

Enerji Santrallerinde “Gaz Transfer Membrani” Uygulamaları ile İşletme ve Yatırım Maliyetlerinin Düşürülmesi

Şebnem Aybige ŞENER
Ökotec Çevre Teknolojisi ve
Kimya Sanayi Ltd. Şti.

Burcu Kaleli ÖZTÜRK
Ökotec Çevre Teknolojisi ve
Kimya Sanayi Ltd. Şti.

Özet

Bu bildiriye, Gaz Transfer Membranları (GTM) ile proses sularından CO₂ ve O₂ giderimine yönelik uygulama örnekleri incelenecek olup, bu teknoloji ve CO₂ degazörünün işletme maliyetleri, özellikle kimyasal tüketimi kapsamında karşılaştırılacaktır. GTM kullanımı ile kimyasal tüketim ihtiyacı ortadan kalkmakta veya sınırlandırılmaktadır. Dolayısı ile aynı zamanda yeşil bir teknolojidir.

GTM'ler konvansiyonel gaz giderim teknolojileri ile karşılaştırıldığında, aynı şartlar altında çok daha az yer kaplamakta, kapalı bir sistem olduğundan sıvıların tekrar basınçlandırılmasına gerek duyulmamakta, kimyasal tüketimini ortadan kaldırmakta ve çok daha düşük CO₂ ve O₂ değerleri sağlamaktadır. Böylece GTM ile özellikle enerji santrallerinde yatırım ve işletme maliyetleri önemli ölçüde düşürülebilmektedir.

1. Giriş

1990'lı yılların ortalarında gaz transferi uygulamaları için mikroporlu membran kontaktörü tasarımı hızla gelişmeler yaşandı. Bu teknoloji

daha önce sadece 1 ila 2m³/h kapasiteli laboratuvar ölçekli küçük cihazlarda uygulanırken yeni tasarlanan membran kontaktörleri ile su arıtma sistemleri için 225 ila 450 m³/h kapasiteli endüstriyel cihazları gerçekleştirme imkanı ortaya çıktı.

Tablo 1. Membran Kontaktörlerinde Kullanılan Genel Terimler

Aşırı süpürme: Kontaktörün maksimum performansı için gerekli olan gaz debisi.
Lümen-terafı: Hollow fiberin iç kısmı.
Kısmi basınç: Gaz karışımının tek komponentinden uygulanan basınç.
Kabuk tarafı: Hollow fiberin dış tarafı.
Kabuk: Membran kontaktörünü içeren yuva
Çözüm madde: Fazlar arası transferi gerçekleştiren türler

2. Arka Plan

Membran kontaktörlerinde bir gaz fazı ile bir likit faz doğrudan temas etmektedirler. Buradaki amaç bir fazın diğeri içinde dağılımı olmadan fazlar arasında kütle transferini gerçekleştirmektir. Bu teknolojinin tipik bir kullanımı, sularda çözünmüş gazların giderimi veya gazların sularda çözünmesidir.

Membranları kullanarak iki fazı birbiriyle temasa geçirmek aslında yeni değildir. Fakat kontaktörlerin tasarımındaki yeni gelişmelerle verimlerinde ve kapasitelerinde çok önemli artışlar sağlanmış bulunmaktadır. Bu gelişmeler membran kontaktörlerini laboratuvarlardan çıkarıp, orta ve büyük endüstriyel ölçekli uygulamalar için de ekonomik hale getirmeye başlamıştır. Sulu bir akımdan çözünmüş gazların giderimi için membran kontaktörlerinin işletilmesi sırasında, sulu akım hidrofobik bir membranın bir

tarafından geçirilirken membranın diğer tarafından da bir “süpürücü” gaz geçirilir veya o tarafa bir vakum uygulanır. Mikroporlu membran hidrofobik olduğu için membran, likit suyun diğer taraftaki gaz fazına geçmesine izin vermez. Membran, gaz ve likit faz arasında porlarda bir arayüze izin veren bir destek görevi görür. Su ile temasta olan gazın kısmi basıncı ayarlanarak gazlar çözünmüş oldukları su içinden seçimli bir şekilde uzaklaştırılırlar veya suda çözünürler.

3. İşlemin Prensipleri

Kontaktörün sudan çözünmüş gazları giderme yeteneğini açıklayabilmek için kütle transferi için etkili olan gücü tartışmak gerekir. Henry Kanunu, denge halinde suda çözünecek gaz miktarının su ile temasta bulunan buhar fazındaki kısmi basıncı ile doğru orantılı olduğunu belirtmektedir.

$$P = H \cdot X$$

P = Gazın kısmi basıncı

H = Henry sabiti (sıcaklığa bağlı bir değerdir)

X = Denge halinde çözünmüş olanın konsantrasyonu

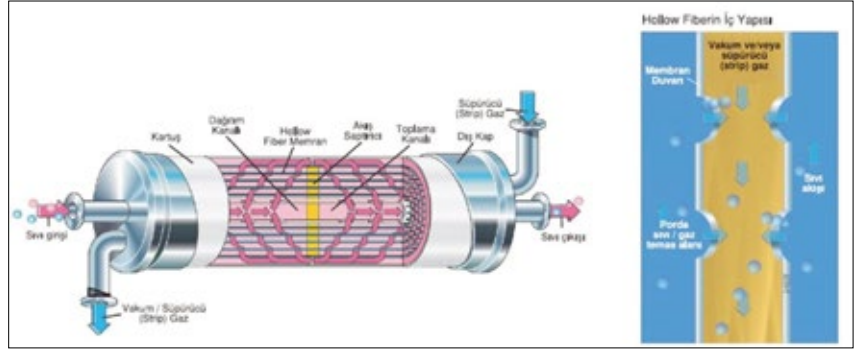
1 atmosfer basınç altında ve 25°C'de suda yaklaşık olarak 8,5 ppm oksijen, 14,5 ppm azot, eser miktarda CO₂ ve eser miktarda da atmosferdeki diğer gazlar çözünmüş halde bulunur. Su ile temasta bulunan gazın kısmi basıncı azaltılırsa buna bağlı olarak aynı gazın suda çözünmüş miktarı da azalır. Gazın kısmi basıncı iki şekilde azaltılabilir. Gaz fazının toplam basıncı azaltılır ya

da gaz fazındaki gazın konsantrasyonunda değiştirilir. Gazı toplambasınıncı azaltmak için membran gaz tarafına vakum uygulanabilir. Degazör olarak kullanılan alternatif yöntemlerden vakum kulesinde de aynı prensipler geçerlidir.

Su ile temasta bulunan gazın konsantrasyonunu değiştirmek için ise giderilecek gazı çok az içeren veya hiç içermeyen bir süpürücü gaz membranının gaz tarafından geçirilir. Bu prensiplerin aynısı forced-draft degazörü için de geçerlidir.

4. Kontaktörün Gelişimi

İlk kontaktörler bir kap ve boru (shell & tube) konfigürasyonu içinde mikroporlu hollow-fiber demetinden yapılıyordu. Likit fazı hollow-fiber'in içine (lumen tarafı) besleniyordu ve gaz fazı ise dış kısımdan (shell tarafı) geçiriliyordu. Gaz fazı su fazına paralel akıyordu. Bu tasarım büyük bir dezavantajı içinde taşıyordu: Hollow fiberlerin içinden akmanın oluşturduğu hidrolik direnç. Bu direnç, kabul edilemeyecek ölçüde bir basınç kaybına sebep olur. Bu cihazla ticari olarak erişilebilecek debi $1 \text{ m}^3/\text{h}$ civarındaydı. Küçük bir basınç kaybıyla yüksek bir debiye ulaşmak için kontaktörler paralel olarak yerleştirilerek kapasite artırılmaya çalışıldı.



Şekil 1. Membran kontaktörü.

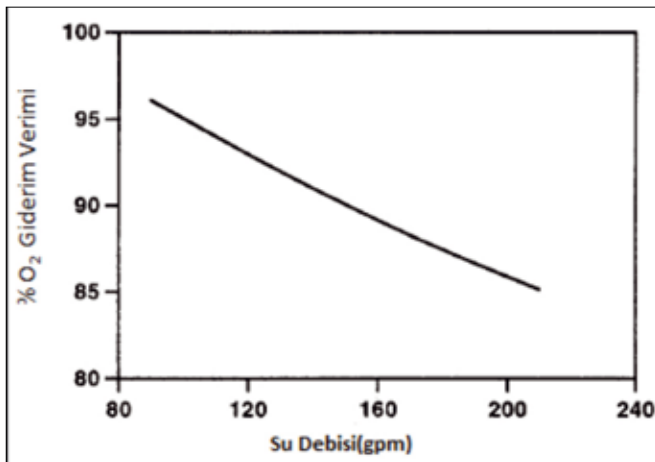
Kontaktörlerin kapasitelerini artırmak için yapılan ilk denemeler başarısızlıkla sonuçlandı. Kapasite ancak kontaktör yüzeyi büyütülerek ya da su tarafındaki basınç kaybı düşürülerek artırılabilirdi. Temas yüzeyi, demet çapıyadankontaktör uzunluğuartırılarakbüyütülebiliyordu. Elyaf (fiber) çapı büyük demetli bir kontaktörün üretilmesinin zorluğu kanıtlanmıştı. Demetin derinliği, dolgu malzemesinin fiberlerin arasındaki boşluğu tam olarak doldurmasını önlüyordu. Bunun sonucunda zaman içinde dayanıksızlaşan kırılğan bir demet ortaya çıktı.

Su tarafındaki basınç kaybının düşürülmesi ile ilgili denemelerde elyaf (fiber) çapı ve elyaf dışında akan su artırıldı. Elyaf çapının artırılması cihazın içindeki temas yüzeyi miktarını tam tersine olumsuz etkiledi. Demetin dış tarafında su akışı olan kontaktörlerin

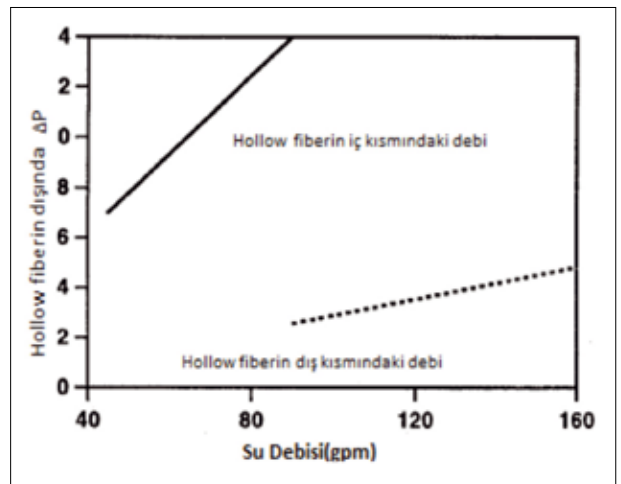
tasarımı, ciddi akış kanallaşması oluşturmundan kaynaklanan zayıf performans gösterdi.

1993 yılında patenti alınan şaşırtmalı (baffled) bir cihaz ile bu engel aşıldı. Bu tasarımda hollow fiberler bir bez sıra içine örülmüş durumdaydı. Döndürmeli sarma prosesi sırasında bir şaşırtma demetin ortasına yerleştirildi. Bu patentli tasarım, suyun elyaf demeti üzerinden radyal olarak akmasına izin veriyordu ve demet boyunca eşit olarak dağılmasını sağlıyordu (Şekil 1).

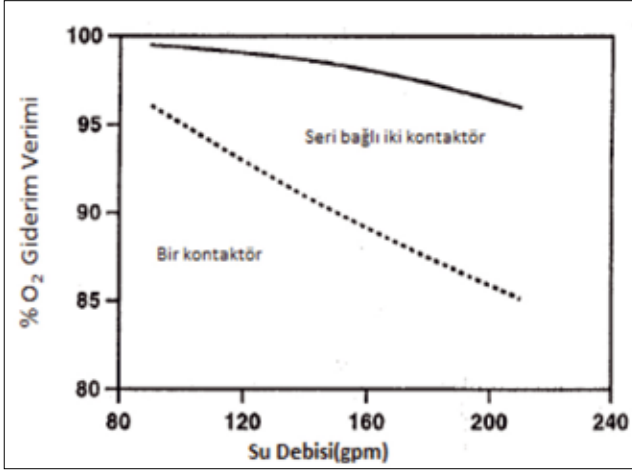
Bu tasarım, su tarafındaki basınç kaybını kontaktör sayesinde düşürüyor ve tek bir cihaza katılmış olan ek membran alanına izin veriyordu. Şekil 3, kontaktördeki basınç kaybının debinin bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Hollow fiber içine akış olan kon-



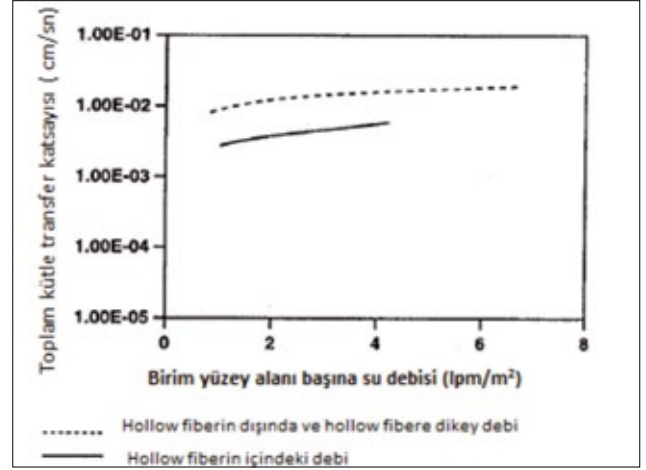
Şekil 2. Azot süpürücü gazı ile işletilen bir kontaktörün debiye karşı giderim verimi (su sıcaklığı 20°C).



Şekil 3. Hollow fiberin iç ve dışında debiye bağlı basınç kaybı.



Şekil 4. Azot süpürücü gazı ile işletilen bir ve seri bağlı iki kontaktörün debiye karşı giderim verimi.



Şekil 5. Fiberin dışında, fibere dik ve fiberin içindeki debi için birim yüzey alanına karşı kütle transfer katsayısı.

taktördeki basınç kaybı, hollow fiberin dış tarafında akışlı olan kontaktöre göre daha büyüktür.

Basınç kaybındaki bu azalmanın önemi çok büyüktür. Basınç kaybı azaldığında iki veya üç kontaktör seri olarak yerleştirilebilir. Kontaktörler seri olarak yerleştirildiğinde bir kontaktör dizisinin toplam giderim verimi, artan sıvı hızı sayesinde önemli ölçüde iyileşir.

Giderimin yüzdesi, seri haldeki bir kontaktör için "giriş konsantrasyonu - çıkış konsantrasyonu/ giriş konsantrasyonu" ile tanımlanır. Serideki ikinci kontaktör teorik olarak aynı giderim verimine sahiptir.

Örneğin 23 m³/h (100 gpm) debi için serideki ilk kontaktör yaklaşık olarak % 95 oksijen giderir. Serideki ikinci kontaktör geriye kalan oksijenin yine %95'ini giderir ve toplam giderim %99,75 olur. Grafikten de görüldüğü gibi, seri haldeki iki kontaktörden geçen debi, aynı giderim verimi sağlanarak 46 m³/h (200 gpm) değerinin üstüne bile çıkarılabilir.

Kütle transfer katsayısının gerçek değeri, kontaktörün performansının ölçülmesi ve k kütle transfer katsayısı için çözümü sayesinde elde edilir. Likit

faz fiberin dışında olduğunda, verilen bir fiber için kütle transfer katsayısının daha yüksek olması ilginçtir. Gelişmiş kütle transferi, membrandan geçen debi ile ilişkili ek türbülansa dayandırılmaktadır.

5. Konvansiyonel Membran Filtrasyonu İle Karşılaştırma

Membran kontaktörlerinde membranların kullanımı, likit filtrasyonda kullanılan membranlardan oldukça farklıdır. Filtrasyon cihazları, partikülleri ve suda çözünmüş olan katıların uzaklaştırmak için kullanılırlar. Su membrandan geçer gider. Su böylece, partikül ve katıların boyutlarına göre belirlenmiş olan membrandan geçerken partiküllerden ve çözünmüş katılardan arıtılmış olur. Suyu membrana doğru hareket ettiren itici güç olarak su basıncı kullanılır ve membrandan geçme sırasında porlar partikülleri tutarlar. Ters osmoz, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon çözünmüş gazları giderme kapasitesine sahip değillerdir.

Faz-temas amaçlı kullanılan membranlarda, membran içinde konvektif akış yoktur. Bir fazdan diğer faza difüzyon yoluyla kütle transferini kolaylaştırmak için bir kısmı basınç düşümü (gradient) kullanılır.

Su ile temasta olan gazın kısmi basıncının düşürülmesi, çözünmüş gazın giderilmesine veya çözünmesine izin verir. Likit su hidrofobik membranı geçemez; membran sadece iki faza destek olarak kullanılır ve birinin diğerine temasta olmasına izin verir.

Filtrasyon membranları, tipik olarak membranın giderebileceği partikül veya çözünmüş madde boyutunun yüzdesi ile sınıflandırılırlar.

Membran kontaktörleri esas olarak kütle transferi amacıyla iki fazı birbiriyle temasa getiren cihazlar oldukları için performansları tipik olarak giriş-çözünmüş-gaz konsantrasyonunun çıkış-çözünmüş-gaz-konsantrasyonuna oranı sayesinde ölçülürler.

Membrankontaktörlerine yakınlarda nilgiliolanmembran teknolojileri pervaporasyon ve gaz separasyonudur. Bu her iki teknoloji de gazların belirli türlerinin seçimli bir şekilde membrandan geçmesine izin veren poruz membranları kullanılırlar. Aksine, membran kontaktörleri mikroporlu membranları içerirler.

Membran kontaktörleri seçimli değildir ve tüm gazların geçmelerine izin verirler.

6. Mevcut Teknolojiler İle Karşılaştırma

Vakum kuleleri membran kontaktörle-riyle aynı prensibe göre çalışırlar. Tipik olarak dolgulu veya tepsili yüksek kolonlardır ve bir likit fazı bir gaz faz ile temas getirerek çözünmüş gazların likitten uzaklaştırılmasını amaçlarlar. Likit kolonun üst tarafından aşağıya doğru dolgulu yataktan akar. Dolgulu yatak likit fazla temasta olan gaz fazı için geniş bir yüzey alanı oluşturur. Membran kontaktörleri aynı görevi yerine getirirler; fakat bir faz diğeri içinde dağıtmadan iki fazı porlarda temas getirirler. **Tablo 2**, membran kontaktörlerinin bazı avantajlarını listelemektedir.

7. Sonuç

Son yirmi yıldaki gelişmeler, membran kontaktör teknolojisini laboratu-ruvardan büyük ölçekli üretim te-

Tablo 2. Membran Kontaktörlerinin Özellikleri ve Yararları

Özellik	Yarar
Membran kontaktörleri taşımaya, kanallaşmaya veya geri karıştırmaya (backmixing) karşı hassas değillerdir.	Çok geniş bir debi aralığında çalıştırılabilirler.
Membran kontaktörleri modülerdir.	Sistemin kaplamam alanı modifiye edilebilir ve özel olarak dizayn edilebilir.
Membran kontaktörleri konvensiyonel kolonlara kıyasla ünite hacmi başına daha büyük yüzey alanı içerir.	Daha küçük toplam sistem dizaynı.
Membran kontaktörleri, kütle transferi amacıyla sürücü kuvvet oluşturmak için sovgaz ve vakum ombinasyonundan yararlanır.	1.0 ppb çözünmüş oksijen değerine ulaşabilme.

sislerine ilerleten bir etki oluşturdu. Geleneksel kütle transfer konseptleri kullanılıyor olmasına rağmen, giderilmesi gereken en önemli engel, tasarımcıların yeni teknolojiyi kabuldeki isteksizlikleriydi. Bu sistemler başta yarı iletkenler, enerji ve ilaç sektörleri olmak üzere geniş bir alanda kabul görmüş ve küresel olarak büyük bir hızla yayılmaya başlamıştır. Mühendisler bu teknolojiyi tanıdıkça diğ-

sektörlerde de artan bir ilgi beklenmektedir.

Kaynak

[1] Wiesler F., "Membrane Contactors: An Introduction To The Technology", USA. J. of Ultrapure Water, Vol. UP130427, pp.27-31, May/June 1996. ■

Bu makale ICCI 2015'te bildiri olarak yayınlanmıştır.

Teknik Sektör Yayıncılığı'na ait Tesisat, Doğal Gaz, Yangın ve Güvenlik, Enerji ve Çevre Dünyası Dergileri "TSY Dergilik" Uygulaması adı altında Apple App Store ve Google Play'de Yayında



www.teknikyayincilik.com

