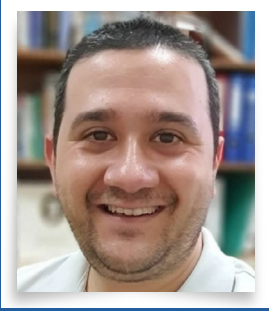


## KRİYOJENİK SOĞUTMA



İbrahim KARAÇAYLI  
Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu  
İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi

Kriyojenik, oksijen, hidrojen, helyum, azot, argon gibi sabit gazların sıvılaştırılmasına dayanan çok düşük sıcaklıkların ( $-150^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıkların) üretimini ve bu sıcaklıkların etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Doğal gazın sıvılaştırılması, hidrojenin sıvılaştırılması (roket yakıtı) gibi mühendislik işlemleri; hücre ve dokuların bozulmadan saklanması, hastalıklı dokuların dondurulması gibi biyomedikal uygulamalar; süper iletkenlikle ilgili araştırmalar, düşük sıcaklıklarda maddelerin özelliklerinin incelenmesi gibi bilimsel araştırmalar için yaklaşık  $-150^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklara soğutma yapılmaktadır. Öte yandan termodinamiğin üçüncü yasasına göre soğutma işlemi en fazla mutlak sıfır sıcaklığı diye bilinen  $-273.15^{\circ}\text{C}$  sıcaklığına kadar yapılabilir.

Helyum, hidrojen, oksijen, argon ve azot gibi gazların kritik nokta sıcaklıkları çok düşük olduğu için çevre şartlarında sadece gaz halde bulunurlar. Tablo 1'de kriyojenik uygulamalarda kullanılan bazı gazların kaynama sıcaklıkları verilmiştir. Bu gazları sıvılaştırmak için kaynama sıcaklıklarının altına inmek gerekir ki bu sıcaklıklar da çok düşük olduğu için kriyojenik uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu sıvılara kriyojenik sıvı veya kriyojen denilmektedir. Kriyojenler normal sıcaklık ve basınçta gaz fazındadır, ancak  $-150^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda sıvı haldedirler. Küçük miktarlardaki sıvı, çok büyük hacimlerde gaza dönüşebilir. Bu sıvılar aşırı derecede soğuktur ve kriyojenlerden çıkan buhar bile çok soğuktur. Genellikle havadaki nemi yoğuştururlar ve belirgin bir sis oluştururlar.

Örneğin kaynama sıcaklığı  $-269.0^{\circ}\text{C}$  olan helyumu sıvılaştırmak için sıcaklığı mutlak sıfıra çok yaklaştırmak gerekir.

Yaklaşık  $-270.98^{\circ}\text{C}$  ( $2.17\text{K}$ ) sıcaklığındaki sıvı helyumun viskozitesi ve elektrik direnci sıfır olur ve süper sıvı (süperakışkanlık) haline gelir.

Tablo 1. Kriyojenik uygulamalarda kullanılan bazı gazların kritik nokta sıcaklıkları

Gazlar	Kritik nokta sıcaklığı, $^{\circ}\text{C}$
Oksijen	$-183.0$
Hidrojen	$-252.9$
Helyum	$-269.0$
Azot	$-195.8$
Metan	$-161.5$

Sıvı genişlemeli cam termometrelerin içindeki sıvılar kriyojenik sıcaklıklarda donacağından o sıcaklıkların ölçümünde kullanılamazlar. Bunun yerine yaklaşık  $-253^{\circ}\text{C}$ 'a kadar kriyojenik sıcaklıkları ölçmek için metal elemanlardan biri platin olan dirençli termometreler kullanılabilir. Daha düşük sıcaklıkların ölçümü için (yaklaşık  $-272^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklar) katkılı germanyum gibi belirli yarı iletken malzemeler, kullanılacakları aralıkta kalibre edildikleri sürece, kullanılabilir.

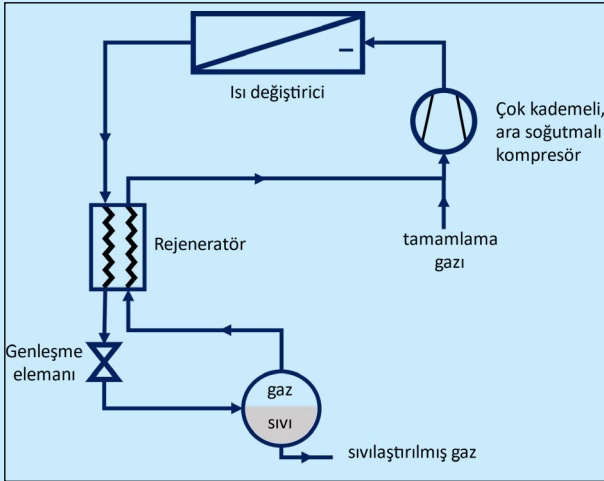
Kriyojenik sıcaklıkların elde edilmesi işlemi gazların sıvılaştırılması prensibine dayanmaktadır. Gazların sıvılaştırılması işlemiyle mutlak sıfır sıcaklığına yaklaşılmaktadır.



Gazların sıvılaştırılması için geleneksel soğutma çevrimleri yetersiz kalmaktadır. Gazların sıvılaştırılması için çok sayıda çevrim geliştirilmiştir; bunların bir kısmı açık diğer kısmı kapalı çevrimdir. Gazların sıvılaştırılmasında uygulanan en genel yöntem gazların sıkıştırılıp, ardından genişletilmesidir.

Carl von Linde ve William Hampson tarafından Joule–Thomson (J-T) etkisi gazların sıvılaştırılması için kullanılmıştır. Gazların sıvılaştırılması için yaygın olarak kullanılan bu yöntemin adı Joule–Thomson (veya Linde–Hampson) soğutma çevrimidir. Bu yöntem ile  $-150^{\circ}\text{C}$  ile  $-200^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklara rahatlıkla soğutma yapılabilmektedir.

Joule–Thomson soğutma çevrimi, buhar sıkıstırmalı soğutma çevrimine benzer olarak kompresör, dış ortama ısı atan serpantin, genişleme elemanı ve soğutma etkisi sağlayan serpantinden meydana gelmektedir. Dış ortama ısı atmak için kullanılan serpantin genellikle bir soğutma ünitesine bağlıdır. Soğutma etkisi sağlayan serpantin kapalı çevrimde çok düşük sıcaklıklara soğutma sağlarken açık çevrimde ise sıvı gaz elde edilmesini sağlar.



Şekil 1. Gazların sıvılaştırılması için kullanılan Linde–Hampson soğutma çevrimi.

Şekil 1’de şematik olarak gösterilen Linde–Hampson soğutma çevriminde çok kademeli, ara soğutmalı kompresörde yaklaşık sabit sıcaklıkta yapılan sıkıstırma işleminin ardından soğutma ünitesinden ve ters akışlı rejeneratörden geçirilen gazın ısısı

alınır ve daha sonra kısılma vanasından geçirilerek gazın bir kısmının sıvılaştırılması sağlanır.

Bu yöntemle gazın tamamı sıvılaştırılmamaktadır, sıvılaştırılan kısmı sistemden uzaklaştırılırken sıvılaştırılan miktar kadar gaz sisteme ilave edilir ve tekrar kompresör tarafından emilerek çevrim tamamlanmış olur. Kısılma vanasından önce bulunan rejeneratöre yüksek sıcaklık ve basınçtaki gaz, kısılma işleminden sonra basıncı ve sıcaklığı düşen gaz fazında kalan akışkan ile soğutulur. Böylece yüksek basınçtaki akışkanın daha fazla soğutulması ile daha fazla sıvılaştırma sağlanır ve kompresör tarafından emilen gazın da sıcaklığı yükseltilecek sıkıstırma işleminde hem basıncı daha fazla yükselmesine hem de kompresöre sıvı yürümesinin önlenmesine yardımcı olunur.

Bu yöntem, havanın sıkıstırılarak oksijen, azot ve argon gazlarının sıvılaştırılması için de kullanılır. Sıkıstırılan havanın sıcaklığı artacaktır ve yüksek basınçta soğutma işleminin ardından genişleme (basıncın düşürülmesi) işlemiyle de sıcaklığının düşmesi sağlanır. Genişleme işleminin arttırılmasıyla daha düşük kaynama sıcaklığına sahip helyum gibi gazlar da sıvılaştırılabilir. ■

## ÖZGEÇMİŞ

### İBRAHİM KARACAYLI

1989 yılında Antakya’da doğmuştur. Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden 2012 yılı Mayıs ayında, 2013 yılının Ocak ayında da çift anadal yaptığı Otomotiv Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2015-2018 yılları arasında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamlamış ve 2019 yılında doktora eğitimine başlamıştır.

2013 yılında enerji teknolojileri alanında Tasarım ve Test Uzmanı pozisyonunda iki yıl sürecek olan iş yaşamına başlayan Karacaylı, 2015 yılından bu yana Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi Programında öğretim görevlisi kadrosunda çalışmaktadır.