



Türkiye'de Sürdürülebilir Soğutma için Teknik Çözümler Kataloğu

Mart 2022



Türkiye'de Sürdürülebilir Soğutma için Teknik Çözümler Kataloğu



- coolupprogramme.org
- [Twitter](#)
- [Newsletter](#)
- [E-posta](#)



Supported by:



based on a decision of the German Bundestag

Cool Up, Uluslararası İklim İnisiyatifi'nin (IKI) bir parçasıdır. Federal Çevre, Doğa Koruma, Nükleer Güvenlik ve Tüketicinin Korunması Bakanlığı, Alman Federal Meclisi tarafından kabul edilen karar doğrultusunda bu girişimi desteklemektedir.

Bu yayında yer alan bilgi ve görüşler yazarlara ait olup, Uluslararası İklim Girişimi ve Federal Çevre, Doğa Koruma, Nükleer Güvenlik ve Tüketicinin Korunması Bakanlığı'nın resmi görüşlerini yansıtmamaktadır.

Bu yayın, yazarlar tarafından yalnızca Cool Up Programının kullanımı için hazırlanmıştır. Bu yayında sunulan çalışma, yazarların bu raporun hazırlandığı tarihte mevcut olan bilgilere dayanan profesyonel yargılarını temsil etmektedir. Cool Up konsorsiyum ortakları, bir üçüncü tarafın bu yayını kullanmasından veya ona itimat etmesinden ya da rapora dayanarak verilecek herhangi bir karardan sorumlu değildir. Raporu okuyacak kişilere, rapora veya raporda yer alan veri, bilgi, bulgu ve görüşlere itimat etmeleri neticesinde kendileri veya üçüncü şahıslar tarafından maruz kalabilecekleri tüm yükümlülükleri üstlenecekleri bildirilmektedir. Bu yayında ifade edilen görüşler yalnızca yazarlara aittir ve Mısır, Ürdün, Lübnan, Türkiye ve Almanya hükümetlerinin görüşlerini temsil etmemektedir.

Yayıncı

Guidehouse Germany GmbH
Albrechtstr. 10C
10117 Berlin, Germany
+49 (0)30 297735790+49 (0)30 297735790
www.guidehouse.com
© 2022 Guidehouse Germany GmbH

Yazarlar

Baş yazarlar:

Markus Offermann (Guidehouse)

Mads Giltrup, Selimcan Azizoğlu (UNDP - Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı)

Katkıda bulunan yazarlar:

Alexander Pohl, Mustafa Abunofal (Guidehouse)

Ronny Mai (ILK - Hava İşleme ve Soğutma Enstitüsü, Dresden Almanya)

İnceleme:

Nesen Sürmeli-Anaç (Guidehouse)

Mathias Safarik (ILK - Hava İşleme ve Soğutma Enstitüsü, Dresden Almanya)

Antoine Azar, Ghaleb Elmheirat (UNDP - Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı)

Barbara Gschrey (Öko-Recherche)



Tarih

Mart 2022

İletişim

info@coolupprogramme.org adresinden bize ulaşabilirsiniz.
www.coolupprogramme.org web adresinde bizi ziyaret edebilirsiniz.

İçindekiler

1. Giriş.....	Error! Bookmark not defined.
2. Uluslararası soğutma teknolojisine genel bir bakış	Error! Bookmark not defined.
2.1. İklimlendirme	Error! Bookmark not defined.
2.2. Ticari soğutma	Error! Bookmark not defined.
2.3. Sürdürülebilir soğutma çözümleri	Error! Bookmark not defined.
2.3.1. Doğal soğutucu akışkanlara genel bakış	Error! Bookmark not defined.
2.3.2. Sürdürülebilir iklimlendirme çözümleri.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.2.1. Genel Bakış	Error! Bookmark not defined.
2.3.2.2. Sürdürülebilir AC sistemlerinin kullanılmasının önündeki temel engeller.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.2.3. AC talebini azaltmaya yönelik önlemler	Error! Bookmark not defined.
2.3.2.4. Yenilenebilir enerji arzı için çözümler	Error! Bookmark not defined.
2.3.3. Sürdürülebilir ticari soğutma çözümleri.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.3.1. Soğutucu akışkanlara genel bakış.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.3.2. Sürdürülebilir ticari soğutmanın uygulanmasının önündeki temel engeller.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.3.3. Ticari soğutma sistemlerinin enerji talebini azaltmaya yönelik önlemler.....	Error! Bookmark not defined.
3. Ulusal ölçekte başarılı uygulama örnekleri.....	Error! Bookmark not defined.
4. Sürdürülebilir soğutmanın uygulanmasına yönelik fikirler.....	Error! Bookmark not defined.
4.1. Uzun liste	Error! Bookmark not defined.
4.1.1. İklimlendirme çözümleri	Error! Bookmark not defined.
4.1.2. Ticari soğutma çözümleri.....	Error! Bookmark not defined.
4.2. Çok boyutlu değerlendirme	Error! Bookmark not defined.
4.2.1. İklimlendirme	Error! Bookmark not defined.
4.2.2. Ticari soğutma	Error! Bookmark not defined.
4.3. Sonuç ve öneriler.....	Error! Bookmark not defined.
5. Kaynaklar	Error! Bookmark not defined.
Ek A: Soğutucu akışkan özelliklerine genel bakış	Error! Bookmark not defined.

Şekiller

Şekil 1	Farklı soğutma alt kategorileri.....	3
Şekil 2	: Çok boyutlu değerlendirmeye genel bakış.....	24

Tablolar

Tablo 1	MENA bölgesi için en uygun AC sistemlerinin temel özelliklerine ilişkin bir genel bakış	3
Tablo 2	Başlıca ticari soğutma sistemi tiplerinin temel özelliklerine bir genel bakış	6
Tablo 3	En yaygın doğal soğutucu akışkanlara genel bakış	7
Tablo 4	Doğal soğutucu akışkanlı en uygun alternatif AC sistemlerinin başlıca özelliklerine genel bakış	9
Tablo 5	Doğal soğutucu akışkanlı en uygun alternatif soğutma sistemlerinin başlıca özelliklerine genel bakış	15
Tablo 6	Ulusal ölçekte başarılı uygulama örnekleri	19
Tablo 7	İklimlendirme üzerine bir çok boyutlu değerlendirme	25
Tablo 8	Ticari soğutma üzerine bir çok boyutlu değerlendirme	28
Tablo 9	Soğutucu akışkanların özelliklerine genel bakış	32

Kısaltmalar

°C	Santigrat Derece
AC	İklimlendirme
CHP	Birleşik ısı ve güç
COP	Performans katsayısı
DX Soğutucular	Direkt genleşmeli soğutucular (bina içinde dolaşan soğutucu akışkan)
EEl	Enerji verimlilik endeksi
EER	Enerji verimlilik oranı
EKK	Alman Standardı DIN SPEC 15240:2019-03'e göre tüm iklimlendirme sistem bileşenlerini içeren genel mevsimsel sistem verimliliği
HC	Hidrokarbon
HCFC	Hidrokloroflorokarbonlar
HFC	Hidroflorokarbon
KIP	Küresel ısınma potansiyeli
kW	Kilo watt (metrik kapasite/güç birimi)
LT	Düşük sıcaklık (soğutma)
M.D.	Mevcut değil
MENA bölgesi	Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgesi
MT	Orta sıcaklık (soğutma)
örn.	Örneğin
PV	Fotovoltaik
RT	Soğutma tonu (soğutma kapasitesi birimi: 1 RT = 3,52 kW)
SEER	Mevsimlik enerji verimliliği oranı
VRF Sistemleri	Değişken hacimli akış sistemleri (gelişmiş çok bölmeli sistemler)
YE	Yenilenebilir enerjiler

1. Giriş

Enerji talebinin 2040 yılına kadar %50 artması beklenen¹ Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) ülkeleri, iklim değişikliğiyle ilgili bir dizi problemle karşı karşıyadır. Bölgenin karşı karşıya olduğu enerji problemleri arasında hızla artan nüfus, kentleşme ve aşırı derecede zorlanan enerji altyapısı yer almaktadır. Evlerde iklimlendirme (AC) ile soğutma, bölgede halihazırda önemli bir enerji tüketim kaynağı teşkil etmektedir. Yaşam standartlarının iyileşmesiyle birlikte daha fazla hane halkı iklimlendirme (AC) sistemleri kullandığı için soğutma amaçlı kullanımın daha da artması beklenmektedir. Ancak kullanılan alan soğutma ve soğutma sistemlerinin birçoğu düşük enerji verimliliğine sahip olduğundan, enerji tasarrufu için büyük bir potansiyel bulunmaktadır. Soğutma kaynaklı bir diğer iklim etkisi ise günümüzdeki birçok klima ve buzdolaplarında hala kullanılmakta olan soğutucu akışkanlardan kaynaklanmaktadır. Yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip bu tür soğutucu akışkanlar, iklim üzerindeki etkileri (doğrudan sera gazı emisyonları) açısından karbondioksit ve doğal soğutucu akışkan alternatiflerine kıyasla 2.000 kat daha etkilidir. Eğer bu hususta yeni politikalar belirlenmezse soğutma ve soğutmadan kaynaklanan doğrudan ve dolaylı emisyonlar 2050 yılına kadar 2017 seviyelerinin %90 üzerine çıkarak bir geri besleme kısır döngüsü yaratabilir.

1.1. Cool Up Programı

Cool Up Programı, Mısır, Ürdün, Lübnan ve Türkiye’de, [Paris Anlaşması’nın ve Montreal Protokolü’nün Kigali değişikliğinin erkenden uygulanmasını teşvik etmekte ve sürdürülebilir soğutma alanında hızla gelişen teknolojilerin kullanımını desteklemektedir.](#) Program, artan soğutma talebinin etkilerini hafifletmek için doğal soğutucu akışkanların ve enerji verimli çözümlerin etkinleştirilmesine odaklanmaktadır. Cool Up yaklaşımı dört temele dayanmaktadır: soğutma talebinin azaltılması, hidroflorokarbonların (HFC’ler) aşamalı olarak azaltılması, verimsiz ekipman ve soğutucu akışkanların değiştirilmesi, geri dönüştürülmesi ve bu alandaki eğitim ve farkındalığın artırılması.

Programın soğutma kategorileri arası yaklaşımı, konut ve ticari iklimlendirme sektörü ile ticari soğutma sektörü üzerine yoğunlaşmaktadır.

Program, kalıcı kurumsal kapasite geliştirmeyi ve sürdürülebilir soğutma teknolojilerinin piyasada yaygınlaşmasını artırmayı amaçlamaktadır. Cool Up Programı, soğutma sektörünün sürdürülebilir soğutma teknolojilerine doğru dönüşümünü sağlamak için şunları yapacaktır:

- ▶ Uzun vadeli etkiyi destekleyecek sahiplenmeyi oluşturmak için ulusal aktörler arasındaki sektörler arası diyalogun geliştirilmesi.
- ▶ Destekleyici bir denetim ortamı yaratmak için politika eylemlerinin geliştirilmesi.
- ▶ Soğutma piyasasına geçişi sağlamak için finansal mekanizmaların ve yapıların geliştirilmesi.
- ▶ Mevcut ve gelişmekte olan teknolojilerin ticari dağıtımının ve yaygınlaştırılmasının doğal soğutucu akışkanlarla desteklenmesi.
- ▶ Dört hedef ülkede sürdürülebilir soğutma konusunda kapasite geliştirmesi için kaynak sağlanması.

Soğutma, Orta Doğu ve Kuzey Afrika (MENA) ülkelerinde enerji tüketiminin önemli bir kaynağını oluşturmakta, dolaylı sera gazı (GHG) emisyonları üretmekte ve ozon tabakasının incelmeye ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır. Cool Up Programı, hızlandırılmış teknolojik değişimi teşvik etmek ve Kigali Değişikliği ile Paris Anlaşmasının erkenden uygulanmasını kolaylaştırmak suretiyle soğutucu akışkanların olumsuz etkilerini azaltarak proje ortağı ülkelerde bu zorluğun üstesinden gelmeyi amaçlamaktadır.

Program üç ayaktan oluşmaktadır:

- ▶ Politika ve yönetmelik
- ▶ Teknoloji ve pazarlar
- ▶ Finansman ve iş modelleri

¹ British Patrol, “BP Energy Outlook 2018 Edition”

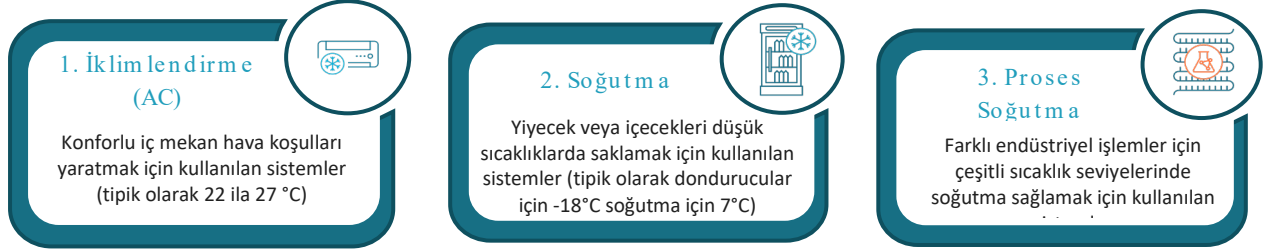
1.2. Raporun amacı ve kapsamı

Bu rapor, Türkiye'de sürdürülebilir soğutma için seçenekler hakkında bilgi vermektedir. Rapor, politika belirleyiciler ve finansman kuruluşları gibi farklı sektörlerden paydaşlara olduğu kadar planlamacılara, üreticilere ve ilgilenen diğer herkese de hitap etmektedir. Temel amaç, özellikle iklimlendirme ve ticari soğutmaya odaklanarak Türkiye'de sürdürülebilir soğutmanın benimsenmesini kolaylaştırmaktır.

- ▶ Bu bölümde2 yaygın olarak kullanılan teknolojilerin ve bunların sürdürülebilir alternatiflerinin tanıtılmasını da içerecek şekilde uluslararası soğutma teknolojileri hakkında kapsamlı bir genel bakış sunulmaktadır.
- ▶ Bu bölümde3 sürdürülebilir soğutma unsurlarının ulusal düzeydeki en başarılı uygulama örneklerine ilişkin mevcut faaliyetlere ilişkin bir genel bakış sunulmaktadır.
- ▶ Bu bölümde, 4önceki bölümlerde elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve Türkiye için önerilen sürdürülebilir soğutma çözümlerinin türetilmesi amacıyla çok boyutlu bir değerlendirme yapılmıştır. Türetilen bu çözümler en düşük seviyede uygulama engelleriyle karşılaşmalı ve aynı zamanda da uzun vadeli iklim nötrlüğü hedefi için kilitleme etkisi yaratmadan yüksek eşdeğer CO₂ tasarruf potansiyeline sahip olmalıdır.

2. Uluslararası soğutma teknolojisine genel bir bakış

Soğutma, genel olarak ısının daha yüksek sıcaklıktaki bir maddeden daha düşük sıcaklıktaki bir maddeye aktarılması anlamına gelir. Soğutma türleri, Şekil 1'de görülebileceği üzere üç alt kategoriye ayrılmıştır: İklimlendirme, soğutma ve proses soğutma



Şekil 1 Farklı soğutma alt kategorileri

Cool Up Programı, iklimlendirme ve ticari soğutma üzerine odaklanmaktadır. Sonraki bölümlerde bu iki alt kategoriye ilişkin temel bilgiler daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1. İklimlendirme

İklimlendirme teknolojileri, her biri kendi içinde alt kategorilere ayrılan iki ana kategoriye ayrılabilir:

1. Merkezi bir soğuk üretim ünitesi tarafından çeşitli iletim ünitelerine hizmet verilen merkezi sistemler
 - A. Sıkıştırılmalı su/salamura soğutucular
 - B. DX-sistemler (çatı üniteleri dahil)
 - C. Sorpsiyonlu su/salamura soğutucular
 - D. VRF-/ çok bölmeli sistemler
2. Her iletim ünitesine bir soğuk üretim ünitesinin hizmet verdiği merkezi olmayan sistemler
 - A. Tek bölmeli üniteler
 - B. Pencere/duvar üniteleri
 - C. Taşınabilir kompakt üniteler (portatif üniteler)

Aşağıdaki tablo, MENA bölgesindeki en yaygın AC sistemlerinin temel özelliklerine ilişkin bir genel bakış sunmaktadır.

Tablo 1 MENA bölgesi için en uygun AC sistemlerinin temel özelliklerine ilişkin bir genel bakış²

AC teknolojisi	Tipik kapasite aralığı	Yıllık ortalama sızıntı oranı ¹⁰	Hala kullanımda olan soğutucu akışkanlar eski / yaygın / yeni alternatifler ¹²	Verimlilik EER ¹	Verimlilik E _{KK} ² AB / sıcak iklim (örn. Kahire)	Açıklamalar
Sıkıştırılmalı soğutucular (havadan suya)	> 10 kW	% 1-22	R22 / R134a, R410A, 407C/ R32, R1234ze, R513A	2.8 ³ -4.0 ⁴	3.4-5.3 ⁵ / 2.8-4.3 ⁵	Isı depolama ve nem kontrolü imkanı

² Tablodaki veriler, aksi belirtilmedikçe projede yer alan uzmanların tahmin ve hesaplamalarına dayanmaktadır.

AC teknolojisi	Tipik kapasite aralığı	Yıllık ortalama sızıntı oranı ¹⁰	Hala kullanımda olan soğutucu akışkanlar eski / yaygın / yeni alternatifler ¹²	Verimlilik EER ¹	Verimlilik E _{KK} ² AB / sıcak iklim (örn. Kahire)	Açıklamalar
Sıkıştırılmalı soğutucular (sudan suya)	> 10 kW	% 1-22	R22 / R134a, R410A, 407C/ R1234ze, R513A	4.0-6.0 ⁶	3.7-6.2 ⁶ 3.3-5.5 ⁶	Isı depolama ve nem kontrolü imkanı
Çatı üniteleri	300 kW'a kadar	% 1-10	R22 / R134a, R410A, 407C/ R32, R1234ze, R513A	2.4-4.3	3.2-5.8/ 2.7/4.9	Nem kontrolü imkanı
Sorpsiyonlu soğutucular (sudan suya)	5- 5000 kW	M.D.	R717, R718	ısı: 0.5 - 1.3 ¹¹	ısı: 1.9-2.5/ 1.9/2.5 ⁷	Yüksek ortam sıcaklıklarında yeniden soğutma için su gereksinimi, ısı depolama imkanı (sıkıştırılmalı soğutucular gibi)
VRF-/ çok bölmeli sistemler	5-50 kW	% 1-11	R22/ R410A, R407C/R32	2.2-4.7	4.6 ⁸ -9.0/ 3.4-7.1	Sistemler arasındaki en yüksek sızıntı oranları, en yüksek yatırım maliyetleri, düşük konfor, kontrollü nem giderme yok
Tek bölmeli üniteler	< 12 kW	% 1-10	R22/ R410A, R407C/ R32	2.2-5.2	4.4-9.5 ⁹ / 3.3-7.3	Sistemler arasında mümkün olan en yüksek verimlilik ve en düşük maliyet, düşük konfor, kontrollü nem giderme yok

¹) Tasarım şartlarındaki EER enerji verimliliği oranı (soğutucular: 35/7/12, diğerleri: 35/27): AB Ecodesign'dan elde edilen minimum yeni değer (merkezi sistemler için: AB 2281/2016, <12 kW ünite için: AB 206/2012) EN 14511'e göre hesaplanmıştır; Eurovent'e göre mevcut en iyi değer (<https://www.eurovent-certification.com/en/>)

²) E_{KK}, DIN SPEC 15240:2019-03'e göre hesaplanır. Tüm AC sistem bileşenleri dahil olmak üzere genel mevsimsel sistem verimliliğini belirtir. Bu, farklı sistemlerin verimliliklerinin karşılaştırılmasına olanak sağlar. Bu, örneğin merkezi soğutuculu AC sistemleri için EER veya SEER gibi yaygın verimlilik parametreleri ile mümkün değildir; çünkü bu parametreler sadece soğutucunun kendi verimliliğini dikkate alır, gerekli dağıtım ve iletim sistemlerini değerlendirmeye almaz. Absorpsiyonlu soğutucular için E_{KK}, elektrik (varsayım 2,5) ve ısı (varsayım 0,7) birincil enerji faktörlerinin oranını dikkate alır.

³) <400 kW için AB Ecodesign

⁴) Kategori paket sistemleri, yalnızca soğutma

⁵) Çok verimli dağıtım ve iletim sistemleri bulunduğu varsayımı

⁶) Yeniden soğutma ünitesi için enerji hariç

⁷) Dikkate alınan birincil faktörler: elektrik 2.5; CHP'den gelen ısı 0.7

⁸) Soğutucu akışkan KIP>150 ve kapasitesi <6 kW olan üniteler için türetilmiş gereklilik

⁹) SEER (AB): 10.6

¹⁰) Büyük çatlaklardan kaynaklanan ve nadir olarak tam sızıntı durumlarını da içeren, çeşitli kaynaklardan elde edilen istatistiksel değerler, örn. (pae-engineers.com 2020); (Research Division of the California Air Resources Board 2017); (Offermann et al. 2016);

(United Nations Development Programme 2021); (SBZ-Online.de 2018); (Paul Ashford et al. 2006)

¹¹) 0,5 (adsorpsiyon ve NH₃); 1,3 (çift etkili su/LiBr). Belirtilen EER değerleri yardımcı ekipmanın elektrik tüketimini İÇERMEZ.

¹²) Farklı soğutucu akışkanların temel özelliklerine ilişkin bilgiler ekte bulunabilir

2.2. Ticari soğutma

Ticari soğutma sistemleri, boyut, teknoloji ve kurulum açısından herkes tarafından bilinen ev tipi buzdolaplarından farklıdır. Tipik olarak konut ünitelerinden daha güçlüdürler ve kompresörleri ve kondansatörleri soğutmalı kasadan farklı bir yerde bulunabilir. Pazar segmentasyonu açısından, her biri kendi içinde alt kategorilere ayrılan üç genel kategoriye ayrılabilirler:

- ▶ Uzak kompresör ünitesine ve harici kondensere bağlı birden fazla buharlaştırıcıya sahip büyük dağıtımli sistemler olan merkezi sistemler. Bu sistemler birden fazla soğutma yükünü karşılayabilir,
 - ▷ Merkezi direkt sistemler: Birincil soğutucu akışkan, doğrudan genişleme işlemiyle soğutulur ve ardından hedeflenen ortamı, genellikle bir gıdayı soğutmak için sirküle edilir.
 - ▷ Merkezi indirekt sistemler: İkincil soğutucu akışkan, birincil bir soğutucu akışkan tarafından soğutulur ve daha sonra hedeflenen ortamı soğutmak için sirküle ettirilerek bir ara ısı transferi aşaması ekler.
- ▶ Soğutulan alandaki buharlaştırıcının uzaktaki bir kompresöre ve kondensere bağlı olduğu yoğuşmalı üniteler. Bu sistemler üç adede kadar soğutma yükünü karşılayabilir.
- ▶ Bağımsız üniteler, ev tipi soğutma cihazlarına benzeyen küçük, kompakt fişli cihazlardır. Bu sistemler yalnızca bir soğutma yükünü karşılayabilir.

Ticari soğutma sistemleri iki sıcaklık seviyesinde çalışır:

- ▶ Orta sıcaklık (MT): süt ürünleri, meyve vb. gibi soğutulmuş ürünler için, tipik olarak 0° C ile 8° C arasındaki sıcaklık aralığında çalışır.
- ▶ Düşük sıcaklık (LT): balık, et vb. dondurulmuş ürünler için, tipik olarak -18° C ile -25° C arasındaki sıcaklık aralığında çalışır.

Aşağıdaki tabloda ticari soğutma sistemlerinin temel özelliklerine ilişkin bir genel bakış ortaya konulmuştur.

Tablo 2 Başlıca ticari soğutma sistemi tiplerinin temel özelliklerine bir genel bakış³

Ticari soğutma sistemi	Tipik kapasite aralığı ⁷	Yıllık ortalama sızıntı oranı ⁴	Hala kullanımda olan soğutucu akışkanlar eski / yaygın / yeni alternatifler ⁵	Verimlilik COP ¹ /EEI	Sıcak koşullarda verimlilik EER ²	Açıklamalar
Merkezi sistemler	40 – 200 kW	%10 – %35	O: R22 C: R404A, R134a, R407A.F N: R744, R449A, R450A	1.7 – 4.4 ¹	M.D.	Verilen verimlilik değeri, 200 kW'ın altındaki ve 300 kW'ın üzerindeki sistemler için minimum COP gerekliliklerine aittir
Yoğuşmalı üniteler	2 – 20 kW	%10-%35	O: R22 C: R404A, R134a, R407A/F N: R1234yf, R1234ze, R454A	LT: 0.8 – 2.5 ¹ MT: 1.5 – 2.5 ¹	LT: 0.65 – 2 ² MT: 1.24 – 2 ²	Verimlilik aralıkları, belirtilen çalışma kapasitesi aralığı için ASERCOM ⁶ veri tabanındaki en düşük ve en iyi performans gösteren sertifikalı/listeli ürünleri temel almaktadır.
Bağımsız üniteler	0.1 – 1 kW	%1-15	O: R12, R22 C: R404A, R134a, R134a, N: R290, R600a, R1234ze, R1234yf	Min EEI: 170 ³ Max EEI: 20 ³	M.D.	Avrupa Komisyonu 2019/2018 Yetkilendirilmiş Yönetmeliği uyarınca bağımsız üniteler için geçerli olan maksimum ve minimum EEI değerleri. Değer aralıkları farklı ürün kategorileri arasında farklılık göstermektedir.

¹) Tam yükte ve ortam sıcaklığı 32°C'de parametreler

²) Tam yükte ve ortam sıcaklığı 43°C'de parametreler

³) EEI ürün yelpazesi, süpermarket dondurucuları, süpermarket buzdolapları, dondurma dolapları, içecek soğutucuları, otomatlar ve Artisan gelato dondurma vitrinleri de dahil olmak üzere birçok farklı bağımsız ürün kategorisi arasında yer almaktadır.

⁴) Kaynak: (Paul Ashford et al. 2006)

⁵) Farklı soğutucu akışkanların temel özelliklerine ilişkin bilgileri ekte bulabilirsiniz

⁶) Bkz. <https://www.asercom.org/>

⁷) Kaynak: (UNEP Ozone Secretariat 2015)

2.3. Sürdürülebilir soğutma çözümleri

Bu bölümde iklimlendirme ve ticari soğutma alanlarında sürdürülebilir soğutma çözümlerine ilişkin bir genel bakış sunulmaktadır.

Montreal Protokolü kapsamında gelişmekte olan ülkelerde devam eden aşamalı HCFC azaltımı ve küresel HFC azaltımı, enerji verimli iklim dostu alternatiflerin benimsenmesi için bir fırsat sunmaktadır. Bu husus, Montreal Protokolü Taraflarınca HFC değişikliğine ilişkin olarak 2016 Kigali Taraflar Toplantısı'nda alınan kararlarda kabul edilmiştir. Enerji verimliliğinin aşamalı HFC azaltımı ile ilişkilendirilmesi, Kigali Değişikliğinin küresel iklim üzerinde yaratabileceği faydaları önemli ölçüde artırabilir; ve bu kaçırılmaması gereken bir fırsattır. Bununla birlikte, ülkelerin Paris Anlaşması'na yönelik taahhütleri, temiz, enerji verimli ve iklim dostu teknolojilerin aşamalı olarak piyasaya sürülmesini ve benimsenmesini gerektirmektedir.

Sürdürülebilir soğutma, aşağıdaki kriterler aracılığıyla sıfır karbon emisyonuna ulaşmayı hedeflemektedir:

- Florlu soğutucu akışkanların kullanılmaması (olası çözümler: doğal soğutucu akışkanların kullanılması veya soğutucu akışkan içermeyen "türdeş olmayan teknolojilerin" değerlendirilmesi)

³ Tablodaki veriler, aksi belirtilmedikçe projede yer alan uzmanların tahmin ve hesaplamalarına dayanmaktadır.

- ▶ Yüksek enerji verimliliği
- ▶ Yenilenebilir enerjiler tarafından sağlanır

Bu raporda sunulan teknik çözümler, maksimum emisyon azaltımı için gerekli teknoloji seçimlerine rehberlik etmek üzere bu hususları da içermeyi amaçlamaktadır. Aşağıdaki bilgiler münhasır değildir. Doğal soğutucu akışkanların kullanıldığı başka teknik çözümler de mümkündür ve bu çözümler enerji açısından verimli olabilir.

2.3.1. Doğal soğutucu akışkanlara genel bakış

Sürdürülebilir soğutma, florlu gazlar gibi çevreye zararlı soğutucu akışkanların kullanılmamasını gerektirir. Doğal soğutucu akışkan kullanan soğutma sistemleri bu gerekliliği yerine getirmektedir. Doğal soğutucu akışkanlar, doğanın biyokimyasal sürecinde ortaya çıkan sentetik olmayan maddelerdir ve bu nedenle kalıcı ve toksik emisyonlara ve bozunma ürünlerine yol açmazlar. Buna ek olarak, doğal soğutucu akışkanların iklim üzerindeki etkisi, şayet varsa, ihmal edilebilir düzeydedir. Bu soğutucu akışkanlar, bölgesel ölçekte temin edilebilir ve Montreal Protokolü ve Kigali Değişikliği kapsamında azaltıma tabi değildir; bu nedenle soğutucu akışkan fiyatlarının HFC'lere kıyasla nispeten sabit kalması beklenmektedir.

Aşağıdaki tablo, en yaygın doğal soğutucu akışkan teknolojilerinin uygulanmasıyla ilgili genel artılar ve zorluklar hakkında bir genel bakış sunmaktadır.

Tablo 3 En yaygın doğal soğutucu akışkanlara genel bakış

Soğutucu akışkan	Artılar	Eksiler
R744 (Karbondiyoksit) transkritik çalışma Subkritik çalışma (tipik olarak başka bir soğutucu akışkan ile kaskad gerektirir)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Yanıcı değil ▶ Zehirli değil ▶ Transkritik¹ çalışma modu <ul style="list-style-type: none"> ▶ Gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan, iyi bilinen bir teknoloji ▶ Subkritik² çalışma modu: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Transkritikten daha az maliyetli ▶ Yüksek ortam sıcaklıklarına uygun 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Daha yüksek stabiliteye sahip bileşenler ve borular gerektiren yüksek basınçta çalışır. Bu nedenle diğer ekipmanlara göre daha yüksek bir başlangıç yatırımı gerektirir. ▶ Boğucu gaz: Özel güvenlik önlemleri geçerlidir ▶ Transkritik: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Yüksek ortam sıcaklığına sahip ülkelerde transkritik çalışmada verimlilik sorunları ▶ Özellikle yüksek basınç nedeniyle kurulumu ve servisi teknik açıdan zorlayıcı çözümler (planlama, kurulum ve bakım için uzman personel gerektirir) ▶ Subkritik: <ul style="list-style-type: none"> ▶ Kaskad sisteminde yanıcı soğutucu akışkanlar kullanılırken güvenlik önlemlerine ve eğitimli servis personeline ihtiyaç duyulur³
R290, R1270, R600a gibi hidrokarbonlar	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ev tipi soğutmada onlarca yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır ▶ Çoğu ürün tasarım standardı halihazırda belirlenmiştir ▶ Nispeten basit ve uygun maliyetli teknoloji ▶ Enerji verimliliği tipik olarak geleneksel soğutucu akışkanlardan daha yüksektir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Yanıcılık derecesi A3⁴ : <ul style="list-style-type: none"> ▶ Özel güvenlik önlemleri gerektirir, örneğin R290 (propan) solüsyonlarında soğutucu akışkan binaların içinde sirküle edilmemelidir. Ancak, örneğin bağımsız sistemlerde ve konut tipi split klimalarda daha az masraflı kullanıma olanak sağlar ▶ Halihazırda mevcut değilse, servis personelinin yanıcı soğutucu akışkanların servisi konusunda eğitilmesi gerekir ▶ Güvenlik standartları nedeniyle maksimum yük kısıtlamaları⁵

Soğutucu akışkan	Artılar	Eksiler
R717 (amonyak)	Yüksek enerji verimliliği	<ul style="list-style-type: none"> ► Toksikite derecesi B: Özel güvenlik önlemleri gerektirir; örn. ekipmanın yalnızca teknik personelin erişebileceği bir makine odasına yerleştirilmesi gerekir ► Kurulum, bakım ve servis personelinin özel eğitim sertifikalarına sahip olması gerekir
R718 (su) ⁶	<ul style="list-style-type: none"> ► Yanıcı değil ► Zehirli değil ► Enerji verimliliği tipik olarak geleneksel soğutucu akışkanlardan daha yüksektir ► Güvenlik sorunlarından kaçınır 	<ul style="list-style-type: none"> ► Şu ana kadar yalnızca birkaç soğutucu mevcut ► Geleneksel tip soğutma sistemlerine kıyasla daha yüksek alan gereksinimi ► Mevcut soğutuculardaki sıcaklık artışının sınırlı olması

¹⁾ Diğer soğutucu akışkanlardan farklı olarak CO₂, buhar ve sıvı faz arasında bir 'Kritik Durum'a girer. Bu, sıcak ülkelerdeki yaygın ortam sıcaklığı aralığı olan, yaklaşık 32 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu kapsamda iki çözüm mevcuttur; transkritik CO₂ çalışma için tasarlanmış sistemlerle çalıştırmak (bu, sistemde çok yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmasına yol açarak pahalı bileşenlerin kullanılmasına ve zorlu bir işleme neden olur) VEYA CO₂ sisteminin kondenser sıcaklığının ikincil bir sistem kullanılarak kritik sıcaklığın altında tutulduğu subkritik sistemlerle çalıştırmak (bizim örneğimizde R290 soğutucu)

²⁾ Kaskad sistemlerde çok sayıda (bir veya daha fazla) ısı eşanjörü bulunur ve her bir ısı eşanjörü enerji verimliliğinde kayba yol açar

³⁾ Bunun yanı sıra, kaskadın yüksek sıcaklık aşamasında yanıcı olmayan (R718) veya hafif yanıcı (R717) doğal soğutucu akışkanlar da kullanılabilir.

⁴⁾ ASHRAE Standart 34 şu kategorilere sahiptir: A1-alev yayılımı yok; A2L-azami yanma hızı <10 cm/s olan düşük yanıcılık; A2-düşük yanıcılık; A3 yüksek yanıcılık

⁵⁾ Şu anda çeşitli standartların güncellemeleri yapılmaktadır. Söz konusu standart IEC 60335-2-40'tır. Revize edilmiş IEC 60335-2-40 standardı Nisan 2022'de onaylanmıştır. Böylece artık ev tipi klimalarda, ısı pompalarında ve nem alıcılarda daha yüksek yanıcı akışkan yüklemeleri yapılabilir hale gelmiştir:

⁶⁾ Erken teknoloji aşaması: Şu ana kadar ticari olarak sadece birkaç ürün çeşidi mevcuttur.

2.3.2. Sürdürülebilir iklimlendirme çözümleri

2.3.2.1. Genel Bakış

Aşağıdaki tablo, doğal soğutucu akışkanlı AC sistemlerinin temel özelliklerine ilişkin bir genel bakış sunmaktadır:

Tablo 4 Doğal soğutucu akışkanlı en uygun alternatif AC sistemlerinin başlıca özelliklerine genel bakış⁴

AC teknolojisi	Kapasite aralığı	Soğutucu akışkan	Verimlilik EER ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Sıkıştırılmalı soğutucular (havadan suya)	60-400 kW	R744	2 ²	Transkritik veya subkritik çalışma		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Doğal soğutucu akışkanlı diğer teknolojilere göre daha yüksek yatırım maliyeti ▶ Düşük verimlilik
	50-650 kW	R290	2.7-3.8		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Halihazırda belirlenmiş ürün tasarım standartları ▶ Nispeten basit ve uygun maliyetli teknoloji ▶ Enerji verimliliği tipik olarak geleneksel soğutucu akışkanlardan daha yüksektir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ A3 yanıcılık derecesi ▶ Soğutucu akışkanın binaların kullanım alanlarında dolaşımını önlemek için gereken özel tasarım şartları
	100-1700 kW	R717	2.7-5.4		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Yukarıdaki alternatiflere göre daha yüksek enerji verimliliği 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Toksik: ek güvenlik önlemleri uygulanır, soğutucu akışkan bina içinde dolaşmamalıdır ▶ Kurulum, bakım ve servis için uzman personel ihtiyacı
	35-120 kW	R718	3.1-10 ³	tek veya çift kademeli turbo ⁴	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Güvenlik sorunu yok ▶ Soğutucu akışkanla ilgili bilgi birikimi gerekmez 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Standart teknolojiye göre daha yüksek yatırım maliyeti ▶ Sınırlı sıcaklık aralığı/lifti

⁴ Tablodaki veriler, aksi belirtilmedikçe projede yer alan uzmanların tahmin ve hesaplamalarına dayanmaktadır.

AC teknolojisi	Kapasite aralığı	Soğutucu akışkan	Verimlilik EER ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Sıkıştırılmalı soğutucular (sudan suya)	M.D.	R290	M.D.		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Halihazırda belirlenmiş ürün tasarım standartları ▶ Nispeten basit ve uygun maliyetli teknoloji ▶ Enerji verimliliği tipik olarak geleneksel soğutucu akışkanlardan daha yüksektir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ A3 yanıcılık derecesi ▶ Soğutucu akışkanın binaların kullanım alanlarında dolaşımını önlemek için gereken özel tasarım şartları
	100-3500 kW	R717	3.5-5.5		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Yukarıdaki alternatiflere göre daha yüksek enerji verimliliği 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Toksik: ek güvenlik önlemleri uygulanır, soğutucu akışkan bina içinde dolaşmamalıdır ▶ Kurulum, bakım ve servis için uzman personel ihtiyacı
	35-350 kW	R718	5,1 ⁵		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Güvenlik sorunu yok ▶ Soğutucu akışkanla ilgili bilgi birikimi gerekmez 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Standart teknolojiye göre daha yüksek yatırım maliyeti ▶ Sınırlı sıcaklık aralığı/lifti
Çatı üniteleri	M.D.	R290	M.D.	Şu anda yalnızca demo-proje ⁶	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geleneksel tip alternatiflere kıyasla daha yüksek enerji verimliliği göstergesi ▶ Geleneksel tip alternatiflere kıyasla daha yüksek ortam sıcaklıklarında çalışma mümkün olabilir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maliyet seviyesi bilinmiyor ▶ A3 yanıcılık derecesi (=> Soğutucu akışkan sızıntısı ve alanlara verilen hava ile karışması riskini azaltmak için ek güvenlik önlemleri gereklidir).

AC teknolojisi	Kapasite aralığı	Soğutucu akışkan	Verimlilik EER ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Sorpsiyonlu su/salamura soğutucular	>50 kW	R717	0.6 ⁷	Çalışma çifti- absorpsiyon: R717/su	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verimli bir ko- veya tri-jenerasyon sisteminin parçası olabilir (elektrik +soğutma (+ısıtma)) ▶ R718 bazlı sorpsiyona kıyasla daha yüksek sıcaklık liftleri mümkündür, kuru yeniden soğutma ▶ (Yenilenebilir / atık) ısı kaynaklarını kullanmak için iyi bir seçenek 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sıkıştırılmalı sisteme kıyasla daha yüksek yeniden soğutma ihtiyacı
	15 –4.000 kW M.D.	R718	0.75	Çalışma çifti - absorpsiyon: R718/LiBr	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verimli bir ko- veya tri-jenerasyon sisteminin parçası olabilir (elektrik +soğutma (+ısıtma)) ▶ (Yenilenebilir / atık) ısı kaynaklarını kullanmak için iyi bir seçenek ▶ Güvenlik sorunu yok 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sınırlı sıcaklık artışı (evaporatif yeniden soğutucular veya yüksek soğutulmuş su sıcaklığı)
	8–100 kW M.D.	R718	0.6	Çalışma çiftleri- adsorpsiyon: R718/silika jelR718/zeolit	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Verimli bir ko- veya tri-jenerasyon sisteminin parçası olabilir (elektrik +soğutma (+ısıtma)) ▶ (Yenilenebilir / atık) ısı kaynaklarını kullanmak için iyi bir seçenek ▶ Güvenlik sorunu yok 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Sınırlı sıcaklık lifti (evaporatif yeniden soğutucular veya yüksek soğutulmuş su sıcaklığı) ▶ döngüsel çalışma
VRF-/ çoklu bölmeli sistemler⁸	M.D.	R744	M.D.			<ul style="list-style-type: none"> ▶ Yüksek yatırım maliyetleri ▶ Düşük verimlilik

AC teknolojisi	Kapasite aralığı	Soğutucu akışkan	Verimlilik EER ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Tek bölmeli üniteler	M.D.	R744	M.D.			► Küçük sistemler için uygun maliyetli değil
	5 kW'a kadar	R290	M.D. ⁹		<ul style="list-style-type: none"> ► Bazı bölgelerde halihazırda kullanılan, iyi bilinen teknoloji ► Halihazırda yürürlükte olan ürün tasarımı ve güvenlik standartları¹⁰ ► Enerji verimli ► Teknolojinin hacimle birlikte olgunlaşmasıyla beklenen maliyet düşüşü 	► Kurulum ve servis için dikkate alınması gereken özel güvenlik gereksinimleri
Doğrudan yeraltı veya deniz suyu soğutması	50-1000 kW	-	>20 (pompa enerjisi)	► Sadece su sıcaklıkları < 14 °C olduğunda uygulanabilir (ılıman iklim, daha sıcak iklimler için uygun değildir)		

¹) EN 14511 tasarım koşullarına uygun EER enerji verimliliği oranı (soğutucular: 35/7/12, diğerleri: 35/27)

²) Verilen değer sadece soğutma verimliliğini dikkate alır, ayrıca sıcak suyun da gerekli olduğu durumlarda ilave avantajlar elde edilebilir

³) Standart koşul verimliliği mevcut değildir, esas olarak yüksek soğutulmuş su sıcaklıkları için tasarlanmıştır

⁴) Tanımlanan mevcut soğutucular açıkça "havadan suya" olarak belirtilemez, ancak paket olarak teslim edilen kuru soğutucu kullanır.

⁵) EN 14511 tasarım koşullarına göre: 350 kW soğutucu için 12/7 - 30/35

⁶) Bkz: Yoshimoto 2020

⁷) Termal verimlilik: Soğutma enerjisi / Akışkan ısı

⁸) Erken teknoloji aşaması: Şu ana kadar ticari olarak sadece birkaç ürün çeşidi mevcuttur. Yüksek iç mekan soğutucu akışkan yükleri nedeniyle yanıcı veya zehirli soğutucu akışkanlar için herhangi bir çözüm yoktur

⁹) SEER (EU) > 7 olan en az bir ürün

¹⁰) Nisan 2022'de revize edilen IEC 60335-2-40 standartının onayı ile artık konut tipi klimalarda, ısı pompalarında ve nem alma cihazlarında daha yüksek yanıcı soğutucu akışkan yüklemesi yapılabilmekte ve böylece daha büyük ekipman türleri de hidrokarbonlarla birlikte çalışabilmektedir.

Enerji Bilgi İdaresi (EIA)/Greenpeace'in ürün veri tabanlarından mevcut sürdürülebilir iklimlendirme teknolojileri hakkında kapsamlı bilgiler elde edebilirsiniz.

Kaynaklar

- ▶ Ev tipi klima:
<https://cooltechnologies.org/sector/domestic-air-conditioning/>
- ▶ Ticari/endüstriyel klima:
<https://cooltechnologies.org/sector/commercial-industrial-air-conditioning/>
- ▶ Ayrıca <https://hydrocarbons21.com/> adresinden ise hidrokarbon teknolojileri hakkında bilgi alabilirsiniz.

2.3.2.2. Sürdürülebilir AC sistemlerinin kullanılmasının önündeki temel engeller

Sunulan sürdürülebilir çözümlerin uygulanmasına ilişkin şu engeller tespit edilmiştir:

- ▶ Sentetik soğutucu akışkanların kullanımını teşvik etme konusunda ekonomik çıkarları olan ya da sürdürülebilir klimaya olan talep şu anda nispeten düşük olduğu için tereddüt eden piyasa devlerinden gelen baskılar⁵.
- ▶ Doğal soğutucu akışkan çözümlerinin pazara girişini artırmada kilit rol oynayan tesisatçıların sürdürülebilir klima ürünleri alanındaki deneyim eksikliği.
- ▶ Yanıcı soğutucu akışkanların kullanımı (kurulum, bakım, onarım ve servis) ile ilgili bilgi ve beceri eksikliği.
- ▶ Daha küçük üretim kapasiteleri, düşük pazar rekabeti ve deneyim eksikliği nedeniyle ortaya çıkan nispeten yüksek yatırım maliyetleri.

Daha önce yanıcı soğutucu akışkanların yüklenme boyutlarına sınırlama getiren ve dolayısıyla doğal soğutucu akışkanların pazara girişini engelleyen uluslararası güvenlik standartlarının revize edildiği unutulmamalıdır. IEC 60335-2-40'ın güncellenmiş versiyonu 2022 yazında yayınlanmıştır ve bu sürümün konut tipi klima ve ısı pompalarında hidrokarbon kullanımının önündeki daha önceki engelleri kaldırması beklenmektedir.

2.3.2.3. AC talebini azaltmaya yönelik önlemler

Azaltılmış enerji talebi, sürdürülebilir soğutmanın temel unsurlarından biridir. Klima talebini azaltmak için birçok seçenek bulunmaktadır. Aşağıdaki liste, mevcut olan en geçerli önlemlere ilişkin bir genel bakış sunmaktadır:

- ▶ Etkili güneş gölgeleme (genellikle en etkili: otomatik kontrollü hareketli dış gölgeleme)
- ▶ Hava geçirmez yapı
- ▶ Gece soğutma havalandırması (pasif soğutma) ve/veya ekonomizörler dahil olmak üzere talep kontrollü havalandırma
- ▶ Pencere ve kapı kontakları (bir kapı veya pencere açıldığında klimayı durdurmak için)
- ▶ Düşük ısı transferli bina dış kabuğu (Yalıtım ve en az çift cam) veya güneş enerjisi kaynaklı ısı kazancını azaltmak için en azından çatı ve cephede parlak renklerin tercih edilmesi (Yüksek Güneş Yansıtma İndeksine (SRI) sahip malzemelerin kullanılması)
- ▶ Yüksek termal kütleler (pik yükün azaltılmasına ve pasif soğutma verimliliğinin artmasına olanak sağlar)
- ▶ İç yükün azaltılması (verimli cihazlar ve aydınlatma)
- ▶ Yeterli (AC talebi) izleme ve kontrol sistemleri (Klimaların sadece ihtiyaç duyulan bölgelerde ve kabul edilebilir en yüksek sıcaklığa ayarlı ayar noktalarında ve daha büyük binalarda kullanılması: Merkezi bir bina otomasyon sisteminin uygulanması)
- ▶ Verimli dağıtım sistemleri (su havadan daha iyidir; iyi yalıtılmış boru ve kanal sistemleri)

⁵ Bkz. örn.: Hasse, "Statement of Volkmar Hasse Cooling (Cooling expert and former head of GIZ Proklima) on day 3 of the Green Cooling Summit"

- ▶ Odalara verimli soğuk aktarım sistemlerinin kurulması (soğutulmuş tavanlar veya soğutulmuş kirişler gibi pasif sistemler, fan coil ünitelerinden veya merkezi havalandırma yoluyla klimadan daha az enerjiye ihtiyaç duyar)
- ▶ Merkezi soğutucuların kullanılması durumunda: Yüksek sistem sıcaklıkları (soğuk su döngüsü) ve düşük soğutma suyu (örn. jeotermal enerji veya deniz suyu kullanarak)
- ▶ Doğru bakım
- ▶ Teknik bina sistemlerinin uygun şekilde devreye alınması ve düzenli denetimler yoluyla optimum çalışmanın sağlanması

2.3.2.4. Yenilenebilir enerji arzı için çözümler

Yenilenebilir enerji kaynağı, sürdürülebilir soğutma için bir başka ön koşuldur. Yerinde veya alan dışı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile elde edilebilir. Aşağıda belirtilen seçenekler, iklimlendirme ve ticari soğutmanın yanı sıra tesislerde de tercih edilebilir.

Yerinde seçenekler:

- ▶ PV güneş enerjisi
- ▶ Termal güneş enerjisi
- ▶ Yük değişimi için depolama (termal depolama, aküler)

Alan dışı seçenekler:

- ▶ Yenilenebilir elektrik tedariki:
 - ▷ PV tesislerinden PV güneş enerjisi
 - ▷ Yoğunlaştırılmış termal güneş tesisleri
 - ▷ Rüzgâr enerjisi
- ▶ 100 yenilenebilir bölgesel soğutma

2.3.3. Sürdürülebilir ticari soğutma çözümleri

2.3.3.1. Soğutucu akışkanlara genel bakış

Aşağıdaki tablo, en uygun doğal soğutucu akışkanlı soğutma sistemlerinin başlıca özelliklerine ilişkin bir genel bakış sunmaktadır:

Tablo 5 Doğal soğutucu akışkanlı en uygun alternatif soğutma sistemlerinin başlıca özelliklerine genel bakış⁶

Ticari soğutma sistemi	Soğutucu akışkan	Verimlilik COP ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Merkezi doğrudan sistemler	R744 ¹	M.D.	Transkritik çalışma	<ul style="list-style-type: none"> ► İyi bilinen ve gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan teknoloji 	<ul style="list-style-type: none"> ► Nispeten daha yüksek başlangıç yatırımı maliyetleri ► Yüksek ortam sıcaklığına sahip ülkelerde transkritik çalışmada verimlilik sorunları ► Özellikle yüksek basınç nedeniyle kurulumu ve servisi teknik açıdan zorlayıcı çözümler (planlama, kurulum ve bakım için uzman personel gerektirir)
			Subkritik çalışma	<ul style="list-style-type: none"> ► Sorun, CO₂'yi subkritik durumda tutmak için soğutulmuş su üretecek R290 veya R717 ile kombine edilmiş bir kaskad sistemde %100 doğal soğutucu akışkanların kullanımı ile çözülebilir ► Örneğin otellerde iyi bilinen teknolojiler tercih edilebilir ► Servis açısından daha az karmaşık teknoloji ► Daha yüksek ortam sıcaklıklarına sahip ülkelerde kullanılabilir 	<ul style="list-style-type: none"> ► Nispeten daha yüksek yatırım maliyetleri ► Kurulum, bakım ve servis için uzman personel ihtiyacı

⁶ Tablodaki veriler, aksi belirtilmedikçe projede yer alan uzmanların tahmin ve hesaplamalarına dayanmaktadır.

Ticari soğutma sistemi	Soğutucu akışkan	Verimlilik COP ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Merkezi indirekt sistemler	R744	M.D.	Subkritik çalışma	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Transkritik sistemlere göre daha az maliyetli ▶ İkincil döngü R744 üniteleri, hem soğutma hem de dondurucu çözümleri için kullanılabilir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kaskad sisteminde örn. R290 kullanılırken uyulması gereken güvenlik önlemleri ▶ Kurulum, bakım ve servis için uzman personel ihtiyacı
	R290	M.D.		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Halihazırda belirlenmiş ürün tasarım standartları ▶ Nispeten basit ve uygun maliyetli teknoloji ▶ Enerji verimliliği tipik olarak geleneksel soğutucu akışkanlardan daha yüksektir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ A3 yanıcılık derecesi
	R717	M.D.		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Halihazırda belirlenmiş ürün tasarım standartları ▶ Nispeten basit ve uygun maliyetli teknoloji ▶ Geleneksel tip soğutucu akışkanlara göre daha yüksek enerji verimliliği 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Ele alınması gereken toksisite sorunları
Yoğuşmalı üniteler (küçük ila orta boy)	R744	MT: 1.76 – 3.83 LT: 0.96 – 1.92 ²		Yüksek enerji verimliliği	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Nispeten yüksek başlangıç yatırım maliyetleri
	R290	M.D.		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Halihazırda belirlenmiş ürün tasarım standartları ▶ Nispeten basit ve uygun maliyetli teknoloji ▶ Enerji verimliliği tipik olarak geleneksel soğutucu akışkanlardan daha yüksektir ▶ Bileşenler ve soğutucu akışkanlar kolay temin edilebilir 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kurulum, bakım ve servis için uzman personel ihtiyacı

Ticari soğutma sistemi	Soğutucu akışkan	Verimlilik COP ¹	Açıklamalar	Artılar	Eksiler
Bağımsız üniteler (buzdolapları)	R290/R600a	M.D.	R600a tipik olarak daha küçük üniteler için kullanılır	<ul style="list-style-type: none"> ► Daha büyük bağımsız ekran üniteleri üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılır ► Yüksek enerji verimliliği ► Bileşenler ve soğutucu akışkanlar kolay temin edilebilir 	<ul style="list-style-type: none"> ► Kurulum, bakım ve servis için uzman personel ihtiyacı ► Küçük üreticiler açısından üretim hatları bakımından daha yüksek sermaye maliyetleri
	R744	M.D.		Yüksek enerji verimliliği	<ul style="list-style-type: none"> ► Kompresörler gibi bileşenlerin yüksek maliyeti ve sınırlı bulunabilirliği
Bağımsız üniteler (dondurucular)	R290	M.D.		<ul style="list-style-type: none"> ► Büyük bağımsız soğutmalı vitrin üniteleri üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılır ► Enerji verimli ► Bileşenler ve kullanılabilirlik 	<ul style="list-style-type: none"> ► Yanıcı soğutucu akışkanların taşınması kapsamındaki servis kapasitesi ► Küçük üreticiler açısından üretim hatları bakımından daha yüksek sermaye maliyetleri³

¹) R717'nin toksisitesi ve HC'lerin yanıcılığı nedeniyle R744 şu anda direkt sistemler için mevcut tek seçenektir

²) Verimlilik aralıkları (MT ve LT) çok sınırlı sayıda ürünü temel almaktadır ve kapsamlı olarak değerlendirilmemelidir

³) Esas olarak Coca-Cola ve benzeri birçok firmanın test sistemlerinin durdurulması nedeniyle

Mevcut sürdürülebilir ticari soğutma teknolojilerine ilişkin kapsamlı bilgi EIA/Greenpeace veri tabanında bulunabilir.

Kaynak: <https://cooltechnologies.org/sector/commercial-refrigeration/>

2.3.3.2. Sürdürülebilir ticari soğutmanın uygulanmasının önündeki temel engeller

Sunulan sürdürülebilir çözümlerin uygulanmasına ilişkin şu engeller tespit edilmiştir:

- ▶ Özellikle merkezi sistemler ve yoğuşmalı üniteler için sürdürülebilir ticari soğutma çözümü konusunda ulusal düzeyde deneyim eksikliği,
- ▶ Yanıcı soğutucu akışkan korkusu,
- ▶ Özellikle yanıcı soğutucu akışkanların kullanımı (kurulum, bakım ve imha) ile ilgili bilgi ve beceri eksikliği,
- ▶ Daha küçük üretim kapasiteleri, düşük pazar rekabeti ve deneyim eksikliği nedeniyle nispeten daha yüksek yatırım maliyetleri.

2.3.3.3. Ticari soğutma sistemlerinin enerji talebini azaltmaya yönelik önlemler

Kompresyon sistemlerinin verimliliği ve çevre dostu bir soğutucu akışkan seçiminin yanı sıra, düşük enerji talebini sağlamaya yönelik diğer önlemler de sürdürülebilir bir ticari soğutma için kilit unsurlardır. Ticari soğutmanın enerji talebini azaltmak için birçok seçenek bulunmaktadır. Aşağıdaki liste, mevcut olan geçerli önlemlere ilişkin bir genel bakış sunmaktadır:

- ▶ Soğutmalı vitrinlerin ve tezgahların konveksiyon kayıplarını azaltmaya yönelik önlemler (örn. cam kapılar, hava perdeleri vb. kullanarak),
- ▶ İyi yalıtım sayesinde düşük ısı transferi,
- ▶ Verimli ekran aydınlatması, örn. LED,
- ▶ Elektrik tüketimini azaltmak için enerji yönetim sistemlerinin kullanılması, örneğin ticari vitrin buzdolapları için,
- ▶ Doğru koruyucu ve iyileştirici bakım,
- ▶ Özellikle merkezi sistemler ve yoğuşmalı üniteler:
 - ▷ iyi yalıtılmış dağıtım sistemleri,
 - ▷ yeterli izleme ve kontrol sistemleri,
 - ▷ Teknik bina sistemlerinin uygun şekilde devreye alınması ve düzenli denetimler yoluyla optimum çalışmayı sağlamak.

3. Ulusal düzeyde başarılı uygulama örnekleri

Aşağıdaki tablo, binalarda sürdürülebilir soğutma önlemlerini (doğal soğutucu akışkanlar / enerji verimliliği / yenilenebilir enerji) veya sürdürülebilir ticari soğutmayı kapsayan projelere ilişkin bir genel bakış sunmaktadır. Liste, ikincil araştırmaların ve farklı ulusal paydaşların katkılarının bir ürünüdür (kaynaklar için bkz. sağ alt sütun)

Bahsi geçen başarılı uygulamalar, Cool Up Programının sürdürülebilir (iklim nötr) hedefleriyle en az bir yönden örtüşmektedir.

Bu unsurlar (burada yer almayan diğer unsurların yanı sıra) şu şekilde sıralanabilir: florlu soğutucu akışkan içermeyen soğutma sistemleri (örn. doğal soğutucu akışkanlar, termal soğutma sistemleri), soğutma talebini önemli ölçüde azaltan önlemler, yenilenebilir enerjilerle soğutma, buz depoları (güneş enerjisiyle iklim açısından nötr bir soğutma sağlayabilir), verimli soğutma teknolojisi bileşenleri (doğal soğutucu akışkanlı sistemlerde kullanılabilir, örn. bölgesel soğutma).

Tablo 6 Ulusal düzeyde başarılı uygulama örnekleri

No.	Proje adı	Açıklama Proje bilgisi / temel bulgular	Bilgi Yıl/yer/finansman- ve Uygulama kuruluşu	Kaynak Bağlantıları
1	Türkiye'nin ilk transkritik CO ₂ test ünitesi	Ahmet Yar Soğutma'da ilk transkritik CO ₂ test ünitesi kuruldu	2006, Green &Cool imzasıyla Ahmet Yar Soğutma	Daikin tarafından 27 Nisan 2022 tarihinde Cool Up paydaş toplantısında sunulan bilgiler
2	Örnek çalışma: Subkritik CO ₂ kaskad süpermarket soğutma sistemi	Birleşmiş Milletler çevre programı kapsamında Türkiye'nin ilk CO ₂ 'li soğutma sistemi vaka çalışması. Carrefour tarafından seçilen sistem bir CO ₂ -R404a ⁷ kaskad sistemidir. Orta sıcaklık soğutma ünitelerini ve CO ₂ kondansatörünü R404a ile, düşük sıcaklık ünitelerini ise CO ₂ (R744) ile besler. Sistemin, Türkiye'de derin dondurucu kullanımı için HFC tabanlı sistemden daha verimli olduğu kanıtlanmıştır.	2009, İstanbul BAHÇELİEVLER mağazası Carrefour UNDP için yapılan çalışma Çözüm Soğutma	https://www.readkong.com/page/bahcelievler-carrefour-6471122 https://www.tesisatmarkt.com/teknik/endustriyel-sogutmada-co2-r-744-uygulamasi
3	Carrefour CO ₂ transkritik sistem	Carrefour Grubu 2012 yılında İstanbul'da bir transkritik CO ₂ sistemi kurmuştur. Transkritik CO ₂ sistemi, yerel hipermarketteki geleneksel R-404A çok katlı raf sisteminin yerini almıştır. Sistem, çelik borular kullanarak düşük sıcaklık ve orta sıcaklık ekipmanlarına soğutucu akışkan sağlar. Sistemin güçlendirilmiş boru bağlantı parçaları sayesinde soğutucu akışkan kaçaklarını %75 oranında azaltması ve enerji verimliliğini yaklaşık %15 oranında artırması beklenmektedir	2012 Konum İstanbul Carrefour Grup	https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-12/documents/international_transitioning_to_low-GWP_alternatives_in_commercial_refrigeration.pdf

⁷ Açıklama:

No.	Proje adı	Açıklama Proje bilgisi / temel bulgular	Bilgi Yıl/yer/finansman- ve Uygulama kuruluşu	Kaynak Bağlantıları
4	CO ₂ soğutma çözümleri sunan yerli üreticiler	Kaplanlar, 2017 yılından bu yana küçük marketler ve süpermarketler için CO ₂ transkritik sistemleri sağlamaktadır. Çağlayan Soğutma (Konya) ve Frigoblock (İstanbul) Fransa ve Cezayir'e ihraç edilen çoklu ejektörlü CO ₂ üniteleri sunmaktadır. Iskid: Kompakt CO ₂ soğutma ünitesi		https://r744.com/kaplanlar-enters-natref-market-with-transcritical-co2/ ve Daikin tarafından 27 Nisan 2022 tarihinde Cool Up paydaş toplantısında sunulan bilgiler
5	Süpermarket yenileme çalışmaları	Ucuzluk süpermarketinin HCFC-22 ile R-448A/R-452A/R290 dönüşümü. Pilot#2 İstanbul'da perakende zinciri son kullanıcıları ile gerçekleştirilecektir. Bu süpermarket zincirinin İstanbul bölgesinde toplam 12 marketi bulunmaktadır; bu marketlerden bir tanesinde demo projesinin bir parçası olarak yeni ekipmanlar kurulmuştur.	2019-devam ediyor Konum: İstanbul Uygulayıcı: NOU/SOSİAD Finansman: UNIDO	
6	UNILEVER/Algıda Dondurma Tesisi	CO ₂ /NH ₃ soğuk oda kaskad sistemi dönüşümü	2019-devam ediyor Konum: İzmir Uygulayıcı: NOU/SOSİAD Finansman: UNIDO	https://unido.sosiad.org.tr/index.html
7	R290 üniteleri tedarik eden yerli üreticiler	Üreticiye özel olarak hedef sıcaklığa %70'e kadar daha hızlı ulaşan ve enerji tüketiminde %33'e kadar tasarruf sağlayan kompakt R290 monoblok soğutma ünitesi	Iskid	Iskid tarafından 27 Nisan 2022 tarihinde Cool Up paydaş toplantısı hakkında sağlanan bilgi

Özet

Özet olarak, sürdürülebilir ticari soğutma sistemlerine ilişkin çeşitli faaliyetler (çoğunlukla transkritik CO₂ olmak üzere) halihazırda mevcuttur Yukarıdaki liste eksiksiz olmaktan uzak olsa da, iklimlendirme sektöründe doğal soğutucu akışkanların kullanıldığı sürdürülebilir soğutma faaliyetleri sınırlıdır.

4. Sürdürülebilir soğutmanın uygulanmasına yönelik fikirler

Bu bölümde Türkiye'de sürdürülebilir soğutma çözümleri için en uygun seçenekler hakkında öneriler yer almaktadır. Bu öneriler derlenirken önceki bölümler göz önünde bulundurulmuştur.

Birçok gelişmiş/gelişmekte olan ülkede iklimlendirme ve ticari soğutma alanlarının her biri için geçerliliği ve uygunluğu kanıtlanmış teknik çözümlerin yer aldığı bir liste oluşturulmuştur. Listelenen çözümler sistematik bir değerlendirmeye tabi tutularak Türkiye için sürdürülebilir soğutma çözümlerine yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Önerilen çözümler, en düşük uygulama engelleriyle karşılaşmalı ve aynı zamanda da uzun vadeli iklim nötrlüğü hedefi açısından engelleyici etkiler yaratmayacak şekilde yüksek eşdeğer CO₂ tasarruf potansiyeline sahip olmalıdır.

Önerilen sürdürülebilir soğutma çözümleri, florlu gazlar gibi çevreye zararlı soğutucu akışkanların kullanılmaması, yüksek verimlilik sayesinde düşük enerji talebi ve tamamen yenilenebilir bir enerji kaynağı ile uyumluluk anlamına gelen Cool Up hedefleri ile uyumludur.

Bu şekilde, soğutucu akışkan kullanımından kaynaklanan doğrudan CO₂ emisyonları neredeyse ortadan kalkacaktır.

4.1. Uzun liste

4.1.1. İklimlendirme çözümleri

Hedef konum, sadece soğutma sistemleri için değil, aynı zamanda enerji verimliliği konusunda da öncü bir örnek teşkil edecek bir bina olmalıdır. Bina, ideal olarak yenilenebilir enerji ile beslenmelidir (örn. yerinde PV güneş enerjisi).

Merkezi HC soğutucu

Hidrokarbon soğutucu akışkanların yanıcılığı nedeniyle soğutucu akışkan, bina içinde sirküle edilmemelidir. Bu hususta önerilen çözümler şunlardır; binaya sirküle ettirmek üzere bir soğutulmuş su/glikol karışımı üreten çatıya veya binadan uzak bir alana monte edilmiş bir su soğutma ünitesi tercih edilmesi ve binanın her bir yanındaki klima santrallerinin (AHU) soğuk havayı sirküle ettirmek için soğutulmuş sıvı kullanması.

Hedef konum yalnızca soğutma sistemleri için değil, enerji verimliliği konusunda da örnek bir bina olmalıdır. Daha modern bir teknoloji ve soğutucu akışkan olarak R290 kullanılması ile enerji tüketiminde hafif bir tasarruf sağlanması beklenmektedir.

Merkezi amonyaklı soğutucu

Amonyakın (R717) zehirli olması nedeniyle soğutucu akışkan, bina içinde sirküle edilmemelidir. Bu hususta önerilen çözümler şunlardır; bina içinde dolaştırılmak üzere bir soğutulmuş su/glikol karışımı üreten ve dışarıya monte edilmiş bir su soğutucu tercih edilmesi ve binanın her bir yanındaki klima santrallerinin soğuk havayı sirküle ettirmek için soğutulmuş sıvı kullanması.

Daha modern bir teknoloji ve soğutucu akışkan olarak R717 kullanılması ile enerji tüketiminde hafif bir tasarruf sağlanması beklenmektedir.

Kurulumun mevcut binalarda yapılması öngörüldüğünden, binanın halihazırda bir merkezi su kliması sistemi ile donatılmış olması gerekmektedir.

Merkezi olmayan AC R290 split üniteler

Konut tipi split klimalar, kullanımları yaygın olduğu için HCFC ve HFC emisyonlarının büyük bir kısmına neden olmaktadır ve nüfus artışı, yükselen yaşam standartları ve artan soğutma ihtiyacı nedeniyle sektörde kullanımın artması beklenmektedir. Önerilen çözüm, HFC'ler yerine R290'lı split ünitelerin kullanılmasıdır. Ancak ürünlerin pazarda göreceği ilgi sınırlı olabilir ve personelin yanıcı soğutucu akışkanların kullanımı

konusunda eğitilmesi gerektiği için söz kullanım hizmet sektörünün gelişimine bağlıdır. Ne var ki aynı zamanda HFC R32 gibi diğer yanıcı soğutucu akışkanlar için de bir personel eğitimine ihtiyaç duyulmaktadır.

Merkezi R718 soğutucu

Tercih edilen uygulama veri merkezleridir. Bunun nedeni, çoğu zaman 20 °C'nin üzerindeki soğutulmuş su sıcaklığının yeterli olması ve mevcut R718 soğutma gruplarının tamamen kullanılabilmesidir. Buna ek olarak, operatörler bir sürdürülebilirlik yaklaşımına sahip olabilmektedir. Soğutucu akışkanın yüksek verimliliği ve yüksek soğutulmuş su sıcaklığı nedeniyle enerji tüketiminde tasarruf edilmesi beklenmektedir.

Merkezi absorpsiyonlu soğutucular

Absorpsiyonlu soğutucular, temel çalışma enerji kaynağı olarak ısıyı kullanır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin verimliliği (COP), soğutma sisteminin tipine, (ayrıca bkz. Bölüm 1.3) ısı kaynağı sıcaklıklarına (daha yüksek sıcaklıklar daha yüksek verimliliğe olanak sağlar) ve boyutuna (boyutla birlikte verimlilik artar) bağlı olarak 0,6 ile 0,8 arasında değişir. Kondenserin ısı salınımı, elektrikli sıkıştırımlı soğutma gruplarına kıyasla iki kat daha fazladır. Bu nedenle sistem, özellikle de atılan ısının yeniden kullanılabilirdiği durumlarda (örn. otellerde veya hastanelerde) avantajlıdır. Sistem, aynı zamanda da hem soğuk hem sıcak tarafta termal enerji depolamaya izin verdiği için esnek bir yapıya sahiptir. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, elektrikli sıkıştırımlı soğutma sistemlerine kıyasla düşük verime sahiptir ve sürdürülebilir olmaları için yenilenebilir veya atık ısı ile çalıştırılmaları gerekmektedir.

Denetim çözümleri

Enerji tüketimi, soğutma performansı, bakım bilgileri, sızıntı vb. gibi temel parametrelerin veri toplama ve depolama özelliklerine sahip denetim çözümleri, sistem verimliliği hakkında daha fazla bilgi sağlayabilir ve optimizasyon potansiyellerinin belirlenmesine yardımcı olabilir. Bölgedeki sistem verimliliğine ilişkin gerçek veriler az olduğundan, elde edilecek somut veriler diğer bölgelerdeki ve teknolojiler arasındaki verilerin karşılaştırılmasına da olanak sağlayacaktır. Önerilen çözüm, aynı zamanda mevcut tesislerde gerçekleştirilecek enerji denetimlerinde de kullanılmalıdır.

Bunun yanı sıra, çözümün ölçüm için farklı sensör türlerini (örneğin sıcaklık ve güç tüketimi) birbirine bağlayacak girişlere sahip merkezi bir veri toplama birimi etrafında oluşturulması gerekmektedir. Denetleme birimi, verileri merkezi bir veri tabanında, örneğin bir bulut ortamında tutmak için iletişim işlevselliğine sahip olmalıdır. Yazılım işlevselliği, farklı tesisler arasında kıyaslama yapma niteliğine sahip olmalıdır.

Klima kullanımını önleyecek pasif soğutma önlemleri

Çözümler arasında havalandırma sistemleri ya da sıcak bölgelerde klima kullanmadan konfor artırmaya yönelik diğer sistemler de yer alabilir.

Özellikle konutlarda klima kullanım yoğunluğu hala çok düşük olduğundan, konforu artıracak pasif önlemler, klima kurulumuna ekonomik bir alternatif oluşturabilir. Bu husustaki kilit unsurlardan biri gölgeleme yapmaktır. Ayrıca, çatı ve cephenin parlak renklere boyanması da güneş ısısı alımını azaltacaktır. Dışarıdan kontrolsüz havalandırma önlenmelidir; yani bina kabuğunun açık delikleri kapatılmalı ve dışarıya sıcakken pencere ve kapılar kapalı tutulmalıdır.

Havalandırma ile soğutma için pencereleri veya kapıları günün hangi dilimlerinde açmanın faydalı olacağını tespit edebilmek için (içeriye ve dışarıya) termometreler takılabilir. Buna ek olarak dahili yüklerin azaltılması da (örn. bekleme yerine kapatma ve yeni ekipman satın alırken verimliliği göz önünde bulundurma) bu hususta faydalı olabilir. Son olarak da hava hareketiyle çalışan basit fanlar kullanılarak çalışma sıcaklığını (hissedilen) 3 °C'ye kadar düşürülebilir.

HFC gibi sentetik maddeler kullanmadan bölgesel soğutma

Bölgesel soğutma, yeni semtler/yerleşkeler için ekonomik bir çözüm olabilir. Merkezi santraller genellikle maliyetlerde önemli düşümlere, daha yüksek verimliliğe ve üretim sistemlerinde daha iyi bakım yapılmasına olanak tanır. Ancak bölge sistemleri, gerekli ağların oluşturulması için yüksek miktarda ek yatırımı da

beraberinde getirmektedir. Bu ek finansman genellikle sadece uzun vadeli sözleşmeler ve bağlantı yükümlülükleri yoluyla sağlanabilir.

Sürdürülebilir olması için, bölgesel soğutma tesislerinin florlu soğutucu akışkanlar içermemesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından güç alması gerekir. Büyük sistemlerde, doğal soğutucu akışkan R717'nin kullanımı sırasında gereken özel güvenlik gereksinimlerini karşılamak genellikle daha ekonomiktir. Aynı durum yenilenebilir enerjilerin uygulanışı sırasında da geçerlidir. Bu kapsamda ihtiyaç duyulan depolama tankları, daha küçük ve merkezi olmayan soğutma ekipmanlarına kıyasla çok daha ekonomik ve verimlidir.

4.1.2. Ticari soğutma çözümleri

Süpermarket çözümü (subkritik CO₂ çalışma prensibi)

CO₂ trans-kritik sistemleri gelişmiş ülkelerde, özellikle de Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu sistemler, özellikle de başlangıç yatırımları nedeniyle maliyetlidir ve bakım ve servis hizmetleri açısından özel bilgi ve beceri gerektirmektedir. Süpermarketlerin soğutma için orta sıcaklık ve düşük sıcaklık gibi iki özel talebi bulunduğundan dolayı, MT aralığı için soğutulmuş sıvıyı süpermarkette sirküle eden HC tabanlı bir su/glikol soğutucu kullanılması önerilmektedir. LT aralığı için ise daha küçük bireysel CO₂ subkritik ünitelerinin kullanılması önerilir. Kondenserler, halihazırda mevcut olan buzdolaplarından gelen soğutulmuş sıvının geri dönüşü kullanılarak kritik sıcaklığın altında tutulur. Bağımsız vitrin üniteleri hidrokarbon soğutucu akışkan ile kullanılabilir; IEC standardı 60335-2-89'un revizyonundan sonra daha yüksek seviye yüklemeler de mümkün hale gelmiştir.

İki paralel R290 soğutma sisteminin bina dışına yerleştirilmesi önerilir; mevcut veya yeni sistemler kabul edilir ve süpermarketin büyüklüğüne bağlı olarak birkaç CO₂ subkritik ünitesi bina içine yerleştirilir.

Daha modern bir teknoloji ve soğutucu akışkan olarak R290/R744 kullanılması ile enerji tüketiminde hafif bir tasarruf sağlanması beklenmektedir. En yeni nesil geleneksel soğutma sistemlerine kıyasla dahi küçük de olsa bir enerji tasarrufu elde edilmesi öngörülmektedir. Mevcut süpermarketlerin mevcut dolap ve vitrin ünitelerinin yukarıda belirtilen yöntemle yenilenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Süpermarket çözümleri (trans-kritik CO₂ çalışma prensibi)

Trans-kritik CO₂ sistemleri gelişmiş ülkelerdeki büyük süpermarketlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler enerji verimlidir; ancak yine de nispeten maliyetlidir ve kurulumu ve bakımı teknik olarak oldukça karmaşıktır.

Küçük ticari buzdolaplarının dönüştürülmesi için uygun maliyetli üretim konsepti

Çoğu büyük bağımsız vitrin ünitesi üreticisi günümüzde soğutucu akışkan olarak HC'ler (R290 veya R600a) kullanmaktadır. Fabrika binalarının içindeki üretim ekipmanlarının teknik kurulumu, güvenlik yönetmelikleri sebebiyle HFC soğutucu akışkanlara göre biraz daha pahalıdır (evsel ve ticari soğutmadaki diğer HC kurulumlarından elde edilen deneyimlere göre).

Bu segmentteki bir diğer ürün grubu ise restoran ve barlar için özel olarak tasarlanmış ticari buzdolapları ve donduruculardır. Ürünler genellikle sipariş bazlı çalışan görece daha küçük şirketler tarafından üretilir ve bu küçük şirketler yüksek hacimli üreticiler gibi gerekli başlangıç yatırımlarını karşılayacak imkana sahip değildir. Birçok şirket günümüzde hala R134a veya R404A gibi geleneksel HFC soğutucu akışkanları kullanmaktadır.

BU kapsamdaki önerilerden biri, uluslararası güvenlik standartlarına uygun, ancak düşük hacimli üreticiler için tasarlanmış düşük maliyetli bir üretim düzeneği tasarlamaktır.

HC konut ve ticari hizmet sektörü gelişimi

İlgili servis altyapısının mevcudiyeti, doğal soğutucu akışkan kullanan RAC (Soğutma ve İklimlendirme) teknolojilerinin daha hızlı yayılmasının önündeki ana engellerden biri olarak görülmektedir. Yanıcı soğutucu akışkan içeren ürünlerin servisini gerçekleştirebilmek için uygun eğitim ve ekipman gereklidir. Bu durum, özellikle de eğitim gerekliliklerinin geniş ölçekte uygulanmasını karmaşık ve uzun vadeli bir mesele haline

getiren büyük ve kayıt dışı hizmet sektörüne sahip ülkeler için geçerlidir. Bu nedenle, özellikle hizmet sektörünün kayıt dışı bölümü için bir eğitim programının geliştirilmesi tavsiye edilmektedir.

Denetim çözümleri

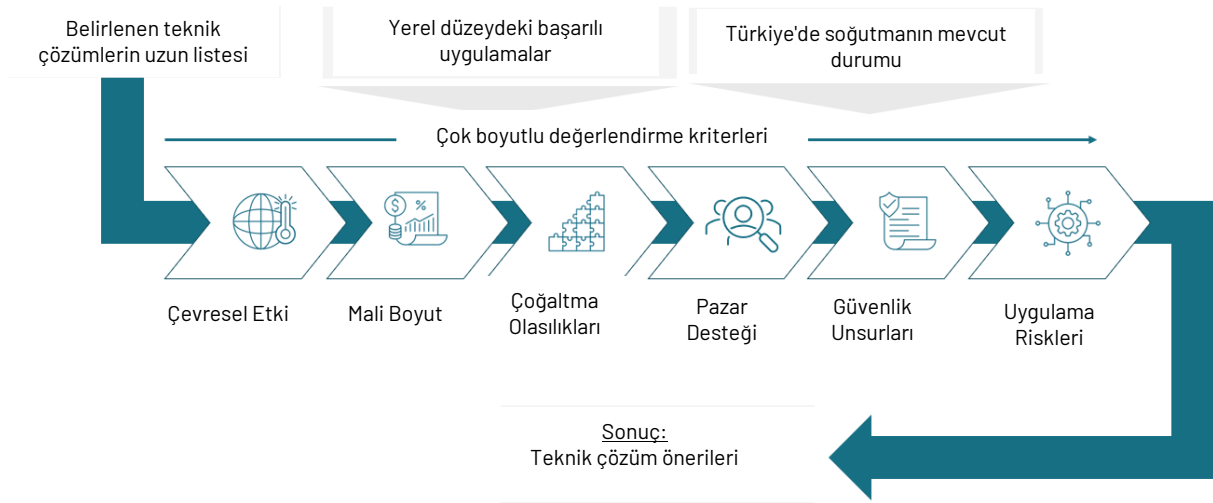
Tıpkı klima segmentinde olduğu gibi, enerji tüketimi, soğutma performansı, bakım bilgileri, sızıntı vb. verilerin toplanması ve depolanmasının denetlenmesi, sistem verimliliği hakkında daha fazla bilgi sağlayabilir, optimizasyon potansiyelinin ve koruyucu bakımın önemini belirlemesine yardımcı olabilir ve doğal soğutucu akışkanlarla uyumlu bina/bölmelerin inşa edilmesi için bir teşvik sağlayabilir.

4.2. Çok boyutlu değerlendirme

Ülkelere özgü nitelikler temelinde, her teknik çözüm altı ana kritere göre değerlendirilmektedir. Bunlar arasında çevresel etki, mali boyut, çoğaltma olasılıkları, pazar desteği, güvenlik unsurları ve uygulama riskleri yer almaktadır (Şekil2).

Son olarak, bu bölümde önceki bölümlerde elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve Türkiye için önerilen sürdürülebilir soğutma çözümlerinin elde edilmesi amacıyla çok boyutlu bir değerlendirme yapılmıştır. Önerilen bu çözümlerin en hafif uygulama engelleriyle karşılaşması ve aynı zamanda uzun vadeli iklim nötrlüğü hedefi için engelleyici bir etki yaratmadan yüksek eşdeğer CO₂ emisyonu tasarruf potansiyeline sahip olması beklenmektedir.

Uzun listeye alınan çözümler, öncelik sırasına göre aşağıda sıralanan kriterlere göre değerlendirilmektedir.



Şekil2 : Çok boyutlu değerlendirmeye genel bakış

4.2.1. İklimlendirme

Tablo 7 Klima üzerine birçok boyutlu değerlendirme

Tip	Uygulanabilir bina tipi	Çevresel etki	Mali boyut	Çoğaltma olasılıkları	Pazar desteği	Güvenlik unsurları	Uygulama riskleri	Öneri
Merkezi HC soğutucu	Oteller veya daha büyük ticari binalar	HFC ve HCFC bazlı sistemlerin yüksek KIP'li veya yeni sistemlerle değiştirilmesi, HFC bazlı çözümlerden biraz daha düşük enerji tüketimi	Mevcut sistemlerin değiştirilmesi maliyetlidir; ancak mevcut yeni projelerin sayısı göz önünde bulundurulduğunda doğal soğutucu akışkanların kullanımına yönelik bu çözüm uygun maliyetli görünmektedir	Çok sayıda çoğaltma olanağı - özellikle otelcilik sektöründe.	Soğutucuların binaların dışında, açık hava ortamında yer almasından dolayı ortak alanlarda yanıcı soğutucu akışkanların kullanımına yönelik karşıtlığın sınırlı olduğu düşünülmektedir.	Köklü uluslararası standartlar, sertifikalı tesisatçılar ve servis ağı gereksinimi	Yanıcı soğutucu akışkanların kullanımına ilişkin uyulması gereken ulusal kurallar ve standartlar	Uygulamaya hazır: Ülke büyüklüğü ve bölgedeki, özellikle otel/turizm sektöründeki yatırımlar nedeniyle güçlü çoğaltma olanakları
Merkezi amonyaklı soğutucu (R717)	Oteller veya daha büyük ticari binalar	HFCs/HCFCs kullanımı yok yüksek enerji verimliliği	Mevcut sistemlerin değiştirilmesi açısından yüksek, sıfırdan kurulumlar için ise düşük maliyet.	NH ₃ teknolojisinin belirgin bir şekilde kabul görmesi nedeniyle sınırlı çoğaltma olanakları. ⁸	Kamuya açık alanlarda zehirli soğutucu akışkan kullanımına karşı bir karşıtlık bulunmaktadır	İyi oluşturulmuş uluslararası standartlar, sertifikalı kurulum elemanları ve servis ağı gereksinimi, halka açık olmayan ayrı bir makine odasında konumlandırma	Toksik soğutucu akışkanların kullanımına ilişkin ulusal kurallar ve standartlar, kalifiye ve deneyimli teknisyen eksikliği	Gelecekteki uygulanma ihtimali: Mevcut kamu binaları inşaatı hakkında bilgi eksikliği ve pazar kabulüne ilişkin güvensizlik

⁸ Amonyak (NH₃) kullanımına karşı olan başlıca kesimler inşaat şirketleri ve kullanılacak teknolojiye karar veren mercilerdir.

Tip	Uygulanabilir bina tipi	Çevresel etki	Mali boyut	Çoğaltma olasılıkları	Pazar desteği	Güvenlik unsurları	Uygulama riskleri	Öneri
Hidrokarbonlu konut tipi split klima	Konutlar, oteller, ofisler	HFCs/HCFCs kullanımı yok	R290 split klima üniteleri şu anda HFC ürünlerinden daha maliyetlidir. Ancak, üretim miktarları arttıkça ve HC'ler gelecekte HFC'lerden daha ucuz hale geldikçe bu fiyatın düşmesi muhtemeldir.	Geniş uygulama alanı sayesinde yüksek potansiyel	Sınırlı	Şarj boyutlarına ilişkin uluslararası standart güncellendi. Sertifikalı kurulum elemanları ve servis personeli gereklidir.	Hizmet sektörü personelinin eğitimi bu hususta önemli bir gerekliliktir.	Gelecekteki uygulanma ihtimali: Hizmet sektörünün yanıcı soğutucu akışkan içeren klimaları işleme kapasitesine ilişkin güvensizlik
Merkezi su soğutucu (R718)	Veri Merkezleri	Enerji verimliliği ile yanıcılık ve toksisite sorunu olmayan doğal soğutucu akışkan	Bilgi mevcut değil	Türkiye'nin bazı bölgelerindeki iklim koşulları nedeniyle sınırlı	Risk yok	Yanıcılık veya toksisite ile ilgili güvenlik riski yoktur	Herhangi bir yönetmelik hazırlanması beklenmemektedir. Yüksek ortam sıcaklığına sahip ülkelerde performans sorunları riski.	Gelecekteki uygulanma ihtimali: Yüksek ortam sıcaklığına sahip ülkelerdeki verimliliği tartışmalıdır.
Merkezi absorpsiyonlu soğutucu	Oteller veya daha büyük ticari binalar	Güneş enerjisi ile ısıtma sayesinde çok düşük KIP	Bilgi mevcut değil	Diğer kısıtlamaların aşılabileceği düşünüldüğünde yüksek.	Düşük risk	Düşük güvenlik riski	Kurulumu ve bakımı teknik açıdan karmaşık	Gelecekteki uygulanma ihtimali: PV + doğal soğutucu akışkanlı verimli soğutucu daha uygun bir çözüm gibi görünmektedir, ancak bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir

Tip	Uygulanabilir bina tipi	Çevresel etki	Mali boyut	Çoğaltma olasılıkları	Pazar desteği	Güvenlik unsurları	Uygulama riskleri	Öneri
Denetim çözümleri	Merkezi soğutuculu bina çözümleri	Enerji verimliliği optimizasyonu, kaçak ve sistem arızaları hakkında bilgi	Sağladığı faydaya kıyasla düşük yatırım maliyeti	Yüksek	Düşük risk	Güvenlik riski yok	Sensör kurulumuyla ilgili pratik sorunlar, eğitilmiş personel ihtiyacı, istikrarlı BT ihtiyacı.	Uygulamaya hazır
Pasif soğutma önlemleri	Orta ila büyük ölçekli ofis ve mağaza çevresi	Düşük enerji tüketimi	AC çözümlerinden daha az maliyetli	Yüksek	Sınırlı soğutma kapasitesi sınırlı konfora yol açabilir.	Güvenlik riski yok	Karmaşık değil	Uygulamaya hazır: Düşük enerji tüketimi ile düşük maliyetli çözüm.
Sürdürülebilir bölgesel soğutma (Verimli R717 sıkıştırıcı soğutucular, yenilenebilir elektrik kaynağı, yerel PV üretimi, termal depolama entegrasyonu)	Yeni soğutma bölgelerin oluşturulması (farklı bina tipleri) ve mevcut bölgesel soğutma sistemlerinin dönüştürülmesi	Tüm semtler için sürdürülebilir bir soğutma sağladığından ve iyi bir depolama ve yenilenebilir entegrasyonuna izin verdiği için yüksek	Gaz yakıtlı soğutma grupları ile bölgesel soğutma ekonomik olarak cazip ve yaygın olmakla birlikte, sürdürülebilir ve geleceğe dönük değildir. Sistemlerin gelecekteki enerji arzına uyum sağlaması gerekir.	Yeni semtler ve mevcut semt soğutma sistemlerinin dönüştürülmesi ile sınırlıdır	Bölgesel soğutma için yüksek	Güvenlik riskiyle (R717'nin toksisitesi) başa çıkmak için yeterli uzmanlık gerekmektedir	Yedek sistemler ve depolar için gereken ek alan, tedarik edilen binalara dağıtılmış PV sistemlerin entegrasyonu sırasında karşılaşılabilecek idari sorunlar (örn. diğer mal sahipleri).	Önerilir Yerli PV, R717 sıkıştırıcı soğutma ve termal depolama sistemlerini yeni kurulacak veya mevcut bölgesel soğutma sistemlerine entegre etme seçeneklerinin değerlendirilmesi önerilir.

4.2.2. Ticari soğutma

Tablo 8 Ticari soğutma üzerine bir çok boyutlu değerlendirme

Tip	Çevresel etki	Mali boyut	Çoğaltma olasılıkları	Pazar desteği	Güvenlik unsurları	Uygulama riskleri	Öneri
Süpermarket çözümü subkritik CO₂	HFC bazlı çözümlere göre biraz daha düşük enerji tüketimi	Mevcut süpermarketler için maliyetli dönüşüm	Büyük - 50.000 kişi başına bir - çoğunlukla orta ve büyük ölçekli süpermarketlerde. Subkritik CO ₂ ve HC sistemleri ile kombine çözüm	Yüksek destek	İyi geliştirilmiş güvenlik yaklaşımları, eğitilmiş kurulum elemanları ve servis personeli gereklidir	Düşük risk, iyi bilinen teknolojilerin kombinasyonu	Uygulamaya hazır: Ülke büyüklüğü, yüksek bir çoğaltma potansiyeline ve bu tür sistemleri sürdürme kapasitesine sahiptir
Süpermarket çözümü transkritik CO₂	HFC bazlı çözümlere kıyasla daha yüksek enerji verimliliği	Yüksek başlangıç yatırımı maliyeti	Büyük - 50.000 kişi başına bir - çoğunlukla orta ve büyük ölçekli süpermarketlerde. Tüm HCFC/HFC bazlı sistemlerin yerini almak üzere subkritik CO ₂ ve HC sistemleri ile kombine çözüm.	Teknik açıdan karmaşık, yüksek başlangıç yatırımı maliyetiyle birleştğinde pazar desteği kısıtlı	İyi geliştirilmiş güvenlik yaklaşımları, eğitilmiş kurulum elemanları ve servis personeli gereklidir	Türkiye için orta-yüksek riskli, kurulumu ve bakımı karmaşık	Gelecekteki uygulanma ihtimali: Türkiye için teknik açıdan karmaşık ve maliyetli çözümlerin uygulanması riski
Hidrokarbonlu küçük ticari cihaz üreticileri için üretim konsepti	Ticari soğutmada ağırlıklı olarak HFC bazlı sistemlerin kullanımının ortadan kaldırılması	Bazı şirketler çok düşük üretim hacmine sahip olduğundan maliyet verimliliği duruma göre değerlendirilmelidir.	4 milyon kişi başına 1 - Büyük - çoğaltma olasılıkları - çok sayıda küçük imalat sayesinde	Yüksek destek	Daha büyük üreticiler için ileri teknoloji. Küçük üreticiler için rafine edilecek	Düşük risk, iyileştirilmiş güvenlik ve yükleme yaklaşımları	Uygulamaya hazır: İyi bilinen bir teknoloji ve Türkiye'nin ülke büyüklüğü nedeniyle yüksek sayıda çoğaltma olanağı.
Yanıcı soğutucu akışkanların işlenmesi için hidrokarbonlara ağırlık veren konut ve ticari hizmet sektörünün geliştirilmesi	Doğal soğutucu akışkanlı cihazların uygulanması için büyük potansiyel.	Servis teknisyenleri için maliyeti yüksek araçlar gereklidir. Teknisyen eğitiminin maliyeti yüksektir.	Türkiye'deki soğutma atölyelerinin sayısı nedeniyle büyüktür.	HC soğutucu akışkanlar sektöründe zaten yaygın olarak kullanıldığından düşük risk.	Daha az gelişmiş kayıt dışı hizmet ağına sahip ülkelerde risk	Düşük risk - iyi bilinen, mevcut teknolojiler	Uygulamaya hazır: Hizmet sektörünün en iyi ve emniyetli uygulamaları oluşturması için sürdürülecek programlar.

Tip	Çevresel etki	Mali boyut	Çoğaltma olasılıkları	Pazar desteği	Güvenlik unsurları	Uygulama riskleri	Öneri
Denetim çözümleri	Enerji verimliliği optimizasyonu	Sağladığı faydaya kıyasla düşük yatırım maliyeti	Yüksek	Düşük risk	Güvenlik riski yok	Sensör kurulumuyla ilgili pratik sorunlar, eğitilmiş personel ihtiyacı, istikrarlı BT ihtiyacı.	Uygulamaya hazır

4.3. Sonuç ve öneriler

Yukarıdaki değerlendirme ışığında, Türkiye'de aşağıdaki sürdürülebilir soğutma çözümleri uygulamaya hazırdır.

İklimlendirme:

- ▶ Oteller ve ticari binalar için merkezi hidrokarbon bazlı iklimlendirme çözümleri
- ▶ Klima tesisatlarının performansını kontrol ve takip edebilmek, yapılan iyileştirmeleri teyit edebilmek ve tesisatları kıyaslayabilmek amacıyla kullanılacak denetim çözümleri

Soğutucu akışkan olarak hidrokarbon kullanan split ünite konut tipi klima çözümleri ve bölgesel soğutma da bu kapsamda değerlendirilebilecek teknolojilerdir; ancak çeşitli açılardan gelecekte daha fazla dikkate alınmalıdırlar (bkz. değerlendirme tablosu).

Ticari soğutma:

- ▶ Hidrokarbon soğutucularla birlikte subkritik CO₂ sistemleri kullanan süpermarket çözümleri
- ▶ Hidrokarbon kullanan ticari buzdolaplarında güvenli ve uygun servisin sağlanması için hizmet sektörünün geliştirilmesi
- ▶ Hidrokarbon kullanan ticari buzdolapları imalatı yapan küçük tesisler için konsept geliştirme
- ▶ Klima tesisatlarının performansını kontrol ve takip edebilmek, yapılan iyileştirmeleri teyit edebilmek ve tesisatları kıyaslayabilmek amacıyla kullanılacak denetim çözümleri

Bu rapor genel olarak, endüstri, politika ve finans alanlarındaki karar mercilerine yerel ve uluslararası ölçekteki en başarılı soğutma çözümleri hakkında derinlemesine bilgi sağlamayı amaçlamakta ve Türkiye'deki iklimlendirme ve ticari soğutma alt sektörlerine özel düzenlemelerin, finansman araçlarının ve demonstrasyon projelerinin geliştirilmesine yardımcı olabilecek teknik çözüm önerileri sunmaktadır. Önerilen teknik çözümler halihazırda gelişmiş ve sürdürülebilir soğutma seçenekleri olarak kabul edilmektedir ve bu doğrultuda erkenden harekete geçilmesi için yaygınlaştırılabilir. Uzun listede yer alan ancak şu an için Türkiye özelinde tavsiye edilmeyen diğer çözümler daha fazla politika, ekonomi ve pazar gelişimine ihtiyaç duymaktadır; bu nedenle bu çözümler, Türkiye'de sürdürülebilir soğutma yöntemlerinin bir sonraki aşamasında değerlendirilebilir.

5. Kaynaklar

"Cooling Sector Status Report Türkiye: Analysis of the current market structure, trends and insights on the refrigeration and air conditioning sector." 2022. <https://www.coolupprogramme.org/knowledge-base/> adresinde yayınlanacaktır.

ecomena.org. "تأثير البيئة الطبيعية على صحتك العقلية." 19 Ağustos 2022 tarihinde erişilmiştir. <https://www.ecomena.org/natural-environment-and-mental-health-ar/>.

"FACT SHEET 4 Commercial Refrigeration." 2015. https://ozone.unep.org/sites/ozone/files/Meeting_Documents/HFCs/FS_4_Commercial_.

"Guidance for Integrating Efficient Cooling in National Policies in Lebanon." 19 Mayıs 2021. <https://www.undp.org/lebanon/publications/guidance-integrating-efficient-cooling-national-policies-lebanon>.

Hansen, Christopher, Jyoti Campbell ve Scott Kable. *Photodissociation of CF3CHO provides a new source of CHF3 (HFC-23) in the atmosphere: Implications for new refrigerants.*, 2021, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-199769/v1>.

Hasse, Volkmar. "Statement of Volkmar Hasse Cooling (Cooling expert and former head of GIZ Proklima) on day 3 of the Green Cooling Summit." 5 Nisan 2022 tarihinde erişilmiştir. <https://www.green-cooling-initiative.org/news-media/news/news-detail/2021/06/18/green-cooling-summit-2021-highlights>.

Offermann, Markus, Bernhard von Manteuffel, Julia Blume, and Daniel Kühler. "Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechenzentren." Umweltbundesamt (UBA), March 1, 2016. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschonende-klimatisierung-heizen-kuehlen>.

pae-engineers.com. "City of Seattle Refrigerant Emissions Analysis: GHG Emissions Calculation Methodologies." May 5, 2020. https://www.seattle.gov/Documents/Departments/OSE/Building%20Energy/SEA_Refrigerant_Analysis_May2020.pdf.

Paul Ashford, James A. Baker, Denis Clodic, Sukumar Devotta, David Godwin, Jochen, and Harnisch et al. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Chapter 7: Emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances." 2006. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_7_Ch7_ODS_Substitutes.pdf.

Kaliforniya Hava Kaynakları Kurulu Araştırma Bölümü. "Potential Impact of the Kigali Amendment on California HFC Emissions: Estimates and Methodology used to Model Potential Greenhouse Gas Emissions Reductions in California from the Global Hydrofluorocarbon (HFC) Phase-down Agreement of October 15, 2016, in Kigali, Rwanda ("Kigali Amendment")." December 15, 2017. <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2018-12/CARB-Potential-Impact-of-the-Kigali-Amendment-on-HFC-Emissions-Final-Dec-15-2017.pdf>.

SBZ-Online.de. "Keine Kältemittelalternative erfüllt alle Wünsche." 19 Ağustos 2022 tarihinde erişilmiştir. <https://www.sbz-online.de/lueftung-klima/keine-kaeltemittelalternative-erfuellt-alle-wuensche>.

Ek A: Soğutucu akışkan özelliklerine genel bakış

Aşağıdaki tablo, bu raporda bahsedilen soğutucu akışkanların özelliklerine ilişkin bir genel bakış sunmaktadır. Tabloda yer alan KIP sütunu, Kigali değişikliği raporlamasına uygun olarak 100 yıllık bir zaman dilimini ifade etmektedir. Çoğu soğutucu akışkan, kısa zaman dilimleri göz önüne alındığında önemli ölçüde daha yüksek KIP'a sahiptir (örn. R32 için 20 yıllık zaman dilimi: 2690 (AR6)). Dahası, KIP değerleri iklim değişikliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilecek atmosferdeki ayrışma ürünlerinin potansiyel etkilerini dikkate almamaktadır (bkz. 1234ze'ne ilişkin araştırma⁹)

Tablo 9 Soğutucu akışkanların özelliklerine genel bakış

Tek bileşenli soğutucu akışkanlar	Güvenlik Sınıfı	KIP (100 yıl)	Kaynak
R11	A1	4750	IPCC AR4
R12	A1	10900	IPCC AR4
R22	A1	1810	IPCC AR4
R32	A2L	675	IPCC AR4
R124	A1	609	IPCC AR4
R125	A1	3500	IPCC AR4
R134a	A1	1430	IPCC AR4
R143a	A2L	4470	IPCC AR4
R152a	A2	124	IPCC AR4
R1234yf	A2L	0,5	IPCC AR6
R1234ze(E)	A2L	1,37	IPCC AR6
R290	A3	0	IPCC AR6
R600a	A3	3	Diğer
R1270	A3	2	Diğer
Zeotropik karışımlar			
R401B	A1	1288	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R404A	A1	3922	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R407C	A1	1774	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R410A	A1	2088	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R449A	A1	1396	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R450A	A1	601	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R454A	A2L	237	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
R454B	A2L	465	Yukarıdaki değerlere göre hesaplama (ARI-700 kompozisyon tanımı)
Azotropik karışımlar			
R513A	A1	631	IPCC AR4
Diğer			
R717 (amonyak)	B2L	0	Diğer
R718 (Su)	A1	0	Diğer
R744 (CO2)	A1	1	Tanıma göre

⁹ Sidney'deki New South Wales Üniversitesi'nden araştırmacılar, nihai HFO-1234ze ayrışma ürünlerinden biri olan HFC-23'ün, 4. IPCC Değerlendirme Raporu'na göre 14800 KIP ile iklim üzerindeki etki bakımından en güçlü HFC olduğuna ilişkin bulgular elde etmiştir (bkz. https://assets.researchsquare.com/files/rs-199769/v1L_covered.pdf?c=1631852903).