



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Fanların Performans Analizi İçin Amca 210-16 Standardına Göre Test Düzenegi Tasarımı ve Farklı Kanat Açılarının Fan Performansına Etkisinin Araştırılması

 Aziz Hakan ALTUN*

*Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahaltun@selcuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1166558

Öz

Bu çalışmada günümüzde çok çeşitli ve geniş alanlarda kullanılan hem aksel hem de radyal fanların performans eğrilerini belirlemek için ANSI/AMCA 210-16 standardına uygun olarak bir test düzeneği tasarlanmış ve kurulmuştur. Bu test düzeneğinin doğruluğunu sağlamak amacıyla Konya'da bulunan fan üreticisi bir firmada üretilen AXI800 model aksel fanın bilinen 30° ve 35° kanat açılarındaki katalog performans değerleri ile deneysel sonuçları kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda deneysel veriler ile katalog performans verilerinin oldukça uyumlu olduğu görülmüş ve sonra aynı fanın bilinmeyen 25°, 40°, 45° ve 50° kanat açılarındaki performans eğrileri için deneyler tekrarlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ile öncelikle ANSI/AMCA 210-16 standardına göre tasarlanan ve kurulumu yapılan test düzeneğinin doğruluğunun sağlandığı ve test amaçlı kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, diğer kanat açıları için de tekrarlanan deneysel sonuçlara göre, kanat açısı arttıkça basınç aralığındaki artış oranının elektriksel güç artış oranına göre daha az olduğundan yüksek kanat açılarındaki fanın verimli olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fan Test Düzeneği, ANSI/AMCA 210-16, Fan Performansı

Design of Test Set Up According to Amca 210-16 Standard for Performance Analysis of Fans and Investigation of the Effect of Different Blade Angles on Fan Performance

ABSTRACT

In this study, a test set up was designed in accordance with ANSI/AMCA 210-16 standard to determine the performance curves of axial and radial fans used in a wide variety of today's related fields. To validate the data of test setup, the catalog performance values of the AXI800 model axial fan at 30° and 35° blade angles manufactured in Konya were compared with the experimental results. It was seen that the experimental and the catalog performance data were quite compatible, and then the experiments were repeated for the blade angles of the same fan at 25°, 40°, 45° and 50°. With the results obtained in the study, it was determined that the accuracy of the test setup, which was designed and installed according to the ANSI/AMCA 210-16 standard, was ensured and it was suitable for testing purposes. In addition, according to the experimental results repeated for other blade angles, it has been observed that the fan used at high blade angles is not efficient since the rate of increase in the pressure range as the blade angle increases is less than the rate of increase in electrical power.

Keywords: Fan Test Setup, ANSI/AMCA 210-16, Fan Performance

I. GİRİŞ

Hava veya gazları hareket ettirmek için güç tahrikli döner pervaneli bir cihaz olarak tanımlan fanlar günümüzde; bina HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemleri, karayolu ve demiryolu tünelleri ile otopark havalandırması, çimento, demir çelik, cam sanayi, elektrik santrali, rüzgâr tüneli ve endüstriyel havalandırma gibi çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Günümüzde bu kadar geniş alanlarda kullanılan fanların, elektrik motoru ile tahrik edilmesi nedeniyle enerji tüketimindeki payı da oldukça yüksektir. Bir örnek vermek gerekirse Avrupa Birliği'ndeki elektrik motorlarındaki enerji tüketiminin, fan sistemlerinde kullanılan payı %19 olarak verilmiştir [1]. Yine ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) raporunda ulusal bazda elektrik enerjisinin, fan ve pompalarında dahil olduğu motor sistemlerinde %50-60 arasında tüketildiği belirtilmiştir [2]. Yine aynı raporda, endüstriyel fan ve pompalarda enerji tasarruf potansiyelinin %74 olduğu belirtilmiştir.

Fanların bu kadar geniş alanlarda kullanılması ve enerji tüketiminde önemli yer edinmelerinden dolayı gerek üreticiler gerekse araştırmacılar kanat yapısından motor aksamlarına kadar fan sistemlerinde verim iyileştirme çalışmalarını halen yoğun bir şekilde yürütmektedir. Araştırmacılar yapmış oldukları her türlü iyileştirmenin dünyada kabul görmüş ve onaylanmış bir test ünitesinde deneylere tabii tutarak fan performansına etkilerini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalardan Bleier [3], fan performans testlerinin yapılması için AMCA test kodlarını tanımlamış ve test düzenekleri hakkında bilgi vermiştir. Zhu ve arkadaşları [4] eksenel havalandırma fanlarında uç açıklık oranının fan performansına etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Fan performans test düzeneğini ISO5801 (1997E)'e eşdeğer olan Çin Ulusal Standardı Gb1236-2000'e göre hazırlamışlardır. Cho ve arkadaşları [5] karşılıklı çalışan eksenel fan'ın üç boyutlu kararsız akış özelliklerinin araştırılması amacıyla Kore Standart Kurumunun KS B 6311 standardına uygun bir test düzeneği kurmuşlardır. Yardımcı fan kullanmadıkları test düzeneğinde girişte enerji kaybının azaltılması amacıyla giriş kısmını lüle şeklinde imal etmişlerdir. Test kanalının çıkışında debiyi ayarlamak için konik bir damper kullanmışlar ve uygun yerlere de basınç prizlerini yerleştirmişlerdir. Li ve arkadaşları [6] düşük hızlı eksenel fanındaki öne eğik kanatlar ile radyal kanatların akışa etkisini analiz ederek karşılaştırmışlardır. Çalışmada, standartlara göre aerodinamik performans ve akustik ölçümü de yapan bir test düzeneği tasarlamışlardır. Radyal fanlarda kanat çıkış çapını %5 ila %10 arasında artırılması durumundaki performansa etkisini Chunxi ve arkadaşları [7] ISO5801-1997 göre hazırladıkları test düzeneğinde deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarda debi, toplam basınç, mil gücü ve gürültünün arttığını göstermişlerdir. Munisamy ve arkadaşları [8] bir eksenel fan tasarımının HAD modellemesini deneysel sonuçlara göre doğrulamışlardır. Çalışmada, test düzeneğini AMCA 210 standardını referans alarak gerçekleştirmişlerdir. Lin ve Tsai [9] çalışmalarında bilgisayar cihazlarında artan sistem direnci ve alan sınırlaması nedeniyle fan performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için AMCA 210-99 standardına göre test düzeneği hazırlamışlardır. Elde ettikleri verilere göre genel teknik bilgiler sunmuşlardır. Zhang [10] ters dönüşlü eksenel akış fanın performansını deneysel olarak incelemek için test düzeneğini GB/T 1236-2000 standardını referans alarak imal etmiştir. Lee ve Lim [11] çalışmalarında santrifüj fanların dış gövdesi ve fan kanatlarında yaptıkları geometrik değişikliklerin performansa etkilerini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Kore Standardına (KS) göre hazırladıkları deney ünitesinden aldıkları sonuçlarla sayısal sonuçların oldukça uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Burgman ve arkadaşları [12] yapmış oldukları çalışmada yakıt hücrelerine hava temini sağlayan radyal fanların difüzör ve salyangozlarında yapmış oldukları tasarimsal değişikliklerin fan performansına etkilerini sayısal olarak, PIV sisteminde ve DIN EN ISO 5801: 2011-11 standardına göre hazırladıkları test düzeneğinde incelemişlerdir. Sonuçlarda yapılan iyileştirmeler doğrultusunda kısmi yüklerde fan veriminin %7.1 arttığını deneysel olarak da gözlemlemişlerdir. Radyal fanların serbest çalışma şartlarında, alt akış bölgesinde çıkışa yerleştirilen dikdörtgen kanalın akışa etkisini de Azem ve arkadaşları [13] yaptıkları çalışmada sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. DIN ISO 5801 standardına göre hazırladıkları test düzeneğinden elde ettikleri verileri sayısal sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Castegnaro ve arkadaşları [14] ISO 5801 standardına göre, maksimum giriş çapı 0.8 m'ye olan fanları test etmek için bir deney düzeneği kurmuşlardır. Çalışmalarında ISO 5801 standardının ön çalışmasında karşılaşılan sorunları vurgulamışlar ve standardı iyileştirmek için önerilerde bulunmuşlardır. Güven ve arkadaşları [15] yapmış oldukları

çalışmada AMCA 210-16' ya göre sadece eksenel fanların performans değerlerinin belirlendiği bir test ünitesi tasarlanmışlardır. Verileri bilinen bir fan için deneyler gerçekleştirmişler ve test ünitesinin doğrulamasını yapmışlardır. Sonuçların oldukça uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

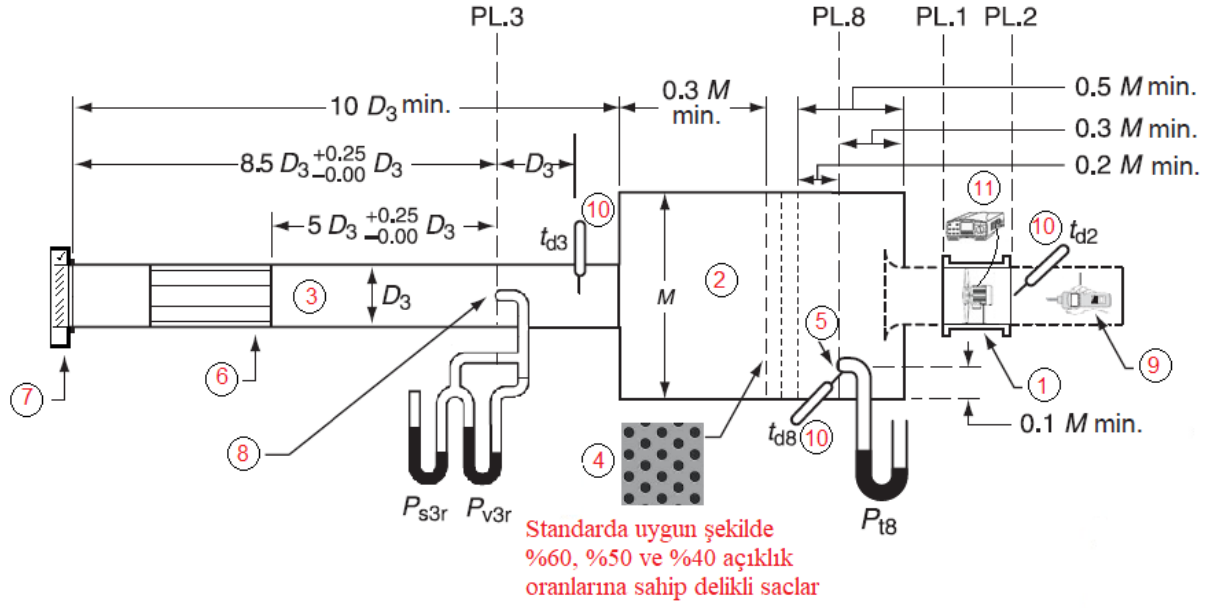
Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında test ünitelerinin uluslararası standartlara göre imal edildiği görülmektedir. Bunun yanında bu ünitelerde yapılan deney sonuçların doğrulanması da büyük önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada, Konya'da bulunan fan imalatçısı bir firmada ANSI/AMCA 210-16 (Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating) [16] standardına uygun olarak radyal ve eksenel fanların performanslarını belirleyebilecek bir test ünitesi hazırlanmıştır. Test ünitesi ile gövde malzemesi galvaniz sac ve pervane malzemesi ise alüminyum olan kovanlı tip bir eksenel fanın performans parametreleri ölçülmesi amaçlanmıştır. Deneylerden alınan veriler ile değerleri iki kanat açısı için bilinen fanların performans değerleri karşılaştırılarak kurulan test ünitesinin doğrulanması hedeflenmiştir. Daha sonra da aynı fanın bilinmeyen farklı kanat açıları için performans eğrileri belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu çalışma ile ülkemizde, dünyada geçerliliği yüksek ve kabul edilen bir standart olan AMCA 210-16 ya göre test ünitelerinin kurulmasına katkı sağlamak da amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. TEST DÜZENEGİ

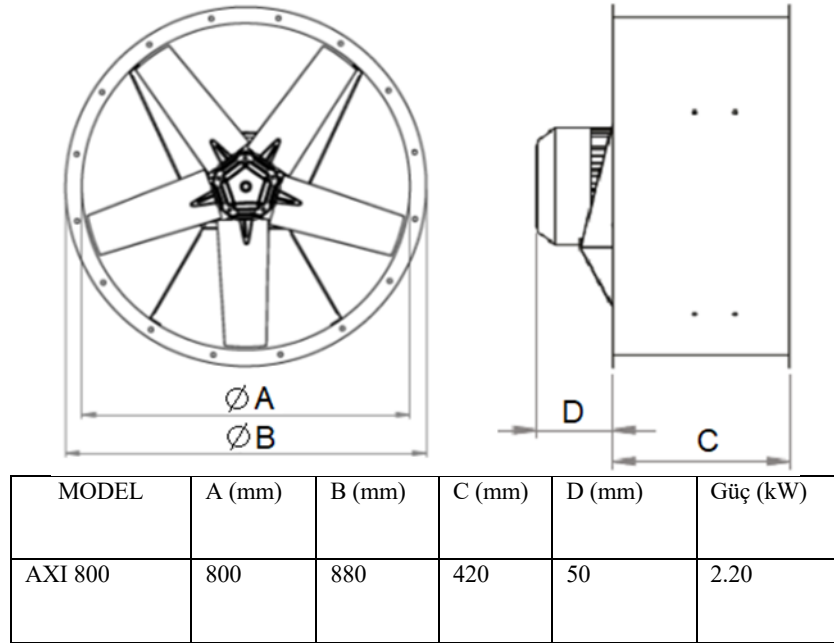
AMCA 210-16 [16] standardında 16 adet olmak üzere çeşitli fan test üniteleri mevcuttur. Bunlar basınç (dinlenme) odalı veya kanal tipli, debi ölçüm metodunun pitot tüpü taraması ya da lüle ile belirlenmesine ve test fanının yerleştirilmesine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada firmada imal edilen radyal ve eksenel fan türlerinde de kullanabileceği ve fanın girişe bağlandığı bir test ünitesi olması açısından basınç odalı tip seçilmiştir. Bu doğrultuda debi ölçümün pitot taraması ile yapıldığı ve test fanlarının çıkışa yerleştirildiği AMCA 210-16'ya göre belirlenen test ünitesinin şematik resmi Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre test düzeneği; test fanı ünitesi (1), dinlenme odası (2), debi ölçümü için fan ünitesi ile aynı eksenel doğrultuda bağlanan kanal (3), akış düzenleyici (6), debi ayar damperi (7), basınç ölçüm tüpleri (5) (8), devir ölçer takometre (9), bageet tip termometreler (10), motor gücü ölçer wattmetre (11) gibi çeşitli ölçü sistemleri ve ekipmandan (4) oluşmaktadır.

Test ünitesi tasarımına ilk önce firmanın iki kanat açısı için performans eğrisi bilinen ve farklı kanat açıları için de performans eğrilerini belirlemek istediği AXI 800 model eksenel fan seçilerek başlanmıştır. Bu fanın geometrik özellikleri Şekil 2'de verilmiştir. Tasarıma buradan devam edilerek AMCA 210-16'ya göre dinlenme odasının kesiti giriş odalı ünitelerde fan giriş kesit alanından en az 5 katı olma zorunluluğu nedeni ile oda kesiti kare şeklinde $2.68 \times 2.68 \text{ m}^2$ ($M=2.68$) olarak belirlenmiş ve imal edilmiştir. Dinlenme odasının kesit ölçüsü M 'nin belirlenmesi ile dinlenme odasının (2) diğer boyutları, toplam basınç ölçüm yeri (10) ve delikli sacların (4) yerleri Şekil 1'de gösterildiği ölçülerde imal edilmiştir. Ayrıca Şekil 1'de gösterildiği gibi standarda göre sırayla dizilen delikli sacların aralarındaki mesafeler, saclardan sonra üniform akış veya basınç dağılımını sağlayacak şekilde alınmıştır. Test edilecek fan (1), dinlenme odasının çıkışına şekilde gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Yine test edilecek fanın girişinde veya çıkışında kanal olmadığından dinlenme odasına direk bağlantısı yapılmıştır. Fanın devir sayısı Diwu DT2234-C Lazer marka takometre ile (9) ile ölçülmüştür. Fanın motor gücünde test ünitesi için hazırlanan akım, voltaj ve güç değerlerinin ayrı ayrı gösterebilen elektrik panosundaki wattmetreden (11) direk ölçülmüştür.



- (1) Test fanı (4) Delikli saclar (7) Debi ayar damperi (10) Termometreler
 (2) Dinlenme odası (5) Toplam basınç tüpü (8) Pitot tüpü (11) Wattmetre
 (3) Debi ölçüm kanalı (6) Akış düzenleyici (9) Takometre

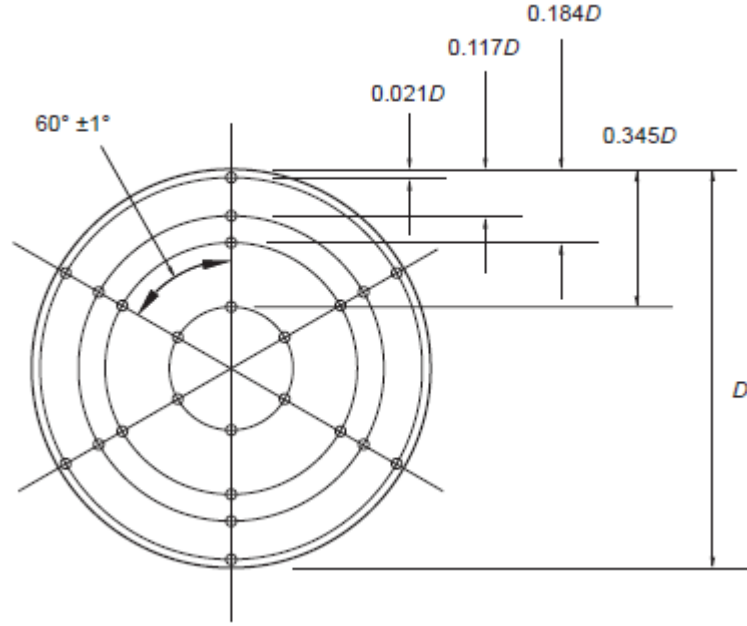
Şekil 1. Giriş Odalı-Pitot Taramalı Fan Test Ünitesi (ANSI/AMCA 210-16).



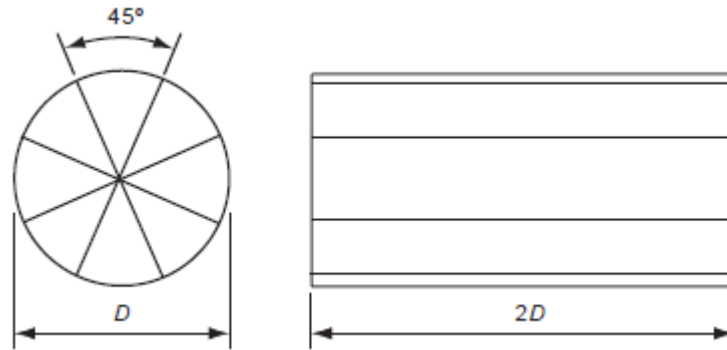
Şekil 2. Fan modelin şematik resmi ve geometrik boyutları.

Debi ölçüm kanalı (3) çapı AXI 800 model fan giriş çapı olan 800 mm ($D_3 = 3$) olarak belirlenmiş ve kanal boyu, pitot tüpü (8), akış düzenleyici (6) ve termometre (10) yerleri bu çap referans alınarak Şekil 1'deki ölçülere göre belirlenmiştir. Kullanılan pitot tüpü de AMCA210-16 [16] standardına uygun dwyer 160 serisidir. Pitot tüpü Şekil 3'te gösterilen konumlardaki noktaları tarayarak ölçüm yapacak şekilde ayarlanmıştır. Basınçlar pitot tüpüne bağlanan KIMO MP100 marka dijital manometre ile tespit edilmiştir. Böylece, kanaldan geçen havanın hızı, debisi, dinamik basıncı ve toplam basıncı belirlenmiştir. Fan debisini ayarlamak için de test borusu çıkış kısmına ayarlanabilir

damperli vana (7) yerleştirilmiştir. Kanala giren havanın homojen ve düzgün dağılımını sağlamak için yerleştirilen akış düzenleyicinin geometrisi (6) ve boyutları da Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3. Test borusu içine yerleştirilen pitot tüpü ölçüm noktaları (ANSI/AMCA 210-16).



Şekil 4. Yıldız tip akış düzenleyici geometrisi ve boyutları (ANSI/AMCA 210-16).

A. 1. Deneilerin Yapılışı ve Data Analizi

Verim sınıfı IE2-IE3 olan TEFC tip motor ile tahrik edilen ve bu çalışmada kullanılan fanın çalışma sıcaklığı -20 ile $+50$ C° arasında değişmektedir. Fan üreticisi daha önce bir test kuruluşunda 380 V gerilim ve 50 Hz frekansta testlerini gerçekleştirdiği AXI 800 model fanın çalışma noktası değerleri, 30° ve 35° kanat açısı için sırasıyla gücü, devri ve debisi 2.2 kW, 1459 d/dk, 25,560 m^3/h ve 3.0 kW, 1463 d/dk, 30,940 m^3/h 'dir.

Deneilerde ilk olarak test düzeneğinin doğruluğunu sağlamak için fan değerleri bilinen 30° ve 35° kanat açısı için farklı debi değerlerinde deneyler yapılmıştır. Daha sonra fanın diğer kanat açıları için yine farklı debi değerlerinde deneyler tekrarlanmıştır. Test fanının performans eğrisini kıyaslamak için toplam basınç tüpü ve pitot tüpü basınç değerleri, sıcaklıklar, elektrik motoru gücü (P_{elek}) ve devir sayısı değerleri kaydedilerek veri tablosu oluşturulmuştur. Elde edilen veriler yardımıyla test fanlarının parametre değerleri AMCA 210-16 [16] standardında verilen aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

İlk olarak doymuş buhar basıncı (P_e) ve kısmi buhar basıncı (P_p) Eş. 1 ve 2'den hesaplanır.

$$P_e = 3.25 \times t_{w_0}^2 + 18.6t_{w_0} + 692 \quad (1)$$

$$P_p = P_e - P_b \left(\frac{t_{d_0} - t_{w_0}}{1500} \right) \quad (2)$$

Bu denklemde, t_{w_0} : test ortamındaki yağ termometre sıcaklığı, t_{d_0} : test ortamındaki kuru termometre sıcaklığı ve P_b : düzeltilmiş barometrik basınçtır. Eş. 2 ile elde edilen kısmi buhar basıncı değeri de kullanılarak deney ortamındaki hava yoğunluğu (ρ_0) Eş. 3'ten hesaplanır.

$$\rho_0 = \frac{P_b - 0.378P_p}{R(t_{d_0} + 273.15)} \quad (3)$$

Debi ölçüm kanalından geçen havanın yoğunluğu (ρ_3) Eş. 4'ten hesaplanır.

$$\rho_3 = \rho_0 \left[\frac{t_{d_0} + 273.15}{t_{d_3} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{s_3} + P_b}{P_b} \right] \quad (4)$$

Burada P_{s_3} debi ölçüm kanalındaki havanın statik basıncıdır ve pitot tüpünden ölçülen değerler yardımı ile Eş. 5'den hesaplanır.

$$P_{s_3} = \frac{\sum P_{s_{3r}}}{n} \quad (5)$$

Aynı zamanda pitot tüpünden elde edilen veriler ile dinamik basınç (P_{v_3}) ve hız (V_3) değerleri Eş. 6 ve 7'den bulunur.

$$P_{v_3} = \left(\frac{\sum \sqrt{P_{v_{3r}}}}{n} \right)^2 \quad (6)$$

$$V_3 = \sqrt{2} \left(\sqrt{\frac{P_{v_3}}{\rho_3}} \right) \quad (7)$$

Bu denklemlerde n ; okuma sayısıdır. Debi ölçüm kanalındaki hava debisi (\dot{Q}_3) 3. düzlemdeki kesite göre Eş. 8'den elde edilir.

$$\dot{Q}_3 = V_3 \cdot A_3 \quad (8)$$

Buna göre test fanından geçen hava debisi (\dot{Q}) Eş. 9'dan hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_3 \left(\frac{\rho_3}{\rho} \right) \quad (9)$$

Burada ρ fanından geçen havanın yoğunluğudur. Giriş odalı test ünitelerinde 1. ve 8. düzlemdeki toplam basınç ve sıcaklıklar eşittir ($P_{t_1} = P_{t_8}$, $t_{s_1} = t_{d_8}$). Buna göre de test fanından geçen havanın yoğunluğu da (ρ) Eş. 10'dan hesaplanır.

$$\rho = \rho_0 \left[\frac{t_{d_0} + 273.15}{t_{d_8} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{t_8} + P_b}{P_b} \right] \quad (10)$$

Fan kataloglarında performans eğrileri basınç, debi ve elektrik motoru gücüne göre belirlenir. Elektrik motor gücü de wattmetreden direkt okunduğundan fan dinamik basıncı Eş. 11'den hesaplanır.

$$P_v = P_{v_3} \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 \left(\frac{\rho_3}{\rho_2} \right) \quad (11)$$

Bu çalışmada kullanılan test fanların kesit alanı ile debi ölçüm kanalın kesit alanları aynı olduğundan $A_3 = A_2$ 'tür. Eğer 2. ve 3. düzlemdeki statik basınçlar, $|p_{s_3} - p_{s_2}| \geq 1$ kPa ise 2. kesitteki yani test fanından geçen hava yoğunluğu Eş. 12'den belirlenir. Değil ise, yani $|p_{s_3} - p_{s_2}| \leq 1$ kPa ise $\rho_3 = \rho_2$ alınabilir.

$$\rho_2 = \rho_0 \left[\frac{t_{d_0} + 273.15}{t_{d_2} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{s_2} + P_b}{P_b} \right] \quad (12)$$

Aynı zamanda fan çıkışı direk atmosfere olduğundan $P_{s_2} = P_b$ dir. Bu nedenle de $P_{t_2} = P_{v_2} = P_v$ dir. Fan giriş toplam basıncı Eş. 13 ve statik basıncı da Eş. 14'ten belirlenir.

$$P_t = P_{t_2} - P_{t_1} \quad (13)$$

$$P_s = P - P_v \quad (14)$$

Çalışmada ayrıca nihai parametre olan statik basınç ve debi için belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçümler esnasında oluşan hataların statik basınç ve debi üzerindeki etkisi Kline ve McClintock [17] tarafından önerilen belirsizlik analizi denklemine göre belirlenmiştir. Buna göre p_s ve \dot{Q} değerlerindeki maksimum belirsizlik, hesaplama prosedürü takip edilerek bulunmuştur.

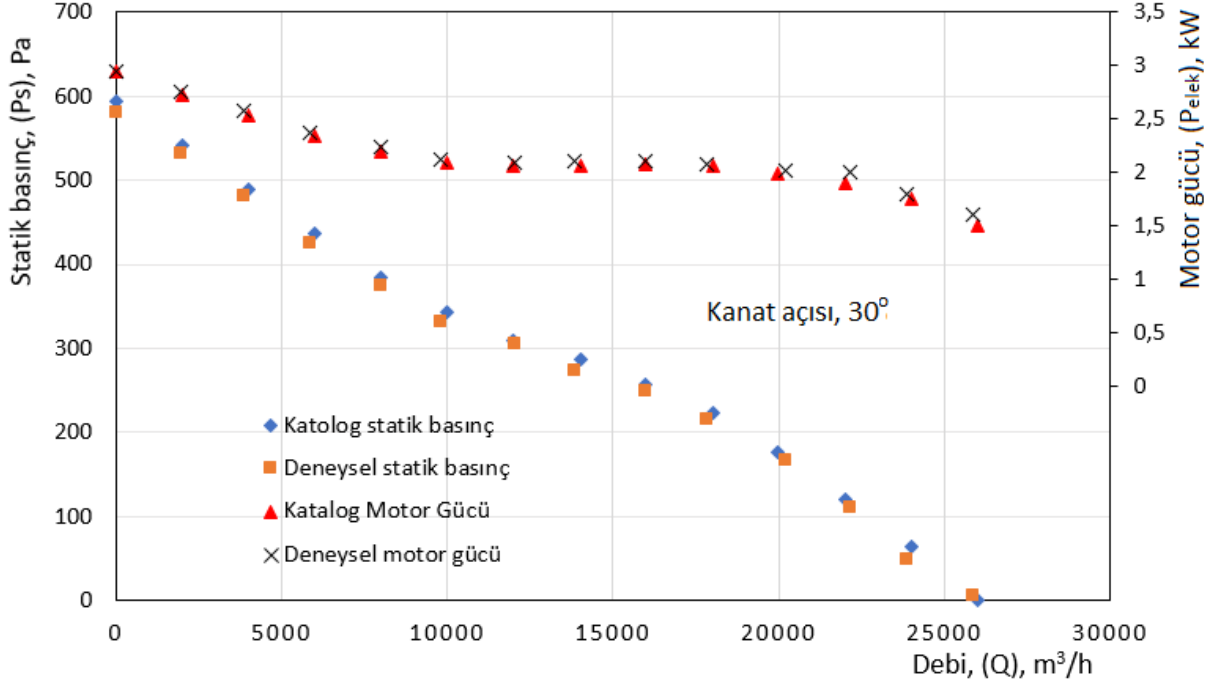
Hesaplamalarda ölçümlerden kaynaklanan hata değerleri sırasıyla sıcaklık ölçümlerinde %1, elektrik gücü ölçümünde %1, fark basınç ölçümünde %1 ve akış hızı ölçümünde %1 alınmıştır. Alınan bu değerlere göre p_s ve \dot{Q} değerlerindeki maksimum belirsizlik sırasıyla %2~4 ve %1.2~2.4 arasında hesaplanmıştır.

III. BULGULAR

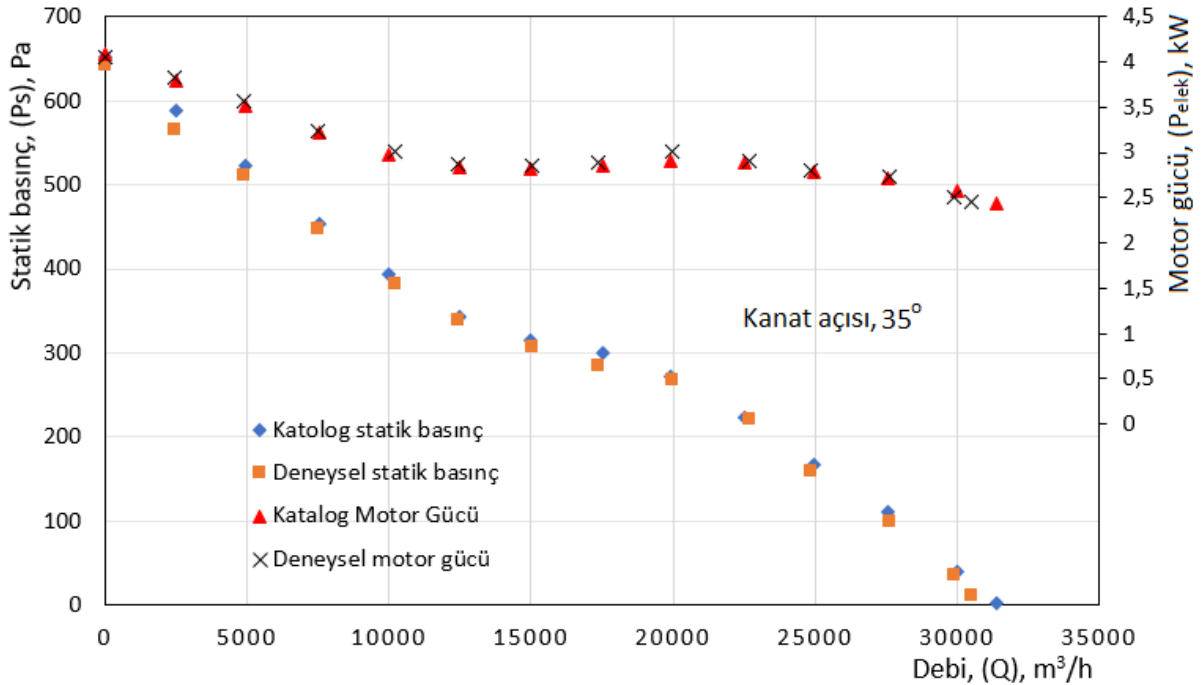
Bu çalışmada, Konya'da yer alan bir firmada üretilen performans değerleri kanat açısı 30° ve 35° için bilinen 5 kanatlı AXI 800 model aksel fanın, diğer kanat açılarındaki performans parametre değerlerinin belirlenmesi ve AMCA 210-16 ya göre hazırlanan test ünitesinin doğruluğunun sağlanması hedeflenmiştir. Farklı kanat açılarındaki test fanların, farklı debi değerleri için statik basınç ve elektriksel motor güçlerine göre performans eğrileri belirlenmiştir.

İlk olarak test düzeneğinin doğruluğunu sağlamak için çalışma değerleri bilinen 30° ve 35° kanat açısına sahip fanlar için deneyler tekrarlanmıştır. Şekil 5 ve 6'da test düzeneğinde elde edilen performans eğrileri ile firma kataloğunda [19] verilen performans eğrilerinin kıyaslamaları verilmiştir. Şekiller beraber incelendiğinde, ilk öne çıkan sonuç, hem basınç hem de elektriksel motor gücü deneysel verilerinin katalog verileri ile oldukça uyumlu olduğudur. Tüm debi aralığında bu uyumun basınç değişiminde yaklaşık %1.3 ile %4.9 arasında, elektriksel motor gücünde ise %1 ile %5 arasında olduğu görülmektedir. Yine her iki grafik için basınç ve elektriksel motor gücü değişim eğiliminin benzer olduğu da görülmektedir. Debi arttıkça basınç değerlerinin 30° kanat açısında yaklaşık 12,000 m³/h'e kadar hızla azaldığı, sonrasında ise yaklaşık 14,000 m³/h'e basınç değişim hızının azaldığı, devamında ise yine basınç değişiminin hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Yine benzer biçimde basınç değişiminin 35° kanat açısı için yaklaşık 14,000 m³/h'e kadar hızla azaldığı, sonrasında yaklaşık 21,000 m³/h'e değişim hızının azaldığı, devamında ise yine hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Genel olarak basınç değerlerinin azalmasının nedeni de debi arttıkça dinamik basıncın artması ve statik basıncın azalmasıdır. Basınç değişiminin sabit kaldığı, değişimin az olduğu veya artabildiği debi aralığına (30° kanat açısı için yaklaşık 12,000 m³/h ile 14,000 m³/h, 35° kanat açısı içinde yaklaşık 14,000 m³/h ile 21,000 m³/h arası) literatürde aksel fanlar için kararsız bölge olarak

isimlendirilmektedir [17]. Bu bölge başlangıcında girdap olduğu sonrasında ise bitime doğru akışın daha düzgün ve aksel doğrultuda ilerlediği bilinmektedir [18]. Bunların yanı sıra basınç değişiminde katalog verileri ile deneysel verilerin aralarındaki en yüksek farkın, debinin minimum ve maksimum olduğu noktalarda olduğu görülmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi bu farkında % 5'i geçmediği belirlenmiştir.



Şekil 5. Fan kanat açısı 30° için statik basınç ve elektriksel motor gücü kıyaslanması.



Şekil 6. Fan kanat açısı 35° için statik basınç ve elektriksel motor gücü kıyaslanması.

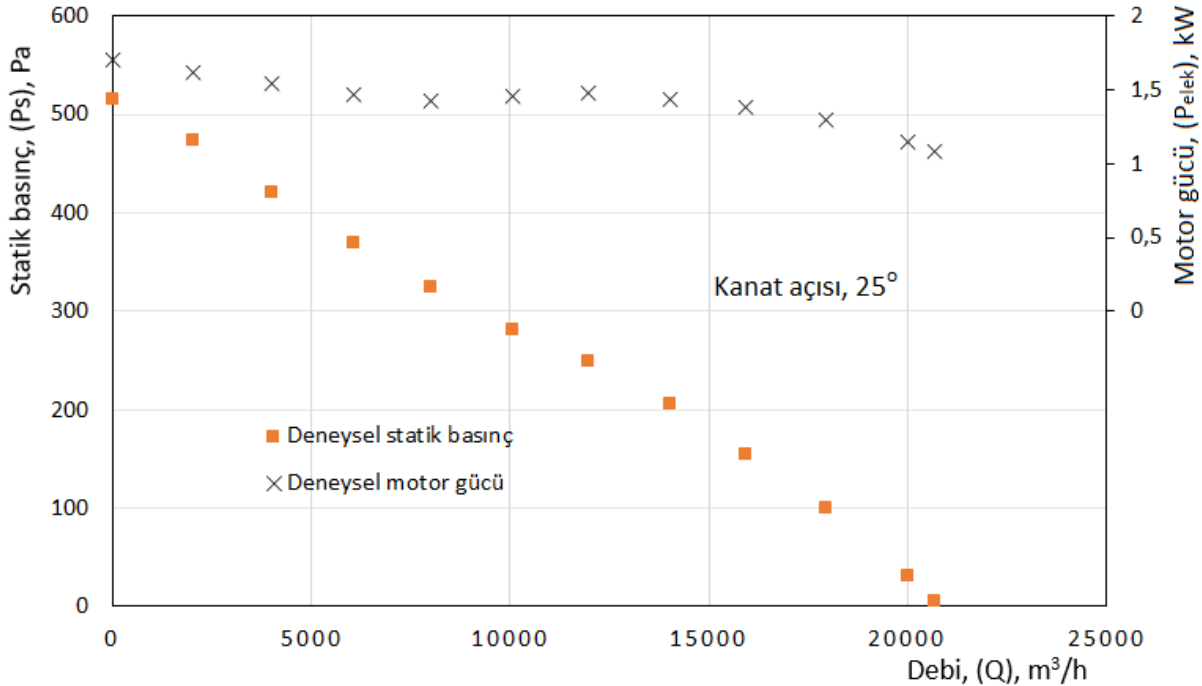
Elektriksel motor gücün değişim eğilimi incelendiğinde düşük debi değerlerinde motor gücünün en yüksek değerler aldığı, sonrasında statik basınçtaki azalma ile direnç azalmasına bağlı olarak debi

artıkça başlangıçta kararsız bölgeye kadar azaldığı, kararsız bölgede nispeten sabit kaldığı ve sonrasında yine azaldığı görülmektedir. Kararsız bölgeye kadar motor gücünün hızlı bir şekilde azalması, statik basınç yükünün azalması nedeniyle fan motorunun daha az güç harcamasından kaynaklanmaktadır. Elektriksel motor gücü değişiminde katalog verileri [19] ile deneysel verilerin aralarındaki en yüksek fark, kararsız bölge civarında olduğu görülmektedir. Ancak, bu farkında yine %5'i geçmediği görülmüştür.

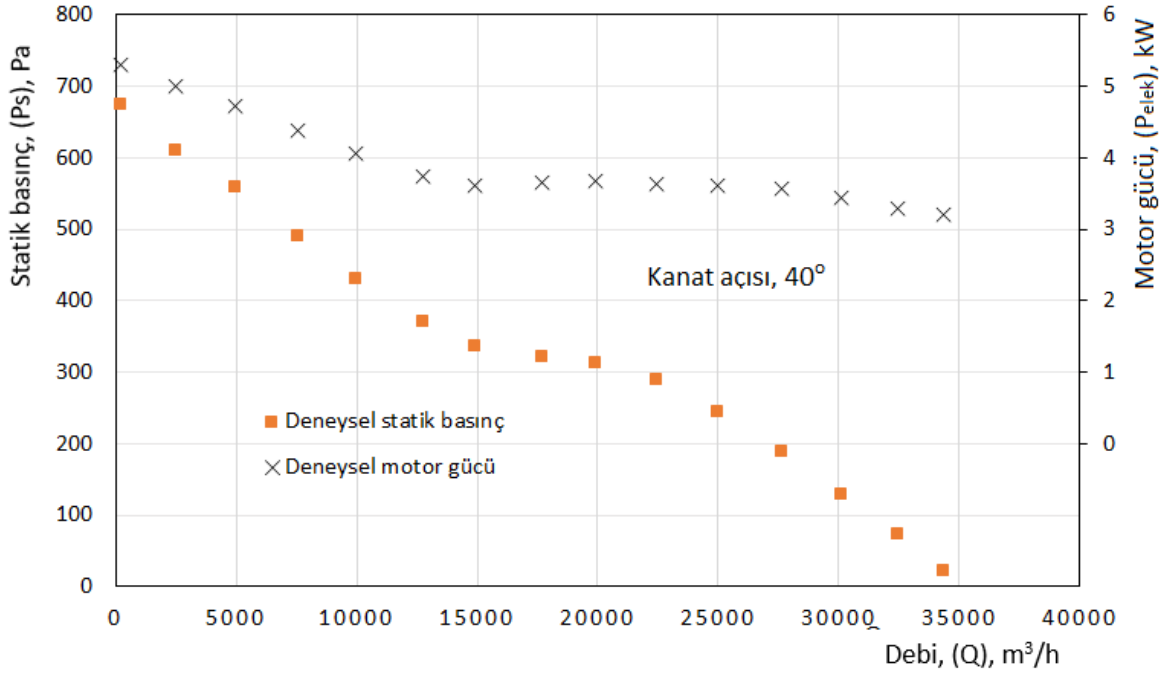
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ANSI/AMCA 210-16 [16] standardına göre tasarlanan test düzeneğinde deneysel veriler ile katalog verilerin oldukça uyumlu olması nedeni ile deneysel düzeneğin doğruluğunun sağlandığı ve test amaçlı kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Test ünitesinin doğruluğunun sağlanmasından sonra mevcut fanın bilinmeyen diğer kanat açılarındaki statik basınç ve elektriksel motor gücü değerlerinin farklı debi değerlerinde elde edilen performans eğrileri Şekil 7'den 10'a kadar sırasıyla 25°, 40°, 45° ve 50° kanat açıları için verilmiştir. Verilen şekillerle beraber Şekil 5 ve 6 birlikte incelendiğinde yine bütün grafiklerinin benzer değişim eğilimleri gösterdiği görülmektedir. Öncelikle kanat açısı arttıkça debi aralığının arttığı ve basınç aralığında da artışın 45° kanat açısına kadar devam ettiği sonrasında ise azaldığı görülmektedir. Yine kanat açısı arttıkça kararsız bölgenin daha belirgin hale geldiği şekillerden görülmektedir. Bunun nedeni de akış ayrılma etkisinin yüksek kanat açılarındaki, düşük kanat açılarına göre daha fazla olmasıdır.

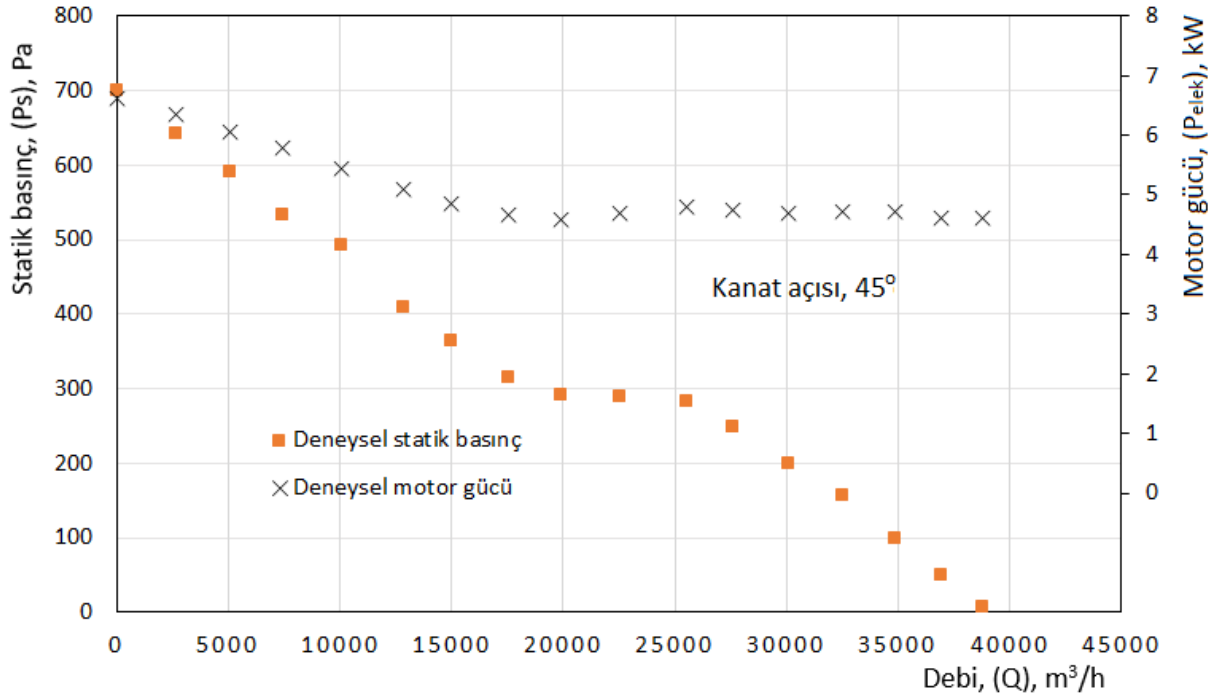
Elektriksel motor gücünde ise hemen hemen bütün kanat açılarındaki debi arttıkça kararsız bölgeye kadar kanat açısı arttıkça hafif bir şekilde azaldığı, kararsız bölgede ise hafif bir şekilde arttığı sonrasında ise tekrar azaldığı görülmektedir. Yine kanat açısı arttıkça elektriksel motor gücün belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Kanat açısına göre basınç aralığındaki artış elektriksel motor gücüne göre oransal olarak daha az olduğu görülmektedir. Bu durum fan veriminde azalmaya da neden olduğundan yüksek kanat açılarındaki bu fanların kullanılması uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca fanların çalışma noktası genel olarak kararsız bölgenin hemen sonrası olarak belirlendiği için yine yüksek kanat açılarındaki bu bölgede fan performansına göre gücün daha fazla artış göstermesinden dolayı kullanmanın uygun olmadığı da anlaşılmaktadır.



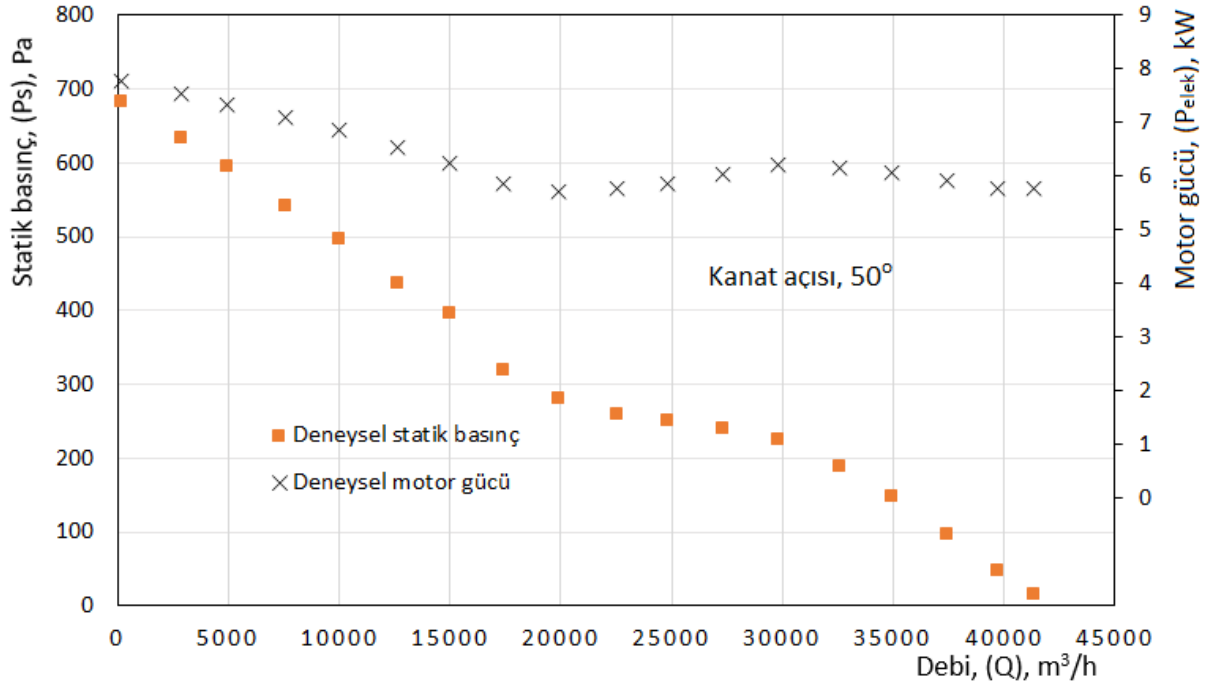
Şekil 7. Fan kanat açısı 25° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.



Şekil 8. Fan kanat açısı 40° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.



Şekil 9. Fan kanat açısı 45° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.



Şekil 10. Fan kanat açısı 50° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada ANSI/AMCA 210-16 standardına göre hazırlanan deney ünitesinde bir eksenel fanın bilinen kanat açısı değerleri ile önce doğruluğu sağlanması için kıyaslama yapılması, sonra da diğer kanat açılarındaki performans eğrileri oluşturulması hedeflenmiştir. Böylece hem test ünitesinin doğruluğu araştırılmış hem de bilinmeyen farklı kanat açılarındaki performans eğrileri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

- Deneysel sonuçlarla katalog sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle deney ünitesinin doğruluğunun sağlandığı ve standarda uygun olarak fan performans testlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir.
- Kanat açısı arttıkça kararsız bölgenin daha belirgin hale geldiği görülmüştür.
- Kanat açısı arttıkça basınç aralığındaki artışın elektriksel güç artış oranına göre daha az olduğundan yüksek kanat açılarındaki kullanılan fanın verimli olmadığı anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, KAYITES MÜHENDİSLİK tarafından Ar-Ge çalışmaları kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] P. Waide and C. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," *Working Paper*, International Energy Agency, France, 2011.
- [2] N. Elliot and S. Nadel, "Realizing Energy Efficiency Opportunities in Industrial Fan and Pump Systems," Report Number A304, USA, 2003.
- [3] F. Bleier, *Fan Handbook Selection, Application and Design*, First Edition, USA, McGraw Hill, 1997.

- [4] X. Zhu, W. Lin and Z. Du, “Experimental and Numerical Investigation of the Flow Field in the Tip Region of an Axial Ventilation Fan,” *ASME. J. Fluids Engineering*, vol. 127, no. 2, 299–307, 2004. <https://doi.org/10.1115/1.1881654>
- [5] L. Cho, B. Cha and J. Cho, “Experimental Study on the Three-Dimensional Unsteady Flow Characteristics of the Counter-Rotating Axial Flow Fan” *Journal of Fluid Science and Technology*, vol. 4, 200-209, 2009.
- [6] Y. Li, J. Liu, H. Ouyang and Z. Du, “Internal flow Mechanism and Experimental Research of Low-Pressure Axial fan with Forward-Skewed Blades,” *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, vol. 20, no. 3, 299–305, 2008. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60061-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60061-X)
- [7] L. Chunxi, W. S. Ling and J. Yakui, “The performance of a centrifugal fan with enlarged impeller,” *Energy Conversion and Management*, vol. 52, 2902–2910, 2011. doi:10.1016/j.enconman.2011.02.026
- [8] K., Munisamy, R. Govindasamy and S. Thangaraju, “Experimental and Numerical Investigation onto 1250 mm Axial Fan,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 225, 91-96, 2012. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.225.91
- [9] S.C. Lin and M.L. Tsai, “An integrated performance analysis for a backward-inclined centrifugal fan,” *Computers & Fluids*, vol. 56, 24–38, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.11.009>
- [10] S. Zhang, “Experimental study on performance of contra-rotating axial flow fan,” *Int J Coal Sci Technol*, vol. 2, 232–236, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40789-015-0073-2>,
- [11] Y-T. Leen and H-C. Lim, “Performance assessment of various fan ribs inside a centrifugal blower,” *Energy*, vol. 94, 609-622, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.007>
- [12] S. Burgmann, T. Fischer, M. Rudersdorf and A. Roos, “Development of a centrifugal fan with increased part-load efficiency for fuel cell applications,” *Renewable Energy*, vol. 116, 815-826, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.075>
- [13] A. Azem, P. Mathis, F. Stute, M. Hoffmann, D. Müller and G. Hetzel, “Efficiency increase of free running centrifugal fans through a pressure regain unit used in an air handling unit,” *Energy & Buildings*, vol. 165, 321–327, 2018.
- [14] S. Castegnaro, M. Masi, and A. Lazzaretto, “Design and Testing of an ISO 5801 Inlet Chamber Test Rig and Related Issues with the Standard,” in *FAN 2018 - International Conference on Fan Noise, Aerodynamics, Applications & Systems*, Darmstadt , Almany, April 2018.
- [15] T. B. Güven, A. H. Altun and S.Doğan, “An experimental test set-up with the ANSI / AMCA 210-16 standard for performance analysis of axial fans,” *International Journal of Aeronautics and Astronautics*, vol. 2, no. 1, 9-13, 2021.
- [16] *ANSI/AMCA Standard 210-16, Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating*, ASHRAE Standard 51-16, USA, 2016.
- [17] S.J. Kline and F.A. McClintock, *Describing uncertainties in single sample experiments*, Mech. Eng., vol. 75, 385–392, 1953.
- [18] B. Eck, *Design and operation of centrifugal, axial-flow, and cross flow fan*, First ed., Germany, Pergamon Press Ltd., 1973.

[19] Anonim, (2022, 08, 24). Kataloglar (Kayites). [Çevrimiçi]. Erişim:
http://www.kayites.com/assets/upload/folder/publish/normal/kayites_202232515387568.pdf