

## **CO<sub>2</sub> Nakli**

**ÇEVİRİ (translation into Turkish Language) :**

**JEOLJİ MUH. Ender Ragıp ARSLAN**

**arsender@hotmail.com**

## **Özet**

Nakil, kaynak ve depolama sahalarını birleştiren karbon tutum ve depolama evresidir. “Nakil”in başlangıç ve bitiş yerleri, idari olarak tanımlanabilir. “Nakil”, kamu güvenliği için boru hatları ya da gemi taşımacılığını yöneten ilgili regülatör çatısı altında denetlenir. Büyük miktarlardaki karbondioksitin uzak mesafelere taşınması durumunda, boru hattı taşımacılığı bugünkü uygulamaların bir parçasıdır. Boru hatları, binlerce kilometre mesafede büyük hacimlerdeki doğal gaz, petrol vb. maddeleri hem karada, hem denizde düzenli olarak taşırlar. Boru hatları çöllerde, dağlık bölgelerde, yerleşim yerlerinde, çiftlik alanlarında ve açık sahalarda, denizlerde ve 2200 m’ye kadar derinlikteki okyanuslarda yerleştirilebilir.

Karbondioksit boru hatları önceden beri kullanılmaktadır: günümüzde Batı Teksas’ta ve diğer bölgelerde gelişmiş petrol kurtarımı projelerine doğal kaynaklardan yılda 50 Mt CO<sub>2</sub> taşınan Batı Amerika’da 2500 km’den uzun mesafeler için kullanılmaktadır. Karbondioksit akımı tercihen kuru ve hidrojen sülfürsüz olmalıdır. Çünkü bu sayede aşınma minimum olacaktır. Bununla birlikte su, hidrojen sülfür ve diğer kirleticileri içeren bir gazın güvenle taşındığı aşınmaya dayanıklı boru hatları da tasarlanabilir. Karbondioksitin yerleşim yerleri boyunca boru hattı ile taşınması tasarı etkenleri, basınç koruması ve sızıntı tarayıcısına önem verilmesini gerektirir. Karbondioksit boru hatlarında meydana gelecek problemlerin, benzer bölgelerdeki hidrokarbon boru hatlarında oluşacak sorunlardan daha fazla uğraştıracağına dair hiçbir belirti görülmemektedir.

Propan ve bütan gibi sıvılaştırılmış doğal gaz ve petrol gazları, deniz tankerleri ile düzenli olarak taşınmaktadırlar; bu ticaret, çok geniş bir ölçekte yer almaktadır. Karbondioksit aynı yolla taşınmaktadır ancak sınırlı talep nedeniyle çok küçük ölçekte uygulanmaktadır. Sıvılaştırılmış karbondioksitin özellikleri, sıvılaştırılmış petrol gazlarından çok farklı değildir ve teknolojisi, büyük karbondioksit taşıyıcılarına yükseltilebilir.

Sıvılaştırılmış gaz ayrıca demiryolu ve karayolu tankerleri ile de taşınabilir ancak büyük ölçekte karbondioksit tutum ve depolama projeleri için pek de cazip bir seçenek olarak düşünülmemektedir.

## **4.1 Giriş**

CO<sub>2</sub>, üç fazda da taşınabilir: gaz, sıvı ve katı. Ticari ölçekli nakiller gaz ve sıvı karbondioksit için tanker, boru hatları ve gemileri kullanır.

Atmosfer basıncına yakın bir basınçta gaz taşımacılığı, çok büyük kolaylıkların gerektiği büyük hacimleri zapteder. Sıkıştırıldığı takdirde gaz, çok daha düşük hacim işgal

eder ve sıkıştırılan gaz boru hattı ile taşınır. Hacmi sıvılaştırma, katılaştırma veya hidratlama ile çok daha fazla azaltılabilir. Sıvılaştırma LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı) ve LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) gibi gemi ile gaz taşımacılığı için denenmiş bir teknolojidir. Mevcut teknoloji ve deneyimler, sıvılaştırılmış CO<sub>2</sub> taşımacılığına da uygulanabilir. Katılaştırma diğer seçenekler ile karşılaştırıldığında çok daha fazla enerji gerektirir ve maliyet ile enerji açısından düşük bir seçenek olarak görülmektedir. Ticari olarak uygulanabilir teknolojilerin her biri günümüzde karbondioksit taşımacılığı için kullanılmaktadır.

LNG sistemlerinin yerini alması tasarlanan doğal gaz hidrat taşıma sistemleri üzerine araştırma ve geliştirme çalışmaları sürmektedir ve sonuçlar gelecekte CO<sub>2</sub> gemi taşımacılığına uygulanabilir. Boru hattı taşımacılığında hacim yüksek bir basınçta taşıma ile azaltılır: bu yöntem, 10-80 MPa arasında basınçla işletilen gaz boru hatlarında düzenli olarak yapılmaktadır.

İklim değişikliğini önlemeye büyük bir katkı yapma amacıyla büyük miktarlardaki karbondioksit taşıyacak bir taşımacılık alt yapısı, boru hatlarının geniş bir ağını gerektirecektir. Ancak düşük nüfuz yoğunluklu bölgelerden elde edilen deneyimler ve güvenlik sorunları, nüfuzlu alanlarda daha kompleks bir durum oluşturacaktır.

En ekonomik karbondioksit tutum sistemleri, öncelikle kimyasal santraller ve hidrojen dönüşümü gibi saf akım kaynaklarından ve daha sonra da merkezileştirilmiş elektrik ve sentetik yakıt santrallerinden CO<sub>2</sub> tutumunun desteklenmesi şeklinde olacaktır.

## **4.2 Boru hattı sistemleri**

### ***4.2.1 Boru hattı taşımacılık sistemleri***

Kuru karbondioksit, genellikle boru hatları için kullanılan karbon-manganez çelikleri nem oranının %60'tan az olduğu sürece aşındırmaz. Bu yargı N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> kirleticilerinin varlığında da geçerlidir. Seiersten (2001)'e göre;

“Kuru süperkritik karbondioksitte karbon çeliğinin aşınma oranı düşüktür. 200 günde 90-120 bar ve 160°C-180°C'de AISI 1080 değerleri için 0.01 mm/yıl civarında ölçülmüştür. Kısa vadeli deneyler bu sonucu doğrulamıştır. 3<sup>0</sup>C ve 22<sup>0</sup>C'de, 140 barda CO<sub>2</sub> ve 800-1000 ppm H<sub>2</sub>S ile yapılan deneyde X-60 karbon çelik için aşınma oranı, 0.5 µm/yıl 'dan düşük ölçülmüştür. Arazi deneyleri ayrıca karbon çelik boru hatlarında yüksek basınçlı kuru karbondioksitin nakline dair çok az problem meydana geldiğini göstermektedir. 12 yıl boyunca işletilen bir boru hattında aşınma oranı, 0.25-2.5 µm/yıl olarak ölçülmüştür.”

Yüksek basınçlı karbondioksitte (500 bar) su çözünürlülük limiti, 75<sup>0</sup>C için 5000 ppm ve 30<sup>0</sup>C için 2000 ppm'dir. Metan, çözünürlülük limitini düşürür ve H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> de aynı etkiyi yapabilir.

Aşınma oranları, serbest su varlığında daha yüksek olur; ayrıca hidratlar da oluşabilir. Seiersten (2001), 95 barda ve 40 <sup>0</sup>C 'de karbondioksit ile dengelenmiş suya 150-300 saat maruz bırakıldığı zaman 0.7 mm/yıl aşınma oranı ölçmüştür. Daha düşük basınçlarda daha yüksek oranlar meydana gelir. Seiersten, karbon-manganez çelik ve 0.5 aşınmaya dayanıklı krom alaşımı arasında çok az bir fark olduğunu belirtmiştir. Yaş karbondioksitin az alaşımlı karbon çelik boru hatlarında taşınması bu yüksek aşınma oranlarından dolayı olasılık dışıdır. Eğer karbondioksit kurutulamazsa, boru hattının aşınmaya dayanıklı alaşım ile (paslanmaz çelik) kurulması gereklidir. Bu da denenmiş bir teknoloji seçeneğidir. Ancak çeliğin maliyeti son yıllarda iyice yükselmiştir ve dolayısıyla bu yöntem ekonomik değildir.

#### 4.2.2 Mevcut deneyim

Tablo 4.1, uzun mesafeli mevcut CO<sub>2</sub> boru hatlarını listelemektedir. Bu projelerin çoğu ayrıntılı raporlar ile UK Ticaret ve Endüstri Bakanlığı'nca (UK Department of Trade and Industry, 2002) açıklanmıştır.

**Tablo 4.1** Mevcut uzun mesafeli boru hatları (Gale ve Davison, 2002) ve Kuzey Amerika'daki boru hatları

Boru hattı	Ülke	Operatör	Kapasite (MtCO <sub>2</sub> yr <sup>-1</sup> )	Uzunluk (km)	Bittiği yıl	CO2 merkezi
Cortez	USA	Kinder Morgan	19.3	808	1984	McElmoDome
Sheep Mountain	USA	BP Amoco	9.5	660	-	Sheep Mountain
Bravo	USA	BP Amoco	7.3	350	1984	Bravo Dome
Canyon Reef Carriers	USA	Kinder Morgan	5.2	225	1972	Gasification plants
Val Verde	USA	Petrosource	2.5	130	1998	Val Verde Gas Plants
Bati Raman	<b>TÜRKİYE</b>	<b>TÜRK PETROL</b>	1.1	90	1983	<b>DODAN SAHASI</b>
Weyburn	USA & Canada	North Dakota Gasification Co.	5	328	2000	Gasification Plant
Total			49.9	2591		

##### 4.2.2.1 Kanyon Resifi

Amerika'daki ilk büyük CO<sub>2</sub> boru hattı, Teksas, Scurry bölgesinde SACROC birliği tarafından 1970'de kurulan Kanyon Resifi taşıyıcılarıdır. Texas Val Verde havzasında Shell

Petrol Şirketi gaz işletme santralinden antropojenik olarak her gün üretilen 12,000 ton karbondioksit, 352 km taşınmaktadır(yılda 4.4 MtCO<sub>2</sub>).

#### **4.2.2.2 Bravo Domu boru hattı**

Yıllık 7.3 MtCO<sub>2</sub> taşınmasına olanak sağlayan Bravo Domu boru hattı, Kinder Morgan tarafından işletilmektedir.

#### **4.2.2.3 Cortez boru hattı**

Colorado'daki McElmo Domu'ndan karbondioksit temini amacıyla 1982 yılında kurulmuştur. 762 mm çapında ve 803 km uzunluğundaki boru hattı yılda yaklaşık 20 MtCO<sub>2</sub> taşımaktadır. Hat, Cortez, Colorado yakınlarında başlayıp diğer CO<sub>2</sub> hatları ile birleştiği Rocky dağları boyunca devam eder. Yılda yaklaşık 7 MtCO<sub>2</sub> üreten 1000 MW kömür yakıtlı elektrik santralini karşılar.

Cortez boru hattı iki yerleşim bölgesi arasından; Placitas, New Mexico (Albuquerque'nin 30 km kuzeyi) ve Edgewood/Moriarty, New Mexico (Albuquerque'nin 40 km batısı) geçmektedir. Hat en az 1m derinliktedir ve düz ilerlemesi ile göze çarpmaktadır. Evlerin ve yerleşim bölgelerin yakınında, yapıların boru hattı bölgesinden haberdar olmasını sağlamak için sıklıkla uyarılar yapılmaktadır. Boru hattının tamamı her iki haftada havadan kontrol edilmekte ve şirket araçları ile yerleşim bölgeleri sıklıkla denetlenmektedir. Halk eğitim programlarında karbondioksit sızıntısı belirtilerini açıklayan broşürler dağıtılmakta ve bir sızıntıdan şüphelenildiği takdirde başvurulabilecek operatör ve telefon merkezi hakkında bilgiler verilmektedir.

#### **4.2.2.4 Sheep Dağı boru hattı**

BP Petrol, Colorado'nun güney doğusunda doğal olarak oluşan diğer kaynaklardan 9,2 MtCO<sub>2</sub>/yıl taşıma kapasiteli 610 mm çapında (24 inch) ve 772 km uzunluğunda boru hattı kurmuştur. Bu hat, Bravo Domu hattı ile ve Denver City'deki diğer ana taşıyıcılar ile birleşir. Bugün Kinder Morgan tarafından işletilmektedir.



Şekil 4.1 Kuzey Amerika'daki CO2 boru hatları

#### 4.2.2.5 Weyburn Boru Hattı

Bu hat, Beulah, Kuzey Dakota'nın yakınındaki Great Plains Sentetik Yakıtlar Santralinden Saskatchewan'daki Weyburn Gelişmiş Petrol Kurtarımı Projesi'ne günlük 5000 ton CO<sub>2</sub> (yıllık 1.8 MtCO<sub>2</sub>) taşıyan 330 km uzunluğunda ve 305-356 mm çapındaki bir nakil sistemidir. Bu boru hattı ile taşınan gazın bileşimi tipik olarak %96 CO<sub>2</sub>, %0.9 H<sub>2</sub>S, %0.7 CH<sub>4</sub>, %2.3 C<sub>2</sub> + hidrokarbonlar, %0.1 CO, 300 ppm'den az N<sub>2</sub>, 50 ppm'den az O<sub>2</sub> ve 20 ppm'den az H<sub>2</sub>O şeklindedir(UK Department of Trade and Industry, 2002). Weyburn'da dağıtım basıncı 15.2 MPa'dır. Hiçbir ara kompresör istasyonu bulunmamaktadır. Boru hattının kurulmasına dair harcanan miktar, 1997 yılında 110 milyon US\$ (0.33 X 10<sup>6</sup> US\$/km) olmuştur.

#### 4.2.3 Tasarı

Bir boru hattının tasarısını belirleyen fiziksel, çevresel ve sosyal faktörler, bir tasarı temelinde özetlenir. Bu temel, başlangıç yolu ile maliyet hesabı ve konsept tanımı amacı açısından tasarıya bakış için bir sistem tanımlamasını ele alır. Ayrıca taşınan karışım ürünün fiziksel özellikleri, boru hattı için optimal boyutlama ve basınç ile mekanik tasarımı (işletme, valfler, pompalar, kompresörler vb.) tanımlayan işlem verilerini hesaplamak gereklidir. Boru

hattının döşeneceği topoğrafya da incelenmelidir. Topoğrafya dağları, çölleri, nehir ve akarsuları kapsayabilir. Bundan başka denizdeki boru hatları için çok derin ya da sığ su ve eğri deniz tabanı gibi farklı zorluklarla karşılaşılabilir. Jeoteknik incelemelerin de yapılması ayrıca önemlidir. Örneğin, boru hattı granit üzerinde bulunan ince toprakta mı kurulmak isteniyor? İşletme ve inşaat sırasında sıcaklıktaki yıllık değişim, potansiyel olarak duraysız şevler, don olayı ile şişme-kabarma, sismik aktivite kadar bölgesel çevre bilgileri de incelenir. Bunlardan başka su derinliği, su akımı, sürekli don, Kuzey Kutbu denizlerinde buz oyma işlemi, biyolojik gelişim, akiferler ve korunacak habitatlar gibi diğer çevresel incelemeler de dahil edilir. Bundan sonraki aşama boru hattının mevcut ve gelecekteki alt yapıya- karayolu, demiryolu, boru hattı geçişi, askeri/idari kısıtlamalar ve diğer aktivitelerin olası etkileri üzerine nasıl yerleştirileceğini konu alır. Sonuç olarak tüm bu çalışmalar, güvenlik açısından bir temel olarak hizmet sağlayacaktır.

#### **4.2.3.1 Conceptual Tasarı**

Conceptual tasarı, aşağıdaki basamakları kapsar:

- Mekanik tasarı: standart prosedürleri izler. (Palmer ve diğ., 2004 tarafından ayrıntılarıyla açıklanmıştır).
- Duraylılık tasarısı: Deniz metotları hakkında halen veri eksikliği olsa da, denizde (Veritec, 1988) veya karada duraylılık hesaplamaları için kullanılan bilgisayar yazılımları ile standart metotlar.
- Aşınmaya karşı koruma: CO<sub>2</sub> boru hattı uygulamasında iyi anlaşılan bir konu.
- Hendek açma ve yerleştirme: kıyadaki hatlar genellikle 1 m derinliğe yerleştirilirler. Denizdeki hatlar da sığ sulara yerleştirilir. Derin sularda 400 mm'den dar çaptaki boru hatları hendeklerine yerleştirilir ve bazen balıkçılık tertibatından korumak için gömülür.
- CO<sub>2</sub> boru hatları, uzunlamasına sürekli kırılmaya hidrokarbon gaz boru hatlarında olduğundan daha fazla mevzu olabilir. Yaklaşık 500 m aralıklar ile çatlak durdurma tertibatı ile yüklenir.

West (1974), SACROC CO<sub>2</sub> boru hattının tasarısını tanımlamıştır. İncelenen taşıma seçenekleri:

- (i) 4.8 MPa maksimum basınçta işletilen, düşük basınçlı CO<sub>2</sub> gaz boru hattı

- (ii) 9.6 MPa minimum basınçla işletilen yüksek basınçlı CO<sub>2</sub> gaz boru hattı; yüksek basınçtan dolayı gaz tüm sıcaklıklarda bile yoğun fazda kalacaktır
- (iii) Soğutulmuş sıvı CO<sub>2</sub> boru hattı
- (iv) Karayolu tanker kamyonları
- (v) Demiryolu tankerleri, imkan dahilinde karayolu tanker kamyonları ile birlikte

Tanker kamyonları ve demiryolu seçeneklerinin maliyeti, bir boru hattının iki katından fazla tutmuştur. Soğutulmuş boru hattı, sıvılaştırmada teknik zorluklar ve maliyet nedeniyle reddedilmiştir. Yoğun faz (seçenek ii), düşük basınçlı CO<sub>2</sub> gaz boru hattından (seçenek i) %20 daha az maliyetlidir. 4.8 MPa ile 9.6 MPa arasındaki basınç sınıfından kaçınılmış, dolayısıyla iki fazlı akım önlenmiştir. Yoğun fazlı taşımacılığın ayrı bir avantajı da, CO<sub>2</sub> enjeksiyonu için gereken yüksek dağıtım basıncıdır.

#### **4.2.4 Karadaki boru hatlarının yapımı**

Yapım planlaması, boru hattı yolunun sağlanmasıdan önce ve sonra yapılabilir. Ancak yapım kararı boru hattı inşaatının yasal hakkının tanınmasından ve tüm idari yönetmelikleri karşılamasından önce alınamaz. Karada ve denizde CO<sub>2</sub> boru hatları, hidrokarbon boru hatlarının döşendiği aynı yol ile kurulur ve her ikisinde de kabullenen ve iyi anlaşılan mühendislik deneyimi mevcuttur.

Yapımın yer aldığı dönem içinde çevresel ve sosyal faktörler etkili olabilir. Arazi temizlenir ve hendek açılır. İlk olarak en uzun parçalar gelir: kentsel bölgeler, nehir ve yol geçişleri. Borular, boru alanına yerleştirilir ve eklem çifti(24 m uzunlukta) ile birleştirilir; hattın yolu boyunca yerleşimi için ilgili bölgeye taşınır, birleştirilir, denir, kaplanır ve sarılır, sonra da hendeğe yerleştirilir. Bir hidrostatik test uygulanır ve hat kurutulur. Ardından hendek doldurularak toprak ve bitki örtüsü yenilenir.

#### **4.2.5 Sualtı boru hatları**

Sualtı boru hatlarının çoğu mavna-yerleşim metodu (lay-barge method) ile kurulur. Bu metotta 12 veya 24 m uzunluktaki borular yerleştirilir veya mavnaya tutturulur ve teker teker boru uçlarından birbirlerine bağlanır. Mavna yavaşça ileriye doğru hareket eder ve boru hattı mavnadan şiddetli bir biçimde ayrılarak bir destek yapısından (stinger) geçer ve deniz yatağına varıncaya kadar belli bir aralıktaki suya bırakılır. 450 mm çapına kadar bazı hatlar



makara metodu ile kurulur. Bu metotta boru hattı karada birbirine bağlanır ve gemide makaraya sarılır. Ardından makara ile döndürülerek son pozisyonuna kurulur.

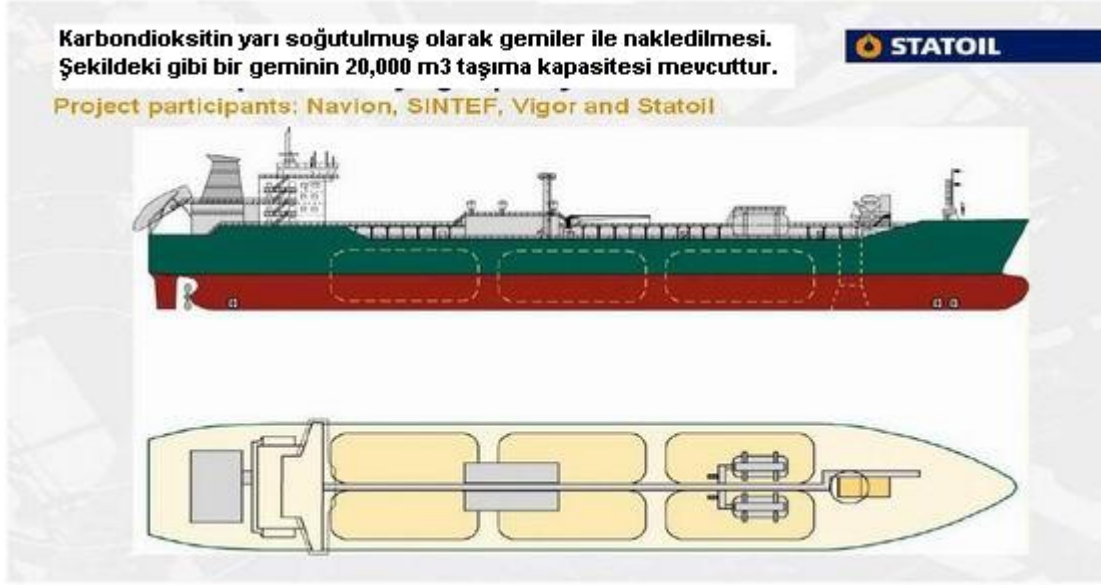
Eğer tasarıda boru hattı için hendek açılması gerekli ise, ki genellikle deniz tabanına serildikten sonra yapılır, bir sapan veya mekanik yarma aleti hat boyunca sürdürülür. Diğer taraftan kara geçişlerinde ve sığ sulardaki hendekler genellikle boru hattı serilmeden önce açılır. Bu da yumuşak sedimentlerde kazıcı (dredgers) veya vargel hat (draglines) ile, kayalarda da yükleme ekskavatörü ardından patlatma ile yapılabilir.

### **4.3 CO<sub>2</sub> nakli için gemi taşımacılığı**

#### ***4.3.1 Deniz taşımacılık sistemi***

Karbondioksit karada sürekli olarak tutulur ancak gemi taşımacılığı aşaması ayrıdır ve dolayısıyla bir deniz taşımacılık sistemi karada geçici depolama ve bir yükleme işlemi gerektirir. Kapasite, servis hızı, gemi sayısı ve gemicilik programı CO<sub>2</sub> tutum oranı, nakil uzaklığı, sosyal ve teknik kısıtlamalar göz önüne alınarak planlanır. Bu sorun, tabii ki CO<sub>2</sub> taşımacılığına özgü değildir; gemi ile CO<sub>2</sub> taşımacılığının, sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) deniz taşımacılığı ile benzerlikleri vardır.

Teslim noktasında ne olacağı, CO<sub>2</sub> depolama sistemine bağlıdır. Eğer teslim noktası karada ise karbondioksit, gemiden geçici depolama tankerlerine boşaltılır. Şayet teslim noktası okyanusal depolama seçeneğinde olduğu gibi denizde ise, bu kez gemiden bir platforma, su üzerinde hareketli depolama tesisine (denizde petrol üretimine uygulanan su üzerindeki hareketli üretim ve depolama tesisine benzer), bağlı tutulan ayrı bir şamandıraya veya direkt olarak depolama sistemine boşaltılmalıdır.



**Şekil 4.2**

#### **4.3.2 Mevcut deneyim**

CO<sub>2</sub> taşımacılığı için gemilerin kullanımı, bugün henüz yeni bir olgudur. Bu amaçla dünya genelinde kullanılan sadece dört adet küçük gemi bulunmaktadır. Bu gemiler, ammonia santralleri gibi konsantre karbondioksitin büyük kaynak noktalarından tüketim bölgelerindeki dağıtım istasyonlarına sıvılaştırılmış yiyecek sınıfında karbondioksit taşımacılığını gerçekleştirir. Bu dağıtım istasyonlarından tanker kamyonları veya basınçlı silindirler ile alıcılara gönderilir. Daha büyük CO<sub>2</sub> gemileri için Norveç'te ve Japonya'da tasarım çalışmaları devam etmektedir.

#### **4.3.3 Tasarı**

LPG ve LNG taşıyıcıları gibi sıvılaştırılmış gaz nakil gemilerinin iskelet ve tanker yapılarının tasarısı için Uluslar arası Denizcilik Organizasyonu (International Maritime Organization), gemilerin önemli ikinci derece hasarlarını önlemek amacıyla Uluslar arası Gaz Taşıyıcı Kanunu'nu benimsemiştir.CO<sub>2</sub> tankerleri, bu kanun çerçevesinde tasarlanıp inşa edilir.

Sıvılaştırılmış gaz nakil gemileri için üç tip tanker yapısı mevcuttur: basınç tipi, düşük sıcaklık tipi ve yarı dondurulmuş tip. Basınç tipi yük gazının kaynaması önlemek için tasarlanmıştır. Diğer yandan düşük sıcaklık tipi, yük gazının atmosfer basıncı altında sıvı olarak tutulması için tasarlanmıştır. Küçük gaz taşıyıcılarının çoğu basınç tiptedir ve büyük

LPG ve LNG taşıyıcıları da düşük sıcaklık tiptedir. Mevcut CO<sub>2</sub> taşıyıcılarını içeren yarı dondurulmuş tipte yük gazının sıvı olarak tutulması için gerekli basınç ve sıcaklık koşulları, beraber göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Yarı dondurulmuş LPG taşıyıcıları gibi bazı tankerler, normal sıcaklık/yüksek basınç ve düşük sıcaklık/atmosfer basıncı arasındaki yük koşullarına uygulanması için tasarlanmıştır.

Atmosfer basıncı altında CO<sub>2</sub>, sıcaklığa bağlı olarak gaz veya sıvı fazdadır. Atmosfer basıncında sıcaklığın düşürülmesi, karbondioksitin kendi kendine sıvılaşmasına neden olmayabilir ancak sözde “kuru buz” veya katı CO<sub>2</sub> meydana getirebilir. Sıvı CO<sub>2</sub> ancak düşük sıcaklık ve atmosfer basıncından büyük olan uygun bir basınç kombinasyonu ile var olabilir. Bundan dolayı bir CO<sub>2</sub> tankeri, basınç tipinde veya yarı dondurulmuş tipte olmalıdır ve yük tankeri, 6 bar için -54°C ‘den 7 bar için -50 °C civarında olacaktır. Standart bir tasarıda yarı dondurulmuş tipte LPG taşıyıcıları, 22000m<sup>3</sup> hacim taşıırken 7 bar ve -50 °C tasarı durumunda yürütülmelidir.

Nakil sırasında CO<sub>2</sub> atmosfere sızabilir. Gemiden atmosfere olan toplam kayıp, kaynama ve gemi motorlarından çıkan egzoz dahil 1000 km için %3-4 arasında olur; bu bileşenler de tutum ve sıvılaştırma ile indirgenip karada tekrar tutulabilir ve böylece kayıp, 1000 km için %1-2 oranına düşer.

#### **4.3.4 Yapım**

Karbondioksit tankerleri, mevcut sıvılaştırılmış gaz taşıyıcıları ile aynı teknoloji kullanılarak yapılabilir. Son üretilen LNG taşıyıcıları, 200,000 m<sup>3</sup>’ten fazla bir kapasiteye ulaşmıştır. Bugün LPG ve LNG gemileri için yapılan aynı oran, CO<sub>2</sub> tankeri yapımında da uygulanabilir.

#### **4.3.5 Çalışma**

##### **4.3.5.1 Yükleme**

Sıvılaştırılmış CO<sub>2</sub>, yüksek basınç ve düşük sıcaklıktaki CO<sub>2</sub> servisi ile uyarlanmış pompalar ile geçici tankerlerden yük tankerlerine doldurulabilir. Yük tankerleri ilk olarak doldurulur ve nemli hava ve kuru buz oluşumu ile kirlenmesini engellemek için karbondioksit gazına basınç uygulanır.



Şekil 4.3

#### 4.3.5.2 İlgili sahaya nakli

Yük tankerinin içerisine çevreden oluşan ısı transferi karbondioksiti kaynatacaktır ve tankerdeki basıncı yükseltecektir. Bu durum, kaynar durumdaki karbondioksit gazının gemi motorlarından çıkan egzoz gazı ile beraber boşaltılması için bir tehlike oluşturmaz ancak tabii ki karbondioksitin havaya salınması ile sonuçlanır. Tutum ve depolama işlemi sırasında hedeflenen sıfır karbondioksit emisyonu, kaynayan ve egzozdan çıkan karbondioksitin tutulması ve sıvılaştırılması için bir soğutucu ünitesinin kullanılması ile gerçekleştirilebilir.

#### 4.3.5.3 Boşaltma

Sıvılaştırılmış CO<sub>2</sub> varış bölgesinde boşaltılır. Yük tankerinde sıvı karbondioksitin kapladığı hacim, kuru karbondioksit gazı ile değiştirilir. Böylece nemli hava, tankerleri kirletmez. Kuru karbondioksit, tanker yeniden doldurulduğunda tekrar işlenip sıvılaştırılabilir.

#### ***4.3.5.4 Limana dönüş***

CO<sub>2</sub> tankeri, bir sonraki yolculuğu için limana döner. CO<sub>2</sub> tankeri onarım ve denetim için rıhtıma girdiğinde, yük tankeri içindeki karbondioksit gazı iş güvenliği için hava ile temizlenir. Limana döndükten sonraki ilk yükleme için yük tankerleri tamamen kurulanmış, temizlenmiş ve CO<sub>2</sub> gazı ile doldurulmuş olmalıdır.