



Doğalgaz Boru Hatlarında Kombine Basınçlı Hava Kurutucusu Tasarımı

Hüseyin USTA¹, Azim Doğuş TUNCER^{2,*}, Mustafa VATANSEVER³

¹ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknikokullar, Ankara

² Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknikokullar, Ankara

³ Tercih Isı Makinaları İmalat San. Ve Tic. Ltd. Şti., Ostim, Ankara

Öz

Boru hatlarında gaz sevkiyatı başlamadan önce boru iç yüzeyinin kurutulması gerekmektedir. Bu gereklilik ürüne ve kullanıma bağlı olarak değişmekle birlikte, boru hatlarında iç korozyon oluşmasını önlemek ve taşınacak üründe istenen nem özelliklerini karşılamak olarak sıralanabilir. Kurutma sırasında boru içerisindeki sıvı ya da buhar haldeki suyun ve yabancı maddelerin uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada doğalgaz boru hatlarının kurutulması için geliştirilen "Gaz soğutmalı ve ısı geri kazanımlı, ısıtıcısız adsorpsiyonlu kombine basınçlı hava kurutucu" önerilmektedir. Yapılan bu çalışmada, mevcut sistemlerdeki eksiklikler dikkate alınarak ve gerekli iyileştirmeler ile faydalı bir kombine basınçlı hava kurutucusu modeli tasarlanmıştır. Bu model tasarlanırken, hat kuruma süresini azaltan, enerji verimli ve uzun ömürlü olması hedefleri ön planda tutulmuştur. Bu sistemde ısı geri kazanım ünitesi bulunduğu için enerji verimliliği sağlanacaktır.

Combined Compressed Air Dryer Design For Natural Gas Pipelines

Abstract

It is necessary to dry the inner surface of the pipeline before gas delivery starts. This requirement may vary depending on the product and the use, but can also be categorized as preventing internal corrosion in pipelines and meeting the desired moisture properties in the product being transported. During drying, it is aimed to remove water and foreign substances in the liquid or steam inside the pipe. In this study, it is suggested that "Gas cooled with heat recovery, heatless adsorption combined compressed air dryer", which is developed for drying natural gas pipelines, to be used. In account of the deficiencies in the existing systems, a useful combined pressurized air dryer model has been designed with the necessary improvements. While being designed, it has been aimed for this model to be energy-efficient and long-lasting, also it has been aimed for it to reduce the drying time of the line, as some of the first priorities.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/07/2017

Düzeltilme: 28/11/2017

Kabul: 14/12/2017

Anahtar Kelimeler

boru hattı kurutma,
ısı geri kazanımı,
kombine basınçlı hava
kurutucuları

Keywords

pipeline drying,
heat recovery,
combined compressed air
dryers

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Basınçlı hava, normal atmosferik çevre havasından elde edilir ve su buharı halinde nem içeriğine sahiptir. Hava içerisindeki su miktarı sıcaklıkla değişmektedir. Hava ne kadar sıcaksa, o kadar fazla miktarda su buharı taşıyabilir. Havanın içerdiği nem kontrol edilmediğinde, bu nem basınçlı hava tesisatı içerisinde sıvılaşır ve birçok probleme neden olur. Bu problemlerden en önemlisi, atmosferden alınan havanın içindeki tozların ve kompresörden gelen yağın birleşmesiyle oluşan macundur. Oluşan bu macun, havalı el aletlerine zarar verebilmekte, contaları bozabilmekte, ölçme ve kontrol aletlerinin yanlış çalışmasına yol açabilmektedir[1]. Aynı zamanda basınçlı hava içerisindeki su, kesintilere yol açarak üretim kayıplarının yaşanmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte bakım masrafları da artmaktadır. Basınçlı hava içerisindeki nem boyama veya karıştırma, iletme, temizleme gibi ürün ile basınçlı havanın doğrudan temasını gerektiren durumlarda üründe kalite bozukluklarını ortaya çıkarabilmektedir.

*İletişim yazarı, e-mail: azimdtuncer@gmail.com

Boru hatlarının da işletmeye alınmadan önce kurutulması gerekmektedir. Güvenli bir nakil işlemi için, boru hatlarının içerdiği yabancı maddeler ön kurutma işlemi ile uzaklaştırılmakta, ardından son kurutma işlemiyle de içerisindeki nem giderilmektedir. Doğalgaz boru hatları genellikle hidrat oluşumunu önlemek için daha az kurutulmaktadır. Hidrat oluşumunun, basınç düşürme istasyonları başta olmak üzere boru hattı sistemi elemanlarına (regülatörler, valfler vs.) ciddi derecede zarar verdiği bilinmektedir. Kurutma işlemi sadece doğalgaz için değil; etilen ve propilen gibi petrokimyasallar, karbon dioksit, etan vb. ürünler için de geçerlidir.

Bu çalışmada mevcut basınçlı kurutucular ve boru hattı kurutucularındaki eksiklikler dikkate alınmış ve buna göre önerilen sistemde bu eksikliklerin giderilmesi amaçlanmıştır. Türkiye'deki doğalgaz boru hatlarının kurutulmasına yönelik standartlara uygun bir tasarım yapılmış ve istenen çiylenme noktasına (-20 °C) ulaşılabileceği öngörülmektedir.

Basınçlı hava kurutucuları hakkında birçok çalışma literatürde mevcuttur. G. Dui ve ark. [2], yaptıkları çalışmada kuru hava ile kurutmanın temel prensibini tartışmış, kurutma için matematiksel bir model oluşturmuş ve birincil su içeriği, doymuş havanın su içeriği, kuru hava akışı, kuru hava debisi gibi bazı faktörlerden kurutma verimi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Carter ve Wyszynski [3], basınçlı havanın basınç dalgalanmalı adsorpsiyon ile kurutulmasına dair teorik ve deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, rejenerasyon amacıyla doymuş kolonu boşaltmak için daha düşük bir basınca kadar genişlemiş kurutulmuş havanın bir kısmı kullanılmıştır. Proses yarı kararlı duruma geldiğinde hacim oranının kuru hava nemi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Y. Yin ve arkadaşlarının [4] önerdiği kurutucu model basınçlı hava modülü, basınçlı bir sıvı kurutucu nem alma cihazı, atmosfer basıncında çalışan sıvı kurutucu rejeneratör ve diğer yardımcı bileşenlerden oluşmaktadır. Sistemde basınçlı sıvı desikant (LiCl solüsyonu) kullanılmış olup, kurutucu rejenerasyonu için hava kompresöründen çıkan atık ısının kullanımı önerilmiştir. Belirtilen sistemdeki sıvı desikant teknolojisi atmosfer basıncında gerçekleşmektedir. Konsantre sıvı desikant maddenin yüzey buhar basıncının havadaki buharın kısmi basıncından düşük olması ile basınçlı hava nemden arındırılmaktadır. Y. Yin ve ark. [5] yaptığı çalışmada, aynı sistem için ısı ve kütle transfer katsayılarını da incelemişlerdir. Matematiksel model ve deneysel verilerden yola çıkılarak, basınçlı hava ile çözelti arasındaki ısı ve kütle transfer katsayılarının, hava basıncını, sıkıştırılmış hava hızını ve çözelti konsantrasyonunu artırarak, çözelti sıcaklığının negatif olarak lineer olarak artmasıyla dikkate değer bir şekilde arttırıldığı sonucuna varılmıştır. Tasarım aşamasında, sistemin optimum olarak çalışmasını sağlamak için ısı ve kütle transfer katsayıları sağlanmıştır. S. Mousavi ve ark. [6] tarafından yapılan çalışmada, sabit ve değişken hız tahrikli kompresörleri içeren bir simülasyon modeli geliştirilmiş ve sistemin enerji tüketim dinamiğini ve önerilen modelin geçerliliğini göstermek için iki değişken hız ve bir sabit hızla çalışan kompresör içeren bir endüstriyel basınçlı hava kurutucu sistemi incelenmiştir. Basınçlı hava sistemlerinin enerji verimliliği açısından incelendiği bu çalışmada, yapılan simülasyon modelinde kompresör öncelik belirleme analizi yapılmış ve enerji açısından en verimli dizi seçilmiştir. Son olarak, taban yükü sağlamaktan sorumlu kompresörün maksimum kapasitesinin değiştirilmesi yoluyla olası enerji verimliliği iyileştirmelerini incelenmiştir.

Boru hatlarının kurutulmasının pek çok yöntemi olmakla birlikte, bu yöntemler hakkında bir çok araştırma yapılmıştır. G. Schreurs ve ark. [7] boru hattı kurutma işleminde tapalar ile birlikte kullanılan jel sistemleri ile ilgili yaptıkları çalışmada, belirli bir uygulama için uygun jel seçimini ve bu malzemelerin işlevsel özelliklerini açıklamışlardır. Çalışmada uygun operasyon prosedürleri kullanıldığında uzun mesafeli (800 km) boru hatlarının ileri by-pass olmaksızın sudan arındırılabilceği belirtilmiştir. O. Uzu ve R. Napier [8] tarafından yapılan çalışmada boru hatlarının temizlenmesi, kurutulması ve devreye alınmasında oldukça etkili olan jel tapa teknolojisinin kullanımı hakkında bilgi verilmiş ve faydaları tartışılmıştır. Yapılan çalışmada petrol boru hatlarının temizlenmesini ele alınmış, geleneksel yöntemlere göre düşük maliyet ve kurutma süresi konusundaki avantajları açıklanmıştır. M. R. Ashburner [9] yapmış olduğu çalışmada vakum kurutma kullanılan farklı vaka analizlerini incelemiş ve sonuçlarını tartışmıştır. Sonuçlara göre vakum kurutma yapılacak hatta direkt olarak köpük tapaların

kullanılması, temizleme işleminin yerini tutmamaktadır. Vakumlu kurutma yapılacak hattın iyi bir şekilde temizlendiğinden emin olunmalıdır. Ayrıca düşük çiylenme noktaları elde edebilmek için sistemin iyi bir düşük basınç karakteristiğine sahip olması gerekmektedir. Y. A. Syed ve ark. [10] düşük çiylenme noktasına sahip nemden arındırılmış hava kullanarak bir boru hattının kurutulmasını analitik ve nümerik olarak incelemişlerdir. Oluşturulan matematiksel model yardımıyla hattın kuruma süresi tahmin edilmiş ve iki çözüm karşılaştırılmıştır. Su film kalınlığı, kuru hava hacimsel debisi, kuru havanın çiylenme noktası sıcaklığı ve boru hattının uzunluğu değerlerinin boru hattı kurutulmasındaki önemi tartışılmıştır.

2. KURUTMANIN TERMODİNAMİĞİ (THERMODYNAMICS OF DRYING)

Çiylenme noktası, “atmosfer basıncında bir gazdan su buharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklık” olarak tanımlanabilir[11]. Bir petrokimyasal hattın -60 °C'deki bir çiylenme noktasına kadar kurutulması alışılmadık bir durum değildir. Bir propilen boru hattı için çığ noktası -50 °C civarındadır. CO₂ boru hatları ise -40 °C çiylenme noktasına kadar kurutulabilmektedir[12]. Doğalgaz boru hatları için -20 °C'lik çiylenme noktası yeterli ve kabul edilebilir bir değerdir. Doğalgaz boru hatlarının kurutulmasına ilişkin hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

Boru iç çapı

$$D_i = D_o - \frac{2t}{1000} \quad (1)$$

eşitliği ile bulunabilir. Su film kalınlığı çıkarılmış boru iç çapı, Eşitlik (2) ile hesaplanabilmektedir. T (µm), boru içerisindeki su film kalınlığıdır.

$$D_{i-w} = D_i - \frac{2T}{10^6} \quad (2)$$

Boru hattındaki toplam su hacmi Eşitlik (3), toplam su kütlesi ise buna bağlı olarak Eşitlik (4) yardımı ile bulunabilir. Eşitlik (5)'te gösterilen ρ_a ifadesi, 5-50 °C arası sıcaklıktaki havanın yoğunluğudur.

$$V_w = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - D_{i-w}^2) L (1000) \quad (3)$$

$$m_w = (1000) V_w \quad (4)$$

$$\rho_a = -0.0066t_a + 1.3029 \quad (5)$$

Özgül nem, nemli havanın birim kütlesindeki su buharı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Boru yüzey sıcaklığındaki havanın özgül nemi Eşitlik (6), boruya üflenen kurutulmuş havanın özgül nemi ise Eşitlik (7) ile ifade edilmektedir. Özgül nem farkı, Eşitlik (8) ile hesaplanabilir.

$$\omega_a = 0.0447t_a^2 - 0.761t_a + 10.28 \quad (6)$$

$$\omega_d = 0.0021t_{dew}^2 + 0.1508t_{dew} + 2.8509 \quad (7)$$

$$\Delta\omega = \omega_a - \omega_d \quad (8)$$

Boruya üflenen havanın hacimsel debisi

$$V_a = \rho_a \left(\frac{\pi}{4} D_{i-w}^2 \right) V (3600) \quad (9)$$

eşitliği ile bulunabilir. Kuru havanın nem alma kapasitesi Eşitlik (10) yardımıyla hesaplanabilir.

$$C_{d,a} = \frac{(V_a)(\Delta\omega)}{1000} \quad (10)$$

Toplam kurutma zamanı saat cinsinden Eşitlik (11), gün cinsinden ise Eşitlik (12) ile bulunabilir.

$$D_h = \frac{m_w}{C_{d,a}} \quad (11)$$

$$D_d = \frac{D_h}{24} \quad (12)$$

Kullanılacak desikant hacmi Eşitlik (13), desikant boru çapı Eşitlik (14), desikant boru kesit alanı ise Eşitlik (15) yardımı ile hesaplanabilir.

$$V_{des} = \frac{(C_{d,a})(100)}{(C_{des})(\rho_{des})} \quad (13)$$

$$D_{bed} = \left(\frac{V_{des}}{\pi} \right)^{0.333} \quad (14)$$

$$A_{bed} = \frac{\pi(D_{bed}^2)}{4} \quad (15)$$

3. DOĞALGAZ BORU HATTI KURUTMA YÖNTEMLERİ (NATURAL GAS PIPELINE DRYING METHODS)

Boru hatlarının kurutulmasında kullanılan yöntemler, malzemenin cinsine ve özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu yöntemler boru hattının durumuna ve gereksinimlerine göre seçilmelidir. Doğalgaz boru hatlarının kurutma işleminde kullanılan en yaygın yöntemler bu bölümde verilmiştir.

3.1. Kuru Hava ile Kurutma İşlemi (Drying With Dry Air)

Boru hatlarının inşasında, yapılan kaynak işlemleri sonrası hidrostatik testler yapılmaktadır. Bu işlem, yüksek basınçlı boru hatlarında hasara sebep olmaması için hattın gaz yerine su geçirilmesi ile gerçekleşir. Testler sonucu boru hattı ıslak durumda olacak, aynı zamanda içerisinde istenmeyen yabancı maddeler (çamur gibi) bulunacaktır. Yapılan testleri, temizleme ve ön kurutma işlemi izlemektedir. Süper kuru hava ile kurutma işleminde, susuz hale getirildikten sonra boru hattında kalan serbest suyun tamamını emmek için kuru hava ile itilen tapalar (pig) kullanılır. Bu işlemin sonuna doğru tapalar, yerleştirilmeden önce ve çıkarıldıktan sonra boru hattından çıkarılan yabancı madde miktarını izlemek için tartılabilmektedirler. Hattı takip eden tapalar doğal olarak temiz kütlelerinden daha fazla kütleye sahip olacaklardır. Temizleme ve kurutma ilerledikçe tapa kütlesi orijinal kütlesine yaklaşacaktır. Ancak hat içerisindeki su, ortam sıcaklığında buhar olarak kalacaktır[13]. Tapa rengi ve kütlesi temizleme ve ön kurutmanın nasıl ilerlediğini göstermektedir. Boru hattı temizleme ve kurutma işlemlerinde farklı tapa çeşitleri kullanılmaktadır. Köpük tapalar ön kurutma işlemi, fırça tapalar temizleme, iki yönlü tapalar partikülasyon, ölçüm tapaları ve elektronik tapalar da muayene amacıyla kullanılmaktadır[14].

Ön kurutma işleminden sonra ise kurutulmuş havanın hatta gönderilmesi ile son kurutma işlemi yapılmaktadır. Hattın belirtilen çiylenme noktasına ne zaman kurutulduğunu belirlemek için çiylenme noktası ölçümleri yapılmalıdır. Burada sıkışan herhangi bir serbest su çiylenme noktası okumalarını etkileyebileceğinden, geçişlere, by-passlar ve vana gövdesi boşluklarına özel önem verilmesi gerekmektedir. Çıkış havası çiylenme noktasının $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olması halinde kurutma işlemi tamamlanmış kabul edilmektedir. Kuru hava ile kurutma, hat devreye girmeden önce belirli bir süre kullanılmayacaksa iç korozyona karşı koruma sağlamaktadır.

Buna göre kurutma yapılırken, kurutmayı etkileyen su-film kalınlığı, ortam sıcaklığı, kuru hava akışı hacmi, çiylenme noktası ve kurutulan borunun uzunluğu parametreleri göz önünde bulundurulmalı, ayrıca çalışılan bu parametrelerin seçimi yalnızca kurutma süresini kısaltmaya dayalı olmamalı, maliyet faktörü de dikkate alınmalıdır. Doğalgaz boru hatlarında çiylenme noktası -35 ile $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ve her kurutma için boru hattı uzunluğu (kara boru hatları için) 100-200 km olarak tercih edilmelidir. Kurutma işleminde dikkat edilecek önemli hususlardan bir tanesi ise hatta gönderilen havanın çok hızlı akması ve buna bağlı olarak kuru hava boru yüzeyindeki suyu absorbe edemeyecektir. Sonuçta hat çıkışında ölçülen çiylenme noktası düşük bir değer olarak ölçülecektir ve hat içerisinde sıvı halde su kalmadığı garanti edilemeyecektir. Bu nedenle hatta gönderilen havanın hızı optimal değerde tutulmalıdır.

3.2. Azot ile Kurutma İşlemi (Nitrogen Purge Drying)

Sıcak ve kuru hava kullanmak yerine azot gibi inert bir temizleme gazı kullanılabilir. Azot gazının çok kuru olması ve bu nedenle su emme kapasitesinin yüksek olması ve ayrıca atıl olması ve daha sonra patlayıcı veya yanıcı gazlar içeren boru hatları veya proses kapları hazırlamak için kullanılabilmesi, azot ile kurutmanın avantajlarından. Ancak bu yöntem kuru hava ile kurutma yöntemine göre daha pahalıdır.

3.3. Vakum ile Kurutma İşlemi (Vacuum Drying)

Bu yöntemde, boru hattı tamamen kapatılmıştır ve boru hattından hava çıkaran tekli bağlantı noktası, yüksek güçlü vakum sistemine bağlanmaktadır. Bir süre sonra, dengeli bir vakum seviyesi oluşacak, böylelikle çıkıştaki nem seviyesi hızlı bir şekilde azalmaktadır. Sıvı suyun buharlaştırılması ve ekstrakte edilmesi nedeniyle çiylenme noktası seviyesi bir süre dengede kalacaktır. Tüm su çıkarıldığında ise çiylenme noktası tekrar düşmektedir. Bu ise vakum temizleme ve kurutma işleminin bittiğini bize göstermektedir. Vakum kurutma işlemi basit bir yöntem olup, karmaşık, tıpa kullanımına uygun olmayan, büyük miktarlarda su bulunan sistemlerde kullanıma uygundur. Kurutma prosesinin yavaş ilerlemesi bu yöntemin önemli dezavantajlarından[15].

Bu yöntemlerin dışında, metanol ile kurutma ve iç kum patlatma gibi yöntemler de bulunmaktadır. Metanol kurutma işleminde, metanolün higroskopik etkisinden faydalanılmaktadır. Boru hattında kalan nem, hava ile hatta verilen metanol ile emilmektedir. Metanol ile kurutma işlemi daha az tıpa kullanımı gerektirir, bunun sonucunda daha az hat temizliği yapılmaktadır. Aynı zamanda metanolün pahalı olması nedeniyle genelde metanol-su karışımı kullanılmaktadır. Belirtilen yöntemlerden hiçbirini ideal yöntem olarak kabul etmemiz mümkün değildir. Bu yöntemler boru hattı durum ve gereksinimlerine göre tercih edilmelidir. En az maliyetle kuru bir boru hattı elde etmek amacıyla iki ya da daha fazla yöntem kombine olarak kullanılabilir. Ön kurutma ve temizlik işlemleri yapılmadan da boru hattını kurutmak mümkün olmakla birlikte, bunun için gereken zaman ve maliyet oldukça fazla olmaktadır.

5. ADSORPSİYONLU BASINÇLI HAVA KURUTUCULARI (ADSORPTION COMPRESSED AIR DRYERS)

Adsorpsiyonlu basınçlı hava kurutucuları adsorpsiyon-taşıma prensibiyle çalışmaktadır. Adsorpsiyon, akışkan halde çözünmüş bileşenlerin bir adsorbent (taşıyıcı) yüzeyine tutunması olayıdır. Adsorpsiyonlu hava kurutucularda kurutulacak havadan su buharı alınmaktadır ve bu işlemde nem çeken (kurutucu) bir maddenin desikant yüzeyi kullanılmaktadır.

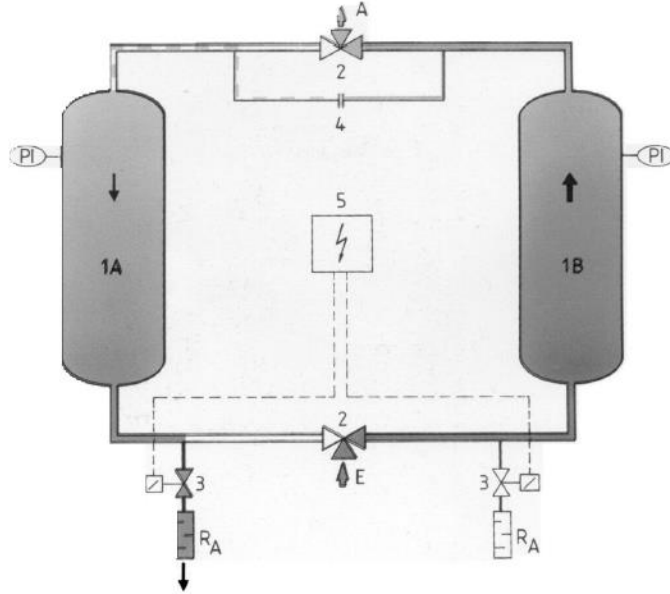
Adsorbent madde olarak genellikle silika jel (SiO_2) ve aktif alümina (Al_2O_3) maddeleri kullanılmaktadır. Silika jelin 1 gramının yüzey alanı 200-700 m^2 arasında değişmekte ve su buharı adsorpsiyon kapasitesi kendi ağırlığının %40'ı kadar olabilmektedir[16]. Özellikle havanın kirli olması durumu gibi özel koşullarda ise genellikle aktif alümina maddesi tercih edilmektedir.

5.1. Isıtıcısız Adsorpsiyonlu Basınçlı Hava Kurutucuları (Heatless Adsorption Compressed Air Dryers)

Oldukça basit yapıda olan ısıtıcısız adsorpsiyonlu basınçlı hava kurutucularında; rejenerasyon havası, kurutulmuş olarak kurutma kolonundan çıkan basınçlı havanın bir miktarının basıncının düşürülmesi ile, rejenerasyon kolonuna verilerek elde edilmektedir.

Alt kısımdan giren basınçlı hava, sol taraftaki kurutma periyodunda olan kolona girmektedir ve bünyesindeki nemi adsorbanta bırakarak üst kısımdan çıkmaktadır. Bu havanın bir kısmı, ayar valfi ya da orifisten geçmekte, böylelikle basıncı düşmektedir. Basınçlı hava, rejenerasyon periyodunda bulunan sağdaki kolona üst kısımdan girmektedir. Adsorbantın içerisindeki nemi geri alarak onu yeniden kurutmakta ve gelecek periyoda hazır hale getirmektedir. Nemlenmiş rejenerasyon havası, alt kısımdaki tahliye valfinden geçer ve bir susturucu üzerinden atmosfere çıkmaktadır. Bahsedilen periyotlar, 1,5-8

dakika arasında olabilmektedir. Bu çalışma şekli, basınç dalgalanmalı adsorpsiyon (pressure swing adsorption/PSA) olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemle -30°C ile -40°C arası çiylenme sıcaklıkları elde edilebilmektedir[1]. Bu tip kurutucular nispeten az hava tüketen sistemler için seçilmelidir. Şekil 1'de ısıtıcısız adsorpsiyonlu basınçlı hava kurutucusu çalışma şeması gösterilmektedir[1].



Şekil 1. Isıtıcısız adsorpsiyonlu basınçlı hava kurutucusu çalışma şeması [1]

(1A : rejenerasyon devrindeki kolon, 1B: kurutma devrindeki kolon, 2 : üç yollu vana , E : basınçlı hava girişi, A : basınçlı hava çıkışı, 3 : adsorbantın nemini almış rejenerasyon havasının atmosfere boşaldığı (selenoid) valf, RA susturucu, 4 : orifis, 5 : otomatik kumanda panosu)

5.2. Isıtıcılı Adsorbsiyonlu Basınçlı Hava Kurutucuları (Heated Adsorption Compressed Air Dryers)

Bu tip kurutucular, kurutulmuş havanın bir miktarını ısıtarak ve düşük basınçta rejenerasyon için kullanırlar. Rejenerasyon aralığı ihtiyaca göre 2 – 6 saat aralıklı, sıcaklığı $+60^{\circ}\text{C}$ ile $+150^{\circ}\text{C}$ arasında işletme yapılmaktadır. Daha az havayı dışarıya attıklarından işletme maliyetini azaltırlar. Normal (ortalama) miktarda hava tüketen işletmeler için tavsiye edilmektedir[17]. Basınçlı hava kaybı daha azdır. Atmosferik çiylenme rejenerasyon seçimine bağlı olarak -40°C ile -80°C 'ye ulaşılabilir.

5.3. İkincil (Sekonder) Hava ile Rejenerasyon Yapan Adsorpsiyonlu Kurutucular (Adsorption Air Dryers with Secondary Air Regeneration)

Bu kurutucular rejenerasyon için, havayı ayrı bir alçak basınçlı kompresörden (blower) alıp, ısıtarak kullanırlar. Bu tip kurutucularda, basınçlı hava kullanılmadığı için ve işletme kaybı da az olduğundan çok hava tüketen işletmelere tavsiye edilmektedir[17]. Atmosferik çiylenme rejenerasyon seçimine bağlı olarak -20°C ile -40°C 'ye ulaşılabilir.

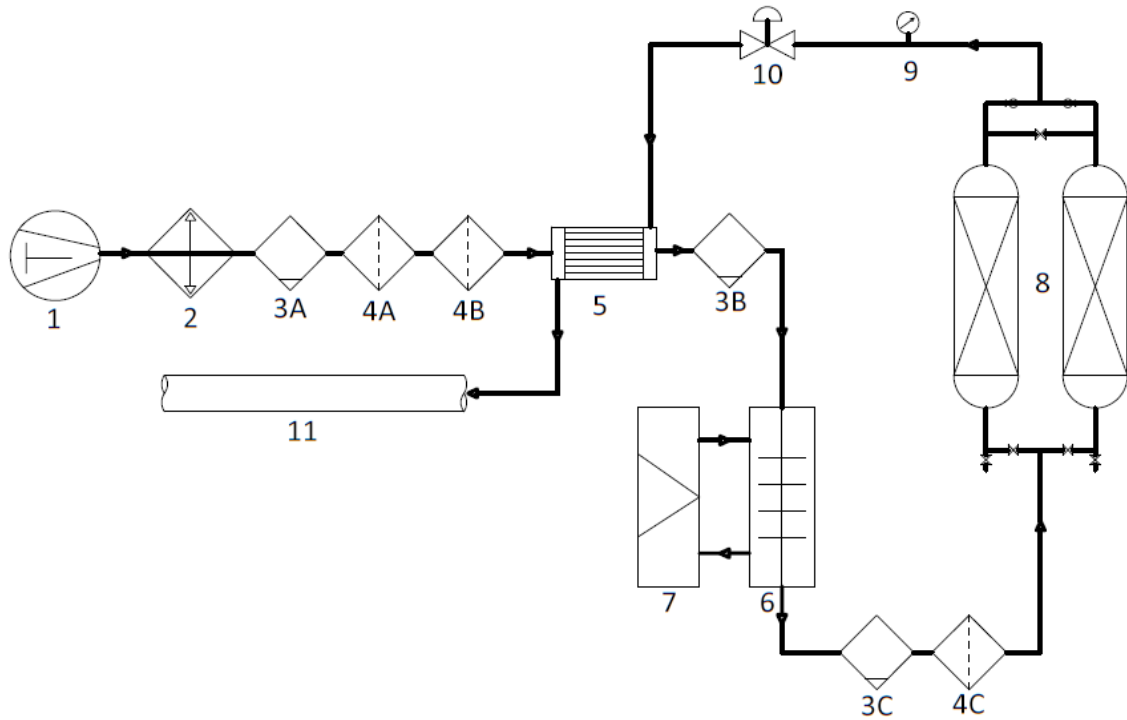
6. SİSTEM TASARIMI (SYSTEM DESIGN)

Kombine basınçlı hava kurutucuları, adsorpsiyonlu ve mekanik soğutmalı basınçlı hava kurutucularının bir kombinasyonudur. Seri üretimi azdır ve özel istekler doğrultusunda imal edilmektedir. Düşük çiylenme noktaları elde etmek amacıyla tercih edilen kombine basınçlı hava kurutucuları, kuruluş ve işletme maliyetlerinde tasarruf sağlamaktadır.

Önerilen basınçlı hava kurutucu sistem, doğalgaz hattı kurutulması amacıyla tasarlanmıştır. Bünyesinde $5\ \mu\text{m}$, $0,1\ \mu\text{m}$, $0,01\ \mu\text{m}$ 'lik üç adet filtre ve üç adet su seperatörü bulunmaktadır. Mekanik soğutmalı ve

adsorpsiyonlu kurutucunun beraber kullanıldığı sistemin adsorpsiyon kurutucu çıkışına eklenen genişleme vanası sayesinde, adsorpsiyonlu kurutucudan çıkan basınçlı havanın basıncının düşürülmesi ile soğuma elde edilmektedir. Soğutulan bu havanın da ısı geri kazanımda kullanılması amaçlanmaktadır. Aynı zamanda ısı geri kazanım eşanjöründen çıkan hava, boru hattına verilirken sıcaklığı yükselmiş ve genişletilmiş halde olacağından doğalgaz boru hattından bünyesine daha çok nem alacaktır. Genişleme vanası olmaması halinde karşıda bir yük olmayacak ve basınç 2-3 bar gibi düşük seviyelerde kalacaktır. Bu da adsorpsiyon kurutucunun çalışmasına engel olmaktadır. Genişleme vanasının sisteme eklenmesi ile kurutucu sistem ideal işletme basınçlarında çalışacaktır. (Büyük hatlarda yaklaşık 24 bar, küçük-orta seviye için yaklaşık 10 bar)

Sistemde, adsorpsiyon kurutucuya giren basınçlı havanın mümkün olduğunca nemi azaltılmış ve düşük sıcaklıkta olması amaçlanmaktadır. Bunlar verimi önemli oranda arttıracak parametrelerdir. Adsorpsiyonlu kurutucuya giren basınçlı havada sıvı halde su bulunmaması önemli bir husustur. Bunun yerine suyun buhar fazında olması istenmektedir. Önerilen model, bu tehlikenin önüne geçtiğinden kurutucunun çalışma performansı artmaktadır ve uzun ömürlülük sağlanmaktadır. Aynı zamanda desikant maddelerin ömrü uzamakta ve adsorpsiyon kurutucunun da kurutma kapasitesi artmaktadır. Bu amaçla, sisteme adsorpsiyon kurutucudan önce gaz soğutmalı bir kurutucu eklenmiştir. Isı geri kazanım ünitesi de sistemdeki gaz soğutmalı kurutucu kapasitesinin artması ve daha düşük çiylenme noktalarına ulaşmasını sağlamaktadır. Şekil 2’de Gaz soğutmalı ve ısı geri kazanımlı, ısıtıcısız adsorpsiyonlu kombine basınçlı hava kurutucu sisteminin çalışma şeması gösterilmektedir.



Şekil 2. Gaz soğutmalı ve ısı geri kazanımlı, ısıtıcısız adsorpsiyonlu kombine basınçlı hava kurutucu

(1: Kompresör, 2: İkincil soğutucu (aftercooler), 3A,3B,3C: Su seperatörü, 4A: Filtre (5 µm), 4B: Filtre (0,1 µm), 4C: Yağ filtresi (0,01 µm), 5: Isı geri kazanım eşanjörü, 6: Gaz soğutmalı eşanjör, 7: Soğutma devresi, 8: Isıtıcısız adsorpsiyonlu basınçlı hava kurutucu, 9: Manometre, 10: Genişleme vanası, 11: Boru hattı)

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan bu çalışmada, doğalgaz boru hattının inşaat kısmı sonrasındaki kurutma kısmı ele alındığından, ilgilenilen parametreler buna bağlı olarak sınırlanmaktadır. Bu çalışmada, adsorpsiyonlu ve mekanik soğutmalı basınçlı hava kurutucularının bir kombinasyonu olan kombine basınçlı hava kurutucusu tasarlanmıştır. Seri üretimi az olan bu kurutucuların özellikleri, kurutma yapılacak sistemin istekleri doğrultusunda şekillenmekte ve imal edilmektedir.

Gaz soğutmalı ve ısı geri kazanımlı, ısıtıcısız adsorpsiyonlu kombine basınçlı hava kurutucu tasarımında, mevcut sistemlerdeki eksiklikler dikkate alınmış ve gerekli iyileştirmeler yapılarak faydalı bir kombine basınçlı hava kurutucusu modeli geliştirilmiştir. Önerilen sistemin başlıca avantajları ve benzerlerine göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kurutmanın ilk aşamasında soğutmayla bir miktar kurutulan hava daha fazla nem tutma özelliğine sahip olacağından kuruma süresi kısılacaktır. Kuruma süresinin kısılması ise enerji tüketiminin azalmasını sağlayacaktır.
- Önerilen sistemde mekanik soğutmalı ve adsorpsiyonlu kurutucuların beraber kullanılmaktadır. Kurutucu çıkışına yerleştirilen genleşme vanası sayesinde, adsorpsiyonlu kurutucudan çıkan basınçlı havanın basıncının düşürülmesiyle daha fazla soğuma sağlanmaktadır. Ayrıca genleşme vanasının adsorpsiyon kurutucudan sonra sisteme dâhil edilmesi, tasarımı aynı amaçla kullanılan kurutuculardan ayıran önemli farklılıklardandır. Bununla birlikte, eklenen genleşme vanası sayesinde kurutucunun ideal işletme basınçlarında çalışması sağlanmaktadır.
- Adsorpsiyonlu kurutucuya giren basınçlı havada sıvı halde su bulunmaması oldukça önemlidir. Kurutucuya giren suyun buhar fazında olması istenmektedir. Önerilen sistem ile bu tehlikenin önüne geçilmekte, kurutucunun çalışma performansı artmakta ve sistemin uzun ömürlülüğü sağlanmaktadır. Aynı zamanda desikant maddelerin ömrü uzamakta ve adsorpsiyon kurutucunun kurutma kapasitesi arttırılmaktadır.
- Sistemde, ısı geri kazanım ünitesinin bulunması, sistemdeki gaz soğutmalı kurutucunun kapasitesinin artmasını ve daha düşük çiylenme noktalarına ulaşılmasını sağlayacaktır.

Bu model tasarlanırken, hat kuruma süresinin azaltılması ve sistemin uzun ömürlü olması hedeflenmiştir. Sistem aynı zamanda düşük enerji tüketimi ve yüksek verimliliği sayesinde doğalgaz boru hattı kurutma işlemleri için tercih edilebilecek bir modeldir.

SEMOLLER (NOMENCLATURE)

A_{bed}	Desikant boru kesit alanı (m^2)	T	Boru içerisindeki su film kalınlığı (μm)
$C_{d,a}$	Kuru havanın nem alma kapasitesi (kg/saat)	t_a	Ortam veya boru yüzey sıcaklığı ($^{\circ}C$)
C_{des}	Kullanılabilir desikant yüzdesi (%)	t_{dew}	Boruya üflenen havanın çiylenme sıcaklığı ($^{\circ}C$)
D_{bed}	Desikant boru çapı(m)	V	Boru içerisindeki havanın hızı (m/s)
D_d	Toplam kurutma zamanı (gün)	V_a	Boruya üflenen havanın hacimsel debisi ($m^3/saat$)
D_h	Toplam kurutma zamanı (saat)	V_{des}	Kullanılacak desikant hacmi(m^3)
D_i	Boru iç çapı (m)	V_w	Boru hattındaki toplam su hacmi (m^3)
D_{i-w}	Su film kalınlığı çıkarılmış boru iç çapı (m)	$\Delta\omega$	Özgül nem farkı (g_{su}/kg_{hava})
D_o	Boru dış çapı (m)	ω_a	Boru yüzey sıcaklığındaki havanın özgül nemi (g_{su}/kg_{hava})
L	Boru hattı uzunluğu (m)	ω_d	Boruya üflenen kurutulmuş havanın özgül nemi (g_{su}/kg_{hava})
m_w	Boru hattındaki toplam su kütlesi (kg)	ρ_a	5-50 $^{\circ}C$ arası sıcaklıktaki havanın yoğunluğu (kg/m^3)
t	Boru et kalınlığı (mm)	ρ_{des}	Desikant maddenin yoğunluğu (kg/m^3)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] E. Ertaş, “Basınçlı Hava Kurutucular: Genel Tanıtım”, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2005, ss. 319-340
- [2] G. Dui, B. Sun, Y. Zhao, “Dry Air Drying Used in Natural Gas Pipeline and Influencing Factors Analysis”, The International Conference on Pipelines and Trenchless Technology, ss. 591-597 ISBN:9780784410738, 2009
- [3] J. W. Carter, M. L. Wyszynski, “The Pressure Swing Adsorption Drying of Compressed Air”, Chemical Engineering Science, Vol. 38, 7, ss. 1093-1099, 0009-2509/83, 1983
- [4] Y. Yin, B. Zheng, C. Yang, X. Zhang, “A proposed compressed air drying method using pressurized liquid desiccant and experimental verification”, Applied Energy 141 (2015) ss. 80–89
- [5] Y. Yin, B. Zheng, T. Chen, B. Shao, X. Zhang, “Investigation on coupled heat and mass transfer coefficients between compressed air and liquid desiccant in a packed dryer”, International Journal of Heat and Mass Transfer 93 (2016) ss. 1218–1226
- [6] S. Mousavi, S. Kara, B. Kornfeld, “Energy Efficiency of Compressed Air Systems”, Procedia CIRP 15 (2014) ss. 313 – 318
- [7] G. Schreurs, P. Burman, S. Hamid, C. Falck, J. Maribu, C. Ashwell, “Development of Gel Systems for Pipeline Dewatering and Drying Applications”, 26th Offshore Technology Conference, ss.1-10, 1994
- [8] O. Uzu, R. Napier, “Gel Pig Technology Applications in Pipeline Servicing”, 24th Society of Petroleum Engineers Nigeria Technical Conference and Exhibition, ss. 1-6, 2000
- [9] M.R. Ashburner, “Commissioning of Gas Pipelines Using the Vacuum Drying Method”, 19th Offshore Technology Conference, ss.1-12, 1987
- [10] Y.A. Syed, P. Gandhidasan, A. A. Al-Farayedhi, “Pipeline Drying Using Dehumidified Air With Low Dew Point Temperature”, Applied Thermal Engineering Vol. 18, No. 5, ss. 231-244, 1998
- [11] J. Wallace, P. Hobbs, “Atmospheric Science: An Introductory Survey”, 2006, s.82
- [12] E.W. McAllister, “Pipeline Rules of Thumb Handbook (Eighth Edition)”, 2014, ss. 173-185
- [13] A.J. Barden, M.D. Powers, P. Karklis, “Evaluation of Pipeline-Drying Techniques”, The Pipeline Pigging Conference, 1996, s. 5
- [14] D. Russell, “Pigging in Pipeline Pre-commissioning”, Pigging Products and Services Association, 2005
- [15] Pipeline Drying, “Application Notes”, Michell Instruments, 2009
- [16] Alarko-Carrier, “Hava Koşullandırma”, Teknik Bülten, Sayı 19, 2007, s.1
- [17] Tercih Isı, “Adsorpsiyon Kurutucular”, Teknik Döküman, <http://www.tercihdryer.com>