

ENDÜSTRİYEL SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KUMAŞ TABANLI DEFROST KANALI TEKNOLOJİLERİ: TERMODİNAMİK ETKİLER, MALZEME BİLİMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ



Mert ŞEŞEN
FabricAir Türkiye
Genel Müdür

ÖZET

Evaporatör yüzeylerinde oluşan karlanma, endüstriyel soğutma sistemlerinde ısı transferini zayıflatır, hava tarafı basınç kaybını artırır ve sistem verimliliğini düşürür. Geleneksel defrost uygulamalarında üretilen ısıнын bir bölümü doğal konveksiyonla soğuk hacme kaçabilir ve defrost sonrası ilave soğutma düşürme/aşağı çekme (pull-down) yükü oluşturabilir. Bu makalede, kumaş defrost kanallarının çalışma prensibi, termodinamik etkileri, teknik tekstil gereksinimleri ve enerji verimliliği potansiyeli incelenmektedir. Üreticilerin teknik dokümanları ve vaka çalışmaları, uygun koşullarda defrost enerji tüketiminde %50-75'e varan azalma raporlamaktadır [7], [9].

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel soğutma, evaporatör karlanması, defrost, kumaş defrost kanalı, konvektif ısı kaçağı, enerji verimliliği.

ABSTRACT

Frost formation on evaporator surfaces reduces heat transfer, increases air-side pressure drop, and lowers the efficiency of industrial refrigeration

systems. In conventional defrost applications, part of the generated heat may escape into the refrigerated space through natural convection, creating an additional post-defrost pull-down load. This article examines the operating principle, thermodynamic effects, technical textile requirements, and energy efficiency potential of fabric-based defrost ducts. Manufacturers' technical documents and case-based calculations report reductions of up to 50-75% in defrost energy consumption under suitable application conditions [7], [9].

Keywords: Industrial refrigeration, evaporator frosting, defrost, fabric defrost duct, convective heat leakage, energy efficiency.

1. ENDÜSTRİYEL SOĞUTMADA ENERJİ TASARRUFU

Küresel enerji tüketimi incelendiğinde, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinin toplam enerji talebinde devasa ve giderek büyüyen bir paya sahip olduğu görülmektedir. Sosyoekonomik gelişmelere paralel olarak artan bu talep, özellikle endüstriyel tesislerin enerji sarfiyatını kritik bir seviyeye taşımıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre bina operasyonları, küresel nihai enerji →

tüketiminin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır [1]. Isıtma, iklimlendirme, havalandırma ve proses/ürün muhafaza soğutması ise bu tüketimin önemli alt kalemleri arasındadır [1], [2].

Endüstriyel soğutmanın yoğun kullanıldığı tesislerde soğutma sistemi, toplam elektrik tüketiminin baskın kalemlerinden biri haline gelebilir [2], [4]. Soğutma sistemlerinin kesintisiz çalışması gereken bu ortamlarda, termodinamik dengenin korunması yüksek miktarda elektrik enerjisi ve iyi tasarlanmış özel mühendislik çözümleri gerektirmektedir.

2. ENDÜSTRİYEL SOĞUTMADA KARLANMA TERMODİNAMİĞİ

Bir soğutma çevriminde evaporatörün temel görevi, ortamdan ısı çekerek soğutucu akışkanı buharlaştırmak ve ortam sıcaklığını ayarlanan değerde tutmaktır. Ancak soğutulan ortam havası, fiziksel yapısı gereği belirli bir miktarda su buharı içerir. Evaporatör kanatçıklarının yüzey sıcaklığı havanın çığ noktasının ve suyun donma noktasının altına düştüğünde, su buharı doğrudan metal yüzeyler üzerinde kırılgılaşma veya yoğunlaşarak donma süreçlerinden geçerek birikir. Karlanma olarak adlandırılan bu yapı homojen olmayan, gözenekli ve sürekli kalınlaşan bir kristal matris formundadır [3].



Şekil 1. Soğuk hava deposunda karlanma.

Karlanmanın soğutma sistemleri üzerindeki etkisi, ısı transfer mekanizmaları ve akışkanlar dinamiği yasaları çerçevesinde incelendiğinde iki büyük olumsuz etki yaratır:

•**Isıl Direnç Katmanı:** Oluşan buz tabakası, evaporatörün bakır boruları veya alüminyum kanatçıkları ile ortam havası arasında oluşan buz tabakası, evaporatörün bakır boruları veya alüminyum kanatçıkları ile ortam havası arasında ek bir ısı direnç katmanı oluşturur. Buz, metallere kıyasla ısıyı çok daha zayıf ileten bir materyaldir. Yüksek nem oranları ve düşük yüzey sıcaklıkları, daha düşük yoğunluğa ve

daha düşük termal iletkenliğe sahip don oluşumlarına yol açarak toplam ısı transfer katsayısını zayıflatır. Bu durum evaporatörün ısı çekme kapasitesini sınırlar, evaporasyon basıncını düşürür ve nihayetinde soğutma kapasitesini daraltabilir [3].

•**Aerodinamik Blokaj (Basınç Düşümü):** Evaporatör kanatçıkları arasında biriken buz, hava akışının geçebileceği serbest kesit alanını daraltır. Kesit alanının daralması, batarya üzerindeki basınç düşümünü (pressure drop) keskin bir şekilde artırır. Sabit hızlı çalışan evaporatör fanları, artan bu statik basınca karşı koyamaz ve batarya üzerinden geçirilen hava debisi ciddi oranda düşer. Azalan hava debisi evaporasyon sıcaklığını ve basıncını düşürür; bu durum soğutma kapasitesini ve sistem COP'sini azaltır. Aynı soğutma yükünün karşılanması için kompresörün çalışma süresi ve birim soğutma başına enerji tüketimi artar [3], [4].

2. GELENEKSEL DEFROST YÖNTEMLERİ VE TERMAL KAYIP MEKANİZMALARI

Endüstriyel buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde karlanmayı ortadan kaldırmak için ağırlıklı olarak üç yöntem uygulanır: Elektrikli defrost, sıcak gaz (hot gas) defrost ve duruş süresi (off-time) defrost [4]. Yüksek kapasiteli ticari ve endüstriyel soğuk odalarda elektrikli rezistanslar veya sıcak gaz defrost devreleri, işletme maliyetlerinde önemli bir yük oluşturabilir.

Özellikle elektrikli ve sıcak gaz defrost uygulamalarında fanlar çoğunlukla durdurulur ve yüzeydeki buz eritilerek drenaj tavaşından dışarı atılır. Ancak geleneksel sistemlerin en büyük tasarım zafiyeti tam da bu noktada ortaya çıkar: Fanlar dursa dahi, cihazın hava emiş ve atış ağızları fiziksel olarak açık durumdadır. Evaporatör bataryasının etrafındaki hava, defrost kaynağıyla hızla ısınır. Temel fizik yasaları gereği, ısınan hava genişler, yoğunluğu düşer ve yükselme eğilimi gösterir. Bu doğal konveksiyon hareketi, sıcak havanın açık olan evaporatör ağızlarından kontrolsüz bir şekilde dışarı sızarak doğrudan soğuk deponun içine yayılmasına sebep olur [5], [6].

Colmac firması tarafından yayımlanan defrost verimliliği analizlerinde, tipik tavan tipi freezer evaporatörlerinde defrost enerjisinin önemli bir bölümünün buz eritmek yerine konveksiyon/radyasyon, metal kütlelerin ısıtılması ve defrost sonrası tekrar soğutulması gibi kayıplara gittiği; bazı uygulamalarda konvektif oda kaybının %40-60 mertebesine çıkabildiği belirtilmektedir [5], [6].



Daha da vahimi, endüstride "geri kazanım faktörü" (recovery factor) veya "soğutma düşürme/aşağı çekme" (pull-down yükü) olarak bilinen durumdur.

Defrost döngüsü tamamlanıp sistem tekrar soğutma moduna geçtiğinde, odaya kaçan bu ısının kompresör tarafından tekrar odadan çekilmesi gerekir.

Bazı vaka hesaplarında defrost sonrası soğutma düşürme/aşağı çekme/geri kazanım (pull-down/recovery) yükü için yaklaşık %30 mertebesinde ek yük varsayımı kullanılmaktadır; gerçek değer oda hacmi, hava sızıntısı, evaporatör konumu, defrost kontrolü ve ürün yüküne bağlıdır [5]. Ancak kompresör, bu ekstra yükü temizlemek için standart soğutma mesaisinin ötesine geçerek daha yüksek elektrik harcar.

Tablo 1. Geleneksel defrost sistemlerindeki termal kayıp mekanizmaları [5], [6].

Kayıp Mekanizması	Fiziksel Sebep	Operasyonel Etki	Enerji Maliyetine Etkisi
Konvektif Sızıntı	Isınan havanın genişlererek açık fan ağızlarından odaya yayılması	Defrost enerjisinin önemli bir bölümü odaya konvektif ısı kaçağı olarak geçebilir	Defrost ısıtıcılarının gereğinden uzun süre çalışması
Geri Kazanım Yükü	Odaya kaçan ısının soğutma döngüsünde tekrar çekilmek zorunda olması	Kompresör çalışma süresinde ve soğutma düşürme/aşağı çekme yükünde artış	Maksimum devirde çalışan yüksek kompresör enerji sarfiyatı
Termal Dalgalanma	Sıcak havanın soğuk hava deposunun tavan ve duvarlarına yayılması	Ortamda ikincil karlanma ve ürün yüzeylerinde muhtemel mikro çözünmeler	Kalite kontrol zafiyeti ve tavan/duvar bakım maliyetleri

3. KUMAŞ DEFROST KANALLARININ ÇALIŞMA GEOMETRİSİ VE PASİF MÜHÜRLEME

Yukarıda detaylandırılan termodinamik israfı durdurmak amacıyla geliştirilen kumaş defrost kanalları, sorunu karmaşık elektromekanik parçalarla değil, akışkanlar dinamiği prensiplerini kullanan pasif bir mühendislik yaklaşımıyla çözer. Evaporatörün hava atış ağızlarına doğrudan monte edilen bu teknik tekstil ürünleri, tamamen fanın yarattığı hava basıncının fiziksel kuvvetlerine ve yerçekimine dayanarak çalışır [7], [8].

•**Soğutma Modu (Fan Açık):** Evaporatör fanları çalışmaya başladığında, havanın yarattığı dinamik basınç esnek kumaş kanalı ileriye doğru iter. Bu statik ve dinamik basınç dengesiyle kumaş kanal şişerek silindirik form alır ve havayı soğutma ünitesinden alıp deponun içine yönlendiren bir dağıtıcı işlevi görür [7], [8].



Şekil 2. Kumaş defrost kanalının soğutma modundaki görünümü [7].

•**Defrost Modu (Fan Kapalı):** Sistem defrost moduna girdiğinde fanlar durdurulur ve içerideki dinamik basınç anında sıfırlanır. Basıncın kalkmasıyla birlikte, esnek yapıdaki kumaş kanal kendi ağırlığı altında yerçekimiyle aşağı doğru çöker. Kanalin bu dikey çökme hareketi, fanın ön yüzeyini ve evaporatörün atış ağızını büyük ölçüde örten fiziksel bir bariyer oluşturur [7], [8].



Şekil 3. Kumaş defrost kanalının defrost modundaki görünümü [7].

Böylece ana hava çıkışından konvektif kaçış sınırlanır; defrost ısının daha büyük bölümü batarya ve kanatçık bölgesinde tutulur. Defrost ısının batarya ve kanatçık bölgesinde daha uzun süre tutulması, buzun erime hızını artırmaya ve defrost süresini kısaltmaya olumlu katkı sağlar. Üreticilerin teknik dokümanlarına ve vaka hesaplarına göre, bu kapanma etkisi sayesinde defrost sürelerinde %10-50 arasında kısalma raporlanmaktadır [7], [9]. Defrost periyotları arasındaki kesintisiz soğutma süresi uzarken, tesisin potansiyel operasyonel esnekliği artırılır.





Şekil 4. Kumaş defrost kanalının fan açık ve fan kapalı durumdaki görünümü [7].

4. İLERİ MALZEME BİLİMİ VE POLİMER TEKNOLOJİSİ

Kumaş defrost kanallarının bu zorlu koşullara dayanabilmesi, arkasındaki gelişmiş polimer teknolojisi sayesinde mümkündür. Sıradan tekstil ürünleri bu sıcaklık, nem, hijyen ve tekrarlı donma-çözülme koşulları için uygun değildir. Çünkü ortam sıcaklığı -40°C 'ye kadar düşebilirken, defrost işlemi sırasında yüzey sıcaklıkları $+80^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkabilmektedir [7], [10].

Bu kanallarda kullanılan teknik tekstiller, sürekli donma ve ısınma döngüsüne maruz kaldığında yapısal bütünlüğünü kaybetmeyen, çatlamayan ve esnekliğini yitirmeyen özel polyster liflerden üretilir [10].



Şekil 5. Kumaş defrost kanalının soğuk depo uygulamasındaki görünümü [7].

Tablo 2. Kumaş defrost kanalları ekonomik tasarruf parametreleri (Vaka analizleri) [5], [9].

Analiz Edilen Sistem	Geleneksel Durum	Kumaş Kanal Uygulaması Sonrası	Finansal ve Operasyonel Kazanç
Küçük / Orta Boy Depo (11 kW x 2 Ünite, \$0,17/kWh)	Günde 4 uzun defrost çevrimi, yoğun konvektif ısı sızıntısı	Günlük defrost ısıtıcı çalışma süresinde toplam yaklaşık 1 saatlik azalma varsayılmıştır [9].	İki ünite toplamında yılda 1.365 USD net tasarruf, günde 23 saat kesintisiz soğutma [9].
Büyük Endüstriyel Dondurucu (300 TR Kapasite)	Defrost ısının %40-%60'ı odaya kaçar, soğutma düşürme/aşağı çekme yükü yüksektir [5].	Isının evaporatör içinde hapsedilmesi	Tesiste yılda ortalama 32.850 USD enerji tasarruf potansiyeli [5].
Genel Enerji Tüketimi	Yüksek rezistans sarfiyatı + Uzun süreli kompresör aşırı yükü	Konvektif ısı kaçağı önemli ölçüde azaltılır. Defrost sonrası soğutma düşürme/aşağı çekme yükü azaltılır.	Defrost kaynaklı enerji sarfiyatında %50 ile %75 arası oransal düşüş [7], [9].

Ayrıca kumaşların iç ve dış yüzeyleri hidroforbik (su itici) karakterdedir; böylece defrost esnasında çözülen su kumaş tarafından emilmez ve kanalın donarak kaskatı kesilmesi önlenir. Gıda tesisleri için bu malzemelerin yıkanabilir, küf önleyici ve hijyenik özelliklerde olması hijyen standartlarını güvenceye alır [7], [10].

5. ENERJİ VERİMLİLİĞİ, GERİ KAZANIM FAKTÖRÜ VE EKONOMİK MODELLEME

Kumaş defrost kanallarının ilgi görmesinin temel nedenlerinden biri, uygun uygulamalarda kısa geri ödeme süresi potansiyeli sunmasıdır.

•Doğrudan Rezistans Tasarrufu

Defrost süresinin %10 ila %50 oranında kısalması, elektrikli rezistansların devrede kalma süresini doğrudan azaltır [7], [9]. Ayrıca ardışık defrost çevrimleri arasındaki süre uzadığından, tesis günde örneğin 4 kez defrost yapmak yerine 2 veya 3 döngüyle operasyonunu sürdürebilir.

•Dolaylı Kompresör Tasarrufu

Kumaş defrost kanalları, parazit sıcak havanın depo atmosferine sızmasını sınırlandırarak deponun mevcut soğuk havasının korunmasına yardımcı olur. Böylece kompresör veya kompresör rack sistemi, defrost sonrası set değerine dönüş sırasında daha düşük soğutma düşürme/aşağı çekme yüküyle çalışabilir.

Üreticilerin teknik dokümanlarına göre uygun uygulamalarda defrost kaynaklı enerji tüketiminde %50-75'e varan azalma ve defrost süresinde %10-50 kısalma raporlanmaktadır [7], [9].

6. EKİPMAN ÖMRÜ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Defrost çevrimleri batarya, drenaj tavası, bağlantı elemanları ve çevre metal yüzeylerde tekrarlı ısıl genleşme-büzülme yaratır; defrost süresinin azalması bu çevrimlerin etkisini sınırlayabilir. Kumaş defrost kanalları sayesinde erime süresinin kısılması, bu termal yorulma döngülerini minimum zaman dilimlerine hapseder ve genel ekipman ömrünün uzamasına katkıda bulunabilir [5], [7].

Modern karbonsuzlaştırma ve sürdürülebilirlik politikaları çerçevesinde, düşük küresel ısınma potansiyeline sahip akışkanlara geçiş yapan sektörümüz, aerodinamik ve termal kayıpları da azaltmak zorundadır. Ağır sac kanal çözümleri yerine hafif, sökülebilir, yıkanabilir ve uygulamaya özel tasarlanabilen teknik tekstil çözümlerinin kullanılması; bakım kolaylığı, hijyen ve retrofit esnekliği açısından avantaj sağlayabilir.

7. SONUÇ

Endüstriyel soğutma sistemleri için geliştirilen kumaş defrost kanalları, ilk bakışta basit bir yapısal eklenti gibi görünse de temelinde akışkanlar mekaniği ve ileri polimer bilimini barındıran kritik termodinamik bileşenlerdir. Sektörde yıllarca kronik bir problem olarak kalan "defrost ısısının odaya kaçması" sorununa, hareketli parçası olmayan pasif bir tasarım yaklaşımıyla etkili bir çözüm alternatifi sunmaktadır. Uygun koşullarda güçlü bir retrofit seçeneği ve belirli soğuk depo uygulamalarında yüksek getirili bir enerji verimliliği önlemi olarak ön plana çıkmaktadır.

Kumaş defrost kanallarının performansı evaporatör geometrisi, fan eğrisi, hava atış mesafesi, kanal uzunluğu, kumaş geçirgenliği, defrost yöntemi, oda sıcaklığı, nem yükü ve bakım periyoduna bağlıdır. Kanal ilavesi hava tarafında ek basınç kaybı yaratabileceğinden, uygulama öncesinde fan debisi ve hava dağılımı kontrol edilmelidir [7], [8]. Kullanılacak kumaşın hidrofobik karakteri, yıkanabilirliği, hijyen uygunluğu, alev davranışı ve sıcaklık dayanımı ise üretici veri sayfası üzerinden doğrulanmalıdır [10]. Ayrıca gerçek performansın, uygulama öncesi ve sonrası defrost süresi, defrost ısıtıcı kWh tüketimi, kompresör ve rack enerji tüketimi, oda sıcaklık dalgalanması ve evaporatör hava debisi üzerinden doğrulanması önerilir [4].

KAYNAKLAR

[1] International Energy Agency. (t.y.). Buildings. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

<https://www.iea.org/energy-system/buildings>

[2] International Institute of Refrigeration. (2015). The role of refrigeration in the global economy: 29th Informatory Note on Refrigeration Technologies.

<https://iifir.org/en/fridoc/the-role-of-refrigeration-in-the-global-economy-29th-informatory-note-139571>

[3] Hermes, C. J. L., Boeng, J., da Silva, D. L., Knabben, F. T., & Sommers, A. D. (2021). Evaporator frosting in refrigerating appliances: Fundamentals and applications. *Energies*, 14(18), Makale 5991.

<https://doi.org/10.3390/en14185991>

[4] Energy Efficiency and Conservation Authority. (t.y.). Good practice guide: Industrial refrigeration. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

<https://www.eeca.govt.nz/assets/EECA-Resources/Co-funding/Sector-Decarb-Files/Good-Practice-Guide-Industrial-Refrigeration.pdf>

[5] Colmac Coil Manufacturing, Inc. (t.y.-a). Energy efficient defrost: Return air defrost hoods and discharge duct socks [Ürün broşürü]. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

https://www.colmaccoil.com/media/163079/energy-efficient-defrost_hoods_socks_final_121919.pdf

[6] Colmac Coil Manufacturing, Inc. (t.y.-b). Optimizing hot gas defrost [Teknik bülten]. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

<https://www.colmaccoil.com/media/42058/optimizing-hot-gas-defrost.pdf>

[7] FabricAir. (t.y.-a). DeFrost Duct™. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

<https://www.fabricair.com/products/defrostduct/>

[8] FabricAir. (t.y.-b). DefrostDuct installation. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026, <https://www.fabricair.com/knowledge-bank/defrostduct/>

[9] FabricAir. (t.y.-c). Improving defrost efficiency in cold storage with Defrost Duct [Vaka çalışması]. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

<https://www.fabricair.com/case-study/use-case-defrost-duct/>

[10] FabricAir. (t.y.-d). Combi 80 [Teknik veri sayfası]. Erişim tarihi: 12 Haziran 2026,

<https://www.fabricair.com/products/dispersion-systems/fabrics/combi-80/>

ÖZGEÇMİŞ

Mert ŞEŞEN

1991 yılında Bursa'da doğan Mert ŞEŞEN, 8 yıldır FabricAir'de çalışmakta olup, Genel Müdür olarak görev yapmaktadır. Tekstil bazlı hava dağıtım sistemlerinin tasarımı, satış ve pazarlama stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması konusundaki çalışmaktadır.