devir		X	X	X

2.4. Kompozit CNG Tankı Üretim Teknikleri

Tip 3 CNG tanklarının üretimi açıklanmaktadır. Tip 3 CNG tankları metal bir iç gömleğin tamamen kompozit malzemeyle sarılmasıyla oluşmaktadır. Bu sebeple bu tankların üretimi iki aşamadan oluşmaktadır: metal iç gömlek üretimi ve kompozit sarımı. Aşağıda bu iki aşamanın detayları verilmiştir.

2.4.1. Metal İç Gömlek Üretimi

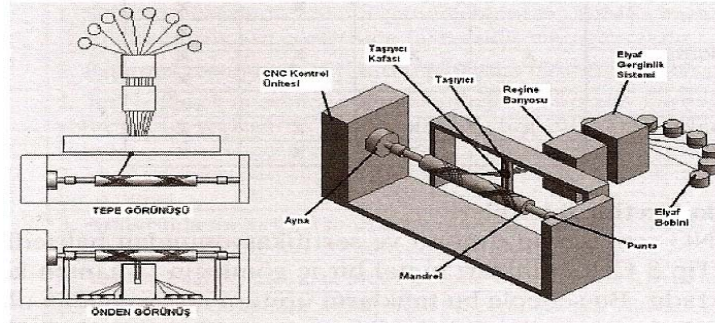
İç gömlek üretimi için ilk olarak metal plaka alınır. Plakalar, derin çekme işlemi için gereken kayganlaştırıcı ile kaplandıktan sonra çekme - ters çekme yöntemleri kullanılmak suretiyle çanak haline getirilir. (Şekil 2.2.) Çekilmiş olan kaplara daha sonra yeniden çekme işlemleri uygulanır. Son dış kontur, et kalınlığı ve çap gibi parametreler ise son aşamadaki presle belirlenir. Bu yöntemle 500 mm' ye varan çaplarda iç gömlek üretmek mümkündür. İç gömlek daha sonra sıvama işlemine tabi tutulur. Sıvama işlemi tamamlandıktan sonra parçalar, ısıl işlem için fırınlanır. Parçalar istenen sıcaklığa ulaştıktan ve programlanmış bir süre kadar bu sıcaklıkta bekletildikten sonra, suda soğutma tankına alınır. Silindirler son olarak talaşlar ve diğer yabancı maddelerden arındırılarak temizlenir.



Şekil 2.2. Metal iç gömlek (Liner) üretiminden görünüm⁽⁷⁾

2.4.2. Kompozit Sarımı

İç gömleklerin kompozit malzemeyle sarılması filaman sargı yöntemiyle yapılır. Genel anlamda filaman sargı üretim tekniği, reçine ile kontrollü olarak ıslatılan elyafların ürüne göre tasarlanmış mandrelin üzerine farklı açılarda sarılması ve ardından reçinenin polimerleştirilmesi şeklindedir. Basınçlı tank uygulamalarında ise iç gömlek mandrel olarak kullanılmaktadır. Elyaf, mandrel üzerine sarılmadan önce reçine banyosundan geçirilerek ıslatılır. Reçine banyosunun sıcaklığı ve reçine sisteminin akışkanlığı istenen değere ayarlanır. Gerdirme sistemi, elyafların, belirli ve sabit bir gerginlikte mandrel üzerine sarılmasına imkan verir. Elyaf ile mandrel eksenindeki açının tanımladığı sarım açısı her tabaka için tasarıma uygun olarak uygulanır. Şekil 2.3. de filaman sargı cihazı şematik olarak görünmektedir.



Şekil 2.3. Filaman sargı cihazının şematik görünüşü⁽⁷⁾

2.5. CNG Tankların Tasarımında Hesaplama Yöntemleri

Kompozit ve metal parçaların birlikte kullanıldığı CNC tanklarının tasarımı geleneksel tasarım yöntemlerinden farklılık gösterir. Geleneksel tasarımda

parça geometrisinin tasarlanması genellikle ilk adımda gerçekleştirilir. Geometrinin belirlenmesinin ardından bu geometride tasarım gereklerini karşılayabilecek malzeme ve üretim yöntemi belirlenir. Kompozit malzemeler ile gerçekleştirilen tasarımlarda ise geometri, malzeme ve üretim yöntemi aynı süreçte eşzamanlı olarak belirlenir. Kompozit tabaka yapısının yönlendirilmesi, tabaka sayısı ile kullanılan malzeme türü ve geometri doğrudan ilişki içindedir.

CNG tanklarının tasarımında filaman sargı yönteminde de esas olan dört farklı hesaplama yöntemi kullanılır. Bu yöntemlerden ilki ağ analizi (netting analysis) adı verilen ve kompozit bölümün üzerindeki bütün yükün sadece elyaflar tarafından taşındığını varsayan hesaplama yöntemidir. Bu yöntem genellikle ön tasarım aşamasında kullanılır. Reçinenin sadece elyafları bir arada tutan bir ortam olduğunu varsayması, kaba bir sonuç vermesi ve metal iç gömleğin ağ analizi hesaplamalarını karmaşılaştırması nedeniyle kullanım alanı kısıtlıdır.

Kullanılan bir diğer tasarım yöntemi ise tabaka teorisidir. Bu yöntemde klasik tabaka teorisi silindirik yapılara uygulanarak ASME Bölüm – X standardında verilen yaklaşım ile hesaplamalar gerçekleştirilir. Kompozit tabaka 4 adet elastik sabit ve 5 adet mukavemet değeri ile modellenirken, iç gömlek izotropik bir yapı olarak modellenir. Hesaplamalar sonucunda maksimum gerilme değerlerine ek olarak maksimum başarısızlık kriterine göre yapıdaki başarısızlık her tabaka için ayrı ayrı sorgulanabilir.

Gerilme fonksiyonu yönteminde ise hesaplamalar, silindirik koordinat sisteminde iki boyutlu özel bir formülasyon kullanılarak yapılır. Bu hesaplama yönteminde düzlemsel gerinim hali için, tek bir tabakada gerilme ve gerinimler var olan simetri düzlemleri kullanılarak azaltılmış sayıda değişken ile tanımlanır. Sınır

şartları kullanılarak sayısal yöntemlerle çok tabakalı ortotrop yapının çözümü gerçekleştirilir. Ancak bu formülasyonda her bir yükleme tipi için ayrı bir hesaplama yöntemi kullanılmalıdır.

Son olarak ve en yaygın biçimde kullanılan analiz yöntemi ise sonlu elemanlar yöntemidir. Bu yöntemde kompozit bölüm, ortotrop tabakalı bir yapı olarak modellenirken, metal iç gömleğin karmaşık geometrilerde modellenmesi mümkündür. Kompozit ve metal yapının ağ noktaları birbirine bağlanabileceği gibi, iki tabaka arasında temas (contact) tanımlanması da mümkündür⁽⁷⁾.

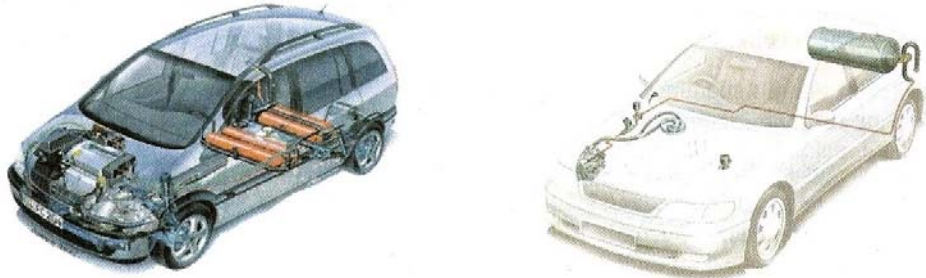
2.6. CNG Tanklarının Uygulama Alanları

Taşıtlar için doğalgaz kullanımı konusundaki teknoloji neredeyse tamamen geliştirilmiş olup yıllardan beri test edilmektedir. Bugün dünyanın 60 ülkesinde CNG ile çalışan yaklaşık 10 milyon araç bulunmaktadır. Kullandığı yakıt benzinden CNG ye dönüştürülen araçlara ek olarak, artan sayıda araç üreticisi firma özellikle CNG yakıtla çalışan araçlar piyasaya sürmektedir.

2.6.1. Otomobiller

Otomobillerde kullanılan CNG tankları genelde tamamı çelik Tip 1 silindirlerdir. Çalışma basıncı 200 bar civarındadır. Araç tipine göre kullanılacak silindirler değişkenlik gösterebilir. Silindirler genelde bir tank ünitesiyle tümleşiktir. Araç tipine bağlı olmakla birlikte 100 lt' lik bir tank yaklaşık olarak 350 km' lik bir menzil sağlamak için yeterlidir. Tanklar genelde aracın içine bir etkisi olmadan şasi içerisine yerleştirilebileceği gibi, bagajın bir kısmı da bu amaçla kullanılabilir.

(Şekil 2.4.) Ağırlığın önemli olduğu durumlarda kompozit sargılı tanklar tercih edilmektedir.



Şekil 2.4. Otomobillerde CNG tankı kullanımı

2.6.2. Minibüsler, Otobüsler ve Kamyonlar

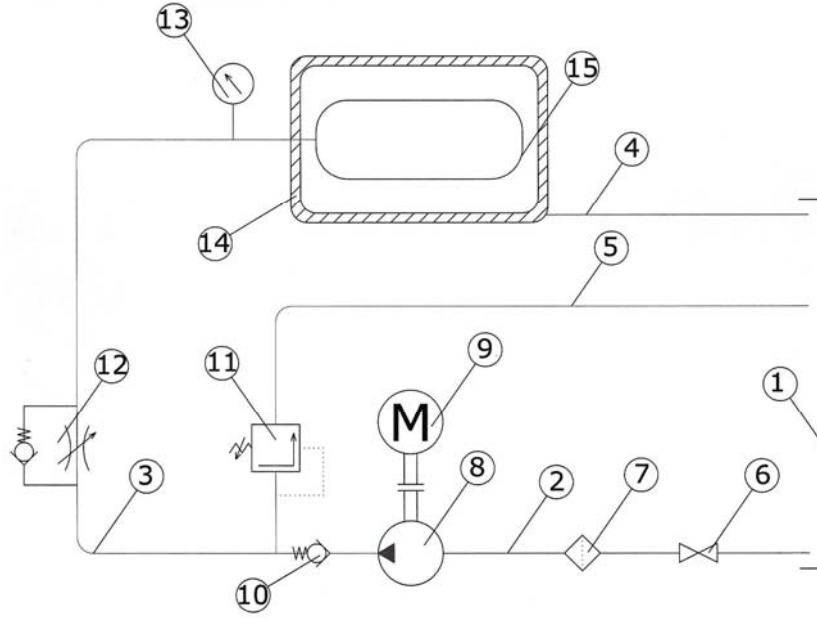
Çelik veya alüminyum üzeri kompozit sargılı Tip 2, Tip 3 veya plastik iç gömlek üzeri tamamen kompozit sargılı Tip 4 silindirlere oluşan tanklar şehir içi otobüs veya minibüsler için önerilmektedir. Bu tanklar bir muhafaza altında aracın tavanı üzerinde yerleştirilir. Şekil 2.5. de otobüslerde kullanılan CNG tanklarının otobüsün tavanı üzerine yerleştirilmesi gösterilmiştir. Silindir sayısı ihtiyaca göre değişebilir. Düşük ağırlık avantajından dolayı tamamen kompozit Tip 4 silindirler, yüksek depolama kapasiteleri ve buna bağlı olarak daha uzun menziller için daha uygundur. Kamyonlar içinse yine geniş depolama alanına ihtiyaç duyulmaktadır. 60 - 150 litre arasında hacmi bulunan Tip 1 çelik veya Tip 2-3 kompozit sargılı silindirler 4' lü 8' li gibi çeşitli konfigürasyonlarla aracın uygun yerlerine yerleştirilir. Çalışma basıncı 200 bar civarındadır.



Şekil 2.5. Otobüslerde kullanılan CNG tankları⁽⁷⁾

2.7. Hidrostatik Patlama Basıncı Test Düzeneği

Doğalgazla çalışan araçlarda, yakıtın araçta depolanması için kullanılan tanklara uygulanan deneylerden biri de hidrostatik patlama basıncı deneyidir. Hidrostatik patlama basıncı deneyi, üretimi yapılan Tip 1, Tip 2, Tip 3 ve Tip 4 CNG tanklarının patlama basıncı değerlerinin belirlenmesi amacı ile yapılır. Belirlenen patlama basıncı değerleri, TS EN ISO 11439 standardında belirtilen patlama basıncı değerlerini sağlıyorsa tanklar kullanıma sunulabilir Hidrostatik patlama basıncı deneyinin yapılabilmesi için, hidrostatik patlama basıncı test düzeneği tasarımı yapılmıştır. Şekil 2.6. da hidrostatik patlama basıncı test düzeneği hidrolik devre şeması şeklinde gösterilmiş olup devre elemanları ise Çizelge 2.2. de verilmiştir.



Şekil 2.6. Hidrostatik patlama basıncı test düzeneği

Çizelge 2.2. Hidrostatik patlama basıncı test düzeneği ekipmanları

1	Depo
2	Emme hattı hortumu
3	Basınç hattı hortumu
4	Dönüş hattı hortumu
5	By – pas hattı hortumu
6	Toplu valf
7	Filtre
8	Radyal pistonlu pompa
9	Elektrik motoru
10	Çek valf
11	Emniyet valfi
12	Akış denetim valfi
13	Monometre
14	Test kabini
15	Yüksek basınç tankı

Test düzeneğinde kullanılan ekipmanların tanıtımı, görevleri ve gereken hesapları takip eden kısımlarda verilmektedir.

2.7.1. Hidrolik Pompalar

Hidrolik pompalar, hidrolik sistemin kalbidir. Sistem için gerekli basınçta ve debideki akışkan hidrolik pompa tarafından üretilir. Pompalar emiş hattındaki akışkanı emerek basınç hattına hacimsel bir küçülme ile basarlar. Kısaca, mekaniksel enerjiyi hidrolik enerjiye çevirirler. Yağ haznesindeki akışkanı statik halden dinamik hale dönüştüren ve hidrolik enerji olarak sisteme basan pompanın değişik kapasitede çeşitli tipleri ve şekilleri vardır. Seçilecek pompanın sisteme uygun debide ve basınçta akışkanı üretmesi, ekonomik olması, montaj kolaylığı ve servis imkanı olması gerekir. Seçilecek pompa kısa süre sonra devreden çıkmamalıdır. Uzun ömürlü olmalıdır. Sistem için gerekli büyüklükte pompanın seçilmesi gereksiz yere enerji tüketilmesini önler. Seçilecek pompa gereğinden fazla akışkanı üreten ve gereğinden fazla basınç üreten bir pompa olursa, bu pompayı çalıştıracak olan elektrik motorunun çok büyük olmasına sebep olacaktır. Sarfedilen fazla elektrik yapılacak işlerin maliyetini arttıracaktır⁽¹⁹⁾. Çizelge 2.3. de hidrolik pompaların çeşitli özellikleri verilmektedir.

Hidrolik pompalar genellikle bir elektrik motoruna kavramalarla bağlıdır. Elektrik enerjisi verildiğinde motor mili dönerken birlikte pompanın milini de döndürür ve bu sırada depodaki akışkanı vakum yaparak emer ve sisteme basar.

Hidrolik pompayı çalıştıracak olan elektrik motorunun gücü hidrolik pompanın basıncı ve basacağı akışkanın debisi dikkate alınarak hesaplanır⁽¹⁹⁾.

Hidrolik pompa çeşitleri :

- 1- Dıştan dişli pompa
- 2- İçten dişli pompa
- 3- Kanatlı pompa
- 4- Eksenel pistonlu pompa
- 5- Radyal pistonlu pompa
- 6- Vidalı pompa

Çizelge 2.3. Hidrolik pompaların çeşitli özellikleri⁽¹⁹⁾

Tipi	Basınç p_{max} bar	Dönme sayısı dev/dk	Debi Q lt/dk	Verim η %
Dıştan dişli pompa	120'den 200'e kadar	500'den 3500'e kadar	300	50...90
İçten dişli pompa	300	300'den 3000'e kadar	100	60...90
Kanatlı pompa -Sabit debili	200	1000 3500	200	65...85
-Değişken debili	150	1000 2500	200	70...80
Eksenel pistonlu pompa	250'den 350'ye kadar	500'den 3500'e kadar	100...500	80...90
Radyal pistonlu pompa	300'den 700'e kadar	200'den 3000'e kadar	125	80...90
Vidalı pompa	160	500'den 3500'e kadar	100	60...80

Hidrostatik patlama basıncı test düzeneği için 300 bar-700 bar aralığında çalışan pompa gereklidir. Bu gereksinimi Radyal pistonlu pompa sağlamaktadır.

2.7.1.1. Radyal Pistonlu Pompa

Düşük debi fakat çok yüksek basınç üretirler. Pistonlar genellikle ortadaki eksantrik dönen krank milinin çevresinde dönerler ve ileri geri hareket ederler. Bu sırada emiş yapıp basma bölgesine akışkanı iletirler⁽²⁰⁾.

2.7.1.2. Pompa Seçimi

Hidrolik sistemde kullanılacak olan pompa, sistemin bütün fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli olan akışkanı istenilen debide ve basınçta üretebilmelidir. Pompanın seçimi çok önemlidir. Ayrıca pompanın tasarlanan sisteme uyumu, ekonomik olması, çalışma şartlarına ve çevre sıcaklığına uyumlu olması gerekir. Pompanın sisteme montajı sırasında bir problem meydana getirmemesi, yedek parça ve satış sonrası servis imkanlarının da dikkatten uzak tutulmaması gerekir. Pompayı seçtikten ve aldıktan sonra üretici firmanın önerilerine ve uyarılarına titizlikle uymak gerekir. Kullanılacak akışkanın özellikleri ve kullanılacak filtrenin süzme kapasitesi pompanın verimini büyük ölçüde etkiler. Konu ile ilgili üretici firmanın katalogları ve dokümanları temin edilmeli, incelenmeli ve yapılan uyarılara göre hareket edilmelidir⁽¹⁹⁾.

2.7.2. Pompayı Çalıştıran Elektrik Motorunun Gücünün Hesaplanması

Hidrolik sistemde kullanılan pompa kavrama ile bağlandığı elektrik motoru tarafından döndürülür. Pompa mili ile elektrik motor mili aynı eksendedir. Kullanılacak olan elektrik motorunun gücü pompanın kapasitesine göre hesaplanarak seçilir. Motor gücünü hesaplarken, hidrolik pompanın debisi ve üretilecek olan

akışkanın basıncı dikkate alınır. Pompanın verimi de dikkate alınarak daha gerçekçi değerler belirlenir.

Kullanılan elektrik motorunun gücü yeterli değilse istenilen basıncı ve debiyi elde etmek mümkün olmaz. Bu nedenle devrede kullanılacak elektrik motor gücünün önceden hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada, pompanın debisi (Q), akışkanın basıncı (P), pompanın toplam verimi (η_t) ile birlikte iki sabit sayı kullanılacaktır. Elektrik motorunun gücünü kW olarak hesaplarken kullanılacak sabit katsayı 600 alınacak, motor gücünü BG olarak hesaplarken de kullanılacak sabit sayı 450 olarak alınacaktır⁽¹⁹⁾.

G = Pompayı çalıştıran elektrik motorunun gücü (kW veya BG)

P = Akışkanın basıncı (Bar)

Q = Pompanın debisi (litre / dakika)

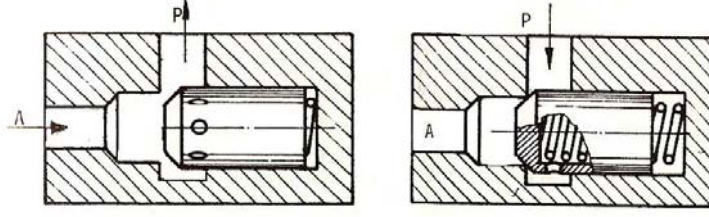
η_t = Pompanın toplam verimi (%)

Motor gücünü kW olarak bulmak için ; $G = \frac{Q.P}{600.\eta_t}$

Motor gücünü BG olarak bulmak için ; $G = \frac{Q.P}{450.\eta_t}$

2.7.3. Çek Valf

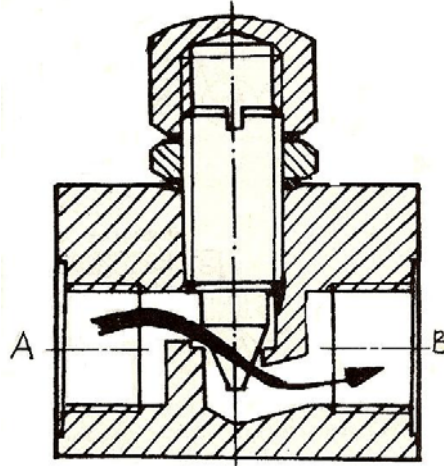
Çek valfler, akışkanın tek yönde hareket etmesini sağlayan devre elemanlarıdır. Yaylı veya yaysız olarak yapılırlar. Yaylı olanlarda akışkan, yayı itecek derecede bir itme kuvveti uyguladığı zaman çek valf açılır ve akışkana yol verir⁽²⁰⁾. (Şekil 2.7.)



Şekil 2.7. Yaylı çek valflerin iki ayrı durumu⁽¹⁹⁾

2.7.4. Akış Denetim Valfi

Bir akış denetim valfinin görevi, devreye veya devrenin bir bölümüne giden, pompanın bastığı yağ miktarını azaltmaktır. (Şekil 2.8.) Bunu, devrede normal geçiş hattında bir kısma yaparak gerçekleştirir. Kısmayı aşmak için pozitif iletimli pompa, sıvıya daha büyük bir basınç uygular bu da sıvının bir miktarının başka bir yolu izlemesine neden olur. Bu yol genellikle emniyet valfinden boşalmaktır, fakat fazlalık, sistemin bir başka bölümüne de gidebilir⁽¹⁹⁾.



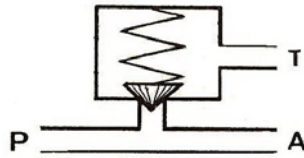
Şekil 2.8. Akış denetim valfi⁽¹⁹⁾

2.7.5. Basınç Emniyet Valfi

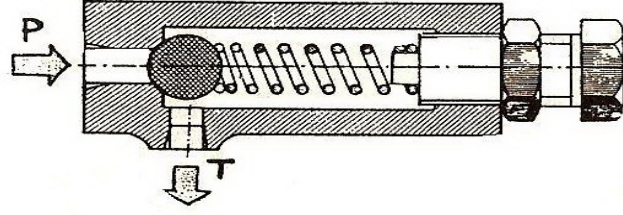
Bütün hidrolik sistemlerde mutlaka bulunması gereken normalde kapalı bir basınç denetim valfidir. Bu valfler, akışkanın basıncının önceden ayarlanmış olan belirli bir basıncın üzerine çıktığı zaman açılırlar. Normal zamanda bu valfler kapalıdır ancak, çalışma sırasında akışkanın basıncı belirli bir değerin üzerine çıkacak olursa, sistemi bu yükselen basıncın yapacağı tahribattan korumak için açılır ve fazla gelen akışkanı by-pas ederek yağ deposuna yöneltir.

Emniyet valflerine sistemi rahatlatan ve koruyan valfler de denir. Hidrolik sistem çalışırken herhangi bir sebeple basınç yükselecek olursa, akışkan kolay yolu seçeceği için, emniyet valfinin yayını iterek akışkanı depoya boşaltır ve sistemi korur⁽¹⁹⁾.

Basınç emniyet valfleri, Şekil 2.9. daki gibi tek bir basınç değerine ayarlanmış olarak yapılabildikleri gibi, Şekil 2.10. daki gibi belirli basınç sınırları arasında ayarlanabilecek şekilde de yapılabilirler. O zaman bu valflerde bir vida ile valfin içindeki basma yayının gerginliği - tansiyonu- ayarlanır. Bu yay ve vida ile, emniyet valfinin hangi basınç değerinde açılması gerektiği ayarlanır. Emniyet valflerinin bir tarafı basınç hattına diğer tarafı da yağ deposuna bağlıdır. Basınç emniyet valfi genellikle pompanın çıkışına, basınç hattına bağlanır⁽²⁰⁾.Aşağıdaki şekillerde P basınç hattı, T depoya dönüş hattı ve A çalışma hattıdır.



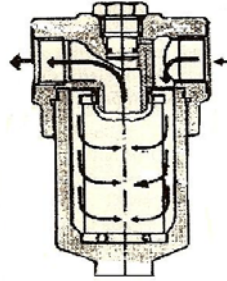
Şekil 2.9. Belli bir basınca ayarlanmış emniyet valfi⁽¹⁹⁾



Şekil 2.10. Basıncı ayarlanabilen emniyet valfi⁽¹⁹⁾

2.7.6. Filtre

Hidrolik sistemde akışkanın içine karışan yabancı maddeleri, çalışma sırasında aşınarak kopan ve yağa karışan metal parçacıklarını yağdan ayırmak ve sisteme daha temiz akışkan göndermek amacıyla filtreler kullanılır. (Şekil 2.11.) Filtreler, hidrolik akışkanın temizliğini sağlamak için devreye takılır. Bunun yanında; yabancı parçacıklar temizlenmediği, yağdan uzaklaştırılmadığı zaman hassas devre elemanlarında tıkanmalara ve sistemde çok büyük problemlere yol açabileceği unutulmamalıdır. Üretici firmalar hidrolik pompa ve motorlar ile diğer elemanlarda müsaade edilen kirlilik derecelerini tablolarda mikron cinsinden belirtirler. Bu tablolardan, devrede kullanılacak filtrelerin süzme kapasitelerini ve seçilecek filtrenin özelliğini tespit etmek mümkün olur⁽¹⁹⁾.



Şekil 2.11. Filtre⁽¹⁹⁾

2.7.6.1. Emiş Hattı Filtresi

Emiş filtreleri isminden de anlaşılacağı gibi hidrolik devrede emiş hatlarına takılır. Yağ haznesinden pompanın çektiği akışkanın temizlenmesini ve böylece sisteme daha temiz akışkanın gönderilmesini sağlar. Bunun bir başka görevi de hidrolik pompayı korumaktır. Yabancı maddeler hidrolik pompanın içine girdiği zaman, onun kısa zamanda aşınmasına ve tahrip olmasına yol açar. Bunların tek dezavantajları tıkanıklarında pompanın emişini zorlaştırmaları ve kavitasyon olayına sebep olmalarıdır. Bunu önlemek için nispeten kaba filtreler kullanılır ve magnetik ayırıcılı olarak yapılırlar⁽¹⁹⁾.

2.7.6.2. Basınç Hattı Filtresi

Basınç filtresi hidrolik pompa çıkışındaki basınç hattına takılır. Basınç filtresinin, maksimum çalışma basıncına dayanıklı olması gerekir. Bu filtreler hidrolik silindirlerin, hidrolik motorların ve hidrolik valflerin kirli akışkanlardan zarar görmemesi için kullanılır. Yüksek basınçla karşı karşıya kaldıkları için biraz pahalı, mukavemetli ve daha kaliteli malzemelerden yapılırlar. Filtreye paralel olarak bir de çek valf konur⁽¹⁹⁾.

2.7.6.3. Dönüş Hattı Filtresi

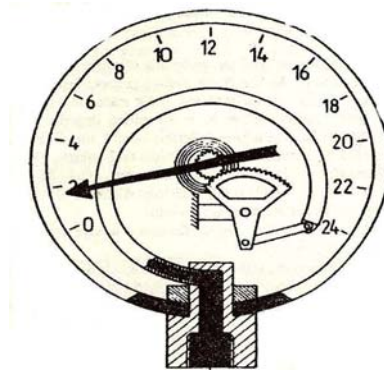
Bu filtreler sistemden dönen ve kirlenmiş olan akışkanı süzmek amacıyla kullanılır. Dönüş hattı tek başına kullanılmaz. Bu filtreler diğer filtrelere göre daha ucuzdurlar. Dönüş hattı filtresinin tıkanması halinde sistemin kilitlememesi için bir çek valfle dönen akışkana By-Pas yaptırılır. Normal şartlarda akışkan, filtreden

geçirilir ancak, filtre tıkanığında dönüş hattında basınç yükselir ve bu sırada akışkanın çek valfin yayını iterek depoya dönmesi sağlanır⁽¹⁹⁾.

2.7.7. Manometre

Hidrolik ve pnömatik sistemlerde akışkanın basıncını ölçmek için kullanılan aletlere manometre denir. (Şekil 2.12.) Ayrıca devredeki akışkanın basıncını düzenli olarak takip etmek ve sistemin belirli basınçta çalışması gerekiyorsa bu basıncı ayarlamakta kullanılır. Devredeki hatalı çalışmaları veya arızaları bulmakta da manometrelerden yararlanır. İstenilen noktadaki akışkanın basıncı ölçülerek, olması gereken basınçla gerçekleşen basınç arasındaki durum gözden geçirilir. Basınç farkı varsa farkın nereden ve hangi sebepten meydana geldiği araştırılır⁽¹⁹⁾.

Manometreleri dış çap ölçüleri, kullanılacağı basınç aralığı, gliserinli olup olmadığı, bağlantı vidasının yeri ve bağlantı vidasının ölçüleri belirtilerek tanımlamak gerekir.

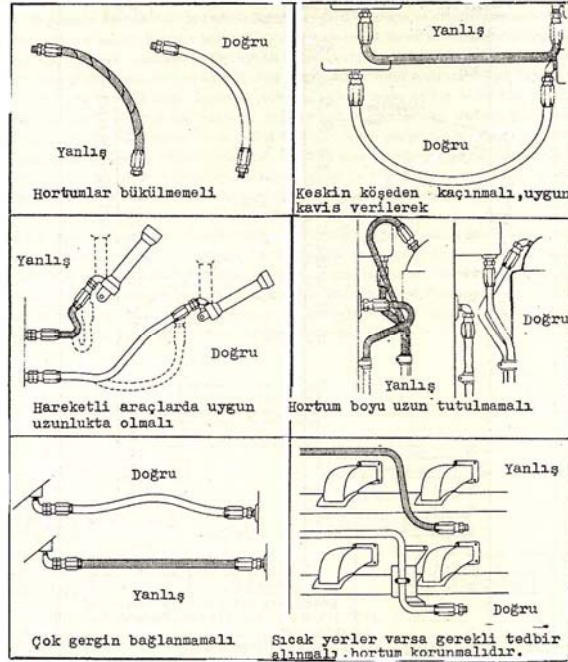


Şekil 2.12. Tüplü manometrenin iç yapısı⁽¹⁹⁾

2.7.8. Hortumlar

Hareketli olan hidrolik elemanlara basınçlı akışkanı iletmek, titreşimli, şoklu ve darbeli çalışma şartlarında sistemi bu şoklardan korumak için hortumlar kullanılır. Yüksek basınçlara dayanabilen ve düşük basınçlarda kullanılabilen hortumlar vardır. Sistemin çalışma şartlarına uygun olanını seçmek gerekir. Hortumların uç kısımlarındaki rakorlar, presli veya vidalı olabilir. Sarsıntılı çalışma şartlarında presli tipleri tercih etmek gerekir. Çevre sıcaklığı ve çalışma ortamının sıcaklığı da hortumun seçimine etki eder⁽¹⁹⁾.

Düşük basınçlarda bez örgü, yüksek basınçlarda çelik tel örgü kullanılır. Örgü sayısı basınca göre değişir. Hortum malzemesi olarak kloropren, nitril, klorsülfonitpolietilen kullanılır⁽²⁰⁾. Şekil 2.13. de hidrolik hortumların montajında dikkat edilecek önemli noktalar gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Hidrolik hortumların montajında dikkat edilecek önemli noktalar⁽¹⁹⁾

2.7.9. Hidrolik Akışkanlar

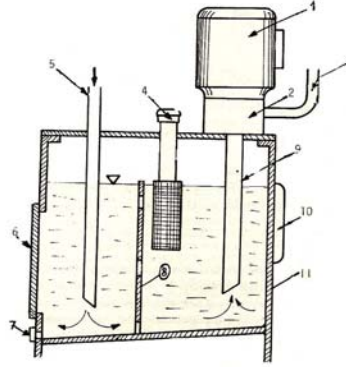
Hidrolik sistemde güç iletim aracı olarak sıkıştırılmaz özellikteki akışkanlar kullanılır. Bunun sonucu olarak da yüksek basınçta, büyük kuvvet ve döndürme momentlerinin üretiminde istenen sonuçları almak mümkündür. Sıkıştırılmaz özellikteki akışkanlardan birisi ve en çok bilineni su dur.

Petrol fiyatlarının her gün belirli bir artış göstermesi ve kıt olan kaynakların bir gün tükenebileceğini bilen bilim adamları suyun kullanıldığı hidrolik sistemler ve elemanlar üzerinde çalışmaktadırlar. Ancak suyun bilinen pas etkisi ve metal yüzeylerde korozyona yol açması ve yağlama özelliğinin bulunmaması büyük bir problem olmaktadır. Suyun pas yapma etkisini azaltmak için, suyun içine gliserinin katılması ve yağlama özelliği kazanması için de bir miktar yağ katılması veya suyla temas eden metal kısımların pirinç ve bronzdan yapılması da bir çözüm olarak düşünülebilir.

Hidrolik akışkanların başında petrolden elde edilen madeni yağlar gelmektedir. Her geçen gün değişik katkı maddeleri ilave ederek daha uzun ömürlü olması sağlanan ve yağlayıcılık özelliği arttırılan ve piyasada çeşitli isimler altında temin edilebilen hidrolik yağlar, günümüzde en çok kullanılan hidrolik akışkan türüdür. Hidrolik sistemde petrol kökenli madeni yağlar kullanıldığı zaman devrede yağlama problemini düşünmeye gerek yoktur. Çalışma sırasında valflerden, pompa ve motorlardan veya diğer devre elemanlarından geçen akışkan onların yağlanmasını sağlayacak ve sürtünmelerini azaltacaktır. Ayrıca uygun viskozitedeki yağlar silindirlere ve diğer elemanlarda sızdırmazlığın sağlanmasını mümkün kılacaktır⁽¹⁹⁾.

2.7.10. Depo

Yağ deposu veya yağ haznesi, hidrolik sistemde kullanılan akışkanın içinde depo edildiği, çelik saçıtan veya dökümden yapılan, akışkanın içinde toplandığı bir elemandır. Şekil 2.14. de depo, Çizelge 2.4. de ise depo elemanları görülmektedir. Hidrolik sistemde görevini tamamlayan ve dönüş hattından gelen akışkan yağ haznesine döner. Sistemde dolaşan akışkanın içine karışmış olan yabancı maddeler, toz ve pislikler deponun içinde kalır. Akışkan emiş hattından sisteme giderken bu filtre edilmiş ve yabancı maddelerden arındırılmış olan akışkanı basar. Yağ deposu hacminin %15' i boş bırakılır ve depo tamamen yağla doldurulmaz. Yağ deposu genellikle yerden yüksekte, altından hava sirkülasyonu olacak şekilde yapılır⁽¹⁹⁾.



Şekil 2.14. Depo⁽¹⁹⁾

Çizelge 2.4. Depo elemanları

Numara	Parça Adı
1	Elektrik motoru
2	Hidrolik pompa
3	Basınç hattı
4	Havalandırma filtresi

Çizelge 2.4. (Devamı)

5	Dönüş hattı
6	Temizleme kapağı
7	Yağ boşaltma tapası
8	Perde
9	Emme hattı
10	Yağ seviye ve sıcaklık göstergesi
11	Depo gövdesi

2.7.10.1. Yağ Deposunun Görevleri

- Yağın içine karışan maddeleri yağdan ayırtmak.
- Yağın dinlenmesini sağlamak
- Yağın üzerindeki ısıyı dış ortama transfer etmek.
- Sistemdeki yağın belirli bir yerde toplanmasını sağlamak.
- Yağın içine karışmış olan havanın yağdan ayrışmasını sağlamak.

2.7.10.2. Yağ Deposunun Yapımında Dikkat Edilecek Noktalar

1. Deponun içinde emiş bölgesi ile dönüş bölgesini birbirinden ayıran bir perde bulunmalıdır.
2. Depo tamamen yağ doldurulmamalı, üst kısımda depo hacminin % 10-15 kadarı boş bırakılmalıdır.
3. Deponun içine açık hava basıncının etki edebilmesi için, bir havalandırma yeri bulunmalıdır. Havadaki toz ve yabancı maddelerin yağa karışmaması için bir hava filtresi olmalıdır.
4. Deponun iç kısmına biriken ve dibe çöken yabancı maddelerin emiş bölgesinden uzaklaştırılması için deponun tabanı eğimli olmalıdır.

5. Deponun dış kısmında içerdeki yağ sıcaklığını gösteren bir termometre ve min. ve max. yağ seviye göstergesi olmalıdır.

6. Emiş filtresi min. yağ seviyesinin altında olmalıdır. Aksi halde pompa hava emer ve sistemde kavitasyon olayı meydana gelir. Akışkanın içindeki hava zerrecikleri, hidrolik elemanlara büyük darbe ile çarpması sonucu hidrolik sistemde titreşim, sarsıntı, aşınma, ısınmaya yol açar.

7. Emiş ve dönüş boruları 45° eğik kesilmelidir.

8. Depoya dışarıdan su ve yabancı madde girmemesi için deponun ağzı kapalı olmalıdır.

9. Depo çelik saçtan yapılmalı, alt kısmı da yerden yüksekte olmalıdır. Böylece her tarafından hava ile temas etmeli ve bünyesindeki ısıyı kolayca dışarı atabilmelidir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, tasarımı yapılan hidrostatik patlama basıncı test düzeneğinde kullanılacak olan hidrolik devre elemanlarının seçimi yapılacaktır.

3.1. Test Düzeneği Elemanlarının Seçimi

3.1.1. Pompa Seçimi

Test düzeneğinin istenen en yüksek patlama basıncı dikkate alınarak Çizelge 3.1. den radyal pistonlu pompa seçilmiştir.

Çizelge 3.1. Hidrolik Pompaların Çeşitli Özellikleri⁽¹⁹⁾

Tipi	Basınç p_{max} bar	Dönme sayısı n dev/dk	Debi Q lt/dk	Verim η %
Dıştan dişli pompa	120'den 200'e kadar	500'den 3500'e kadar	300	50...90
İçten dişli pompa	300	300'den 3000'e kadar	100	60...90
Kanatlı pompa -Sabit debili	200	1000 3500	200	65...85
-Değişken debili	150	1000 2500	200	70...80
Eksenel pistonlu pompa	250'den 350'ye kadar	500'den 3500'e kadar	100...500	80...90
Radyal pistonlu pompa	300'den 700'e kadar	200'den 3000'e kadar	125	80...90
Vidalı pompa	160	500'den 3500'e kadar	100	60...80

Hidrostatik patlama basıncı test düzeneği için Bosh Rexroth'un 700 bar, 0,47 lt/dak'lık radyal pistonlu pompası seçilmiştir.

3.1.2. Elektrik Motoru Seçimi

Pompanın debisine, basıncına ve verimine bağlı olarak elektrik motoru güç hesabı yapılır.

$$\text{Motor gücünü } kW \text{ olarak bulmak için ; } G = \frac{Q \cdot P}{600 \cdot \eta_t} = \frac{0,47 \cdot 700}{600 \cdot 0,8}$$

$$G = 0,685 kW \text{ bulunur.}$$

Motor kataloğundan en yakın bir üst değerdeki motor seçilir. Gamak marka 1500 dev/dak'da, 1,1 kW gücünde elektrik motoru seçilmiştir.

3.1.3. Hortum Seçimi

3.1.3.1. Basınç Hattı Hortum Çapı Seçimi

Akışın sürekli ve sıkıştırılmaz olduğu kabul edilmiştir.

$$40 \text{ C}^\circ \text{ deki Hidrolik yağ için; Yoğunluk; } \rho = 874 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Viskozite; } \mu = 0,05348 \frac{kg}{m \cdot s}$$

Sistemde 3 m hortum, daralma ($\theta = 45^\circ$ için $K_k = 0,04$), iki adet dönüş (her birinde $K_k = 0,3$), iki adet T (her birinde $K_k = 0,2$), çek valf ($K_k = 2$) ve akış denetim valfi ($K_k = 10$) vardır.

Hortum çapı $\frac{1}{4}$ " = 6,35mm olarak kabul edilmiştir.

$$\text{Debi; } Q = 0,47 \frac{lt}{dak} = 0,00000783 \frac{m^3}{s}$$

$$\text{Hortumdaki ortalama hız; } V = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{0,00000783}{3,14 \frac{0,00635^2}{4}} = 0,247 \frac{m}{s}$$

$$\text{Reynolds sayısı; } Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{874.0,247.0,00635}{0,05348} = 25,632 \leq 2300$$

olduğundan akış Laminer'dir.

$$\text{Darey sürtünme faktörü; } f = \frac{64.\mu}{\rho.D.V_{ort}} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{25,632} = 2,496$$

$$\text{Toplam kayıp katsayısı; } \sum K_k = 0,04 + 2.0,3 + 2.0,2 + 2 + 10 = 13,04$$

Elemanların neden olduğu kayıp, uzunluğu $L_{eşd}$ olan hortumdaki kayba

$$\text{eşittir. } h_k = K_k \frac{V_{ort}^2}{2g} = f \cdot \frac{L_{eşd}}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{ise; } L_{eşd} = \frac{D}{f} \cdot K_k \quad \text{dır.}$$

$$L_{eşd} = \frac{0,00635}{2,496} \cdot 13,04 = 0,03317m$$

$$L_{Top} = L + L_{eşd} = 3 + 0,03317 = 3,03317m$$

$$\text{Basınç kaybı; } \Delta P_k = \frac{L_{Top}}{D} \cdot f \cdot \frac{\rho.V_{ort}^2}{2}$$

$$\Delta P_k = \frac{3,03317}{0,00635} \cdot 2,496 \cdot \frac{874.0,247^2}{2} = 31786,517 pa \cong 0,32bar$$

Basınç hattında 0,32 bar'lık basınç kaybı olmaktadır. Bu basınç kaybı ihmal

edilebilir olup hortum çapı $\frac{1}{4}$ " = 6,35 mm seçilebilir. Basınç hattında Euroflow

marka 852-04 seri numaralı $\frac{1}{4}$ " çapında yüksek basınç hortumu kullanılmıştır.

3.1.3.2. By Pas Hattı Hortum Çapı Seçimi

Basınç hattında kullanılan Euroflow marka 852-04 seri numaralı $\frac{1}{4}$ " çapındaki yüksek basınç hortumu kullanılmıştır.

3.1.3.3. Emme Hattı Hortum Çapı Seçimi

Akışın sürekli ve sıkıştırılmaz olduğu kabul edilmiştir.

40 C° deki Hidrolik yağ için; Yoğunluk; $\rho = 874 \frac{kg}{m^3}$

Viskozite; $\mu = 0,05348 \frac{kg}{m.s}$

Sistemde 1 m hortum, toplu valf ($K_k = 0,05$) ve filtre ($K_k = 10$) vardır.

Hortum çapı $\frac{1}{2}$ " = 12,7 mm olarak kabul edilmiştir.

Debi; $Q = 0,47 \frac{lt}{dak} = 0,00000783 \frac{m^3}{s}$

Hortumdaki ortalama hız; $V = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{0,00000783}{3,14 \frac{0,0127^2}{4}} = 0,0618 \frac{m}{s}$

Reynolds sayısı; $Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} = \frac{874.0,0618.0,0127}{0,05348} = 12,826 \leq 2300$

olduğundan akış Laminer'dir.

Darey sürtünme faktörü; $f = \frac{64.\mu}{\rho.D.V_{ort}} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{12,826} = 4,989$

Toplam kayıp katsayısı; $\sum K_k = 0,05 + 10 = 10,05$

Elemanların neden olduğu kayıp, uzunluğu $L_{eşd}$ olan hortumdaki kayba

$$\text{eşittir. } h_k = K_k \frac{V_{ort}^2}{2g} = f \cdot \frac{L_{eşd}}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{ise; } L_{eşd} = \frac{D}{f} \cdot K_k \quad \text{dır.}$$

$$L_{eşd} = \frac{0,0127}{4,989} \cdot 10,05 = 0,0255m$$

$$L_{Top} = L + L_{eşd} = 1 + 0,0255 = 1,0255m$$

$$\text{Basınç kaybı; } \Delta P_k = \frac{L_{Top}}{D} \cdot f \cdot \frac{\rho \cdot V_{ort}^2}{2}$$

$$\Delta P_k = \frac{1,0255}{0,0127} \cdot 4,989 \cdot \frac{874 \cdot 0,0618^2}{2} = 672,363 \text{ pa} \cong 0,0068 \text{ bar}$$

Emme hattıda 0,0068 bar'lık basınç kaybı olmaktadır. Bu basınç kaybı ihmal edilebilir olup hortum çapı $\frac{1}{2}'' = 12,7mm$ seçilebilir. Emme hattında Güven marka EGE-7 WLP110 seri numaralı 12,7 mm çapında alçak basınçlı hortum kullanılmıştır.

3.1.3.4. Dönüş Hattı Hortum Çapı Seçimi

Emme hattında kullanılan Güven marka EGE-7 WLP110 seri numaralı $\frac{1}{2}'' = 12,7mm$ çapında alçak basınçlı hortum kullanılmıştır.

3.1.4. Basınç Emniyet Valfi Seçimi

Test düzeneğinin basınç gereksinimini karşılaması nedeniyle, basınç hattında Bosh Rexroth marka Re 25402/02.03 seri numaralı basınç emniyet valfi seçilmiştir.

3.1.5. Manometre Seçimi

Test düzeneğinde ölçülebilecek en yüksek basınç değerini karşılayabilmesi nedeniyle, basınç hattında Stauff marka SPG 063 seri numaralı basınç ölçer seçilmiştir.

3.1.6. Toplu valf

Test düzeneğinin emme hattındaki basıncın düşük olması nedeniyle, emme hattında KAS marka 330 ürün kodlu $\frac{1}{2}$ = 12,7mm çapında toplu valf seçilmiştir.

3.1.7. Filtre Seçimi

Test düzeneğinin emme hattındaki basıncına dayanıklılığı ve pompanın gerekli filtrasyon gereksinimini karşılaması nedeniyle, emme hattında Stauff marka RE014W100V seri numaralı filtre seçilmiştir.

3.1.8. Çek Valf seçimi

Hidrostatik patlama basıncı test düzeneğinin basınç hattındaki yüksek basınca dayanıklılığı nedeniyle, basınç hattında Resato marka yüksek basınç çek valfi seçilmiştir.

3.1.9. Akış Ayar Valfi

Hidrostatik patlama basıncı test düzeneğinin, basınç hattındaki yüksek basınca dayanıklılığı nedeniyle, basınç hattında Bosh Rexroth marka Re 27219 seri numaralı akış ayar valfi seçilmiştir.

3.1.10. Hidrolik Yağ Seçimi

Sistemde kullanılan radyal pistonlu pompa kataloğundaki uyarılar dikkate alınarak, basınç akışkanı olarak Hidrotex marka 68 numara hidrolik yağ kullanılacaktır.

3.1.11. Depo Seçimi

Test edilebilecek yüksek basınç tankının hacmi dikkate alınarak, 150 lt hacim'e sahip depo kullanılacaktır.

3.2. Hidrostatik Patlama Basıncı Testinin Gerçekleştirilmesi

TS EN ISO 11439' a göre üretimi yapılarak, kullanıma hazır hale getirilen, tanıtım işaretleri üzerinde olan CNG tanklarına her yeni tasarım için ilk örnek deneyleri kapsamında Tip 1 için en az 3 adet tank, Tip 2 için en az 1 astar ve 3 tank üzerinde, Tip 3 için en az 3 tank üzerinde ve Tip 4 için en az 3 tank üzerinde ve tüm tipler için parti deneyleri kapsamında her parti tanktan, en az 1 adet tanka tüm üretimi temsilen hidrostatik patlama basıncı testi uygulanır.

Test edilecek tanklar, testi yapacak yetkili tarafından rasgele seçilir. Seçilen tankların içerisi hava kalmayacak şekilde test sıvısı ile doldurularak CNG tankı test kabininin içerisine konularak tankın ağız dişli bağlantı ile yüksek basınç hortumuna bağlanır. Tüm vanalar açılır ve teste başlanır. Motorun çalışmasıyla kayış-kasnak sistemi aracılığı ile pompa harekete geçer. Basınç hattında aşırı basınç olması durumunda basınç emniyet valfi açılarak by-pass hattıyla sıvı tahliye edilir. Pistonlu pompanın etki şekli, akışkanın pompa silindirinde piston tarafından ileri doğru itilmesi şeklinde olur. Pompada basınçlandırılan sıvı, yüksek basınç hattından geçerek CNG tankına iletilir. Basınçlandırma değeri tasarım patlama basıncının %80'ini geçen basınçlarda, 14 bar/saniye'yi aşmamalıdır. CNG tankı patlama basıncına ulaştığında kopma, tankın silindirik bölgesinde veya kubbeli bölgesinde meydana gelebilir. Patlama basıncı hidrostatik basınç patlama deneyi sırasında tank içerisinde ulaşılan en yüksek basınçtır ve bu basınç, basınç ölçer yardımıyla kaydedilmelidir.

4. SONUÇ ve TARTIŞMA

CNG günümüzde bölgesel ve global hava kirliliğinin önlenmesi için önemli bir alternatif yakıttır. CNG kullanımıyla sera gazı etkisi yaratan egzoz gaz emisyonları büyük ölçüde azalmaktadır. CNG yüksek oktan sayısı ve fakir karışımlarda yanma verimliliği sağlaması nedeni ile tercih edilen bir alternatif yakıttır. Dünya üzerindeki yüksek rezerv miktarı ile daralan petrol kaynaklarına karşı oluşturulan stratejik planlar ve enerji politikaları CNG' nin önemini daha da arttırmaktadır.

CNG' nin taşıtlarda kullanımında en önemli ekipman, CNG' nin taşıtta depolanmasını sağlayan yüksek basınç tanklarıdır. Bu tankların taşıtlarda kullanılabilmesi, motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılan doğalgazın depolanması için yüksek basınçlı gaz tüpleri (TS EN ISO 11439) standardına göre üretilmesiyle mümkün olur. TS EN ISO 11439 standardı tüplerin yerleştirileceği otomobiller için yakıt olarak kullanılan yüksek basınçlı sıkıştırılmış doğalgazın sadece araçta depolanması için öngörülen, seri olarak üretilen, yeniden doldurulabilen hafif gaz tüpleri için en düşük özellikleri kapsar. Kullanım şartları, taşıt çarpışmaları gibi sebeplerden kaynaklanabilecek dış yükleri kapsamaz. TS EN ISO 11439 standardına göre doğalgazın araçta depolanmasını sağlayan yüksek basınç tankına uygulanması gereken deneylerden biride hidrostatik patlama basıncı deneyidir. Bu deney seri üretimi yapılan yüksek basınç tanklarına, ilk örnek deneyleri kapsamında tüm üretimi temsilen 3, parti deneyleri kapsamında ise 1 tanka uygulanır. Tank, tasarımında belirlenen en düşük patlama basıncını aşmalıdır.

Bu çalışmamda sıkıştırılmış doğalgaz tanklarına hidrostatik patlama basıncı testinin uygulanabilmesi için, deney düzeneği tasarlanmıştır. Deney düzeneği elemanlarının basınç, debi hesapları ve boyutlandırmaları yapılmıştır.

Ülkemizde bu konuda yapılmış herhangi bir akademik çalışmaya rastlanmamıştır. Araçlarda kullanımı hızla artan doğalgazın, ülkemizde de yaygınlaşması beklenmektedir. Bu durumda CNG tanklarının imalatı ve testleri üzerine ülkemizde yapılacak çalışmalar daha da artacaktır. Bu tez çalışması, bu alanda yapılacak çalışmaları başlatması açısından öneme sahiptir. Ayrıca; bu çalışma ile tasarımı yapılan hidrostatik patlama basıncı test düzeneğinin, imalatı ve testlerin gerçekleştirilmesi de bu açıdan önem arz etmektedir. Bu da başka çalışmalara zemin hazırlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. M. Tekin ve Y. Çavuşoğlu, 1.Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi Bildiriler Kitabı, 103(1997).
2. M. Ergeneman ve C. Soruşbay, Doğalgaz Dergisi, Sayı: Şubat, 17(1990).
3. P. Gandhidasan, A. Ertaş and E. Anderson, Journal of Energy Resources Technology, **113**, 101(1991).
4. M. Karabektaş, Doğalgaz ile Çalışan içten Yanmalı Motorların Enerji Ekonomisi ve Egzoz Emisyonları Yönünden incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 1996.
5. TS EN ISO 11439, Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Kullanılan Doğalgazın Depolanması İçin Yüksek Basıncılı Gaz Tüpleri, Aralık, 2002.
6. S. Çetinkaya, Tesisat Mühendisliği Dergisi, **81**, 14(2007).
7. G. Güven, F. Şenel, O. Miskbay, L. Parnas, LPG ve CNG Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı,435, 137(2007).
8. G. Prevazi, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, **315**, 27(2003).
9. A. Keskin, S. Çetinkaya, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, **4**, 21(2001).
10. A. Keskin, S. Çetinkaya, 2. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Mart, (1999)
11. S. Çetinkaya, R. Altın, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi, **3**, 46(1991).

12. N. Sözbir, Mevcut Dizel Motorlarının Doğalgaz Yakıtlı Motorlara Dönüştürülmesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1991.
13. Anonim, <http://www.greencarcongress.com> (Erişim tarihi: 21.08.2009)
14. K. Alibaş, S. Çolak, Mühendis ve Makine Dergisi, **391**, 30(1992).
15. İ. Hatipoğlu, içten Yanmalı Motorlarda Doğalgaz Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1996.
16. M. Acaroğlu, Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Yayınları, Ankara, 2003.
17. S. Boran, C. Yeşil ve İ. Gülleci, Buji Ateşlemeli Motorlarda LPG Kullanımı, Bitirme Tezi, ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği, Karabük, 1998.
18. Anonim, <http://www.iangv.org> (Erişim tarihi: 15.07.2009)
19. İ. Karacan, Hidrolik ve Pnömatik. Bizim Büro Basımevi, Ankara, 2003.
20. F. Özcan, Hidrolik Akışkan Gücü. Mert Teknik Fabrika Malzemeleri Ticaret ve Sanayi A.Ş., İstanbul, 1982.