

SİSTEM KAYIPLARININ FAN PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Burak UĞUZ*, Bülent Güven DEMİR*, Mete ÖZŞEN*

*Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş., Klima ArGe Departmanı
44180 Gebze, KOCAELİ,

burak.uguz@alarko-carrier.com.tr, bulent.demir@alarko-carrier.com.tr, mete.ozsen@alarko-carrier.com.tr

Özet: Fanların performansları belirli bir basınç kaybına karşı sağladığı hava debisi ile ölçülmektedir. Fan performansını fanın kendi tasarımı yanında fanın yerleşimi de etkilemektedir. Bu kapsamda fan çarkı ile etrafında belirli boşlukların bırakılması önemlidir. Aksi halde fan performansı olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu olumsuz etki sistem kayıpları olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışma kapsamında bir radyal plug fan üstünde incelemeler yapılmıştır. İncelenen fan farklı boyutlarda klima santrali hücrelerine yerleştirilmiştir. Bu sayede fan çarkı etrafında farklı boşluklar oluşturularak farklı sistem kayıpları elde edilmiştir. Her bir boşluk için hava debisi ve statik basınç kaybı deneysel olarak ölçülmüştür. Ölçümler sonucu fan yerleşiminin performansa etkisi araştırılmıştır. Ayrıca farklı fan devirlerinde ölçümler tekrarlanmıştır.

Hava hızları azaldığında sistem basınç kayıplarının azaldığı gözlemlenmiştir. 3700 rpm fan devrinde santral boyutu küçüldüğünde fanın sağladığı statik basınç minimum %4.3, maksimum ise %14.8 oranında azalmıştır. 4000 rpm fan devrinde santral boyutu küçüldüğünde fanın sağladığı statik basınç minimum %2.3, maksimum ise %26.9 oranında azalmıştır. Elde edilen veriler ile fan performansındaki değişimi veren bir denklem elde edilmiştir. Denklem sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırıldığında sapma oranı minimum %0.5, maksimum ise %8.2 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radyal fan, Plug fan, Sistem kayıpları, Fan performansı.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SYSTEM LOSSES ON FAN PERFORMANCE

Abstract: The performance of fans is measured by the air flow rate it provides against a certain pressure loss. In addition to the design of the fan itself, the placement of the fan also affects the fan performance. In this context, it is important to leave certain gaps around the fan impeller. Otherwise, fan performance is negatively affected. This negative effect is called system losses. In this study, a radial plug fan was investigated. The investigated fan was placed in AHU (air handling unit) cells of different sizes. In this way, different system losses were obtained by creating different gaps around the fan impeller. The air flow rate and static pressure loss for each gap were measured experimentally. As a result of the measurements, the effect of fan placement on performance was investigated. Measurements were also repeated at different fan speeds.

It was observed that system pressure losses decreased when air velocities decreased. At 3700 rpm fan speed, when the AHU size was reduced, the static pressure provided by the fan decreased by a minimum of 4.3% and a maximum of 14.8%. At 4000 rpm fan speed, the static pressure provided by the fan decreased by a minimum of 2.3% and a maximum of 26.9% when the AHU size was reduced. With the data obtained, an equation giving the change in fan performance was obtained. When the equation results are compared with the experimental data, the minimum deviation rate is 0.5% and the maximum deviation rate is 8.2%.

Keywords: Radial fan, Plug fan, System losses, Fan performance.

GİRİŞ

Yapılan çalışmalar binalarda kullanılan havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin yapılarda tüketilen enerjinin %40-60' lık bölümünü oluşturduğunu göstermektedir (Fengxia vd. 2018). İklimlendirme sistemlerinde kullanılan enerjinin büyük bir bölümünü klima

santralleri tüketmektedir (Martinaitis vd. 2018). Klima santrallerinde enerji harcayan en önemli komponent fanlardır. Bu nedenlerle klima santrali tasarımında enerji tüketimlerini minimum seviyede tutabilmek için fanların ihtiyaca uygun olarak verimli şekilde seçilmesi gereklidir. Bununla beraber gerçek çalışma koşullarında

enerji tüketiminin artmaması için fanların uygun bir şekilde santrale yerleştirilmesi önem arz etmektedir.

Fanların performansı AMCA – Air Movement and Control Association (Hava Hareketi ve Kontrolü Derneği) tarafından tanımlanan ve öngörülen test standartlarına göre laboratuvarlarda ideal şartlar altında yapılan testler sonucunda elde edilir (Canbazoğlu, 2020). Fanların performans verilerine ulaşabilmesi için fan emişindeki havanın simetrik ve girdapsız olması, fan çıkışındaki hava için tam gelişmiş akış sağlanması ve hava akışının ön-dönmesiz ve fan çarkı etrafında yeterli boşlukların olması gerekmektedir. Bu koşulların sağlanamamasının fan performansını üzerindeki etkisi sistem etkisi veya fan kurulum etkisi olarak adlandırılır (Özceviz, 2019). Sistem etkisinden kaynaklı sistem basınç kayıpları oluşur ve fanın tasarım performansı elde edilemez (AMCA 201-02, 2011).

Klima santrali tasarımında fan yerleşimi yapılırken sistem kayıplarının etkisini en aza indirmek için fan çarkı ile klima santrali duvarları arasındaki mesafelerin uygun bir şekilde belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu mesafelere dikkat edilmediğinde fan çıkışında hava akışının eşit ve düzgün olmaması, girdap oluşması nedenleriyle fan performansı üzerinde olumsuz etki gösteren sistem kayıpları oluşur. Sistem kayıpları yok edilmez ya da minimize edilmezse fanda oluşan performans eksikliklerini telafi etmek için fan devrinin ve dolayısıyla gücünün artırılması gerekecektir (Canbazoğlu, 2020). Ayrıca fan daha yüksek devirlerde çalışması gerektiği için titreşim ve ses seviyeleri artacaktır.

Yapılan çalışmada fan yerleşiminden kaynaklı sistem basınç kayıplarının radyal bir plug fanın performansına etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneyler AMCA 210 (Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating) (ANSI/AMCA 210-16, 2016) test standardına uygun olarak tasarlanmış test düzeneğinde yapılmıştır. Deneyler fan çarkı ve klima santrali duvarları arasındaki mesafelerin fan performansına etkisini gözlemleyebilmek için 2 farklı klima santrali kesiti boyutunda ve her bir boyut için 2 farklı fan devrinde yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda toplam statik basınç kayıplarına göre fanın sağladığı hava debileri elde edilmiştir. Fanın farklı santral boyutlarında aynı debiyi sağlayabilmesi için karşılayabildiği toplam statik basınç kayıplarının değişimleri incelenerek sistem kayıplarının fan performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

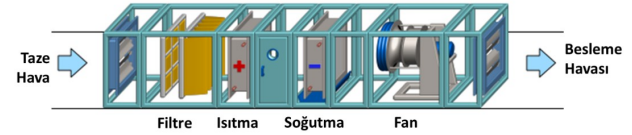
MATERYAL VE METHOD

Klima Santrali

Fan performans deneylerinin yapılması için 2 farklı yükseklik ve genişliğe sahip klima santrali seçilmiştir. Seçilen klima santrallerinde kullanılan fan, fan girişi ve çıkışı için belirlenen mesafeler aynı sadece fan çarkı ile klima santrali iç duvarları arasındaki mesafeler farklıdır. Bu sayede fan çıkışında fan çarkı ile santral duvarları

arasındaki boşluklardan dolayı oluşan sistem kayıplarının fan performansına etkisi incelenmiştir.

Klima santralinde fana karşı statik basınç oluşturmak için klima santraline fana ek olarak filtre, ısıtma ve soğutma bataryası komponentleri yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan klima santrali Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



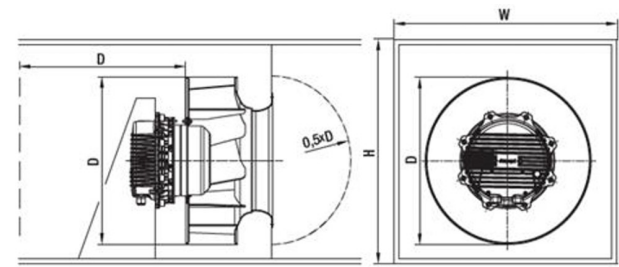
Şekil 1. Deneylerde kullanılan klima santralinin şematik gösterimi

Yapılan çalışmada EC (elektronik kontrollü) motorlu bir plug fanın performansı incelenmiştir. Fanın yerleşiminin yapıldığı santral boyutları fan çarkı etrafında uygun mesafeler olacak şekilde (sistem kayıpları oluşmayacak şekilde) hidrolik çap ile belirlenebilir. Hidrolik çap Eş. (1) den hesaplanabilir (EBM, 2018).

$$dh = 2 \times W \times H / (W + H) \quad (1)$$

Eş. (1)'de; dh hidrolik çapı [mm], W fan yerleşiminin yapıldığı santral iç genişliğini [mm], H ise fan yerleşiminin yapıldığı santral iç yüksekliğini [mm] ifade etmektedir.

Nominal fan çapı 250 mm ile 560 mm arasında olan fanlarda fan tasarım verilerinin elde edilmesi için hidrolik çapın fan çarkı dış çapına oranının minimum 1.7 olması gerekmektedir. Nominal fan çapı 630 mm ile 900 mm arasında olan fanlarda ise bu oranının minimum 2.2 olması gerekmektedir. Belirtilen oranlardan düşük çap oranlarında sistem kayıpları oluşacak ve fan performansı düşecektir (EBM, 2018).



Şekil 2. EC plug fanın klima santrali içerisinde yerleşiminin şematik gösterimi, D=280mm (EBM, 2018).

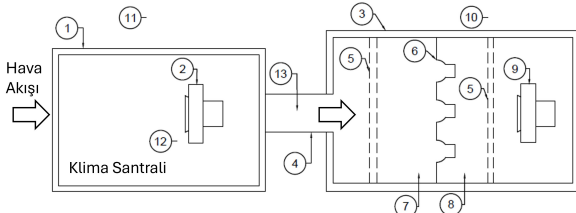
Deneylerin yapıldığı 2 farklı klima santrali boyutları ve hidrolik çapları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Fan performans deneylerinin yapıldığı klima santrali boyutları

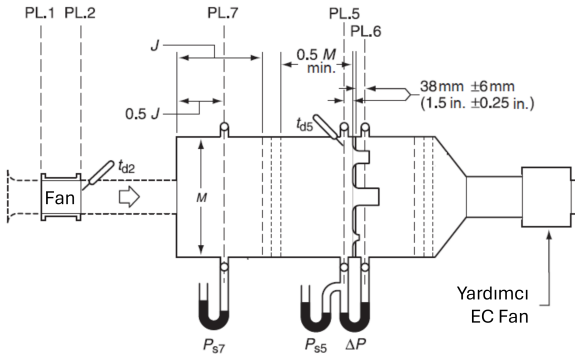
Klima Santrali	W (mm)	H (mm)	dh/D
1 nolu santral	760	600	2,40
2 nolu santral	600	360	1,61

Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda klima santrali yerleştirilen nominal çapı 250mm olan EC motorlu bir plug fanın fan performans testleri yapılmıştır. Deneylerde klima santrali AMCA 210 (Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating) test standardına uygun olarak tasarlanan test düzeneğine bağlanmıştır. Test düzeneği dış ortamdan izole klima santrali gövdesi içerisinde havanın uniform dağılımı için akış düzenleyicileri, hacimsel hava debisi hesabı için lüleler, yardımcı radyal fan ve ölçüm ekipmanlarından oluşmaktadır (Şekil 3). AMCA 210 test standardında tariflenen deney düzeneğinin şematik görseli Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Fan performans testi deney düzeneğinin şematik gösterimi 1) klima santrali, 2) plug fan, 3) yalıtılmış test düzeneği, 4) redüksiyon bağlantı, 5) akış düzenleyicileri, 6) lüle, 7), 8) lüle fark basıncı ölçümü, 9) yardımcı EC fan, 10) atmosfer basıncı ölçüm noktası, 11) ortam havası sıcaklık ve nem ölçüm noktası, 12) iç statik basınç kaybı ölçüm noktası, 13) dış statik basınç kaybı ölçüm noktası



Şekil 4. AMCA 210 test standardı deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deneyler 2 farklı klima santrali boyutunda ve her boyut için 2 farklı fan devrinde yapılmıştır. Deneylerde plug fanın %100 kapasitede 4000 rpm ve %80 kapasitede 3700 rpm fan devirlerinde toplam statik basınç kaybı ve hava debisi ölçülmüştür. Test düzeneğinde bulunan yardımcı fanın devri ayarlanarak incelenen plug fanın aynı devirde farklı çalışma noktalarında hava debisi ve toplam statik basınç kayıpları elde edilmiştir. AMCA 210 test standardı hacimsel hava debisi hesaplama yönteminde test düzeneğinde bulunan lülelerden geçen havanın ortalama hızından yararlanılmaktadır. Hava debisinin yüksek hassasiyetle hesaplanabilmesi için lülerden geçen havanın ortalama hızının belirli bir aralıkta olması beklenmektedir (ANSI/ASHRAE Standard 79-2002, 2006). Bu kapsamda her bir deney

öncesi lüle açıklıkları ayarlanarak lüle hava hızları istenilen aralıkta tutulmuştur.

Başlangıçta ideal fan performansını elde edebilmek için fan çarkı ile santral duvarları arasında uygun mesafeler olacak şekilde seçilen 1 nolu klima santralinde deneyler yapılmıştır. İdeal fan performans verileri deneysel olarak elde edildikten sonra sistem kayıplarının oluşması için fan çarkı etrafında yeterli mesafe olmayacak şekilde seçilen klima santralinde deneyler yapılmıştır. Farklı klima santrallerinde yapılan deney sonuçları karşılaştırılıp değerlendirilerek hava debisine göre sistem basınç kayıpları elde edilmiştir. Deney verilerinden faydalanılarak hava debisine bağlı olarak sistem basınç kaybını hesaplayabilmek için denklem oluşturulmuştur. Oluşturulan denklem Eş. (2)'de verilmiştir.

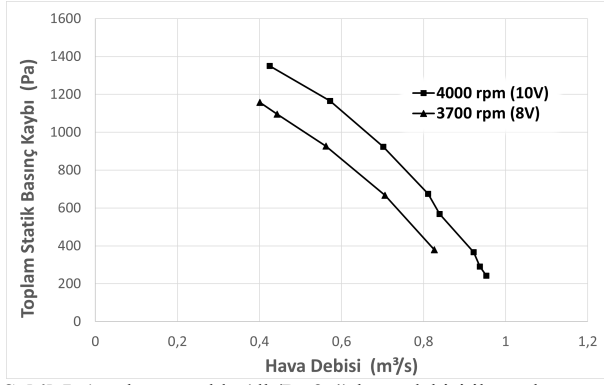
$$P_s = a \times V^2 + b \times V + c \quad (2)$$

Eş. (2)'de; P_s toplam statik basınç kaybını [Pa], V hava debisini [m^3/s], a , b ve c ise ampirik katsayıları ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

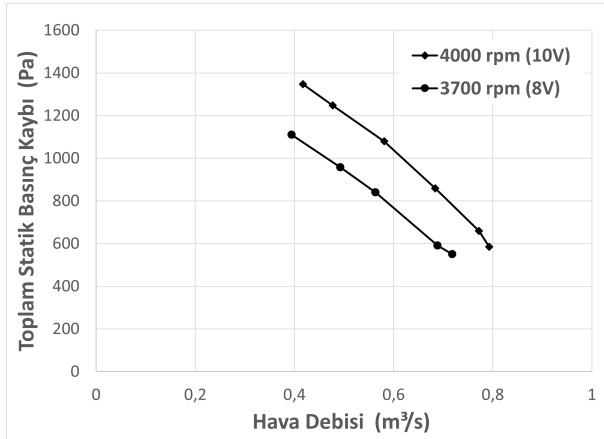
Deneysel çalışmalar kapsamında klima santrali boyutunda ve 2 farklı fan hızında fan performans deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda fanın farklı çalışma noktalarındaki hava debisi ve toplam statik basınç kayıpları elde edilmiştir.

Plug fanın ideal performans verilerini deneysel olarak elde edebilmek için başlangıçta plug fanın çapına göre boyutları büyük olan klima santralinde ($d_h/D=2,4$) deneyleri yapılmıştır. Bu sayede fan çarkı ile klima santrali iç duvarları arasındaki mesafeler sistem basınç kayıplarını minimum seviyede tutucak şekilde ayarlanabilmiştir. Sistem kayıplarının fan performansına etkisi ideal seviyede tutulmuştur. Deneylerde fan çarkı ile santralin yan duvarları arasındaki mesafe fan çapının %86'sı, fan çarkı ile santralin üst ve alt duvarları arasındaki mesafe fan çapının %57'si olacak şekilde fan performansı test edilmiştir. Deneyler fan hızı 4000 rpm ve 3700 rpm olacak şekilde 2 farklı fan devrinde yapılmıştır. Deneyler sonucunda 2 farklı fan devrinde fanın hava debisi ve toplam basınç kayıpları elde edilmiştir. Deneylerde elde edilen hava debileri ve toplam statik basınç kayıpları Şekil 5'te 2 farklı fan devri için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere hava debisi statik basınç kaybı arttıkça azalmaktadır. Bu sonuç fan çalışma eğrisinin tipik bir özelliğidir ve beklenen bir durumdur. Bunun yanında aynı hava debisindeki statik basınç değerleri düşük devirde daha düşüktür. Bu durum devir düştükçe fan performansının azaldığını göstermektedir.



Şekil 5. 1 nolu santralde ($dh/D=2,4$) hava debisi ile toplam statik basınç kaybı arasındaki ilişki

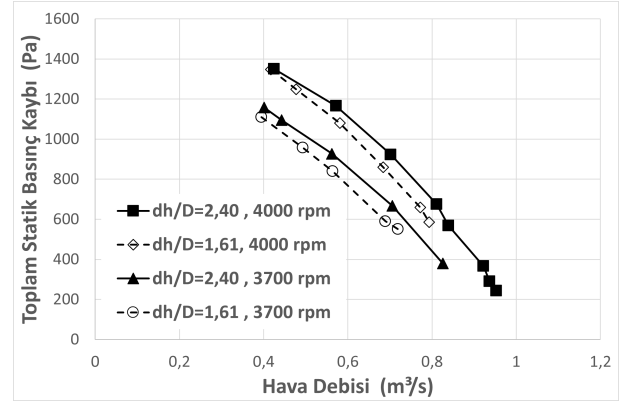
İdeal fan performans verilerini deneysel olarak elde ettikten sonra sistem kayıplarının fan performansına etkisini inceleyebilmek için fanın çapına göre boyutları daha küçük olan klima santralinde ($dh/D=1,6$) deneyleri yapılmıştır. Bu sayede fan çarkı ile klima santrali iç duvarları arasındaki mesafeler azaltılarak sistem kayıpları artırılmıştır. Bu deneylerde fan çarkı ile santralin yan duvarları arasındaki mesafe fan çapının %57'si, fan çarkı ile santralin üst ve alt duvarları arasındaki mesafe fan çapının %14'ü olacak şekilde fan performansı test edilmiştir. Deneyler aynı şekilde fan hızı 4000 rpm ve 3700 rpm olacak şekilde 2 farklı fan devrinde tekrarlanmıştır. Deneyler sonucunda 2 farklı fan devrinde fanın hava debisi ve toplam basınç kayıpları elde edilmiştir. Deneylerde elde edilen hava debileri ve toplam statik basınç kayıpları Şekil 6'da 2 farklı fan devri için aynı grafik üzerinde verilmiştir. Fan performans eğrilerindeki eğilim Şekil 5'teki ile aynıdır.



Şekil 6. 2 nolu santralde ($dh/D=1,6$) hava debisi ile toplam statik basınç kaybı arasındaki ilişki

Sistem basınç kayıplarının fan performansına etkisini inceleyebilmek için 2 farklı klima santrali boyutunda yapılan deneylerden elde edilen veriler Şekil 7'de aynı grafik üzerinde verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde hem 4000 rpm fan hızında hem de 3700 rpm fan hızında fan performansının boyutları küçük olan klima santralinde ($dh/D=1,6$) daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Klima santrali boyutu küçüldüğü için fan çarkı ile santral iç duvarları arasındaki mesafeler azalmıştır. Bu nedenle santral içerisindeki hava akışı zorlanmıştır ve ek basınç

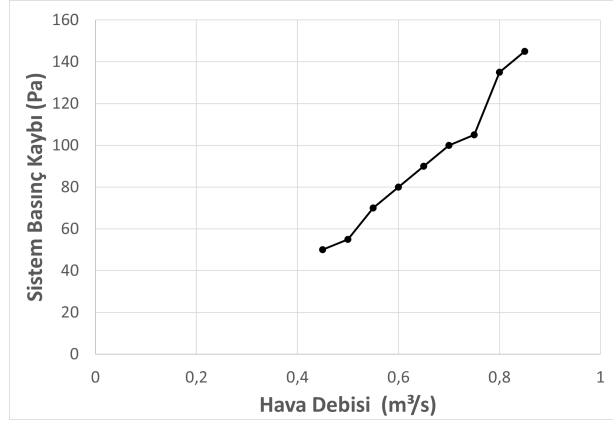
kayıpları oluşmuştur. Oluşan bu sistem kayıpları aynı hava debisini sağlamak için fanın karşılayabileceği toplam statik basınç kaybını azaltmıştır. Örneğin 4000 rpm fan hızında $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ hava debisi için fan büyük klima santralinde 1120Pa basınç kaybını karşılayabilirken küçük klima santralinde 1045Pa basınç kaybını karşılayabilmektedir. Aynı şekilde 3700 rpm fan hızı incelendiğinde örneğin $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ hava debisi için fan büyük klima santralinde 670Pa basınç kaybını karşılayabilirken küçük klima santralinde 580Pa basınç kaybını karşılayabilmektedir.



Şekil 7. 1 nolu santralde ($dh/D=2,4$) ve 2 nolu santralde ($dh/D=1,6$) hava debisi ile toplam statik basınç kaybı karşılaştırması

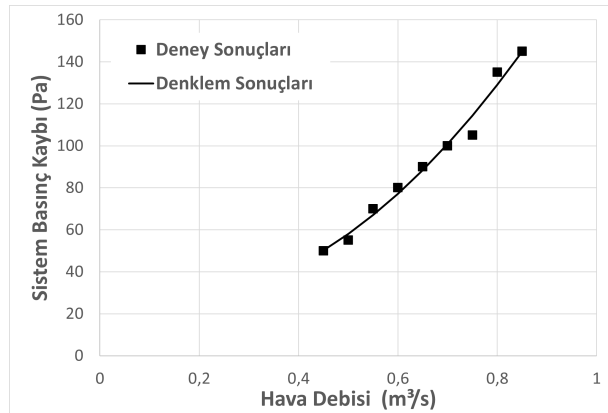
Ayrıca Şekil 7'den görülmektedir ki aynı fan hızında büyük klima santralinde fan daha yüksek hava debilerini sağlayabilmektedir. Küçük klima santralinde ise sistem kayıplarından dolayı fanın sağlayabildiği en yüksek hava debisi büyük klima santraline göre azalmaktadır. Ek olarak Şekil 7 incelendiğinde düşük hava debilerinde farklı santral boyutlarının toplam statik basınç kayıpları arasındaki fark yüksek debilere göre daha azdır. Hava debisi azaldıkça hava hızı azalmaktadır. Hava hızları azaldıkça fanın klima santrali içerisine yerleşiminden kaynaklanan sistem basınç kayıpları azalmaktadır. 3700 rpm fan devrinde santral boyutu küçüldüğünde fanın sağladığı toplam statik basınç minimum %4,3, maksimum ise %14,8 oranında azalmıştır. 4000 rpm fan devrinde santral boyutu küçüldüğünde fanın sağladığı toplam statik basınç minimum %2,3, maksimum ise %26,9 oranında azalmıştır.

Şekil 7 daha detaylı incelenerek her bir fan hızında sistem basınç kayıpları hava debisine bağlı olarak elde edilmiştir. Bunun için aynı fan hızında iki farklı boyutta klima santralindeki fan toplam statik basınç kaybı farkları hesaplanarak belirlenmiştir. Toplam statik basınç kayıpları arasındaki farklar sistem basınç kayıplarıdır. Hava debisine bağlı olarak sistem basınç kaybının değişimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'deki eğri deneyi yapılan her iki hız için geçerlidir. Her iki hızda elde edilen sistem basınç kayıpları birbirine çok yakın olduğundan ortalaması alınarak tek bir eğri elde edilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde hava debisi arttıkça sistem basınç kayıplarının arttığı görülmektedir. Hava debisi arttıkça hava hızları arttığı için sistem basınç kayıpları artmaktadır.



Şekil 8. Hava debisi ile sistem basınç kaybı arasındaki ilişki

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen deney verilerinden yararlanılarak ilgili fanın sistem basınç kayıplarını hesaplayan bir denklem Eş.(2) oluşturulmuştur. Hesaplama sonucunda elde edilen veriler ve deney verileri Şekil 9'da aynı grafik üzerinde verilmiştir. Denklem sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırıldığında sapma oranı minimum %0.5, maksimum ise %8.2 olarak elde edilmiştir. Oluşturulan ampirik denklem Alarko Carrier "Airovision" klima santrali seçim programında ilgili fanın hava debisine göre sistem basınç kayıplarını hesaplamak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 9. Deney sonuçları ile denklem sonuçlarının karşılaştırılması

SONUÇLAR

Radyal bir plug fanın 2 farklı boyuttaki klima santralinde ve her boyut için 2 farklı fan hızında fan performans deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda fanın karşılayabileceği toplam statik basınç kayıpları hava debisine bağlı olarak elde edilmiştir.

Fanın yerleşiminin yapıldığı santral boyutları küçüldüğünde fan performansının azaldığı gözlemlenmiştir. Santral boyutları azaldığı için fan çarkı ile santral iç duvarları arasındaki mesafeler azalmaktadır. Bu durum hava akışının zorlanmasına ve ek basınç kayıplarının oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan bu ek basınç kayıpları fanın yerleşiminden kaynaklanan sistem basınç kayıplarındır.

Fan boyutları daha küçük bir santrale yerleştirildiğinde boyutları daha büyük santralde daha düşük fan hızında çalışıyormuş gibi performansının düştüğü söylenebilir.

Sistem kayıpları fanın aynı hava debisini sağlamak için karşılayabileceği toplam statik basınç kaybını azaltmaktadır. Sistem kayıpları ne kadar artarsa fanın karşılayabileceği toplam statik basınç kaybı o kadar azalmaktadır.

Fan yerleşiminin yapıldığı santral boyutları azaldıkça sistem kayıplarından dolayı toplam basınç kayıpları arttığı için fanın sağlayabileceği maksimum debi azalmaktadır.

Sistem basınç kayıpları hava debisi azaldıkça hava hızı da azaldığı için azalmaktadır. Yüksek hava debilerinde hava hızlarının artmasıyla sistem basınç kayıpları artmaktadır.

Sistem basınç kayıplarını belirleyebilmek için deney verilerinden yararlanılarak bir denklem oluşturulmuştur. Denklem sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırıldığında sapma oranı minimum %0.5, maksimum ise %8.2 olarak elde edilmiştir. Alarko Carrier "Airovision" klima santrali seçim programında ilgili fanın sistem basınç kayıplarını hesaplamak için bu denklem kullanılmıştır.

SEMBOLLER

dh	Hidrolik çap [mm]
H	Yükseklik [mm]
P _s	Toplam statik basınç kaybı [Pa]
V	Hava debisi [m³/s]
W	Genişlik [mm]

TEŞEKKÜR

Çalışmada katkıda bulunan Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge departmanına teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

AMCA 201-02 (R2011) , Fan and Systems, *Air Movement and Control Association International*.

ANSI/AMCA 210-16 Standard , 2016, Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating, *Air Movement and Control Association International*, 4-50.

ANSI/ASHRAE Standard 79-2002 , RA2006, Method of testing for rating Fan-coil conditioners. Atlanta: American Society of Heating, *Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 2-14.

Canbazoglu S., ,Fan Mühendisliği Kitabı , 2020, *Aironn Teknik Yayınlar*, 163-166.

ULIBTK'25 Uluslararası Katılımlı 25. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi
10-12 Eylül 2025, ADANA

EBM, 2018, EC Plug Fans in AHU Applications, *Best Practice Guide 1st Edition*, 01, 4-5.

Fengxia H., Zhongbin Z., Hu H. and Zemin C., 2018, “Experimental study on the all-fresh-air handling unit with exhaust air energy recovery”, *Energy Procedia*, 152, 431-437.

Martinaitis V., Streckiene G., Bagdanavicius A. and Bielskus J., 2018, “A comparative thermodynamic analysis of air handling units at variable reference temperature”, *Applied Thermal Engineering*, 143, 385-395.

Özceviz N., 2019 Hava Akışının Esasları ve HVAC Fanları, *ISKAV TAD Yayınları*.