

## Çatı Tipi Klimalarda Kullanılan R410A ve Alternatifi Olan Soğutucu Akışkanların Analizi

*Analysis of R410A and Alternative Refrigerants Used In Roof Type Air Conditioners*

Mehmet Onur OKUDAN<sup>1</sup> , Ayhan ONAT<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722 İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34722 İstanbul, Türkiye

### Öz

Küresel ısınmanın Dünya üzerindeki etkileri her geçen gün artmaktadır. Küresel ısınma artışının hızlanmasını önlemek için regülasyonlar yayınlanmakta ve bu regülasyonlarla üretici firmaların ürünlerini geliştirmeleri ve alternatif çözümler bulmaları istenmektedir. Bu regülasyonlarla çevre kirliliğinin azaltılması ve aynı zamanda ürünlerin verimliliklerinin artırılması hedeflenmektedir. R-410A günümüzde çatı tipi klimalarda en yaygın olarak kullanılan soğutucu akışkandır. Ancak, yüksek GWP değerinden dolayı yakın gelecekte EU 517/2014 Regülasyonu'na göre kullanımı sınırlandırılacaktır. R-452B, R-454B ve R-32, R-410A'nın yerini alma olasılığı en yüksek olan alternatif soğutucu akışkanlardır. Bu çalışmada, sezonsal verimlilikler Commission Regulation EU 2016/2281 de dikkate alınarak, EN 14825'e göre hesaplanmıştır. Sistemler SEER açısından değerlendirildiğinde R-32'li sistem ile R-410A, R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere göre sırası ile 3.73%, 4.37% ve 4.36% daha fazla verim elde edilmiştir. Sistemler SCOP açısından değerlendirildiğinde R-32'li sistem ile R-410A, R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere göre sırası ile %4.08, %3.47 ve %5.63 daha fazla verim elde edilmiştir. Sistemler ısıtma kapasitesi açısından değerlendirildiğinde R-32'li sistem ile R-410A, R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere göre sırası ile %4.97, %9.89 ve %12.32 daha fazla verim elde edilmiştir. Ayrıca bu performans soğutucu akışkan şarj miktarı %19.66 azaltılarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğutucu Akışkan, Klima, Rooftop, R452B, R454B, R32, LGWP, GWP, SEER, SCOP

### Abstract

The effects of global warming on the Earth are increasing day by day. Regulations are published in order to prevent the acceleration of global warming, and with these regulations, it is aimed for manufacturers to develop their products and find alternative solutions. With these regulations, it is aimed for companies to find solutions to reduce their impact on environmental pollution in the world and at the same time to increase the efficiency of their products. R-410A is currently the most common refrigerant for rooftop air conditioners. However, due to the value of its GWP, in the near future, the usage of this refrigerant would be restricted according to Regulation EU 517/2014. R-452B, R-454B and R-32 are the alternative refrigerants which most likely to replace R-410A. In this study, seasonal efficiencies have been calculated according to EN 14825 and considering the Commission Regulation EU 2016/2281. When the systems have been evaluated in terms of SEER, the system with R-32 has been obtained 3.73%, 4.37% and 4.36% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. When the systems have been evaluated in terms of SCOP, the system with R-32 has been obtained 4.08%, 3.47% and 5.63% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. When the systems have been evaluated in terms of cooling capacity, the system with R-32 has been obtained 6.66%, 10.6% and 10.6% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. When the systems have been evaluated in terms of heating capacity, the system with R-32 has been obtained 4.97%, 9.89% and 12.32% more efficiencies compared to the systems with R-410A, R-452B and R-454B refrigerants respectively. Also this performance been achieved by reducing 19.66% refrigerant charge amount.

**Keywords:** Refrigerant, air conditioner, Rooftop, R452B, R454B, R32, LGWP, GWP, SEER, SCOP

## I. GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünya’da iklim değişikliğinin etkileri her geçen gün daha da hissedilmektedir. Bu nedenle sistemlerin verimlilikleri ve doğaya verdikleri tahribat tartışılmaktadır. Çeşitli sivil toplum örgütleri ve hükümetler sistemlerin verimliliklerinin artırılması ve doğaya verilen tahribatın en aza indirilmesi için çalışmalar yapmaktadır. Bu yönde atılan adımlardan bir tanesi de Avrupa Birliği tarafından 30 Kasım 2016’da yayınlanan 2016/2281 numaralı ekotasarım gereklilikleri regülasyonudur [1]. Bu regülasyonda birçok ürün grubu için enerji verimliliği kriterine yönelik minimum zorunlu gereklilikler tanımlanmıştır. Bu gereklilikleri sağlamayan ürünlerin belirli bir takvim içerisinde Avrupa’ya girişleri yasaklanmıştır.

Çatı tipi klimaların da dahil olduğu ısıtma ve soğutma ürünleri için 1 Ocak 2018 tarihinde ilk hedef verimlilik değeri yürürlüğe girmiş olmakla birlikte belirtilen ikinci zorunlu hedef verimlilik değeri 1 Ocak 2021 tarihinde geçerli olacaktır. Bu nedenle çatı tipi klima üreticileri cihazlarının verimliliklerini arttırmak için çalışmalar yapmaktadır.

Sistem ekipmanlarının verimliliklerini artırılması ile beraber göz önünde bulundurması gereken bir diğer kriter, EN 517/2014 numaralı F-gaz regülasyonudur [2]. Regülasyonun amacı küresel ısınmaya yönelik olumsuz etkilerinden dolayı HFC soğutucu akışkanlarının kullanımının azaltılmasıdır. 1 Ocak 2015’te yürürlüğe giren regülasyon ile beraber 2030 yılına kadar HFC kullanımının %79 oranında azaltılması hedeflenmektedir. Dolayısı ile mevcut soğutucu akışkanların yerine geçebilecek yeni soğutucu akışkanlar ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır.

Cremaschi L., Wu X., Biswas P. ve Deokar P. [3], R-32, R-1234yf soğutucu akışkanlarının ve R-410A soğutucu akışkanın yerine kullanılacak geliştirilebilir iki yeni soğutucu akışkanın kompresör karakteristikleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada kullandıkları geliştirilebilir soğutucu akışkanları DR-4 ve DR-5 olarak adlandırılmış ve GWP değerlerinin sırası ile 300 ve 500 değerlerine yakın olduklarını belirtmişlerdir. Çalışmalarında biri konut uygulamaları için diğeri ise düşük kapasiteli ticari uygulamalar için olmak üzere iki tip kompresör kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada aynı test koşullarında her iki kompresör için de en yüksek kompresör çıkış sıcaklık değeri R-32 soğutucu akışkanlı sistemlerde elde edilmiştir. DR-5 soğutucu akışkanının kompresör çıkış sıcaklığı, R-410A soğutucu akışkanının kompresör çıkış sıcaklığından biraz fazla olmakla birlikte, R-1234yf ve DR-4 soğutucu akışkanlarının kompresörden çıkış sıcaklıkları daha düşüktür. Her iki kompresörde elde edilen sonuçlara göre R-32 soğutucu akışkanlı sistemin DR-5 soğutucu akışkanlı sistemden %5 daha fazla kompresör sıkıştırma oranına sahip olduğu görülmüştür. Hacimsel verimlerine bakıldığında ise

DR-5 soğutucu akışkanının R-410A soğutucu akışkanı ile aynı olduğu görülmekle birlikte, R-32 ve DR-4 soğutucu akışkanlarının sırası ile %2 ve %5 seviyelerinde daha düşük olduğu görülmüştür.

Ng W., Kamar H., Kamsah N. ve Wang F.-J [4], R-410A soğutucu akışkanının yerine kullanılacak düşük GWP değerine sahip karışım soğutucu akışkanlarının performans analizlerini yaptıkları çalışmada konut tipi klimaları ele almışlardır. Tropikal iklim bölgesi için yaptıkları bu çalışmada R-410A soğutucu akışkanının verilerini R-A ve R-B adını verdikleri iki soğutucu akışkanın sonuçları ile karşılaştırmışlardır. R-A; R-32 ve R-1234ze soğutucu akışkanlarının karışımından, R-B ise R-32 ve R-600A soğutucu akışkanının karışımından oluşmaktadır. GWP değerleri sırası ile R-410A’dan %70 ve %73 oranlarında daha düşük olan bu soğutucu akışkanların TEWI<sub>direkt</sub> değerlerinin de R-410A soğutucu akışkanın TEWI<sub>direkt</sub> değerinden sırasıyla %23 ve %20 daha düşük oldukları görülmüştür. Sistem verimlilikleri karşılaştırıldığında ise R-A ve R-B soğutucu akışkanlarının COP değerlerinin, R-410A’nın COP değerinin sırasıyla %99,4 ve %98,8’ine düştüğü hesaplanmıştır. TEWI<sub>indirekt</sub> değerlerine bakıldığında R-A ve R-B soğutucu akışkanlarının TEWI<sub>indirekt</sub> değerlerinin, R-410A soğutucu akışkanının TEWI<sub>indirekt</sub> değerinden sırası ile %0,6 ve %1,2 fazla oldukları görülmüş ve bunların kabul edilebilir seviyede oldukları belirtilmiştir.

Devecioğlu, A.G. [5], yapmış olduğu çalışmada ısı pompası cihazlarında R-410A soğutucu akışkanının yerine geçebilecek düşük GWP değerine sahip soğutucu akışkanların sezonsal performanslarını teorik olarak karşılaştırmıştır. Alternatif olarak seçmiş olduğu soğutucu akışkanlar R-466A, R-447B, R-452B ve R-454B olmakla birlikte SEER ve SCOP değerlerini EN 14825’e göre hesaplamıştır. Bu soğutucu akışkanların GWP değerlerinin 750’den düşük olduğunu ve böylelikle EU regülasyon kriterlerini karşıladıklarını belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre R-452B ve R-454B soğutucu akışkanları kullanılarak elde edilen SCOP değerlerinin R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen SCOP değerinden çok az miktarda düşük olduğu, SEER değerlerinin ise R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen SEER değerinden yüksek olduğu belirtilmiştir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda çalışmada kullanılan alternatif soğutucu akışkanlar içinde R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlarının en uygun alternatifler olarak öne çıktıkları belirtilmiştir.

Alabdulkarem, A., Eldeeb, R., Hwang, Y. ve Radermacher, R. [6], yapmış oldukları çalışmada ısı pompası sistemleri için R-410A soğutucu akışkanı için alternatif olabilecek GWP değeri düşük soğutucu akışkanların testini, simülasyonunu ve optimizasyonunu yaparak elde edilen verileri

karşılaştırmışlardır. Deneylerde R-410A soğutucu akışkanının alternatifi olarak üç farklı soğutucu akışkan kullanılmıştır. Bu soğutucu akışkanlar R-32, L41a ve D2Y60 olmakla beraber R-32 soğutucu akışkanının kullanıldığı sistemde soğutma ve ısıtma kapasitelerinin R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen değerlerden daha iyi oldukları belirtilmiştir. L41a soğutucu akışkanı kullanılan sistemin ise COP yönünden değerlendirildiğinde R-410A soğutucu akışkanlı sistemden daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir. D2Y60 soğutucu akışkanın kullanıldığı sistemin ise kompresör çıkış sıcaklığı yönünden R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen değerden daha iyi olduğu belirtilmiştir. SEER ve HSPF yönünden değerlendirildiğinde ise alternatifler arasından en uygun soğutucu akışkanın L41a olduğu belirtilmiştir. Ayrıca soğutucu akışkan şarj miktarları yönünden de R-410A ile karşılaştırıldığında kayda değer oranda azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Han, X.-H., Qiu, Y., Li, P., Xu, Y.-J., Wang, Q. ve Chen, G.-M [7], yapmış oldukları çalışmada küçük ölçekli soğutma sistemleri için R-410A soğutucu akışkanına alternatif olabilecek R-32 ve R-161 soğutucu akışkanlarının performans verileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada R-161 soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen COP değerinin R-32 soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen COP değerinden %10 ve R-410A soğutucu akışkanı kullanılarak elde edilen COP değerinden de %17.8 daha fazla olduğu belirtilmiştir. R-161 soğutucu akışkanının kompresör çıkış sıcaklığının bu soğutucu akışkanlar arasında en düşük değere sahip olduğu vurgulanmıştır. Aynı zamanda R-161 soğutucu akışkanı, en düşük güç tüketimine ve soğutma kapasitesine sahip soğutucu akışkan olarak belirlenmiştir. R-32 soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesi ve COP değeri R 410A soğutucu akışkanlı sisteminin sahip olduğu COP değerleriyle neredeyse aynı olmakla birlikte R-32 soğutucu akışkanlı sistemin kompresör çıkış sıcaklığı ve güç tüketimi değerlerinin bir çok çalışma noktasında R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre bir miktar fazla olduğu belirtilmiştir.

Longo G., Mancin S., Righetti G. ve Zilio C. [8], yaptıkları çalışmada orta büyüklükteki su soğutma grupları ve ısı pompaları için HFC-410A soğutucu akışkanının yerine HFC-32 soğutucu akışkanını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada HFC-32 soğutucu akışkanının ısı transfer katsayısının çok daha yüksek ve sürtünme basınç kayıplarının HFC-410A soğutucu akışkanına göre bir miktar fazla olduğu belirtilmiştir. HFC-32 soğutucu akışkanının GWP değerinin HFC-410A soğutucu akışkanının GWP değerinin üçte biri olması ve termodinamik olarak benzer özellikler göstermesi nedeniyle HFC-32

soğutucu akışkanının, HFC-410A soğutucu akışkanı için orta büyüklükte çiller ve ısı pompası uygulamalarında alternatif olarak kullanılabilceğini ifade etmişlerdir.

Belchi, A. ve Gomez, F. [9], yapmış oldukları çalışmada mikro kanallı kondenser ünitelerinde R-410A ve R-2 soğutucu akışkanlarını deneysel ve teorik olarak karşılaştırmışlardır. R-32 soğutucu akışkanının gizli ısısının, ısı transfer katsayısının ve basınç kayıplarının R-410A soğutucu akışkanına göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. R-32 soğutucu akışkanının düşük kütle hızı ve daha iyi ısı/güç oranı sayesinde R-410A soğutucu akışkanından daha iyi performans vereceği belirtilmiştir. Bu değişikliğin eğer R-2 soğutucu akışkanı için özel olarak tasarlanmış ve R-32 soğutucu akışkanı ile çalışacak şekilde modifiye edilmiş bir sistemde gerçekleşirse soğutucu akışkan şarj miktarının azalacağı ve dolayısı ile sistemin çevreye olan olumsuz etkisinin de azalacağı belirtilmiştir. Ayrıca enerji verimliliğinde de pozitif anlamda gelişme sağlanacağı ifade edilmiştir.

Longo G., Mancin S., Righetti G. ve Zilio C [10], doymuş buharın yoğunlaşması üzerine yaptıkları çalışmada 4 mm iç çapa sahip tüp kullanarak R-410A ve R-32 soğutucu akışkanlarının bulgularını karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre R-32 soğutucu akışkanının ısı transfer katsayısı R-410A soğutucu akışkanına göre daha yüksek olmakla beraber basınç kaybı değeri de R-410A soğutucu akışkanından daha fazladır. Yapılan deneysel ölçümlerin R-32 soğutucu akışkanının R-410A soğutucu akışkanının yerini alabilecek düşük GWP değerine sahip bir alternatif soğutucu akışkan olduğunu belirtmişlerdir.

Onat A., İmal M. ve İnan T. [11], yapmış oldukları çalışmada soğutucu akışkanların ozon tabakası üzerindeki etkilerini araştırmış ve alternatif soğutucu akışkanları değerlendirmişlerdir. Ayrıca ozon tabakasının delinmesinin canlılar üzerindeki olumsuz etkilerini ifade etmişlerdir. Alternatif olarak kullanılacak soğutucu akışkanların yerine kullanılacak soğutucu akışkanlarla benzer fiziksel özellikleri taşıması gerekliliği ifade etmişlerdir. Bunun yanında küresel ısınma değerinin daha düşük olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çatı tipi klimalarda günümüzde en çok tercih edilen soğutucu akışkan R-410A'dır. HFC olan R-32 soğutucu akışkanı, HFO olan R-454B ve R-452B soğutucu akışkanları R-410A soğutucu akışkanının yerine kullanılma ihtimali en yüksek olan soğutucu akışkanlardan bazılarıdır. Bu soğutucu akışkanların genel özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** R-410A ve Alternatiflerinin Karşılaştırılması

Özellikler	R-410A	R-32	R-452B	R-454B
Kategori	HFC	HFC	HFO	HFO
Karışım oranları	R-32 %50 R-125 %50	-	R-32 %67 R-1234yf %26 R-125 %7	R-1234yf %65 R-32 %35
Kimyasal formülü	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>
Zehirlilik	Yok	Yok	Yok	Yok
Güvenlik sınıfı	A1	A2L	A2L	A2L
GWP	1924	677	676	466
ODP	0	0	0	0
Kaynama noktası (1 atm) [° C]	-51,44	- 51,65	- 50,67	-50,49
Kritik sıcaklık [° C]	71,34	78,1	77,1	78,1
Kritik basınç [kPa]	4790	5787	5267	5220
LFL [%]	-	14	12	11,25

Bu çalışmada EN 517/2014 F Gaz regülasyonuna dayanarak, DX bataryalı, scroll (sarmal) kompresörlü çatı tipi klima sistemlerinde R-410A soğutucu akışkanına alternatif olabilecek R-452B, R-454B ve R-32 soğutucu akışkanlarının, sistemin ekipmanları değiştirilmeden performanslarının karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Bu karşılaştırma yapılırken öncelikle her sistem için optimum soğutucu akışkan şarj miktarları belirlenmiştir. Daha sonrasında ise sezonsal verimlilik değerlerinin hesaplanmasına yönelik yayınlanan EN 14825 numaralı standart kullanılarak hem ısıtma hem de soğutma sezonlarında sezonsal verimlilikler (SCOP ve SEER değerleri) hesaplanarak karşılaştırılmıştır [12]. Ayrıca soğutucu akışkan şarj miktarları değişimleri ve kapasite değişimleri de karşılaştırılmıştır. Bu kriterlere göre çatı tipi klima uygulamalarında kullanılan R-410A soğutucu akışkanın yerine kullanılacak küresel ısınma değeri düşük alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B, R-454B ve R-32'den hangisinin daha uygun olduğunun belirlenmesi hedeflenmektedir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Çatı Tipi Klimalar için Eko Tasarım Kriterleri

Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için yayımlanan F Gaz Regülasyonu (EC 517 2014) dışında enerji tüketimini de azaltmak için Avrupa Birliği Komisyonu tarafından enerji tüketen tüm cihazları için eko tasarım regülasyonları yayınlanmaktadır. Bu regülasyonlar, üretici firmalara cihaz verimliliklerini arttırmaları yönünde hedefler koymaktadır. Bu kapsamda 30 Kasım 2016 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından enerji tüketimi yapan hava ısıtma ürünleri,

soğutma ürünleri, yüksek sıcaklık prosesi uygulayan çiller ve fan coil üniteleri için eko tasarım kriterlerini kapsayan 2016/2281 sayılı Tüzük yayınlanmıştır. Bu regülasyonla, üretici firmalardan ürün fiyatlarında mantıksız bir fiyat artışı olmadan, ürünlerin çevreye olan olumsuz etkisini azaltmak için verimliliklerinin artırılması hedeflenmektedir.

Çatı tipi klima cihazları da bu regülasyondan etkilenen ürün gruplarındandır. Eskiden sadece tam yükteki verimliliklerine bakılan çatı tipi klima cihazlarında artık tüm sezonu kapsayan sezonsal verimlilik değerleri dikkate alınmıştır. Bu kapsamda sırasıyla 1 Ocak 2018'te yürürlüğe giren Tier 1 ve 1 Ocak 2021'de yürürlüğe girecek olan Tier 2 verimlilik hedefleri belirtilmiştir ve bu değerler Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Çatı Tipi Klimalar İçin Minimum Sezonsal Enerji Verimlilikleri [1]

Verimlilik	Tier 1	Tier 2
$\eta_{s,h}$	115	125
$\eta_{s,c}$	117	138

Enerjilerin birbirleri arasındaki dönüşümleri sırasında bir miktar enerji kayıpları meydana gelmektedir. Sezonsal verimlilik değerleri hesaplanırken bu enerji kayıpları da dikkate alınmalıdır. Enerjinin birbirine dönüşümünü de dikkate alarak elde edilen sezonsal verimlilik değerleri, RS/6/C/007-2019'da da belirtildiği üzere (1) ve (2) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanır [13].

$$\eta_{s,cool} = \frac{SEER \times 100}{CC} - \sum F(i) \quad (1)$$

$$\eta_{s,heat} = \frac{SCOP \times 100}{CC} - \sum F(i) \quad (2)$$

Burada belirtilen CC (conversion constant), enerji dönüşüm katsayısı olarak tanımlanmıştır. Eko dizayn regülasyonu 2016/2281 sayılı tüzükte, Avrupa genelinde enerji santrallerinde bu dönüşümün ortalama % 40 verimlilikte gerçekleştiğini ve CC katsayısının 2.5 alınabileceği belirtilmiştir.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2’de belirtilen F(i) fonksiyonu, sıcaklık kontrollü cihazların enerji verimliliğine olan negatif etkisini sembolize etmektedir. Rating Standard for the Certification of Rooftop (RS/6/C/007-2019)’da bu fonksiyonun çillerler, klimalar, ısı pompaları ve havadan havaya çatı tipi klima cihazlar için %3 alınabileceği belirtilmiştir. Elde edilen sezonsal verimlilik oranları Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Çatı Tipi Klimalar İçin Minimum Sezonsal Verimlilik Değerleri [2]

Sezonsal verimlilik	Tier 1	Tier 2
SEER	2.95	3.2
SCOP	3	3.53

## 2.2. SEER ve SCOP Kavramı ve Zorunlu Test Sıcaklıkları

### 2.2.1. SEER kavramı ve zorunlu test sıcaklıkları

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio), soğutma modunda bir cihazın tüm sezon boyunca toplam verimliliğini ifade etmektedir. Eurovent bu sezonsal verimliliğin hesaplanabilmesi için European Standard EN 14825 Testing and Rating at Part Load Conditions and Calculation of Seasonal Performance standardını yayımlamıştır. Bu standartta soğutma cihazları için 16 °C ‘nin üzerindeki mahallerden ısı çekilebileceği kabul edilmiştir. Eurovent, 16 °C ve cihazın tam yük kapasitesinin kabul edildiği 35 °C arasında 4 farklı noktadan üretici firmaların Eurovent Sertifikası alabilmeleri için uygun laboratuvarlarda test edilmesini şart koşmuştur. Bu noktalarda olması gereken hava şartları Tablo 4’te verilmiştir. T<sub>dizaync</sub> sıcaklığı EN 14825’te soğutma modu için dış ortam sıcaklığı 35 °C KT ve 24 °C YT olarak belirtilmiştir. Bu dizayn sıcaklığına karşılık gelen kısmi yük oranları “Kısmi yük oranı” sütunundaki eşitlikle hesaplanarak, “Kısmi yük oranı [%]” sütununda belirtilmişlerdir.

SEER<sub>on</sub>, aktif soğutma modunda zorunlu koşullarda test edilip hesaplanan sezonsal verimliliği ifade etmektedir. Enerji tüketimi olarak sadece aktif durumdaki tüketimi dikkate alır. Kapalı termostat durumunda, bekleme modunda veya karter ısıtıcının tükettiği enerjileri bu hesaplamanın dışında tutar.

**Tablo 4.** Havadan Havaya Çatı Tipi Klimalar İçin Soğutma Sezonu “A” = Avarage (Ortalama) SEER ve SEER<sub>on</sub> Hesaplaması İçin Kısmi Yük Değerleri

	Kısmi yük oranı	Kısmi yük oranı [%]	Dış ortam KT [°C]
A	(35-16)/(T <sub>dizaync</sub> -16)	100	35
B	(30-16)/(T <sub>dizaync</sub> -16)	74	30
C	(25-16)/(T <sub>dizaync</sub> -16)	47	25
D	(20-16)/(T <sub>dizaync</sub> -16)	21	20

### 2.2.2. SCOP kavramı ve zorunlu test sıcaklıkları

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), ısıtma modunda bir cihazın tüm sezon boyunca toplam verimliliğini ifade etmektedir. Eurovent bu sezonsal verimliliğin hesaplanabilmesi için European Standard EN 14825 Testing and Rating at Part Load Conditions and Calculation of Seasonal Performance standardını yayınlamıştır.

Soğutma modundan farklı olarak Eurovent, Avrupa iklim bölgelerini 3 gruba ayırmıştır. Sıcak, soğuk ve ortalama sıcaklık olarak ayrılan bu bölgelerden herhangi biri için Eurovent verimlilik hesaplamalarını kabul etmekte ve sertifika vermektedir. Bu çalışmada hesaplamalar Tablo 5’te verilen Avrupa ortalama sıcaklıktaki iklim bölgesi referans alınarak yapılmıştır.

**Tablo 5.** Havadan Havaya Çatı Tipi Klima Cihazlarının Isıtma Sezonu “A” = Avarage (Ortalama) SCOP, SCOP<sub>on</sub> ve SCOP<sub>net</sub> Hesaplaması İçin Kısmi Yük Oranları

	Kısmi yük oranı	Kısmi yük oranı [%]	Dış ortam KT(YT) [°C]	İç ortam KT [°C]
A	(-7-16)/(T <sub>dizaynh</sub> -16)	88	-7(-8)	20
B	(+2-16)/(T <sub>dizaynh</sub> -16)	54	2(1)	20
C	(+7-16)/(T <sub>dizaynh</sub> -16)	35	7(6)	20
D	(+12-16)/(T <sub>dizaynh</sub> -16)	15	12(11)	20
E	(TOL-16)/(T <sub>dizaynh</sub> -16)		TOL	20
F	(T <sub>bivalent</sub> -16)/T <sub>dizaynh</sub> -16)		T <sub>bivalent</sub>	20

SCOP<sub>on</sub> aktif soğutma modunda zorunlu hava şartlarında test edilip hesaplanan sezonsal verimliliği ifade eder. Enerji tüketimi olarak sadece aktif durumdaki tüketimi dikkate alır. Kapalı termostat durumunda, bekleme modu veya karter ısıtıcının tükettiği enerjileri bu hesaplamaların dışında tutar. Kısmi yük şartlarında ise beyan edilen kapasitenin ısıtma ihtiyacının altında olduğu durumlarda sitemde ek bir elektrikli ısıtıcı varmış gibi elektrikli ısıtıcının tüketeceği enerji miktarı toplam enerji tüketim miktarına eklenir. SCOP<sub>net</sub> değeri ise cihazın açık olduğu fakat sistemde ek bir elektrikli ısıtıcının olmadığını varsayarak yapılan hesaplama sonucu elde edilen SCOP değeridir.

İklimsel olarak 3 farklı iklim bölgesine ayrılan Avrupa’da kabul edilen T<sub>dizayn</sub> sıcaklıkları Tablo 6’da verilmiştir. Bu dizayn sıcaklığında belirtilen değerler tablolarda gösterilen Kısmi Yük Oranı sütunundaki eşitliklerde yerlerine konularak Kısmi Yük Oranı [%] sütununda gösterilen değerler bulunur.

Operasyon Limit Sıcaklığı (TOL), cihazın üretici firma tarafından beyan edilen çalışabileceği en düşük operasyon sıcaklığı olarak tanımlanır.

**Tablo 6.** Havada Havaya Çatı Tipi Klima Cihazlarının Isıtma Sezonu T<sub>dizayn</sub> Sıcaklıkları

	Dış ortam KT(YT) [°C]	İç ortam KT [°C]
T <sub>dizayn</sub> “Ortalama”	-10(-11)	20
T <sub>dizayn</sub> “Soğuk”	-22(-23)	20
T <sub>dizayn</sub> “Sıcak”	+2(+1)	20

Bivalent Sıcaklığı ( T<sub>bivalent</sub> ), cihazın gerek duyulan ısı yükünü ek elektrikli ısıtıcıya ihtiyaç duymadan kendi başına karşılayabildiği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Bivalent sıcaklığına Eurovent tarafından EN 14825 ile iklim bölgelerine göre sınırlar getirilmiştir.

- Ortalama iklim; T<sub>bivalent</sub> ≤ +2 C
- Soğuk iklim; T<sub>bivalent</sub> ≤ -7 C
- Sıcak iklim; T<sub>bivalent</sub> ≤ +7 C

Bivalent sıcaklık belirtilen sınır değerleri içerisinde seçilip, sistem dizaynları ve hesaplamaları bu değere göre yapılmalıdır.

### 2.3. Sezonsal Verimliliklerin Hesaplanması

#### 2.3.1. SEER ve SEER<sub>on</sub> hesaplama yöntemi

Sezonsal Enerji Verimlilik Oranı (SEER), EN 14825’e göre yıllık soğutma ihtiyacının yıllık enerji tüketimine bölümü ile elde edilir. Bu yıllık enerji tüketimi; cihazın aktif konumdaki, kapalı termostat durumundaki, bekleme modundaki, kapalı durumdaki ve karter

ısıtıcının çalışır konumdaki tükettiği enerji miktarlarını kapsamaktadır. Çatı tipi klimanın soğutma sezonunda açık ve kapalı konumda tükettiği toplam enerji miktarı dikkate alınarak verimliliği (3) numaralı eşitlikle hesaplanabilir.

$$SEER = \frac{Q_c}{SEER_{on} + H_{to} \times P_{to} + H_{sb} \times P_{sb} + H_{ck} \times P_{ck} + H_{off} \times P_{off}} \quad (3)$$

Q<sub>c</sub> :Yıllık soğutma ihtiyacı, [kWh]

H<sub>to</sub>, H<sub>sb</sub>, H<sub>ck</sub>, H<sub>off</sub> : Sırasıyla kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda operasyon saatleri, [h]

P<sub>to</sub>, P<sub>sb</sub>, P<sub>ck</sub>, P<sub>off</sub> : Sırası ile kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda enerji tüketim miktarları, [kW]

Referans yıllık soğutma ihtiyacı (Q<sub>c</sub>) hesaplanırken tam yükteki kapasite, eşdeğer soğutma saati (H<sub>ce</sub>) ile çarpılarak (4) numaralı eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Q_c = P_{dizaync} \times H_{ce} \quad (4)$$

Referans SEER<sub>on</sub> değeri (5) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$SEER_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times P_c(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left(\frac{P_c(T_j)}{EER_{PL}(T_j)}\right)} \quad (5)$$

Tablo 4’te verilen A hava şartlarında (tam yükte) elde edilen cihaz kapasitesinin soğutma yüküne (P<sub>dizaync</sub>) eşit olarak kabul edilir. B,C ve D şartlarında ise iki olasılık vardır:

- Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli soğutma yüküne eşit veya düşük ise, karşılık gelen EER<sub>DC</sub> değeri kullanılır.
- Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli soğutma yükünden fazla ise, bu cihazın zaman zaman açılıp kapanacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda düzeltme yapılarak EER<sub>PL</sub> değeri (6) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$EER_{PL(B,C,D)} = EER_{DC} \times [1 - Cd \times (1 - CR)] \quad (6)$$

Test ile hesaplanmayan Cd değerleri, 0.25 olarak alınabilir [12]. Kapasite oranı (CR), aynı hava şartlarında talep edilen soğutma yükünün (P<sub>c</sub>) beyan edilen cihaz kapasitesine bölümüdür.

#### 2.3.2. SCOP ve SCOP<sub>on</sub> hesaplama yöntemi

Sezonsal Performans Katsayısı (SCOP), EN 14825’e göre yıllık ısıtma ihtiyacının yıllık enerji tüketimine bölümü ile elde edilir. Bu yıllık enerji tüketimi, cihazın aktif moddaki, kapalı termostat durumundaki, bekleme modundaki, kapalı durumdaki ve karter ısıtıcının çalışır konumdaki toplam tükettiği enerji miktarlarını kapsamaktadır. Isıtma sezonsal verimliliği hesaplamak için (7) numaralı eşitlik kullanılır.

$$SCOP = \frac{Q_h}{\frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H_{to} \times P_{to} + H_{sb} \times P_{sb} + H_{ck} \times P_{ck} + H_{off} \times P_{off}} \quad (7)$$

$$COP_{PL(A,B,C,D)} = COP_{DC} \times [1 - Cd \times (1 - CR)] \quad (11)$$

$Q_h$  : Referans yıllık ısıtma ihtiyacı, [kWh]

Referans yıllık ısıtma ihtiyacı,  $Q_h$ , (2.8) numaralı eşitlikle hesaplanabilir.

$$Q_h = P_{dizayn,h} \times H_{he} \quad (8)$$

Ek elektrikli ısıtıcının verimi dikkate alınarak (9) numaralı eşitlik ile Referans  $SCOP_{on}$  ve ek elektrikli ısıtıcının verimi dikkate alınmadan da  $SCOP_{net}$  değeri (10) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times Ph(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left( \frac{Ph(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} + elbu(T_j) \right)} \quad (9)$$

$$SCOP_{net} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j \times (Ph(T_j) - elbu(T_j))}{\sum_{j=1}^n h_j \times \left( \frac{Ph(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} \right)} \quad (10)$$

$elbu(T_j)$  :  $T_j$  sıcaklığına karşılık ihtiyaç kapasiteyi sağlamak için ek elektrikli ısıtıcının kapasitesi, [kW]  
Kısmi yük koşulları olan ve Tablo 5’te verilen A, B, C ve D noktalarında iki ihtimal vardır.

- Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli ısı yüküne eşit veya küçükse karşılık gelen  $COP_{DC}$  değeri kullanılabilir.
- Eğer beyan eden cihaz kapasitesi ihtiyaç duyulan ısı yükünden fazla ise cihazın kapasite kontrolüne dayanarak  $COP_{PL}$  değeri (11) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Optimum Şarj Miktarının Belirlenmesi

R-410A kullanılan soğutucu akışkanlı çatı tipi klimalar için alternatif soğutucu akışkanlardan biri de R-32’dir. Farklı aşırı soğuma derecelerinde elde edilen soğutma kapasiteleri, tüketilen güç değerleri, kullanılan soğutucu akışkan şarj miktarları kaydedilmiş, EER değerleri, bir önceki simülasyon noktasına göre EER artış ve soğutucu akışkan artış değerleri hesaplanıp Tablo 7’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük kapasite 3 °C aşırı soğuma değerinde 77.812 kW olarak bulunmuştur. Aşırı soğuma değeri arttıkça soğutucu akışkan artmış ve elde edilen soğutma kapasitelerinde artış görülmüştür. Kaydedilen en yüksek soğutma kapasitesi 6.5 °C aşırı soğuma değeriyle simüle edilen modelde olup 79.338 kW’tır. EER değerlerine bakıldığında ise 3 °C aşırı soğuma değeri ile simüle edilen modelde 3.374 olarak kaydedilip, aşırı soğuma değeri arttıkça diğer soğutucu akışkanlarla elde edilen soğutma devresi simülasyonlarında da olduğu gibi EER değerinin arttığı gözlemlenmiştir. EER artış oranlarında ise aşırı soğuma değeri arttıkça sürekli bir artış sağlanmakla beraber bu artış oranının giderek azaldığı görülmüştür. Bir önceki aşırı soğuma miktarı ile simüle edilen modelden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında en yüksek EER artış oranının 3.5 °C aşırı soğuma derecesi ile simüle edilen modelde olduğu gözlemlenmekle beraber en düşük EER artış oranı 6.5 °C aşırı soğuma değerinde simüle edilen modelde kaydedilmiştir.

**Tablo 7.** R 32 İçin Aşırı Soğuma Değerine Göre Performans Değişimi

Aşırı soğuma [°C]	Akışkan miktarı [kg]	Akışkan artış [%]	Soğutma kapasite [W]	Güç [W]	EER	EER artış [%]
3	19.608		77812	23062	3.374	
3.5	19.856	1.26	78044	23084	3.381	0.20
4	20.13	1.38	78272	23108	3.387	0.19
4.5	20.432	1.50	78496	23134	3.393	0.17
5	20.762	1.61	78718	23162	3.399	0.16
5.5	21.076	1.52	78930	23188	3.404	0.16
6	21.38	1.44	79134	23218	3.408	0.13
6.5	21.732	1.65	79338	23250	3.412	0.12

Soğutma çevrimi modelinde değişken aşırı soğuma değerlerine göre elde edilen soğutucu akışkan miktarları ısıtma çevrimi modellerinde sırası ile kullanılıp simülasyondan elde edilen ısıtma kapasiteleri, çekilen güç değerleri kaydedilip, COP ve bir önceki soğutucu akışkan miktarına göre simüle edilen modelden elde edilen COP değerine göre COP artış değeri hesaplanarak Tablo 8’de gösterilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre en düşük ısıtma kapasitesi 83.91 kW ile 19.608 kg soğutucu akışkan kullanılan modelde gözlenmiştir. Isıtma kapasitesinin soğutucu

akışkan miktarı arttıkça arttığı gözlemlenmiş ve en yüksek ısıtma kapasitesi 85.456 kW ile 21.732 kg soğutucu akışkanlı modelde elde edilmiştir. COP değerlerine bakıldığında ise en yüksek COP değeri diğer alternatif soğutucu akışkanlı modellerde de gözlemlendiği gibi en düşük soğutucu akışkan miktarında gözlemlenmekle beraber, R 32 soğutucu akışkanlı modelde 19.608 kg soğutucu akışkan kullanılan modelde 3.654 olarak hesaplanmıştır. COP değişim değerine bakıldığında ise COP değerindeki düşüş değerinin giderek arttığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 8.** R-32 Akışkan Miktarına Göre Isıtma Performans Değerleri

Akışkan miktarı [kg]	Isıtma kapasite [W]	Isıtma güç [W]	COP	COP artış [%]
19.608	83910	22964	3.654	
19.856	84116	23026	3.653	-0.02
20.13	84338	23098	3.651	-0.05
20.432	84582	23178	3.649	-0.06
20.762	84834	23262	3.647	-0.06
21.076	85058	23344	3.644	-0.09
21.38	85252	23422	3.64	-0.11
21.732	85456	23516	3.634	-0.16

R-32 soğutucu akışkanlı sistem için optimum şarj miktarı belirlenirken, farklı aşırı soğuma değerlerinde hem ısıtma hem soğutma performans verileri gözönünde bulundurulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre EER değerinde aşırı soğuma derecesi arttıkça genel olarak giderek azalan bir artış oranı olduğu gözlemlenmiştir. Isıtma modeli simülasyonlarından elde edilen sonuçlara göre aşırı soğuma değeri arttıkça COP değerinde azalma görülmekle beraber, bu aşırı soğuma değerlerinde elde edilen soğutucu akışkan miktarları soğutma modellerinin simülasyonlarında kullanıldığında ise EER değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Şarj miktarı arttıkça artan EER değeri ve azalan COP değeri gözönünde bulundurulduğunda, optimum şarj

miktarını belirlemek için, her bir kontrol noktasında EER ve COP artış değeri toplanarak, sistemin toplam verimlilik değerinin artmasının bittiği noktadaki şarj miktarı, optimum şarj miktarı olarak belirlenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 9’da gösterilmekle beraber, tabloda da görüleceği üzere  $\Delta$ Artış değeri giderek azalarak en düşük pozitif değerine 21.38 kg şarj miktarında ulaşmıştır. Nitekim kendisinden sonraki kontrol noktası olan 21.732 kg şarj miktarı ile elde edilen  $\Delta$ Artış değerinin %0.04 azaldığı hesaplanmıştır. Bu nedenle R-32 soğutucu akışkanlı modelin farklı soğutucu akışkan miktarı ile elde edilen performans değerlerine göre en uygun şarj miktarı 21.38 kg olarak belirlenmiştir.

**Tablo 9.** R-32 Soğutucu Akışkanı Optimum Şarj Miktarının Belirlenmesi

Akışkan miktarı [kg]	Akışkan artış [%]	EER artış [%]	COP artış [%]	$\Delta$ Artış
19.856	1.26	0.20	-0.02	0.18
20.13	1.38	0.19	-0.05	0.14
20.432	1.50	0.17	-0.06	0.12
20.762	1.61	0.16	-0.06	0.10
21.076	1.52	0.16	-0.09	0.07
<b>21.38</b>	<b>1.44</b>	<b>0.13</b>	<b>-0.11</b>	<b>0.02</b>
21.732	1.65	0.12	-0.16	-0.04

R-410A soğutucu akışkanına çatı tipi klimalar için alternatif olabilecek soğutucu akışkanlardan R-32 ile yapılan simülasyonlardan elde edilen sonuçlara göre tam yükteki ısıtma ve soğutma modundaki performans verileri özeti Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 10.** R-32 Soğutucu Akışkanlı Sistemin Performans Tablosu

Çalışma modu	Akışkan miktarı [kg]	Kapasite [W]	Güç tüketimi [W]	EER/COP
Soğutma		79134	23218	3.408
Isıtma	21.38	85252	23422	3.640

R-410A soğutucu akışkanı ve diğer alternatifleri olan R-452B ve R-454B soğutucu akışkanları için de optimum soğutucu akışkan şarj miktarları da aynı metotla belirlenmiştir.

### 3.2 SEER Değerinin Hesaplanması

Optimum şarj miktarı 21.38 kg olarak belirlenen R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima cihazının simülasyonları Tablo 4’te verilen A, B, C ve D hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. B ve C noktalarında interpolasyon ile cihaz kapasitesi talep edilen kapasiteye eşitlenerek  $EER_{PL}$  değerinde cihazın açılıp kapanmasına bağlı olarak azalma yaşanmasının önüne geçilmiştir. Ekstrapolasyon ve interpolasyon yöntemleri ile tüm çalışma sıcaklıklarına karşılık gelen kapasite ve  $EER_{PL}$  değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kapasite değerleri sıcaklık değerlerine bağlı yıllık operasyon saatleri ile çarpılarak yıllık soğutma ihtiyaçları belirlenmiş ve daha sonrasında  $EER_{PL}$  değerlerine bölünerek yıllık enerji tüketim miktarları bulunmuştur.



Yıllık sıcaklık frekanslarına göre çalışma saatleri dikkate alınarak cihaz açık konumdayken soğutma sezonsal verimlilik değeri (5) numaralı SEER<sub>on</sub>

hesaplama eşitliği ile SEER<sub>on</sub> değeri R-32 soğutucu akışkanlı sistemde 4.57 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 11’de gösterilmiştir.

**Tablo 11.** R 32 SEER<sub>on</sub> Hesaplama Tablosu

	Dış ortam sıcaklığı [°C]	Yıllık çalışma süresi [h]	Zorunlu test noktaları	Soğutma yükü [kW]	EER <sub>PL</sub>	Yıllık soğutma ihtiyacı [kWh]	Yıllık enerji tüketimi [kWh]
1	17	205		4.16	5.61	854	152
2	18	227		8.33	5.61	1891	337
3	19	225		12.49	5.61	2811	501
<b>4</b>	<b>20</b>	<b>225</b>	<b>D</b>	<b>16.66</b>	<b>5.61</b>	<b>3748</b>	<b>668</b>
5	21	216		20.82	5.42	4498	830
6	22	215		24.99	5.22	5373	1029
7	23	218		29.15	5.03	6356	1264
8	24	197		33.32	4.83	6564	1358
<b>9</b>	<b>25</b>	<b>178</b>	<b>C</b>	<b>37.48</b>	<b>4.64</b>	<b>6672</b>	<b>1438</b>
10	26	158		41.65	4.52	6581	1457
11	27	137		45.81	4.39	6277	1428
12	28	109		49.98	4.27	5448	1275
13	29	88		54.14	4.15	4765	1148
<b>14</b>	<b>30</b>	<b>63</b>	<b>B</b>	<b>58.31</b>	<b>4.03</b>	<b>3673</b>	<b>912</b>
15	31	39		62.47	3.9	2436	624
16	32	31		66.64	3.78	2066	547
17	33	24		70.8	3.66	1699	465
18	34	17		74.97	3.53	1274	361
<b>19</b>	<b>35</b>	<b>13</b>	<b>A</b>	<b>79.13</b>	<b>3.41</b>	<b>1029</b>	<b>302</b>
20	36	9		83.3	3.41	750	220
21	37	4		87.46	3.41	350	103
22	38	3		91.63	3.41	275	81
23	39	1		95.79	3.41	96	28
24	40	0		99.96	3.41	0	0
				<b>SEER<sub>on</sub></b>	<b>4.57</b>	<b>75486</b>	<b>16528</b>

R-32 soğutucu akışkanlı sistemin ek güç tüketim miktarı hesaplaması Tablo 12’de verilmiştir. Yıllık operasyon saatlerine göre termostat kapalı konumdayken, bekleme modunda ve karter ısıtıcı çalışırken yıllık tüketim miktarları kWh cinsinden hesaplanmıştır.

**Tablo 12.** R-32 Ek Güç Tüketimleri

	Güç [kW]	Yıllık saat [h]	Yıllık tüketim [kWh]
P <sub>to</sub>	0.34	659	225.38
P <sub>sb</sub>	0.17	1377	234.09
P <sub>ck</sub>	0.20	2036	407.20
P <sub>off</sub>	-	0	0

Daha sonra SEER değeri hesaplamak için bilinmesi gereken bir başka değer olan yıllık soğutma ihtiyacı miktarı, Q<sub>c</sub>, yıllık soğutma saati olan H<sub>ce</sub> değeri ile R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klimanın dizayn kapasitesi, P<sub>dizaync</sub>, (4) numaralı eşitlikte yerlerine konularak 47480 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q<sub>c</sub>, SEER<sub>on</sub> ve yıllık ek enerji tüketim değerleri (3) numaralı SEER hesaplama formülü kullanılarak, R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima

sisteminin simülasyonlarından elde edilen verilerle EN 14825 standardına göre yıllık soğutma verimlilik değeri hesaplandığında SEER değeri 4.22 olarak bulunmuştur. R-410A ve diğer alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B ve R-454B için de aynı hesaplamalar yapılmıştır v ve R3-2 soğutucu akışkanlı sistemin SEER değerinin diğerlerinden büyük olduğu hesaplanmıştır.

### 3.3. SCOP Değerlerinin Hesaplanması

Optimum şarj miktarı 21.38 kg olarak belirlenen R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima modelinin ısıtma simülasyonu sonuç değerleri Tablo 13’de TOL, T<sub>biv</sub>, A, B, C, D noktalarında gösterilmiştir. Ortalama iklim bölgesi için verilen ısıtma sezonu zorunlu test sıcaklıkları tablosu Tablo 5 dikkate alınarak modeller sırası ile -10 °C, -7 °C, 2 °C, 7 °C ve 12 °C sıcaklıklarda simüle edilmiştir. T<sub>bivalent</sub> sıcaklığı -4 °C olarak kabul edilip bu sıcaklık değerinde de simülasyon yapılmıştır. Isıtma modunda cihazın açık konumda ek elektrikli ısıtıcının performansa etkisi dikkate alınarak hesaplanan SCOP<sub>on</sub> değeri ve ek elektrikli ısıtıcının cihaz performansına etkisinin dikkate alınmadığı SCOP<sub>net</sub> değerlerinin hesaplanması iki tablo halinde Tablo 13 ve Tablo 14’de verilmiştir.

**Tablo 13.** R-32 – SCOP<sub>on</sub> ve SCOP<sub>net</sub> Hesap Tablosu

Zorunlu test noktaları	j	Dış ortam sıcaklığı [°C]	Operasyon saati hj	Kısmi yük oranı [%]	Isı yükü ihtiyacı [kW]	Cihaz kapasitesi [kW]	COP (T <sub>j</sub> )
<b>TOL</b>	<b>21</b>	<b>-10</b>	<b>1</b>	<b>100.00</b>	<b>82.39</b>	<b>53.90</b>	<b>2.62</b>
	22	-9	25	96.15	79.22	55.34	2.66
	23	-8	23	92.31	76.05	56.79	2.71
<b>A</b>	<b>24</b>	<b>-7</b>	<b>24</b>	<b>88.46</b>	<b>72.88</b>	<b>58.23</b>	<b>2.76</b>
	25	-6	27	84.62	69.71	59.94	2.82
	26	-5	68	80.77	66.55	61.66	2.88
<b>T<sub>biv</sub></b>	<b>27</b>	<b>-4</b>	<b>91</b>	<b>76.92</b>	<b>63.38</b>	<b>63.38</b>	<b>2.94</b>
	28	-3	89	73.08	60.21	60.21	3.01
	29	-2	165	69.23	57.04	57.04	3.08
	30	-1	173	65.38	53.87	53.87	3.15
	31	0	240	61.54	50.70	50.70	3.23
	32	1	280	57.69	47.53	47.53	3.30
<b>B</b>	<b>33</b>	<b>2</b>	<b>320</b>	<b>53.85</b>	<b>44.36</b>	<b>44.36</b>	<b>3.37</b>
	34	3	357	50.00	41.19	41.19	3.62
	35	4	356	46.15	38.03	38.03	3.88
	36	5	303	42.31	34.86	34.86	4.13
	37	6	330	38.46	31.69	31.69	4.39
<b>C</b>	<b>38</b>	<b>7</b>	<b>326</b>	<b>34.62</b>	<b>28.52</b>	<b>28.52</b>	<b>4.64</b>
	39	8	348	30.77	25.35	27.76	4.58
	40	9	335	26.92	22.18	27.01	4.51
	41	10	315	23.08	19.01	26.25	4.45
	42	11	215	19.23	15.84	25.50	4.38
<b>D</b>	<b>43</b>	<b>12</b>	<b>169</b>	<b>15.38</b>	<b>12.68</b>	<b>24.74</b>	<b>4.32</b>
	44	13	151	11.54	9.51	23.99	4.26
	45	14	105	7.69	6.34	23.23	4.19
	46	15	74	3.85	3.17	22.47	4.13

**4910**

**Tablo 14.** R-32 – SCOP<sub>on</sub> ve SCOP<sub>net</sub> Hesap Tablosu-Devamı

Zorunlu test noktaları	Ek elektrikli ısıtıcı	Yıllık ısıtma ihtiyacı	Yıllık elektrikli ısıtıcılı güç tüketimi	Cihaz tarafından karşılanan yıllık ısıtma ihtiyacı	Yıllık elektrikli ısıtıcısız güç tüketimi
	[kW]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>TOL</b>	<b>28.49</b>	<b>82</b>	<b>49</b>	<b>54</b>	<b>21</b>
	23.88	1981	1116	1384	519
	19.27	1749	925	1306	482
<b>A</b>	<b>14.66</b>	<b>1749</b>	<b>858</b>	<b>1397</b>	<b>507</b>
	9.77	1882	838	1618	574
	4.89	4525	1789	4193	1457
<b>Tbiv</b>	<b>0.00</b>	<b>5767</b>	<b>1963</b>	<b>5767</b>	<b>1963</b>
	0.00	5358	1780	5358	1780
	0.00	9411	3054	9411	3054
	0.00	9320	2955	9320	2955
	0.00	12168	3772	12168	3772
	0.00	13309	4036	13309	4036
<b>B</b>	<b>0.00</b>	<b>14196</b>	<b>4213</b>	<b>14196</b>	<b>4213</b>
	0.00	14707	4058	14707	4058
	0.00	13537	3490	13537	3490
	0.00	10562	2555	10562	2555
	0.00	10457	2383	10457	2383
<b>C</b>	<b>0.00</b>	<b>9297</b>	<b>2003</b>	<b>9297</b>	<b>2003</b>
	0.00	8822	1927	8822	1927
	0.00	7431	1646	7431	1646
	0.00	5989	1346	5989	1346
	0.00	3406	777	3406	777
<b>D</b>	<b>0.00</b>	<b>2142</b>	<b>496</b>	<b>2142</b>	<b>496</b>
	0.00	1435	337	1435	337
	0.00	665	159	665	159
	0.00	234	57	234	57
		<b>170185</b>	<b>48585</b>	<b>168169</b>	<b>46569</b>
	<b>SCOP<sub>on</sub></b>	<b>3.50285</b>		<b>SCOP<sub>net</sub></b>	<b>3.61121</b>

Isıtma sezonunda termostat kapalı konumdaki, bekleme modundaki, karter ısıtıcı çalışırken toplam yıllık operasyon saatleri ve güç tüketim değerleri çarpılarak yıllık ek güç tüketim miktarları kWh cinsinden hesaplanarak Tablo 15’de gösterilmiştir.

**Tablo 15.** R-32- Isıtma Ek Güç Tüketimleri

	Güç [W]	Yıllık saat [h]	Yıllık tüketim [kWh]
P <sub>to</sub>	0.72	179	129.60
P <sub>sb</sub>	0.17	0	0
P <sub>ck</sub>	0.32	179	57.28
P <sub>off</sub>	-	0	0

Cihaz dizayn kapasitesi daha önce 82.39 kW olarak belirtilen yük, ortalama iklim bölgesi ısıtma sezonu için yıllık çalışma saati değeri ile birlikte (8) numaralı eşitlikte yerlerine konularak yıllık ısıtma yükü 115345 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q<sub>h</sub>, SCOP<sub>on</sub> ve yıllık ek enerji tüketim değerleri (7) numaralı SCOP hesaplama eşitliği kullanılarak R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima sisteminin simülasyonlarından elde edilen verilerle EN 14825 standardına göre yıllık ısıtma verimlilik değeri hesaplandığında SCOP değeri 3.483 olarak hesaplanmıştır. R-410A ve diğer alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B ve R-454B için de aynı hesaplamalar yapılmış olup, R-32 soğutucu akışkanlı sistemin SCOP değerinin diğerlerinden daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

### 3.4. Tartışma

Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre SEER, SCOP, kapasite ve şarj miktarı verileri Tablo 16'da gösterilmiştir. Bu verilere göre tüm soğutucu akışkanlarda soğutma sezonsal verimlilik değerlerinin 3.2 olan Tier 2 sınırının üstünde olduğu görülmektedir.

Isıtma sezonsal verimliliklerine bakıldığında ise hiçbir soğutucu akışkan için Tier 2 sınır değeri olan 3.53 değeri yakalanamamıştır. Ancak en yakın değer 3.4831 ile R-32 soğutucu akışkanı ile elde edilmiştir. Buna rağmen tüm modellerde Tier 1 sınır değeri olan 3 SCOP değerinin üstüne çıkmıştır.

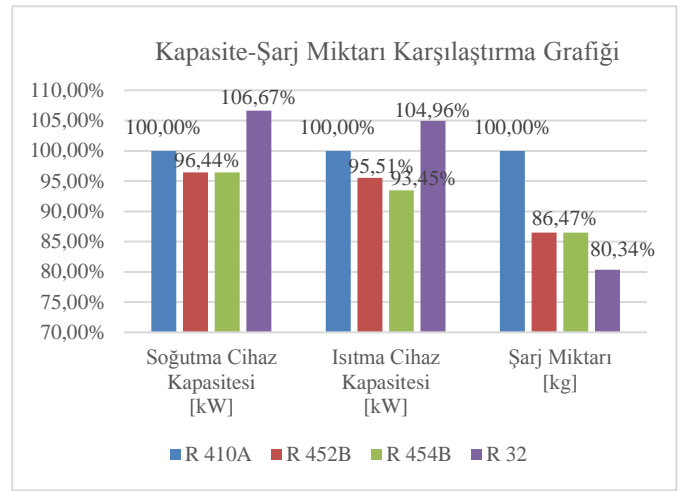
**Tablo 16.** Verimlilik Karşılaştırması

	SEER	SCOP	Soğutma cihaz kapasitesi [kW]	Isıtma cihaz kapasitesi [kW]	Şarj miktarı [kg]
R- 410A	4.0640	3.3465	74.188	78.49	26.612
R- 452B	4.0394	3.3664	71.544	74.97	23.012
R- 454B	4.0398	3.2975	71.544	73.35	23.010
R- 32	4.2158	3.4831	79.134	82.39	21.38

SEER değerlerine bakıldığında yine en yüksek verimliliğin R-32 soğutucu akışkanı ile elde edildiği gözlemlenmiştir. İkinci sırada ise R-410A soğutucu akışkanı gelmektedir. R-454B ve R-452B soğutucu akışkanlı modellerle elde edilen SEER değerleri hemen hemen aynı olmakla beraber R-454B soğutucu akışkanının SEER değeri çok küçük bir farkla R-452B değerinden büyük bulunmuştur. SCOP değerlerine bakıldığında R-32 soğutucu akışkanı için en yüksek ısıtma sezonsal verimlilik değeri elde edilmiştir. R-452B soğutucu akışkanlı modelin SCOP değeri R-410A soğutucu akışkanlı modelle elde edilen SCOP değerinin çok az fazladır. Son sırada ise R-454B soğutucu akışkanı için elde edilen SCOP değeri gelmektedir.

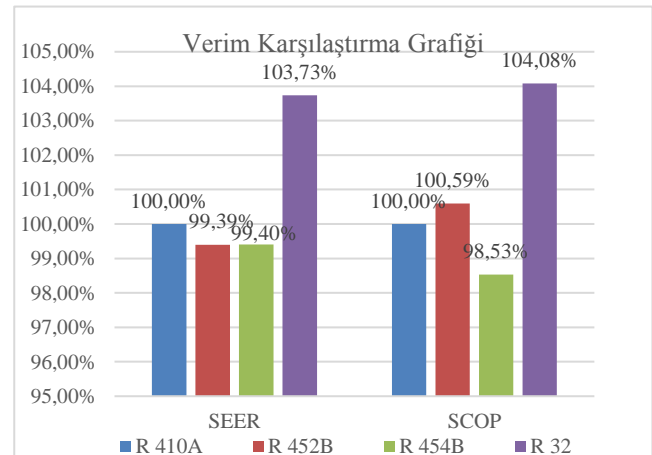
Soğutma kapasite miktarlarına bakıldığında ise en yüksek kapasite R-32 soğutucu akışkanı ile elde edilmiş, onu R 410A soğutucu akışkanlı model izlemektedir. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanları ile elde edilen kapasite miktarları ise eşit bulunmuştur. Isıtma kapasitelerine bakıldığında ise en yüksek kapasite yine R 32 soğutucu akışkanlı modelde elde edilmiştir. Sonraki sıralama ise R 410A, R 452B ve R 454B şeklindedir. Şarj miktarları karşılaştırıldığında ise en az soğutucu akışkan R-32 soğutucu akışkanlı modelde kullanılmıştır. R-454B soğutucu akışkanlı modelde R- 452B soğutucu akışkanlı modelden çok az bir farkla daha az soğutucu akışkan miktarı kullanılmıştır. En çok soğutucu akışkan miktarının R 410A soğutucu akışkanlı modelde kullanıldığı hesaplanmıştır.

Şekil 1'de ise modellerin soğutucu akışkan miktarları ile ısıtma ve soğutma kapasiteleri R-410A soğutucu akışkanlı model referans alınarak karşılaştırılmıştır. Optimum şarj miktarlarında soğutma kapasiteleri karşılaştırıldığında R-32 soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesinin R-410A soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesinden %6.67 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. R-454B ve R-452B soğutucu akışkanların soğutma kapasitelerinin ikisinin de R 410A soğutucu akışkanlı sistemin soğutma kapasitesinden %3.56 daha az olduğu bulunmuştur.



**Şekil 1.** Soğutucu Akışkanların Şarj Miktarı Karşılaştırması

Şekil 2'de ise sistemlerin SEER ve SCOP değerleri R-410A soğutucu akışkanlı sistem referans alınarak karşılaştırılmıştır.



**Şekil 2.** Soğutucu Akışkanların Sezonsal Verimliliklerinin Karşılaştırması

Optimum şarj miktarlarında sistemlerin ısıtma kapasiteleri karşılaştırıldığında R 32 soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesinin R 410A soğutucu akışkanlı

sistemin ısıtma kapasitesinden % 4.96 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. R 452B soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesi ise R 410A soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesinden %4.49 daha az olduğu gözlemlenmiştir. R 454B soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesi ise R 410A soğutucu akışkanlı sistemin ısıtma kapasitesinden %6.55 daha az olarak hesaplanmıştır.

Şarj miktarlarına bakıldığında ise R-32 soğutucu akışkanının şarj miktarı R-410A soğutucu akışkanlı sistemin şarj miktarına göre %19.66 daha azdır. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlerin şarj miktarları R-410A soğutucu akışkanlı sistemin şarj miktarı ile karşılaştırıldığında %13.53 daha az görülmektedir.

SEER değerlerine bakıldığında R-32 soğutucu akışkanlı sistemin R 410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %3.73 daha verimli olduğu hesaplanmıştır. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanların SEER değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte R-410A soğutucu akışkanlı sistem ile karşılaştırıldıklarında R-452B soğutucu akışkanlı sistemin %0.61, R-454B soğutucu akışkanlı sistemin ise %0.6 daha az verimliliğe sahip oldukları görülmektedir.

SCOP değerleri karşılaştırıldığında R-32 soğutucu akışkanlı sistemin R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %4.08 daha verimli olduğu bulunmuştur. R-452B soğutucu akışkanlı sistem ise %0.59 oranla, R-410A soğutucu akışkanlı sistemden daha verimlidir. R-454B soğutucu akışkanlı kullanılan sistemin verimliliğinin ise R 410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %1.47 daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada R-410A soğutucu akışkanlı çatı tipi kliması sistemlerinde kullanılabilir GWP değeri düşük alternatif soğutucu akışkanlardan R-452B, R - 454B ve R-32'nin performans verileri teorik olarak incelenmiştir. Öncelikle belirtmek gerekir ki alternatif soğutucu akışkanların tümünün yanıcılık sınıfları R-410A soğutucu akışkanından daha kötüdür. Dolayısıyla bu soğutucu akışkanlar kullanılırken gerekli güvenlik önlemleri sağlanmalıdır.

Modelleri kapasite yönünden değerlendirmek gerekirse R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlere dönüştürülürken cihaz kapasitelerinde bir miktar düşüş yaşandığı hesaplanmakla beraber bu düşüş değeri, en fazla olduğu sistemde yaklaşık olarak %6.55'tir. Öte yandan R-32 soğutucu akışkanlı sistemde soğutma kapasitesinde %6.67, ısıtma kapasitesinde ise %4.96 artış sağlanmıştır.

Şarj miktarları yönünden bakıldığında tüm alternatif soğutucu akışkanlarla soğutucu akışkan şarj miktarlarında azalma sağlanmıştır. R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlerde %13.53 soğutucu akışkan miktarında azalma elde edilmekle beraber en

büyük azalma R-32 soğutucu akışkanlı sistemde %19.66 oranında hesaplanmıştır.

SEER değerleri karşılaştırıldığında R-452B ve R-454B soğutucu akışkanlı sistemlerde bir miktar verimlilik düşüşü yaşanmakla beraber bu oranlar sırası ile % 0.61 ve % 0.6'dır. R-32 soğutucu akışkanlı sistem ile ise % 3.73 oranında verimlilik artışı hesaplanmıştır. SCOP yönünden karşılaştırıldığında verimlilik düşüşü sadece R-454B soğutucu akışkanlı sistemde gözlenmekle beraber bu oran % 1.47'dir. R-452B soğutucu akışkanlı sistemle % 0.59 ve R-32 soğutucu akışkanlı sistem ile ise %4.08 oranında verimlilikte artış hesaplanmıştır.

R-452B soğutucu akışkanına bakıldığında kapasite yönünden R-454B soğutucu akışkanına ısıtma modunda % 2.06 oranında üstünlük sağlanmasına rağmen GWP değerleri karşılaştırıldığında ise R-454B soğutucu akışkanının GWP değeri R 452B'nin GWP değerinden % 31 daha düşüktür. SEER değeri yönünde son sırada olmakla beraber R-454B soğutucu akışkanlı sistem ile arasındaki verimlilik farkı %0.01 olarak hesaplanmıştır. Ancak SCOP değerinde, R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %0.59 oranında daha verimli olmakla beraber, R-454B soğutucu akışkanlı sistemin SCOP değerinde R-410A soğutucu akışkanlı sistemin verimlilik değeri ile kıyaslandığında düşüş gözlemlendiği için SCOP yönünden, en azından R-454B soğutucu akışkanına göre daha iyi bir alternatiftir. R-454B soğutucu akışkanı R-410A soğutucu akışkanından yaklaşık %76 daha az GWP değerine sahiptir. Kapasite olarak R-410A'dan soğutma modunda %3.56 ve ısıtma modunda %6.55 daha düşüktür. Soğutucu akışkan miktarındaki R-410A soğutucu akışkanlı sisteme göre %13.53 oranındaki düşüş de dikkate alındığında R-454B soğutucu akışkanı da önemli bir alternatiftir.

R-32 soğutucu akışkanının sonuçları incelendiğinde ise kapasitede artış gözlemlenmiş ve bu kapasite artışı aynı zamanda tüm modeller arasında en az soğutucu akışkan şarj miktarı ile elde edilmiştir. Ayrıca SEER değerinde artış sağlanan tek model olan R-32, SCOP değerlerinde de en büyük verimlilik artışı sağlayan soğutucu akışkan olmuştur. R-32 GWP değeri R-410A ile karşılaştırıldığında yaklaşık %65 daha az, R-454B soğutucu akışkanı GWP değeri ile karşılaştırıldığında ise yaklaşık olarak aynı değere sahiptir.

Sonuç olarak akışkan şarj miktarı, kapasite, SEER ve SCOP açısından değerlendirme yapıldığında R-410 için en uygun alternatif soğutucu akışkanın R-32 olduğu görülmektedir. Ancak yanıcılık özelliğinden dolayı EN 378 belirtilen akışkan şarj kriterlerine göre gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır.

#### KAYNAKLAR

- [1] Commission Regulation (EU) 2016/2281 of 30 November 2016 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of

- the Council establishing a framework for setting of ecodesign requirements for energy-related products, with regard to ecodesign requirements for air heating products, cooling products, high temperature process chiller and fan coil units, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32016R2281>, 28 Temmuz 2020.
- [2] Regulation (EU) No 517/2014 of The European Parliament And of The Council of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2016, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0517>, 28 Temmuz 2020.
- [3] Cremaschi, L., Wu, X., Biswas, A., Deokar, P., Experimental study of compressor operating characteristics and performance when using refrigerants R32, R1234yf, and two new low GWP developmental refrigerants as drop-in replacements for R410A, Institution of Mechanical Engineers - 8th International Conference on Compressors and Their Systems, Institution of Mechanical Engineers - 8th International Conference on Compressors and Their Systems, 2013, 57-66.
- [4] Ng W., Kamar H., Kamsah N. ve Wang F.-J., Performance analysis of low GWP refrigerants mixture as a substitute for R 410A in residential air conditioner in tropical region, IPO Conf. Series: Earth and Environmental Science, 268. Sayı, 2019.
- [5] Devecioglu, A., Seasonal performance assessment of refrigerants with low GWP as substitutes for R 410A in heat pump air conditioning devices, Applied Thermal Engineering, 125. Sayı, 2017, 401-411.
- [6] Alabdulkarem, A., Eldeeb, R., Hwang, Y. ve Radermacher, R., Testing, simulation and soft optimization of R 410A low-GWP alternatives in heat pump system, International Journal of Refrigeration, 60. Sayı, Aralık 2015, 106-117.
- [7] Han, X.-H., Qiu, Y., Li, P., Xu, Y.-J., Wang, Q. ve Chen, G.-M., Cycle performance studies on HFC-161 in small-scale refrigeration system as an alternative refrigerant to HFC-410A Energy and Buildings, 44. Sayı, Ocak 2012, 33-38.
- [8] Longo G., Mancin S., Righetti G. ve Zilio C., HFC32, a low GWP substitute for HFC410A in medium size chillers and heat pumps, University of Padova, International Journal of Refrigeration, 53. Sayı, 2015, 62-65.
- [9] Belchi, A. ve Gomez, F., Evaluation of a condenser based on mini-channels technology working with R 410A and R 32. Experimental data and performance estimate, Applied Energy, 202. Sayı, 15 Eylül 2017, 112-124.
- [10] Giovanni L., Simone M., Giulia R. ve Claudio Z., Saturated vapour condensation of R 410A inside a 4 mm ID horizontal smooth tube: Comprison with the low GWP substitute R32, International Journal of Heat and Mass Transfer, 125. Sayı, 2018, 702-709.
- [11] Onat, A., İmal, M., İnan A.T., (2004) Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi 7(1), 2014
- [12] NF EN 14825, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance, [https://www.en-standard.eu/bs-en-14825-2018-air-conditioners-liquid-chilling-packages-and-heat-pumps-with-electrically-driven-compressors-for-space-heating-and-cooling-testing-and-rating-at-part-load-conditions-and-calculation-of-seasonalperformance/?gclid=EAIaIQobChMI3oiU043w6gIV1-5RCh26cw3GEAAYASAAEgJ2\\_vD\\_BwE](https://www.en-standard.eu/bs-en-14825-2018-air-conditioners-liquid-chilling-packages-and-heat-pumps-with-electrically-driven-compressors-for-space-heating-and-cooling-testing-and-rating-at-part-load-conditions-and-calculation-of-seasonalperformance/?gclid=EAIaIQobChMI3oiU043w6gIV1-5RCh26cw3GEAAYASAAEgJ2_vD_BwE), 28 Temmuz 2020.
- [13] RS/6/C/007-2019, Rating Standard for the Certification of Rooftop, <https://www.eurovent-certification.com/sites/default/files/2019-05/RS-6C007-2019%20RT.pdf>, 28 Temmuz 2020.