

KLİMALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ SINIFLANDIRILMASINDA FARKLI BİR YAKLAŞIM: EKSERJETİK VERİMLİLİK ORANI VE ÇEVRESEL ETKİ ORANI

M.Ziya SÖĞÜT
Hikmet KARAKOÇ

ÖZET

Bu çalışmada klimalarda enerji verimliliği yönüyle ekserjetik ve çevresel performansın değerlendirilebilmesi için geleneksel etiketlemeden farklı olarak ekserjetik verimlilik faktörü (EEF Exergetic Efficiency Rate) ve çevresel etki faktörüne (EIF-Environmental Impact Factor) bağlı bir enerji etiketlemesi geliştirilmiştir. Bu faktörlerle klimalarda gerçek performansların ve çevresel etkilerin değerlendirildiği alternatif bir etiketleme amaçlanmıştır. Yapılan analizlerde benzer soğutma kapasitesine sahip klimaların tanımlanan değerlerden farklı özellik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca çevreci bir gaz olarak tanımlanan R-410A gazının kısıtlanan R-22 gazından ortalama %56.69 daha yüksek bir çevresel etkiye sahip olduğu da tespit edilmiştir. Çalışmanın sonunda klimaların katalog değerlendirmelerinde EEF ve EIF parametrelerinin tercihine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji etiketi, Enerji verimliliği, Ekserji, CO₂ emisyonları, Çevresel etkiler.

ABSTRACT

In this study, an energy labeling depending on exergetic efficiency factor (EEF) and environmental impact factor (EIF) different from conventional labeling has been developed in order to evaluate exergetic and environmental performance aspect of energy efficiency in air conditioning. This alternative labeling evaluating real performances and environmental effects in air conditioning has been aimed by these factors. Air conditioners having similar cooling capacity have been displaying different features from their defined own values. Besides, R-410A gas known as a green gas has been identified having a higher environmental effect than the restricted R-22 gas by average 56.69%. At the end of the study, The recommendations about the preference of EEF and EIF parameters for catalog evaluation of air conditioners have been made.

Key Words: Energy labeling, Energy efficiency, Exergy, CO₂ emissions, environmental effects.

1. GİRİŞ

Enerji maliyetlerinin ekonomik göstergeleri doğrudan etkilediği günümüzde; sanayiden bireysel kullanıcıya kadar her kullanıcı için enerji tüketen tüm süreçlerde enerjinin verimli kullanımı önem kazanmıştır. Piyasa ekonomilerinde düşük enerji tüketim değerine sahip ürünlerin tercihi yanında, son yıllarda çevre bilincinin gelişmesine paralel olarak daha verimli ve daha çevreci ürünlerin kullanılması

da değer kazanmıştır. Bu amaçla piyasada tüketicinin bilinçlenmesine yardımcı olacak ve ürünlerin enerji performansını ve verimliliğini tanımlayacak enerji etiketleri kullanılmaktadır. Enerji etiketleri; tüketiciler için geliştirilmiş bir cihazın enerji tüketim aralığını ve sınıflandırmasını tanımlayan bir etikettir.

Yaşam alanlarında konfor şartının ortaya çıkardığı iklimlendirme ihtiyacı, dünyada iklim değişikliğinin göstergelerinden biri haline gelen aşırı sıcakların da etkisine bağlı olarak klima sektörü market payını sürekli arttıran bir sektördür. Dünyada toplam enerji tüketim potansiyelinin yaklaşık %9'una sahip iklimlendirme ve soğutma sektöründe, klima sektörü yaklaşık %28'lik bir paya sahiptir[1]. Klimalarda ürünlerin enerji verimlilik performansları, enerji verimlilik oranı (EER) ve performans verimi (COP) parametrelerine bağlı olarak yapılmaktadır. Bu parametreler sadece nicelik olarak enerji kullanımı ile ilgili değerlendirmeye imkan verirken, tersinmezliğin neden olduğu verimsizliğin ve cihazın neden olduğu çevresel etkilerin değerlendirilmesinde yeterli değildir.

Enerji tüm termodinamik süreçlerde hareket ve hareket üretebilme kabiliyeti olarak tanımlanır [2]. Termodinamik süreçlerde enerji analizleri niteliğin tanımlanması olarak ifade edilebilir. Bu soğutma sistem analizleri için de geçerlidir. COP ve EER'e bağlı olarak bir soğutma yükü için sadece sistemdeki toplam enerji tüketiminin değeri tanımlanır. Oysa gerçek performanslar incelendiğinde etiket değerlerinin üstünde bir sonuç alınırken, sistemlerde nedenlerine ilişkin sonuçlar alınmaz. Bu da enerji analizlerinin sistemlerdeki kayıplar veya tersinmezliklerin tanımlanmasında yetersizliğini göstermektedir. Termodinamik proseslerde enerji akışlarının bir ölçüsü olarak ekserji analizleri öne çıkmaktadır.

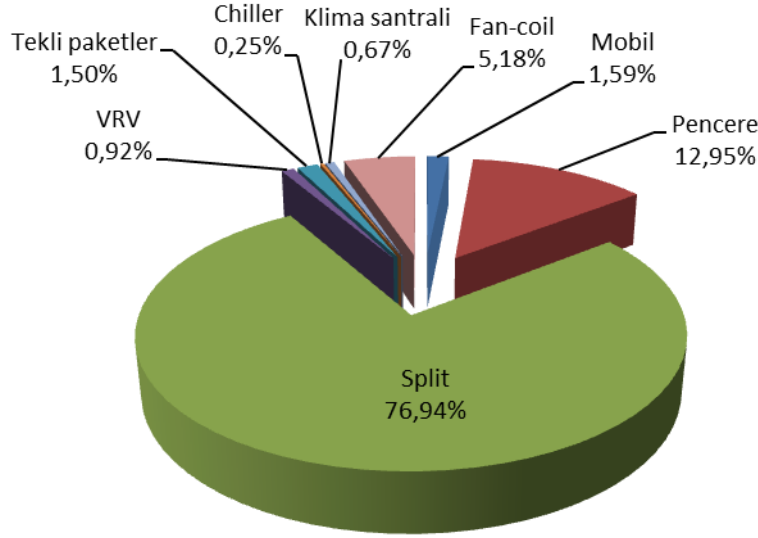
Referans alınan çevre koşullarında sistemde elde edilebilecek maksimum iş olarak tanımlanan ekserji termodinamik süreçlerde kütle ve enerji akışında niteliğin bir ölçüsüdür [3,4]. Termodinamik süreçlerde ekserji analizi; etkili bir konsepttir ve modern termodinamik yöntemlerde gelişmiş bir araç olarak kullanılır. Ekserji analizlerinin temel amacı ısıl ve kimyasal sistemlerde ortaya çıkan kayıpların önemini nicel olarak tahmin etmek ve nedenlerini araştırmaktır. Ekserji analizleri, enerji, basınç, sıcaklık gibi farklı termodinamik faktörlerin önemini karşılaştırılması, bu termodinamik şartların süreç üzerinde etkilerinin iyi anlaşılması ve değerlendirilen sistemlerin tersinmezliklerinin tanımlanması, sistemlerin geliştirilmesinin en etkili yollarının tanımlanması için yol gösterir [5]. Ekserjiyi analizleriyle sağlanabilecek bilgiler çevresel etki ve sürdürülebilir enerji sistemleri alanında çalışan bilim adamları ve alan mühendisleri için gereklidir. Günümüzde termodinamik süreçlerde yol gösterici pek çok çalışma görülmektedir.[6-9]. Benzer çalışmaların soğutma sistemleri ve özellikle klimalarda da yapıldığı görülmektedir[10-12].

Yaklaşık yıllık 60-70 milyon soğutma sisteminin üretildiği günümüzde çeşitli uygulamalarda yüz milyonlarca soğutucu ve iklimlendirme ünitesi çalışmaktadır. İklim değişikliklerinin etkisine de bağlı olarak da talebin sürekli artacağı görülmektedir. 90'ların başından itibaren, stratosferde ozon tüketiminin artması, sera gazlarının emisyon etkileri nedeniyle soğutma ve iklimlendirme teknolojilerinde enerji tüketiminin azaltılması ve daha çevreci akışkanların tercihi öne çıkmıştır[13]. Son yıllarda toplam eşdeğer ısınma etkisi (TEWI-Total Equivalent Warming Impact) soğutucu akışkanların emisyon etkilerinin tespitinde kullanılan en aktif yöntemdir. TEWI değeri bir soğutma sisteminin enerji tüketimine bağlı dolaylı emisyonlar ile, soğutucu akışkanın küresel ısınma potansiyeline (GWP- Global Warming Potential) bağlı doğrudan emisyon etkilerinin oluşturduğu toplam emisyon etkisini tanımlamayan önemli bir kriterdir[14].

Bu çalışmada klimalarda enerji verimliliği yönüyle ekserjetik ve çevresel performansın değerlendirilebilmesi için geleneksel etiketlemeden farklı olarak ekserjetik verimlilik faktörü(EEF) ve çevresel etki faktörüne (EIF) bağlı bir etiketleme geliştirilmiştir. Böylece özellikle klima sektörüne yönelik alternatif etiketleme için yeni bir değerlendirme imkanı sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre piyasadaki pek çok split sistemde kullanılan ve çevreci bir gaz olarak tanımlanan R-410A gazının kısıtlanan R-22 gazından ortalama 23.18% daha yüksek bir çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonunda klimaların katalog değerlendirmelerinde EEF ve EIF parametrelerinin tercihine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. KLİMA SEKTÖRÜ VE ENERJİ ETİKETİ

Yaklaşık 120 milyar dolarlık bir pazara sahip olan iklimlendirme sektöründe sadece soğutma pazarında 2012 hedefleri, yaklaşık 91 milyar dolardır[15]. Bu sektörde pek çok uygulama alanı için farklı pek çok ürün imalatı vardır. Sektörde dünya pazarında 2012 için iklimlendirme ünitelerinin dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil1. Dünya İklimlendirme Sektöründe Ürün Dağılımları[15]

Dünya piyasasında iklimlendirme ünitelerinin yaklaşık %77'sini split klimaları oluşturmaktadır. Bunlara paralel chiller ve fan coil uygulamaları ise toplam pazarın % 5.43'ünü karşılamaktadır.

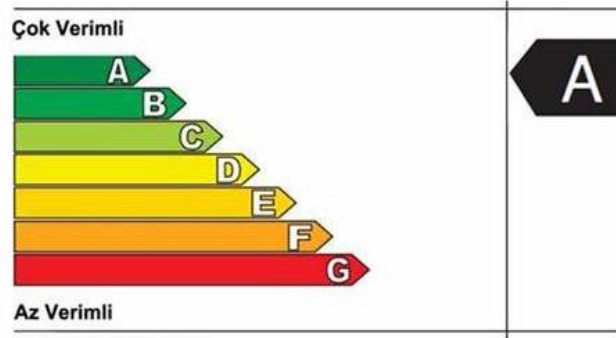
Türkiye’de 1980’lerin sonundan itibaren hızlı bir gelişim gösteren iklimlendirme ve soğutma sektörü, 2009 yılında ekonomik büyüme oranına göre 4 kat daha fazla bir büyüme gerçekleştirmiştir. Son yıllarda üretim kapasite kullanım oranının en yüksek oranlara ulaştığı sektörde 2009 yılı itibariyle toplam iş hacmi de 2 billion \$’a yaklaşmıştır(Yüksel, 2009). Klima ürünleri arasında split klimalar, Türkiye’de toplam klima satışlarının %95’lik payına sahiptir. Pencere tipi klimaların pazar paylarının oldukça düştüğü sektörde, ev kullanımı ve küçük ofis için alınan klimaların hemen hemen % 95’i split klimalardır. Pazarın yaklaşık % 5’lik payını ise orta ve büyük ofislerde kullanılan, çatı ve paket tipi klimalar ile sanayi tipi klimalar oluşturmaktadır[16]. Türkiye’de split klimaların 2007-2009 satış rakamları ve bunların enerji sınıflandırılmasına göre dağılımı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 2007-2009 Split Klima Satışları [16]

| Yıllar | Toplam satış Adet | Enerji sınıflarına göre dağılımları (%) | | | | |
|--------|-------------------|---|-------|-------|-------|-----------|
| | | A | B | C | D | E ve altı |
| 2007 | 1.201.698 | 31,67 | 15,81 | 36,03 | 14,75 | 1,74 |
| 2008 | 1.093.587 | 42,68 | 13,68 | 29,24 | 12,28 | 2,12 |
| 2009 | 603.598 | 46,06 | 17,59 | 17,07 | 18,33 | 0,96 |

Ekonomik krizin etkisi ile 2009 yılında % 44,8’lik bir daralma ile kapatan split klima pazarında 2010 yılında yaklaşık %20’lik bir büyüme gerçekleştirilmiştir. 2008-2009 yılları arasında pazardaki daralmaya rağmen A ve B sınıfı klimalarda %3.38 ve %3.90’lık bir artış gözlenmektedir. Bu da enerji sınıflandırılmasına bağlı olarak özellikle tüketicinin enerji tüketimi bilinci konusunda duyarlılığında artış olduğunu göstermektedir.

Enerji sınıflandırması, enerji kullanan prosesler için CO₂ emisyonlarının düşürülmesine ilişkin bir yöntem olarak enerji verimliliğini hedefleyen Avrupa İklim Değişikliği programının bir parçasıdır. Bu sınıflandırmada temel amaç, kullanıcıların bilinçlenmeleri ve ihtiyaçları için en ekonomik ürünü satın alırken ekolojik değerlendirmeleri ön planda tutmalarıdır. Bu sınıflandırmada üretici için her ürüne yönelik bir etiket tanımlanmakta ve ürünün enerji sınıfı belirtilmektedir[17]. Şekil 2’de enerji sınıfı etiketi görülmektedir.



Şekil 2. Enerji Sınıf Etiketleri [17]

Enerji sınıfı etiketi, tüm enerji tüketen elemanlarda olduğu gibi klima üniteleri için de A ile 'G' arasında değişen enerji tüketim kategorilerinde sınıflandırılır ve sınıfına uygun bir renk kodu taşır. Koyu yeşil rengin sahip olduğu "A" kategorisi, ünitenin en yüksek enerji verimliliğine sahip olduğunu, kırmızı rengin sahip olduğu "G" kategorisi ise, ünitenin en düşük enerji verimliliğine sahip olduğunu gösterir.

Split klimalar genelde hem soğutma, hem de ısıtma özelliğine sahip hava kaynaklı ısı pompaları olarak ta tanımlanır. Bir klima için soğutma kapasitesi, yaz şartları için, tam yükte çalışan bir klimanın kW cinsinden soğutma kapasitesini ifade eder. Klimalarda, soğutma kapasitesi için çekilen elektrik gücü arasındaki ilişki, Enerji Verimlilik Oranı (EER) ile elde edilir. EER (Energy Efficiency Ratio), birim zamanda soğutma kapasitesinin (BTU) harcanılan güce (Watt) oranıdır.

Isıtma modunda bir klimanın tam yükte kapasitesi, ısıtma kapasitesi olarak adlandırılır ve ısıtma kapasitesinin sağlanması için sistemin tükettiği enerjiye bağlı değerlendirme Etkinlik katsayısı (COP) ile tanımlanır. Günümüzde tüm klima kataloglarında tanımlı evaporatör sıcaklıklarına bağlı EER ve COP değerleri verilmektedir. Kullanıcının bu değerlere bağlı alım yapmaları istenir. Bunu desteklemek için de her klima için EER ve COP değerleri verimlilik sınıflandırmasına göre etiketlenir ve piyasaya bu şekilde sunulur. Şekil 3’de markette var olan klimaların COP ve EER’e bağlı sınıflandırma aralıkları ve etiketi görülmektedir.

| Ünitenin soğutma modunda enerji verimlilik sınıfı: | Ünitenin ısıtma modunda enerji verimlilik sınıfı: |
|--|---|
| EER>3.20 | COP>3.60 |
| 3.20≥EER>3.00 | 3.60≥ COP >3.40 |
| 3.00≥EER>2.80 | 3.40≥ COP >3.20 |
| 2.80≥EER>2.60 | 3.20≥ COP >2.80 |
| 2.60≥EER>2.40 | 2.80≥ COP >2.60 |
| 2.40≥EER>2.20 | 2.60≥ COP >2.40 |
| 2.20≥EER | 2.40≥ COP |

Şekil 3. Isıtma ve Soğutma Modunda Klimaların COP ve EER Aralıkları[17]

Son yıllarda sektörde de yoğun tartışma haline gelen bu değerlerin bilimsel anlamda sadece tek bir sıcaklık değerine göre alındığı, klimaların gerçek performansları yansıtmadığı ve bu değerlerin tüketiciyi yanlış yönlendirdiği ifade edilmektedir. Gerçekte bu değerler klima açısından sadece nicel bir değerlendirmenin ölçüsü olabilir. Oysa klimanın performans değerlendirmesi tüm termal sistemlerde olduğu gibi niteliğe bağlı, yani % 100'lük performansa göre tersinmezliğin etkisiyle niteliksel bir

değerlendirme yapılabilir. Bununla birlikte her klima için çevresel performans kriteriyle hangi klima ünitesinin daha çevreci bir özelliğe dayandığı tüketiciye söylenebilir.

3. EKSERJİ KONSEPTİ VE EKSERJETİK VERİMLİLİK ORANI

Soğutma sistemlerinde makinelerin çalışma verimlerinin bir ölçüsü olarak etkinlik katsayısı(COP) tanımlanmıştır. COP, çekilen ısı miktarının kompresöre verilen enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Bir soğutma makinası için (COP);

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} \quad (1)$$

dir [18]. Burada Q_L soğutulan ortamdan çekilen ısıyı, W_{net} kompresöre verilen net işi ifade eder. Soğutma makinaları bir çevrim esasına göre çalışan sistemlerdir ve çevrim için elde edilecek net iş;

$$\dot{W}_{net} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_L \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada Q_H makinanın bulunduğu dış ortama verilen ısıdır. Soğutma makinalarında COP birinci yasa verimi olarak ifade edilir. Bir soğutma makinasının gerçekte iş yapabilme kabiliyeti termodinamiğin ikinci yasasına göre ekserji kavramı ile tanımlanır. Soğutma sistemlerinde ekserji verimi gerçek COP'nin aynı çalışma parametrelerinde tersinir bir makinanın COP_{tr} 'ye oranıdır. Bir soğutma makinasında COP_{tr} ;

$$COP_{tr} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} \quad (3)$$

dir [19]. Burada T_H dış ortam sıcaklığını, T_L ısı çekilen ortam sıcaklığını ifade eder. Bu durumda soğutma makinalarının ekserji verimi;

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} \quad (4)$$

dir. Denklem (1) ve Denklem (3) birleştirilirse;

$$\eta_{II} = \frac{\dot{Q}_L \frac{T_H}{T_L} - \dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} \quad (5)$$

dir [7].

4. TEWI KONSEPTİ VE ÇEVRESEL ETKİ ORANI

Soğutucu akışkanların neden olduğu emisyon etkileri özellikle çevresel tehditin artmasıyla birlikte pek çok yönüyle tartışılmaya başlanmıştır. İlk değerlendirmelerin yapıldığı Montreal protokolü sürecinde, atmosfer üzerinde sentetik soğutucu akışkanların sera gazı emisyonları ve küresel ısınma potansiyellerinin etkileri pek çok yönleriyle tartışılmıştır. Daha sonra 1990'da Londra konferansında, sistemlerde COP'lerin etkisine bağlı olarak soğutucu akışkanların küresel ısınma etkilerinin azaltılması için ozon tüketim özelliğine sahip maddelerle, küresel ısınma potansiyeli düşük akışkanların yer değiştirmesini amaçlayan bir prosedür tartışılmış ve soğutma sistemlerinde soğutucu akışkanların küresel ısınma potansiyelleri sorgulanmıştır. Bu toplantıyı izleyen Kopenhag toplantısında ise soğutma

sistemlerinin neden olduğu toplam küresel ısınma potansiyelinin değerlendirildiği bir konsept sunulmuştur. Bu konseptte soğutma sistemi için fosil yakıtlı güç sistemlerinden sağlanan enerjinin CO₂ emisyon etkisi ile soğutucu akışkanın küresel ısınma potansiyeline bağlı CO₂ emisyon etkisi değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme daha sonra Oak Ridge National Laboratuvarı tarafından geliştirilen Toplam Eşdeğer Isınma Etkisi (Total Equivalent Warming Impact- TEWI) olarak tanımlanmıştır [20].

TEWI konsepti bir sistemin yaşam sürecinde kullandığı enerji nedeniyle atmosfere saldırdığı CO₂ emisyonunun küresel ısınma etkisiyle (indirect effect) soğutucu akışkan emisyonlarından ortaya çıkan etkilerin toplamı olarak geliştirilmiştir. Soğutma sistemlerinin üretim sürecinde neden oldukları seragazi emisyonları ve sistemlerin üretimi için harcanan enerjiden kaynaklanan emisyonları içeren yaşam döngüsü iklim performansının (Life Cycle Climate Performance-LCCP) aksine TEWI sisteminin çalışma sürecindeki emisyonları içerir[14].

EN 378:2000'de tanımlanmış olan TEWI değeri herhangi bir soğutucu akışkanın emisyon potansiyelinin değerlendirildiği bir yaklaşım yöntemidir. Bu parametre farklı sistemlerin bağlı etkilerini doğrudan karşılaştırmak için kullanılabilen uluslararası bir yöntem ve eşitliklerdir. TEWI, yaşam sürecinde sistemlerin enerji tüketimleri ile küresel ısınma potansiyellerine bağlı çevresel etkileri kapsar. TEWI değerinin yüksekliği, çevresel etki yönüyle sisteminin zayıflığını gösterir. TEWI değeri;

$$TEWI = [\underset{\substack{SK \\ \text{Dogrudan GWP}}}{GWP} \cdot L \cdot n] + [\underset{\substack{GDK \\ \text{Dogrudan GWP}}}{GWP} \cdot m \cdot (1 - \alpha_{recovery})] + [\underset{\substack{ET \\ \text{Dolaylı GWP}}}{n \cdot E_{annual}} \cdot \beta] \quad (\text{kgCO}_2) \quad (6)$$

olarak hesaplanır. Burada TEWI toplam eşdeğer ısınma etkisi, SK sızıntı kayıpları, GDK geri dönüşüm kayıpları, ET enerji tüketimi, GWP küresel ısınma potansiyeli, L sızıntı oranı, n sistemin çalışma süresi, m akışkan şarj miktarı, $\alpha_{recovery}$ geri dönüşüm faktörü, E_{annual} yıllık enerji tüketimi, β ise güç sisteminde üretilen CO₂ emisyonudur [21]. Çevresel etki oranı (EIF) TEWI faktöre bağlı geliştirilmiş ve sistemin çalışma saati göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Çevresel etki faktörü;

$$EIF = ((\underset{\substack{SK \\ \text{Dogrudan GWP}}}{GWP} \cdot L) + (\underset{\substack{GDK \\ \text{Dogrudan GWP}}}{GWP} \cdot m \cdot (1 - \alpha_{recovery}))) / s + (\underset{\substack{ET \\ \text{Dolaylı GWP}}}{E} \cdot \beta) \quad (\text{kgCO}_2/\text{h}) \quad (7)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada s yıllık ortalama çalışma saatini vermektedir. Farklı maddelerin küresel ısınma etkileri GWP veya küresel ısınma potansiyelleri olarak bilinen ve CO₂ emisyonu için kullanılan bir indeksle karşılaştırılır. Bir maddenin küresel ısınma potansiyeli (GWP) maddenin 1 kg'ının 1 kg CO₂ 'in küresel ısınma potansiyeline bölünmesiyle bulunur. Bu etkiler 100 yıllık bir süre veya 500 yıllık bir süre için değerlendirilebilir[22].

Soğutma prosesleri tarafından oluşan iklimsel etkilerin bütünü doğrudan veya dolaylı seragazi emisyonlarının toplamıdır. Doğrudan etki, ömür sürecinde kayıplar, bakım onarım ve sızıntı etkileri nedeniyle oluşan soğutucu akışkanların emisyonlarını içerir. Dolaylı etki ise güç sistemlerden sistemi karşılaştırmak için gerekli elektrik enerjisine bağlı CO₂ emisyon etkilerini içerir. Ancak enerjiye bağlı bu dolaylı emisyonlar ile atık yok etme dikkate alınmıştır[23].

TEWI analizlerinde, üretilen enerjinin birim başına emisyonu dolaylı TEWI etkisinin hesaplanmasında dikkate alınan bir parametredir. Elektrik üretiminin CO₂ emisyonu güç santrallerinde enerji taşınımının karışımına bağlıdır. Yeryüzünde seragazi etkilerinin iklimsel sonuçları küresel bir problem olarak karşımıza çıkar. Dolaylı etkide birim güç başına CO₂ emisyon etkisinin değeri dünyada farklı değerlendirmelerde kabul edilir. Bu çalışmada Avrupada, Japonyada, Kuzey Amerikada kabul edilen 0.47 kg CO₂/kWh değeri CO₂ emisyon değeri olarak kabul edilmiştir[13].

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

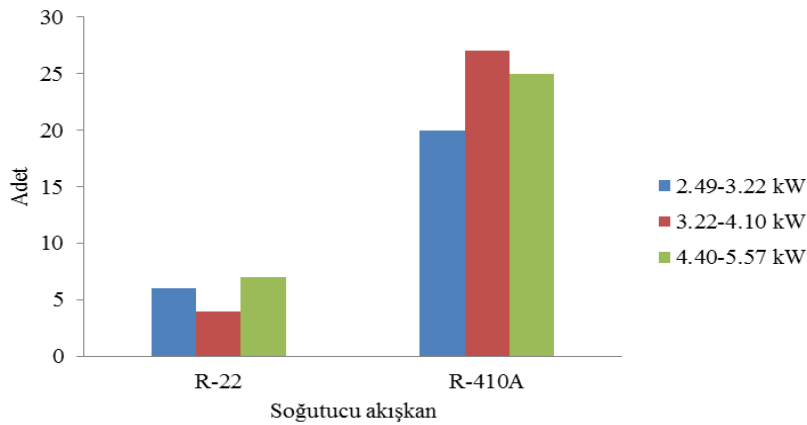
Bu çalışmada öncelikle Türkiye klima pazarında satılan 138 farklı klima soğutma yükleri referans alınarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra bu klimalardan pazarda en çok satılan klimalar referans alınarak COP ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu klimaların çevresel etki analizleri de yapılarak, klimaların ekserjetik verimlilik oranı (EEF) ve çevresel etki faktörüne (EIF) bağlı farklı bir enerji etiket değerlendirilmesi oluşturulmuştur.

Türkiye’de satılan klimalarda soğutucu akışkan olarak çoğunlukla R-22 ve R-410A gazları kullanılmaktadır. Pazarda klima sistemleri bu gazlar arasında yaklaşık %23,91’i R22 gazını, yaklaşık %76,09’u ise R410A gazını kullanmaktadır. Ayrıca pazarda farklı soğutma yüklerine sahip salon tipi klima ünitelerinin oranı ise %13,77’ dir. İncelenen klimaların soğutucu akışkana göre soğutma yük dağılımları ve miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Soğutma Yük Dağılımları İle Soğutucu Akışkan Termodinamik ve Çevresel Özellikleri

| Soğutma kapasitesi | | Soğutucu akışkan parametreleri | | | | | | Çalışma parametreleri | |
|--------------------|-----------|--------------------------------|-------|--|-------|-----------------------------|-------|-----------------------|--------|
| Btu/h | kW | Ozon tüketimi (ODP) | | Küresel ısınma potansiyeli (GWP) (100 yıl) | | Atmosferde yaşam ömrü (Yıl) | | °C | |
| | | R22 | R410A | R22 | R410A | R22 | R410A | Soğutma | Isıtma |
| 8500-11000 | 2.49-3.22 | | | | | | | | |
| 11000-14000 | 3.22-4.10 | | | | | | | | |
| 15000-19000 | 4.40-5.57 | 0,04 | 0 | 1810 | 2100 | 12 | -29 | -15/46 | -15/24 |
| 20000-23000 | 5.86-6.74 | | | | | | | | |
| 24000-26000 | 7.03-7.62 | | | | | | | | |

Yapılan bu sınıflandırma aralıkları, sistemde kullanılan soğutucu akışkanların çalışma sıcaklıkları, akışkanların küresel ısınma potansiyelleri (GWP) ve ozon tüketim (ODP) değerleri de Tablo 2’de verilmiştir. Buna göre çevreci gaz özelliği ile ifade edilen R-410A soğutucu akışkanın R-22 gazına göre düşük ozon tüketim değerine sahipken, daha yüksek bir GWP değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu da emisyon etkisi yönüyle önemli bir olumsuzluktur. Bu çalışmada sistemlerin soğutma yükleri soğutma yükü aralıklarına göre sınıflandırılmış ve analizler bu sınıflandırmaya göre ele alınmıştır. Çalışmada split sistem klimaların yanında salon tipi klimalarda incelenmiş ancak analizlerde sadece pazarda en çok rağbet gören 2.49-5.57 kW yüke sahip split klimalar değerlendirilmiştir. Şekil 4’de 2.49-5.57 kW Soğutma yüklerine sahip klimaların dağılımları verilmiştir.

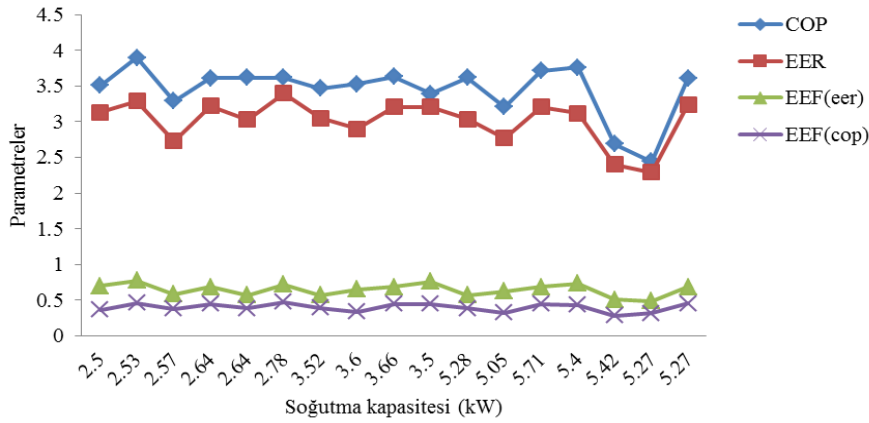


Şekil 4. 2.49-5.57 kW Soğutma Yüklerine Sahip Klimaların Dağılımları

Bu verilere göre toplam 86 farklı modelin yaklaşık %80.9'u R-410A gazı kullanırken, R-22 kullananların payı ise % 19.1'dir. Sektörde halen R-22 önemli bir satış potansiyeline sahiptir.

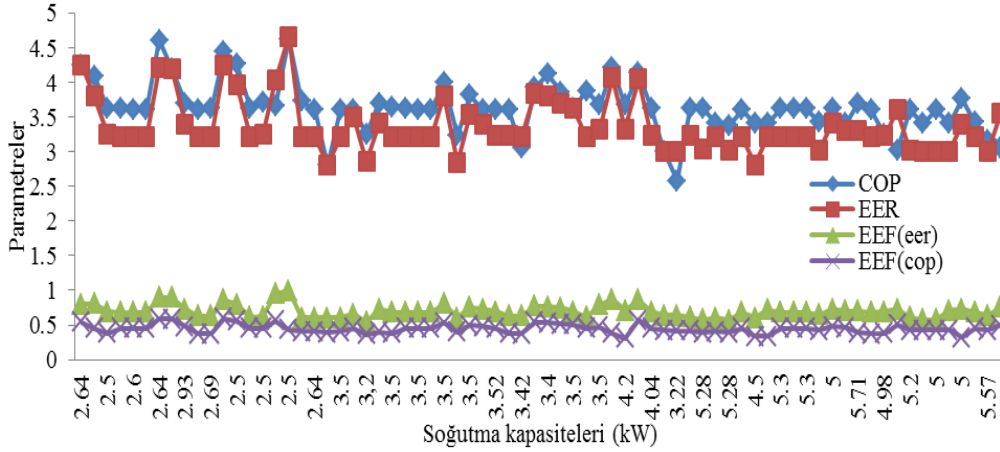
incelenen klimalarda çalışma sıcaklık parametreleri ayrı ayrı değerlendirilmiş, Analizler için sıcaklıkların soğutma modunda ortalama -15 / 46 °C aralığında, ısıtma modunda ortalama -15 / 24 °C aralıklarında olduğu kabul edilmiştir. Klima uygulamalarında genel hesaplamalar için soğutma modunda bu aralığın dış sıcaklıkta 35 °C kuru termometre, 24 °C yaş termometre, ısıtma modu için 5 °C kuru termometre, 4 °C yaş termometre, iç sıcaklıkların ise soğutma modu için 29 °C kuru termometre, 20 °C yaş termometre, ısıtma modunda 20 °C kuru termometre ve 15 °C yaş termometre sıcaklığında alınmıştır. Hava kaynaklı ısı pompası olarak da nitelendirilebilecek olan klimalar, (heat pump), ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Çevresel etki değerlendirmeleri için soğutma modunda çalışma süresi günlük ortalama 4 saat olarak kabul edilmiş, Haziran-Eylül dönemi soğutma modunda, Ekim-Nisan dönemi ısıtma modunda olmak üzere yıllık soğutma ve ısıtma için ayrı ayrı ortalama çalışma süresi 600 saat alınmıştır.

Üç farklı soğutma yükü aralığında değerlendirilen klimaların her bir COP, EER değerleri için katalog değerleri referans alınmış, EER değerleri ise çalışma sıcaklıkları referans alınarak herbir soğutma yükü için ayrı ayrı hesaplanmıştır. R-22 gazı kullanan klimaların COP, EER ve EEF dağılımları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. R-22 Gazı Kullanan Klimaların COP, EER ve EEF Dağılımları

Katalog değeri referans alınarak incelenen 17 adet farklı soğutma yüklerine sahip ve R-22 gazı kullanan klimaların COP değerleri dikkate alındığında, 9 tanesi A sınıfı, 4 tanesi B sınıfı ve geri kalan her bir klima C, D, E ve F sınıflarındandır. EER dağılımlarına göre ise, 7'si A sınıfı, 5'i B sınıfı, bir tanesi C sınıfı, 2'si D sınıfı, bir tanesi E sınıfı ve bir tanesi F sınıfıdır. Bu klimaların EEF değerlendirmesi hem COP, hem de EER değerlerine bağlı olarak yapılmıştır. Isıtma modunda EEF değerinin %28.3 ve %47.4 aralığında, soğutma modunda ise, % 48.8 ile % 77.8 değişen bir performans gözlenmiştir. Özellikle A sınıfı klimaların performanslarının ısıtma modunda %38.7 ile %45.9 aralığında, %68.3 ile %77.8 aralığında değişmektedir. Bu değişim farklı soğutma kapasitelerine sahip klimaların performanslarının ortak değerlendirilebilmesi için geçerli bir yaklaşım vermektedir. Zira aynı sınıfta değerlendirilen klimaların performans farkları ısıtma modunda %18.6'lık bir farkı, soğutma modunda ise %13.9 gibi önemli bir potansiyeldir. Benzer çalışma R-410A gazı kullanan klimalar için de yapılmış ve parametrelerdeki değişimler Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. R-410A Gazı Kullanan Klimaların COP, EER ve EEF Dağılımları

Markette 72 adet R410A gazı kullanan klimaların COP ve EER aralıkları incelendiğinde, mevcut etiketlere bağlı olarak ısıtma modu için %76.39'u, soğutma modunda ise % 83.33'ü A sınıfıdır. Bu klimalar ısıtma modunda COP'leri 3.61 ile 4.62 aralığında, soğutma modunda EER'leri ise 3.21 ile 4.76 aralığında değişmektedir. Bu klima grubunda COP ve EER aralıkları sırasıyla %28.06 ve %45.48 aralıklarında bir değişime eşittir. Klimaların ekserjetik analizlere bağlı performans değerlendirmesinde ise, A sınıf klimalarda soğutma modunda %99.4 ile %59.8 aralığında, ısıtma modunda ise %31.1 ile %59.4 aralığında değişen performanslara sahiptir. Bu da klimaların enerji verimliliklerinde A sınıf özelliği taşımalarına karşın performanslarında ısıtma modu için yaklaşık % 91, soğutma modu için %66.22'lik bir değişim görülmektedir. Potansiyelin bu kadar değişimi karar vericiler açısından şüpheler oluşturmaktadır.

Bu çalışmada her performans aralığı için klimaların değişim performansları klimaların tercih edilmeleri yönüyle zorluklar yaratmaktadır. Bu çalışmada her sınıf için klimaların kendi içinde tekrar değerlendirilebileceğini göstermiştir. Bu amaçla ekserjetik performansların; her sınıf için klimaların mevcut etiketlemede olduğu gibi bir değişimle sınıflandırılabilirliği değerlendirilmiştir. Buna göre Şekil 7'de değerlendirilen sınıflandırma yapılmıştır.

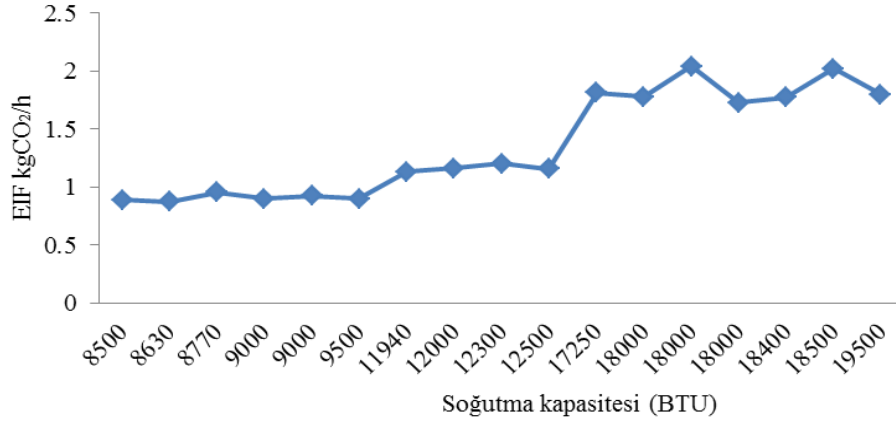
| EEF(eer) | | EEF(cop) | |
|----------|-------------------|----------|-------------------|
| A1 | EEF > 0.90 | A1 | EEF > 0.60 |
| A2 | 0.90 ≥ EEF > 0.80 | A2 | 0.60 ≥ EEF > 0.50 |
| A3 | 0.80 ≥ EEF > 0.70 | A3 | 0.50 ≥ EEF > 0.40 |
| A4 | 0.70 ≥ EEF > 0.60 | A4 | 0.40 ≥ EEF > 0.30 |
| A5 | 0.60 ≥ EEF > 0.50 | A5 | 0.30 ≥ EEF > 0.20 |
| A6 | 0.50 ≥ EEF | A6 | 0.20 ≥ EEF |

Şekil 7. A Sınıfı Klimalar İçin EEF Sınıflandırması

Yapılan bu sınıflandırmaya bağlı olarak A sınıfı klimaların ısıtma modunda 2 tanesi A1, 8 tanesi A2, 17 tanesi A3, 30 tanesi A4 ve 2 tanesi A5 sınıfında klimadır. Bu değerlendirmede yüksek EER değerine sahip bir klimanın çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak EEF değerlendirmesi klimanın verimlilik performansını değerlendirmede daha gerçekçi bir yaklaşım sağlayacaktır. Örneğin 4.21 EER değerine sahip bir klima 2.5 kW soğutma yükünde %89.6 performansla sahipken, 2.6 kW soğutma kapasitesi ve 4.03 EER değerine sahip klima, %95.3'lük performans göstermektedir. Bu durumda 2.6 kW'lık klima A1 sınıfıyla daha az tersinmezliğe sahiptir.

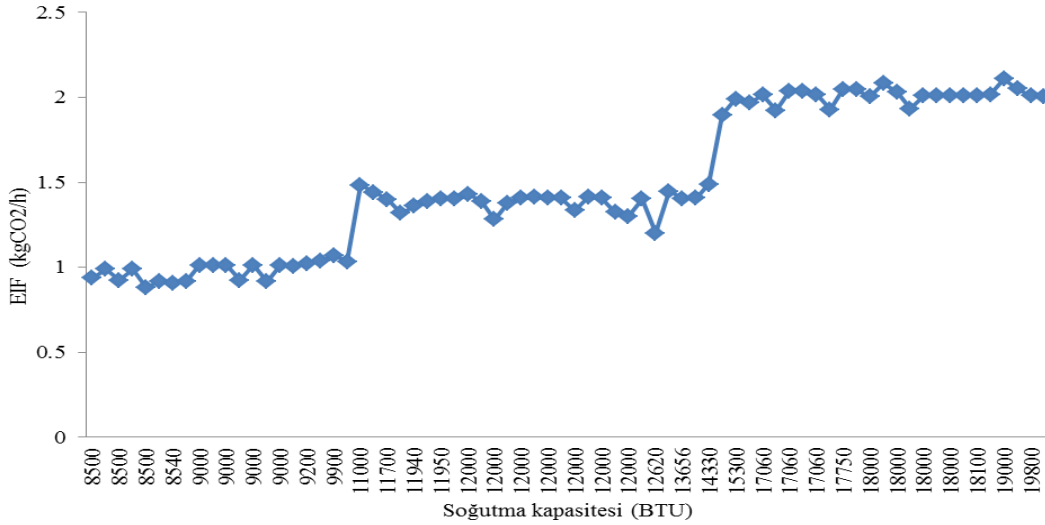
Klimalarda kullanılan R-22 ve R410A gazı için referans alınan her klima için CO₂ emisyon etkileri, TEWI faktörüne bağlı geliştirilen Çevresel etki faktörüyle (EIF) ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu faktörde bir klimanın enerji tüketimiyle birlikte ortalama sızıntı oranlarına bağlı her akışkan doğrudan GWP

etkisi dikkate alınarak saatlik analizler yapılmıştır. Şekil 8'de R-22 gazı için marketteki klimaların emisyon etkilerinin dağılımı verilmiştir.



Şekil 8. R-22 Gazı İçin EIF Değerleri

R-22 soğutma kapasitesi için EIF değeri benzer soğutma yüklerinde farklı değerlere sahiptir. Bu çalışmada incelenen klimalarda da bu tespit edilmiştir. Örneğin 9000 BTU kapasiteli klimalarda EIF değerleri 0.899 kgCO₂/h ve 0.923 kgCO₂/h'dir. Benzer değerlendirme 18000 BTU'lük klimalar için de geçerlidir. Bu klimaların değerleri sırasıyla 1.77 kgCO₂/h, 2.043 kgCO₂/h ve 1.728 kgCO₂/h olarak tespit edilmiştir. Bu durum klimaların sabit yük altında farklı emisyon potansiyellerine sahip olduğunu göstermektedir. Markette R-410A kullanan klimalarda incelenmiş ve EIF dağılımları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. R-410A Gazı İçin EIF Değerleri

Markette R-410A gazı kullanan 72 adet klimaların EIF'lerinde emisyon potansiyelleri, özellikle aynı soğutma kapasiteli açısından farklı değerlendirilebilir. Örneğin 8500 BTU için incelenen 5 klima için EIF değerleri sırasıyla 0.937 kgCO₂/h, 0.989 kgCO₂/h, 0.923 kgCO₂/h, 0.989 kgCO₂/h ve 0.878 kgCO₂/h olarak bulunmuştur. Bu durum aynı kapasitedeki klimaların farklı güç tüketimlerine bağlı olarak emisyon etkilerinin de değiştiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye’de split ürünler pazarında yer alan 2.49-5.57 kW soğutma yüklerine sahip 99 klima için öncelikle termodinamik verileri incelenmiş ve daha sonra bu ürünlere ait EER ve EIF parametreleri geliştirilmiştir. Ayrıca bu klimaların verimlilik değerlendirmesi için yeni bir etiket sınıflandırması tanımlanmıştır. R-22 ve R-410A gazı kullanan bu sistemlerin sınıflandırılan soğutma yükü aralıklarına göre yapılan analizlerde elde edilen sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Çalışmada incelenen 99 split system ünitenin COP aralığı en düşük 2,58 en yüksek 4,44, EER değerlerinin ise 2.29 ile 4.67 aralıklarında değiştiği tespit edilmiştir. Enerji verimlilik sınıflandırılmasına göre bu parametrik dağılımların A-F aralığında değiştiği gözlenmiştir.
- Enerji tüketim verilerine göre split sistemlerin en düşük 0,533 kW, en yüksek 3,9 kW’lık tüketim aralığına sahip olduğu, tespit edilmiştir.
- Yapılan analizlere göre, split ünitenin ekserji performansında tanımlayan EEF değerleri için R-22 gazı kullanan ünitelerde bu aralık EEF_{EER} için %51.1 ile %77.8 aralığında değişirken EEF_{COP} için %28.3 ile %47.4 aralığında değişmektedir. Benzer değerlendirme R-410A gazında EEF_{EER} için 53.8% ile %99.4, EEF_{COP} için %31.1 ile %58.7 aralığında değişmektedir.
- Klimaların çevresel etki performanslarını değerlendirmek için önerilen ve hesaplanan EIF değerlerinin; R-22 gazı kullanan üniteler için en düşük 0.890 kgCO₂/h, en yüksek 2.043 kgCO₂/h, R-410A gazı kullanan üniteler için 1.571 kgCO₂/h ile 3.241kgCO₂/h olduğu tespit edilmiştir.
- Soğutucu akışkan uygulamalarında daha çevreci özelliklerde görülen R410A gazının R-22 gazına göre genel ortalamada çevresel etki faktörünün genel ortalamada 56,69% daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. R-22’ye göre daha düşük ozon depletion değerine sahip olan R-410A gazının split uygulamalarda daha yüksek çevresel etkiye neden olmasının öncelikli nedenleri; ürünlerin enerji tüketimleri ve yüksek GWP değeri nedeniyle daha yüksek çevresel etki faktörüne sahip olduğu tespit edilmiştir. R-22 gazının, R-410A gazına göre çevresel etkiler yönüyle ozon tüketim değeri ile atmosferik yaşam ömrü parametreleri daha yüksektir. Bu yönüyle çevresel etkiler açısından daha öne çıkmıştır. Ancak küresel ısınmaya etki yönüyle R-410A gazı da yüksek bir parametrik değere sahiptir.

Çalışmada incelenen geliştirilen EEF ve EIF faktörlerinin dikkate alınması, ürünlerin gerçek tersinmezlikleri nedeniyle ürettikleri entropi ve buna bağlı olarak çevresel etkilerinin tanımlanmasında yol gösterici olacaktır. Bu iki parameter; tüketicinin % değerine bağlı olarak ürünün gerçek performansı hakkında bilgi sahibi olmasına ve satın alacağı ürünün çevresel etki açısından neden olacağı potansiyel hakkında bilgilenebilmesine neden olacaktır. Ayrıca ürün açısından bu iki parametrenin; verimlilik performansında % olarak, tanımlanması, pazar uygulamalarında ürünün rekabet etkisine olumlu katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

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] WALL G. Exergy tools. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Wilson Applied Science and Technology Abstracts Plus Text; 2003. p. 125–36
- [3] SCHIJNEL P.P.A.J.V., KASTEREN J.M.N. and Janssen, F.J.J.G. Exergy Analysis—A Tool for Sustainable Technology – in Engineering Education, Eindhoven Teknoloji Üniversitesi, Hollanda, 1998.
- [4] DİNCER I. and ROSEN M.A. Thermodynamic aspects of renewable and sustainable development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Sayı. 9, sayfa 169–189, 2005.
- [5] SZARGUT J., D.R. MORRIS, F.R. STEWARD, 1988, ‘Exergy analysis of thermal and metallurgical processes’, Hemisphere Publishing Corporation, TJ 265. S958 1988, USA.
- [6] KANOGLU M, DİNCER I, ROSEN M A, Understanding energy and exergy efficiencies for improved energy management in power plants. Energy Policy, 2007; 35: 3967–3978.

- [7] HEPBASLI A., “ A review on energetic, exergetic and exergoeconomic aspects of geothermal district heating systems(GDHSs), Energy Conversion and Management Volume 51, Issue 10, October 2010, Pages 2041-2061.
- [8] KORONEOS C.J., NANAKI E.A., XYDIS G.A., “Exergy analysis of energy use in Greece” Energy policy Volume 39, Issue 5 May 2011, Pages 2475-2481.
- [9] SOGUT M.Z. “A research on exergy consumption and potential of total CO₂ emission in the Turkish cement sector”, Energy Conversion and Management 56 (2012) 37–45.
- [10] STEGOU-SAGIA A., Paignigiannis N., Evaluation of mixtures efficiency in refrigerating systems, Energy Conversion and Management 46 (2005) 2787–2802.
- [11] OTAİBİ D.A., DİNCER I ve KALYON M., Thermoeconomic optimization of vapor-compression refrigeration systems, Int.Comm.Heat Mass Transfer, Vol.31,No.1, pp.95-107,2004 sayfa 95-107.
- [12] AHAMED J.U., SAİDUR R., MASJUKİ H.H., A review on exergy analysis of vapor compression refrigeration system, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 1593–1600.
- [13] HELLMANN J., ve BARTHÉLEMY P. AFEAS-TEWI III study: results and evaluation of alternative refrigerants, Solvay Fluor und Derivate GmbH Technical Service-product Refrigerants, Bülten no.: C/11.97/06/E,1997.
- [14] RHIEMEIER J.M.,KAUFFELD M., LEISEWITZ A., Comparative assessment of the climate relevance of supermarket refrigeration systems and equipment, Çevre Doğa Koruma Bakanlığı Çevresel Araştırma ve Nükleer Güvenlik Araştırma Raporu, 206 44 300, UBA-FB 001180/e, Federal Çevre Ajansı,Londra 2009.
- [15] Önder H., Türkiye İklimlendirme Pazarı yorumları, Tesisat Enerji Teknolojileri ve Mekanik Tesisat Dergisi, Ağustos 2012.
www.tesisat.com.tr/yayin/170/turkiye-iklimlendirme-pazarı-22-milyar-dolar-hacim-ile-potensiyelini-gosteriyor_5686.html.
- [16] Yüksel H. M., Turkish HVAC& Refrigeration Market, ACV& Journal of Turkey, ISKID-İklimlendirme ve soğutma Üreticileri Birliği, Türkiye,2009..
- [17].KLİMASATIS, Enerji Sınıfı nedir?, 31.Ocak.2011, <http://klimasatis.net/enerji-sinifi-nedir>
- [18] SOGUT Z. A study on the exergetic and environmental effects of commercial cooling systems, Int. J. Exergy, Vol. 9, No. 4, 2011.
- [19] CENGEL Y., BOLES M.A., Thermodynamics: an engineering approach, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [20] HORST K.. Avrupada Soğutucu akışkan kullanımı, ASHRAE journal, 2000
www.ashraejournal.org (17.01.2013 tarihinde erişildi).
- [21] MOORE D., A comparative method for evaluating industrial refrigerant systems, Sabroe Ltd. (revA). Kasım 2005, www.sabroe.org.
- [22] DUPONT,005., Dupont refrigerants the science of cool, Du Pont de Nemours (Almanya) GmbH, Almanya, 2005, www.refrigerants.dupont.com.
- [23] EURAMMON, Evaluation of the environmentally friendly refrigerant ammonia according to the TEWI Concept. NH₃ for ecologically friendly future, Frankfurt, Almanya 1996, <http://www.eurammon.com>.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Ziya SÖĞÜT

1964 Mardin doğumludur. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine ABD Tesisat öğretmenliğinden 1988 yılında Teknik Öğretmen olarak mezun olmuştur. 2005 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Programını, 2009 yılında aynı enstitüde doktora programını tamamlayıp doktor unvanını almıştır. 2011 yılında yardımcı doçent kadrosuna atanmıştır. 2006 yılına kadar Balıkesir Astsubay Meslek Yüksek Okulunda öğretim elemanı olarak görev yapmıştır. 2006 yılından bu yana Kara Harp Okulunda öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Ekserji, eksergoekonomik analizler, ısı geri kazanımı, yenilenebilir enerji kaynakları, soğutma uygulamaları, enerji yönetimi ve enerji teknolojileri konusunda çalışmaları vardır.

Hikmet KARAKOÇ

1959 yılında Eskişehir doğumludur. 1980 yılında Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesinin Makine Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1982 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği doktora eğitimini tamamlamış ve doktor unvanını almıştır. 1987 yılında doçentlik ve 1992 yılında profesörlük ünvanını almıştır. Isıtma, soğutma, iklimlendirme, iç hava kalitesi, gaz türbinleri, enerji ekonomisi, yakıtlar ve yanma, doğal gaz konularında çalışmaları vardır. Pek çok endüstriyel projede araştırmacı, yürütücü ve yönetici görevlerinde bulunmuştur.