MÜHENDİSLİK ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER



EDİTÖRLER
Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

MÜHENDİSLİK ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER

EDİTÖRLER
PROF. DR. HÜLYA KALAYCIOĞLU
DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

MÜHENDİSLİK ALANINDA TEKNOLOJİK GELİŞMELER

KİTAP EDİTÖRLERİ
Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları: 45/2020
ARALIK-2020

Yayıncı Sertifika No: 36934
E-ISBN: 978-605-7594-55-6
Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları

Bu çok bölümlü bilimsel kitabının her türlü yayın hakkı GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI'na aittir. Yayınevinin yazılı izni olmadan, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayını, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz. Kitapta yer alan her bölüm sorumluluğu, görseller, grafikler, direkt alıntılar ve etik/kurum iznine yönelik sorumluluk ilgili yazar(lar)a aittir. Oluşabilecek Herhangi Hukuki bir olumsuzlukta yayınevi başta olmak üzere kitabın hazırlanmasına destek sağlayan kurullar, kitabın düzenlenmesi ve tasarımından sorumlular kurum(lar) ve kitap editörler hiçbir konuda "maddi ve manevi" bir yükümlülük ve hukuki sorumluluğu kabul etmez, hukuki yükümlülük altına alınamaz. Her türlü hukuki yükümlülük ve sorumluluk "maddi ve manevi" yönden ilgili bölüm yazar(lar)ına aittir. Bu yöndeki haklarımızı maddi ve manevi yönden GÜVEN GRUP DANIŞMANLIK "YAYINCILIK"A.Ş. olarak saklı tutarız. Herhangi bir hukuki sorunda/durumda İSTANBUL mahkemeleri yetkilidir. Güven Plus Grup Danışmanlık bünyesinde hazırlanan ve yayınlan bu eser ISO: 10002:2014-14001:2004-9001:2008-18001:2007 belgelerine sahiptir. Bu eser TPE "Türk Patent Enstitüsü" tarafından "Güven Plus Grup A.Ş. 2016/73232" ve "2015/03940" nolu tescil numarası ile markalı bir eserdir. Bu bilimsel/akademik kitap ulusal ve uluslararası nitelikte olup, akademik teşvik kriterlerini ve uluslararası doçentlik kriterlerini karşılamaktadır. GÜVEN PLUS GRUP YAYINCILIK A.Ş'nin uluslararası yayın evi olduğuna ilişkin İstanbul Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü İstanbul Basma Yazı ve Resimleri Derleme Müdürlüğü tarafından Sayı: 37666426-207.01[207.02.02]-E.62175 21.01.2019 tarihli resmi yazısı ile teyit edilebilir. Çok bölümlü/yazarlı olan bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı Milli Kütüphaneler tarafından ve 18 Farklı Dünya Ülkesiyle Anlaşmalı olan Milli Kütüphanenin E-Erişim sistemi tarafından da taranmaktadır. Bu kitap maddi bir değer ile alınıp satılamaz. Kitap bölüm yazarlarından, destekleyenlerden, kitapta emeği geçenlerden Güven Plus Grup A.Ş. Yayıncılık herhangi bir maddi bir gelir elde etmemiş ve talepte bulunmamıştır. Bu bilimsel çok bölümlü kitapta yer alan bölümlerden alıntı yapmak ve ilgili bölüme ya da tamamına atıf yapılmak koşulu ile kaynak gösterilmek üzere bilimsel ya da ilgili araştırmacılar tarafından kullanılabilir. ***BU ELEKTRONİK PDF FORMATINDAKİ KİTAP ÜCRET KARŞILIĞINDA ALINIP SATILAMAZ. KİTABIN HER TÜRLÜ HAKLARI YAYINEVİNE AİTTİR. BU KİTAPTA TOPLAM 26 FARKLI BAŞLIKTA BÖLÜM VE YAZAR(LAR) BULUNMAKTADIR.***

Metin ve Dil Editörü
Prof. Dr. Asuman Seda SARACALOĞLU
Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
Prof. Dr. Mustafa TALAS
Doç. Dr. Gökşen ARAS
Dr. Öğr. Üye. M. Hayrullah AKYILDIZ
Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

Kapak Tasarımı
Prof. Dr. Pelin AVŞAR KARABAŞ

Sayfa Düzeni
Burhan MADEN

Baskı-Cilt
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul
Tel: +902128014061- 62 Fax:+902128014063 Mobile:+9053331447861

KİTAP/DERGİ/KONGRE İMTİYAZ SAHİBİ
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul
Tel: +902128014061-62-63 - +905331447861 info@guvenplus.com.tr, www.guvenplus.com.tr

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **7**

BÖLÜM 1
ARAÇ ÖN KAPUT MENTEŞESİ TORK ÖLÇÜMÜ VE KALİTE KONTROL BANKOSU TASARIMI **9**

ARŞ. GÖR. VEDAT YEĞİN, PROF. DR. DURMUŞ KARAYEL

BÖLÜM 2
FLOWFORMING PROSESİNİN AISI 5140 ÇELİK MALZEMEYE UYGULANARAK MİKRO-YAPI VE MUKAVEMET AÇISINDAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ **53**

ACAR CAN KOCABIÇAK, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 3
FOTOLİTOGRAFİ TEKNİĞİ İLE MANYETİK MİKRO AYGITLARIN ÜRETİMİ **76**

DOÇ. DR. CİHAT BOYRAZ

BÖLÜM 4
TİTANYUM VE SÜPER ALAŞIMLARDA SOĞUTMA YÖNTEMLERİNİN ETKİLERİ **102**

ARŞ. GÖR. BAHATTİN YILMAZ, PROF. DR. ABDULKADİR GÜLLÜ

BÖLÜM 5
UÇAK KOLTUĞUNUN YAPISAL ANALİZİ VE TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU **121**

SERHAT ERDEN, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 6
CP-Tİ METALLERİNİN ERGİMELİ KAYNAK UYGULAMALARININ İNCELENMESİ **151**

DOÇ. DR. MEMDUH KURTULMUŞ, EZGİ DOĞAN

BÖLÜM 7
VİNÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN KANCALARIN TASARIMI, İMALATI VE SONLU ELEMANLAR ANALİZİ **169**

ÖMER ŞENGÜL, DR. ÖĞR. ÜYESİ MENDERES KAM

BÖLÜM 8
KAPALI OTOPARKLARDA JET FANLI HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ .. **188**

DOÇ. DR. AYHAN ONAT, SİNEM SULTANSU

BÖLÜM 9
HCCI MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR 219

ÖĞR. GÖR. GÜVEN DEMİRTAŞ, DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA KEMAL BALKİ,
DR. ÖĞR. ÜYESİ SİNAN ERDOĞAN, DOÇ. DR. AYHAN ONAT,
PROF. DR. CENK SAYIN

BÖLÜM 10
PETROL BORULARINDA KOROZYON ETKİSİNİN İNCELENMESİ 256

KAMAL EDDİN ISMAEIL, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 11
SICAK PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ B_4C PARÇACIK TAKVİYELİ MAGNEZYUM MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMENİN RADYOAKTİF ÖZELLİKLERİNİN TEORİK OLARAK İNCELENMESİ..... 287

DOÇ. DR. UĞUR GÖKMEN, ÖZLEM YILMAZ, PROF. DR. SEMA BİLGE OCAK

BÖLÜM 12
SAĞLIKTA KABLOSUZ VÜCUT ALANI SENSÖR AĞI SİSTEMİ..... 310

PERİHAN DİKİLİ

BÖLÜM 13
3B YAZICILAR VE 3B METAL YAZICILARDA BASKI HATALARININ İNCELENMESİ

ALPER ÖNER, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 14
BAZALT TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ 368

FATİH ŞAHİN, PROF. DR. YUSUF ŞAHİN,
DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 15
HSS, TIN VE TIALN KAPLAMALI MATKAP TAKIMLARI KULLANILARAK AISI D2 ÇELİĞİ ÜZERİNE DELİK DELME İŞLEMLERİ UYGULAMASI..... 384

ACAR CAN KOCABIÇAK, DR. ÖGR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 16
DİŞLİ ÇARKLAR VE UYGULAMALARI 408

DOÇ. DR. HÜSEYN MİRZAYEV

BÖLÜM 17
DÜZ DİŞLİ ÇARKLARDA KAPLAMANIN YÜZEY AŞINMASI VE YORULMAYA ETKİSİNİN İNCELENMESİ..... 435

ABDULL GHAFOOR SHAIB, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 18
GEMİ GÖVDE SACLARINDA; SAW VE FCAW KAYNAK UYGULAMALARI VE ETKİLERİNİN FARKLI TEST YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ 466

SERAP ÖZHAN DOĞAN, ONUR KOŞAR, BURAK GALIP ANIK

BÖLÜM 19
BİSİKLET TASARIMININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPISAL ANALİZİNİN OPTİMİZASYONU 490

KENAN KOÇYİĞİT, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

BÖLÜM 20
ÇATI TİPİ KLİMALARDA EKOTASARIM KRİTERLERİ VE SEZONSAL VERİMLİLİK 527

DOÇ. DR. AYHAN ONAT, MEHMET ONUR OKUDAN

BÖLÜM 21
ÇÖP ŞUTU SİSTEMİNİN KULLANIMI VE GÜNCEL TASARIMI 560

KÜRŞAT TANRIVER, DR. ÖĞR. ÜYESİ. SENAI YALÇINKAYA

BÖLÜM 22
KOMPOZİTLERDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARININ BAZI UYGULAMA ALANLARI 588

PROF. DR. YUSUF ŞAHİN

BÖLÜM 23
METAL MALZEMELERDE ÇATLAK TESPİTİ VE ONARIM YÖNTEMLERİ 626

ALPER ÖNER, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA, EMRE PETEKKAYA

BÖLÜM 24
KOMPOZİT MALZEMELERDE YAYGIN KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARI VE ÖZELLİKLERİ 680

PROF. DR. YUSUF ŞAHİN

BÖLÜM 25
KURŞUNLU VE KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARINDA İŞLENEBİLİRLİK YAKLAŞIMI 714

SERAP ÖZHAN DOĞAN

BÖLÜM 26
MARMARAY DEMİRYOLU HATTINDA RAY KUSURLARININ ULTRASONİK YÖNTEMLE İNCELENMESİ VE RAY KUSURLARININ YOĞUNLAŞTIĞI HAT KISIMLARININ TESPİTİ 740

MAK. YÜK. MÜH. OSMAN KILIÇ, DR. ÖĞR. ÜYESİ SENAİ YALÇINKAYA

ÖNSÖZ

Dünyamızda doğa, sağlık, sosyal vb. alanlarda birçok olumsuzluk yaşanırken; bunların ve diğer problemlerin çözümüne yönelik olarak genel anlamda endüstride, teknolojik gelişmeler zorunluluk halini almaktadır. Kalite rekabeti, konfor arzusu, korku ve endişenin de tetiklediği teknolojik gelişmeler, takipte zorlanılacak derecede ve çok sayıda yüzleştiğimiz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda yapılan akademik çalışmalar; kimi zaman açık erişimli siteler, kimi zaman da kongre, panel, süreli yayınlar ve bilimsel kitaplar şeklinde muhataplarıyla buluşturulmaktadır.

Biz de, birbirinden kıymetli akademisyenlerin araştırmalarını kapsayan, yirmi altı farklı bölümden oluşan "Mühendislik Alanında Teknolojik Gelişmeler" adını verdiğimiz bu akademik kitap çalışması ile çorbada tuzumuz olsun istedik. Bu kitabı; yayınlarının önemli bir bölümünü akademik kitaplardan oluşan, Ulusal ve Uluslararası alanda nitelikli faaliyetleriyle oldukça saygınlık kazanmış olan "Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları" aracılığı ile siz değerli bilim insanları ve endüstri çalışanlarının hizmetine sunuyoruz.

Bu kitap, birçok mühendislik konuları ve deneysel çalışmalar ile uygulama yapılmış akademik konulardan meydana gelmiştir. Kitapta; flowforming proseslerinden araç, uçak koltuğunun yapısal analizine, vinç sistemlerinin kullanılmasından dişli çarklara, 3D metal yazıcılara, bazalt takviyeli kompozit malzemelere, gemi gövde saclarından Marmaray Demiryolu hattında ortaya çıkan problemlerin çözümüne kadar birçok önemli konuda değerli araştırma ve deneysel çalışmaları bulacaksınız.

Mühendislik teknolojilerinin birçok ilgi çekici konularına değinilen bölümlerin yer aldığı kitabın, çok sayıda araştırmacının akademik çalışmalarına ışık tutacağına, Yükseköğretim Kurumu kataloglarında, kamu kütüphanelerinde ve kişisel arşivlerde oldukça değerli bir yer bulacağına inanıyoruz.

Uzun zaman alan ve büyük bir titizlikle yapılan çalışmaların sonucu olarak ortaya çıkan bu önemli eserin gerçekleşmesinde emeği geçen saygıdeğer editörlerimize, yazarlarımıza, hakemlerimize ve kitabımızı edinen siz sevgili okurlarımıza teşekkürlerimizi sunarız. Aralık 2020.

Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

In our world, while there are many negativities in the areas of nature, health, social, etc.; technological developments are becoming a necessity in the industry in general for the solution of these and other problems. Technological developments, triggered by quality competition, desire for comfort, fear and anxiety, emerge as a fact that we face in many and difficult to follow. Academic studies conducted in this context; It is brought together with its interlocutors, sometimes in the form of open-access sites, and sometimes in the form of congresses, panels, periodicals and scientific books.

We wanted to have a finger in the pie with this academic book study called "Technological Advances in Engineering", which consists of twenty-six different chapters and covers the researches of valuable academicians. This book; we present it to you, valuable scientists and industry employees through "Güven Plus Grup Inc. Publications" which a major part of its publications consisting of academic books, has gained a great reputation with its qualified activities in the national and international arena.

This book consists of many engineering subjects and experimental studies and applied academic subjects. In the book; You will find valuable research and experimental studies on many important subjects, from flowforming processes to structural analysis of vehicles and aircraft seats, from the use of crane systems to gear wheels, 3D metal printers, basalt reinforced composite materials, from ship hull sheets to solving problems that arise on the Marmaray Railway line.

We believe that the book, which includes chapters dealing with many interesting topics of engineering technologies, will shed light on the academic studies of many researchers, and will find a valuable place in the catalogs of the Higher Education Institution, public libraries and personal archives.

We would like to express our gratitude to our esteemed editors, writers, referees and you, our dear readers, who have contributed to the realization of this important work, which emerged as a result of the long-lasting and meticulous work. December 2020.

Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU Assist. Prof. Senai YALÇINKAYA

BÖLÜM 20
ÇATI TİPİ KLİMALARDA EKOTASARIM KRİTERLERİ ve SEZONSAL VERİMLİLİK

Doç. Dr. Ayhan ONAT[1], Mehmet Onur OKUDAN[2]
[1]Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul / TÜRKİYE
[2]Ford Otosan A.Ş., İstanbul / TÜRKİYE

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 arttırılması 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 bölümde, R-32 soğutucu akışkanının kullanıldığı bir örnek ile beraber Commission Regulation EU 2016/2281 de dikkate alınarak, EN 14825'e göre sezonsal verimliliklerin nasıl hesaplanılacağı anlatılmıştır.

GİRİŞ

Ülkemizde ve Dünya'da iklim değişikliğinin etkileri her geçen gün daha da hissedilmektedir. Bu nedenle sistemlerin verimlilikleri ve doğaya verdikleri tahribat büyük önem arz etmektedir. Çeşitli sivil toplum örgütleri ve hükümetler sistemlerin verimliliklerinin arttırılması 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 (Commission Regulation (EU) 2016/2281, 2016). Bu regülasyonda birçok ürün grubu için enerji verimliliği kriterine yönelik minumum 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 artttırmak için çalışmalar yapmaktadır. Sistem ekipmanlarının verimliliklerini arttırılması ile beraber göz önünde bulundurması gereken bir diğer kriter, EN 517/2014 numaralı F-gaz regülasyonudur (Regulation (EU) No 517/2014, 2014). 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.

Sistemlerin enerji verimliliği, bir başka deyişle doğaya verdikleri tahribat ve güç tüketimleri uzun yıllar ilgili sistemin tek bir noktadaki (şarttaki) verimliliğine bakılarak değerlendirildi. Fakat teknolojinin gelişmesi ve toplumların bilinçlenmesi ile beraber kullanıcılarda bu enerji tüketim miktarlarını anlık olarak sorgulama ve öğrenme ihtiyacı doğdu. Bugün kullandığımız birçok cihazda olduğu gibi çatı tipi klimalarda da anlık olarak bu değerler ölçülebilmekle beraber kullanıcıya veri transferi yapılabilmektedir.

Yayımlanan 2016/2281 regülasyonu ile beraber daha önce ısıtma sezonu için 7 °C dış ortam sıcaklığına ve soğutma sezonu için 35 °C dış ortam sıcaklığına göre belirlenen cihaz performansları belirten, ısıtma sezonu için COP, soğutma sezonu için ise EER değerleri geçerliliğini kaybetmiştir. Bunların yerine bu sıcaklıkların dışında farklı sıcaklık noktalarında da cihaz performanslarının ölçülerek gerçeğe daha yakın verimlilik değerlerini gösteren ısıtma sezonu için SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) ve soğutma sezonu için SEER (Seasonal Energy Efficiency Coefficient) değerlerinin dikkate alınacağını bildirmiştir.

SOĞUTUCU AKIŞKAN ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İnsanlar ihtiyaçlarını karşılamak için her zaman yeni teknolojiler geliştirerek başta yiyecek ve içeceklerini korumak, konforlu yaşamak ve ürünlerini daha sağlıklı muhafaza etmek için soğutma ve iklimlendirme alanında büyük atılımlar yapmışlardır. Bu teknolojik gelişmeler sonucu ortaya çıkan soğutucu akışkanların atmosferin yukarı Strotosfer katmanında oluşan ozon tabakasını deldiği ve küresel

ısınmaya neden olduğu tespit edilmiştir. 1974 yılında Malina Rowland teorisi ortaya atıldıktan sonra ozon tabakasının delinmesi kamuoyunda tartışılmaya başlanmıştır. Maliba Rowland teorisinin ispatlanması kamuoyunu ozon tabakasının delinmesi konusunda daha hassas hale getirmiştir. 1985'de araştırma yapan bir NASA uydusunun gönderdiği veriler, bilim adamlarının tahminlerini doğrulamıştır. Antarktika üzerindeki ozon tabakasında oluşan deliğin varlığını kesin olarak ispatlamak için çeşitli ülkelerden araştırma ekipleri buzullardan ve güneşin zarar verici ültraviyole ışınlarından ölçümler almak üzere Antarktika'ya giderek ozon tabakasındaki deliğin varlığını belirlemişlerdir. Diğer bir ifade ile dünyamızı güneşten gelen zararlı ültraviyole ışınlarından koruyan ozon tabakasının CFC'ler tarafından yok edildiği anlaşılmıştır. Ayrıca soğutucu akışkanlar atmosfer tabakasında küresel ısınma etkisi göstererek dünyanın sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Gelecekte, dünyanın sıcaklığının artması nedeniyle kutuplarda buzulların eriyeceği ve bazı kara parçalarının sular altında kalacağı belirtilmektedir (Onat, İmal, İnan, 2004).

Artan çevresel bilinçle birlikte mevcut soğutucu akışkanların yerlerine alternatiflerinin geleceği şüphesiz bir gerçektir. Daha önceden olduğu gibi şu an kullanılan soğutucu akışkanların kullanımı azaltılacak ve daha sonrasında da üretimleri tamamen durdurulacaktır. Fakat bu soğutucu akışkanların yerlerine yenileri getirilirken dikkat edilmesi gereken parametreler vardır. Bu seçim kriterlerinin hepsini sağlayan bir soğutucu akışkan olmayacağı gibi, seçimler yapılırken uygulamadaki en kritik parametrelere göre tercihler yapılmalıdır.

Alteratif bir soğutucu akışkan belirlenirken öncelikle göz önünde bulundurulması gereken temel parametreler; çevresel etki, performans, sürdürülebilirlik, maliyet, sistem güvenliği, zehirlilik, yanıcılık, bulunabilirlik, nakliye, ekipman uyumu, ekipman çalışma bölgeleri, güvenlik standartlarına uygunluk ve cihaz enerji verimliliği olarak sıralanabilir. Bir sistemin soğutucu akışkanında değişikliğe gidilirken, sistem iyi değerlendirilmeli, hangi amaçla hangi şartlarda çalışacağı iyi bilinmeli ve pazar talepleri iyi anlaşılmalıdır.

Alternatif soğutucu akışkanların çevresel etkilerini değerlendirirken; ODP, GWP, TEWI ve LCCP değerleri dikkate alınmalıdır. Regülasyonlar ve yönetmelikler iyi takip edilmeli, standartlar iyi anlaşılmalıdır. Gelecekte uygunlanması planlanan soğutucu akışkan değişikliklerine üretici firmalar hazırlık yapmalıdır. Alternatif olarak kullanılacak soğutucu akışkanlar seçilirken kendisinden sonra

kullanılabilecek soğutucu akışkanlı sisteme dönüşümünün kolay olması da dikkate alınmalıdır. Mümkün olan en uzun vadeli çözüm ortaya konulmalıdır.

Bir soğutucu akışkana alternatif bir soğutucu akışkan önerirken dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri de maaliyettir. Soğutucu akışkan değişiklikleri; soğutucu akışkanın maaliyetinden, sisteme bu soğutucu akışkanı adapte ederken olası kompanent değişikliklerine, sistem güvenliğini arttırmak için ek ekipmandan, yazılım güncellemesine kadar birçok değişiklik yüklü maaliyetlere yol açabilmektedir. Bir örnek verecek olursak, düşük miktarda atmosfere yayılmasının yanıcılık açısından problem oluşturmayacağı soğutucu akışkanlar, çatı tipi klimalarda kapasitesinin 300 kW'a kadar ulaştığı cihazlarda yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Olası bir kaçak durumunda sistemin kanallarla direkt mahale havayı göndermesinden dolayı yangın veya zehirlenme durumları büyük kazalara yol açabilmektedir. Bunların önüne geçmek için yapılacak adımlardan bazıları olan kaçak tespit cihazları, yazılım güncellemeleri veya geliştirilebilecek ön uyarı sistemleri büyük harcamalar gerektirecektir. Buna rağmen her soğutucu akışkan bu büyük sistemlerde kullanılamamaktadır. Başka bir örnek vermek gerekirse alternatif olarak kullanılacak soğutucu akışkanın termodinamik özellikleri yerine geçeceği soğutucu akışkanın özelliklerine ne kadar yakın olur ise sisteme adaptasyonu sırasında kompresör gibi büyük maaliyetli kompanentlerin değişikliklerine gerek duyulmayabilir (Okudan, Onat, 2020).

Günümüzde maalesef kompresörler için gerekli enerji çoğunlukla fosil yakıtların yanması sonucu karşılanmaktadır. Bu sebeple alternatif soğutucu akışkan ile sistemde yapacağımız bu değişikliğin kompresör gücüne etkisi doğru yorumlanmalıdır. Bu soğutucu akışkan değişikliği cihaz performansını mümkünse iyileştirmeli, en azından cihazın daha önce karşıladığı regülasyon şartlarını koruması sağlamalıdır. Ayrıca cihaz kapasitesinin düşmesi durumunda ise tölerans değerleri dışında kabul edilebilecek bir düşme ise nominal hava debisinde artışa gidilebilir. Fakat bu durumda da fan tarafından tüketilen güç miktarı artacağından, burada kapasite-güç tüketimi dengesinin kurulumuna dikkat edilmelidir. Bu çözümün de yeterli olmadığı durumlarda soğutucu akışkan şarj miktarında artışa gidilebilir, fakat bu da kompresörün güç tüketimini arttıracaktır. Tüm bunların dışında hala istenilen performans sağlanamıyorsa evaporatör ve/veya kondenser tasarımı değişikliğine gidilebilir (Okudan, Onat, 2020).

Yeni tasarımın sürdürülebilir olması bir diğer dikkat edilmesi gereken maddedir. Alternatif soğutucu akışkanın kullanılması beraberinde birçok yatırım ve iş

gücünü getirmektedir. Yapılan bu değişikliğin fizibilitesi doğru yapılmalıdır. Kullanılacak soğutucu akışkanın yasal düzenlemelere göre kaç yıl kullanılabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca sistemde yapılan bu değişikliğin diğer kompanentler üzerinde oluşturubileceği olası deformasyonların sistem ömrüne ne kadar etki edeceği iyi araştırılmalıdır. Örnek vermek gerekirse, bir kompresörün senede ne kadar süre ile maksimum devirde ve hangi basınçlarda çalışacağı sistemin hangi iklim bölgesinde kullanılacağına bağlı olarak değişmektedir. Bu gibi durumlarda kompresör ömrü için gerekli testler yapılmalıdır. Sahaya giden her ürün sorumluluğunu da beraberinde getirmektedir. Yıllar sonra başka bir soğutucu akışkana geçilse bile servis hizmeti verilmesi gerekebilmektedir. Bu gibi durumlar için en kötü senaryoda sistemin ne kadar çalışacağı iyi belirlenmeli, zorlayıcı hava koşullarında, yüksek sıcaklık ve basıncın ekipmanlar üzerindeki etkileri iyi yorumlanmalıdır. Sistemin çalışma ömrü ve yasal düzenlemelere göre kullanılma ömrü karşılaştırılmalıdır.

Her bir ekipmanın belirli çalışma aralıkları vardır. Sistemde bu derece büyük bir değişiklik yaparken tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak ekipmanların çalışma bölgelerinde kalıp kalmadıkları kontrol edilmelidir. Yeni soğutucu akışkanın istenilen kapasite ve/veya verimliliği sağlaması için kompresörün devri yükseltilebilir. Ancak ihtiyaç duyulan yüksek basınç miktarının kompresör çalışma aralığında olup olmadığı ve/veya nasıl bir reaksiyon göstereceği önceden kontrol edilmelidir. Aynı şekilde istinilen kapasite ve/veya enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için sistemin hava debisi arttırılabilir. Fakat sistemde kullanılan fanın bu hava debisinde sistem tasarım kriterlerinden önemli bir parametre olan hava basıncını sağlayıp sağlayamayacağı kontrol edilmelidir. Benzer kontrollerin genleşme vanası, dış ünite fanı gibi ana komponentlerde de yapılması gerekmektedir. Alternatif soğutucu akışkan seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer parametre nakliyedir. Bu soğutucu akışkanların nereden ne şekilde tedarik edilebilecekleri, olası yasal düzenlemeler, tedarik süreleri ve güvenlik önlemleri gibi maddeler dikkate alınmalıdır. Bir soğutucu akışkanın yerine başka bir soğutucu akışkan konulurken, bulunabilirlik konusunda emin olunulmalıdır. İhtiyaç duyulması muhtemel süre zarfında bu soğutucu akışkanın elde edilmesinde ne gibi zorluklar yaşanabileceği ve kaynakların yeterliliği araştırılmalıdır.

Avrupa Birliği tarafından yayımlanan 2016/2281 ve EN 517/2014 F-gaz regülasyonları birbirlerinden ayrı olarak düşünülmemelidir. Doğaya verilen tahribatı azaltmak için bu regülasyonlarla üretici firmaları zorlayıcı hedefler konulmak

ile beraber sürekli gelişimin sağlanabilmesi adına yeni çalışma alanları yaratmaktadır. Mevcut sistemlerin sadece soğutucu akışkan değişikliği hedeflerin elde edilemeyebileceği bilinmektedir. Batarya (ısı değiştirici) teknolojisi, değişken hızlı kompresörler ile dış ve iç ünite EC fanlar sistemlerin verimliliklerini arttırmak adına gözönünde bulundurulması gereken temel ekipmanlardır (Okudan, Onat, 2020).

Artan müşteri beklentileri ve regülasyonlar ile konulan minumum verimlilik kriterleri ile birçok üretici firma için maliyet-performans dengesini korumakta zorlanmaktadır. Gerekli minumum verimliliklerin karşılanması adına sistem ekipmanlarında zorunlu olarak değişime gidilerek parça fiyatlarında artışa neden olmaktadır. Ayrıca yeni yatırım, test, doğrulama ve kalıp maliyetlerini beraberinde getirmektedir. Kullanılan yeni soğutucu akışkanlar sistem güvenliği açısından tehlike teşkil edebilmektedir. Bu sebeple de sistemlere yeni güvenlik ekipmanları da dahil edilebilecek olunması da göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktördür (Okudan, Onat, 2020).

Soğutucu akışkanlardan çalışma şartlarına ve kullanım amacına göre istenilen özelliklerin değişebileceği bilinmektedir. Soğutucu akışkanlarda istenilen özelliklerin hepsini bir arada yerine getiren akışkan bulmak elbette mümkün değildir. Bir soğutucu akışkandan genel anlamda istenen özellikler aşağıda verilmektedir.

- Çevre ile uyumlu olması,
- Çalıştığı sürece kimyasal kararlılığını devam ettirmesi,
- Sistemde kullanılan diğer malzemeler özellikle yağ ve filtre ile reaksiyon yapmamalı,
- Sistemde kullanılan ile karışım sağlamalı ama reaksiyon yapmamalı,
- Zehirleyici, yanıcı, yakıcı ve patlayıcı olmamalı,
- Donma sıcaklığı düşük olmalı,
- Isı iletim katsayısı yüksek olmalı,
- Buharlaşma ve yoğuşma gizli ısısı yüksek olmalı,
- Nem çözünürlüğü az olmalı,
- Küçük kaçaklarda bile tespit edilmeli,
- Yüksek gerilim olduğu zaman bile elektriği iletmemeli veya çok az iletmeli,
- Buharlaşma sıcaklığı istenilen değerlerde olmalı,

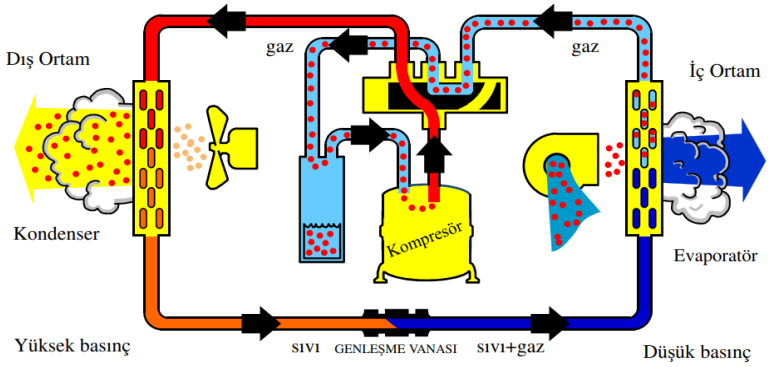
- Ucuz ve kolayca taşınabilmeli, yeniden kullanılmaya elverişli olmalı,
- Çabuk ve kolay temin edilmeli,
- Her yerde kolayca sisteme şarj edilmeli,
- Doma sıcaklığı düşük olmalı ve özgül hacmi küçük olmalıdır.

Bir soğutma sisteminde, uygulamadaki çalışma değerleri, emniyet, güvenilirlilik, çevre, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği gibi kavramlar göz önüne alınarak akışkan seçimi yapılmalıdır. Soğutucu akışkanların çevresel özellikleri ile ilgili iki temel kavram vardır. Bunlar;

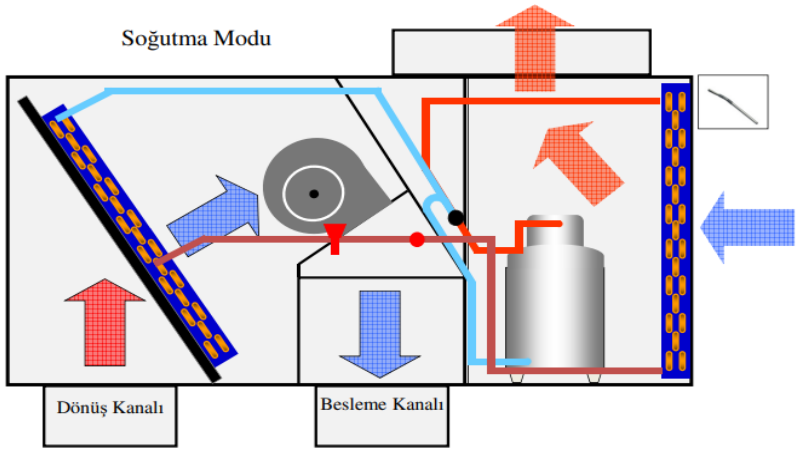
- ODP (Ozon Tüketme Potansiyeli, Ozone Depletion Potential): Bir soğutucu akışkanın ozon tabakasına verebileceği zararı ifade eder ve bağıl bir değer olarak bulunur.
- GWP (Küresel Isınma Etkisi, Globol Warming Potential): CO_2 gazının GWP etkisi 1 kabul edilerek belli bir zaman dilimi içerisinde bir sera gazının çevreye verdiği küresel ısınma etkisini CO_2 gazına bağlı bağıl olarak veren bir değerdir (İsa , Onat , 2012).

ÇATI TİPİ (ROOFTOP) KLİMA CİHAZLARI

Çatı tipi klima cihazları, genellikle alışveriş merkezlerinde, sinemalarda, tiyatrolarda, ofislerde kullanılan paket tipi iklimlendirme cihazlarıdır. Sadece soğutma veya yıl boyu çalışıp hem ısıtma hem de soğutma yapabilen ısı pompası seçenekleri mevcuttur. Piyasada genellikle genellikle 15-350 kW arasında çalışabilen cihazlar bulunmaktadır. İklimlendirmesi yapılan yapının genellikle çatısına konumlandırıldıkları için bu ismi almışlardır. Şekil 1'de görülebileceği gibi direkt genleşmeli soğutma çevrimi prensibi ile çalışırlar.



Şekil 1. Çatı Tipi Klimaların Çalışma Prensibi (Arslan, Akgül, 2016)



Şekil 2. Çatı Tipi Klima Şematik Gösterim (Arslan, Akgül, 2016)

Hastaneler gibi hava kalitesinin ve hızının çok önem kazandığı yerlerde tercih edilmemektedirler. Kurulumu kolay, montajı neredeyse tamamen fabrikada tamamlanmış olan tak-çalıştır cihazdır. Şekil 2'de de görülebileceği gibi şartlandırılan hava, mahallere besleme kanalları yardımı ile dağıtılır ve dönüş kanalları yardımı ile cihaza geri döner. Besleme kanallarına hava, basma fanı adı verilen iç ünite fanı ile gönderildiği gibi; kanallardaki basınç düşüşüne bağlı olarak dönüş kanalı tarafına da bazı projelerde dönüş fanı yereştirilebilir. Şekil 2'de gösterilen çevrim bir soğutma çevrimi olduğu için dış ünite kısmındaki kondenser fanının üzerinden hava geçirilerek soğutucu akışkanın yoğuşması sağlanır. Bunun için de genellikle aksiyel dış ünite fanları kullanılır. Şekil 2'de aynı zamanda defrost kontrolü için kullanılan termokupl şematik olarak gösterilmiştir. Bu termokupl ile batarya üzerindeki sıcaklık anlık olarak ölçülür ve belirlenen sıcaklık değerinin altına düştüğünde kışın cihaz bir süreliğine soğutma modunda çalıştırılır ve batarya üzerinde oluşan buzlanma çözülür.

Genel olarak yapıları iç ünite ve dış ünite olarak ikiye ayrılmıştır. Dış ünitede; dış ünite bataryası ve dış ünite fanı bulunmakla beraber, piyasadaki çoğu modelde burada kompresör de bulunabilmektedir. İç ünitede ise temel olarak iç ünite bataryası, iç ünite fanı ve filtre bulunmaktadır. İsteğe göre dönüş kanalına ek bir dönüş fanı eklenebilir. Soğutma çevriminin yönüne göre iç ve dış ünite bataryaları evaporatör ya da kondenser olarak çalışabilirler. Çatı tipi klimaların başlıca ekipmanları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kompresör
- Kondenser (Yoğunlaştırıcı)

- Evaporatör (Buharlaştırıcı)
- Genleşme Vanası
- Dört Yollu Vana
- İç ünite Fanı
- Dış Ünite Fanı
- Kurutucu Filtre
- Gözetleme Camı
- Soğutucu Akışkan
- Kontrol paneli ve otomasyon cihazları

Çatı Tipi Klima Cihazları İçin Ekotasarım 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 cihazlar için ekotasarım 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 proseslerinde kullanılan chillerler ve fan coil üniteleri için ekotasarım kriterlerini kapsayan 2016/2281 sayılı Komisyon Tüzüğü yayınlanmıştır. Bu regülasyonla birlikte üretici firmalardan ürün fiyatlarında mantıksız bir fiyat artışı olmadan, ürünlerinin çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak adına verimliliklerinin arttırılması 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 alınacaktır. 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 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çatı Tipi Klimalar İçin Minimum Sezonsal Enerji Verimlilikleri

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 (RS/6/C/007-2019, 2019).

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

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

Burada belitilen CC (conversion constant), enerji dönüşüm katsayısı olarak tanımlanmıştır. Ekotasarım 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 rooftop cihazlar için %3 olarak alınabileceği belirtilmiştir. Elde edilen sezonsal verimlilik değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çatı Tipi Klimalar İçin Minimum Sezonsal Verimlilik Değerleri

Sezonsal Verimlilik	Tier	Tier
SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)	2,95	3,2
SCOP (Seasonal Coefficient of Performance)	3	3,53

ÇATI TİPİ KLİMALAR İÇİN EER ve COP HESAPLAMA YÖNTEMİ

EER (Energy Efficient Ratio) ve COP (Coefficient of Performance) yani Enerji Verimlilik Oranı ve Performans Katsayısı sırası ile soğutma ve ısıtma modlarında cihazların tam yükte yani tüm kompresörler %100 devirde çalışırken elde edilen kapasitenin harcanan güce oranlarıdır. Fakat gerçek hayatta cihazların bu

şekilde çalışma süresi yıl içindeki çalışma sürelerine oranla çok çok düşüktür. Dolayısıyla bu değer cihazın gerçek verimliliği konusunda bize doğru verileri vermemektedir. Artık tüketiciler tarafından da bu kavram sorgulanmakta olup, yeni cihazlarda sezonsal verimlilikler dikkate alınmaktadır.

Çatı tipi klima cihazlarda EER ve COP değerleri (3), (4), (5) ve (6) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken sistem sınırları olarak sadece soğutucu akışkan devresi kabul edilmemiş, sistem sınırlarına hava tarafı performans verileri de eklenmiştir.

$$EER = \frac{Cihazın\ Net\ Kapasitesi\ [kW]}{Cihazın\ Çektiği\ Toplam\ Güç\ [kW]} \quad (3)$$

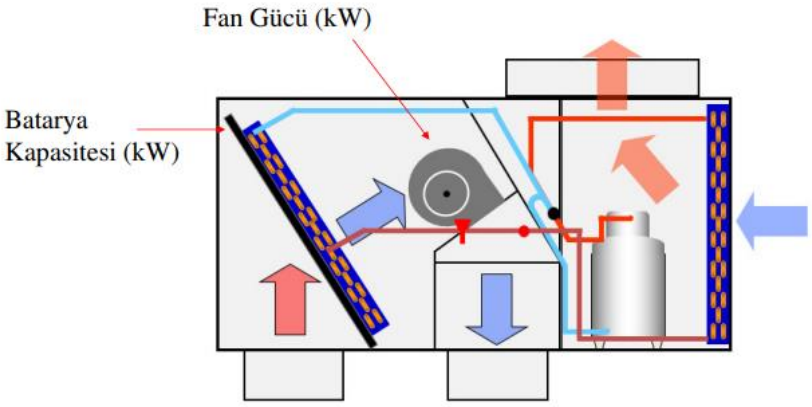
$$EER = \frac{İç\ Ünite\ Bataryası\ [kW] - İç\ Ünite\ Fanı\ [kW]}{İç\ Ünite\ Fanı [kW] + Dış\ Ünite\ Fanı [kW] + Kompresör [kW]} \quad (4)$$

$$COP = \frac{Cihazın\ Net\ Kapasitesi\ [kW]}{Cihazın\ Çektiği\ Toplam\ Güç\ [kW]} \quad (5)$$

$$COP = \frac{İç\ Ünite\ Bataryası\ [kW] + İç\ Ünite\ Fanı\ [kW]}{İç\ Ünite\ Fanı [kW] + Dış\ Ünite\ Fanı [kW] + Kompresör [kW]} \quad (6)$$

İç ünite fanı Şekil 3'te gösterildiği gibi ısıtma prosesinde pozitif, soğutma prosesinde ise negatif iş yapmaktadır. Hava şartları (3), (4), (5) ve (6) numaralı eşitlikler hesaplanırken ısıtma modu için dış ortam sıcaklığı 7 °C KT/6 °C YT, iç ortam 20 °C KT ve maksimum 15 °C YT, soğutma modu için dış ortam sıcaklığı 35 °C KT/-24 °C YT, iç ortam sıcaklığı 27 °C KT/19 ° C YT olarak belirlenmiştir.

Belirtilen ortam şartlarına göre (3) ve (4) numaralı eşiflikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen soğutma modu için EER değerleri Tablo 3'te gösterilen değer aralıklarına göre çatı tipi klimanının tam yükteki soğutma verimlilik sınıfları belirlenir.



Net Soğutma Kapasitesi: Batarya Kapasitesi - Fan Gücü

Net Isıtma Kapasitesi: Batarya Kapasitesi + Fan Gücü

Tablo 3. Havadan Havaya Çatı Tipi Klimaların EER Sınıfları

Enerji Verimlilik Sınıfı	Verimlilik Değeri
A	$3.00 \leq EER$
B	$3.00 \geq EER \geq 2.80$
C	$2.80 \geq EER \geq 2.60$
D	$2.60 \geq EER \geq 2.40$
E	$2.40 \geq EER$

Isıtma modu için de belirtilen ortam şartlarına göre (5) ve (6) numaralı eşitlikler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen COP değerleri Tablo 4'te gösterilen değer aralıklarına göre çatı tipi klimanının tam yükteki ısıtma verimlilik sınıfları belirlenir.

Tablo 4. Havadan Havaya Çatı Tipi Klimarın COP Sınıfları

Enerji Verimlilik Sınıfı	Verimlilik Değeri
A	$3.40 \leq COP$
B	$3.40 \geq COP \geq 3.20$
C	$3.20 \geq COP \geq 3.00$
D	$3.00 \geq COP \geq 2.60$
E	$2.60 \geq COP$

Eskiden sadece tam yükteki verimliliklerine bakılan cihazlar için günümüzde bu veri önemini giderek kaybetmektedir. Yine de bazı ülkelerde regülasyonlarının gerektirdiği üzere tam yükteki verimliliğe bakılmaya devam edilmektedir. Ancak ilerleyen bölümlerde görülebileceği gibi tam yükteki verimliliğin hesaplandığı bu hava şartarında, cihazların yıllık çalışma saatleri tüm sezona oranla çok düşüktür.

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 yayınlamıştır. 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 5'te gösterilmiştir. $T_{dizaync}$ 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 Kismi Yük Oranı sütunundaki formülle hesaplanarak, Kısmi Yük Oranı [%] sütununda belirtilmişlerdir. Tablo 5'in başlığında belirtilen $SEER_{on}$ aktif soğutma modunda zorunlu koşullarda 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 hesaplamanın dışında tutar. Birimi kWh/kWh'dir.

Tablo 5. "A" = Avarage (Ortalama) İklim Bölgesi-SEER ve $Seer_{on}$ Hesaplamaları İçin Kısmi Yük Oranları

	Kısmi Yük Oranı	Kısmi Yük Oranı [%]	Dış Ortam TKT [°C]
A	(35-16)/($T_{dizaync}$-16)	100	35
B	(30-16)/($T_{dizaync}$-16)	74	30
C	(25-16)/($T_{dizaync}$-16)	47	25
D	(20-16)/($T_{dizaync}$-16)	21	20

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. Isıttma cihazları için 16 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda mahallerin ısı yükü ihtiyacı olacağı kabul edilmiştir. Soğutma modundan farklı olarak Eurovent Avrupa iklim bölgelerini 3 gruba ayırmıştır. Sıcak, Soğuk ve Ortalama olarak ayrılan bu bölgelerden herhangi biri için Eurovent, verimlilik hesaplamalarını kabul etmekte ve sertifika vermektedir. Tablo 6'da Avrupa ortalama sıcaklıktaki iklim bölgesi için referans değerler verilmiştir.

Tablo 6. "A" = Avarage (Ortalama) İklim Bölgesi-SCOP, $Scop_{on}$ ve $Scop_{net}$ Hesaplamaları İçin Kısmi Yük Oranları

	Kısmi Yük Oranı	Kısmi Yük Oranı [%]	Dış Ortam KT(YT) [°C]	İç Ortam KT
A	(-7-16)/($T_{dizavnh}$-16)	88	-7(-8)	20
B	(+2-16)/($T_{dizavnh}$-16)	54	2(1)	20
C	(+7-16)/($T_{dizavnh}$-16)	35	7(6)	20
D	(+12-16)/($T_{dizavnh}$-16)	15	12(11)	20
E	(TOL-16)/($T_{dizavnh}$-16)	-	TOL	20
F	($T_{bivalent}$-16)/$T_{dizavnh}$-16)	-	$T_{bivalent}$	20

Tablo 7'de ise Avrupa sıcak iklim bölgesi için belirlenen zorunlu test sıcaklık noktaları ve kısmi yük oranları gösterilmiştir.

Tablo 7. "W" = Warmer (Sıcak) İklim Bölgesi-SCOP, $Scop_{on}$ ve $Scop_{net}$ Hesaplamaları İçin Kısmi Yük Oranları

	Kısmi Yük Oranı	Kısmi Yük Oranı	Dış Ortam KT(YT) [°C]	İç Ortam KT
B	$(+2-16)/(T_{dizavnh}-16)$	100	-7(-8)	20
C	$(+7-16)/(T_{dizavnh}-16)$	64	2(1)	20
D	$(+12-16)/(T_{dizavnh}-16)$	29	7(6)	20
E	$(TOL-16)/(T_{dizavnh}-16)$	-	TOL	20
F	$(T_{bivalent}-16)/(T_{dizavnh}-16)$	-	$T_{bivalent}$	20

Tablo 8'de ise Avrupa soğuk iklim bölgesi için belirlenen zorunlu test sıcaklık noktaları ve kısmi yük oranları gösterilmiştir.

Tablo 8. "C" = Colder (Soğuk) İklim Bölgesi-SCOP, $Scop_{on}$ ve $Scop_{net}$ Hesaplamaları İçin Kısmi Yük Oranları

	Kısmi Yük Oranı	Kısmi Yük Oranı [%]	Dış Ortam KT(YT) [°C]	İç Ortam KT [°C]
A	$(-7-16)/(T_{dizaynh}-16)$	61	-7(-8)	20
B	$(+2-16)/(T_{dizaynh}-16)$	37	2(1)	20
C	$(+7-16)/(T_{dizaynh}-16)$	24	7(6)	20
D	$(+12-16)/(T_{dizaynh}-16)$	11	12(11)	20
E	$(TOL-16)/(T_{dizaynh}-16)$	-	TOL	20
F	$(T_{bivalent}-16)/(T_{dizaynh}-16)$	-	$T_{bivalent}$	20

$SCOP_{on}$, 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 hesaplamanın 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. Birimi kWh/kWh'dir. İklimsel olarak 3 farklı iklim bölgesine ayrılan Avrupa'da kabul edilen $T_{dizaynh}$ sıcaklıkları Tablo 9'da verilmiştir. Bu dizayn sıcaklığında belirtilen değerler tablolarda gösterilen Kısmi Yük Oranı sütunundaki formüllerde 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 9. Havadan Havaya Çatı Tipi Klima Cihazlarının Isıtma Sezonu $T_{dizaynh}$ Sıcaklıkları

	Dış Ortam KT(YT)	İç Ortam KT
$T_{dizaynh}$ "average" (Orta-	-10(-11)	20
$T_{dizaynh}$ "colder" (Soğuk)	-22(-23)	20
$T_{dizaynh}$ "warmer" (Sıcak)	2(1)	20

Bivalent Sıcaklığı ($T_{bivalent}$), 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 bölgesinde $T_{bivalent} \leq +2$ C
- Soğuk iklim bölgesinde $T_{bivalent} \leq -7$ C
- Sıcak iklim bölgesinde $T_{bivalent} \leq +7$ C

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

SEER ve $SEER_{on}$ 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 (7) numaralı eşitlikle hesaplanabilir.

$$SEER = \frac{Qc}{\frac{Qc}{SEER_{on}} + H_{to}\ x\ P_{to} + H_{sb}\ x\ P_{sb} + H_{ck}\ x\ P_{ck} + H_{off}\ x\ P_{off}} \quad (7)$$

- Q_c : Yıllık soğutma ihtiyacı, [kWh]
- H_{to}, H_{sb}, H_{ck}, H_{off} : Sırasıyla kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda operasyon saatleri, [h]
- P_{to}, P_{sb}, P_{ck}, P_{off} : Sırası ile kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda enerji tüketim miktarları, [kW]

Referans yıllık soğutma ihtiyacı (Q_c) hesaplanırken tam yükteki kapasite, eşdeğer soğutma saati (H_{CE}) ile çarpılarak (8) numaralı eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanır.

$$Q_c = P_{dizaync}\ x\ H_{ce} \quad (8)$$

Referans $SEER_{on}$ değeri (9) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$SEER_{on} = \frac{\sum_{j=1}^{n} hj\ x\ Pc\ (Tj)}{\sum_{j=1}^{n} hj\ x\ (\frac{Pc(Tj)}{EER_{PL}\ (Tj)})} \quad (9)$$

Tablo 5'te gösterilen A, B, C, D koşullarınında ölçülen EER değerleri kullanılarak ara değerlerde interpolasyon yapılır ve bu noktalardaki EER değerleri hesaplanır. A hava koşulunun üstündeki sıcaklıklarda EER değeri A hava koşulundaki EER değeri kabul edilir. D hava koşulunun altındaki sıcaklıklardaki EER değeri de D hava koşulundaki EER değeri kabul edilir. Tablo 10'da soğutma sezonu için SEER hesaplaması yaparken cihazların sıcaklık bazında yıllık operasyon saatleri belirtilmiştir.

Tablo 10. Soğutma Sezonu Yıllık Çalışma Saati–Sıcaklık Değerleri

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
T °C	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
H h	205	227	225	225	216	215	218	197	178	159	127	100	88	62	29	21	24	17	12	9	4	2	1	0

Şekil 4'de verilen soğutma sezonu sıcaklık frekansları grafiğine bakıldığında yoğun çalışma sıcaklık frekans aralığının 16 °C ile 25 °C arasında olduğu görülmektedir**.** Tablo 5'te gösterilen A hava şartlarında (tam yükte) elde edilen cihaz kapasitesi dizayn soğutma yüküne ($P_{dizaync}$) eşit olarak kabul edilir. B, C ve D şartlarında ise iki olasılık vardır:



Şekil 1. Soğutma Sezonu Sıcaklık Frekansları (Arslan, 2017)

1. Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli soğutma yüküne eşit veya düşük ise, karşılık gelen EER_{DC} değeri kullanılır.

2. Eğer beyan edilen cihaz kapasitesi gerekli soğutma yükünden fazla ise, bu cihazın kısa sürelerle açılıp kapanacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda düzeltme yapılarak EE_{PL} değeri (10) numaralı formülü ile hesaplanır.

$$EER_{PL(B,C,D)} = EER_{DC}\, x\, [1 - Cd\, x\, (1 - CR)] \quad (10)$$

- EER_{DC} : B, C ve D şartlarında beyan edilen kapasiteye karşılık gelen EER değeri
- Cd : Düzeltme katsayısı
- CR : Kapasite oranı

Test ile hesaplanmayan Cd değerleri, 0,25 olarak alınabilir. Test ile hesaplanmayan Cd değerleri, 0.25 olarak alınabilir (NF EN 14825, 2012). Kapasite oranı

(CR), aynı hava şartlarında talep edilen soğutma yükünün (Pc) beyan edilen cihaz kapasitesine oranıdır.

SCOP ve $SCOP_{on}$ 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 (11) numaralı eşitlik kullanılır.

$$SCOP = \frac{Q_h}{\frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H_{to}\ x\ P_{to} + H_{sb}\ x\ P_{sb} + H_{ck}\ x\ P_{ck} + H_{off}\ x\ P_{off}} \qquad (11)$$

- Q_h : Referans yıllık ısıtma ihtiyacı, [kWh]
- H_{to}, H_{sb}, H_{ck}, H_{off} : Sırasıyla kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda operasyon saatleri, [h]
- P_{to}, P_{sb}, P_{ck}, P_{off} : Sırası ile kapalı termostat modunda, bekleme modunda, karter ısıtıcısı açıkken ve cihazın kapalı durumda enerji tüketim miktarları, [kW]

Referans yıllık ısıtma ihtiyacı, Q_h, (12) numaralı eşitlikle hesaplanabilir.

$$Q_h = P_{dizayn,h}\ x\ H_{he} \qquad (12)$$

Ek elektrikli ısıtıcının verimi dikkate alınarak (13) numaralı eşitlik ile Referans $SCOP_{on}$ ve ek elektrikli ısıtıcının verimi dikkate alınmadan da $SCOP_{net}$ değeri (14) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^{n} hj\ x\ Ph\ (Tj)}{\sum_{j=1}^{n} hj\ x\ (\frac{Ph(Tj) - elbu(Tj)}{COP_{PL}\ (Tj)} + elbu(Tj))} \qquad (13)$$

$$SCOP_{net} = \frac{\sum_{j=1}^{n} hj\ x\ (Ph\ (Tj) - elbu(Tj))}{\sum_{j=1}^{n} hj\ x\ (\frac{Pc(Tj) - elbu(Tj)}{COP_{PL}\ (Tj)})} \qquad (14)$$

elbu(T_j) : T_j sıcaklığına karşılık ihtiyaç kapasiteyi sağlamak için ek elektrikli ısıtıcının kapasitesi, [kW] Sıcak (W), Ortalama (A) ve Soğuk (C) iklim bölgelerine

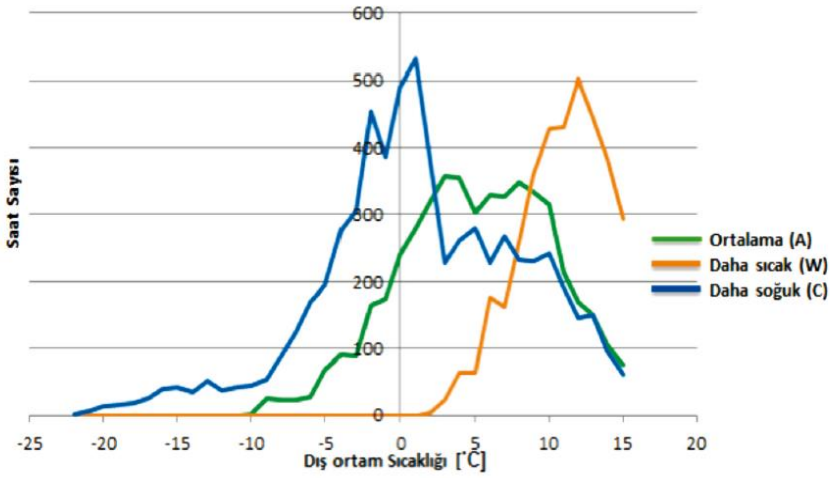
göre dış ortam sıcaklıklarına karşılık gelen yıllık operasyon saatleri Şekil 5'te gösterilmiştir.

j # 	T_j °C 	Warmer (W) hjW h	Average (A) hjA h	Colder (C) hjC h
1 to 8	-30 to -23	0	0	0
9	-22	0	0	1
10	-21	0	0	6
11	-20	0	0	13
12	-19	0	0	17
13	-18	0	0	19
14	-17	0	0	26
15	-16	0	0	39
16	-15	0	0	41
17	-14	0	0	35
18	-13	0	0	52
19	-12	0	0	37
20	-11	0	0	41
21	-10	0	1	43
22	-9	0	25	54
23	-8	0	23	90
24	-7	0	24	125
25	-6	0	27	169
26	-5	0	68	195
27	-4	0	91	278
28	-3	0	89	306
29	-2	0	165	454
30	-1	0	173	385
31	0	0	240	490
32	1	0	280	533
33	2	3	320	380
34	3	22	357	228
35	4	63	356	261
36	5	63	303	279
37	6	175	330	229
38	7	162	326	269
39	8	259	348	233
40	9	360	335	230
41	10	428	315	243
42	11	430	215	191
43	12	503	169	146
44	13	444	151	150
45	14	384	105	97
46	15	294	74	61
	total	3 590	4 910	6 446

Şekil 2. Isıtma Sezonu İklim Bölgelerine Göre Sıcaklık-Yıllık Operasyon Saatleri Değerleri (RS/6/C/007-2019, 2019)

Şekil 6'da ise ısıtma sezonu sıcaklık frekansları üç farklı iklim bölgesine göre grafiksel olarak gösterilmiştir. Tablo 6, Tablo 7 ve Tablo 8'de gösterilen hava koşulu "D"nin üzerindeki kısmi yük şartlarında COP_{PL} ve kapasite değerleri C ve D şartlarındaki değerler kullanılarak ekstrapolasyon yöntemi ile bulunur. Bazı soğuk iklimlerde eğer TOL (operasyon limiti) -20 °C sıcaklığın altında ise -15 °C sıcaklığında ekstra performans hesaplama noktası eklenir. Eğer cihaz kapasitesi gerekli ısı yükünden (P_h (T_j)) daha düşükse olsun ya da olmasın COP değeri 1'e eşit bir

elektrikli ısıtıcının sitemde olduğu varsayılır. Operasyon sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda cihaz çalışmaz. Cihazın kapasitesi operasyon sıcaklığının altındaki dış hava koşullarında 0 kW'tır. Kısmi yük koşulları olan A, B, C ve D noktarında iki ihtimal vardır.



Şekil 3. Isıtma Sezonu Sıcaklık Frekansları

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 (15) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$COP_{PL}(A,B,C,D) = COP_{DC}\, x\, [1 - Cd\, x\, (1 - CR)] \quad (15)$$

- COP_{DC}: A, B, C, D, hava şartları ile aynı koşularda beyan edilen kapasiteye karşılık gelen COP değeridir.
- Cd : Düzeltme faktörü
- CR : Kapasite oranı

Test ile hesaplanmayan Cd değerleri, 0,25 olarak kabul edilebilir (NF EN 14825, 2012).

Yıllık Operasyon Saatleri

2016/2281 numaralı ekotasarım kriterlerinde verilen çatı tipi klima cihazlarını da kapsayan iklimlendirme cihazları için iklim bölgelerine göre ısıtma ve soğutma sezonlarında cihazın sadece ısıtma, soğutma veya hem ısıtma hem soğutma yapmasına göre çalışma süreleri Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 10. Yıllık Operasyon Saatleri

Sezon		**Operasyon Saatleri**				
		Açık Konum	Termostat Kapalı Konum	Bekleme Konumu	Kapalı Konum	Karter Isıtıcı Konumu
		H_{CE} (soğutma); H_{HE} (ısıtma)	*H_{TO}*	*H_{SB}*	*H_{OFF}*	*H_{CK}*
Soğutma	Average	600	659	1 377	0	2 036
	Colder	300	436	828	0	1 264
	Warmer	900	767	1 647	0	2 414
Sadece Isıtma	Average	1 400	179	0	3 672	3 851
	Colder	2 100	131	0	2 189	2 320
	Warmer	1 400	755	0	4 345	5 100
Isıtma	Average	1 400	179	0	0	179
	Colder	2 100	131	0	0	131
	Warmer	1 400	755	0	0	755

ÖRNEK UYGULAMA

R-32 Soğutucu Akışkan Özellikleri

R-32, R-410A ile karşılaştırıldığında çevreye daha az zarar vermektedir. Günümüzde çatı tipi klima cihazlarında kullanılan R-410 A yerine kullanılması ön gürülen soğutucu akışkan R-32'dir. Bu nedenle örnek çözümlemesinde R-32 soğutucu akışkanı kullanılmıştır. R-32 soğutucu akışkanın genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Yakut, 2013).

1. Ozon tabakasına zarar vermez. R-410A soğutucu akışkanı ile karşılaştırıldığında daha düşük küresel ısınma etkisine sahiptir.

2. Enerji verimliliği açısından R-410A soğutucu akışkanından daha verimlidir.

3. Yanıcılık özelliği düşük olduğu için birçok uygulamada talimatlara uyulması durumunda güvenli bir şekilde kullanılabilir.

4. Geri dönüşümü ve yeniden kullanılabilirliği kolaydır.

5. R-32 soğutucu akışkanının kritik sıcaklığının %8 daha büyük olmasından dolayı yüksek sıcaklıktaki ortam şartlarında R-410A'ya göre daha iyi performans göstermesi beklenmektedir.

6. R-32 soğutucu akışkanın sahip olduğu sıvı yoğunluğu R-410A ile karşılaştırıldığında %9 daha az olmasından dolayı sistem için gerekli soğutucu akışkan miktarı daha azdır. Tablo 12'de R-410A, R-32 ve diğer alternatif LGWP'a sahip soğutucu akışkanlardan R-452B ve R-454B'nin genel karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo 12. 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_2F_2 CHF_2CF_3	CH_2F_2	CH_2F_2 $C_3H_2F_4$ CHF_2CF_3	$C_3H_2F_4$ CH_2F_2
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

R-32 Soğutucu Akışkanlı Sistemin SEER Değerinin Hesaplanması

SEER hesaplamsının daha net anlaşılabilmesi için örnek olarak Tablo 13'de A, B, C ve D hava şartlarında R-32 soğutucu akışkanlı bir çatı tipi klima cihazının performans verileri gösterilmiştir.

Tablo 13. R-32 için SEER Zorunlu Test Noktaları Performans Verileri

Zorunlu Test Noktaları	Dış Ortam Sıcaklığı [°C]	Kapasite [kW]	Güç Tüketimi [kW]	Belirtilen Kapasite EER_{DC}
A	35	79,13	23,22	3,41
B	30	64,03	16,15	3,97
		46,7	11,09	4,21
C	25	48,62	10,33	4,7
		23	5,15	4,47
D	20	23,41	3,87	6,05

Tablo 14'de ise bu kismi yük değerleri ve interpolasyon ile elde edilen kapasite ve güç değeleri ile beraber CR değerleri hesaplanmış ve D noktasında EER_{PL} değeri (10) numaralı formül kullanılarak elde edilmiştir. D noktasında bu düzeltme ile beraber EER değeri 6,05'ten 5,61'e düşmüştür.

Tablo 14. R-32 için Kısmi Yükte EER Hesaplama Tablosu

Zorunlu Test Noktaları	Dış Ortam Sıcaklığı [°C]	Kısmi Yük Oranı [%]	Talep Edilen Kapasite Miktarı [kW]	İnterpole Kapasite [kW]	İnterpole Güç Tüketimi [kW]	Cd	CR	Kısmi Yükteki EER (EER_{PL})
A	35	100	79,13	79,13	23,22	0,25	1	3,41
B	30	74	58,31	58,31	14,48	0,25	1	4,03
C	25	47	37,48	37,48	8,08	0,25	1	4,64
D	20	21	16,66	23,41	3,87	0,25	0,7	5,61

Tablo 15'te üst ve alt sıcaklık değerleri için ekstrapolasyon ve ara sıcaklık değerleri için interpolasyon yöntemleri ile tüm çalışma sıcaklıklarına karşılık gelen kapasite ve EER_{PL} değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kapasite değerleri sı-

caklık 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 (9) numaralı $SEER_{on}$ hesaplama eşitliği kullanılarak $SEER_{on}$ değeri R-32 soğutucu akışkanlı sistemde 4,57 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 15. R-32 için $SEER_{on}$ Hesaplama Tablosu

	Dış Ortam Sıcaklığı [°C]	Yıllık Çalışma Süresi [h]	Zorunlu Test Noktaları	Soğutma Yükü [kW]	EER_{PL}	Yıllık Soğutma İhtiyacı [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
4	**20**	**225**	**D**	**16,66**	**5,61**	3748	668
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
9	**25**	**178**	**C**	**37,48**	**4,64**	6672	1438
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
14	**30**	**63**	**B**	**58,31**	**4,03**	3673	912
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
19	**35**	**13**	**A**	**79,13**	**3,41**	1029	302
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
				$SEER_{on}$	**4,57**	**75486**	**16528**

R-32 soğutucu akışkanlı sistemin ek güç tüketim miktarı hesaplaması Tablo 16'da verilmiştir. Yıllık operasyon saatleri Tablo 11'den alınanarak termostat kapalı konumdayken, bekleme modundayken ve karter ısıtıcı çalışırkenki enerji tüketim miktarları ile çarpılmış ve yıllık tüketim miktarları kWh cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 16. R-32 için Ek Güç Tüketimleri Tablosu

	Güç [kW]	**Yıllık Saat [h]**	**Yıllık Tüketim [kWh]**
P_{to}	0,34	659	225,38
P_{sb}	0,17	1377	234,09
P_{ck}	0,20	2036	407,20
P_{off}	-	0	0

Daha sonra SEER değeri hesaplamak için bilinmesi gereken bir başka değer olan yıllık soğutma ihtiyacı miktarı, Q_c, Tablo 11'den bulunan yıllık soğutma saati olan H_{ce} değeri ile R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klimanın dizayn kapasitesi, $Pdizayn_c$, (8) numaralı eşitlikte yerlerine konularak 47480 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_c, $SEER_{on}$ ve yıllık ek enerji tüketim değerleri (7) numaralı SEER hesaplama eşitliğinde yerlerine konularak, R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima sisteminin EN 14825 standardına göre sezonsal soğutma verimlilik değeri hesaplandığında SEER değeri 4,216 olarak bulunur.

$$P_{dizayn,c} = 79{,}13\ kW$$

$$H_{ce} = 600\ saat$$

$$Q_c = 47480\ kWh$$

$$SEER_{R32} = 4{,}216$$

R-32 Soğutucu Akışkanlı Sistemin SCOP Değerinin Hesaplanması

Örnek olarak verilen sistemde ısıtma sezonu için zorunlu tetst sıcaklıklarında testlerden elde edilen performans verileri Tablo 17'de gösterilmiştir. $T_{bivalent}$ sıcaklığı -4 °C olarak kabul edilen bu örnek için, bu sıcaklıktaki performans verileri de tabloya eklenmiştir. Ayrıca TOL sıcaklık değeri de $T_{dizaynh}$ sıcaklığına eşit kabul edilmiştir.

Tablo 17. R-32 için SCOP Zorunlu Test Noktaları Performans Verileri

Zorunlu Test Noktaları	Dış Ortam Sıcaklığı [°C]	Kapasite [kW]	Güç Tüketimi [kW]	Belirtilen Kapasite COP_{DC}
TOL=$T_{dizaynh}$	-10	53,90	20,60	2,62
A	-7	58,23	21,11	2,76
$T_{bivalent}$	-4	63,44	21,59	2,94
		47,58	16,19	2,94
B	2	57,01	17,16	3,32
		39,17	11,53	3,40
C	7	43,42	8,91	4,87
		21,55	4,85	4,44
D	12	24,74	5,03	4,92

Kısmi yük oranlarına karşılık gelen kapasite miktarları Tablo 18'de gösterilmekle birlikte interpolasyonla elde edilmiş kapasite ve güç verileri de hesaplanmıştır. Ayrıca CR oranlarına bağlı olarak COP_{PL} değerleri de (15) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmış ve yine Tablo 18'de bu veriler gösterilmiştir.

Tablo 18. R-32 için Kısmi Yükte COP Değerleri

Zorunlu Test Noktaları	Dış Ortam Sıcaklığı [°C]	Kısmi Yük Oranı [%]	Talep Edilen Kapasite Miktarı [kW]	İnterpole Kapasite [kW]	İnterpole Güç Tüketimi [kW]	Cd	CR	COP_{PL}
TOL= $T_{dizaynh}$	-10	100	82,39	53,90	20,60	0,25	1,53	2.62
A	-7	88	72,88	58,23	21,11	0,25	1,25	2,76
$T_{bivalent}$	-4	77	63,38	63,38	21,57	0,25	1,00	2,94
B	2	54	44,36	44,36	13,17	0,25	1,00	3,37
C	7	35	28,52	28,52	6,14	0,25	1,00	4,64
D	12	15	12,68	24,74	5,03	0,25	0,51	4,32

Isıtma modunda cihazın açık konumda ek elektrikli ısıtıcının performansa etkisi dikkate alınarak hesaplanan $SCOP_{on}$ değeri ve ek elektrikli sıtıcının cihaz performansına etkisinin dikkate alınmadığı $SCOP_{net}$ değerlerinin hesaplanması iki tablo halinde gösterilmiştir. Tablo 19'da kısmi yük oranlarına bağlı ısı yükü ihtiyacı, interpolasyon ve ekstrapolasyonlarla cihazın bu gerekli ısı yükünü karşılayan kapasiteleri ve COP değerleri gösterilmiştir.

Tablo 19. R-32 için $SCOP_{on}$ ve $SCOP_{net}$ Değerleri

Zorunlu Test Noktaları	j	Dış Ortam Sıcaklığı °C	Operasyon Saati hj [h]	Kısmi Yük Oranı [%]	Isı Yükü İhtiyacı [kW]	Cihaz Kapasitesi [kW]	COP (Tj)
TOL	21	-10	1	100,00	82,39	53,90	2,62
	22	-9	25	96,15	79,22	55,34	2,66
	23	-8	23	92,31	76,05	56,79	2,71

A	24	-7	24	88,46	72,88	58,23	2,76
	25	-6	27	84,62	69,71	59,94	2,82
	26	-5	68	80,77	66,55	61,66	2,88
Tbiv	27	-4	91	76,92	63,38	63,38	2,94
	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	33	2	320	53,85	44,36	44,36	3,37
	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
C	38	7	326	34,62	28,52	28,52	4,64
	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
D	43	12	169	15,38	12,68	24,74	4,32
	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 20’de elektrikli ısıtıcı ile karşılanan ısı miktarları ile cihaz ve elektrikli ısıtıcı kapasiteleri sıcaklığa bağlı yıllık kullanım saatleri ile çarpılarak yıllık ısıtma ihtiyacına olan katkıları elde edilmiştir. Güç tüketimleri de elektrikli ısıtıcılı ve elektrikli ısıtıcısız olarak elde edildikten sonra (13) ve (14) numaralı eşitlikler kullanılarak $SCOP_{on}$ ve $SCOP_{net}$ değerleri elde edilmiştir.

Tablo 20. R-32 için $SCOP_{on}$ ve $SCOP_{net}$ Değerleri

Zorunlu Test Nok-taları	Ek El-ektrikli Isıtıcı	Yıllık Isıtma İhtiyacı	Yıllık Elektrikli Isıtıcılı Güç Tüketimi	Yıllık Isıtma İhtiyacı	Yıllık Elektrikli Isıtıcısız Güç Tüketimi
	[kW]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
TOL	28,49	82	49	54	21
	23,88	1981	1116	1384	519
	19,27	1749	925	1306	482
A	14,66	1749	858	1397	507
	9,77	1882	838	1618	574
	4,89	4525	1789	4193	1457
Tbiv	0,00	5767	1963	5767	1963
	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	0,00	14196	4213	14196	4213
	0,00	14707	4058	14707	4058
	0,00	13537	3490	13537	3490
	0,00	10562	2555	10562	2555
	0,00	10457	2383	10457	2383
C	0,00	9297	2003	9297	2003
	0,00	8822	1927	8822	1927
	0,00	7431	1646	7431	1646
	0,00	5989	1346	5989	1346
	0,00	3406	777	3406	777
D	0,00	2142	496	2142	496
	0,00	1435	337	1435	337

	0,00	665	159	665	159
	0,00	234	57	234	57
Toplam		170185	48585	168169	46569
	$SCOP_{on}$	3,503		$SCOP_{net}$	3,611

Tablo 21'de verilen ortalama iklim bölgesi için ısıtma sezonunda termostat kapalı konumdaki, bekleme modundaki, karter ısıtıcı çalışırkenki toplam yıllık operasyon saatleri ve güç tüketim değerleri çarpılarak yıllık ek güç tüketim miktarları kWh cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 21. R-32 için Isıtma Ek Güç Tüketimleri

	Güç [W]	**Yıllık Saat [h]**	**Yıllık Tüketim [kWh]**
$\mathbf{P_{to}}$	0,72	179	129,60
$\mathbf{P_{sb}}$	0,17	0	0
$\mathbf{P_{ck}}$	0,32	179	57,28
$\mathbf{P_{off}}$	-	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 (12) numaralı eşitlikte yerlerine konularak yıllık ısıtma yükü 115345 kWh olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Q_h, $SCOP_{on}$ ve yıllık ek enerji tüketim değerleri (11) numaralı SCOP hesaplama eşitliği kullanılarak R-32 soğutucu akışkanlı çatı tipi klima sisteminin EN 14825 standardına göre yıllık ısıtma verimlilik değeri hesaplandığında SCOP değeri 3.483 olarak hesaplanmıştır.

$$P_{dizayn,h} = 82{,}39\ kW$$

$$H_{he} = 1400\ saat$$

$$Q_h = 115345\ kWh$$

$$SCOP_{R32} = 3{,}483$$

KAYNAKÇA

Arslan V. (2017). Çatı Tipi Klimalarda Sezonsal Verimlilik Hesaplama Yöntemi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi İzmir.

Arslan V., Akgül B., (2016) "Çatı Tipi Klimalar Semineri", TTMD, Adana, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/statik_sayfa_ekleri/%C3%87ATI%20T%C4%B0P%C4%B0%20K%C4%B0L%C4%B0MALAR.pdf. (ET: 5.10.2020)

Commission Regulation (EU) 2016/2281 (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.

İsa K., Onat A. (2012), İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği, 1. Baskı.

NF EN 14825 (2012). 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.

Okudan M. O., Onat A. (2020). Çatı Tipi Klimalarda Kullanılan R410A ve Alternatifi Olan Soğutucu Akışkanların Analizi, Dergipark Cilt:32, Sayı:4, ss:507-520.

Okudan M. O., Onat A. (2020). Çatı Tipi Klimalarda R-410A Alternatifi Soğutucu Akışkanların Kullamının analizi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Onat A., İmal M., İnan A.T. (2004). "Soğutucu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkilerinin Araştırılması ve Alternatif Soğutucu Akışkanlar" KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi 7(1).

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.

RS/6/C/007-2019, Rating Standard for the Certification of Rooftop.

Yakut, A. (2013). Yeni Nesil Soğutucu Akışkan: R32, Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report.