

Soğutma Sektöründe Soğutucu Akışkanlara Bağlı Emisyon Envanteri

M. Ziya SÖĞÜT
Hüseyin BULGURCU
Enver YALÇIN

ÖZET

Bu çalışmada kloroflorokarbon(CFC), hidro florokarbon (HFC) ve hidro kloroflorokarbon (HCFC) soğutucu akışkanların tüketim ve neden oldukları emisyon envanteri sektör, soğutma sistemleri, soğutucu akışkan ve emisyon parametreleri dikkate alınarak incelenmiştir. Çalışmada soğutma sistemleri sınıflandırılmış ve her bir sistemin neden olduğu sızıntı oranları, ayrı ayrı incelenmiştir. Ayrıca soğutucu akışkana bağlı olarak emisyon potansiyelleri de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada CFC ve HCFC gazların emisyon etkilerinin oldukça yüksek olduğu, HFC'lerde ise yüksek GWP nedeniyle emisyon salınımlarının projeksiyon sürecinde önemli potansiyele sahip olacağı görülmüştür. Çalışmanın sonunda emisyon potansiyellerinin sonuçları dikkate alınarak verimsizliğin giderilmesi ve soğutma sistemlerinde enerjinin etkin kullanımına ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca soğutucu akışkanların doğrudan veya dolaylı olarak emisyon etkilerinin azaltılmasına ilişkin öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğutma Sektörü, Soğutma Sistemleri, Soğutucu Akışkanlar, Enerji Verimliliği, CO₂ Emisyonları

1. GİRİŞ

Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %9'una sahip olan iklimlendirme ve soğutma sektörü sürdürülebilir bir yaşam, çevre yönüyle son yıllarda başta neden olduğu emisyon etkileriyle önem kazanmış bir sektördür. Bu sektör, inşaat sektöründeki gelişmeler, insanların değişen çevre şartlarında gereksinim duydukları konfor şartlarının karşılanması ve ekonomik gereksinimlerin ortaya çıkarttığı talep artışları, sistemlerin ihtiyacı olan enerji talebini de sürekli arttırmaktadır[1].

İklimlendirme ve soğutma sistemleri uygulamalarının oldukça geniş bir boyut, kapasite ve sıcaklık yelpazesine sahip olduğu görülmektedir. Örneğin, geleneksel ev tipi soğutucularda güç tüketim aralığı 60-140 kW aralığında değişirken, soğutucu akışkan miktarının 50-250 gr aralığında olduğu görülmektedir. Oysa endüstriyel uygulamalarda, enerji tüketimlerinin MW, soğutucu akışkan miktarının ton düzeyleri-

Abstract:

This study examines consumptions inventories and emission inventories caused by refrigerants of chlorofluorocarbon (CFC), hydro fluorocarbon (HFC) and hydro chlorofluorocarbon (HCFC) taken into sector, cooling systems, refrigerant and emission parameters consideration. In this study, the cooling systems are classified and leakage rates caused by each system are examined separately. Besides, also emission potentials are evaluated depending on refrigerants. In the analysis, it is seen that the emission effects of the CFC and HCFC gasses are very high and HFC gases will have important potential caused by high GWP (Global Warming Potential) in process of emission projection. At the end of the study, the evaluations considering elimination of inefficiencies taken into results of emissions potential consideration and efficient use of energy in cooling systems are made. Besides, the recommendation about decreasing of direct or indirect emission effects of refrigerants have made.

Key Words:

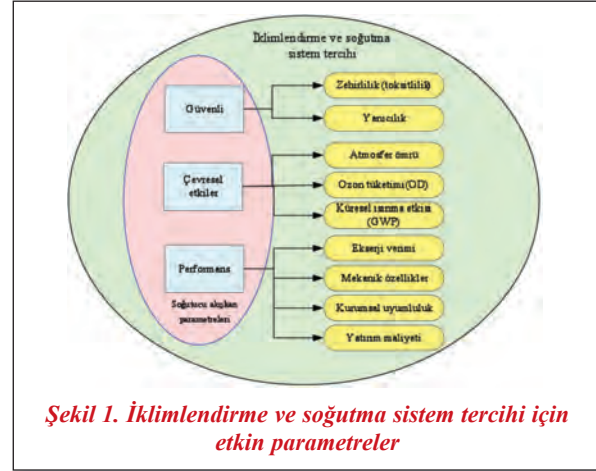
Cooling Sector, Cooling Systems, Refrigerants, Energy Efficiency, CO₂ Emissions.

Makale

ne çıktığı görülmektedir. Soğutucu uygulamalarında sıcaklık aralığının ise $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında değiştiği görülmektedir [1]. İklimlendirme ve soğutma uygulamalarında buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri, absorpsiyonlu soğutma uygulamaları ve evaporatif soğutma uygulamaları göze çarpmaktadır. Ancak bunlar arasında en yoğun kullanılan uygulamanın buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri olduğu görülmekte ve bu sistemlerin sektördeki pazar payının yaklaşık 150 trilyon Lira'ya ulaştığı tahmin edilmektedir [2].

Sürdürülebilir çevre yönüyle bir tehdit haline gelen emisyon etkilerinin içinde, iklimlendirme ve soğutma uygulamalarında kullanılan soğutucu akışkanların etkisi son yıllarda artan bir önemle öne çıkmıştır. Bu gazların neden oldukları emisyonlar; başta ozon tabakasının incelmesinde ve küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinde önemli katalizörler olmuştur. Bu etkinin azaltılmasına yönelik olarak öncelikle, Montreal Protokolü ve Avrupa Konseyi Direktifi (3093/94) ile 1930'larda soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan amonyak gibi soğutucu akışkanların yerine güvenli akışkanlar olarak kullanılan hidrokloroflorokarbon (HCFC) ve kloroflorokarbon gazlarının kullanımını ve satışlarını sınırlandırılmıştır [3]. Bunların alternatifi olarak hidroflorokarbon (HFCs) akışkanlar ve onların karışımları olan R-134a, R-404A, R-507, R-407C ve R-410A gazları market uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu gazların düşük ozon tabakasını inceltme potansiyellerine (ODP) karşın, yüksek küresel ısınma potansiyellerine (GWP) sahip olması çevresel etki yönüyle önemli bir problem sürecinin devam ettiğini göstermektedir [4]. İklimlendirme ve soğutma sistemleri; termodinamik anlamda uygun olmayan sistem tercihi, yanlış montaj, eksik veya yanlış kapasite tespiti, bakım onarım faaliyetleri, kontrol edilemeyen sızıntılar gibi pek çok etkiye bağlı tersinmezlikler nedeniyle daha fazla emisyon salınımına yol açarlar. Bu tür sistemlerde emisyon etkilerinin değerlendirilmesi sadece soğutucu akışkanın kimliğiyle de ilişkili değildir. Emisyon etkisi bir sistemin ömür sürecinde akışkanla birlikte enerji tüketiminin de neden olduğu bir süreç olarak değer-

lendirilmelidir. Soğutucu akışkanlara bağlı olarak bir soğutma sisteminin tercihinde; Şekil 1'de tanımlanan güvenli, çevresel etkileri, performans ve yatırım / işletme maliyetleri kriterlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [4].



Şekil 1. İklimlendirme ve soğutma sistem tercihi için etkin parametreler

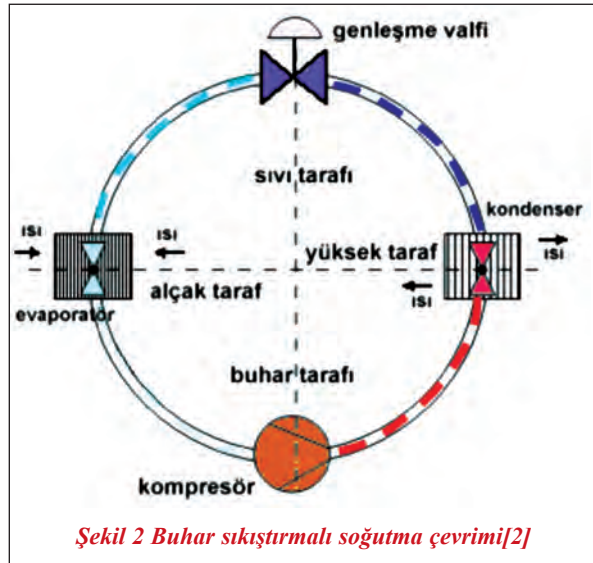
İklimlendirme ve soğutma sistemlerinde güvenli bir sistem için gazların zehirlenme etkileri ile yanma, patlama gibi özellikleri etkindir. Bunun yanında özellikle Kyoto protokolü ile de sınırlamalar getirilen, her bir soğutucu akışkanın neden olduğu ozon tüketim değeri, atmosferik yaşam ömrü ve küresel ısınma etkisi çevresel etkiler yönüyle saptanmış önemli parametrelerdir. Günümüzde özellikle ısı sistemlerinde yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlayan ekserji analizlerine bağlı performans değerlendirmeleri, sistemlerdeki gerçek tersinmezlikleri değerlendirebilmek amacıyla iklimlendirme soğutma sistemlerinde de geçerli olmaya başlamıştır. Bir sistemde maksimum iş yapabilme yeteneğini ifade eden ekserji verimi, COP'ye göre sistem performansını % olarak tanımlamamıza ve sistemlerde entropiye bağlı üretilen tersinmezliğin ekserji kaybı ile ifadesine imkan sağlamaktadır. Bu değerlendirmelere bağlı olarak, sistemlerdeki ekserji kaybı; soğutucu akışkanların neden olduğu doğrudan emisyon etkisi yanında dolaylı emisyon etkilerinin oluşmasının nedeni olarak değerlendirilebilir.

Soğutma süreçlerinin pek çok uygulama alanına sahip olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada ev tipi soğutucular, ticari soğutucu uygulamaları, endüstri-

yel tip soğutma uygulamaları, araç iklimlendirme ve taşımacılık(kara, deniz, hava) soğutma uygulamaları olmak üzere dört ana uygulama alanlarında yaygın olarak tercih edilen soğutucu akışkanların öncelikle çevresel parametreleri tanımlanmıştır. Daha sonra tanımlanan akışkan sınıflarının kullanım miktarları ve CO₂ emisyonlarının temel alındığı emisyon potansiyelleri geleceğe ilişkin projeksiyonlarla birlikte incelenmiştir.

2. İKLİMLENDİRME VE SOĞUTMA SİSTEMLERİ, SOĞUTUCU AKIŞKANLAR

Soğutma sistemlerinin genelinde buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin temel alındığı görülmektedir. Termodinamik süreçlerde bir çevrim esasına göre çalışan bu model çalışmada da temel alınmıştır. Soğutma çevriminde, kompresör tarafından alçak basınçtaki soğutucu akışkan yüksek basınca çıkartılarak buradan kondensere yollarır kondenserde yoğunlaşma oluşturulur ve genişleme valfinden geçerek alçak basınçta sıvı hale dönüştürülür ve buradan evaporator vasıtası ile soğutma gerçekleştirilir. Buhar sıkıştırımlı soğutma şeması Şekil 1'de verilmiştir.



1990'lı yıllarda itibaren kullanılması yaygınlaşan soğutucu akışkanları; CFC'lar, HCFC'ler ve HFC'ler ve diğer soğutucu akışkanlar olmak üzere dört grupta incelenmiştir. Soğutucu akışkanların kullanıldığı iklimlendirme ve soğutma sistemleri, sanayi, bina ve ulaşım sektörlerinde çok farklı amaçlar

için kullanılır. Aşağıda bu uygulamalar; ev tipi, ticari, araç ve endüstriyel uygulamalar olarak sınıflandırılmış ve incelenmiştir.

Ev tipi Uygulamalar: Bu tür uygulamalarda iklimlendirme sistemleri olarak klima sistemleri, gıda ürünlerinin depolanması ve saklanması amacıyla kullanılan soğutucular veya soğutma sistemleri kullanılır. Bu sistemlerde soğutucular 20 lt ile 850 lt aralığında depolama hacimlerine sahip, sistemlerde kullanılan soğutucu akışkan şarj miktarları ise 50-250 gram aralığındadır. İklimlendirme uygulamalarında soğutucu akışkan olarak R22'den sonra günümüzde R410A yaygın olarak kullanılmaktadır. Soğutma uygulamalarında R12 soğutucu akışkanın kullanıldığı ünitelerin yerine günümüzde R134a gazı kullanan üniteler almıştır. Bu akışkanların yerine alternatif akışkan olarak özellikle Avrupa ülkelerinde R600a ve HC290 (isoputon=propan karışımı) gazlarının kullanılmaya başlandığı gözlenmektedir. 2002 verilerine göre ev tipi soğutucularda kullanılan soğutucu akışkan miktarı yıllık yaklaşık 160 bin ton'a ulaşmış, bu sistemlerin neden olduğu yıllık emisyon oranı ise ortalama %0,3'tür [5].

Ticari Uygulamalar: Ticari amaçlı taze ve donmuş gıdaları uygun sıcaklık aralığında depolama ve koruma işlevini yerine getiren ünitelerdir. Soğuk gıdalarda bu sıcaklık aralığı 1-14 °C, donmuş gıdalarda ise -12 °C ile 20 °C aralığındadır. Bu tip soğutma sistemlerinin ilk uygulamalarında R12 gazı kullanılırken günümüzde R-22, R-134a, R-404A, R-507A ve R-410A gazlarının yaygın olarak kullanıldığı gözlenmektedir. 2002 yılında yapılan bir çalışmaya göre; bu sistemlerde kullanılan soğutucu akışkanların CO₂ emisyon potansiyellerinin yaklaşık %30'lara, yıllık soğutucu akışkan miktarının ise yaklaşık 605 bin tona ulaştığı gözlenmektedir. Soğutucu akışkanların emisyon oranlarında özellikle sızıntı oranı önemli bir parametredir ve bu sistemlerde sızıntı oranının %3-30 aralığına sahip olduğu görülmektedir[6]. Küçük ünitelerde soğutucu akışkan şarj miktarları 1-5 kg aralığında değişirken, süpermarket veya hipermarket uygulamalarında bu miktarlar 100-2750 kg aralığında değişmektedir.

Makale

Araçlar uygulamaları: Araç iklimlendirme ve soğutma sistemlerini araç iklimlendirme ve soğuk zincir olarak sınıflandırılabilir. Araç iklimlendirme-lerinde soğutucu akışkan olarak R22'nin yerine R134a gazı kullanılmaktadır. Soğuk zincir olarak ifade edilen soğutma sistemleri, demiryolları, kara, hava ve deniz taşımacılığında kendine uygulama alanı bulmuştur. Bu alanlarda soğuk taşımacılığın ağırlıklı olarak konteyner sistemleriyle sağlandığı ve bu konteyner sayısının toplamda 500.000 adeti geçtiği gözlenmektedir. Bu uygulamalarda ortalama soğutma kapasitesi 5 kW, konteyner soğutmalarda kullanılan soğutucu akışkanlar ise R-12, R-134a, R-404A ve R-507A'dır. Yaklaşık bir milyon araç kapasitesinin aşıldığı kara taşımacılığında ise eski sistemlerde R-12, R-502 ve R-22 gazları, yeni sistemlerde ise R-134a, R-407C, R-404A ve R-410A gazı tercih edilmektedir. Bu sistemlerde sızıntı oranının ise %20–25 aralığına sahip olduğu tespit edilmiştir [5]. 2002 yılında taşımacılık ve araçlarda kullanılan soğutucu akışkan miktarı 1600 tona ulaşmış, yıllık emisyon oranı ise %38'lere ulaşmıştır.

Endüstriyel uygulamalar: Bu uygulama türünü gıda uygulamaları ve sanayi uygulamaları olmak üzere iki ayrı ana gruba ayırmak gerekir. Gıda uygulamalarında soğutma işlemi gıda işleme ve soğuk depolama süreçlerinde kullanılmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde donmuş gıda uygulamalarına ait ekonomik potansiyeli artış eğilimindedir. Dünya genelinde yıllık donmuş gıda tüketiminin 30 Milyon tonu aştığı ve bu oranının sürekli artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Donmuş gıdalar, uygulamalarda -15 °C ile -30 °C aralığında uzun süreli depolanmaları gerekir. Ancak çocuklara yönelik donmuş gıdalarda bu aralık -1 °C ile -10 °C'dir. Gıda soğutma uygulamalarının ilk örneklerinden bu yana Amonyak, R-12, R-22 ve R-502 gazları kullanılmakta, günümüz uygulamalarında ise R-134a, R-404A ve R-507 A gazları ile amonyak/CO₂ kaskat yapıları tercih edilmektedir. Bu tür soğutma uygulamalarında buharlı ve sıkıştırma absorpsiyonlu sistemlerin geliştirilmesi çalışmaları da yapılmaktadır.

Sanayide tercih edilen soğutma uygulamalarının buz üretimi, havanın sıvılaştırılması, ürün soğutma gibi

işlevlerin yoğun yapıldığı kimya, yağ, yakıt, gaz, çelik, plastik vb. endüstri alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Pek çok sistemde kullanılan soğutma sistemleri, diğer uygulamalarda olduğu gibi, temelde buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimini esas almaktadır. Uygulama alanları incelendiğinde evaporatör sıcaklıkları 15 °C ile -70 °C aralığındadır. Sistemlerde tercih edilen soğutma aralıkları 25 kW ile 30 MW aralığında, soğutucu akışkan şarj miktarları 20 kg ile 60 ton aralığındadır. Bu sistemlerin sanayideki ilk uygulamalarında amonyak gazı öne çıkmaktadır. Günümüzdeki uygulamalarında da R-22 gazı ile birlikte amonyak gazı kullanılmaktadır. Küçük kapasiteli uygulamalarda ise R-12 ve R-502 kullanımı, günümüzde yerini R-134A, R-404A, R-507, R-13, R-503 R-23, R-508A ve R-508B gazlarına bırakmıştır. Küçük tip uygulamalarda evaporatör sıcaklıkları -10 °C ile -40 °C aralığındadır. Günümüzde alternatif soğutucu akışkan olarak CO₂ gazının kullanımına yönelik çalışmalar da yapılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarının hepsinde 2002 verilerine göre toplam soğutucu akışkan miktarı yaklaşık 298 bin tona ulaştığı, bu miktarın %35'ini amonyak gazı, %43'ünü R-22 gazı oluşturmaktadır. Sistemlerin neden olduğu toplam emisyon oranı ise %17'dir. Bu verilere göre uygulama alanları ile birlikte en yaygın kullanılan soğutucu akışkanlar ve bunların çevresel parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'de de görülebileceği gibi; özellikle ticari uygulamalarda yaygın olarak kullanılan R-404A ve R-507 gazlarının oldukça kötü çevresel performanslara sahiptir. Ayrıca sızıntı oranlarının tüm uygulamalarda oldukça önemli bir orana sahip olduğu görülmektedir. Günümüzde çevre dostu gaz olarak tanımlanan R-410A gazın GWP değeri, yerine kullandığı R-22 gazına göre daha yüksektir. Emisyon etkileri yönüyle de özellikle taşımacılık ve araç iklimlendirme sistemleri, oldukça yüksek bir emisyon etkisine sahiptir.

3. SOĞUTUCU AKIŞKANLAR VE EMİSYON ENVANTERİ

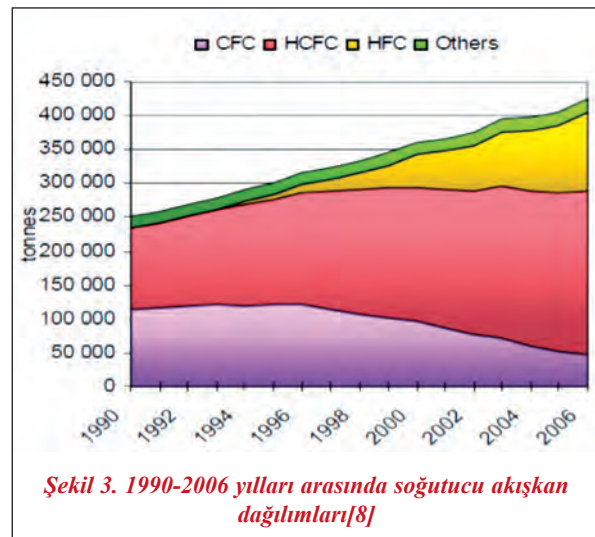
Bu çalışmada soğutucu akışkanlar dört ayrı grupta ayrı ayrı incelenmiş ve akışkan gruplarının emisyon envanterleri ayrı ayrı ele alınmıştır. 90'lı yıllardan

Tablo 1. Yaygın kullanılan soğutucu akışkanların çevresel parametreleri [7]

Soğutma sistemi	Soğutucu akışkanlar	Sızıntı oranı (%)	ODP	GWP	Atmosferik yaşam (Yıl)	Emisyon katkı oranları (%)
Ev tipi soğutucular ve iklimlendirme sistemleri	R-12	15-30	0,820	8100	100	0,3
	R-22		0,04	1810	12	
	R-134a		0	1430	14	
	R-410A		0	2100	-29	
	R-423A		0	2300	-	
	R-600		0	-20	0,019	
Ticari soğutucular (Market, hipermarket ve soğuk depo uygulamaları)	R-22	3-30	0,04	1810	12	30
	R-134a		0	1430	14	
	R-404A		0	3900	16	
	R-407C		0	1674	-29	
	R-410A		0	2100	-29	
	R-717		0	< 1	0,01	
Araçlarda soğutma (kara, deniz, hava taşımacılığı)	R-12	20-25	0,820	8100	100	38
	R-22		0,04	1810	12	
	R-502		0,222	5500	16	
	R-134a		0	1430	14	
	R-404A		0	3900	16	
	R-407C		0	1674	-29	
Endüstriyel Soğutma (Gıda, kimya, petrol, gaz, çimento, çelik vb. sanayi uygulamaları)	R-12	10-25	0,820	8100	100	17
	R-22		0,04	1810	12	
	R-502		0,222	5500	16	
	R-134a		0	1430	14	
	R-404A		0	3900	16	
	R-507C		0	4000		
	R-290		0	-20	0,01	
	R-717		0	< 1	0,01	
R-744	0	1	>50			

İtibaren neden oldukları emisyon etkilerinin farkına varılan soğutucu akışkanlarda, üretim süreci daha çevreci arayışlarla devam etmektedir. Soğutucu akışkanların 1990-2006 yılları aralığında üretim dağılımları Şekil 3'de verilmiştir.

1990 ile 2006 aralığında soğutucu akışkan kapasitesinin yaklaşık %120 artış gösterdiği görülmektedir. Bu süreçte çevresel parametreleri oldukça kötü olan CFC gazların bir azalma trendi içinde olduğu, ancak özellikle HFC gazların kullanımının gittikçe yaygınlaştığı, bununla birlikte sektörün büyük oranda tercihinin HCFC gazlar olduğu görülmektedir[8,9,10]. Yakın süreçte bu gazların 2002, 2006 yılı kullanım



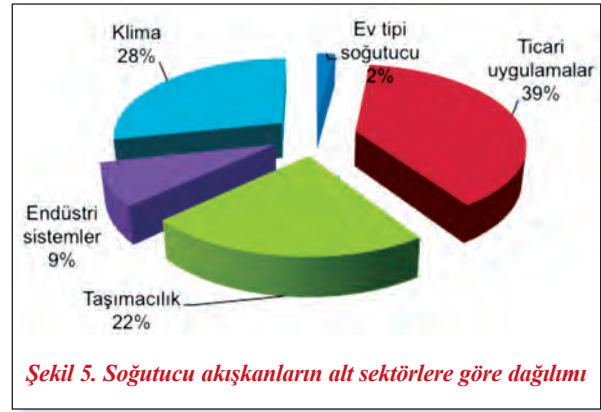
Makale

oranları ayrı incelenmiş ve soğutucu akışkan dağılımları Şekil 4’de verilmiştir.

Bu dağılımlara göre; 2002, 2006 yılı arasında CFC oranının %21’den %11’e düştüğü görülmektedir. Ancak HCFC oranının %14 arttığı, HFC oranlarında ise yaklaşık %4’lük bir artış göze çarpmaktadır. CFC detayları incelendiğinde; R-12 gazının 2002 yılında üretimin 131256 ton’dan 35195 tona yaklaşık %73 oranında azaldığı görülmektedir. Ancak R-11 gazının 1074 ton ve yaklaşık %18.25’lik bir artış göze çarpmaktadır. HCFC gazlar arasında sınırlandırılmasına rağmen R-22 gazı 2002 yılına göre %32.42’lik bir artış gözlenmektedir. HFC gazlarından R-134a gazı için 133222 ton ve %61’lik bir artış gözlenmiştir. 2006 yılı soğutucu akışkan tüketiminin alt sektörlere göre dağılımı incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5’de verilmiştir [8, 9].

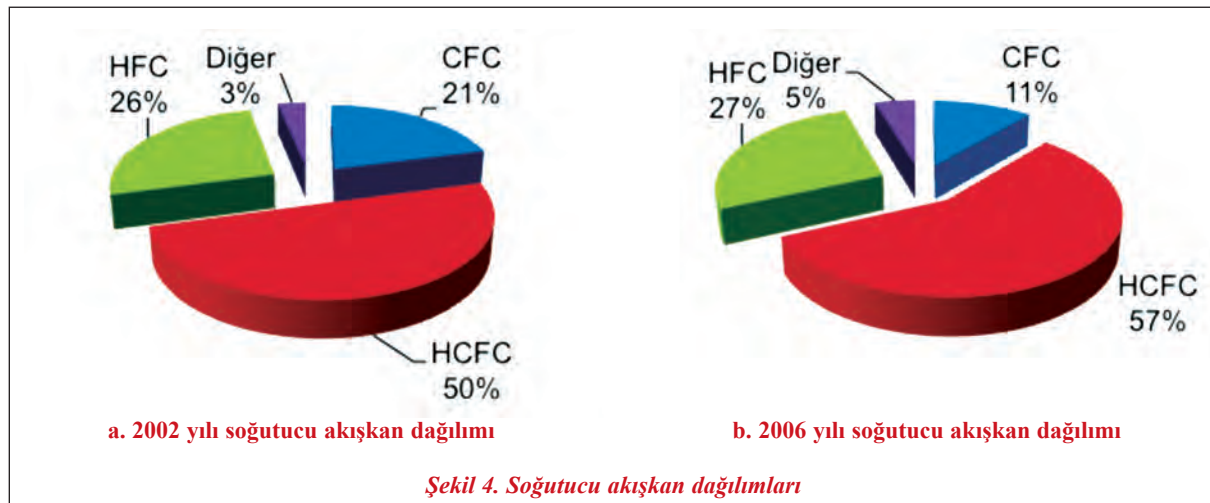
Bu dağılımda toplam 718738 ton soğutucu akışkanın kullanımında en yoğun tüketimin %39’ile başta market soğutma olmak üzere soğuk depo ve benzeri uygulamaların yapıldığı ticari uygulamalar ön çıkmaktadır. Bunu klima sektörü %28 ile izlerken, yaklaşık %98,8 potansiyele sahip araç klimalarının olduğu taşımacılık sektörü %22’lik bir paya sahiptir. Soğutucu akışkan gruplarının kullanım alanlarına bağlı dağılımları ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6’da verilmiştir [8, 9].

Günümüzde ev kullanımlarında artık HCFC kullanımına bağlı üretimlerin kalmadığını görüyoruz.



Şekil 5. Soğutucu akışkanların alt sektörlere göre dağılımı

Ancak bu tip soğutucu akışkanların halen ticari ve klima sektöründe yoğun tüketildiği görülmektedir. Ancak sadece bu iki sektörde toplanan HCFC üretiminde sadece R-22 gazı tüketimi, sektörün soğutucu akışkan toplam tüketiminin yaklaşık %55’ini kapsamaktadır. R-134a, R-410A, R-404A gibi akışkanların gruplandığı HFC akışkanların hemen hemen tüm alt sektörlerde yoğun tüketildiği görülmektedir. Sadece bu üç akışkanın genel toplamdaki payı %24.82 olarak gerçekleşmiştir. Çevresel sınırlamalara bağlı olarak geliştirilen CO₂ gazı kullanımı ve R-600 soğutucu akışkan kullanımı diğer akışkanlar olarak incelenmiştir. Bu gazların en yoğun kullanımının endüstride olduğu görülmektedir. Günümüzde R-600’ü kapsayan evsel soğutma sistemlerinin kullanımını artmaya başlasa da halen istenilen oranlar ulaşmadığı görülmektedir. Bunun yanında özellikle sistem maliyetleri ve enerji tüketim oranlarının yüksekliği nedeniyle de soğutucu akışkan olarak CO₂ kullanımı sınırlı kalmıştır.



Şekil 4. Soğutucu akışkan dağılımları

Günümüzde soğutucu akışkanlar solventler, köpükler ve yangın söndürücüler küresel ısınma etkisi güçlendiren ve ozon tüketimine neden olan en önemli maddeler olarak tanımlanmaktadır [11]. Bu maddelerin küresel ısınma etkileri ve bunların dağılımları Şekil 7’de verilmiştir.

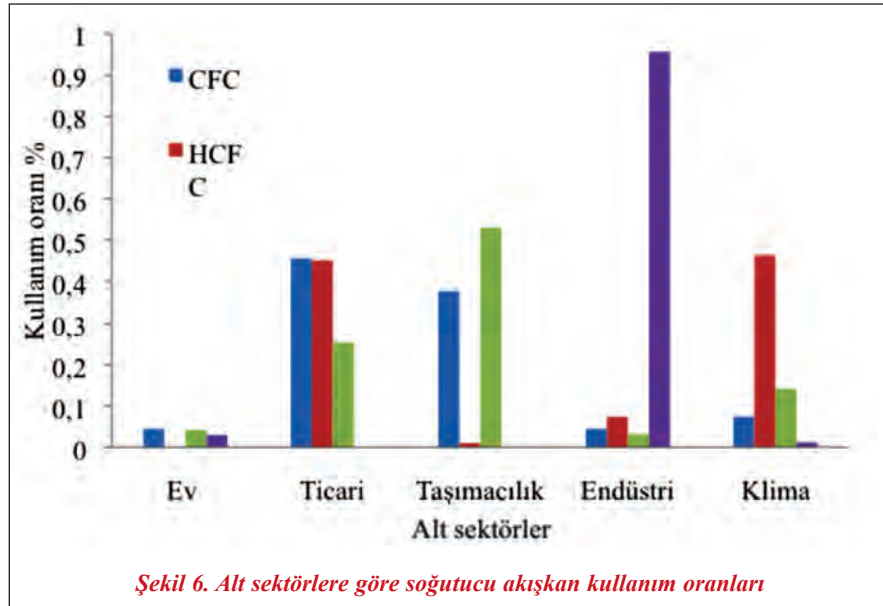
Çoğunlukla HFC kullanımının yoğun olduğu bu maddelerin üretim proseslerinde PFC’ler (Perfluorokarbonlar) ve SF6’ların (sulfur heksafloridler) da yoğun kullanıldıkları görülmektedir. Çoğu kez bu gazların GWP etkileri CO₂’in etkilerinden çok daha fazla etkilidir ve bu gazların atmosfer

ömürleri bin yıllara ulaşmaktadır. Bunlar arasında soğutucu akışkanın etkileri ise 2010 yılında 94,5 MMTCE (million metric tons of carbon equivalent) ile yaklaşık %80’lere ulaşmıştır. Tahminler bu etkinin 2020 yılında da benzer oranlarda devam edeceğini göstermektedir. Bu gazları 14,44 MMTCE ile yaklaşık %12,27 oranla köpükler izlemektedir [11].

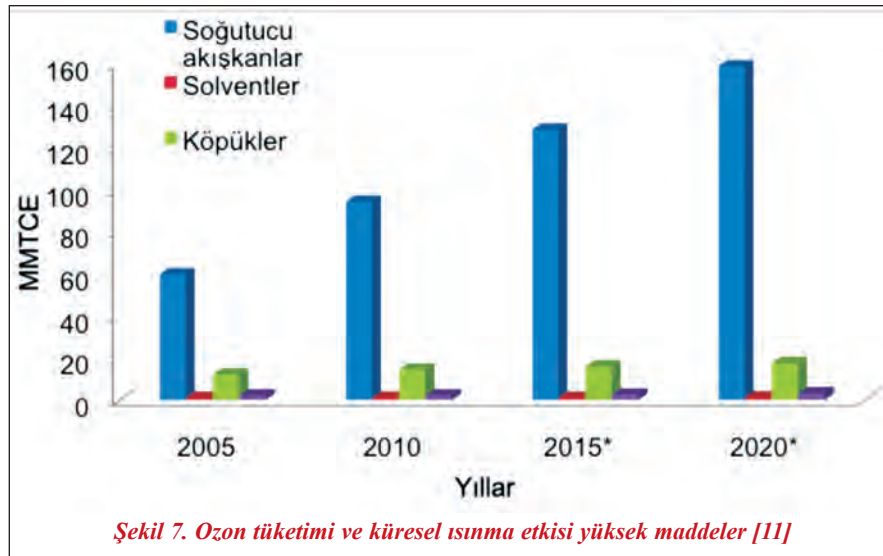
Sektörlere bağlı emisyon hesaplamalarında pek çok ülkede farklı modellerin tercih edildiği görülmektedir. Örneğin Amerika’da soğutucu akışkanların ozon tüketim değerlerinin simülasyonuna bağlı sektörlerden toplanan verilerin kullanıldığı ve enerji çevre

ajansının geliştirdiği Vintanging modeli, Avrupa birliğinde, her ülkenin bütüt yerli ürün maliyeti, toplam Avrupa birliğinden üye ülkelerin bireysel tüketimine bölünerek bulunur. Diğer ülkelerde ise birleşmiş milletler çevre programı (UNEP)’ten sağlanan ülkelerin ozon tüketim değerleri tahminlerini kullanırlar.

Projeksiyon tahminleri için oluşturulan senaryolarda ise Montreal protokolünde veya UNEP’te belirtilen ozon tüketim değerleriyle birlikte ülkenin ekonomik büyüme oranı, ozon tüketim oranları, sektör verileri kullanılır. Sektörde soğutma sistemlerinin emisyon etkilerinin hesaplanmasında, Bunlar, Ekipman ömür sürecinde emisyon ve hurda durumunda açığa çıkan emisyonlar olmak üzere iki kategori öne çıkmaktadır. Birinci yaklaşımda akışkanların sızıntı



Şekil 6. Alt sektörler göre soğutucu akışkan kullanım oranları



Şekil 7. Ozon tüketimi ve küresel ısınma etkisi yüksek maddeler [11]

Makale

oranlarıyla birlikte servis süreçleri dikkate alınır. İkinci yaklaşımda ise sistem ekipmanlarının açığa çıkması sonucu ortaya çıkan emisyonlar hesaplanır. Bakım onarım, ve çalışma sürecinde sistemlerdeki her bir eleman için emisyon etkisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir [11].

$$E_{s_j} = (I_a - I_s) \sum_{i=1}^{i=k} Q_{C_{j-i,i}} \quad (1)$$

Burada,

E_s : Servis edilen ekipmanın emisyonları

I_a : Yıllık sızıntı oranı (normal çalışma süreci)

I_s : Servis sızıntı oranı (servis süreci)

Q_c : Yeni ekipmanda kullanılan kimyasalın niteliği (spesifik maddenin toplam şarj miktarı)

j : emisyon yılı

i : ömür süreci endeksi

k : ömür sürecidir .

Soğutma sistemlerinde bir elemanın hurda süreci de emisyonun oluşumuna nedendir. Hurda emisyonu olarak ta tanımlanan bu kategoride emisyon hesaplaması, hurda olarak açığa çıkan elemanın içinde var olan akışkanın belirli bir oranının atmosfere saldığı kabulüne dayanır. Hurda emisyonu;

$$E_{d_j} = Q_{C_{j-k+1}} [1 - (r_m * r_c)] \quad (2)$$

dir. Burada;

E_d = Hurda elemanın emisyonu.

Q_c = Yeni ekipmanda kullanılan kimyasalın niteliği (spesifik maddenin toplam şarj miktarı)

r_m =Kalan akışkan miktarı (toplam akışkana bağlı oranı)

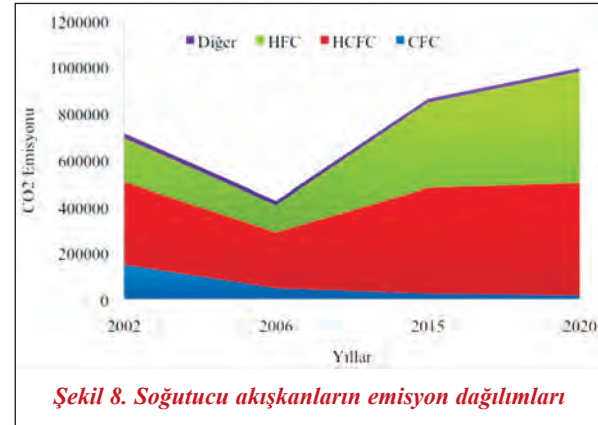
r_c =Kalan akışkanın geri dönüşüm oranıdır.

Bir soğutma çevrimi için toplam emisyon potansiyeli ömür sürecindeki emisyon potansiyeli ile hurda emisyon potansiyellerinin toplamı olarak tanımlanır. Toplam emisyon potansiyeli;

$$E_{j_t} = E_{s_j} + E_{d_j} \quad (3)$$

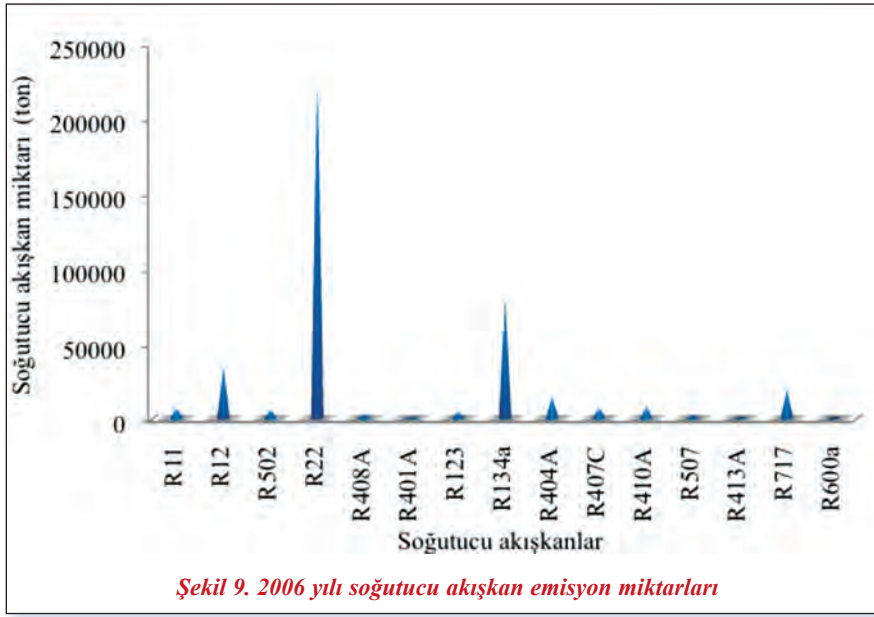
dir [11]. Soğutma sistemlerinde emisyon etkisi üre-

tim sürecinden ömür sürecine kadar sayılabilir. Bu tür sistemlerin üretim süreçlerinde emisyon etkisi akışkan taşınmasına bağlı etkidir ve direkt emisyon etkisi %5-10 aralığında oldukça düşüktür. Sistemlerin ömür sürecine kadar olan sürede emisyon etkisi, başta sızıntı oranı olmak üzere, şarj miktarları, bakım onarım işlemleri etkilidir. Tabii tercih edilen akışkana göre sistemin enerji tüketimi de bunda etkilidir. Bu süreçte emisyon etkisi akışkana bağlı doğrudan, enerjiye bağlı dolaylı etki olarak tanımlanır. Montreal protokolü başta olmak üzere pek çok yapıda soğutucu akışkan gruplarının emisyon etkileri değerlendirildiği ve bu maddelerin projeksiyonlarının yapıldığı görülmektedir. Şekil 8'de bu projeksiyona ait beklentiler de verilmiştir.



Şekil 8. Soğutucu akışkanların emisyon dağılımları

Sektörde CFC'lerin kullanımının 2006 yılından itibaren hızla azalma trendine girdiği ve bunların emisyon etkilerinin 2020 yılında 16955 ton'a kadar yaklaşık %65'lik bir azalma göstereceği görülmüştür. Kullanımı hızla artan ve sektörde hakim akışkanlar haline gelen HFC'lerde ise, emisyon etkisi 2020 yılında 3,15 kat artacağı beklenmektedir. GWP değerinin sifıra yakın olduğu R-717, R-744 ve R-600 akışkanları gibi sektörde yaygın kullanım imkanı bulunmayan alternatif akışkanların emisyon etkileri sektörel gelişmelere bağlı olarak enerji tüketim sorunlarının giderilmesi durumunda dolaylı emisyon etkilerinin de azalacağı değerlendirilmiştir. Bu soğutucu akışkan gruplarında tercih edilen soğutucu akışkanların emisyon etkileri ayrı ayrı incelenmiş ve 2006 yılı için akışkan emisyon dağılımları Şekil 9'da verilmiştir [8].



Şekil 9. 2006 yılı soğutucu akışkan emisyon miktarları

Bu dağılımda CFC grubunda R-12 gazı, HCFC'lerde R-22' gazı, HFC'lerde R-134a gazı, ve diğer gazlar arasında R-717'nin öne çıkmaktadır. CFC'lerde R12 gazı 35195 ton ile bu grubun toplam emisyonunun yaklaşık %74'e sahiptir. Bu gazı, yaklaşık %15 ile R-11 gazı, %11 ile R-502 gazı izlemektedir. HCFC'lerde ise yasaklanan R-22 gazı 233686 ton ve yaklaşık %97'lik oranla bu grubun sahip olduğu emisyon etkisinin çoğunluğuna sahiptir. Bu gazı sırasıyla yaklaşık %1,31 ile R-408A, %0,4 ile R-401A ve %1,64 ile R-123 izlemektedir. Çevreci gaz olarak tanımlanan HFC'lerde özellikle motorlu araç klimalarında kullanılan R-134a gazının 82825 ton emisyon kapasitesiyle grubun yaklaşık %72'lik potansiyeline sahiptir. Bu gazı market ve ticari uygu-

dolap soğutmada kullanılmaya başlanan R-600a gazı ise yaklaşık %1,2'lik bir emisyonla sahiptir.

Küresel ısınma etkileri ve ozon tüketim potansiyellerinin değerlendirildiği emisyon etkileri incelendiğinde son yıllarda CFC ve HCFC'lerin yerine HFC'ler yoğun olarak kullanılmaktadır. Market, taşıt, ev tipi ve ticari uygulamalarda kullanılan R134a, R404A, R410A gazlarının sıfır olan ozon tüketim potansiyellerinin yanında küresel ısınma potansiyelleri yerine kullandıkları HCFC gazlardan R22'ye göre fazla bir değişim göstermemektedir. IPPC ve business-as-usual (BAU) projeksiyonlarına göre HFC'lerin GWP potansiyelinin 20, 100 yıl seçeneklerine bağlı analizleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 HFC'lerin emisyon projeksiyonları [12]

GWP	Uygulama alanı	Emisyon (Mton CO ₂ eşiti)				
		2010	2020	2030	2040	2050
20	Gelişmiş ülkeler (A2)	637	909	1047	1137	1253
	Gelişmekte olan ülkeler (A5)	163	1179	2570	3802	5008
	Genel	1016	2008	3617	4939	6261
100	Gelişmiş ülkeler (A2)	1395	1992	2323	2537	2807
	Gelişmekte olan ülkeler (A5)	379	2546	5539	8209	10875
	Genel	1558	4538	7862	10746	13182

Makale

R-134a, R-404A ve R-410A gibi HFC akışkanların kullanımlarının sürekli artacağı, soğutucu akışkan tüketimine bağlı emisyon salınımlarında HFC'lerin zamanla öne geçeceği görülmektedir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler dışında CO₂ emisyon eşiti emisyon salınımlarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde özellikle 2020 yılına kadar CFC ve HCFC'lerin yerini alması beklenen HFC'lerin emisyon etkileri 2020 yılından itibaren her iki GWP durumunda da daha fazla hissedilecektir. Dünya genelinde HFC'lerin emisyon etkilerininin 100 yıllık süreç açısından GWP daha fazla etkin olacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışma soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında kullanılan soğutucu akışkanların potansiyellerine ilişkin geniş bir incelemeyi ve bu akışkanların neden olduğu emisyon etkilerininin envanterini kapsamaktadır. Yapılan inceleme sonucunda;

- Sektörde yasaklanmasına rağmen halen CFC kullanımının önemli bir potansiyelde devam ettiği,
- Kullanımında sınırlama getirilen HCFC'lerin sektörde oldukça yoğun kullanılmaya devam ettiği,
- 2020'lerden itibaren yeni sistemlerin devreye girmesine paralel olarak HFC'lerin sektöre hakim olacağı,
- Teknolojik değişime bağlı da olsa alternatif soğutucu akışkanların kullanımının beklene düzeyde olamayacağı görülmüştür.

Sektörde sıfır ODP değerine sahip HFC'lerin kısa sürede sektöre hakim olacağı görülmektedir. Ancak bu soğutucu grupta kullanılan akışkanların yüksek GWP değerleri nedeniyle emisyon etkilerininin de yüksek olduğu görülmüştür. Özellikle R22'nin yerine kullanılan R-404A, R-410A gibi akışkanların daha yüksek GWP değerine sahip olması, HFC'lerinde küresel ısınma ve emisyon salınımları nedeniyle tercih edilebilir akışkanlar olmadığı görülmektedir. Bu nedenle özellikle GWP değeri düşük akışkanların (R-152a, R-407C, HF1234yf, R-600 ve R-290) sitemlerde kullanılmasına ilişkin çözümlerin geliştirilmesi, bilimsel çalışmalarda doğal soğutucu

akışkanlar gibi alternatif çözümlerin öne çıkarılmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] ECCJ (Energy Conservation Center Japonya), Enerji dönüşüm Merkezi, Tokyo, Japonya. <http://www.eccj-or-jp/summary/local0303/eng/03-01.html>, <http://www.eccj-or-jp/databook/2002-2003e/03-04.html>, <http://www.eccj-or-jp/databook/2002-2003e/03-05.html>.
- [2] Sogut M.Z., Karakoç H., Kılıkış B., Soğutucu akışkanların ekserji verimine bağlı çevresel performanslarının incelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ, Türkiye
- [3] Horst K., September 2000, Refrigerant use in Europe, ASHRAE journal, www.ashraejournal.org
- [4] Halozen H., HFCs or the Old Refrigerants - what is the best Choice?, Thermal Mühendislik enstitüsü, Graz Üniversitesi, Graz, Avusturya, http://www.centrogalileo.net/nuovaPA/Articolitecnici/INGLESECONVEGNO/XIConvegnoEnglish/ISESSIONE/Halozan_eng.pdf
- [5] IPCC/TEAP,2005, "Safeguarding the ozone layer and the global climate system", İklim değişikliği teknolojileri ve ekonomik değerlendirme uluslararası panel özel raporu, Cambridge Üniversitesi, Newyork, USA
- [6] FEA (Federal Environmental Agency), Comparative Assessment of the climate relevance of supermarket refrigeration systems and equipment, Almanya Çevre Bakanlığının çevre araştırma raporu, Almanya,2009. www.umweltbundesamt.de
- [7] USGBC. Report on the Treatment by LEED of Environmental Impact of HVAC Refrigerants, U.S. Green Building Council (USGBC), Washington D.C., USA, 2004.
- [8] CLodic D., Barrault S. Saba S., Global inventories of the worldwide fleets of refrigerating and airconditioning equipment in order to determine refrigerant emissions. The 1990 to 2006 updating. ADEME/ARMINES Agreement 0874C0147-Final raporu-Centre Energetique Et Procèdes, Paris Fransa, Nisan 2010.

- [9] Jubb C., Bennett M. Fraser P., Inventories and Projections of Ozone Depleting and Synthetic Greenhouse Gases used in Montreal Protocol Industries, Burnbank Consulting Pty.Ltd. Avusturalya, 2002. www.environmental.gov.au/atmosphere/ozone/publications/pubs/burnbank-report.pdf
- [10] UNEP, 2006 Report of the Refrigeration, Air Conditioning And Heat Pumps Technical Options Committee 2006 Assessment, ISBN: 978-92-807-2822-4, Job No: OZO/0948/NA, UNEP Nairobi, Ozone Secretariat, Kenya, 2007.
- [11] EPA, Analysis of Costs to Abate International Ozone-Depleting Substance Substitute Emissions, EPA 430-R-04-006, Environmental Protection Agency, Washington, D.C.,USA, Haziran 2004.
- [12] Mate J.,Kanter D., The benefit of basing policies on the 20 year GWP of HFCs, Ökō recherche GmbH in cooperation with heat GmbH, Greenpeace International Ottho Heldringstraat 5 1066 AZ Amsterdam Hollanda, 2010.