

**TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARIN TASARIMI VE
KULLANIMINDA DİKKAT EDİLECEK UNSURLARA
GENEL BİR BAKIŞ**

Dr. Buğra ŞENSOY
Fatma Nur ERDOĞMUŞ
Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

yaz
yayınları

Teşhir Tipi Soğutucuların Tasarımı ve Kullanımında Dikkat Edilecek Unsurlara Genel Bir Bakış

Dr. Buğra şENSOY

Fatma Nur ERDOğMUş

Prof. Dr., Mustafa AKTAş

yaz
yayınları
2025

**Teşhir Tipi Soğutucuların Tasarımı ve
Kullanımında Dikkat Edilecek
UNSURLARA GENEL BİR BAKIŞ**

Yazar: Dr. Buğra ŞENSOY, 0000-0002-7350-9540

Fatma Nur ERDOĞMUŞ, 0000-0002-8887-6597

Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ, 0000-0003-1187-5120

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8508-73-4

Ekim 2025 - Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/ AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULAR.....	7
2.1. Kabin türüne göre TTS çeşitleri	8
2.1.1. Açık kabinli TTS	8
2.1.2. Kapalı kabinli TTS.....	9
2.2. Tasarım Türüne Göre TTS Çeşitleri.....	11
2.2.1. Merkezi (remote) tasarımı TTS'ler	11
2.2.2. Doğrudan fişe takılabilir (plug-in) tasarımı TTS'ler	12
2.3. Sıcaklık sınıfına göre TTS çeşitleri	13
3. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ...14	
3.1. Kompresör	16
3.2. Kondenserler (Yoğusturucular)	17
3.3. Kılcal Borular	18
3.4. Evaporatörler (Buharlaştırıcılar).....	19
3.5. Soğutucu akışkanlar	19
3.6. Diğer sistem bileşenleri	20

4. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULAR İÇİN İYİLEŞTİRME	
SÜREÇLERİ.....	22
4.1. Kompresör kullanımı açısından iyileştirme süreçleri ...	24
4.2. Yoğuşma suyu yönetimi ve atık ısı kullanımı açısından iyileştirme süreçleri	26
4.3. Karbon salımı açısından iyileştirme süreçleri.....	30
4.4. İkinci yasa ve sürdürülebilirlik indeksi yönünden iyileştirme süreçleri	32
4.5. Kabin yalıtımı ve hava akışına ilişkin iyileştirme süreçleri	34
4.6. Defrost prosesine ilişkin iyileştirme süreçleri	37
5. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULAR İÇİN İYİLEŞTİRME	
ÖNERİLERİ	41
6. SONUÇLAR	51
KAYNAKÇA	53

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu hızla artarken insanoğlunun hazır gıda tüketimine olan rağbeti de günbegün çoğalmaktadır. Bunun yanında lojistik imkanlarının da gelişmesiyle, insanlar hazır tüketim maddelerine daha kolay ve süratli bir şekilde ulaşabilmektedir. Bu gelişmeler gıda endüstrisinin büyüme ivmesinin hızlanmasını ve ürün gamının genişlemesini de beraberinde getirmektedir. Hazır gıda sektörünün büyüyerek genişlemesi, bu ürünlerin güvenliğini insan sağlığı açısından daha da önemli hâle getirmektedir.

Bu anlamda gıda maddelerinin üretiminden tüketicinin satın alma sürecine kadar soğuk zincir yönetiminin planlı ve etkin bir şekilde işletilmesi elzemdir. Soğuk zincir yönetiminin son aşaması, ürünlerin müşteriye en yakın olduğu, sergileme kısmıdır.

Soğuk zincir uygulamasında belirtilen sergileme aşaması, Teşhir Tipi Soğutucular (TTS) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Ticari soğutucuların bir çeşidi olan TTS'ler; hipermarketler, süpermarketler, mini marketler gibi irili ufaklı tüm toptan ve perakende sektörü için gerekli olup oldukça fazla miktarda kullanılmaktadır.

Gerek perakende sektörünün hızla büyümesine bağlı olarak, mağaza sayısında yaşanan artış gerekse de perakende sektöründe satışa sunulan hazır gıda ürün gamında yaşanan artış, farklı özellikte TTS tasarımlarının oluşmasını zorunlu hale getirmiş, tüm bunlar da yüksek sayıda TTS talebi oluşmasına temel gerekçe oluşturmuştur. Örneęin, Ortakalan tarafından Türkiye için hazırlanan "Perakende Raporu 2025" verilerine göre, 2024 yılı başında 52.259 olan toplam market sayısı, 2024 yılı sonunda 55.737'ye yükselmiştir, raporda son 10 yılda 36.726 market açıldığı belirtilmiştir. Yine aynı raporda 7 yıllık orta vadeli sektör beklentileri doğrultusunda, market sayısında %44'lük bir artış öngörüsü paylaşılmıştır (Marketing Türkiye, 2024).

Bunun yanında, küresel ölçekte artan enerji ihtiyacı, sera gazı emisyonlarının neden olduğu iklim değişikliği ve kaynakların sürdürülebilir kullanımı, enerji kullanımının yoğun olduğu sektörlerde yapısal dönüşümü kaçınılmaz hâle getirmiştir. Bunların başında gelen soğutma sektörü hem yüksek elektrik enerjisi tüketimi hem de florlu sera gazlarının kullanımı nedeniyle çevresel etkileri açısından kritik bir konumda yer almaktadır. Türkiye'de bu dönüşüm sürecinin temel yasal dayanaklarından biri olan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında

Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik (Resmî Gazete, 2008) soğutma sistemlerinde enerji etkinliğini artırmayı ve israfı önlemeyi hedeflemektedir. Bu düzenlemeyi destekleyen Florlu Sera Gazlarına Dair Yönetmelik (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2018), yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip gazların kullanımını sınırlandırarak sektörün iklim üzerindeki etkisini azaltmayı amaçlamaktadır. Türkiye'nin 2021 yılında taraf olduğu Paris İklim Anlaşması ise emisyon azaltım taahhütleri doğrultusunda sektörlerin düşük karbonlu teknolojilere yönelmesini zorunlu kılmıştır (UNFCCC, 2015). Bu bağlamda, Avrupa Birliği mevzuatına uyum kapsamında uygulamaya alınan Eko-Tasarım Direktifi, soğutma ekipmanlarında bulunması gereken minimum enerji performans standartlarını tanımlayarak ürün bazında enerji verimliliğini teşvik etmektedir (European Commission, 2009). Türkiye'nin 2024-2028 yılları arasını kapsayan On İkinci Kalkınma Planı da yeşil dönüşüm, döngüsel ekonomi ve iklim dostu teknolojilere geçişi önceliklendirerek soğutma sektörünün sürdürülebilirlik temelli yeniden yapılanmasına yön vermeyi amaçlamaktadır (T.C. Cumhurbaşkanlığı, 2023).

Süpermarketler de bir ülkenin elektrik enerjisi tüketimine azımsanmayacak miktarda etki etmektedir.

Konuya ilişkin ortaya konulan çalışmalar incelendiğinde; Kauko ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada (2017), dünya genelinde üretilen toplam enerjinin yaklaşık %3-4'ünün süpermarketlerde kullanıldığını ortaya koymuşlardır. Tassou ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2011), Birleşik Krallık'ta bulunan süpermarketlerin enerji tüketiminin ülkenin toplam elektrik tüketiminin, %3-5 arası kaynaklandığını belirtmişlerdir. Arias tarafından (1998), İsveç'te 265 market ile yapılan bir araştırmada, marketlerin ortalama enerji tüketiminin 421 kWh/ m² olduğu, bu rakamın daha büyük marketler için ortalama 326 kWh/ m², daha küçük marketler için ise ortalama 471 kWh/ m² olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında Kosar ve Dumitrescu'nun yapmış olduğu bir çalışmada (2005), gıda dağıtımı ve teşhiri için gerekli olan enerji üretiminin sonucunda oluşan sera gazı emisyonunun; toplam elektrik üretimi sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyonu oranının %7 olduğunu belirtmişlerdir.

Süpermarketlerde meydana gelen enerji tüketiminin ise önemli bir kısmı TTS'lerden kaynaklıdır. Konuya ilişkin ortaya konulan çalışmalar incelendiğinde; Amerika'nın beş farklı iklim bölgesinde yapılan bir çalışmada (2009), süpermarketlerin enerji tüketim verileri incelenmiş;

TTS'lerden kaynaklı enerji tüketiminin, toplam enerji tüketimine oranının %44-67 arasında değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. M.R. Braun ve arkadaşları (2014), İngiltere'nin kuzeyinde orta ölçekli bir süpermarketi referans alarak yapmış oldukları çalışmada, süpermarketin elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %66'sının TTS'lerden kaynaklandığı sonucuna ulaşmıştır. US EPA verilerine göre (2008), süpermarketlerde yılda 50 kWh/ft² enerji tüketilmektedir. Bu da ortalama büyüklükteki bir süpermarket için yılda 2 milyon kWh elektrik enerjisi tüketimine tekabül etmektedir. Bu tüketimin de yaklaşık %40-60 endüstriyel soğutuculardan kaynaklanmaktadır.

Tüm bu gerekçelendirilen sebepler dolayısıyla, TTS sayıları giderek artmaktadır. Böylece gerek ülkelerin gerekse de müteşebbislerin TTS'lerden kaynaklı enerji tüketimi oldukça kritik bir boyuta gelmiştir. Bu bağlamda TTS'lerde çalışma verimini arttıran, olası operasyon kusurlarını minimum düzeye indiren, enerji tüketimini azaltan, ekonomik olarak tercih edilebilir, karbon emisyonunu azaltan bu yönüyle çevreci olan ve yukarıda belirtilen regülasyonlara uyum gösteren tasarımlar oldukça değerli bir hal almıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışma;

- TTS'lerin ulusal enerji tüketimindeki payına ve bu tüketimin oluşturacağı çevresel çıktıları dikkat çekilmesi,
- TTS'lerin çeşitleri ve bunlar içerisinde yer alan sistem bileşenleri hakkında bilgi verilmesi,
- TTS'lerin tasarım parametrelerini değerlendirerek her bir parametre özelinde literatürde yer alan çalışmalardan örnekler sunulması,
- TTS'lerin tasarım parametrelerine etki eden değişkenler hususunda genel bir değerlendirmede bulunulması,
- TTS'lerin etkin ve sorunsuz çalışabilmesi, yüksek verimli ve düşük enerji tüketimine sahip olması, düşük karbon salımına sahip olması, ekonomik olarak tercih edilebilir olması için çeşitli öneriler ortaya konulması

amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULAR

Endüstriyel soğuma sistemleri, büyük ölçekli soğutma ve depolama gerektiren endüstrilerde kullanılır ve kullanım yelpazesi oldukça geniştir. Endüstriyel soğutucular, enerji üretim santrallerinde reaktörlerin soğutulması, ilaç üretim endüstrisi, soğuk hava depoları ve farklı sektörlerde yer alan hemen fabrikada prosese bağlı olarak gerçekleşmesi gereken soğutma sürecinde kullanılır. Endüstriyel soğutucuların bir alt grubu olan ticari soğutucular içerisinde yer alan Teşhir Tipi Soğutucular (TTS) ise başta perakende ve gıda sektörü olmak üzere oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu sistemler, süpermarketlerde, restoranlarda, kafelerde, pastanelerde, kasaplarda, özel amaçlı tasarlanan gıda işletmelerinde vb. çok farklı alanlarda kullanılabilmektedir.

Teşhir Tipi Soğutucular, ortamdaki ısı ve nem dengesini ayarlayarak ticari amaçlı satılan bir ürünün en optimum sıcaklıkta soğutulmasını sağlayan ürün gruplarıdır. Daha önce de bahsedildiği üzere, farklı amaçlarla, farklı kapasitelerde, farklı ortam koşullarında birçok çeşitte gıda maddesinin piyasada olması beraberinde farklı çeşitte TTS'lerin oluşmasına da gerekçe

oluşturmuştur. Bu anlamda Şekil 1.'de görüleceği üzere TTS'ler üç temel başlıkta sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. Teşhir tipi soğutucu türleri

2.1. Kabin türüne göre TTS çeşitleri

Teşhir tipi soğutucular kabin türüne göre açık kabinli ve kapalı kabinli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1. Açık kabinli TTS

Bir ticari ürünün satışı sürecinde, gıda maddesi ile müşteri arasında herhangi bir engelin bulunmadığı, alıcıların ürünü doğrudan görüp ulaşabildiği TTS çeşididir. Ayrıca, açık kabinli TTS'ler yatay, dikey ve yarı-dikey olarak üretilmektedir.

Açık tip TTS'lerde soğutma kabini ile dış ortam arasında hava perdesi bulunmakta ve bu sayede soğutucunun iklimlendirme şartları istenen aralıktaki tutulmaya çalışılmaktadır. Hava perdesi sayesinde, dış ortam havasının soğutucu içerisine doğrudan girişi

engellenmeye çalışılmaktadır. Bu bağlamda açık kabinli TTS'lerin düzgün çalışabilmesi; hava perdesi sayısı, hava perdesi hızı optimizasyonu, perdesinde infiltrasyon dengesi, hava emiş ızgaralarının geometrisi ve konumu gibi değişkenlere bağlıdır.

2.1.2. Kapalı kabinli TTS

Bir ticari ürünün satışı sürecinde, gıda maddesi ile müşteri arasında perde, kapı gibi bir izolasyon malzemesinin bulunduğu TTS çeşididir. Ayrıca kapalı kabinli TTS'ler de yatay, dikey ve yarı-dikey olarak üretilabilmektedir.

Kapalı kabinli TTS'ler, açık kabinli TTS'lerin yüksek enerji tüketimleri ve hava perdesi optimizasyonundaki karmaşıklıklar sebebiyle ortaya çıkmıştır. Fricke and Becker yapmış oldukları çalışmada (2010), açık ve kapalı tip endüstriyel soğutucuların enerji tüketim verilerini kıyaslamış; satış sayısı aynı kalacak şekilde açık kabinli TTS'lerin kapalı kabinli TTS'lere göre %30 daha fazla enerji tükettiği sonucuna ulaşmışlardır. Lindber ve arkadaşları tarafından İsveç'te bir süpermarkette yapılan çalışma sonucunda (2010), TTS'lerin açık kabinliden kapalı kabinliye dönüşümü ile elektrik enerjisi tüketimini %26 azaldığı tespit edilmiştir.

Bunun yanında, TTS'lerde kabin çeşidinin ticari satışlara etkisine ilişkin Ge ve Tassou tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada (2001), kapalı kabinli TTS'lerin daha az enerji tükettiği fakat açık kabinli TTS'lerde ürünlerin daha rahat görülebildiğinden ve ürüne erişim daha kolay olduğundan müşteri davranışları açısından daha fazla tercih edildiği ifade edilmiştir.

Kapalı kabinli TTS'lerin bu dezavantajını ortadan kaldırmak amacıyla soğutucu kapak yüzeyleri yoğuşmayı engelleyen anti-fog film malzeme ile kaplanabilmektedir. Konuya ilişkin FSI Kaplama Teknolojileri adlı bir firma yaptığı çalışmada; -25°C ve %60 bağıl nemde çalışan bir TTS'nin kapağı 180 saniye açık kalsa dahi camında herhangi bir buğulanma olmayan bir anti-fog film geliştirmiştir. Bu film sayesinde hem soğutucunun kompresörünün daha az çalışmasına bağlı olarak ekonomik ömrünün daha uzun olacağından hem de daha az enerji tüketimi meydana geleceğinden kaynaklı, çift yönlü bir kazanımın söz konusu olduğunun altı çizilmiştir. Bahsedilen anti-fog filmin TTS'ye olan etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. TTS'lerde anti-fog film kullanımının yoğuşmaya etkisi (FSI Coating Technologies, 2021)

2.2. Tasarım Türüne Göre TTS Çeşitleri

Teşhir tipi soğutucuların birçok kullanım alanı mevcuttur dolayısıyla bu sistemlerin sektörel bazda karşılaması gereken soğutma yükü kapasitesi ve ihtiyaçları farklılık göstermektedir. Bu nedenle TTS'lerin farklı kriterler ile tasarlanmaları gerekmektedir. Tasarım türü bazında TTS'ler temelde merkezi (remote) ve doğrudan fişe takılabilir (plug-in) olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1. Merkezi (remote) tasarımlı TTS'ler

Büyük soğutma kapasitesi gerektiren durumlar için tasarlanmış TTS çeşididir. Bu tür tasarımlarda, dış ünite ve sistem evaporatörleri birbirlerinden ayrı yerlerde konumlandırılmaktadır. Dış üniteden sağlanan soğutucu

akışkan, boru hatları aracılığıyla TTS kabinlerine iletilerek gerekli soğutma sağlanmaktadır. Bu tip bir sistemin istenilen performansı gösterebilmesi için, sistem talebine yetecek kompresör sayısı ve gücü seçimi oldukça önemlidir. Merkezi tasarımlı TTS'ler özellikle hipermarket ve süpermarketlerde konumlandırılmaktadır.

2.2.2. Doğrudan fişe takılabilir (plug-in) tasarımlı TTS'ler

Plug-in TTS'ler ayrı bir dış üniteye ihtiyaç duymadan, tüm bileşenlerin kabin bünyesine konumlandırılmasıyla tasarlanmaktadır. Soğutma yükü ihtiyacının nispeten daha az olduğu durumlarda kullanılan bu tasarım tipi, piyasada alttan kompresörlü (kompresör, kondenser grubu kabin bünyesine dahil olan) sistemler olarak da isimlendirilmektedir.

Plug-in TTS'lerin avantajları; sızdırmazlık özelliklerinin güçlü olması, özgür hareket ettirilebilme kabiliyetleri, düşük maliyete sahip olmaları ve kolay bakım yapılabilmesine bağlı olarak ekonomik özellik göstermeleridir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajları ise, soğutma sistemindeki kompresörün ısı atımını doğrudan kabin içerisine yapması sebebiyle soğutulan ortamda bir miktar ısınma yaşanması ve halihazırda bir drenaj

sistemine sahip olmadıklardan defrost sonrası oluşan yoğuşma suyunun uzaklaştırılması için ek sistem gereksinimlerine ihtiyaç duyulmasıdır.



Şekil 3. Plug-in TTS'lere ait çeşitli görseller

2.3. Sıcaklık sınıfına göre TTS çeşitleri

Teşhir tipi soğutucular farklı ürün gamındaki ürünlerin soğutulması ya da dondurulmasında kullanıldıklarından, farklı sıcaklık sınır şartlarında çalışmaya ihtiyaç duymaktadır. Örnek verilmesi gerekirse bir süpermarkette; süt ürünleri, et ürünleri, dondurma, meyve-sebze, tatlı gibi ticari ürünlerin tek bir türdeki TTS’de sergilenmesi mümkün değildir. Bu nedenle de TS EN ISO 23953-2:2024 standardı uyarınca, farklı sıcaklık sınıfları tasarlanmıştır. Bu anlamda ilgili standart kapsamında 7 adet standart sıcaklık sınıfının dışında,

spesifik soğutma gereksinimine sahip gıda malzemeleri için de 1 adet özel sıcaklık sınıfı olmak üzere toplam 8 sıcaklık sınıfından bahsedilmektedir. Sıcaklık sınıfları ve bunlara ait sıcaklık sınır değerleri Çizelge 1’de paylaşılmıştır.

Çizelge 1. TTS’lerin sıcaklık sınıfı değerine göre sınıflandırılması (TS EN ISO 23953-2:2024)

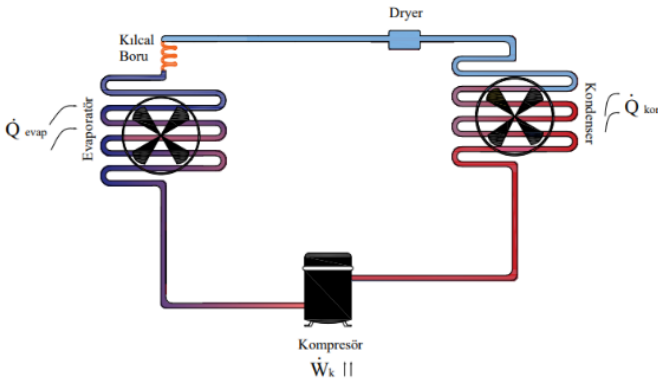
TTS sınıfı	En sıcak M paketinin en yüksek sıcaklığı	En soğuk M paketinin en düşük sıcaklığı	En sıcak M paketinin en düşük sıcaklığı
	(°C)		
L1	-15	-	-18
L2	-12	-	-18
L3	-12	-	-15
M1	+5	-1	-
M2	+7	-1	-
H1	+10	+1	-
H2	+10	-1	-
S	Özel sınıflandırma		

3. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARIN ÇALIŞMA PRENSİBİ

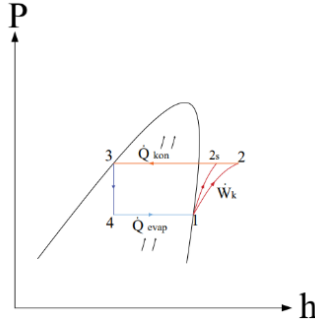
Teşhir tipi soğutucular yaygın olarak mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi prensibine göre çalışmaktadır. TTS’nin temel bileşenleri olan; kompresör, kondenser (yoğusturucu), kılcal boru ya da genişleme vanası ve evaporatör (buharlaştırıcı) birbirine, ihtiyaç dahilinde

oluşturulan tasarım uyarınca, bakır borular ile bağlanarak kapalı bir sistem oluşturur. Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine ilişkin temsili görsel ile log P-h diyagramı Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.

Kompresör, düşük basınçlı gaz fazındaki soğutucu akışkanı sıkıştırarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaştırır (1-2). Kompresörden çıkan kızgın buhar, kondenserde çevreye ısı vererek yoğuşur (2-3). Bu aşamada soğutucu akışkan, yüksek basınçlı sıvı haline dönüşür. Ardından genleşme elemanından (kılcal boru) geçerek basıncı düşer ve düşük sıcaklıkta kısmi buharlaşma gerçekleşir (3-4). Düşük basınçlı soğutucu akışkan, evaporatöre girerek çevreden ısı çeker ve tekrar gaz fazına geçer (4-1). Bu süreç çevrim olarak tekrarlanır.



Şekil 4. Mekanik buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi ve log P-h diyagramı



Şekil 5. Log P-h diyagramı

3.1. Kompresör

Kompresörler, mekanik buhar sıkıştırırmalı soğutma çevriminde soğutkanın, hacmini düşürerek basıncını arttırmak suretiyle, sistemde dolaşımını sağlayan en temel sistem bileşenlerinin başında gelmektedir.

Teşhir tipi soğutucularda soğutma yükü ihtiyaçlarına göre; hermetik, yarı hermetik, scroll, vidalı tip kompresörler kullanımı oldukça yaygındır. Sistemin en temel ve en çok enerji tüketen bileşeni olduğundan, bir sistemde etkin soğutma yapılabilmesi için ve âtil enerji ortaya çıkmaması için doğru kompresör seçimi son derece önemlidir.

3.2. Kondenserler (Yoğuşturucular)

Kondenserler, kompresörden çıkan yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın buhar halindeki soğutkanın, çevreye ısı vererek sıvı faza dönüştüğü sistem elemanlarıdır.

TTS'lerde finli ve boru demetli kondenser tipleri tercih edilmektedir. Söz konusu kondenserler; bakır, çelik veya alüminyum gibi iletkenliği yüksek malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Genellikle bakır kondenserler yuvarlak profil şeklinde, alüminyum kondenserler ise kanatçıklı yapı formunda imal edilmektedir. Yapılan güncel araştırmalarda mikrokanal yapıdaki kondenser tasarımları dikkat çekmektedir. Kanatçıklı yapıları sayesinde geniş bir ısı transfer yüzey alanına sahip olan mikrokanal yapıları kondenserler, klasik finli ve boru demetli modellere kıyasla daha yüksek verimlilik sunmakta ve daha estetik bir görünüme sahiplerdir.

Kondenserlerle ilgili dikkat edilmesi gereken bir husus, TTS'nin çalışacağı sektör ve ortam koşullarına uygun şekilde tasarlanmasıdır. Çevresel şartlara uygun tasarım ve düzenli sistem temizliği, kondenserin kapasitesinin nominal değerlerde kullanılmasını mümkün kılacaktır.

TTS'lerde dikkat çeken bir diğer tasarım yaklaşımı ise dinamik kondenzasyon uygulamalarıdır. Bu tasarım, kondenzasyon koşullarının mevsimsel değişimine bağlı olarak, özellikle mevsim geçişlerinde, kompresörün daha az enerji tüketmesine olanak tanımaktadır.

3.3. Kılcal Borular

Kılcal borular, mekanik buhar sıkıştırmalı soğutma çevriminde, kondenser çıkışındaki soğutkanın evaporatör girişi değerine uygun şekilde basıncını düşürmek için kullanılan sistem elemanlarıdır. Bir anlamda, sıvı hale gelmiş olan soğutucu akışkanın genişlemesini sağlayarak akışın dengelenmesini sağlarlar. Ayrıca, evaporasyon işleminin başlaması ve ortam soğutma sürecini başlatan önemli bir temel bileşendir. Bazı TTS'lerde kılcal borular yerine genişleme valfleri de kullanılabilir.

Teşhir tipi soğutucularda kılcal borunun özellikleri, verimli bir soğutma sağlamak ve sistemin uzun süreli dayanıklılığını garanti etmek için kritik öneme sahiptir. Bu elemanda doğru çap, uzunluk, malzeme seçimi ve tasarım, kullanılan soğutkana uyum gibi parametreler TTS performansını doğrudan etkiler.

3.4. Evaporatörler (Buharlaştırıcılar)

Evaporatörler, soğutkanın çevreden ısı çekerek buhar fazına geçmesini sağlayan temel sistem bileşenleridir. Evaporatörler sayesinde, fiziksel olarak ortamda soğumanın doğrudan hissedilmesi sağlanmaktadır. Bunun nedeni, evaporatörün çalışması sırasında ortamdan ısı çekmesiyle ortamın enerjisinin azalması ve buna bağlı olarak sıcaklığın düşmesidir. Ortam havası, sahip olduğu ısı enerjisini soğutucu akışkana aktararak bu süreci gerçekleştirir.

Soğutulacak ortamın fiziksel koşullarına bağlı olarak farklı evaporatör tasarımları geliştirilmiştir. Bu tasarımlar arasında çıplak borulu, levhalı, spiral borulu, gövde borulu ve kanatlı tip evaporatörler gibi çeşitli türler yer almaktadır. Teşhir tipi soğutucularda genellikle borulu-kanatlı evaporatörler tercih edilmektedir.

3.5. Soğutucu akışkanlar

Soğutucu akışkan, TTS'lerde ısı transferini sağlayarak, buharlaşma ve yoğuşma süreçlerinin oluşmasında temel görev üstlenen bileşendir. Şekil 4.'te yer alan görselde görülememesine karşın çevreye ısı atımı ve çevreden ısı çekimi işlemlerini yürüterek iklimlendirme ve soğutma süreci için olmazsa olmazdır. Teşhir tipi

soğutucuların; yüksek performans göstermesi, enerji verimliliğinin yüksek olması, ekonomik olması, çevreci olması ve yapılan uluslararası çevresel regülasyonlara uyum göstermesi, güvenlik sınıflarının belirlenmesi gibi başlıkların her birinin değerlendirilmesi sürecinde, soğutucu akışkanın dikkate alınması gerekmektedir.

Bu anlamda seçimi TTS tasarımında seçimi gerçekleştirilecek olan soğutucu akışkanın; buharlaşma gizli ısısı, ısı transfer kabiliyeti yüksek, yoğuşma basıncı, donma sıcaklığı, viskozitesi düşük olmalıdır (CED Engineering, 2023). Ayrıca soğutkan di-elektrik, ekonomik, temini kolay ve çevresel olmalıyken, korozyon etkilere sahip olmamalıdır. Bu bağlamda KIP-OTP değerleri düşük olmalıdır. Soğutucu akışkan TTS bileşenleri ile uyumlu olmalı fakat aktif bir reaksiyona girmemelidir.

3.6. Diğer sistem bileşenleri

TTS'ler birçok ekipmanı bünyesinde bulunduran teçhizatlardır. Özellikle, temel bileşenlere yardımcı olarak görev yapan fanlar ve aydınlatma ekipmanları TTS'lerin etkin, verimli çalışabilmesi, estetik görünümü gibi hususlar için önemlidir. Bunun yanında enerji verimliliği açısından bir diğer önemli sistem bileşeni de yalıtım malzemeleridir.

TTS'lerde konumlandırılan fanlar, ısı değıştirciler olan evaporatör ve kondenserler için ayrı ayrı kullanılmaktadır. Soğutulan havanın kabin içersine düzgün ve homojen dağıtımı açısından evaporatör fanları, oluşan atık ısının değerlendirilmesi ve soğutma sürecini olumsuz yönden etkilememesi için ise kondenser fanları oldukça kritik görevler üstlenmektedir. TTS'lerde kullanılan fanlar dönüş yönüne göre; radyal ve eksenel, akım beslenme yapısına göre alternatif akım ve doğru akım fanları, teknolojisine göre ise; sabit devirli ve değışken devirli olarak tasarımın ihtiyacı ve gerekliliğı doğrultusunda kullanılabilmektedir.

TTS'lerde ticari ürünlerin üzerindeki yazıların net bir şekilde okunabilmesi, ürünlerin estetik görünerek dikkat çekmesi ve albeni yaratması da ticari olarak değerlidir. Bu anlamda, TTS'lerin aydınlatma sistemi tasarımları oldukça değerlidir. TTS'lerde temel olarak; floresanlı ve LED'li aydınlatma tasarımları mevcuttur. Son zamanlarda TTS tasarımlarında; daha estetik bir görüntüye sahip olması, daha verimli olarak daha az enerji sarfiyatı oluşturması, daha uzun süre dayanım göstermesi ve daha etkin aydınlatma gerçekleştirdiğı için çoğunlukla LED ışıık kaynaklı aydınlatma sistemleri tercih edilmektedir.

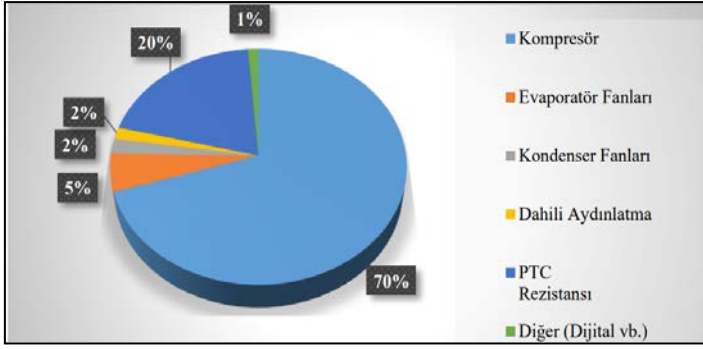
Soğutulan havanın çevreden iyi bir şekilde izole edilmesi de oldukça önemlidir. Bu sebeple TTS tasarımlarında, kabin yalıtımının etkin bir şekilde yapılması enerjinin verimli kullanımını doğrudan etkilemektedir. TTS kabinlerinin yalıtımında, sıklıkla poliüretan köpük malzemeler ya da vakum yalıtım panelleri (VYP) kullanılmaktadır. VYP'ler içerisinde hiç hava olmayan vakumlu bir ortam yarattığı için, ısı iletimini neredeyse tamamen engeller (Tosun vd., 2023). Bu da onları diğer yalıtım malzemelerinden daha etkin kılmaktadır. TTS'ler gibi sıcaklık kontrollü uygulamalar için enerji verimliliği açısından oldukça tercih edilebilir bir hal alan VYP'ler diğer yalıtım malzemelerine göre daha ince yapıda olduklarından alan kazanımı açısından da ön plana çıkarak, soğutma kabinin iç hacimlerinin daha yüksek olmasına da imkân sağlamaktadır.

4. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULAR İÇİN İYİLEŞTİRME SÜREÇLERİ

Daha önce bahsedildiği üzere, teşhir tipi soğutucular özellikle gıda perakende sektöründe oldukça yoğun kullanım ağına sahip cihazlardır. Bu cihazlarda sağlanabilecek iyileştirmeler; ürünlerin satış, pazarlama ve

ihracat süreçleri açısından üreticilerin, faturalarının azaltılması, alan kazanımı ve estetik görüntü açısından müteşebbislerin, enerji tüketim miktarlarının azaltılması bakımından ülkelerin buna bağlı olarak doğrudan ya da dolaylı karbon emisyonlarının azaltılarak daha çevreci ve sürdürülebilir süreçlerin işletilmesi hususunda ise tüm insanlığın faydasına olacaktır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, bahsedilen iyileştirme süreçleriyle alakalı olarak literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir.

Teşhir tipi soğutucuların iyileştirme süreçlerinin en başında enerji tüketim miktarlarının azaltılması gelmektedir. Gerek literatürdeki akademik çalışmalar gerekse de yazarların daha önceki çalışmaları ve sektörde elde ettiği tecrübeler; TTS'lerde özellikle kompresör ve su yönetimine ilişkin gerçekleştirilen iyileştirmelerin sistemin enerji tüketim miktarını azalttığını göstermektedir. Buna ilişkin örnek veri, Deniz ve arkadaşları tarafından (2023), TTS sistem komponentlerinin enerji tüketim miktarları yüzdesel olarak gerçekleştirildiği ve Şekil 6.'da ki gibi dağılım gösteren bir çalışmada da görülmektedir.



Şekil 6. Örnek bir TTS'de enerji tüketimi dağılımı (Deniz vd., 2023)

4.1. Kompresör kullanımı açısından iyileştirme süreçleri

Teşhir tipi soğutucuların enerji tüketiminin en büyük payı kompresörlere aittir. Öyle ki kompresörler, özellikle süpermarketlerdeki TTS'lerin tükettiği elektrik enerjisinin yaklaşık %60'undan, süpermarketin tüm elektrik ihtiyacının da yaklaşık %30'undan tek başlarına sorumludur.

Kompresörlerin enerji tüketim davranışı iyileştirmelerinin en başında kompresör teknolojisi ve devir kontrolü çalışmaları gelmektedir.

Park ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada (2002), lineer tip kompresörlerin, döner pistonlu endüksiyon motorlu kompresörlere kıyasla %20-30 daha verimli çalıştığı sonucuna varılmıştır. Bijanzad ve arkadaşları

(2017), bir soğutma sistemi için geliştirdikleri yağ gerektirmeyen lineer bir kompresörde değerinde %85 motor verimliliğine ulaşmışlardır. Kuang Liang (2018), yüksek basınç oranları ile çalışabilen yağ gerektirmeyen bir kompresör tasarımı çalışması sonucu kompresör motor verimini %90'a kadar çıktığını belirtmiştir.

Mastrullo ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada (2015), kompresör başlangıçta nominal kapasitesinin %70-100'ü arasında bir aralıkta çalıştırılmış; sonrasında, araştırmacılar tarafından uygulanan yazılımsal bir devir kontrol iyileştirmesi sayesinde enerji tüketiminin %12-60 azaldığı gözlemlenmiştir. Kasera ve arkadaşlarının (2020) gerçekleştirdiği çalışmada, kompresörün sürekli olarak sabit ve maksimum devirde çalışması durumunda 210,9 Wh enerji tükettiği, buna karşılık değişken devirle çalıştırıldığında enerji tüketiminin 162,5 Wh'ye düştüğü belirlenmiştir. Ekren ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada (2019), sabit devirli ve değişken devirli kompresörler karşılaştırılmış; sonuç olarak, değişken devirli kompresör kullanımının enerji tüketimini yaklaşık %4 azalttığı ve bu azalma sayesinde COP değerinde %7'lik bir artış sağlandığı tespit edilmiştir.

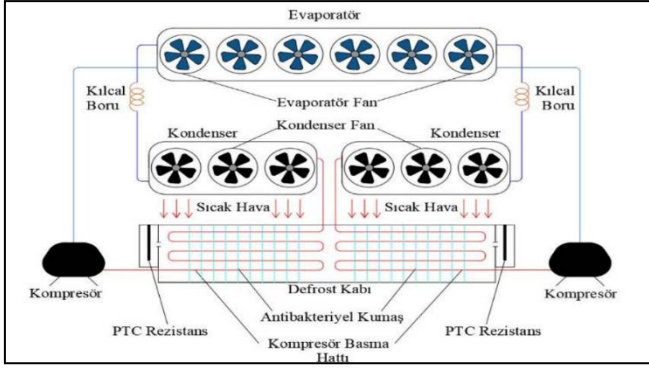
Sistemde kompresör verimliliğini arttırabilecek bir diğer unsur da kompresör basıncının buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basıncıyla uyumluluk göstermesidir. Ge ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bir çalışmada (2000), kompresör emme hattı basıncındaki değişimlere bağlı olarak basıncın ayarlanmasının, sabit basınçla çalışmaya kıyasla enerji verimliliğine %20-30 katkı sağlayabileceği ortaya konulmuştur. Kompresör basma hattı basıncının kontrol edilmesinin, enerji verimliliği sürecine yaklaşık %10 katkı sağlayabileceği belirtilmiştir.

4.2. Yoğuşma suyu yönetimi ve atık ısı kullanımı açısından iyileştirme süreçleri

Çalışmanın ikinci kısımda ifade edildiği üzere, teşhir tipi soğutucuların bir çeşidi de plug-in TTS'lerdir. Plug-in TTS'lerde dâhili bir drenaj yolu bulunmadığından, defrost sonrası oluşan yoğuşma suyu pozitif sıcaklık katsayısı (PTC) etkili elektrik rezistansı ile ortamdan uzaklaştırılmaktadır. Oluşan bu suyun uzaklaştırılması esnasında elektrik rezistansı yoğun bir enerji tüketimi gerçekleştirmektedir. Ayrıca, TTS'nin yoğuşma tavası adı verilen kısmına akan yoğuşma suyu, bazı durumlarda tava dışına taşma yaparak, TTS'nin bulunduğu alanın zemininde birikmekte, bu durum da operasyon anında

sorunlara sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda, yoğuşma suyunun yönetimi hem enerji tüketimi hem operasyonel süreçlerin kolaylaştırılması hem de hijyen açısından oldukça önemlidir.

Bu bağlamda literatürde konuya ilişkin gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Wang ve arkadaşları (2024), kompresör basma hattı borularını yoğuşma tavası içerisinden geçirdikleri çalışmada, yoğuşma suyunun ortamdan uzaklaştırılma süresi ve yoğuşma tavası verimi hesabı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yüksek yoğuşma tavası verimi daha etkin bir ısı transferi sürecini beraberinde getirmiş, çalışma sonucunda elde edilen verilere göre TTS'nin COP değeri %5,80'e kadar artış göstermiştir. Deniz ve arkadaşları tarafından (2023) gerçekleştirilen çalışmada, plug-in bir TTS'de yoğuşma suyunun uzaklaştırılmasında doğrudan elektrik rezistansı kullanılan bir tasarımda, Şekil 7.'de tasarımı şeması sunulduğu üzere, araştırmacılar kompresörün basma hattı borularını yoğuşma tavaından geçirmiş ve boru hattına kanatçıklar eklenmiştir. Çalışma sonucunda elektrik rezistansı TTS'nin toplam enerji tüketiminin %20'sinden sorumlu iken bu oran %2'ye düşürülmüştür.

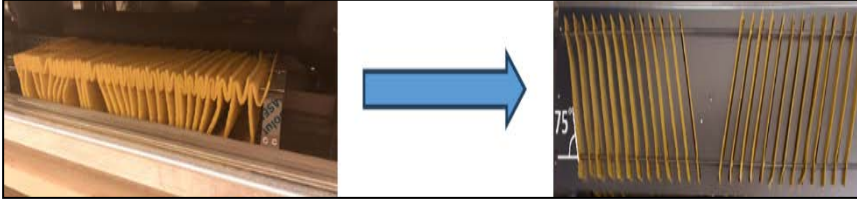


Şekil 7. TTS soğutma çevrimine ilişkin geliştirilen tasarımı
(Deniz vd., 2023)

Aktaş ve arkadaşları (2024), plug-in bir TTS’de kondenser atık ısınını swirl difüzör kullanılarak yoğuşma tavaasına yönlendirmişlerdir. Çalışmada yoğuşa suyu uzaklaştırılması noktasında, elektrik rezistansın kullanımına gerek dahi kalmamış ve sistemin enerji tüketimi %21,5 azaltılarak, TTS’nin enerji sınıfı D’den C’ye iyileştirilmiştir.

Erten ve arkadaşları (2024), kondenzasyon suyunun sistemden uzaklaştırılması esnasında elektrik rezistansı ile sıcak hava–antibakteriyel kumaş yaklaşımlarının kullanıldığı plug-in bir TTS’de gerçekleştirdikleri çalışmada, Şekil 8’de görüleceği üzere, yoğuşma tavası içerisindeki antibakteriyel kumaşların yerleşimini ve buna bağlı olarak, kondenserdan çıkan sıcak havanın bu kumaşlarla temas açısını değiştirmişlerdir. Yeni

gerçekleştirilen tasarımla birlikte antibakteriyel bezlerin kuruma süresi %15,85 azaltılırken, kuruma verimi %6,29 arttırılmıştır. Bunun sonucu olarak TTS'nin elektrik enerjisi tüketimi %5,91 azaltılmıştır.



Şekil 8. TTS'de anti-bakteriyel kumaş dizilimi değişimi
(Erten vd., 2024)

Şensoy ve arkadaşları (2025), plug-in bir TTS'de yoğunlaşma suyunu ortamdan uzaklaştırmak için Şekil 9'da görüleceği üzere iki farklı mod geliştirmişlerdir. İlk modda PTC etkili elektrik rezistansına destek olarak, kondenser atık ısıyı yoğunlaşma tavasına yönlendirilmiş ve etkin kütle transferi yakalanmaya çalışılmıştır. İkinci modda ise, yoğunlaşma suyunun ortamdan uzaklaştırılması esnasında PTC etkili rezistans hiç kullanılmamış, yoğunlaşma suyu bir su pompası yardımı ile tava içerisinden ultrasonik nemlendirici içerisine konumlandırılan su hattına yönlendirilmiştir. TTS'nin birinci moddan ikinci moda geçişi ile %29,52'ye varan enerji tasarrufu elde edilirken, su hattının bir kapalı devre oluşturması ile birlikte de gereksiz

su kullanımının önüne geçilmiş ve bu sayede küresel su sorununa dikkat çekilmiştir.



Şekil 9. TTS için geliştirilen su yönetimi yaklaşımları (Şensoy vd., 2025)

4.3. Karbon salımı açısından iyileştirme süreçleri

Teşhir tipi soğutucular doğrudan ve dolaylı olarak çevreye karbon salımı gerçekleştiren sistemlerdir. Doğrudan ve dolaylı emisyonların en büyük sebepleri sırasıyla soğutkanlar ve enerji tüketimidir. Bu bağlamda soğutucu akışkan şarj gereksinimi ve karbon salımını azaltan çalışmalar bu başlık altında incelenmiştir.

Arslan ve arkadaşları (2021), R290 ve R449A soğutucu akışkanlarını kullanan teşhir tipi soğutucularda çevresel analizler gerçekleştirmişlerdir. İki sistemin yalnızca soğutkanı değiştirilmiş ve diğer tüm sistem bileşenleri ortak tutulmuş olup çalışma sonucunda, R290 kullanılan TTS'nin çevreye %26,22 daha az karbon salımı yaptığı tespit edilmiştir. Yang ve arkadaşları (2019), plug-in TTS'lerde R134A yerine R513A akışkanını deneysel olarak kıyasladıkları çalışmalarında, TTS'nin R513A ile çalışması durumunda soğutkan şarj gereksiniminin %5,9 azaldığı ve TTS'nin enerji tüketiminin ise %3,5 düştüğünü ortaya koymuşlardır. Saengsikhiao ve arkadaşları (2020), süpermarketlerdeki soğutma sistemlerinin enerji verimliliğini artırmak için R404A soğutucu akışkanını R448A ile değiştirmiş ve beş süpermarket üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Sonuçlar neticesinde, yeni sistemde ortalama %7,9 enerji tasarrufu sağlamış ve küresel ısınma potansiyelinde %70 azalma sağlanmıştır.

Ocak ve arkadaşları (2021) plug-in TTS'lerde kullanılan fan tiplerinin, açığa çıkan karbon emisyonu miktarının değişimine etkisine ilişkin sonuçlar ortaya koymuşlardır. Her iki sistemde R290 soğutucu akışkanı kullanılmış olup TTS'lerde elektronik komütasyonlu ve gölge kutuplu indüksiyonlu fan motorları kullanılmıştır.

TTS’de elektronik komütasyonlu fan kullanımı sonucunda, karbon salımı miktarı $2,619 \text{ kgCO}_2/\text{h}$ ’ten $2,4 \text{ kgCO}_2/\text{h}$ değerine düşürülerek, %8,32 azaltılmıştır. Koşan ve arkadaşları (2020), TTS tasarımında geleneksel kondenser yerine mikro kanal kondenser kullanmışlardır. Deneysel olarak gerçekleştirilen araştırma neticesinde TTS’nin karbon emisyon değeri, $392,575 \text{ kg/gün}$ değerinden $346,524 \text{ kg/gün}$ değerine düşürülmüştür. Çalışma sonucunda daha çevreci tasarımlar için TTS’lerde mikro kanal kondenser kullanımı önerilmiştir.

Güven ve arkadaşları (2024), TTS’leri uzaktan izleme sistemiyle kontrol edebilen bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen kontrol algoritması sayesinde, enerji tüketiminde gerçekleştirilen düşüşe bağlı olarak yılda $4.795,5 \text{ kgCO}_2$ emisyonunun önüne geçileceği belirtilmiştir.

4.4. İkinci yasa ve sürdürülebilirlik indeksi yönünden iyileştirme süreçleri

Bir sistemin iş potansiyelinin belirlenmesini, ikinci yasa verimi yani ekserji kavramı göstermektedir. İkinci yasa veriminin yüksek olduğu sistemlerin kullanılabilir özellikleri güçlüdür. Sürdürülebilirlik kavramı da ikinci yasa verimiyle doğrudan ilintilidir. İkinci yasa verimi yüksek bir sistemin yok olma potansiyeli azdır, bunun

sonucu olarak daha uzun süre bir ömre sahip olacağından daha sürdürülebilir bir tasarım yapısı oluşmaktadır. Bu kısımda TTS'lerde ekserji verimi ve sürdürülebilirlik indeksi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar incelenmiştir.

Shaban ve arkadaşları (2020), TTS'lerde kompresör ve genleşme elamanı teknolojisinin ekserji yıkımı üzerine etkisini incelemişlerdir. İlk sistemde sabit devirli bir kompresör ve mekanik genleşme valfi kullanılırken; ikinci sistemde değişken devirli kompresör ve elektronik genleşme valfi kullanılmıştır. Sistem ekipmanlarında gerçekleşen bu değişimle TTS'nin toplam ekserji yıkımı %76 azaltılmıştır. Ekren ve arkadaşları (2013), bir soğutma sisteminde sabit ve değişken devirli kompresör kullanımının ikinci yasa verimine etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kompresör teknolojisinde yaşanan değişim ile ikinci yasa verimi %4 arttırılmıştır. Bilir Sag ve arkadaşları (2015), bir soğutma sistemine genleşme valfi yerine ejektör entegre etmiştir, genleşme cihazında gerçekleşen bu değişim sayesinde ikinci yasa verimi %11,24 artmıştır.

Şahin Yıldırım ve Şahin (2020), bir soğutma sisteminde R32, R410A, R407C, R245fa, R290, R507A, R717, R1234yf ve R1234ze soğutucu akışkanlarını kullanarak bir

çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek ekserji verimi 0,7069 değeriyle R717 soğutkanında en düşük ekserji verim ise 0,5496 değeriyle R407C soğutucu akışkanında elde edilmiştir. Tantekin (2025), bir soğutma sisteminde R134a, R125, R141b, R423a soğutucu akışkanlarının kullanımının soğutucu ekserji yıkımına etkisini incelemiştir. Bu bağlamda sistemin toplam ekserji yıkımı değerleri R134a, R125, R141b, R423a soğutkanları için sırasıyla 2,31 kW; 4,74 kW; 7,38 kW; 0,50 kW olarak hesap edilmiştir.

Şensoy ve arkadaşları (2025), plug-in bir TTS'de ekserji verimi ve sürdürülebilirlik indeksi üzerinde çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda yoğunlaşma suyu yönetiminde PTC'nin çalıştırılmadığı durumda sistemin ekserji verimi %56,24 olarak maksimum değerine ulaşırken sistemin sürdürülebilirlik indeksi değeri PTC'nin çalıştığı duruma göre 2.240 değerinden 2.274 değerine yükseltilmiştir.

4.5. Kabin yalıtımı ve hava akışına ilişkin iyileştirme süreçleri

Yalıtım enerji verimliliğinin açısından oldukça kritik bir süreçtir. Teşhir tipi soğutucularda soğutulmuş olan havanın uzun süre kabin içerisinde muhafaza edilmesi,

TTS'nin kullanım ömrü, enerji tüketimi ve karbon salınımı gibi durumları doğrudan etkilemektedir. Çalışmanın bu kısmında TTS'lerde kabin yalıtımına ilişkin çeşitli çalışmalar incelenmiştir.

Fricke ve Becker (2010), açık ve kapalı tip TTS'lerin enerji tüketimini incelediklerinde, açık tip TTS'lerin kapalı tiplere göre %30 daha fazla enerji tükettiği sonucuna ulaşmışlardır. Chaomuanga ve arkadaşları (2019), açık ve kapalı tip TTS'lerde yer alan ticari ürünlerde ürünler arası maksimum sıcaklık farkını araştırmışlardır. Çalışma neticesinde, kapalı tip TTS'lerde maksimum ürün sıcaklığı farkı 2,1 °C iken açık tip TTS'lerde ise bu değer 4,9 °C olarak belirlenmiştir.

Bahar ve arkadaşları (2021), kapalı tip TTS'lerin dolaplarında anti-fog malzeme kullanımının %20'ye varan enerji tasarrufu sağladığını belirlemişlerdir.

Tao ve arkadaşları (2004), VYP kullanımının TTS enerji tüketimine etkisini incelemiştir. Çalışmayla, VYP kullanımının enerji tüketimini %29 azalttığı sonucuna varılmıştır. Verma ve Singh (2019), bir soğutma sisteminde yalıtım malzemesi olarak, poliüretan köpük yerine VYP yalıtım malzemesi kullanıldığında, soğutma kapasitesinin yaklaşık %3 arttığını ortaya koymuşlardır [110]. Thiessen

ve arkadaşları (2016), TTS kabinin VYP ile kaplandığında enerji tüketiminin %21 azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca çalışmada, TTS kabinin arka yüzeyinin yalıtımının yanal yüzeylere göre etkili olduğu paylaşılmıştır.

Özellikle açık kabinli TTS'lerde iç hava dengesi hava perdesiyle sağlanmaktadır. TTS'lerde düzgün işleyişi ve ürünler arasındaki sıcaklık farklarının minimum olması açısından hava perdesi ve hava akışı oldukça değerlidir.

Li ve arkadaşları (2022), açık kabinli TTS'lerde bir hava perdesi yerine çift hava perdesi uygulamasının enerji verimliliğine etkilerini araştırmışlardır. TTS'de çift hava perdesi kullanımı sayesinde %41,6'ya varan enerji tasarrufu sağlanmıştır. Hammond ve arkadaşları (2012), açık tip TTS'lerde tek hava perdesi yerine raflar arasına sık hava perdesi yaklaşımının enerji tüketimine etkisini araştırmışlardır. Hava perdesi yaklaşımında gerçekleştirilen değişiklik sayesinde TTS enerji tüketimi %56 azaltılmıştır.

Li ve arkadaşları (2023), açık kabinli TTS'lerde hava perdesini etkileyen faktörleri belirleyerek bunları regresyon analizi yaparak optimize eden bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma neticesinde, ilk koşullara

göre, termal sürüklenme faktörü %44, enerji tüketimi ise %8,4 azaltılmıştır.

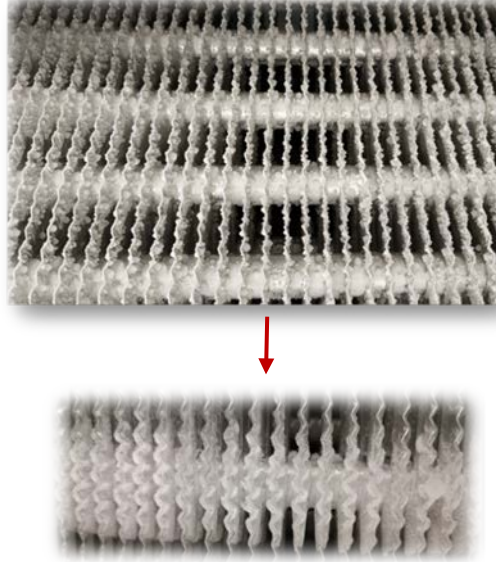
Wu ve arkadaşları (2014), TTS'nin delikli arka panelini %3'ten daha az gözenekli yaparak hava akışı için yapısal optimizasyon sağlamışlar ve ürünler arası sıcaklığının homojenliğinin %41'e kadar iyileştirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Soğutuculu vitrinlerde enerji verimliliği ve sıcaklık homojenliği, hava akışının kontrolüne bağlıdır. Demirpolat ve arkadaşları (2022), yaptığı bir çalışmada, mevcut deflectör yapısı (Tasarım 1) ile yeni bir deflectör tasarımı (Tasarım 2) karşılaştırılmış; hava giriş-çıkış sıcaklıkları, enerji tüketimi ve paket sıcaklıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. ISO 23953-2 (2015) standardına uygun Class-3 koşullarında (25°C, %60 nem) yapılan testlerde, yeni tasarım sayesinde hava çıkış sıcaklığında ortalama 1,2°C, hava giriş sıcaklığında 2.05°C ve ortalama paket sıcaklığında %17,8 iyileşme sağladığını belirtmiştir.

4.6. Defrost prosesine ilişkin iyileştirme süreçleri

Evaporatör sıcaklığı, soğutkanın donma noktası sıcaklığının altına düştüğünde, evaporatör yüzeyinde karlanma oluşmaya başlamaktadır. Oluşan bu karlanma TTS'nin hava akışını olumsuz etkilediğinden, ısı transferini

de zorlaştırmakta ve soğutma veriminde ciddi bozulmalara yol açmaktadır. Bu durumun önlenmesi amacıyla defrost prosesine ihtiyaç duyulmakta ve evaporatör yüzeyi oluşan karlanmadan arındırılmaktadır. Defrost süreci, TTS'nin enerji tüketiminden, etkin soğutma alanı kapasitesine kadar her durumu etkileyen bir durumdur. Çalışmanın bu kısmında TTS'lerde gerçekleştirilen defrost sürecine ilişkin çeşitli çalışmalar incelenmiştir.



Şekil 10. Defrost öncesi evaporatör yüzeyi

Erten ve arkadaşları (2020), tarafından yapılan çalışmada, R290 soğutucu akışkan kullanılan bir teşhir tipi soğutma sisteminde hava ile defrost işleminin performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Defrost sırasında ürün

sıcaklıklarında ortalama 3,07 °C artış gözlemlenmiş, bu da sistemin enerji tüketimini artırarak COP değerlerinde düşüşe neden olmuştur. Çalışma, defrost zamanlaması ve yöntem seçiminin enerji verimliliği açısından kritik olduğunu ortaya koymuştur.

Koşan ve arkadaşları (2023), yatay plug-in bir TTS’de elektrikli defrost ve sıcak gaz defrost yöntemlerinin elektrik enerjisi tüketimi ve karbon emisyonu miktarına etkisini araştırmışlardır. Defrost yönteminin elektrikli defrost yöntemine göre sıcak gaza geçmesiyle TTS’nin elektrik enerjisi tüketimi %20,3 azalmış, karbon salımı miktarında ise %5,9’luk bir düşüş kaydedilmiştir. Gülmez ve arkadaşları (2022), elektrikli defrost yöntemi yerine, sistemin atık ısı enerjisinden faydalanmış ve bu ısı su tankında depolanmıştır. Sistem ihtiyaç duyduğunda, evaporatör yüzeyinde oluşan karlanmayı çözmek için bu ısı enerjisi kullanılmıştır. Yeni defrost prosesi sayesinde sistemin enerji tüketimi %63 azaltılmıştır. Minglu ve arkadaşları (2017), defrost verimliliğini artırmak için termal enerji depolamayı sıcak gaz defrost yöntemine entegre etmiştir. Sistemde termal enerji depolama yöntemi kullanılarak, klasik sıcak gaz defrost yöntemine kıyasla defrost süresi %71,4-%80,5 azaltılmış ve defrost prosesinde enerji tüketimi %65,1-%85,2 düşürülmüştür. Yin ve arkadaşları

(2012), elektrikli defrost sisteminin veriminin düşük olduğunu belirtmiş ve elektrikli ısıtıcıya ek olarak hava bypass sirkülasyonlu defrost sistemini önermiştir. Yapılan deneyler sonucunda yeni yöntem kullanıldığında eski sisteme göre defrost süresinde %62,1, defrost enerji tüketiminde ise %61 azalma olduğu görülmüştür. Aktaş ve arkadaşları (2025), kapalı tip bir TTS'de defrost gereksinimini ortadan kaldırmışlar ve bunun sisteme olan etkisini araştırmışlardır. Gerçekleştirilen çalışma sonunda, yıllık enerji tüketimi 3M0/3M1 sıcaklık sınıfları için sırasıyla %10,52 ve %10,99 azaltılmış her iki sıcaklık sınıfında enerji etiketi sınıfı "B" den "A" ya iyileştirilmiş, yıllık karbon salımı miktarı 3M0 için; 915.42 kgCO₂/yıl dan 819.06 kgCO₂/yıl'a; 3M1 için ise, 891.33 kgCO₂/yıl dan 793.36 kgCO₂/yıl'a düşürülmüştür.

Song ve arkadaşları (2020), defrost işlemi sonunda suyun drenaj kanalları vasıtasıyla sistemden uzaklaştırılmasının cihaz performansına etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, drenaj sisteminin kullanılmasıyla defrost verimliliğini %47,5'ten %57,6'ya yükselttiği, toplam enerji tüketimi değeri ise, 898,1kJ'den 727,5 kJ'ye düşmüştür.

Chen ve arkadaşları (2022), soğutma sistemlerinde defrost kontrolü için derin öğrenme tabanlı bir görüntü tanıma yöntemi kullanmıştır. Görüntülerin farklı çalışma koşulları altında yüklendiği sistem sayesinde defrost proses sıklığı %31,68; defrost proses süresi ise %65,83 azaltılmıştır. Defrost anındaki enerji tüketimi ise planlı defrost yöntemine göre %42,92 azaltılmıştır.

Moallem ve arkadaşları (2014), evaporatör yüzeyinde kullanılan materyal tipinin defrost süresine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, hidrofilik materyal ile kaplı olan evaporatör yüzeyinde karlanmanın 20 dakikada ortadan kalkarken materyal tipi hidrofobik olarak değiştirildiğinde bu süre 13 dakikaya inmiştir. Liu ve arkadaşları (2006), soğuk yüzeylerde karlanma oluşumunu engelleyen boya geliştirmiştir. Bu uygulama ile evaporatör yüzeyinde karlanma en az 15 dakika geciktirilerek kar tabakasını en az %40 azaltmıştır.

5. TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULAR İÇİN İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ

Gerçekleştirilen literatür araştırmalarından ve yazarların gerek akademik gerekse de sektör tecrübelerinden, teşhir tipi soğutucuların birçok farklı

parametre üzerinde elde edebilecek iyileştirme süreçleri bu kısımda detaylandırılarak açıklanmıştır.

Teşhir tipi soğutucularda tüketilen elektrik enerjisinin en büyük kısmından kompresörler sorumludur. Bu nedenle TTS'lerdeki iyileştirme çalışmalarına sistem kompresörünün analiz edilerek başlanması, gerçekleştirilecek çalışmalarda elde edilecek sonuçların başarılı olması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda kompresörlerde gerçekleştirilebilecek iyileştirme önerileri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Sistem Kompresörüne İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Kompresör	Kompresörlerin sistem soğutma yüküne uygun tipte ve sayıda seçilmesi.
	Geleneksel sabit devirli kompresörler yerine devir kontrollü kompresör seçimi.
	Kompresör devir kontrolü hassasiyetinin, ortam şartları ve kabinde muhteva edilen ürünlerin saklama şartları dikkate alınarak optimize edilmesi.
	Kompresör ile uyumlu çalışacak soğutkan seçilmesi.
	Kompresörlerde kullanılan yağlama yağlarının soğutucu akışkan ve sistemle uyum göstermesi.
	Kompresör emme ve basma hattı sıcaklık ve basınçlarının mümkün olduğunca sabit tutulması.
	Kompresörlerden kaynaklı oluşabilecek reaktif enerjinin önlenmesi amacıyla tasarım esnasında, dur/kalk miktarı en az olacak ve en uzun süre operasyon halinde kalabilecek kompresör seçilmesi.
	Kompresör bakımlarının herhangi bir arıza oluşmasını beklemeden, periyodik olarak yapılması.

Özellikle plug-in teşhir tipi soğutucularda oluşan yoğunlaşma suyunun yönetimi; enerji tüketimi, hijyen, sistem

yönetimi gibi konular açısından değerlendirilmesi gereken bir husustur. Bu bağlamda TTS'lerde ki yoğunlaşma su yönetimi sistemlerine ilişkin iyileştirme önerileri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3. TTS'lerde Yoğunlaşma Suyu Yönetimine İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Yoğunlaşma Suyu Yönetimi	Elektrik rezistans seçiminin oluşması beklenen yoğunlaşma suyu miktarına uygun olması.
	Yoğunlaşma tavaasında biriken su miktarına göre, rezistans gücünün kontrol edilebildiği bir yazılım geliştirilmesi.
	Yoğunlaşma tavaası içerisinde; olabilecek maksimum sayıda, emiciliği yüksek, antibakteriyel özellikteki kumaşlar yerleştirilmesi.
	Yoğunlaşma suyu uzaklaştırılması için; su pompası, atık ısı kullanımı gibi alternatif yöntemlerden faydalanılması.

Enerjin minimum kayıpla, etkin ve verimli kullanımı sürecinde atık ısıdan yararlanılması oldukça değerlidir. Bu yönüyle de teşhir tipi soğutma sistemlerinde oluşan atık ısının yeniden kullanımın ilişkin öneriler Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. TTS'lerde Atık Isı Kullanımına İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Atık Isı Kullanımı	Sistemde oluşan atık ısının tekrar kullanımına olanak sağlayan yenilikçi tasarımların ortaya konulması.
	Sistemde oluşan atık ısının en etkin şekilde iletip dağıtımını yapan, tasarım özelinde geliştirilen ekipmanlar kullanılması.
	Kondenserden atılan ısının başka bir proseste ısıtma süreçlerinde kullanımına yönelik tasarımların yapılması.

Günümüzün, en dikkat çeken konularından olan küresel ısınma, ozon tabakasının tahribatı, çevre kirliliği gibi hususlarda, teşhir tipi soğutucuların payı kayda değer bir boyutta olup bu konuda çevresel bazda yapılacak her türlü iyileştirme, ilgili sorunların çözümü açısından faydalı olacaktır. Ayrıca çevreci olmayan seçimler, ürün satışlarını da etkileyeceğinden ticari başarıyı da azaltacaktır. Teşhir tipi soğutucuların karbon salımı sürecine olan etkileri sayısal verilerle de desteklenerek daha evvel açıklanmıştır. Bu duruma ilişkin, TTS'lerin karbon salımına etkilerinin azaltılmasına yönelik iyileştirme önerileri Çizelge 5'te sunulmuştur.

Çizelge 5. TTS’lerde Karbon Salımının Azaltılmasına İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Karbon Salımının Azaltılması	TTS’ler için, ulusal ve uluslararası regülasyonlar, standartlara uygun soğutucu akışkan seçiminin yapılması.
	Seçilen soğutucu akışkanın KIP ve OTP değerlerinin düşük olması.
	Soğutucunun kullanılacağı şartlar da göz önüne alınarak zehirlilik ve yanıcılık sınıfı uygun soğutucu akışkanların seçilmesi.
	Endüstriyel soğutucu bileşenlerinde kullanılan her türlü malzemenin çevreye duyarlı olması ve geri dönüştürülebilir niteliğe uygun olması.
	Sistem tasarımında enerji tüketimi düşük bileşenlerin kullanılması.
	Sistemin enerji verimliliğini önceleyen kontrol algoritmalarıyla yazılımsal olarak desteklenmesi.

Bir sistemin en mühim çıktılarından birisi de iş potansiyelinin yüksek olması ve ticari açıdan sürdürülebilir özellikler göstermesidir. Buna ilişkin TTS’lerde gerçekleştirilebilecek iyileştirme çalışmaları önerileri Çizelge 6’da sunulmuştur.

Çizelge 6. TTS'lerde İkinci Yasa Verimi ve Sürdürülebilirlik İndeksinin Arttırılması İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
İkinci Yasa Verimi ve Sürdürülebilirlik İndeksinin Arttırılması	Sistem performansını arttıran ve enerji tüketimini düşüren sistem bileşenlerinin kullanılması.
	Sistem ihtiyaçlarını gerçekleştirilen tasarım doğrultusunda karşılayan kontrol otomasyonu kullanılması.
	Çevreci, şarj gereksinimi düşük, termodinamik olarak sisteme tam uyum sağlayan bir soğutucu akışkan kullanılması.
	Sistemin kendi içerisinde devinim yapabildiği, tüm kaynakların etkin ve verimli kullanıldığı bir tasarım ortaya konulması.

Enerji verimliliği ve yalıtım süreçleri birbiriyle neden-sonuç ilişkisi içerisinde. TTS'lerde gerçekleşen etkin bir yalıtım, sistem verimliliği açısından kritiktir. TTS'lerde gerçekleştirilecek sistem yalıtımına ilişkin iyileştirme önerileri Çizelge 7'de sunulmuştur.

Çizelge 7. TTS'lerde Sistem Yalıtımına İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Yalıtım	Soğutucu kabinden hava sızıntısının asgari düzeye indirilmesi.
	Teşhir tipi soğutucularda enerji tüketimini düşürmek için, açık kabinler yerine kapalı kabinlerin tercih edilmesi.
	Kapalı kabinli endüstriyel soğutucu kapaklarında anti-fog film malzeme kullanılması.
	Kapalı kabinli endüstriyel soğutucularda kapı ve conta bakımlarının zamanında yapılması.
	Kabin yalıtımında geleneksel yöntemlerin yerine vakum yalıtım paneli gibi malzemelerinin tercih edilmesi.
	Teşhir tipi soğutucu verimlilikleri, müşteri davranışlarından etkilenebilmektedir. Bu nedenle, açık bırakılmış kabin dolabı, dolabın sürekli uzun süre açık bırakılması gibi durumlarda operasyon yetkilisine uyarı verecek bir sistem cihaza entegre edilmesi.
	Soğutma yükü artışının engellenmesi amacıyla fan motorunun kabin dışına entegre edilmesi.

Teşhir tipi soğutucu kabinlerinde yer alan ticari gıda malzemelerinin, kabinin her alanında homojen sıcaklığa sahip olması enerji verimliliği, gıda güvenliği başta olmak üzere birçok parametreyi doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Bu nedenle soğutulan havanın etkin şekilde dağılımı tasarımın ana ilkelerindendir. Konuya ilişkin öneriler Çizelge 8’de sunulmuştur.

Çizelge 8. TTS'lerde Hava Akışına İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Hava Akışı	TTS'lerin tasarımı esnasında kabin geometrisi, saklanan malzeme ve ortam şartlarına göre belirlenmesi.
	Kabinde saklanan ürünlerin hava akışını bozmayacak şekilde istifleneceği raf tasarımları yapılması ve kabine kapasitesi üstünde malzeme yüklenmemesi.
	Özellikle evaporatör tasarımı esnasında yüksek verimli fan kanatları seçilmesi.
	Tasarımda kullanılan fanların, hava akışını soğutucu kabininin her noktasına homojen şekilde dağıtacak kapasite ve tipte seçilmesi.
	Operasyon anında fanlar başta olmak üzere sistem bileşenlerine ait temizliklerin planlı ve zamanında yapılması.
	Evaporatör yüzeyinde meydana gelen karlanma sebebiyle hava akışının bozulmasını engellemek amacıyla defrost süreç yönetiminin etkili şekilde gerçekleştirilmesi.
	Açık kabinli TTS'ler için optimum hava perdesi tasarımı yapılması.
	Açık kabinli TTS'lerin hava perdeleri açısından, özellikle bağıl nem başta olmak üzere, mağaza içerisindeki havalandırma sistemi bölge ve mevsim iklim şartları doğrultusunda optimize edilerek sabit tutulmaya çalışılması.

Teşhir tipi soğutucuların evaporatör yüzeylerinde meydana gelen karlanma, ısı transferi sürecinin azalmasından kaynaklı verim kaybı başta olmak üzere, yüksek enerji tüketimi, soğutucunun ticari ömründe azalma ve gıda güvenliği de dâhil olmak üzere birçok da

aksaklık yaşanmasına neden olmaktadır. Konuya ilişkin öneriler Çizelge 9’da sunulmuştur.

Çizelge 9. TTS’lerde Defrost Prosesine İlişkin İyileştirme Önerileri

İyileştirme Parametresi	Öneri
Defrost Prosesi	TTS’lerde planlı defrost yöntemi yanında meydana gelebilecek ek gereksinimler gözetilerek ihtiyaç dâhilinde defrost uygulamalarından faydalanılması.
	İhtiyaç dâhilinde defrost uygulamalarının verimli olabilmesi amacıyla yeterli tip ve sayıda sensör kullanılması.
	Etkin bir defrost kontrol mekanizması oluşturularak, çeşitli programlar üzerinden uzaktan süreç takibi yapılması.
	Defrost sonucunda oluşan suyun kabin içerisinde donmasının engellenmesi amacıyla defrost tahliye yuvalarının düz bir biçim yerine eğimli hatlarla tasarlanması.
	Proses sürecinde çok yüksek enerji tüketimine sebep olan elektrikli defrost yöntemi yerine sisteme uygun alternatif diğer yöntemlerin kullanılması.
	Evaporatör yüzeyinde karlanma oluşumunu geciktiren hidrofobik özellikli materyaller kullanılması.

Teşhir tipi soğutucularda iyileştirme potansiyeli barındıran birçok husus bulunmaktadır, daha önceki kısımlarda kategorize edilmemiş ancak yazarlarca önemli olduğu benimsenen diğer hususlara ilişkin iyileştirme önerileri Çizelge 10’da sunulmuştur.

**Çizelge 10. TTS'lerde Verimlilik Artırıcı Bazı Alternatif
Öneriler**

İyileştirme Parametresi	Öneri
Verimlilik Artırıcı Bazı Alternatif Öneriler	Soğutma sisteminin kullanılacağı amaç ve soğutma yükü doğrultusunda soğutucu tasarımına karar verilmesi.
	Özellikle mevsim geçişlerinde büyük katkılar sağlayan dinamik kondenzasyon uygulamasının TTS'ler için kullanımının yaygınlaştırılması.
	Tasarımda mümkün olan en düşük kondenzasyon sıcaklığının seçilmesi.
	Tasarımda mümkün olan yüksek buharlaşma sıcaklığının seçilmesi.
	Detaylı bir fizibilite yapıldıktan sonra evaporatör kanatlarında hem buzun daha az tutunabileceği hem de ısı transferini artıracı bütünlük kanat tasarımlarının yapılması.
	Soğutma yükü artışının engellenmesi amacıyla fan motorunun kabin dışına entegre edilmesi.
	Soğutucu kabinin aydınlatılması esnasında gerek enerji verimliliği gerekse de estetik açıdan floresan ışık kaynakları yerine LED ışık kaynakları kullanılması.
	Aydınlatma sürecinde müşteri olmadığında ışığı kesen sensörlerin kullanılması.
	TTS'lerde yer alan tüm sistem bileşenlerinin bakım ve temizliklerinin periyodik olarak yapılması.
	Soğutma kabininin soğutma yükünde ortam şartlarına bağlı bir artış yaşanmaması için; kabinin yerleştirileceği alanın doğrudan güneş ışınımı etkilenmeyecek şekilde belirlenmesi.
	TTS tasarımı yapılırken belirlenen kirlenme faktörü parametresinden daha fazla kirlenme yaratacak bir alanda konumlandırılmışsa, sistem normlarının yakalanması amacıyla, bu ortam periyodik olarak temizlenmesi ya da ortamda daha farklı bir operasyonel önlem alınması.

6. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen bu çalışmada teşhir tipi soğutucular ve çeşitleri ile bu cihazlarda kullanılan sistem bileşenleri tanıtılmış, teşhir tipi soğutucuların enerji tüketimine ve çevreye olan etkileri sayısal verilerle de desteklenerek açıklanmıştır. Bu veriler incelendiğinde, teşhir tipi soğutucuların gerek ulusal bazda elektrik tüketimine etkisi gerekse de karbon salımın etkilerinin azımsanmayacak boyutta olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışma genelinde bahsedilen çevresel regülasyonlar ve bunlara bağlı oluşan beklentiler ve gereklilikler de dikkate alındığında; teşhir tipi soğutucularda enerji tüketimini, doğrudan ve dolaylı bazda karbon emisyonunu azaltıcı iyileştirmelerin yapılması bir zorunluluk halini almıştır. Bunun yanında iyileştirme faaliyetlerinin ekonomik, uygulanabilir ve estetik özellikler barındırması da bir başka önemli husustur. Çalışma boyunca, yazarlarca önemli görülen, iyileştirme potansiyeline sahip parametreler incelenerek kategorize edilmiş ve derlenerek bu hususta öneriler ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın gerek bilimsel çalışmalara gerekse de sektör paydaşlarına yararlı olacağı düşünülerek teşhir tipi soğutuculara ilişkin derin kapsamda bir araştırma yapılmış

ve literatürde bu hususta olduğu düşünülen boşluğun doldurulmasına katkı sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Aktaş, M., Erten, S., Aktaş, A., Şensoy, B., & Güven, Y. (2025). Performance Analysis of Food Refrigeration System Without Defrost Operation: Eco-Design Approach. *Journal of Food Process Engineering*, 48(2), e70058.
- Aktaş, M., Erten, S., Demirci, E., Kılıç, E., & Erdoğan, F. N. (2021). Doğrudan satış işlevli endüstriyel soğutma sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar. In *Teknoloji ve mühendislik bilimlerine güncel bakış* (pp. 49-99). Ankara: İksad Yayınevi.
- Anti Fog Film Products, Line Card, FSI Coating Technologies. (2021).
- Arias J. (2005). "Energy usage in supermarkets- modelling and field measurements" (Doktora tezi). Royal Institute of Technology, Department of Energy Technology.
- Arslan E., Kosa M., Aktaş, M., & Erten S. (2021). "Experimental assessment of comparative R290 vs. R449a refrigerants by using 3E (energy, exergy, and

environment) analysis: A supermarket application.”
Journal of Thermal Engineering, 7(3), 595-607.

Bahar, E. M., Erten, S., & Aktaş, M. (2021). An experimental study towards decreasing the energy efficiency index value in industrial refrigerators. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 9(3), 432-445.
<https://doi.org/10.29109/gujsc.903320>

Bijanzad, A., Hassan, A., Lazoglu, I. (2017). Analysis of solenoid based linear compressor for household refrigerator. *International Journal of Refrigeration*, 74, 116-128.

Bilir Sağ, N., Ersoy, H.K., Hepbaşlı, A., Halkacı, H.S. (2015). Energetic and exergetic comparison of basic and ejector expander refrigeration systems operating under the same external conditions and cooling capacities, *Energy Conversion and Management*, 90, 184-194.

Braun, M.R., Altan, H., & Beck, S.B.M. (2014). Using regression analysis to predict the future energy consumption of a supermarket in the UK. *Applied Energy*, 130, 305-313.

CED Engineering. (2023). Selection tips for environmentally safe refrigerants (C02 026). CED Engineering.

<https://www.cedengineering.com/userfiles/C02-026%20-%20Selection%20Tips%20for%20Environmentally%20Safe%20Refrigerants%20-%20US.pdf>

Chaomuang, N., Flick, D., Denis, A., & Laguerre, O. (2019). Experimental analysis of heat transfer and airflow in a closed refrigerated display cabinet. *Journal of Food Engineering*, 244, 101-114.

Chen, S., Chen, K., Zhu, X., Jin, X., & Du, Z. (2022). Deep learning-based image recognition method for on-demand defrosting control to save energy in commercial energy systems. *Applied Energy*, 324, 119702.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119702>

Demirpolat, H., Erdoğan, F. N., Öder, M., & Erten, S. (2022). Development of deflector structure and effects on performance: Refrigerated display cabinet application. *The European Journal of Research and Development*, 2(4), 155-168.

- Deniz, Z., Aktaş, M., Erten, S., Erdoğan, F. N., vd. (2023). TTS'ler için yoğunlaşma tavaında kanatçıklı boru tasarımı ile atık ısı geri kazanımının analizi: Enerji verimliliği üzerindeki etkileri. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 7(1), 52-61. <https://doi.org/10.46460/ijiea.1187987>
- E Source Companies LLC. (2009). Retrieved from https://www9.nationalgridus.com/non_html/shared_energyeff_groceries.pdf
- Ekren, O., Celik, S., Noble, B., & Krauss, R. (2013). Performance evaluation of a variable speed DC compressor. *International Journal of Refrigeration*, 36(3), 745-757.
- Erten, S., Koşan, M., İşgen, F., & Aktaş, M. (2020). Experimental analysis of the air defrost process in an industrial cooling system. *Journal of Scientific Reports-A*, 45, 143-157.
- Erten, S., Öder, M., Aktaş, M., Şevik, S., & Şensoy, B. (2024). Design and experimental analysis of condensate pan for plug-in refrigerated display cabinets: Improving drying efficiency. *Applied Thermal Engineering*, 248, 123198.

- European Commission. (2009). Directive 2009/125/EC establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32009L0125>
- Fricke, B., & Becker, B.R. (2010). Energy use of doored and open vertical refrigerated display cases. International Refrigeration and Air Conditioning Conference, USA, 1-9.
- Ge, Y.T., & Tassou, S.A. (2000). Mathematical modelling of supermarket refrigeration systems for design, energy prediction, and control. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power and Energy, 214(2), 101-114.
- Ge, Y.T., & Tassou, S.A. (2001). Simulation of the performance of single jet air curtains for vertical refrigerated display cabinets. Applied Thermal Engineering, 21(2), 201-219.
- Gülmez, M., Aktaş, M., Erten, S., Erdoğan, F. N. & Öder, M. (2022). Hava kaynaklı atık ısı defrost yöntemli ve doğal soğutucu akışkanlı bir ısı pompası sisteminin tasarımı. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 10(3), 468-478.

- Güven, Y., Aktaş, A., Aktaş, M., Erten, S., et al. (2024). An example of remote monitoring for a refrigerated display cabinet: Effects on energy performance. *Gazi University Journal of Science*, 37(4), 1838-1851. <https://doi.org/10.35378/gujs.1417698>.
- Kasera, S., Nayak, R., & Bhaduri, S. C. (2020). Energy efficiency analysis of variable speed DC compressor using R290," 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (pp.1-5). India.
- Kauko H., Kvalsvik K. H., Masson N. Noel C., Minetto S., Rossetti A., Marinetti S., D., Thalheim, Martens K., Karampour M., Piscopiello S., Fidorra N., Frontera B. G., Guinoa A. S., Toledo L. M., Ciconkov S., and Ciconkov V., "Proposal for the development of the EU ecolabel criteria for food retail stores: Preliminary report", Supersmart, (2017).
- Koşan, M., Arslan, E., Erten, S., Erdogmus, F. N. & Aktaş, M., (2022). Determination of defrost efficiency and energy efficiency index value using different defrost methods and refrigerants: An experimental study. *Science and Technology for the Built Environment*, vol.28, no.8, 1012-1023.

- Koşan, M., Erten, S., Aktekeli, B., Aktaş, M. (2020). Performance Analyses of the Industrial Cooling System with Microchannel Condenser: An Experimental Study. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 7(3), 83-95.
- Kosar, D., and Dumitrescu, O., "Humidity effects on supermarket refrigerated case energy performance: A database review," *ASHRAE Transactions*, 111(1): 1051-1060, (2005).
- Liang K., "Analysis of oil-free linear compressor operated at high pressure ratios for household refrigeration," *Energy*, 151: 324-331, (2018).
- Lindberg U.M., Axell M., and Fahlen P., "Vertical display cabinets without and with doors a comparison of measurements in a laboratory and in a supermarket," *1st IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain*, UK, 1-8, (2010).
- Liu, Z., Wang, H., Zhang, X., Meng, S., & Ma, C. (2006). An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with

the uncoated metallic surface. International Journal of Refrigeration, 29(2), 229-236.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2005.05.009>

Li, X., Liu, H., Zhang, Z., Hu, X., Liu, S., & Guo, Y. (2023). Performance optimization of open refrigerated display cabinet based on response surface method. Applied Thermal Engineering, 219(Part B), 119608.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119608>

Marketing Türkiye. (2024, Mayıs 14). Perakende büyümeye devam ediyor: 2024'te 3 bin 478 yeni market açıldı.
<https://www.marketingturkiye.com.tr/haberler/perakende-buyumeye-devam-ediyor-2024te-3-bin-478-yeni-market-acildi/>

Mastrullo R., Mauro A.W., and Perrone A., "A model and simulations to investigate the effects of compressor and fans speeds on the performance of CO2 light commercial refrigerator," Applied Thermal Engineering, 84: 158-169, (2015).

Moallem E., Hong T., Cremaschi L., and Fisher, D. E., "Effects of surface coating and water retention on frost formation in microchannel evaporators

(ASHRAE RP-1589),” HAVAC&R Research, 19(4): 347-362, (2013).

Ocak, C., Erten, S., İşgen, F., Arslan, E., vd. (2021). 3E Analysis of the Effect of Different Type of Fans on Cooling Performance Applied to an Industrial Deep Freezer. Duzce University Journal of Science and Technology, 9(5), 1621-1637.

Park, K., Hong, E., & Lee, H. K. (2002). Linear motor for linear compressor. Proceedings of the International Compressor Engineering Conference, 1-7.

Qu, M., Li, T., Deng, S., Fan, Y., & Li, Z. (2017). Improving defrosting performance of cascade air source heat pump using thermal energy storage based reverse cycle defrosting method. Applied Thermal Engineering, 121, 728-736.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.125>

“R404a refrigeration system with the eco-friendly R448A, to improve convenience store energy efficiency in Thailand.”

Resmî Gazete. (2008). Enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına dair yönetmelik.

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/10/20081027-6.htm>

Shaban, N. A., Nasser, I., Al Asfar, J., Al-Qawabah, S., and Olimat, A.N. (2020). Thermodynamic and economic analysis of a refrigerator display cabinet equipped with a DC compressor and electronic expansion valve. *International Journal of Heat and Technology*, 38(2), 432-438.

Sunray Windows Films LCC. (2023). Retrieved from <https://www.sunrayfilms.com/wp-content/uploads/2012/08/anti-fog-presentation-pdf-sunray.pdf>

Song, M., Xie, G., Pekař, L., Mao, N., & Qu, M. (2020). A modeling study on the reverse cycle defrosting of an air source heat pump with the melted frost downwards flowing away and local drainage. *Energy and Buildings*, 226, 110257. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110257>

Şahin Yıldırım, B., & Şencan Şahin, A. (2020). Farklı akışkanların kullanıldığı iki kademeli soğutma sisteminin enerji ve ekserji analizi. *Teknik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 37-41. doi: 10.35354/tbed.722878.

- Şensoy, B., Aktaş, M., Aktaş, A., Güven, Y., Aktekeli, B., Erten, S., & Şevik, S. (2025). Experimental analysis of energy-saving and eco-friendly refrigeration system design with condensate water management. *Applied Thermal Engineering*, 271, 126315.
- Şensoy, B. (2025). Endüstriyel tip soğutucularda enerji verimliliğine yönelik bir sistemin tasarımı ve analizi. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tantekin, A. (2025). Thermodynamic Analysis of Vapor Compression Refrigeration System with Various Refrigerants. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 15(1), 392-405. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1571839>
- Tao, W. H., Huang, C. M., Hsu, C. L., & Lin, J. Y. (2004). Performance study of an energy-efficient display case refrigerator. *Chemical Engineering Communications*, 191(4), 550-565.
- Tassou, S. A., Ge, Y., Hadawey, A., & Marriott, D. (2011). Energy consumption and conservation in food retailing *Applied Thermal Engineering*, 31(2-3), 147-156.

- T.C. Cumhurbaşkanlığı. (2023). On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028). <https://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari/>
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2018). Florlu sera gazlarına dair yönetmelik. <https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=41038&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- Thiessen, S., Knabben, F. T., Melo, C., & Goncalves, J. M. (2016). An experimental study on the use of vacuum insulation panels in household refrigerators. Proceedings of the International Refrigeration and Air Conditioning Conference, 1-8.
- Tosun, İ. F., Erten, S., Demirci, E., & Mert, F. (2023). Endüstriyel bir soğutucunun vakum yalıtım paneli kullanılarak tasarlanması ve enerji verimliliğine etkisinin araştırılması. 3. Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (ICAR), Ankara, Türkiye.
- Turkish Standards Institute. (2017). TS EN ISO 23953-2:2017. Refrigerated display cabinets—Part 2: Classification, requirements and test conditions.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). The Paris Agreement.

<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

- United States Environmental Protection Agency. (2008). Energy Star building upgrade manual: Chapter 11, Facility type—Supermarkets and grocery stores. Office of Air and Radiation.
- Verma, S., & Singh, H. (2019). Vacuum insulation in cold chain equipment: A review. *Energy Procedia*, 161, 232–241.
- Wang, Y., Zheng, Y., Hu, X., Liu, S., Li, X., and, Wang, Q. (2024). Impact of condensate water recycling on the performance of open refrigerated display cabinet. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54.
- Wu, X., Chang, Z., Yuan, P., Lu, Y., Ma, Q., & Yin, X. (2014). The optimization and effect of back panel structure on the performance of refrigerated display cabinet. *Food Control*, 40, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.026>
- Yang, M., Zhang, H., Meng, Z., & Qin, Y. (2019). Experimental study on R1234yf/R134a mixture (R513A) as R134a replacement in a domestic refrigerator. *Applied Thermal Engineering*, 146, 540–547.

- Yılmaz, U. (2008). Ev tipi dondurucularda vakum izolasyon panel kullanımının enerji tüketimi üzerindeki etkisinin bilgisayar destekli ve deneysel olarak incelenmesi (Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yin, H.-J., Yang, Z., Chen, A.-Q., & Zhang, N. (2012). Experimental research on a novel cold storage defrost method based on air bypass circulation and electric heater. *Energy*, 37(1), 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.044>

TEŞHİR TİPİ SOĞUTUCULARIN TASARIMI VE KULLANIMINDA DİKKAT EDİLECEK UNSURLARA GENEL BİR BAKIŞ

yaz
yayınlari

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com www.yazyayinlari.com

ISBN: 978-625-8508-73-4



9 786258 508734