

soğutma dünyası

•ENDÜSTRİYEL HAVALANDIRMA İKLİMLENDİRME SOĞUTMA KÜMESİ DERGİSİ •ISSN: 1304-1908 / Hakemli Dergi

F-gas

*Frigoduman güvencesiyle
sizlerle!*



Frigoduman

İzmir: 0(232) 469 0 500 İstanbul: 0(212) 237 9 777 www.frigoduman.com.tr

109

NİSAN-MAYIS-HAZİRAN
2025

Yeni
sayımızı
incelemek
için
okutunuz.



S. S. I. A. D.
1900

İSOTERMİK SOĞUTMA GAZI VE İÇİ ARAÇLARI İNŞAATİ

Yayın organıdır.
Üç ayda bir yayımlanır.

MAKALE

MEKANİK SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE SOĞUTKAN YÜKLEME MİKTARININ HESAPLANMASI

Calculation of Refrigerant Charge in Mechanical
Compression-Direct Expansion Refrigeration Systems

Hüseyin BULGURCU
Kadir İSA

Bu makale, 16-19 Nisan 2025 tarihinde gerçekleştirilen 16. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON 2025) kapsamında gerçekleştirilen Soğutma Teknolojileri Sempozyumu'nda sunulmuş ve bildiri kitabında yayınlanmıştır.

HAKEMLER*

A. İbrahim ATILGAN, Dr.
Abdülvahap YİĞİT, Prof. Dr.
Ahmet CAN, Prof. Dr.
Ali GÜNGÖR, Prof. Dr.
Arif HEPBAŞLI, Prof. Dr.
Aytunç EREK, Prof. Dr.
Bedri YÜKSEL, Prof. Dr.
Dilek KUMLUTAŞ, Prof. Dr.
Fırat ÖZDEMİR, Dr. Öğretim Üyesi
Fikret PAZIR, Prof. Dr.
Hüsamettin BULUT, Prof. Dr.
Hüseyin BULGURCU, Doç. Dr.
İlhan Tekin ÖZTÜRK, Prof. Dr.

İsmail KARAÇALI, Prof. Dr.
Kadir İSA, Dr.
M. Barış ÖZERDEM, Prof. Dr.
M. Turhan ÇOBAN, Prof. Dr.
Macit TOKSOY, Prof. Dr.
Mehmet KANOĞLU, Prof. Dr.
Moghtada MOBEDİ, Doç. Dr.
Muhsin KILIÇ, Prof. Dr.
Mustafa ACAR, Prof. Dr.
Olca KINCAY, Prof. Dr.
Orhan BÜYÜKALACA, Prof. Dr.
Özay AKDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi.
Özgür SOLMAZ, Dr. Öğr. Üyesi

Ramazan KÖSE, Prof. Dr.
Rasim KARABACAK, Prof. Dr.
Recep YAMANKARADENİZ, Prof. Dr.
Selami KESLER, Prof. Dr.
Serhan KÜÇÜKA, Prof. Dr.
Tuncay YILMAZ, Prof. Dr.
Turan ERKAN
Utku ŞENTÜRK, Doç. Dr.
Y. Onur DEVRES, Prof. Dr.
Yunus ÇERÇİ, Prof. Dr.

**Alfabetik olarak sıralanmıştır.
Makale/Makaleler, kurolda yer alan ve
değerlendirme yapmak üzere seçilen
hakemler tarafından incelenmiştir.*



HAKEMLİ MAKALE ARŞİVİMİZE
ULAŞMAK İÇİN OKUTUNUZ.

BİLİMSEL MAKALE ARŞİVİMİZE
ULAŞMAK İÇİN OKUTUNUZ.



ÖZET

Mekanik sıkıştırırmalı-doğrudan genleşmeli soğutma sistemleri küresel ölçekte çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlere yapılacak olan soğutkan yükleme (şarj) miktarı sistemin verimli çalışması için çok önemlidir. Fazla ve eksik soğutkan yüklemesi birtakım arızalara ve verimsizliklere neden olmaktadır. Mekanik soğutma sistemlerine yapılacak olan soğutkan yükleme miktarları seri üretilen paket cihazlar için daha çok deneysel çalışmalara bağlı olarak belirlendikten sonra kayıt altına alınır. Ancak yeni tasarlanan ticari/endüstriyel soğutma sistemlerinde ve iç/dış ünitesi ayrı (split) olan cihazlarda soğutkan yükleme konusu, üretici firmalar için ciddi bir problemdir. Ayrıca, yeni kullanıma giren alternatif soğutkanlarda bu konu daha karmaşıktır. Bu alanda literatürde çok az çalışma yapılmıştır. Bu incelemede, soğutkan miktarını; buharlaşma/yoğuşma sıcaklıklarına, aşırı soğutma/kızgınlık derecelerine, soğutma kapasitesine, boru hattı uzunluklarına, kullanılan sistem aksesuarlarına ve soğutkan cinsine bağlı olarak hesaplayabilen bir modül geliştirilmiştir. Bu modülün sahadaki uygulamalara uygunlukları test edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Soğutkan yükleme (şarj), yükleme (şarj) miktarı, soğutkan, alternatif soğutkanlar

ABSTRACT

Mechanical compression-direct expansion refrigeration systems are widely used throughout the world. The amount of refrigerant charge in these systems is very important to the efficient operation of the system. Excessive and insufficient refrigerant charge causes a number of malfunctions and inefficiencies. The amount of refrigerant charge to be applied to mechanical refrigeration systems is determined for mass-produced packaged equipment, usually based on experimental studies, and then recorded. However, for newly designed commercial/industrial refrigeration systems and split indoor/outdoor units, refrigerant charge is a serious issue for manufacturers. In addition, this issue is more complex for newly introduced alternative refrigerants. Relatively limited studies has been done in this area of literature. In this study, a module has been developed to calculate the refrigerant charge as a function of evaporating/condensing temperatures, subcooling/superheating, cooling capacity, pipe lengths, system accessories used and refrigerant type. The suitability of this

module for field applications is being tested.

Key Words: Refrigerant charging, Charge amount, Refrigerant, Alternative refrigerants.

1. GİRİŞ

Mekanik buhar sıkıştırırmalı-doğrudan genleşmeli soğutma sistemleri dünyada en yaygın kullanılan soğutma yöntemidir [1]. Sistem ana ve yardımcı elemanlarının piyasadan kolay temin edilebilir olması, montaj ve kurulumunun kolay olması, işletimlerinin nispeten kolay olması ve servis ağlarının yaygın olması, bu sistemlerin çok yaygınlaşmasının nedenleri olarak sıralanabilir.

Mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinde buharı sıkıştırmak için farklı tiplerde kompresörler kullanılır. Bu kompresörler pozitif sıkıştırırmalı (pistonlu, vidalı, rotorlu, spiral) veya kinetik sıkıştırırmalı (santrifüj) tiplerde olabilir. Sıkıştırılan buharı yüksek basınçta yoğuşturmak için hava/su/evaporatif yoğusturucular (kondenser) kullanılır. Yüksek basınçlı sıvıyı alçak basınçta genişletmek (kısmak) için doğrudan genleşmeli sistemlerde termostatik/otomatik/elektronik veya kılcal boru gibi sabit kısma valfleri kullanılır. Amonyak soğutkanının kullanıldığı endüstriyel soğutma/dondurma uygulamalarında soğutucu akışkan akışı evaporatör olarak da kullanılabilen bir sıvı tankındaki soğutkan seviyesi bir mekanik/elektrik kontrollü şamandıralı valflerle yapılır. Bu sistemlere fazla soğutkan kütlesi barındırdıkları için "taşmalı sistemler" adı verilir. Genleştirilmiş/kısılmış kaynar (flaş) haldeki soğutkanı tamamen buhar haline getirmek için zorlanmış havalı/statik havalı veya sıvı soğutan boru-yüzey/boru-kangal tipi evaporatörler kullanılır.

Mekanik buhar sıkıştırma, soğutma çevriminin en yaygın tasarımı olmasına rağmen, başka alternatifler de vardır. Örneğin, absorpsiyonlu soğutma, ısıyı uzaklaştırırken soğutucu buharını emmek için sıvı bir çözültü kullanır, daha sonra sıvının basıncı yükseltilir ve buhar, ısı uygulanarak serbest bırakılır. Buhar yoğunlaştırılır ve sıvı soğutucu, mekanik buhar sıkıştırma sisteminde olduğu gibi buharlaştırılır ve daha sonra çevrim absorpsiyon aşamasına geri döner. Bu sistemin avantajı, absorpsiyonlu bir soğutma sistemini çalıştırmak için gereken enerjinin çoğunun mekanik güç yerine ısı biçiminde sağlanabilmesidir. Bundan dolayı absorpsiyonlu soğutma sistemlerine "ısı tahrikli buhar sıkıştırırmalı sistemleri" adı verilmiştir.



Sistem performansını etkileyen termodinamik performans ve fiziksel özelliklere dayalı soğutkan seçimi de yüksek performanslı etkili bir buhar sıkıştırılmalı soğutma sisteminin tasarımını sağlamak için dikkate alınmalıdır. Açık literatürde buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemleri hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, sistem modifikasyonu ve soğutkan türüne dayalı buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi performansının iyileştirilmesine odaklanmıştır. Ancak, buhar sıkıştırılmalı soğutma sisteminin kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak ve minimum enerji tüketimi elde etmek için hala iyileştirilmesi gerekmektedir [2]. Soğutucu akışkan şarj optimizasyonu üzerine birçok teorik ve deneysel araştırma yürütülmüştür, ancak en iyi ünite performansı için soğutucu akışkanı doğru bir şekilde şarj etmek hala zordur.

Soğutucu akışkan şarjı üzerine yürütülen araştırmalar, soğutucu akışkan şarj miktarını belirleme ve ünite performansını analiz etme konuları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Soğutucu akışkan şarj miktarının tahmin yöntemleri esas olarak boşluk oranı tahminini ve iç kapasite tahminini içerir ve ikincisi genellikle mühendislik hesaplamasında seçilir [1]. İç kapasite tahmini, soğutucu akışkan şarj miktarını sistem bileşenlerinin şarj yüzdesine göre hesaplar ve yüksek ve düşük basınçlı boru hattı ve ısı eşanjörünün soğutucu akışkan şarj miktarının toplanmasının kaba bir sonuç olduğu sonucuna varır. Dahası, homojen model kullanılarak tahmin etmek daha doğrudur ancak uygulanması zor olacak kadar karmaşıktır [2]. Deneysel araştırma, düşük sıcaklıklı taşıma soğutucusunda soğutucu akışkan şarj azalmasının araştırılması gibi, çok noktalı koşul ve hatta yıllık performans yerine yalnızca tek koşul altında yürütülür [3]. Soğuk depolama performans araştırmasında, deneysel kurulum ve matematiksel model oluşturularak yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi soğutma uygulamasında ünitenin termal performansının kapsamlı bir analizi yürütülür, ancak yalnızca giriş ısı transfer sıvısı sıcaklığı ve akış hızı aynı anda ele alınır [4]. Daha az performans değerlendirmesi sorunu hala mevcuttur.

Doğru soğutkan tipinin seçilmesi yanında doğru soğutkan yüklemesinin de sistem performansı üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Eksik veya fazla yükleme arıza durumları olarak kabul edilir ve bu durum soğutma etkinliğini (COP, EER) azaltmakta karbon ayak izini arttırmaktadır.

Gelecekteki soğutma ekipmanlarında yükleme miktarının en aza indirilmesi, soğutma teknolojisi geliştirilmesinde çok önemli bir hedeftir. Yüklemin en aza indirilmesi, ünitenin tüm ömrü boyunca doğrudan soğutucu gaz emisyonlarının ve soğutma sistemi üretim, taşıma ve servis zincirinin tamamı boyunca üretilen emisyonların azaltılmasına imkân verir. Ek olarak, soğutucu akışkan şarjının azaltılması, düşük bir birim maliyeti ve yanıcılık veya zehirlilik gibi zararlı özelliklere sahip soğutucu akışkanlar olması durumunda daha az risk anlamına gelir [7].

Soğutkan yükleme miktarının karşılaştırması için tipik bir değer, özgül şarj, yani şarj (gram) ve soğutma kapasitesi (kW) arasındaki orandır. Farklı uygulamalar ve soğutucular için bu parametrenin bir incelemesi Poggi ve ark. [8] tarafından yapılmıştır. Özgül yükleme değeri öncelikle, soğutkan devresine ve ısı değiştiricilerinde belirli bir tasarım gerektirecek olan uygulamaya bağlıdır ancak aynı zamanda yoğunluk, molekülün kendine özgü bir özelliği olduğundan, kullanılan soğutkana da büyük ölçüde bağlıdır. Hidrokarbonlar gibi düşük yoğunluklu soğutucular düşük rakamlara yol açacaktır. HCFC'leri ve HFC'leri kullanan soğutma sistemleri için özgül şarj değerleri, küçük soğutma sistemleri için 200 ila 800 g/kW arasında ve daha büyük sistemler için yaklaşık 2000 g/kW arasındadır. Bu çalışma, asgari şarjların geçmişteki tasarımlar için tasarım kriteri olmadığını kanıtlayan değerlerin çok yüksek bir dağılımını göstermektedir. Şimdiye kadar, asgari şarj ekipmanı geliştirmeyi amaçlayan araştırmalar, temel olarak doğal akışkanlar üzerine yoğunlaşarak, potansiyel ani bir soğutkan salınımıyla ilişkili oluşabilecek riski en aza indirmeye çalışıyordu (örneğin, Cavallini [9], Primal [10], Corberan [7] ve Hrnjak [11]). Elde edilen minimum değerler propan için yaklaşık 30 g/kW ve amonyak için 20 g/kW civarındadır. Bu durum, soğutkan şarjını en aza indirmenin tasarım gerekliliklerinin bir parçası olması durumunda, soğutkan şarjında önemli bir azalmanın mümkün olduğunu kanıtlar. HFC'lerin yoğunluğunun propanın yaklaşık iki katı olduğu göz önüne alındığında, yaklaşık 60 g/kW özgül şarjlı tasarımların bu sentetik soğutucu akışkanlar için uygun olduğu anlamına gelir.

Bu çalışmada mekanik sıkıştırılmalı-doğrudan genleşmeli soğutma sistemlerinde kapasiteye, soğutkan miktarına, sistem üzerindeki temel ve yardımcı elemanların türüne, boyutlarına bağlı olarak yükleme miktarını hesaplayabilen bir hesaplama sayfası geliştirilmiş olup soğuk depo üreticisi iki firma üzerinde saha testleri yapılmıştır.



2. İKLİMLENDİRME-SOĞUTMA UYGULAMALARI İÇİN KULLANILAN SOĞUTKANLAR

İklimlendirme-soğutma uygulamalarında çalışma akışkanı (soğutkan) seçimleri buharlaşma/yoğuşma basınç-sıcaklık rejimlerine göre yapılır. Bu çalışma rejimleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Çok yüksek sıcaklık ısı pompaları (100°C/160°C arası)
- Yüksek sıcaklık ısı pompaları (80°C/100°C arası)
- Isı pompaları (0°C/80°C arası)
- İklimlendirme (0°C/40°C arası)
- Ticari soğutma (-10°C/0°C arası)
- Derin dondurma (-18°C/-25°C arası)
- Şoklama (-30°C/-40°C arası)
- Kaskad ve oto-kaskad uygulamaları (-70°C/-85°C arası)
- Kriyojenik uygulamalar (-78°C/-250°C arası)

En yüksek basınç/sıcaklık kademesine sahip sistemler, çok yüksek sıcaklık ısı pompalarıdır. Ancak soğutma sistemlerinde soğutma (buharlaşma) basıncı/sıcaklığı referans alınırken ısı pompalarında ısıtma (yoğuşma) basıncı/sıcaklığı referans alınır.

En düşük yoğuşma/buharlaşma basınçlarına sahip sistemler kaskad ve oto-kaskad sistemlerdeki alçak basınç tarafıdır. Burada R23, R508A ve R508B soğutkanları kullanılır. Kaskad sistemlerin yüksek basınç tarafında ise R404A veya onun alternatifleri kullanılabilir:

- Çok yüksek sıcaklık ısı pompalarında çift kademeli ve/veya kaskad çevrimler yaygın olarak kullanılır. Soğutkan olarak R1333mzz(E), R1336mzz(Z), R1224yd(Z), R600a, R1233zd(E), R1234ze(Z), R744/R152a (kaskad çevrimlerde) akışkanları tercih edilir.
- Yüksek sıcaklık ısı pompalarında R123, R245fa, R236fa, R1234ze(Z), R1336mzz(Z), R1233zd(E), R1224yd(Z) akışkanları kullanılır.
- Isı pompaları için R134a, R410A, R452B, R32, R744, R290, R1234yf, R1234ze(E), R454B ve R454C soğutkanları yaygın olarak kullanılır.
- Bireysel ve ticari iklimlendirme uygulamalarında R407C, R410A, R417A, R422D ve R32 gibi yüksek basınçlı soğutkanlar kullanılır. Bu akışkanlar aynı zamanda su soğutma gruplarında da (chiller) kullanılabilir.
- Ticari soğutma uygulamalarında R454C, R448A, R455A, R449A, R471A, R134a, R513A, R452A, R290 (propan) gibi akışkanlar kullanılır.

- Derin dondurma sistemlerinde R507A, R472B, R472A, R439A ve R717 (amonyak) akışkanları kullanılabilir. Ancak amonyak kaçaklarının zehirli olması nedeniyle gıda sektöründe doğrudan kullanımı uygun değildir. Glikollü dolaylı (sekonder) sistemlerle birlikte kullanılabilir.
- Şoklama uygulamalarında derin dondurucu sistemlerindeki akışkanlar çift kademe sıkıştırılarak ortam sıcaklıkları -35°C'lere kadar düşürülebilir.
- Kriyojenik uygulamalarında sıvı azot (R728) ve sıvı karbondioksit (R744) kullanılır. Bu gazlar bir çevrim yerine doğrudan atmosfer basıncına genleştirilerek soğutma yapılır.

3. SOĞUTKAN YÜKLEME İÇİN KULLANILAN GELENEKSEL YÖNTEMLER

Bir soğutma sistemine soğutkan eklenmesi söz konusu olduğunda, bir teknisyenin gereken doğru miktarı belirlemek için kullanılabileceği birkaç farklı yöntem vardır. Bunlar:

- Tartı kullanma (önceden dolum miktarı belirlenmiş olmalıdır).
- Kızgınlığa göre soğutkan yükleme
- Yoğuşma ve buharlaşma basınçlarını izleyerek yükleme
- Kompresör akımını ölçerek yükleme
- Hesaplayarak yükleme

Tercih edilen yöntem tipik olarak sistemin tipine bağlı olacaktır; örneğin, küçük bir buzdolabı için seçilen yöntem, tipik olarak büyük bir soğuk depo için olandan farklıdır. Genleşme cihazının türü (kılcal veya TGV) ve boru tesisatı düzenlemesi (ayrık veya monoblok) da en iyi yöntemin belirlenmesinde önemli faktörler olacaktır.



Şekil 1. Soğutkan yüklemesinin terazi ile yapılması

Küçük bir kılcal borulu soğutma sistemine soğutkan eklerken genellikle en iyi yöntem şarjı tartmaktır (Şekil 1). Tek yöntem olmayabilir, ancak bu sistemlere doğru miktarda soğutkan eklemenin kesinlikle doğru bir yoldur. Ancak seri üretime sahip sistemlerde şarj miktarının daha önceden etiketinde belirtilmiş olması gereklidir.

Bağımsız sistemler, normalde sistem kurulduğunda fabrikada tartılan soğutkan miktarını etiketlerinde belirtirler. Bu sistemleri doğru şekilde şarj etmek için üretici ile aynı miktarda soğutkan eklemeniz yeterlidir. Bu yöntemi kullanırken, sistem boşaltılmış (vakum) olmalıdır, bu nedenle sisteme soğutkan ilavesi yapmak istenirse, verimli olmaz. Sistemde bir miktar soğutkan varsa, onu geri kazanmak, sistemi tahliye etmek (vakumlama) ve ardından soğutkanı tartmak gerekir. Soğutkan şarjını tamamlamaktan daha fazla zaman alan bir yöntemdir, ancak kesinlikle daha doğrudur [12].

Kızgınlığa göre soğutkan şarjında evaporatöre verilen akışkan miktarı kızgınlık değerine göre verilir. İdeal kızgınlık değerinin 3-8°C aralığında olması gerekir. Ancak bu yükleme yöntemi genişleme valfinin kızgınlık ayarı daha önceden yapılmış olan sistemler için uygundur. Yeni tesis edilen sistemlerde kızgınlık ayarını yapabilmek için buharlaştırıcı/yoğuşturucu basınçlarının iç/dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak ısı dengeye ulaşmış ve kararlı hale gelmiş olması gerekir.

Yoğuşma ve buharlaşma basınçlarını izleyerek soğutkan yüklemesinde iç ünite (buharlaştırıcı) tasarım sıcaklığına, dış hava sıcaklığına bağlı yoğuşma sıcaklık/basıncına bakmak gereklidir. Örnek olarak -18°C iç ortam sıcaklığı ve 30°C dış ortam sıcaklığında çalışan R404A soğutkanlı bir soğuk depoda iç ortam sıcaklığı ile buharlaşma sıcaklığı arasındaki fark 6°C alınırsa buharlaşma sıcaklığı -24°C ve bu sıcaklıkta buharlaşma basıncı tablodan 257 kPa (2,57 bar) bulunur. Yoğuşma sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki fark tasarıma bağlı olarak 8-14°C arasında değişebilir. Biz bu farkı 12°C kabul edersek yoğuşma sıcaklığı 30+12=42°C olacaktır. Bu sıcaklık için yoğuşturucu doyma basıncı tablosundan 1904 kPa (19,04 bar) bulunur. Sistemin normal yüklerde bu basınçlarda çalışması gerekir.

Küçük kapasiteli bireysel iklimlendirme cihazları ve ev tipi soğutucu/dondurucularda kompresörün çektiği akımdan yararlanılabilir. Çünkü bu sistemlerde kompresör üzerindeki iğneli supaplı servis valfinden ancak emme hattı basıncı okunabilir. Bu yöntemde kompresör etiketinde anma (nominal) kompresör akımlarının yazılı olması gerekir. Soğutkan miktarını belirlemek için kompresör akımını ölçmenin sakıncaları [13]:

- Yaz aylarında yükün artmasıyla akımın artması
- Kış aylarında yükün azalmasıyla akımın azalması
- Kirli filtreler.

- Motor yataklarının aşınması ve yıpranması
- Şebeke voltajı çok düşük olması
- Şebeke voltajı çok yüksek olması.

Hesaplayarak yükleme yaklaşımı yeni tesis edilen iklimlendirme/soğutma sistemleri için uygulanabilir. Bu yöntemde sistem üzerindeki sıvı deposu, filtre-kurutucu, sıvı ve emme hattı, emiş aküsü gibi elemanların boyutlarının bilinmesi gerekir. Bu konuda internette bazı ücretli/ücretsiz yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımlardan biri Trakref'tir [14] (Şekil 2). Bir diğeri SCM Charge Calculator yazılımıdır [15] ve yağ şarj miktarını da hesaplamaktadır (Şekil 3).

A2L sınıfı soğutkanlar için yükleme miktarını hesaplayan bir diğer yazılım "Copeland Refrigerant Charge Calculation V02" yazılımıdır (Şekil 4). Bu yazılım/hesap makinesi, EN378-1'in C ekine göre soğutma sistemleri ve/veya ısı pompası sistemlerinin konumları, uygulama tipi ve erişilebilirlik sınıfları ile ilgili olarak soğutkan şarj limitlerini hesaplamaya çalışır.

The image shows the Trakref software interface for refrigerant charging calculation. The form includes fields for Date, Inspection Site, Refrigerant, System Size, and various temperature and pressure inputs. It also features tables for Cross Sectional Area and Copper ACR-Type.

Refrigerant	Input	Calculated Value
R404A	0.0	0.0

System Size	Unit	Value
0.0	Tons	0.0

	Density	Liquid	Vapor
	°F	lbs/ft³	lbs/ft³
Suction Temperature			
Liquid Line Temperature			
Condensing Temperature			

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID
Suction Line OD		
Hot Gas Line OD		
Liquid Line OD		

	Type	ID

CUBO ₂ Smart Refrigerant Charge Calculator V 2.8			
Liquid Receiver model		8 L	
Use & Fill out ONLY the yellow cells			
Pipework	Meters	kg	
LIQUID LINE			
Liquid Line 3/8" (1.20 bar K65)	2	0.09	
Liquid Line 1/2" (1.20 bar K65)	2	0.16	
Liquid Line 1/2" (80 bar K65)	2	0.16	
Sub Total Liquid		0.43	
SUCTION LINE			
Suction Line 3/8" (1.20 bar K65)		0.00	
Suction Line 1/2" (80 bar K65)		0.00	
Suction Line 1/2" (1.20 bar K65)		0.00	
Suction Line 1/2" (80 bar K65)		0.00	
Suction Line 5/8" (1.20 bar K65)		0.00	
Sub Total Suction		0.00	
STANDING CHARGE			
Receiver		2.40	
Gas Cooler		1.30	
Sub Total CUBO		3.70	
EVAPORATORS			
Evap 1	kg's	0.00	
Evap 2	kg's	0.00	
Evap 3	kg's	0.00	
Sub Total Evaps		0.0	
Total Charge (minimum charge is 4kg)	kg	4,13	ok
Pumpdown from E2V MUST BE ≤ 7.2kg for 8L and ≤ 3.5 for 2x2,4L	kg	2,40	ok
Pumpdown from CU Liquid Outlet ≤ 7.2kg for 8L and ≤ 3.5 for 2x2,4L - If not fit ball valves on branch lines	kg	2,83	ok
Additional Oil to Charge (PAG VG100)	ml	266	Oil approved: RENISO PAG100, DAPHNE PZ100S

Şekil 3. SCM CUBO2 Smart Refrigerant Charge Calculator V 2.8 yazılımı [15]

4. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmanın motivasyonu, bu konuda ülkemizde herhangi bir örnek çalışma yapılmamış olmasıydı. Bundan dolayı ülkemizde soğutkan yükleme miktarı her firmanın kendine has geliştirdiği yöntemlere göre yapılmaktadır. Seri üretim yapılan iklimlendirme cihazları, paket soğutma cihazları ve ev tipi soğutucular dışındaki uygulamalarda aynı kapasite için yükleme miktarı firmadan firmaya değişebilmektedir.

Bu çalışmada R134a, R404A, R507A, R407C, R32, R410A, R448A, R449A, R450A, R452A, R454C, R455A, R513A, R1233zd(E), R1234ze, R1234yf, R600a, R290 soğutkanlarının tek kademeli buhar sıkıştırıcı, doğrudan genişlemeli bir soğutma/iklimlendirme çevriminde sistem elemanlarının boyutlarına ve sistem kapasitesine bağlı olarak soğutkan yükleme miktarını hesaplayan bir Excel hesaplama sayfası geliştirilmiştir.

Araç soğutma ve/veya ısı pompası sistemlerinde A2L soğutkanların kullanımıyla ilişkili risklerin tanımlanmasını kolaylaştırmak için tasarlanmıştır ve EN378-1'e göre soğutma sistemleri ve/veya ısı pompası

sistemlerinin vb. işgal edilen alanlarda A2L soğutucu akışkanlar kullanma riskini yönetmek için azaltma önlemleri önerir, çünkü bunlar vaka bazında koşulların gerektirdiği şekilde uyarlanmalıdır [16].

The image shows the Copeland Refrigerant Charge Calculator interface. It includes a 'Location Classification' section with a 3D diagram of a building. The 'Access Category' section shows a diagram of a room with a door. The 'Refrigerant' section shows a table with columns for 'Refrigerant', 'Number of rooms', 'Room dimensions (m)', 'Room 1', 'Room 2', 'Room 3', 'Room 4', 'Room 5', 'Room 6', 'Room 7', 'Room 8', 'Room 9', 'Room 10', 'Room 11', 'Room 12', 'Room 13', 'Room 14', 'Room 15', 'Room 16', 'Room 17', 'Room 18', 'Room 19', 'Room 20'. The 'Refrigerant Charge (kg)' section shows a table with columns for 'Refrigerant', 'Number of rooms', 'Room dimensions (m)', 'Room 1', 'Room 2', 'Room 3', 'Room 4', 'Room 5', 'Room 6', 'Room 7', 'Room 8', 'Room 9', 'Room 10', 'Room 11', 'Room 12', 'Room 13', 'Room 14', 'Room 15', 'Room 16', 'Room 17', 'Room 18', 'Room 19', 'Room 20'. The 'Total Charge' section shows a table with columns for 'Refrigerant', 'Number of rooms', 'Room dimensions (m)', 'Room 1', 'Room 2', 'Room 3', 'Room 4', 'Room 5', 'Room 6', 'Room 7', 'Room 8', 'Room 9', 'Room 10', 'Room 11', 'Room 12', 'Room 13', 'Room 14', 'Room 15', 'Room 16', 'Room 17', 'Room 18', 'Room 19', 'Room 20'. The 'Additional Oil to Charge' section shows a table with columns for 'Refrigerant', 'Number of rooms', 'Room dimensions (m)', 'Room 1', 'Room 2', 'Room 3', 'Room 4', 'Room 5', 'Room 6', 'Room 7', 'Room 8', 'Room 9', 'Room 10', 'Room 11', 'Room 12', 'Room 13', 'Room 14', 'Room 15', 'Room 16', 'Room 17', 'Room 18', 'Room 19', 'Room 20'.

Şekil 4. Copeland Soğutkan Yükleme Hesaplayıcısı [16]

Burada seçilen soğutkanların kullanım yerleri ve hangi eski soğutkanın yerine kullanıldıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Soğutma kapasitesi başına soğutkan yükleme miktarları literatürden soğutma elemanlar için aşağıdaki Tablo 2'de önerilmiştir [17]. Bu tabloya göre bu elemanlar için gerekli olan soğutkan miktarları hesaplanmıştır. Emme, basma ve sıvı hatları için hesaplama yönteminde çapa bağlı olarak 1 m uzunluktaki iç hacimler m³ olarak hesaplanmıştır. Bu hacimlerdeki sıvı ve gaz miktarları aşırı soğutma ve kızgınlık değerlerine bağlı olarak tüm soğutkanlar için tablolar halinde hesaplanmıştır. Bu tablolardan soğutkan yoğunlukları elde edilerek boru hatlarındaki soğutkan kütleleri hesaplanmıştır. Emiş hattı akümülatörlerinin %10'unun, sıvı depolarının %30'unun sıvı ile dolu olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 1. Hesaplama da kullanılan soğutkanlar ve kullanım alanları

Alternatif Soğutkan	Küresel Isınma Potansiyeli (KIP)	Eski Nesil Soğutkan	Uygulama Alanı
R134a	1430	R12	Otomotiv iklimlendirmesi, ev tipi soğutucular
R404A	3922	R22	Alçak/Orta sıcaklık soğutma uygulamaları
R507A	3985	R502	Alçak/Orta sıcaklık soğutma uygulamaları
R407C	1774	R22	Soğutma grupları, iklimlendirme uygulamaları
R32	675	R410A	Soğutma grupları, iklimlendirme uygulamaları
R410A	2088	R22	Soğutma grupları, iklimlendirme uygulamaları
R448A	1386	R404A/R507	Alçak/Orta sıcaklık soğutma uygulamaları
R449A	1397	R404A/R507	Alçak/Orta sıcaklık soğutma uygulamaları
R450A	601	R134a	Orta sıcaklık soğutma, Soğutma grupları, Isı pompaları
R452A	2140	R404A/R507	Taşıma soğutma; Hermetik uygulamalar
R454C	148	R404A/R507	Alçak/Orta sıcaklık soğutma uygulamaları, Isı pompaları
R455A	148	R404A/R507, R407C	Alçak/Orta sıcaklık soğutma uygulamaları, Isı pompaları
R513A	631	R134a	Ticari soğutma, Soğutma grupları, Taşıma, Isı pompaları
R1233zd(E)	4,5	R123	Soğutma grupları, Yüksek sıcaklık ısı pompaları
R1234ze(E)	6	R134a	Ticari soğutma, Soğutma grupları, Isı pompaları
R1234yf	4	R134a	Ticari soğutma, Soğutma grupları
R600a	3	R134a	Ev tipi soğutucular
R290	3		Ticari soğutucular, soğutma grupları, ısı pompaları

Tablo 2. Soğutma ana elemanlarında kapasiteye bağlı özgül soğutkan miktarları

Eleman Tipi	kg/kW
Kanatçıklı hava soğutucu evaporatör	0,275
Direkt genleşmeli-Yüzey/boru tipi evaporatör	0,2
Taşmalı-Yüzey/boru tipi evaporatör	0,55
Levha tipi sıvı soğutucu evaporatör	0,4
Hava soğutmalı kondenser	0,135
Su soğutmalı -Yüzey/boru tipi kondenser	0,2
Su soğutmalı -Levha tipi kondenser	0,2
Evaporatif kondenser	0,275
Sarmal (scroll) kompresör	0,02
Pistonlu kompresör	0,05
Rotorlu kompresör	0,03
Vidalı kompresör	0,075
Santrifüj kompresör	0,01

Yukarıda ayrıntıları verilen kabul ve hesaplamalara göre bir Excel hesaplama sayfası geliştirilmiştir. (Şekil 5).

Bu hesaplama sayfasındaki “Girişler” kısmında sistemin buharlaşma/yoğuşma sıcaklıkları, soğutma kapasitesi, boru çapları ve uzunlukları, ana soğutma elemanlarının tipleri, yardımcı elemanlarının ölçüleri gibi seçenekler girilebilmektedir. “Çıkışlar” kısmında ise tüm elemanlardaki soğutkan miktarları, kurulum derecesi, soğutma etkinliği, sistemde dolaşan soğutkan debisi, toplam soğutkan miktarı ve özgül yükleme oranı hesaplanmaktadır.



SOĞUTUCU AKIŞKAN ŞARJ HESABI-02

Hazırlayan Hüseyin BULGURCU
Tarih 20.08.2023

G İ R İ Ş L E R			
Soğutucu akışkan tipi	R404A		(seçin)
Buharlaşma sıcaklığı (Te)	-25	[°C]	(seçin)
Yoğunlaşma sıcaklığı (Tc)	40	[°C]	(seçin)
Kompresör soğutma kapasitesi	6	[kW]	(girin)
Toplam kızgınlık değeri	5	[°C]	(seçin)
Aşırı soğutma sıcaklık farkı	2	[°C]	(seçin)
Sıvı hattı çapı (d _s)	9,5	[mm]	"3/8" [inç]
Sıvı hattı uzunluğu (L _s)	20	[m]	(girin)
Sıvı deposu hacmi (V _{sd})	4	[Litre]	(girin)
Filtre-kurutucu hacmi	0,25	[Litre]	(girin)
Basma hattı çapı	12,7	[mm]	"1/2" [inç]
Basma hattı uzunluğu	1	[m]	(girin)
Yağ ayırıcı hacmi	0	[Litre]	(girin)
Emme hattı çapı	15,9	[mm]	"5/8" [inç]
Emme hattı uzunluğu	20	[m]	(girin)
Emiş akümülatörü hacmi	0	[Litre]	(girin)
Evaporatör tipi:	Kanatçıklı hava soğutucu		(seçin)
Kondenser tipi:	Hava soğutmalı		(seçin)
Kompresör tipi:	Pistonlu		(seçin)

Ç I K I Ş L A R			
Sıvı hattı soğutkan kütlesi	2,9467		
Basma hattı soğutkan kütlesi	0,0028		
Emme hattı soğutkan kütlesi	0,0118		
Kondenser soğutkan kütlesi	0,8100		
Sıvı deposu soğutkan kütlesi	1,2000		[kg]
Filtre-kurutucu soğutkan kütlesi	0,0500		
Evaporatör soğutkan kütlesi	1,6500		
Emme akümülatörü soğutkan kütlesi	0,0000		
Kompresör soğutkan kütlesi	0,3000		
Kuruluk derecesi (X)	46,85		[%]
Soğutma etkinliği (q _e)	87		[kJ/kg]
Sistemde dolaşan soğutkan debisi (m _r)	0,069		[kg/s]
TOPLAM SOĞUTUCU AKIŞKAN	6,971		[kg]
Özgül yükleme oranı	1162		[g/kg]

Şekil 5. Soğutkan yükleme miktarı için geliştirilen Excel hesaplama sayfası

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu hesaplama sayfası alternatif soğutkanlara ait soğutkan yükleme miktarlarını (kg), soğutma etkinlik değerini (kJ/kg), sistemde dolaşan soğutma miktarını (kg/s), seçilen aşırı soğutma miktarına göre genişleme valfinden çıkıştaki soğutkanın kuruluk derecesini (%) ve özgül yükleme oranını dahesaplayabilmektedir.

Bu hesaplama sayfasının bir avantajı açık kodlu olması ve bu sayfayı kullanan firmaların kendi optimum yükleme miktarlarına göre gerekli düzeltmeleri yapabilmeye olanağı sunmasıdır. Çünkü ülkemizde evaporatör/kondenser tasarımları kullanılan üretim yöntemlerinden ve tasarım yazılımlarının farklı olmasından dolayı %30'lara ulaşan kapasite farklılıkları gösterebilmektedir. Ayrıca mekanik genişleme valflerinin seçimi ve kızgınlık ayarları da yaz mevsimine göre yapılmadığı durumlarda besleme hataları ortaya çıkmaktadır.

Bu hesaplama sayfasında sıvı deposu, filtre-kurutucu, uzun sıvı ve emme hatlarının ne kadar soğutkan aldığı da açıkça görülebilmektedir. Özellikle A2L sınıfı düşük yanıcı ve A3 çok yanıcı sınıfındaki soğutkanlar için iç ortamlarda F-Gaz yönetmeliklerince bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Bundan dolayı soğutkan şarj azaltımı için sistemdeki elemanların ne kadar

soğutkan aldıklarının başta bilinmesi düşük şarjlı sistemlerin geliştirilmesi için bir fayda sağlayacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sunmuş olduğumuz ve literatürde atfı yaptığımız benzeri hesaplama sayfaları, iklimlendirme-soğutma alanında faaliyet gösteren üretici firmalar için kullanışlı bir hesaplama aleti olabilir. Yine açık kodlu olması firmaların kendi optimum yükleme (şarj) miktarlarını bulabilmelerine olanak tanımaktadır.

Hesaplama sayfasındaki alternatif soğutkanların hangi uygulamalarda kullanılabileceğinin de verilmiş olması daha bilinçli soğutkan seçimi için yararlı olacaktır. Ancak bu hesaplama yazılımı daha fazla alternatif soğutkanı içermelidir, bu konuda çalışmalarımız devam etmektedir. ■

KAYNAKLAR

- [1] Stoecker, W.F., Air Conditioning and Refrigeration, p.187, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 1981.
[2] Mahmood, R.A. et al., Review of Mechanical Vapor Compression Refrigeration System Part 2: Performance Challenge, Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2021, vol.26, No.3, pp.119-130.

[3] [1] Desheng Xu. Principle and equipment of refrigeration and air conditioning. Profile of Shanghai Jiao Tong University Press, 230, 2006.

[4] [2] Pang W, Liu J, Xu X. A strategy to optimize the charge amount of the mixed refrigerant for the Joule–Thomson cooler. International Journal of Refrigeration, 69 (2016)466–479.

[5] [3] Vaitkus, L, and V Dagilis. Refrigerant charge reduction in low-temperature transport refrigerator with the eutectic plate evaporator. International Journal of Refrigeration, 47(2014)46–57.

[6] [4] Cheng X, Zhai X, Wang R. Thermal performance analysis of a packed bed cold storage unit using composite PCM capsules for high temperature solar cooling application. Applied Thermal Engineering, 100 (2016) 247–255.

[7] Corberan, J. M., Optimal Refrigeration Charge, 3rd IIR Workshop on Refrigerant Charge Reduction in Refrigerating Systems. June 16–17, 2010.

[8] Poggi F., Macchi-Tejeda H., Leducq D., Bontemps A., (2008), Refrigerant charge in refrigerating systems and strategies of charge reduction, International Journal of Refrigeration, Vol. 31: 353–370.

[9] Cavallini, A., Da Riva, E., Del Col, D., (2010), Performance of a large capacity propane heat pump with low charge heat exchangers, International Journal of Refrigeration, Vol. 33, Issue 2: 242–250.

[10] Primal, F., Palm, B., Lundqvist, P., and Granryd, E., (2004), Propane heat pump with low refrigerant charge: design and laboratory tests. International Journal of Refrigeration Vol. 27 (7): 761–773.

[11] Hrnjak, P.S., LITCH, A. D., (2008), Microchannel heat exchangers for charge minimization in aircooled ammonia condensers and chillers, International Journal of Refrigeration, Vol. 31:4, 658–668.

[12] <https://www.achrnews.com/articles/146592-determining-the-correct-refrigerant-charge> (15.11.2024 tarihinde erişildi)

[13] <https://lando-chillers.com/how-to-calculate-your-water-chillers-refrigerant-charge-guide/> (18.11.2024 tarihinde erişildi)

[14] <https://trakref.com/refrigerant-management-software/> (20.11.2024 tarihinde erişildi)

[15] <https://www.scmfrigo.com/cms/wp-content/uploads/2021/10/v1.1-SCM-Charge-Calculator-CUBO2-Plus-Protected.xlsx> (06.12.2024 tarihinde erişildi)

[16] <https://www.copeland.com/en-gb/tools-resources/refrigerant-charge-calculator> (18.12.2024 tarihinde erişildi)

[17] Xinhao Hu, Zhongbin Zhang, Yuchen Yao, and Qing Wang, Experimental Analysis on Refrigerant Charge Optimization for Cold Storage Unit, Procedia Engineering 205 (2017) 1108–1114.

ÖZGEÇMİŞLER

Hüseyin BULGURCU

1962 yılı İzmir-Kınık doğumludur. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1989 yılında Marmara Üniversitesinden Yüksek Lisans, aynı üniversiteden 1994 yılında doktora dereceleri almıştır. 1986–1990 Yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde atölye öğretmeni, 1990–1995 yılları arasında Çankırı MYO’da Öğretim Görevlisi olarak görev yapmıştır. 1995–2012 yılları arasında Balıkesir MYO’da Yardımcı Doçent, 2012–2016 yılları arasında Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Doçent olarak görev yapmıştır. 2016 yılında emekli olmuştur. İklimlendirme/soğutma sektöründeki çeşitli firmalarda danışmanlık, ESSİAD ve SOSİAD yayın komisyonlarında görev yapmaktadır.

Kadir İSA

1962 yılında İstanbul’da doğmuştur. Haydarpaşa Teknik Lisesi Makine Bölümü’nden mezuniyeti sonrası lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimlerini sırasıyla Gazi, İstanbul ve Sakarya Üniversitelerinin makine eğitimi ve makine mühendisliği bölümlerinde tamamlamıştır. YÖK bursu ile 1988–1989 yılları arasında İngiltere ve ABD’de öğretim teknikleri ile iklimlendirme-soğutma alanında teorik ve uygulamalı eğitimler almıştır. Değişik meslek yüksekokullarının iklimlendirme-soğutma programlarında ve makine mühendisliği bölümlerinde iklimlendirme, soğutma, havalandırma ve ısıtma alanlarında öğretim elemanı olarak dersler vermiştir. 2022 yılında Düzce Üniversitesi öğretim üyeliğinden emekli olmuştur. Halen ISKAV, SOSİAD, İSKİD ve ESSİAD’da komisyon üyesi ve İSİB’de danışman olarak faaliyet göstermektedir. İSKİD ile SOSİAD onursal üyesi ve ASHRAE Turkish Chapter kurucu üyesidir.