

# Klima Santrali Tasarım Parametrelerinin Eko Tasarım Uyumluluğu Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

**Burak UĞUZ**

orcid: 0009-0000-8228-194

**Mete ÖZŞEN**

orcid: 0000-0002-1410-5538

**Oğuz SAKA**

## ÖZ

*Eko tasarım direktifine göre klima santrali tasarımında fan verimliliği ve spesifik fan gücü, ısı geri kazanım (IGK) verimi ve filtre sınıfı önemlidir. Klima santrali ana tasarım parametreleri fan motor teknolojisi, kesit hava hızı, klima santrali toplam statik basınç kaybı, IGK tipi ve filtre sınıfıdır. Bu parametreler ekotasarım uyumluluğu için araştırılmıştır. Ana parametrelere ek olarak eko tasarım hesabına etkilerini incelemek için IGK ve filtre parametreleri araştırılmıştır. IGK' lar için verim ve basınç kaybı etkileri, filtre için ise filtre uzunluğu ve tipi incelenmiştir. Klima santrali parametreleri değiştirilerek eko tasarım gereklilikleri için hesaplamalar yapılmıştır.*

*Yapılan hesaplamalar ve incelemeler eko tasarım gereklilikleri için verimli fan seçiminin önemini göstermiştir. Eko tasarıma uygun olmayan klima santrali tasarımları kesit hızı ve filtre seçimleri değiştirilerek eko tasarıma uygun seçilebilmiştir. Eko tasarım gereklilikleri için IGK cihazının, verimi ve basınç kaybını optimum oranda tutacak şekilde seçilmesinin önemi görülmüştür. Plakalı IGK kullanımının bypass damperi gerekliliği ve düşük verimler nedeniyle eko tasarıma uygun seçilmesinin rotorlu santrallere göre daha zor olduğu görülmüştür. Plakalı IGK ile eko tasarıma uyması için yaklaşık %15-20 oranında büyük seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir. Fakat bunları bir dezavantaj olarak görmeyip, ekotasarıma uygun santrallerin enerji tasarrufunu artırıp enerji tüketimlerini ve maliyetlerini azaltacağı üzerine odaklanılmalıdır.*

**Anahtar Kelimeler:** Eko tasarım, spesifik fan gücü, fan güç tüketimi, ısı geri kazanım.

# Investigation of the Effect of Air Handling Unit Design Parameters on The Ecodesign Compliance

## ABSTRACT

*According to the ecodesign directive, fan efficiency and specific fan power, heat recovery (HRV) efficiency and filter class are important in air handling unit(AHU) design. AHU main design parameters are fan motor technology, cross-sectional velocity, pressure loss, HRV type and filter class. These parameters are investigated for ecodesign compatibility. Also HRV and filter parameters were investigated to examine their effects on ecodesign calculation. Efficiency and pressure loss are analysed for HRVs and length and type are analysed for filters.*

*Calculations and analyses are shown the importance of efficient fan selection for ecodesign. AHUs could be selected to comply with ecodesign by changing the air speed and filter. Importance of selecting HRV in such a way that efficiency and pressure loss are optimised was seen. It was observed AHU with plate are more difficult to be selected to comply with ecodesign than AHU with heat wheel due to bypass damper requirement and low efficiencies. It was found AHUs with plate should be selected approximately 15-20% larger to comply with ecodesign. However, these should not be seen as a disadvantage. The focus should be on the fact that ecodesigned AHUs will increase energy savings and reduce energy consumption and costs.*

**Key Words:** Ecodesign, specific fan power, fan power consumption, heat recovery.

Geliş Tarihi: 19.02.2025

Kabul Tarihi: 21.03.2025

## 1. GİRİŞ

Eko tasarım genel olarak çevreye duyarlı ürünlerin tasarlanması kavramıdır. Bu kavram bir ürünün üretimi, kullanımı ve kullanım sonrası aşamalarını içeren ürün yaşam döngüsü ile ilgilidir. İlk olarak Delf Teknoloji Üniversitesi tarafından yapılan çalışmaların bir kılavuz haline getirilmesi ile gündeme gelmiştir [1]. Enerji tüketimini azaltma hedefleri doğrultusunda 2009/125/EC direktifi [2] ile, enerji tüketen ürünleri kapsayacak şekilde, Avrupa Birliği tarafından yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde 2010 yılında yayınlanmıştır [3]. Yönetmelikler ile getirilen koşullar sayesinde tasarım aşamasında enerji verimli ve çevreye etkileri azaltılmış ürünlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Eko tasarım direktifi [2] kapsamında ürün bazlı farklı alt yönetmelikler yayınlanmaktadır. Avrupa birliği tarafından yayınlanan 1253/2014 nolu "Havalandırma Ünitelerinin Çevreye Duyarlı Tasarım Gerekliliklerine Dair Tebliğ" [4] klima santrallerini kapsamaktadır. Ülkemizde 2021 yılında yürürlüğe girmiştir [5]. Bu çalışma kapsamında klima santrali tasarım parametrelerinin direktifte belirtilen kurallara etkileri araştırılmıştır.

Klima santrali bir çok komponentten oluşmaktadır. Bu komponentler filtre, ısıtma ve soğutma bataryaları, fan, ısı geri kazanım, nemlendirici, susturucu vb... havanın şartlandırılmasında, temizlenmesinde ve iletilmesinde kullanılmaktadır. Kullanılan komponentler arasında fan, elektrik tüketen cihazdır. Diğer komponentlerin seçimleri ise fanın enerji tüketimine etki etmektedir. Özşen [6] çalışmasında soğutma bataryası seçiminin değiştirilmesi ile fan enerji tüketiminin azaldığını göstermiştir. Bu yüzden enerji verimli klima santrali tasarımında komponent seçimleri önemlidir.

Isıl enerji açısından da klima santrallerinde enerji tüketimi söz konusudur. Havanın ısıtılması ve soğutulması işleminde klima santrali ile beraber çalışan

ısıtma ve soğutma sistemleri enerji tüketmektedir. Isıl enerji tüketimini azaltmak için klima santrallerinde ısı geri kazanım (IGK) cihazları kullanılmaktadır. Eko tasarım uygunluğu açısından IGK cihazının kullanılması zorunlu tutulmuştur. Ayrıca yıl içerisinde IGK cihazının kullanılmasının gerekli olmadığı zamanlarda ise basınç kaybını azaltarak fan enerji tüketimini azaltan bypass sisteminin kullanılması da gereklidir. Bypass kullanımının klima santrali enerji verimine etkisi Özşen [7] tarafından incelenmiş ve uygun ölçülerde bypass kullanımının enerji verimine olumlu etkisi olduğu sonucuna varmıştır.

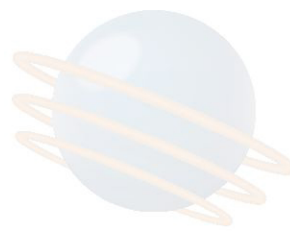
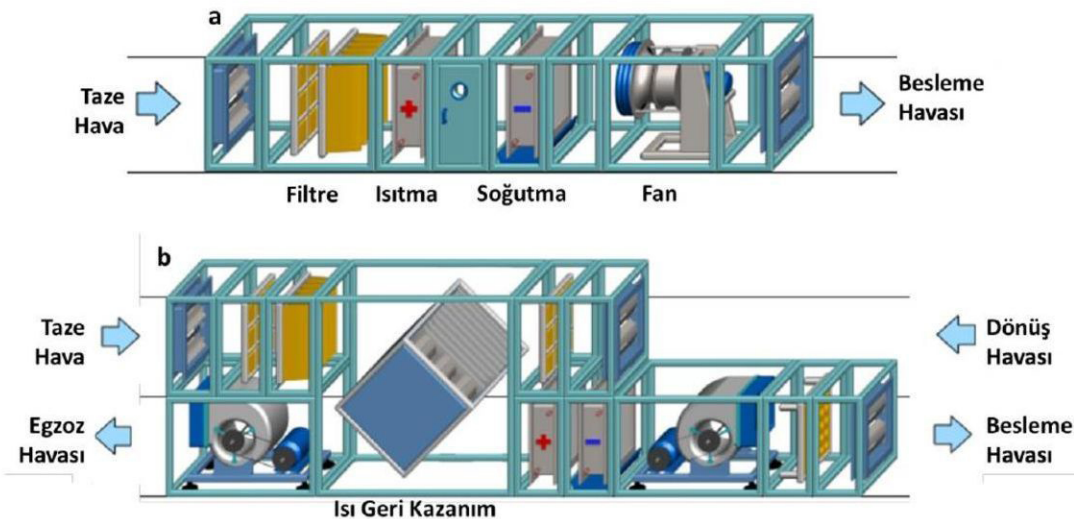
Bu çalışmada eko tasarıma uygun klima santrali tasarımı elde etmek üzerine çalışılmıştır. Klima santralinin farklı boyutlarda seçilmesinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca farklı komponent seçimlerinin eko tasarım uygunluğuna etkisi araştırılmış ve tasarım önerilerinde bulunulmuştur.

## 2. MATERYAL VE METHOD

### 2.1. Klima Santrali

Eko tasarım uygunluk kriterleri klima santrali tipine göre değişmektedir. Bu çalışmada %100 taze havalı tek katlı ve ısı geri kazanımlı çift katlı santral tipleri incelenmiştir. Tek katlı santraller dışarıdan aldığı taze havayı şartlandırarak besleme havasını iç ortama ileten santrallerdir. Çift katlı santraller ise besleme havasını gönderirken aynı zamanda iç ortamdaki kirli havayı egzoz havası olarak uzaklaştıran santrallerdir.

İncelenen tek katlı santral temel komponentler olan filtre, ısıtma ve soğutma bataryaları, damla tutucu ve fan oluşmaktadır (Şekil 1.a). Çift katlı santralin taze hava hattında da aynı komponentler bulunmaktadır (Şekil 1.b). Buna ek olarak ısı geri kazanım cihazı yer almaktadır. Ayrıca egzoz havası hattında ise filtre ve fan bulunmaktadır. Belirtilen komponentlerin seçimlerindeki değişim ile klima santrali eko tasarım uygunluğu incelenmiştir.



Klima santrali boyutlandırılması santral kesidinde oluşan hava hızına göre belirlenmektedir. Farklı kesitlerde santraller seçilerek farklı kesit hızları eko tasarım açısından değerlendirilmiştir. Her bir kesite göre komponentlerin seçimleri ve doğal olarak boyutları değiştirilmiştir.

Fanlar klima santrallerinde enerji tüketen cihazlardır. O yüzden fan seçimleri enerji verimliliği açısından önemlidir. Olabildiğince az güç tüketecek şekilde fanların seçimine özen gösterilmelidir. Bu çalışmada farklı verime sahip fan seçimleri yapılarak eko tasarıma etkisi araştırılmıştır. Ayrıca fan tipi olarak plug fan olarak adlandırılan harici bir kontrolcü ile kontrol edilen "AC (alternatif akımlı)" fan ile EC (elektronik kontrollü) fan olarak adlandırılan ve kendiliğinden kontrollü fan seçimleri karşılaştırılmıştır.

Fan güç tüketimi komponentlerin basınç kayıplarından oluşan santral iç basınç kaybından etkilenmektedir. İç basınç kaybını azaltmak için komponent seçimleri değiştirilmiştir. F7 sınıfı filtrelerin üç farklı boyunda seçimler yapılmıştır. Bu boylar 292 mm, 360 mm ve 500 mm boylarıdır. 292 mm boyu rijit filtre tipinde iken 360 mm ve 500 mm olanlar torba filtre tipindedir. Ayrıca çift katlı santrallerde farklı ısı geri kazanım tipleri seçimi ile iç basınç kaybı değeri değiştirilerek eko tasarıma etkisi araştırılmıştır. Isı geri kazanım tipi olarak plakalı ve rotorlu tip cihazlar seçilmiştir.

Isı geri kazanım cihazlarının kullanımı eko tasarım uygunluğu açısından zorunludur. Bu sayede egzoz havası enerjisinden faydalanılarak taze havayı şartlandırmak için harcanan enerji azaltılmaktadır. Bu çalışmada ısı geri kazanım verim değeri değişiminin eko tasarıma etkisi incelenmiştir.

Klima santrali boyutlandırılması, komponent seçimleri ve performans değerlerinin hesaplanmasında "Alarko Airovision Builder" seçim programı kullanılmıştır.

## 2.2. Eko Tasarım Kriterleri

Klima santralleri için eko tasarım kriterleri ve hesaplamaları EU 1253/2014 [4] regülasyonunda belirtilmiştir. Bu yönerge havalandırma ünitelerini kapsamaktadır. Üniteler tek yönlü ve çift yönlü olarak ikiye ayrılmıştır ve her iki tip için kriterler ayrı ayrı belirlenmiştir. Tek yönlü havalandırma ünitesi en az bir fan ve filtreden oluşan tek katlı klima santralidir. Çift yönlü havalandırma ünitesi ise ısı geri kazanım (IGK) cihazına sahip çift katlı klima santralidir.

Eko tasarım uygunluğu ana kriteri spesifik fan gücü ( $SFP_{int}$ ) değeridir. Filtre ve IGK komponentlerinden meydana gelen basınç kaybı değerinin fan sistemi vermeye ( $\eta_{fan}$ ) bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Fan sistemi verimi hesaplanırken fan, motor, frekans invertörü ve varsa kayış-kasnak verimleri ve de hesaba katılmalıdır.  $SFP_{int}$  değerinin ünite tipine göre belirlenen

limit değeri ( $SFP_{int}$ , limit) geçmemesi istenmektedir. Limit değerler Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.**  $SFP_{int}$  limit [ $W/m^3/s$ ] değerleri

Ünite Tipi	Kural	Maximum Limit
Tek Yönlü	Her zaman	230
Çift Yönlü	Hava Debisi < 2 m <sup>3</sup> /s	Denklem 4*
	Hava Debisi ≥ 2 m <sup>3</sup> /s	Denklem 5*

\* Plakalı ve rotorlu IGK cihazları için geçerlidir. Çevrimsel ısı geri kazanım sistemlerinde hesaplama farklıdır.

Klima santralinde ısıtma, soğutma bataryası vb. başka komponentler olsa bile eko tasarım kriterleri sadece filtre ve IGK komponentlerini dikkate almaktadır. Denklem 1' de tek katlı santraller için hesaplama gösterilmiştir.  $SFP_{int,T}$  tek katlı santral  $SFP$  değerini ve  $\Delta PF$  [Pa] biriminde filtre basınç kaybını ifade etmektedir. Çift katlı santral için  $SFP$  değeri ( $SFP_{int,\zeta}$ ) hesaplaması 2 nolu denklem ile gösterilmiştir. Taze hava ve egzoz havası için ayrı ayrı hesaplama yapılmış ve toplanmıştır.  $\Delta PF_{F,S}$  ve  $\Delta PF_{F,E}$  sırasıyla taze hava ve egzoz havası tarafında bulunan filtrelerin [Pa] biriminde basınç kaybı değerleridir.  $\Delta P_{IGK,S}$  ve  $\Delta P_{IGK,E}$  terimleri sırasıyla IGK cihazının taze hava ve egzoz havası tarafındaki [Pa] cinsinden basınç kaybı değerlerini göstermektedir.  $\eta_{fan,S}$  ve  $\eta_{fan,E}$  terimleri ise sırasıyla taze hava ve egzoz havası fan sistemi verimlerini ifade etmektedir.

$$SFP_{int,T} = \frac{\Delta P_F}{\eta_{fan}} \quad (1)$$

$$SFP_{int,\zeta} = \frac{\Delta P_{F,S} + \Delta P_{IGK,S}}{\eta_{fan,S}} + \frac{\Delta P_{F,E} + \Delta P_{IGK,E}}{\eta_{fan,E}} \quad (2)$$

Bunun dışında komponentlere ait limitler de bulunmaktadır. Limitler Tablo 2' de gösterilmiştir. Limit değerleri filtre, IGK ve fan için verilmiştir. Filtre için filtreleme hassasiyeti limit olarak verilmiştir. Taze hava hattında minimum F7 ve egzoz havası hattında minimum M5 sınıfı filtrelerin kullanılması gerektiği belirtilmiştir. IGK komponenti için sıcaklık verimi değeri limit olarak belirlenmiştir. Plakalı ve rotorlu IGK için minimum %73 kış verimine sahip cihaz kullanılması gerektiği zorunluluğu getirilmiştir. Fan sistemi için ise shaft gücüne bağlı bir minimum verim hesaplaması verilmiştir. Bu çalışmada seçilen tüm santrallerde komponentlerin minimum limitlerine uyulmuştur.

**Tablo 2.** Komponent limitleri

Limit	Kural	Minimum Limit
Fan Sistemi Verimi [%]	Şaft Gücü ≤ 30 kW	Denklem 3
	Şaft Gücü > 30 kW	63,1
Filtre Sınıfı	Taze Hava	F7
	Egzoz Havası	M5
IGK Sıcaklık Verimi [%]	Plaka veya Rotor	73

Fan sistemi verimi limiti sadece tek katlı klima santrallerinde geçerlidir. 30 kW ve bu değerden küçük şaft gücüne sahip fan sistemleri için verim limitinin hesaplanması 3 nolu denklem ile gösterilmiştir. 30 kW şaft gücünden büyük sistemler için minimum limit %63,1 değeridir. Belirtilen değerlerden düşük verime sahip fan sisteminin kullanılması durumunda eko tasarım uygunluğu bozulmaktadır. Bu çalışmadaki fan sistemi seçimlerinde minimum fan sistemi verimine uyulmuştur.

$$Fan\ Sistemi\ Verim\ Limiti = 6,2 \ln P + 42 \quad (3)$$

Filtre limitine tek katlı santralde uyulması zorunludur. Eğer F7 sınıfından daha düşük bir filtre seçilirse tek katlı santral eko tasarıma uygun olmamaktadır. Çift katlı klima santralinde ise limitlerden daha düşük sınıfa sahip filtre kullanılırsa, filtre düzeltme faktörü ile  $SFP_{int}$  limit değeri değiştirilmektedir. Filtre düzeltme faktörleri Tablo 3’ de gösterilmiştir. Bu değerler 4 ve 5 nolu denklemlerde belirtilen F ifadesi ile hesaba katılmaktadır. Denklemdeki V ifadesi  $m^3/s$  cinsinden hava debisini ifade etmektedir. Bu şekilde limitlere uyulmadığı durumlarda ceza olarak nitelendirilen ek faktörler ile  $SFP_{int}$  limit değeri düşürülerek eko tasarıma uygun tasarım elde edilmesi zorlaştırılmaktadır. Bu durum tasarımcıyı limitlere uymaya zorlamaktadır. Bu çalışmada seçilen tüm klima santrallerinde filtre limitlerine uyulmuştur.

**Tablo 3. Çift katlı santrallere uygulanan filtre düzeltme faktörleri**

Uyumsuzluk Durumu	Filtre Düzeltme Faktörü (F) [ $W/m^3/s$ ]
Egzoz havasında M5 ve üstü filtre yok ise	150
Taze havada F7 ve üstü filtre yok ise	190
Taze Havada F7 ve üstü ile Egzoz havasında M5 ve üstü filtre yok ise	340

$$SFP_{int,limit} = 1,1 + E - 300 \frac{V}{2} - F \quad V < 2 \frac{m^3}{s} \quad (4)$$

$$SFP_{int,limit} = 800 + E - F \quad V \geq 2 \frac{m^3}{s} \quad (5)$$

IGK verim limitinden düşük bir komponent kullanımı çift katlı klima santralini eko tasarıma uygunsuz yapmaktadır. Bunun yanında daha yüksek verime sahip IGK seçimi  $SFP_{int}$  limit değerini etkilemektedir. Bu etki  $SFP_{int}$  limit hesabı olan 4 ve 5 nolu denklemlerinde IGK düzeltme faktörü (E) ile dikkate alınmaktadır. Bu faktör filtre düzeltme faktörünün tersine olumlu olarak etki etmektedir. 6 nolu denklem ile hesaplanmaktadır.  $\eta_{IGK}$  ifadesi IGK sıcaklık verimini göstermektedir. IGK verimi limit değeri olan %73 verimin üstünde bir verim seçilirse  $SFP_{int,limit}$  değeri artmaktadır. Bu da eko tasarıma uygun santral seçimini kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada tüm IGK cihazları minimum %73 verime sahiptir. Daha büyük verime sahip IGK cihazlarının etkisi incelenmiştir.

$$E \left[ \frac{W}{m^3/s} \right] = (\eta_{IGK} - 0,73) 3000 \quad (6)$$

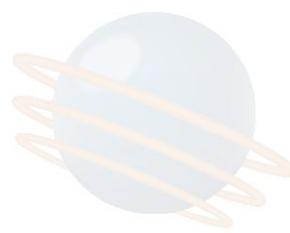
Yukarıda bahsedilen kriterlerin hesaplanması ve kontrol edilmesi için “Alarko Airovision Builder” klima santrali tasarım programı kullanılmıştır.

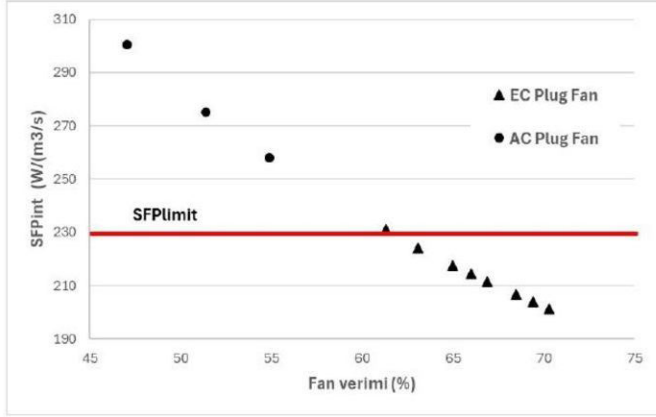
### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde projelerde sıklıkla karşılaşılan %100 taze havalı tek yönlü, plakalı ve rotorlu ısı geri kazanımlı çift yönlü farklı konfigürasyonlardaki santrallerin seçim parametrelerinin ekotasarım direktifi uygunluğuna etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

Klima santrallerinde enerji tüketen en önemli cihazlar fanlardır. Bu nedenle başlangıçta fan güç tüketiminin ekotasarıma uygun klima santrali seçimine etkisi incelenmiştir. Bunun için birebir aynı boyut ve kapalıdaki %100 taze havalı tek yönlü santral içerisinde farklı motor teknolojilerine sahip farklı verimlerdeki fanlar seçilmiştir. Santraldeki diğer tüm komponentler seçimlerde sabit tutulmuştur. Seçimler 1,94 m/s hava kesit hızında ve 10000  $m^3/h$  hava debisinde yapılmıştır. Her bir seçim için fan güç tüketimleri, fan verimleri ve  $SFP_{int}$  değerleri hesaplanmıştır. Ekotasarım uygunluğu için en önemli parametre olan  $SFP_{int}$  nin fan verimine ve fan güç tüketimine göre değişimi sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’ de grafikler halinde verilmiştir.

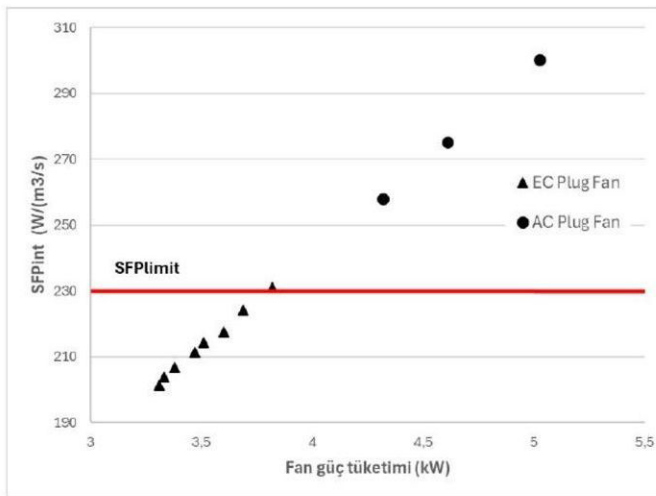
Şekil 2’ de AC (alternatif akımlı) plug fanlı ve dahili kontrollü EC fanlı %100 taze havalı klima santrallerinin  $SFP_{int}$  değerlerinin limit  $SFP_{int}$  e göre karşılaştırılması grafik halinde görülmektedir. Eko tasarıma uygunluk için seçilen klima santrallerinin  $SFP_{int}$  değeri limit  $SFP_{int}$  değerinin altında olmalıdır. Şekil 2’ deki grafik incelendiğinde EC fanlı seçimlerin büyük çoğunluğunun  $SFP_{int}$  değeri %100 taze havalı santraller için direktifte belirtilen limit  $SFP_{int}$  değerinin altında olduğu görülmektedir. Yine Şekil 2’ den AC plug fanlı seçimlerin belirtilen şartlardaki klima santrali için ekotasarıma uygun olmadığı görülmektedir. Bu durum EC plug fanların AC plug fanlara göre daha verimli olmasının bir sonucudur. Fan verimi arttıkça aynı tasarım şartları ve kapasite için fanların güç tüketimleri azalmaktadır. Bu nedenle  $SFP_{int}$  değerleri verimli fanlar için daha düşük hesaplanmaktadır.





**Şekil 2.** Tek yönlü %100 taze havalı santrallerin fan verimine göre SFPint değerleri

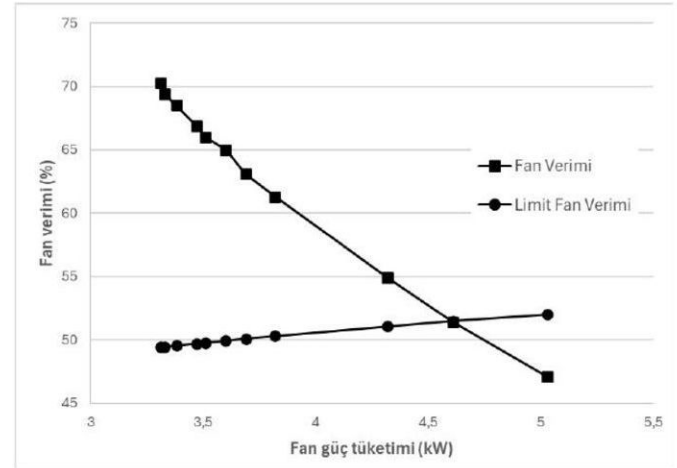
Şekil 3’ de aynı seçimler için  $SFP_{int}$  değerlerinin bu sefer fan güç tüketimleri ile ilişkisi incelenmiştir. Şekil 3 değerlendirildiğinde fan güç tüketimleri ile SFPint değerleri arasında bir doğru orantı olduğu açıkça görülmektedir. Yani fan güç tüketimi arttıkça fanlar tarafından sağlanan hava debisi için gereken elektrik gücü artmaktadır. Tüm bu incelemeler göz önünde bulundurulduğuna limit SFPint değerinin altında bir SFPint’ e sahip olmak için verimli fanlar seçilerek güç tüketimleri azaltılmalıdır. Ayrıca ekotasarım direktifinde fan güç tüketimlerine göre belirtilen olması gereken minimum fan verimi değeri ile de fanların verimli seçilmesinin önemi görülmektedir.



**Şekil 3.** Tek yönlü %100 taze havalı santrallerin fan güç tüketimine göre SFPint değerleri

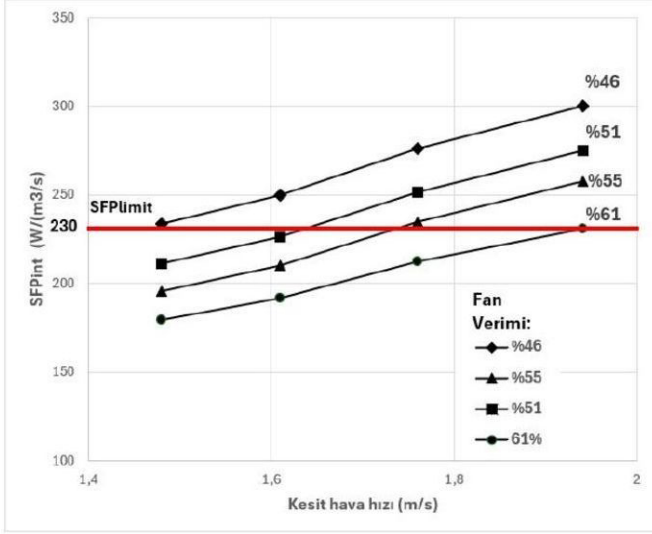
Eko tasarım direktifi  $SFP_{int}$ ’ in yanında ayrıca %100 taze havalı santrallerdeki fanlar için fan güç tüketimlerine göre bir limit fan değeri belirtilmiştir. Fanlar bu limit veriminin üstünde seçilmelidir. SFPint limit değerinin üstünde olsa bile fan limit verim değerinin altında olduğunda ekotasarım direktifine uygunluk sağlanamamaktadır. Fan güç tüketimi hem SFPint’ e hemde limit fan verimine etki etmektedir. Bu da klima santrallerinde verimli fan seçiminin eko tasarım uygunluğu için ne kadar önemli

olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda yapılan seçimler için fan güç tüketimi ile limit verim değeri ve gerçek verim değeri arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için Şekil 4’ te sonuçlar aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde fan güç tüketimi arttığında limit fan verim değerinde arttığı görülmektedir. Bu nedenle ekotasarım uygun santral seçimlerinde gereken tasarım şartları ve kapasiteyi daha düşük güç tüketen verimli fanlar seçerek sağlamak önem arz etmektedir.



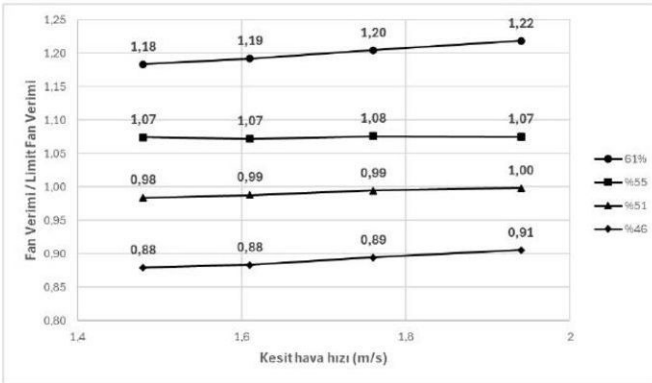
**Şekil 4.** Fan güç tüketimine göre gerçek çalışma koşullarındaki fan verimi ile limit fan veriminin ilişkisi

Klima santrallerinin diğer bir önemli seçim kriteri de kesit hava hızıdır. Kesit hava hızının eko tasarıma uygun santral seçimlerine etkisi incelemek için yapılan seçimlerde eko tasarıma uygun olmayan santrallerin aynı fanlarla santral boyutları değiştirilerek farklı hava kesit hızlarında seçimleri yapılmıştır. Seçimler ilk yapılan seçimlerde eko tasarıma uymayan 4 farklı fanlar için yapılmıştır. Farklı verimlerdeki fanların kesit hava hızı değişimine göre  $SFP_{int}$  değerleri Şekil 5’ de aynı grafik üzerinde verilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde eko tasarıma uymayan santrallerin boyutları artırılıp kesit hava hızları düşürüldüğünde SFPint değerlerinin düştüğü açıkça görülmektedir. Kesit hızları düştüğünde santral içerisindeki komponentlerin hava statik basınç kayıpları da düşmektedir. Bu sayede fanın karşılaması gereken toplam statik basınç kayıpları azalmaktadır. Bunun sonucu olarak fan güç tüketimleri azalmakta ve SFPint değeri azalmaktadır. Bu sayede kesit hava hızları düşürülerek SFPint değeri limit değerinin altına çekilebilmektedir. Daha düşük kesit hızları için daha büyük boyutta santraller seçilmesiyle ilk yatırım maliyetleri ve mekanik odada santralin kapladığı alan artmaktadır. Fakat bunlar bir dezavantaj olarak görülmemelidir. Eko tasarım direktifi temelde enerji tasarrufunu hedeflemektedir. Bu sayede eko tasarıma uygun santraller elektrik ve doğalgaz tüketimlerini ve maliyetlerini azaltacaktır.



**Şekil 5** Tek yönlü %100 taze havalı santrallerin kesit hava hızlarına göre SFPint değerleri

Eko tasarıma uygunlukta  $SFP_{int}$  değerinin yanında yine limit fan verimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Kesit hava hızına göre fan güç tüketimleri değiştiği için limit fan verimleri de değişmektedir. Şekil 6' da kesit hava hızına göre fan veriminin limit fan verimine oranı verilmektedir. Fan veriminin limit fan verimine oranı 1' den büyük olduğunda eko tasarım verim koşulu sağlanmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6 beraber incelendiğinde örneğin %51 verimdeki fan için 1,61 m/s kesit hava hızında SFPint değeri limit SFP değerinin altına düşmektedir. Fakat bu durumda fan verim oranı da 1' in altına düşmektedir. SFPint değeri limit değer altına düşmesine rağmen limit fan verimine ulaşamadığı için ekotasarım uygunluğu sağlanamamaktadır.



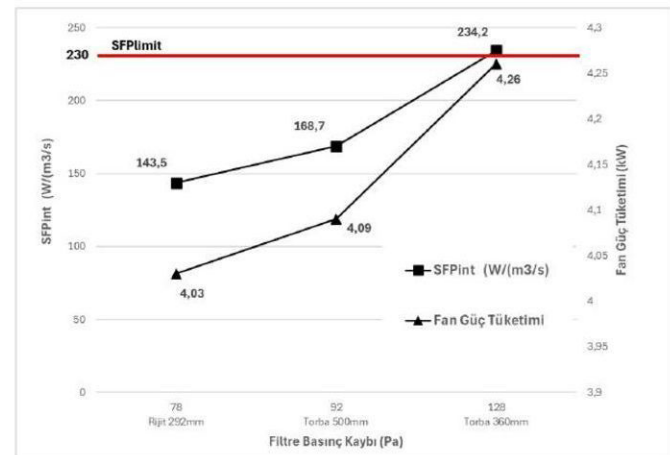
**Şekil 6** Tek yönlü %100 taze havalı santrallerin kesit hava hızlarına göre fan verim oranları

Yine Şekil 5 ve Şekil 6 beraber incelendiğinde düşük verimli (%46) fan için kesit hava hızı düşürüldüğünde bile  $SFP_{int}$  değerleri limit değer üzerinde kalmaktadır. Kesit hava hızı daha da fazla düşürüldüğünde %46 verim fan için SFPint değerinin limit değer altına düşeceği Şekil 5' den görülmektedir. Fakat Şekil 6' dan görülmektedir ki kesit hava hızı düşüşünde fan verim oranı daha da düşmekte ve limit fan verimi karşılanamamaktadır. Düşük verimli fanlar için SFPint değeri farklı seçeneklerle ne kadar düşürülürse düşürülsün fan verimi çok düşük olduğu için limit fan

verimini karşılayamayacak ve eko tasarıma uygun santral seçilemeyecektir.

Ayrıca Şekil 4 ve Şekil 6 beraber incelendiğinde yüksek verimli fanlar için fan veriminin limit fan verimi ile arasındaki farkın daha büyük olduğu görülmektedir. Bu da yüksek verimli fanların limit fan veriminin altına düşmesinin daha zor olacağını ifade etmektedir. Bütün bu bulgular eko tasarıma uygun santral seçiminde verimli fan seçiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Eko tasarım direktifinin en önemli parametresi olan SFPint değerini etkileyen parametrelerden biri de santraldeki havalandırma komponentlerinin statik basınç kayıplarıdır. Bu basınç kayıpları ayrıca fanın karşılayacağı toplam statik basınç kaybını etkilediği için fan güç tüketimi üzerinde de doğrudan etkisi vardır. Bu kapsamda %100 taze havalı santraller için filtre basınç kayıpları önem arz etmektedir. %100 taze havalı santrallerde filtre seçiminin eko tasarıma uygun santral seçimlerine etkisini incelemek için aynı kapasitedeki ve boyuttaki santral için farklı tipte ve boyutta filtreler ile seçimler yapılmıştır. Bu seçimler ilk yapılan seçimler arasından eko tasarıma uygun olmayan %55 verimli fanlı santral için yapılmıştır. Seçimlerde F7 veriminde 360 mm ve 500 mm torba uzunluğunda torba filtre ve 292 mm uzunluğunda rijit F7 filtre tercih edilmiştir. Şekil 7' de filtre basınç kaybına göre SFPint ve fan güç tüketimleri farklı filtre tipleri ve boyutları için aynı grafikte verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde SFPint ve fan güç tüketimleri filtre basınç kaybı düştükçe azalmaktadır. Şekil 7' de görülmektedir ki aynı kapasitede ve boyuttaki santral 360 mm torba filtre ile 234,2 W/m³/s SFPint değerine sahip olup limit SFPint' in üzerinde kalmaktadır. 500 mm torba filtre ile bu değer 168,7 W/m³/s'ye, 292 mm rijit filtre ile 143,5 W/m³/s' ye düşmektedir. Bu sayede başlangıçta 360 mm torba filtre ile ekotasarıma uygun olmayan santral filtre tipi değiştirilerek ekotasarıma uygun seçilebilmiştir. Ayrıca Şekil 7'de SFPint ve fan güç tüketimi grafikleri beraber incelendiğinde SFPint değişiminin fan güç tüketimi değişimi ile aynı davranışı gösterdiği gözlemlenebilmektedir.

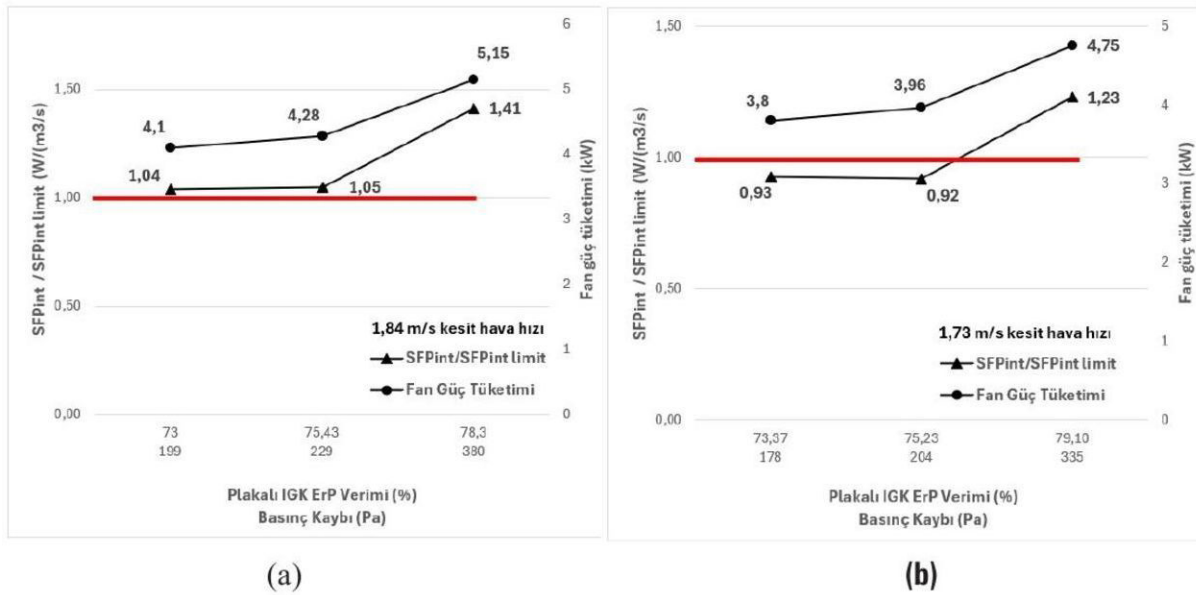


**Şekil 7** Filtre tiplerine göre SFPint ve fan güç tüketimi değişimi

Bu bölüme kadar tartışma ve bulgular %100 taze havalı tek yönlü klima santralleri için değerlendirilmiştir. Bu bölümden sonraki tartışma ve bulgular çift yönlü klima santralleri için yapılacaktır.

Çift yönlü klima santrallerinde ekotasarım direktifi hesaplamalarını ayrıca ısı geri kazanım (IGK) cihazının verimi ve basınç kaybı da etkilemektedir. IGK cihazının veriminin ve basınç kaybının ekotasarıma uygun klima santrali seçimine etkisini incelemek için birebir aynı kapasitede ve boyuttaki santraller ile farklı verimlerdeki

plakalı IGK cihazlarının seçimleri yapılmıştır. Seçimlerde farklı lamel aralıklarına sahip farklı verimlerdeki aynı model plakalar kullanılmıştır. Ayrıca seçimler santral boyutları değiştirilerek farklı kesit hava hızları için tekrarlanmıştır. 4 m<sup>3</sup>/s hava debisinde; 1,84 m/s ve 1,73 m/s kesit hava hızlarında plakalı IGK cihazının verimi ve basınç kaybı ile SFP<sub>int</sub> ve fan güç tüketimleri arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 8.a' da ve Şekil 8.b' de aynı grafik üzerinde verilmiştir. Grafiklerin sol eksenin SFP<sub>int</sub>' in limit SFP<sub>int</sub>' ye oranı verilmiş olup bu değer 1' in altına düştüğünde SFP<sub>int</sub> limit şartı sağlanabilmektedir.



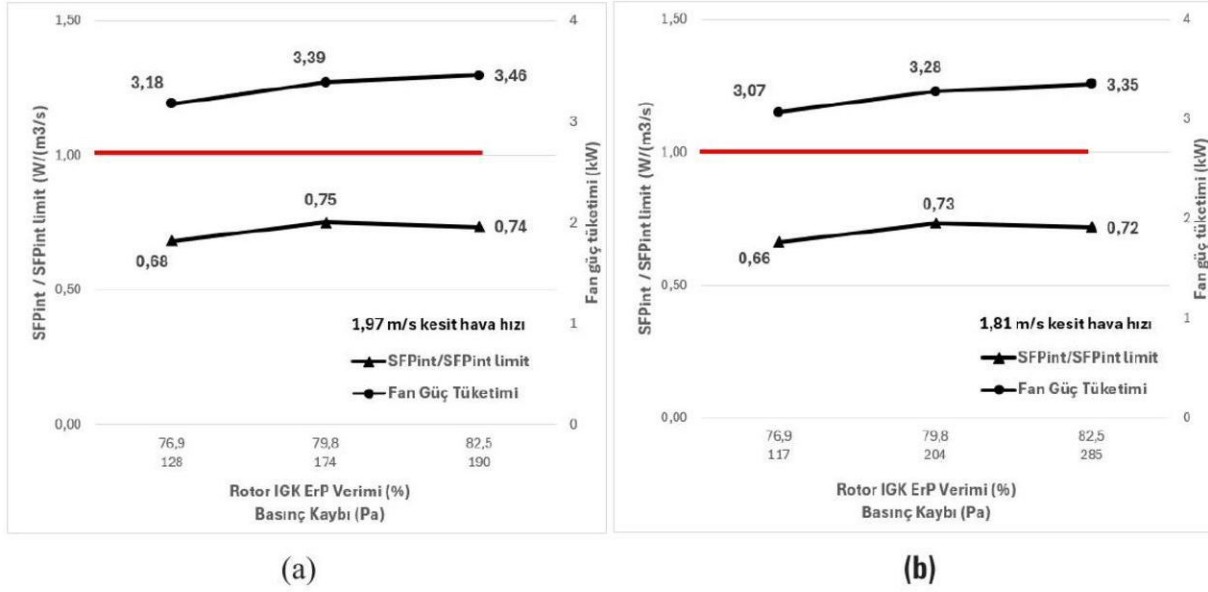
Şekil 8 Plaka verimi ve basınç kaybı ile SFP<sub>int</sub> oranı ve fan güç tüketimi ilişkisi

a) 1,84 m/s kesit hava hızında b) 1,73 m/s kesit hava hızında

IGK verimi arttığında ekotasarım direktifi limit SFP<sub>int</sub>' yi arttıracak şekilde bonus vermektedir. Aynı zamanda IGK verimi arttığı için IGK basınç kaybı artacak ve buna bağlı olarak fan güç tüketimi artacaktır. Bu nedenle de hesaplanan SFP<sub>int</sub> artacaktır. Şekil 8.a ve Şekil 8.b incelendiğinde IGK verim artışı ile belli bir noktaya kadar SFP<sub>int</sub> oranı yaklaşık olarak aynı kalmaktadır. Belli bir noktadan sonra daha fazla verimli IGK seçildiğinde SFP<sub>int</sub> artış oranı artmakta ve limit SFP<sub>int</sub> koşulu sağlanamamaktadır. Burada belli bir noktadan sonra SFP<sub>int</sub> hesabında basınç kaybının etkisinin verime göre daha fazla arttığı açıkça görülmektedir. Ayrıca daha fazla verimli plakalı IGK seçildiğinde fan güç tüketimi artış oranının da basınç kaybının artması nedeniyle arttığı şekillerden görülmektedir. Bütün bunları gözönünde bulundurarak eko tasarıma uygun santral seçmek için plakalı IGK cihazı verimi ve basınç kaybını optimum oranda tutacak şekilde seçilmelidir.

IGK verimi ve basınç kaybının eko tasarım hesabına etkisini incelemek için aynı değerlendirme ayrıca rotorlu (tamburlu) IGK cihazı için yapılmıştır. Birebir aynı

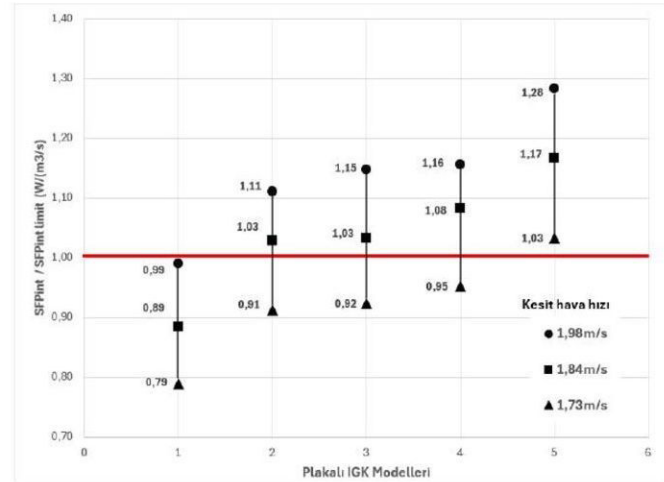
kapasitede ve boyuttaki santraller ile farklı verimlerdeki rotorlu IGK cihazlarının seçimleri yapılmıştır. Seçimlerde farklı lamel aralıklarına sahip farklı verimlerdeki aynı model rotorlar kullanılmıştır. Ayrıca seçimler santral boyutları değiştirilerek farklı kesit hava hızları için tekrarlanmıştır. 4m<sup>3</sup>/s hava debisinde; 1,97m/s ve 1,81m/s kesit hava hızlarında rotorlu IGK cihazının verimi ve basınç kaybı ile SFP<sub>int</sub> ve fan güç tüketimleri arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 9.a' da ve Şekil 9.b' de aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 9.a ve Şekil 9.b incelendiğinde plakalı IGK seçimlerinin aksine rotor IGK verimi belli bir noktaya kadar arttığında SFP<sub>int</sub> oranı artmakta sonrasında yaklaşık olarak aynı kalmaktadır. Rotor IGK verimi artışına göre basınç kaybı artış oranları plakalı IGK' da olduğu gibi fazla artmamaktadır. Buna bağlı olarak fan güç tüketimlerinin artış oranı daha düşüktür. Ayrıca rotorların plakalara göre daha verimli olduğu bilinmektedir. Verim ve basınç kaybının etkilerini birlikte düşündüğümüzde eko tasarıma uygun santral seçimlerinde rotor IGK' nın plakalı IGK' ya göre eko tasarım direktifi koşullarını daha kolay sağlayabildiği görülmektedir.



Şekil 9 Rotor verimi ve basınç kaybı ile  $SFP_{int}$  oranı ve fan güç tüketimi ilişkisi

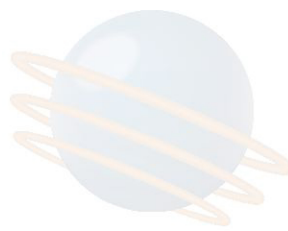
a) 1,97 m/s kesit hava hızında b) 1,81 m/s kesit hava hızında

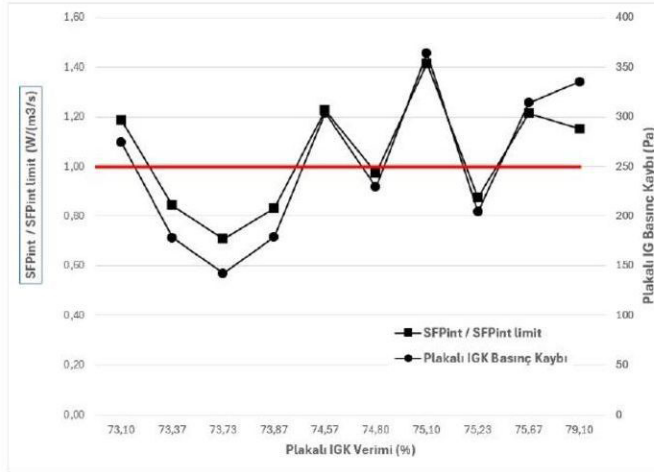
Plakalı santral seçimlerinin eko tasarım hesaplamalarını daha detaylı incelemek için farklı model ve boyuttaki plakalı IGK cihazlarının aynı boyutta ve kapasitedeki santraller ile seçimleri yapılmıştır. Seçimler  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  hava debisinde farklı boyutlardaki santrallerde 1,98 m/s, 1,84 m/s ve 1,73 m/s kesit hava hızlarında tekrarlanmıştır. Plaka modelleri için seçenekler arasından verimi yüksek basınç kaybı düşük modeller seçilmiştir. Seçimler fan seçenekleri arasında güç tüketimi en düşük verimi en yüksek fan ile yapılmıştır.  $SFP_{int}$  oranları en düşük olan 5 modelin hesaplama sonuçları Şekil 10’ da aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde her bir plaka modelini kendi içinde değerlendirdiğimizde kesit hava hızları düştüğünde  $SFP_{int}$  oranının azaldığı görülmektedir. Kesit hızı azaldığında havalandırma komponentlerinin (filtre ve IGK) basınç kayıpları azalmaktadır. Bu nedenle  $SFP_{int}$  değeri azalmaktadır. Yine Şekil 10 incelendiğinde 1,98 m/s ve 1,84 m/s hava hızlarında sadece 1 plaka modeli  $SFP$  limitini sağlayıp ilgili santral eko tasarıma uygun seçilebilmiştir. Yapılan incelemelerde plakalı santrallerin düşük kesit hava hızlarında ekotasarıma uygun seçilebildiği gözlemlenmiştir. Bunun için santral boyutlarının büyümesi gerektiği gözlenmiştir. Bu da santralin hem mekanik odada daha fazla alan ihtiyacına hem de ilk yatırım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 10’ da 2, 3 ve 4 nolu modellerde eko tasarıma uygunluk için kesit hızının 1,98 m/s değerinden 1,73 m/s değerine düşürülmesi gerektiği görülmektedir. Bu da yaklaşık %15 oranında santral kesidini büyütme anlamındadır. Bunun yanında 5 nolu model için %15 kesit artışında eko tasarıma uygunluk sağlanmamıştır. Model 5 için santral kesit alanının yaklaşık %20 oranında büyütülmesi gerekmektedir. Tüm bu incelemeler değerlendirildiğinde plakalı santrallerin ekotasarıma uygun seçilebilmesi için santrallerin yaklaşık %15-20 oranında büyük seçilmesi gerektiği görülmektedir.



Şekil 10 Farklı kesit hava hızlarında plakalı santrallerin  $SFP_{int}$  oranları

Son olarak plakalı IGK verim ve basınç kaybının  $SFP_{int}$  hesabına etkisini daha kapsamlı gözlemleyebilmek için aynı boyutta ve kapasitedeki santralde 10 farklı boyutta ve verimdeki plakaların seçimleri yapılmıştır. Şekil 11’ de 10 farklı plaka için hesaplanan  $SFP_{int}$  oranının IGK verimi ve basınç kaybına göre ilişkisi aynı grafik üzerinde verilmiştir.  $SFP_{int}$  oranının 1’ in altında olması seçilen santralin eko tasarıma uygunluğunu ifade etmektedir. Şekil 11 incelendiğinde IGK verimlerinin artmasına rağmen  $SFP_{int}$  oranının plakaların basınç kaybı değişimi ile aynı davranışı sergilediği görülmektedir. Bu da eko tasarıma uygun plakalı santral seçimlerinde verime nazaran plaka basınç kaybının daha etkin rol oynadığını göstermektedir. Şekil 11 plaka seçimlerinde verim ve basınç kaybını optimum oranda seçmenin önemini tekrar göstermektedir.





**Şekil 11** Plakalı santrallerin  $SFP_{int}$  değerlerinin plaka verimi ve basınç kaybı ile ilişkisi

## SONUÇ

Klima santrali tasarım parametrelerinin eko tasarım direktifi gerekliliklerine etkisi incelenmiştir. Tek yönlü santrallerde farklı fan motor teknolojisine sahip fan seçimleriyle fan verimi ve fan güç tüketiminin  $SFP_{int}$ 'ye etkisi gösterilmiştir. Bunun yanında santral tasarım parametrelerinden kesit hızı ve filtre tipinin değişimi ile  $SFP_{int}$  ve fan güç tüketiminin nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Tek yönlü santraller için yapılan incelemelerde EC fanlı santrallerin çoğu zaman ekstra bir iyileştirmeye ihtiyaç olmadan ekotasarım direktifine uygun seçilebildikleri görülmüştür. AC fanlı santrallerin düşük fan verimleri nedeniyle ekotasarıma uygun seçilebilmesinin daha zor olduğu gözlenmiştir. Ayrıca yapılan bazı seçimlerde  $SFP_{int}$  limit şartının sağlanmasına rağmen fan limit verim şartının sağlanmadığı görülmüştür. Tüm bunlar ekotasarım gereklilikleri için verimli fan seçiminin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Daha büyük santraller seçilip kesit hava hızı düştüğünde fan güç tüketimlerinin ve  $SFP_{int}$ 'nin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca farklı tipte ve boyutta filtrelerin seçilmesiyle basınç kayıplarının düştüğü ve yine  $SFP_{int}$ 'nin düştüğü görülmüştür. Bu sayede kesit hızı ve filtre seçimleri değiştirilerek eko tasarıma uygun santraller seçilebilmiştir.

Çift yönlü santrallerde IGK tipi, verimi ve basınç kaybının eko tasarım direktifi gerekliliklerine etkisi incelenmiştir. Bunun yanında kesit hızının değişimi ile  $SFP_{int}$ 'nin nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Plakalı santrallerde belli bir noktadan sonra daha fazla verimli IGK seçildiğinde  $SFP_{int}$  artış oranının arttığı gözlenmiştir. Burada belli bir noktadan sonra  $SFP_{int}$  hesabında basınç kaybının etkisinin verime göre daha fazla arttığı görülmüştür. Eko tasarım gereklilikleri için plakalı IGK cihazı verimini ve basınç kaybını optimum oranda tutacak şekilde seçilmelidir.

Rotorlu IGK cihazı daha verimli olduğu için IGK verimi arttıkça  $SFP_{int}$  hesabında verim ve basınç kaybı etkisinin aynı oranda olduğu gözlenmiştir. Ayrıca plakalı santrallerin bypass damperi gerekliliği ve düşük verimler nedeniyle ekotasarıma uygun seçilmesinin rotorlu santrallere göre daha zor olduğu görülmüştür.

Plakalı santrallerin düşük kesit hızlarında ekotasarıma uygun olabildiği tespit edilmiştir. Bunun için santral boyutları büyümekte ve santralin hem mekanik odada daha fazla alan ihtiyacına hem de ilk yatırım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Tüm bu incelemeler değerlendirildiğinde plakalı santrallerin ekotasarıma uyması için yaklaşık %15-20 oranında büyük seçilmesi gerektiği görülmektedir. Fakat bunlar bir dezavantaj olarak görülmemelidir. Ekotasarım direktifi temelde enerji tasarrufunu hedeflemektedir. Bu sayede ekotasarıma uygun santraller enerji tüketimlerini ve maliyetlerini azaltacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] ÖZÇUHADAR, T., ÖNCEL, P., "Eko-Tasarım", Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları – IV, Bölgesel Çevre Merkezi - REC, 2011
- [2] DIRECTIVE 2009/125/EC Of The European Parliament And Of The Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products.
- [3] Yönetmelik, "Enerji İle İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik", Resmî Gazete, Sayı: 27722, 2010.
- [4] COMMISSION REGULATION (EU) No 1253/2014, "Implementing Directive 2009/125/EC Of The European Parliament And Of The Council With Regard To Ecodesign Requirements For Ventilation Units, Official Journal of the European Union, 2014
- [5] Tebliğ, "Havalandırma Ünitelerinin Çevreye Duyarlı Tasarım Gerekliliklerine Dair Tebliğ", Resmî Gazete, Sayı: 31491, 2021
- [6] ÖZŞEN, M., "Effect Of Heat Exchanger Selection On The Fan Annual Energy Consumption", Virtual 14th TTMD International HVAC&R Technologies Symposium, 2020
- [7] ÖZŞEN, M., UĞUZ B., SAKA, O., "Effects Of Bypass Usage On Energy Efficiency For An Air Handling Unit", CLIMAMED 2024 - 11th Mediterranean Congress of Climatization Towards Decarbonized Buildings and Cities, Istanbul, 2024