

ARKA YÖNLENDİRME DUVARININ TEĞETSEL FAN PERFORMANSINA ETKİLERİ

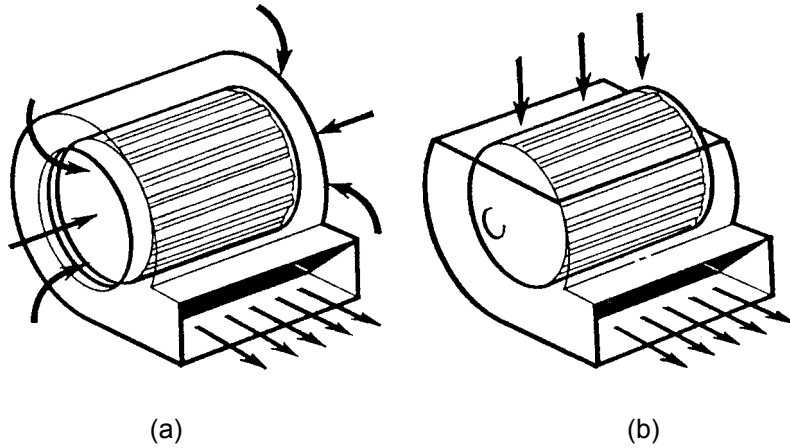
Yusuf Azrail USKANER
Ömer Turgay GÖKSEL

ÖZET

Değişik teğetsel fan tasarımlarının basınç, debi ve verim değerlerinin elde edilebileceği açık-devre teğetsel fan deney düzeneği imal ve kalibre edildi. Değişik profillere sahip arka yönlendirme duvarları kullanılarak yapılan deneyler sonucunda arka yönlendirme duvarı eğimi, çıkış alanı, giriş arki ile çıkış arki oranı ve rotor ile arka yönlendirme duvarı arasındaki boşluk şeklinin teğetsel fan performansına etkileri belirlendi. Geniş deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda optimum teğetsel fan performansını sağlayacak rotor parametreleri belirlendi ve sunuldu.

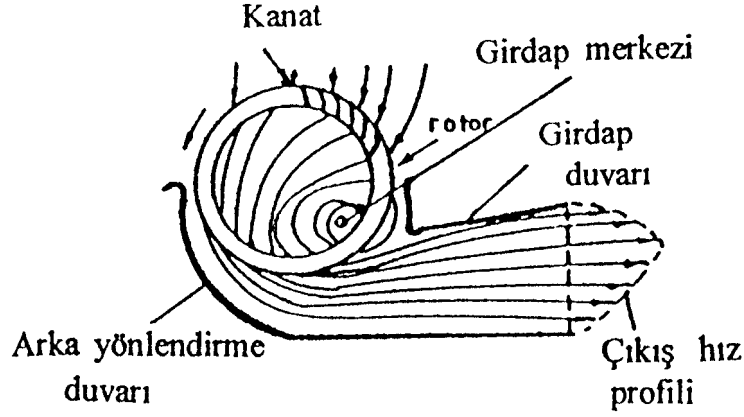
GİRİŞ

Teğetsel fan, öne eğimli kanatları olan silindirik rotorun akıma göre şekillendirilmiş bir gövde içerisinde döndürülmesi ile oluşturulmaktadır. Santrifüj tipi fanların aksine rotorun her iki tarafı kapalıdır ve havanın teğetsel fan içerisinde izlediği yol bu tip fanları diğerlerinden ayırır. Şekil 1'de Santrifüj ve Teğetsel fanlar gösterilmektedir.



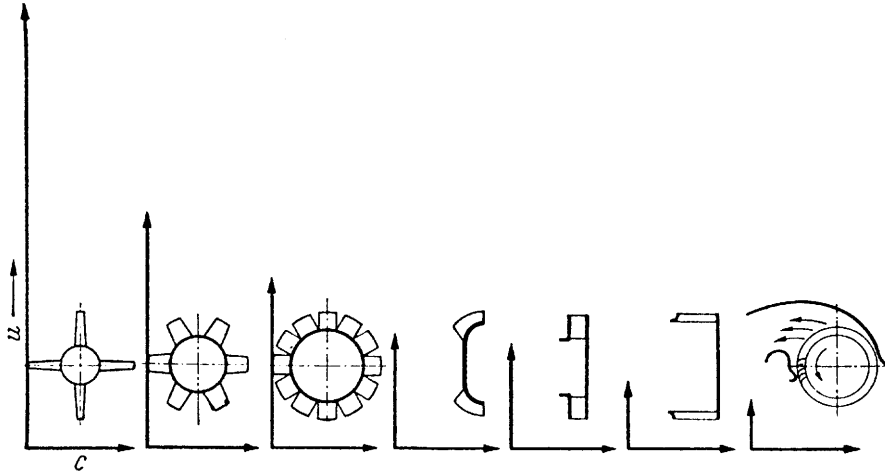
Şekil 1. Santrifüj Fan (a) ve Teğetsel Fan (b).

Teğetsel fanlar elektrikli ev aletlerinde, ısıtma, soğutma, havalandırma sistemlerinde ve kurutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geniş uygulama alanlarının bulunmasına rağmen literatürde henüz sağlıklı bir teğetsel fan tasarım yöntemi mevcut değildir. Bu alanda yeterli teori mevcut olmayıp gelişmelerin tümü deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Hava akımının kanatlar arasından geçmesi ile rotor ekseninden kaçık merkeze sahip bir girdap oluşmaktadır.



Şekil 2. Tipik Teğetsel Fan Akım Yapısı.

Teğetsel fanlarda bu girdap çıkış bölümünde bulunan havanın giriş bölümüne geri dönmesini önleyen aerodinamik bir conta olarak kullanılmaktadır. Teğetsel fan içerisindeki akımın yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu tip fanların çıkışında oldukça yüksek hava hızları elde etmek mümkündür. Şekil 3'te değişik fan tasarımlarında aynı çıkış hızını elde etmek için gerekli rotor çevresel hızları şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3'te açıkça görüldüğü gibi belirli bir hava çıkış hızı için teğetsel fanlar en düşük çevresel hıza sahiptirler. Bu nedenledir ki genelde aksel ve radyal fanlara göre daha düşük verim değerlerine sahip olmalarına rağmen düşük rotor Reynolds sayılarında diğer fanlardan daha yüksek performans değerlerine sahiptirler. Yüksek hava hızları veya derin nufuziyet gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedirler.



Şekil 3. Aynı Çıkış Hava Hızı Elde Etmek için Farklı Fan Tasarımlarında Gerekli Rotor Çevresel Hızı.

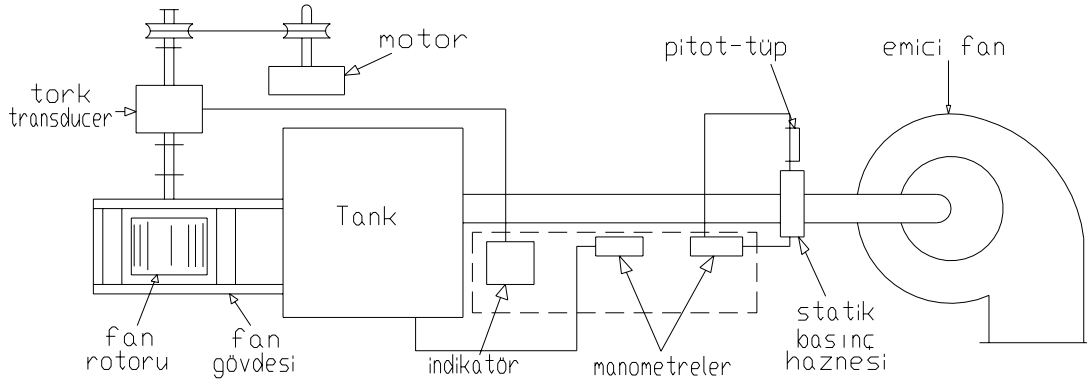
Kaynak 1 ve 7'de Teğetsel Fanlar ile ilgili yapılmış olan çalışmalar tarihsel süreç içerisinde derlenerek detaylı literatür özeti halinde sunulmuştur. 1892'de Moltier'in Maden ocağı havalandırması için bir teğetsel fan patentlemiş ve ardından Dalin, Anderson, Buck ve diğer araştırmacıların Moltier'in fanını inceleyerek geliştirmeye çalışmışlardır. 1951 yılında Dr. Eck teğetsel fanlar ile ilgili kapsamlı bir araştırma çalışması yürütmüştür. Bu çalışmaları 1957 yılında Laakso'nun, 1959 yılında Coester'in, 1962 yılında Dakwyler'in çalışması 1964 yılında Tramposch'nın çalışması 1966 yılında Ilberg ve Sadeh'in çalışmaları izlemiştir. 1966 yılında Ikegami ve Murata bu alanda teorik bir çalışma yürütmüşlerdir. 1967 yılında Porter Doktora Tezinde Teğetsel Fanları deneysel olarak incelemiştir. 1972 yılında Lajos ve Preszler Teğetsel Fanlar ile ilgili elde ettiği deneysel sonuçları sunmuşlardır. Yine 1972 yılında Moore Teğetsel Fanlar içerisinde oluşan girdap yapısı ve bu yapının fan debisi üzerine etkilerini incelemiştir. Murata ve Nishihara 1973 yılında Dış Gövde Geometrisinin Teğetsel Fan Performansına etkilerini incelemiş ve sunmuşlardır, ardından 1974 yılında Teğetsel Fanlarda oluşan

Eksantrik girdabın rotor içerisindeki hareketlerini incelemişlerdir 1975 yılında Murata, Ogawa, Shimizu, Nishiara ve Kinoshita teorik ve deneysel bir çalışma yürüterek fan içerisinde yönlendirme kanadı yerleştirmenin fan performansına etkilerini incelemişlerdir. 1981 yılında Özyaman Yüksek Lisans Tezi kapsamında Teğetsel Fan deney düzeneği oluşturarak kanat ve gövde parametrelerinin fan performansına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. 1986 yılında Haktanır Yüksek Lisans Tezi kapsamında Giriş ve Çıkış bölümleri aynı yönde olan Teğetsel Fan Tasarımı gerçekleştirerek fan performansına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. 1997 yılında Tsurusaki ve arkadaşları Teğetsel Fan içerisindeki akımın yapısını görsel ve sayısal olarak incelemişlerdir.

Teğetsel fan performansını etkileyen parametreler kanat parametreleri, arka yönlendirme duvarı parametreleri ve girdap duvarı parametreleri olmak üzere üç ana grupta incelenebilir. Bu çalışmada arka yönlendirme duvarı parametrelerinin teğetsel fan performansına etkileri incelenmiş olup diğer parametrelerin teğetsel fan performansına etkileri [7,8,9]'da mevcuttur. Teğetsel fan tasarımında fan etkisi bakımından rotor boyunun herhangi bir etkisi yoktur. Bu nedenle dinamik tasarımı uygun olmak koşulu ile istenilen boyda teğetsel fan tasarımı gerçekleştirilebilir ve böylece pek çok uygulamada hacim tasarrufu sağlanabilir.

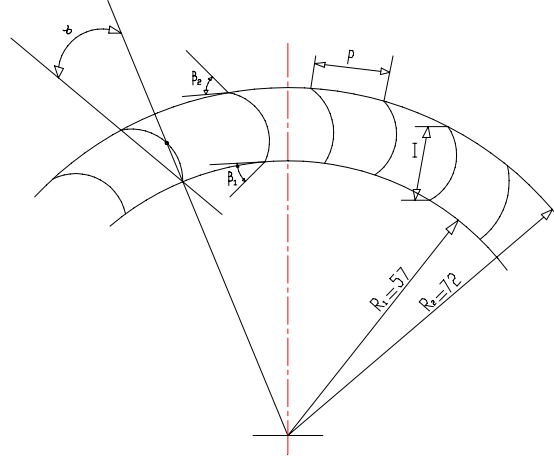
DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜMLER

Farklı tasarımlara sahip teğetsel fanların denenebileceği ve deneyler sırasında fan parametrelerinin kolaylıkla değiştirilebileceği bir deney düzeneği tasarlanarak imal edilmiştir (Şekil 4). Deney düzeneği 0.55 kW, 1410 d/dak elektrik motoru, kayış kasnak sistemi, tork sensörü, fan rotoru, fan gövde ünitesi, durağanlaştırma tankı, pitot-tüp ve gezdirme mekanizması, yardımcı emiş fanı, mikro manometreler ve PVC borulardan oluşmaktadır. Rotor ve gövde ünitesi saydam pleksiglas ile kapatılarak deney sırasında içerisinde görülebilmesi sağlanmıştır. Fan rotoru ankastre bağlantı şeklinde tasarlanmış olup kanatlar metal levha saçtan preslenerek imal edilmiştir. Kanatlar istenilen açıda ayarlanabilecek şekilde iki disk arasına monte edilmektedir.

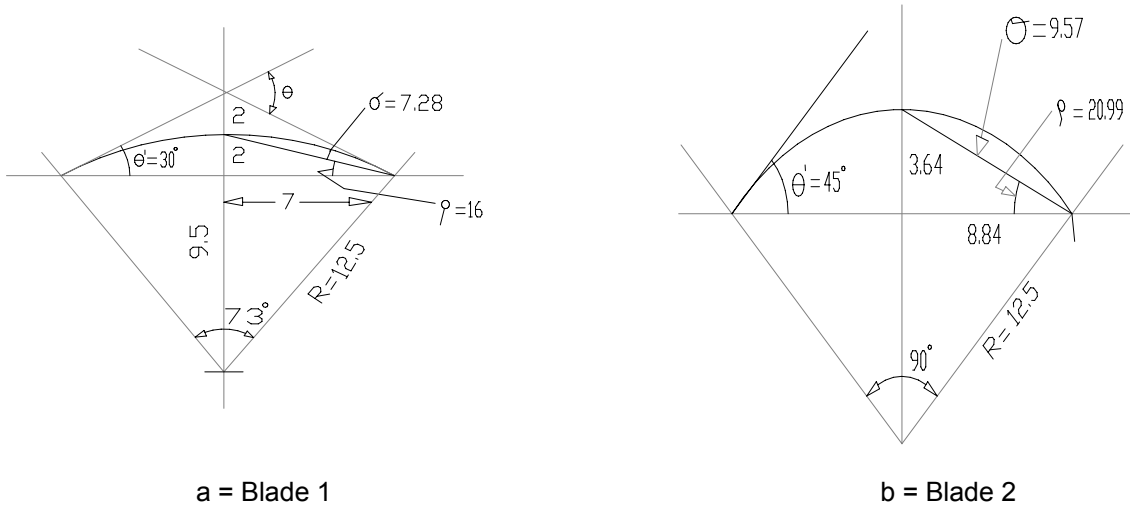


Şekil 4. Deney Düzeneği

Deneyler sırasında sıfır debi ile serbest üfleme arasındaki tüm çalışma noktalarında debi, basınç ve tork ölçümleri yapılabilmektedir. Kayış kasnak sistemi ile 825, 1125, 1500 ve 2000 d/dak çalışma hızları elde edilmektedir. Arka yönlendirme duvarı ve girdap duvarı poly-styro-foam kullanılarak imal edilmekte ve böylece farklı fan tasarımlarının çok kısa süre içerisinde imal edilmeleri sağlanmaktadır. Fan çıkışındaki statik basınç durağanlaştırma tankına yerleştirilen statik basınç sondası yardımı ile ölçülmektedir. Pitot-tüp, gezdirme mekanizması ve statik basınç haznesi yardımı ile boru içerisindeki hız profili ve böylece fan debisi ölçülmektedir. Serbest üfleme şartlarının oluşturulabilmesi için santrifüj tipi bir fan kullanılmaktadır. Deney düzeneği ve ölçümler ile ilgili detaylı bilgiler [8]'de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan rotor ölçümleri ve kanat profilleri Şekil 5 ve 6'da sunulmaktadır.



Şekil 5. Deneylerde Kullanılan Fan Rotoru.



a = Blade 1

b = Blade 2

Şekil 6. Deneylerde Kullanılan Kanat Şekilleri, a = Blade 1, b = Blade 2 .

DeneySEL sonuçlar boyutsal analiz ve benzeşim kavramları çerçevesinde belirlenen boyutsuz parametrelerle ifade edilmektedir. Bu parametrelerden ϕ debi katsayısını, ψ_t toplam basınç katsayısını, ψ_{st} statik basınç katsayısını ve η toplam verimi göstermektedir. Toplam verimin belirlenmesinde rotor milinden ölçülen tork değerleri ve fan çıkışındaki akışkanın hidrolik enerjisi kullanılmaktadır.

$$\phi = \frac{Q}{LDU} \quad (1)$$

$$\psi_t = \frac{\Delta P_t}{1/2 \rho U^2} \quad (2)$$

$$\psi_{st} = \frac{\Delta P_{st}}{1/2 \rho U^2} \quad (3)$$

Bu denklemlerde Q hava debisini (m^3/s), L rotor uzunluğu (m), D rotor çapını (m), ΔP_f fanın girişi ve çıkışlar arasındaki toplam basınç farkını (Pa), ΔP_{st} fanın girişi ve çıkışı arasındaki statik basınç farkını (Pa), ρ havanın yoğunluğunu, U ise rotor dış çapındaki teğetsel hızı (m/s) ifade etmektedir. Deneylerde uzunluğu $L = 160$ m ve dış çapı $D = 0.144$ m olan rotor kullanılmıştır. Rotodinamik makinaların sınıflandırılmasında özgül hız tanımını yaygın olarak kullanılmakta olup tasarım noktası olarak adlandırılan maksimum verimin elde edildiği çalışma şartlarında hesaplanmaktadır. Fanlar da özgül hız aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$N_{SQ} = \frac{N\sqrt{Q}}{h^{3/4}} \quad (4)$$

Bu denklemde N rotorun dönüş hızını (d/dak), Q hava debisini (m^3/s), h ise fanın ürettiği toplam düşüğü (m) ifade etmektedir. Teğetsel fan için boyutsuz parametreler kullanıldığında;

$$N_{SQ} = 178.026 \left(\frac{L}{D}\right)^{1/2} \frac{\Phi^{1/2}}{\Psi^{3/4}} \quad (5)$$

Bu çalışmada kullanılan fan için;

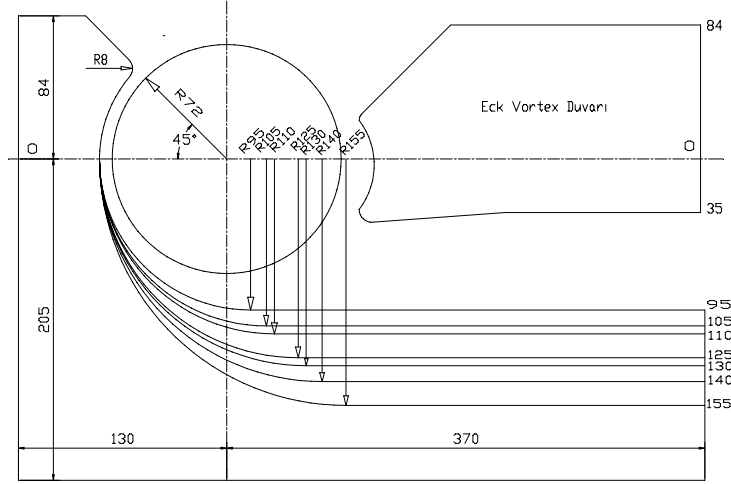
$$N_{SQ} = 187.67 \frac{\Phi^{1/2}}{\Psi^{3/4}} \quad (6)$$

olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Literatürde mevcut olan Teğetsel fanların özgül hızları 40 ile 95 arasında değişmektedir.

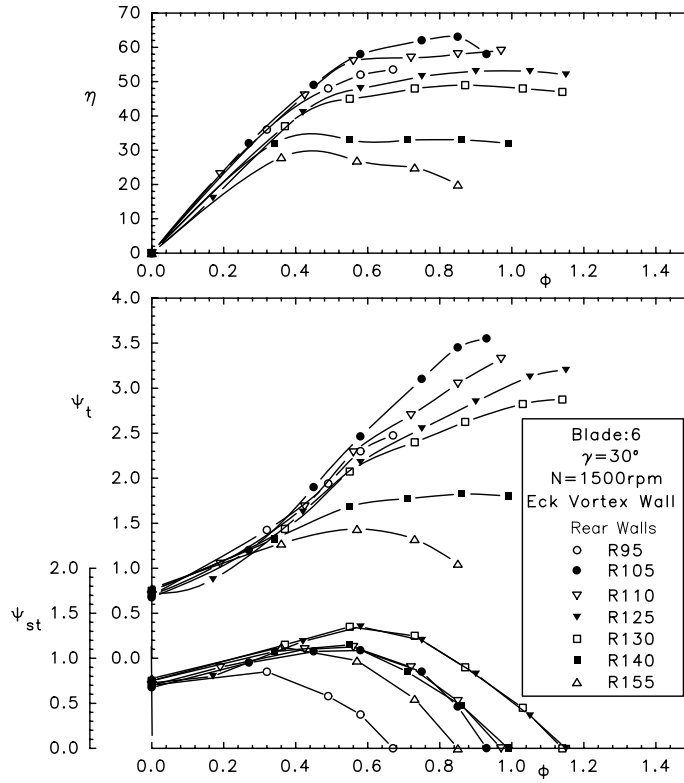
DENEYSEL ÇALIŞMA

Arka yönlendirme duvarının teğetsel fan performansına etkilerini incelemek amacı ile yürütülen sistematik deneylere basit dairesel ark profilleri şeklinde oluşturulan arka yönlendirme duvarları (Şekil 7) kullanılarak başlanmıştır. Şekil 7'de görüleceği gibi fan çıkış alanının yüksekliği düzenli olarak değişmektedir. Her bir arka yönlendirme duvarı kendi yarıçapı ile tanımlanmaktadır. (R110, R125 gibi) 1500 d/dakika dönme hızında ve $\gamma = 30^\circ$ iken yapılan deneyler sonucunda elde edilen performans değerleri Şekil 8'de sunulmaktadır.

Şekil 8'den görüleceği gibi duvar yarıçapı R_w arttıkça yüksek akım katsayılarında toplam basınç katsayıları azalmaktadır. Bunun nedeni arka yönlendirme duvarı yakınındaki düşük enerjiye sahip akışkanın akımın ayrılmasına ve böylece enerji kaybı ve akım kararsızlığına yol açmaları olarak gösterilebilir. Büyük R_w değerleri için yüksek akım katsayılarında toplam basınç katsayısında gözlenen azalmanın bir başka nedeni de çıkış alanının büyümesi sonucunda fandan çıkan havanın ortalama hızında oluşan azalmanın dinamik basıncı azaltması olarak belirtilebilmektedir.

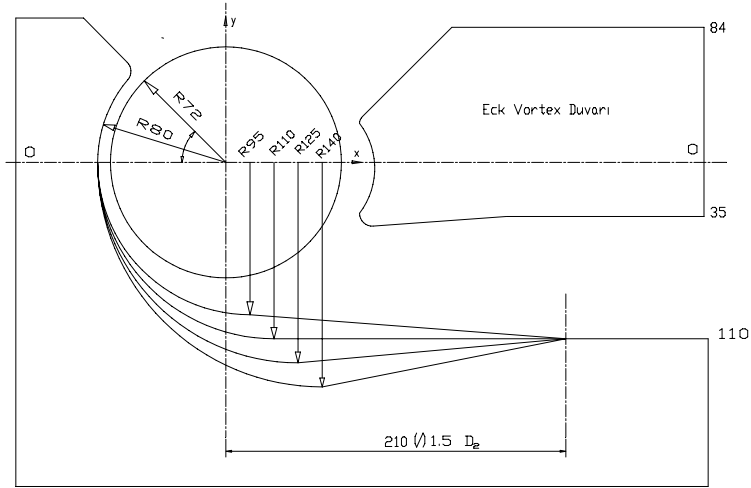


Şekil 7. Basit Dairesel Ark Profillerine Sahip Arka Yönlendirme Duvarları.



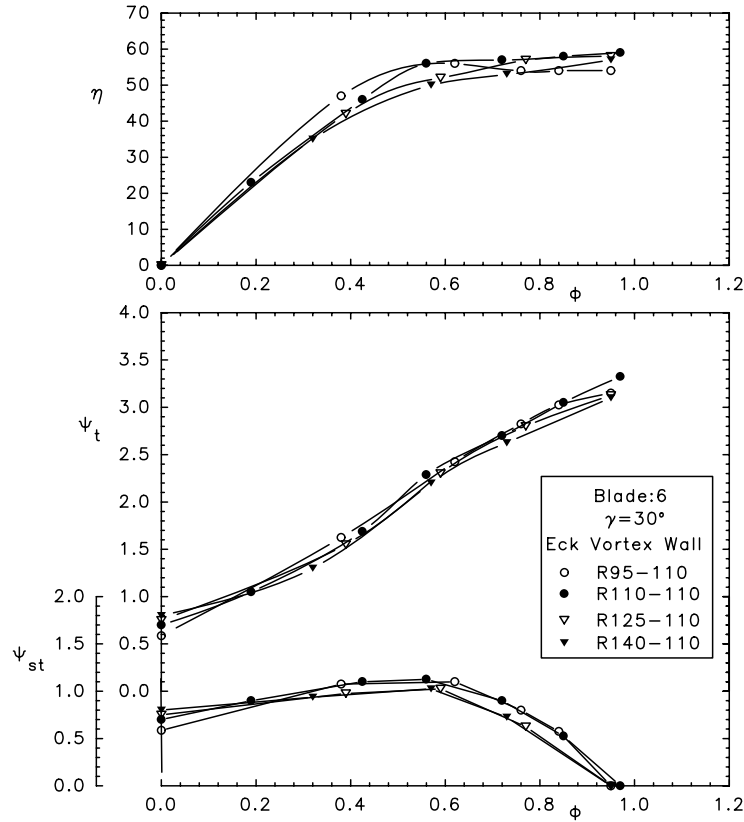
Şekil 8. Basit Dairesel Ark Profiline Sahip Arka Yönlendirme Duvarlarının Fan Performansına Etkileri.

R155 arka yönlendirme duvarı için serbest üfleme durumunda akım kararsızdır. Şekil 8 incelendiğinde R95, R105, R110, R125 ve R140 arka yönlendirme duvarları kullanılarak oluşturulan teğetsel fanların performans parametrelerinde büyük farklılıklar olduğu gözlenmektedir. Bu arka yönlendirme duvarları ile oluşturulan teğetsel fanlarda farklı olan parametreler çıkış alanı ve her bir arka yönlendirme duvarının eğriliğidir. Bu bakımdan, teğetsel fanların performans karakteristiklerinde gözlenen değişimin ya fan çıkış alanındaki değişimden ya da arka yönlendirme duvarlarının sahip oldukları farklı eğriliklerden kaynaklanmaktadır. Her parametrenin etkisini ayrı ayrı belirlemek için R95-110, R125-110 ve R140-110 olarak tanımlanan yeni bir takım arka yönlendirme duvarları imal edilmiştir.



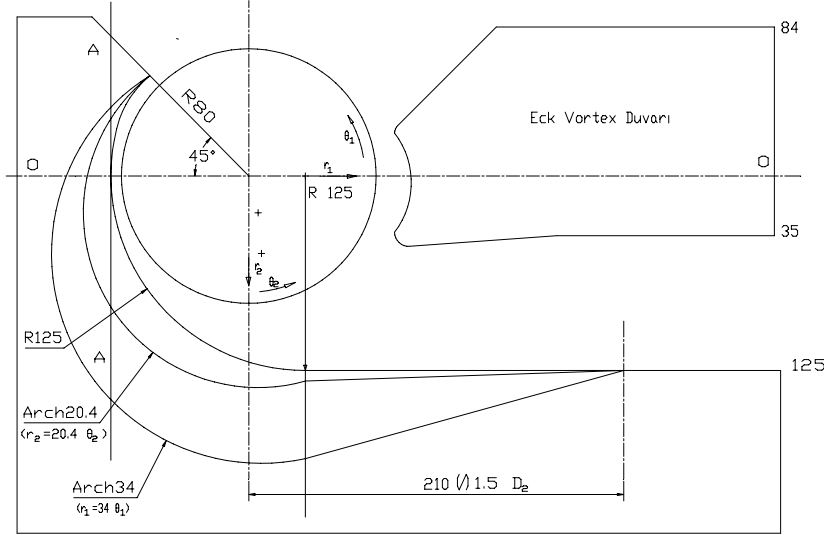
Şekil 9. Aynı Çıkış Alanına Bağlı olan Basit Dairesel Profilli Arka Yönlendirme Duvarları.

Şekil 9'da gösterildiği gibi bu grup arka yönlendirme duvarları ile oluşturulan teğetsel fanların çıkış alanları aynıdır. Böylece arka yönlendirme duvarı eğriliğinin etkisini ayrıca görmek mümkün olmaktadır. Bu fanların çıkış alanları R110 arka yönlendirme duvarı profili kullanılarak elde edilenine eşittir. R110 ve R110-110 arka yönlendirme duvarları aynıdır, fakat her iki arka yönlendirme duvarı grubuna farklı isimler ile dahil edilmiştir. Şekil 9'da gösterilen arka yönlendirme duvarları kullanılarak imal edilen fanlardan elde edilen deney sonuçları Şekil 10'da gösterilmektedir.



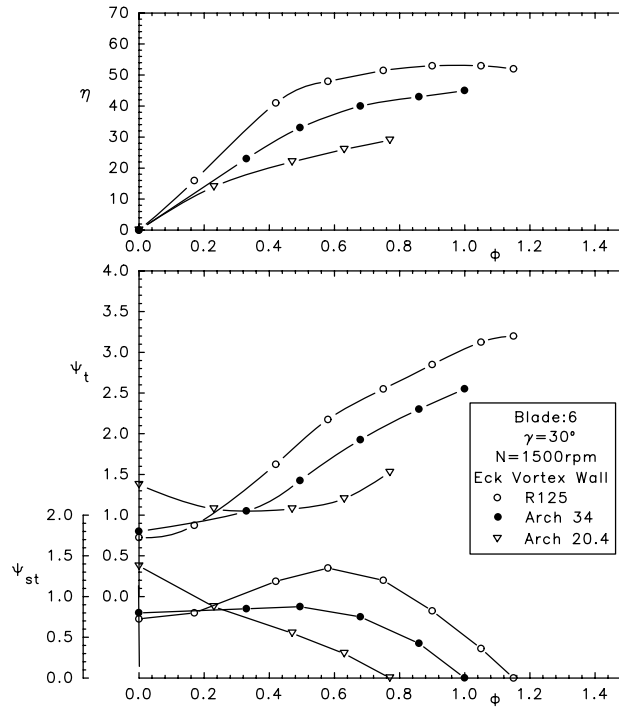
Şekil 10. Şekil 9'da Sunulan Duvar Profillerinin Fan Performansına Etkileri.

Performans değerlerinin arka yönlendirme duvarı eğrilik değerinden bağımsız olduğu ϕ , ψ_t ve η değerlerinin her dört yönlendirme duvarı içinde yaklaşık eşit olduğu Şekil 10'da görülmektedir. bu durum performans parametrelerinin çıkış alanına bağımlı olduğunu ve arka yönlendirme duvarı eğiminden bağımsız olduğunu göstermektedir. Şekil 11'de gösterilen arka yönlendirme duvarları fan çıkış hacminin x-yönünde değişiminin etkilerini görmek için kullanılmıştır. Arch 20.4 ve Arch 34 olarak belirtilen arka yönlendirme duvarları Archimedes spiralleridir.



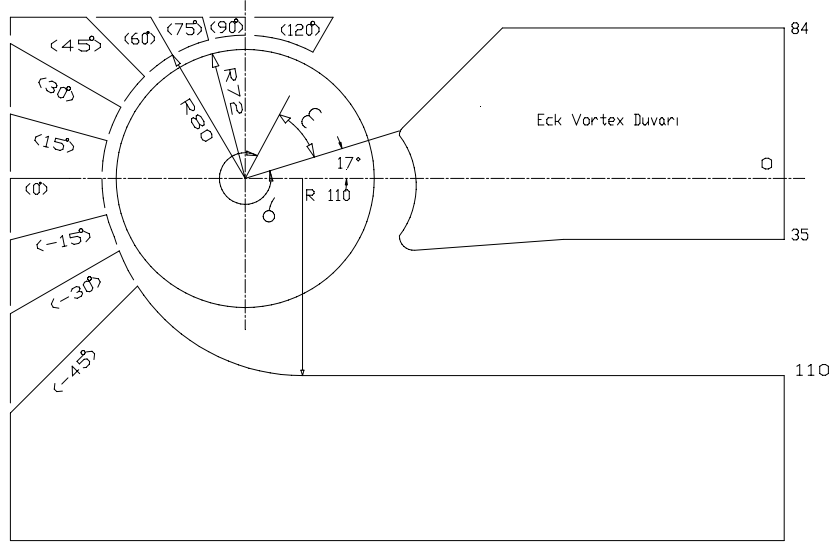
Şekil 11. R 125 Arch 20.4 ve Arch 34 Arka Yönlendirme Duvarı Profili.

Daha önceki bölümlerde incelenen arka yönlendirme duvarlarında A-A ekseninin, Şekil 11, sol tarafında kalan hacim kullanılmamakta idi ancak Arch 20.4 ve Arch 34 arka yönlendirme duvarlarının kullanılması ile A-A ekseninin sol tarafındaki hacim de teğetsel fanın çıkış bölgesine dahil edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 12'de sunulmuştur.

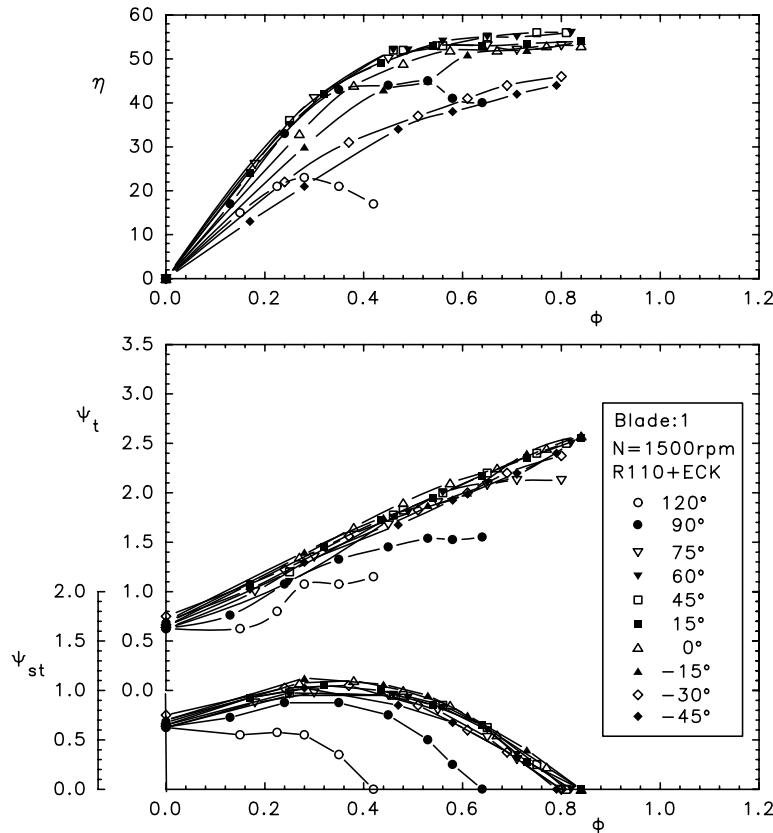


Şekil 12. R 125 Arch 20.4 ve Arch 34 Arka Yönlendirme Duvarları ile Elde Edilen Fan Performansları.

Her ne kadar R125, Arch 20.4 ve Arch 34 kullanılarak oluşturulan fanların çıkış alanları aynı ise de, performans karakteristiklerinde büyük farklılıklar mevcuttur. Bu farklılığın çıkış bölgesindeki hacmin x-yönündeki değişiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. R125 arka yönlendirme duvarı ile elde edilen performans değerleri ile kıyaslandığında sıfır debideki basıncın artmasına karşın η , ψ_{st} ve ψ_t değerlerinde azalma mevcuttur ki buda artan resirkulasyon hacminden kaynaklanmaktadır.



Şekil 13. Rotor Çevresi Üzerinde Farklı Başlama Noktalarına Sahip Arka Yönlendirme Duvarları.

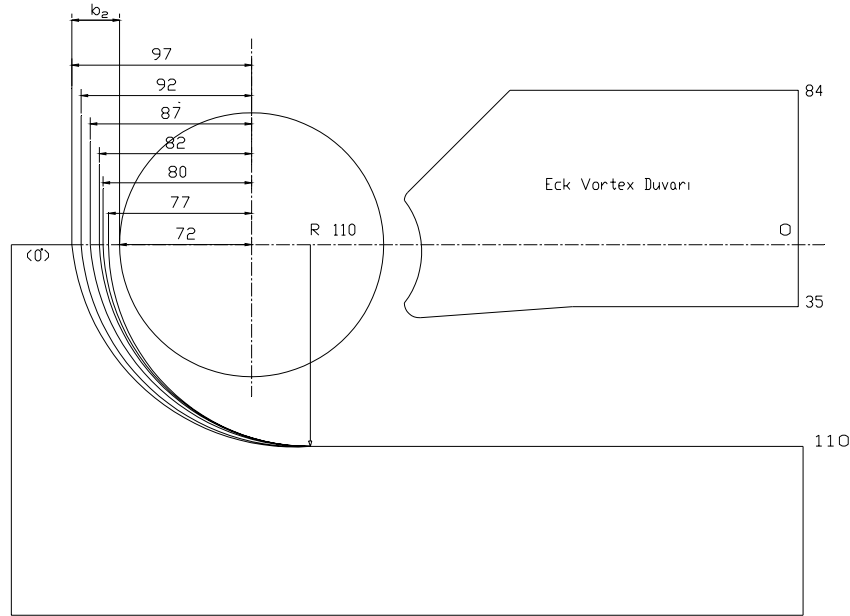


Şekil 14. Farklı Başlama Noktalarına Sahip Arka Yönlendirme Duvarlarının Fan Performansına Etkileri

Arka yönlendirme duvarı açılmal başlama pozisyonunun fan performansına etkilerini belirlemek için R110 (120°), R110 (90°), R110 (75°), R110 (60°), R110 (45°), R110 (30°), R110 (15°), R110 (0°), R110 (-15°), R110 (-30°) ve R110 (-45°), gösterimi ile belirtilen arka yönlendirme duvarları imal edilmiştir. Bu duvar geometrileri Şekil 13'de gösterilmektedir. Ekstrem durumları da içeren on bir değişik başlama pozisyonuna sahip arka yönlendirme duvarı denenerek arka duvarın muhtemel değişik varyasyonları ile teğetsel fan davranışının belirlenmesi ve giriş arki ile çıkış arki oranının, ϵ / δ , fan performansına etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda elde edilen performans değerleri Şekil 14'de sunulmaktadır.

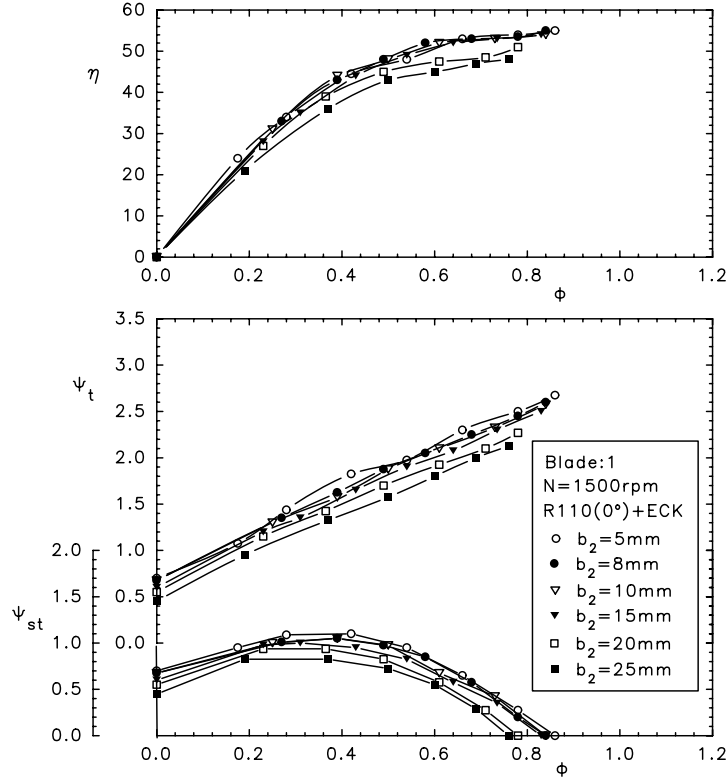
R110 (120°), R110 (90°) ve R110 (75°) arka yönlendirme duvarları kullanılarak yapılan deneylerde düşük performans değerleri elde edilmiştir. R110 (-45°) ve R110 (-30°) için her ne kadar ψ_{st} ve ψ_t değerleri yüksek ise de, verim değerleri düşüktür. Bu arka yönlendirme duvarları ile, yapılan deneylerde verimin düşük olması yönlendirme duvarı tarafından geriye kaçan hava miktarındaki artıştan kaynaklanmaktadır. R110 (60°), R110 (45°), R110 (30°), R110 (15°), R110 (0°) ve R110 (-15°) arka yönlendirme duvarları kullanılarak yapılan deneylerde elde edilen performans karakteristiklerinde belirgin farklılıklar gözlenmemiştir. En iyi performans karakteristiği R110 (45°), R110 (30°) ve R110 (0°) arka yönlendirme duvarları kullanılarak elde edilmiştir.

Rotor ile arka yönlendirme duvarı arasındaki boşluğun, b_2 , fan performansına etkisini belirlemek için R110 arka yönlendirme duvarı ve ECK girdap duvarı kullanılmıştır. Boşluk konfigürasyonları Şekil 15'de verilmiştir. 5 mm ile 25 mm arasında değişen altı değişik boşluk denenerek elde edilen sonuçlar Şekil 16'da sunulmuştur.



Şekil 15. Rotor ve Arka Yönlendirme Duvarı Arasında Oluşturulan Farklı Boşluklar.

Boşluk miktarının artması ile ψ_{st} ve ψ_t değerlerinde azalma gözlenmektedir. Ancak bu değişimden 5 mm < b_2 < 15 mm aralığında verim değerleri etkilenmemekte ise de boşluğun daha fazla artırılması verim azalmasına neden olmaktadır. Teğetsel fan performans parametrelerinin rotor ile arka yönlendirme duvarı arasındaki boşluğun fonksiyonu olduğu Şekil 16'da açıkça görülmektedir.



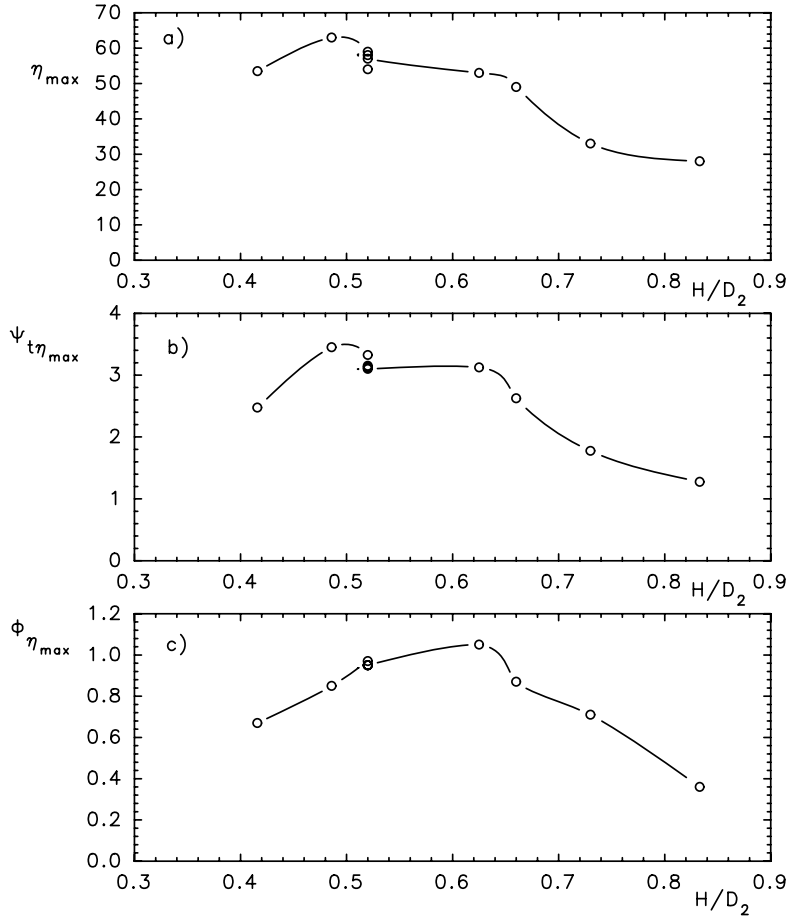
Şekil 16. Rotor ve Arka Yönlendirme Duvarı Arasında Oluşturulan Farklı Boşlukların Fan Performansına Etkileri.

Fan Çıkış Alanı

Performans testleri gerçekleştirilen tüm teğetsel fanların çıkış alanları dikdörtgen kesitli olup çıkış genişlikleri tüm fanlarda aynıdır. Bu nedenle çıkış alanlarının değiştirilmesi için çıkış yükseklikleri değiştirilmiştir. Test edilen Arka Yönlendirme Duvarlarının Çıkış Yükseklikleri Tablo 1'de verilmektedir. Test edilen arka yönlendirme duvarlarına ait ϕ , ψ_t ve η parametrelerinin maksimum verim noktasındaki değerlerinin boyutsuz fan çıkış yüksekliği, (H / D_2) , ile değişimleri Şekil 17 a,b,c'de sunulmuştur.

Tablo 1. Test edilen arka yönlendirme duvarlarının çıkış yükseklikleri

Arka Yönlendirme Duvarı	H (mm)	H/D ₂
R 95	60	0.416
R 105	70	0.486
R 110	75	0.52
R 125	90	0.625
R 130	95	0.66
R 140	105	0.73
R 155	120	0.833
R95 – 110	75	0.52
R125 – 110	75	0.52
R140 – 110	75	0.52
Arch 20.4	90	0.625
Arch 34	90	0.625



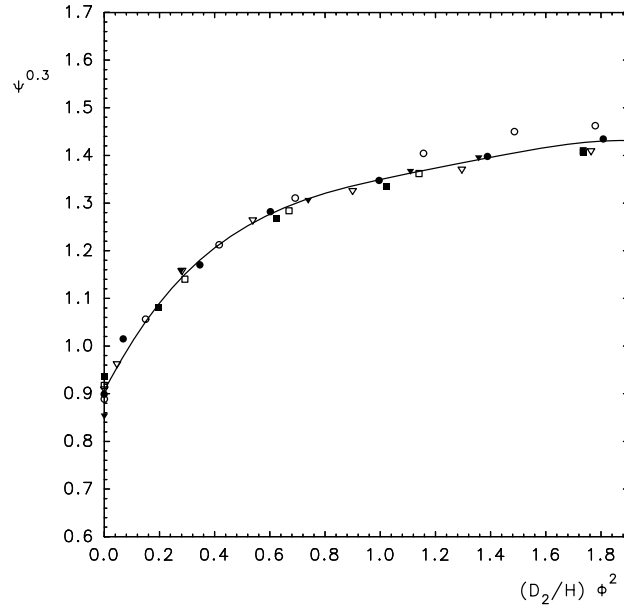
Şekil 17. Çıkış Yüksekliğinin Fan Performansına Etkileri.

Şekil 17 a,b,c,'de görüleceği gibi farklı arka yönlendirme duvarları kullanılarak elde edilen performans parametreleri birbirinden oldukça değişim göstermektedir. Aynı şekil üzerinde R95-110, R125-110 ve R140-110 arka yönlendirme duvarları kullanılarak maksimum verim noktasında elde edilen deney sonuçları da sunulmuştur. Bu grafiklerden elde edilen birinci gözlem, maksimum verimin elde edildiği akım katsayısının, $\phi_{\eta_{max}}$, arka yönlendirme duvarı eğiminden bağımsız olduğudur. Maksimum verim, η_{max} , ve maksimum verim noktasında oluşan toplam basınç katsayısı, $\psi_{t\eta_{max}}$, değerlerinin de ± 2 % bir yanılma payı ile arka yönlendirme duvarı eğiminden bağımsız oldukları ifade edilebilir. Böylece farklı çıkış alanlarına sahip olarak oluşturulan fanlarda performansın çıkış yüksekliğinin değişmesi ile etkilendiği belirlenmiş olmaktadır. Boyutsuz çıkış alanı yüksekliğinin 0.43 ile 0.65 arasında bulunduğu değerlerde yüksek verim elde edildiği ve en yüksek verimin % 62 ile 0.48 yüksekliğinde elde edildiği görülmektedir. $H/D_2 > 0.65$ yükseklikleri için verim değerleri sürekli azalmaktadır. Bu azalma, resirkülasyon hacmindeki artışa bağlı olarak artan girdap kayıplarından kaynaklanabilmektedir. $0.48 < H/D_2 < 0.625$ değerleri arasında iyi $\psi_{t\eta_{max}}$, değerleri gözlenirken, $H/D_2 > 0.625$ değerleri için çıkış alanının artması ile azalan dinamik basıncın etkisi ile $\psi_{t\eta_{max}}$, değerlerinde ani azalmalar görülmektedir. En yüksek $\psi_{t\eta_{max}}$, değeri $H/D_2 = 0.48$ 'de elde edilmiştir. Maksimum verim noktasında elde edilen debi katsayısı $\phi_{\eta_{max}}$, değerleri $0.48 < H/D_2 < 0.65$ aralığında iyi iken $H/D_2 < 0.48$ değerleri için çıkış alanında oluşan daralmaya bağlı olarak $\phi_{\eta_{max}}$, değerleri ve ϕ_{max} değerleri azalmaktadır.

En yüksek $\phi_{\eta_{max}}$, değeri $H/D_2 = 0.625$ 'te büyük değerleri için, arka yönlendirme duvarı yakınındaki akışkanın düşük enerji düzeyi nedeni ile akım kararsızlığı eğilimi artmaktadır. Yukarıdaki tartışmalar ışığında, iyi fan performansı sağlayan H/D_2 oranının 0.48 ile 0.625 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle tasarım sırasında $0.48 < H/D_2 < 0.625$ olarak kullanılmalıdır. Bu H/D_2 aralığında ψ_t değerleri H/D_2 ve ϕ parametrelerinin fonksiyonudur (Denklem 7 ve 8). Bu fonksiyonel ilişki grafik olarak Şekil 18'de gösterilmiştir.

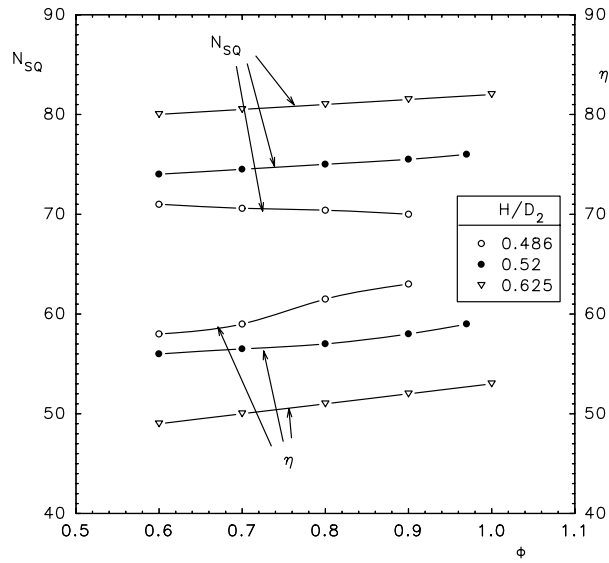
$$\Psi_t^{0.3} = f\left(\frac{D_2}{H}\phi^2\right) \quad (7)$$

$$\Psi_t^{0.3} = 0.905 + 1.18\left(\frac{D_2}{H}\phi^2\right) - 1.3\left(\frac{D_2}{H}\phi^2\right)^2 + 0.712\left(\frac{D_2}{H}\phi^2\right)^3 - 0.147\left(\frac{D_2}{H}\phi^2\right)^4 \quad (8)$$



Şekil 18. Toplam Basınç Katsayısının Çıkış Yüksekliği ve Debi Katsayısıyla Değişimi.

Denklemler 8, $0.48 < H/D_2 < 0.625$ aralığı için $\Psi_t^{0.3}$ 'ün $(D_2/H)\phi^2$ ile değişimini sıfır debi ve serbest üfleme duvarları arasındaki tüm çalışma şartları için göstermektedir.



Şekil 19. Özgül Hız ve Verimin Debi Katsayısıyla Değişimi.

Şekil 19, özgül hızın, N_{SQ} , ve verimin akım katsayısı, ϕ , ile değişimini $0.48 < H/D_2 < 0.625$ aralığı için vermektedir. Şekil 19'da açıkça görüldüğü gibi $0.6 < \phi < 1$ aralığında özgül hız $\pm 2\%$ bir bant içerisinde sabit kalmaktadır. Belirli bir L/D_2 oranı için L rotor uzunluğudur, N_{SQ} ve η_{max} değerlerini sadece H/D_2 oranı etkilemektedir. Yatay verim eğrileri elde etmek tasarımcılar açısından çok faydalıdır zira daha esnek tasarımlara olanak sağlar. Geniş çalışma aralığı içerisinde iyi fan performansı elde edilmesini sağlar. Belirli bir H/D_2 oranı ve çalışma aralığı için N_{SQ} değerinin sabit olması nedeni ile, Şekil 19, benzeşim kurallarının arka yönlendirme duvarı şeklinden bağımsız olarak geçerli olduğunu göstermektedir.

Aynı H/D_2 oranları için benzer teğetsel fanların performans değerlerinin ekstrapolasyonu için aşağıda verilen denklem C ve D uygulanabilir.

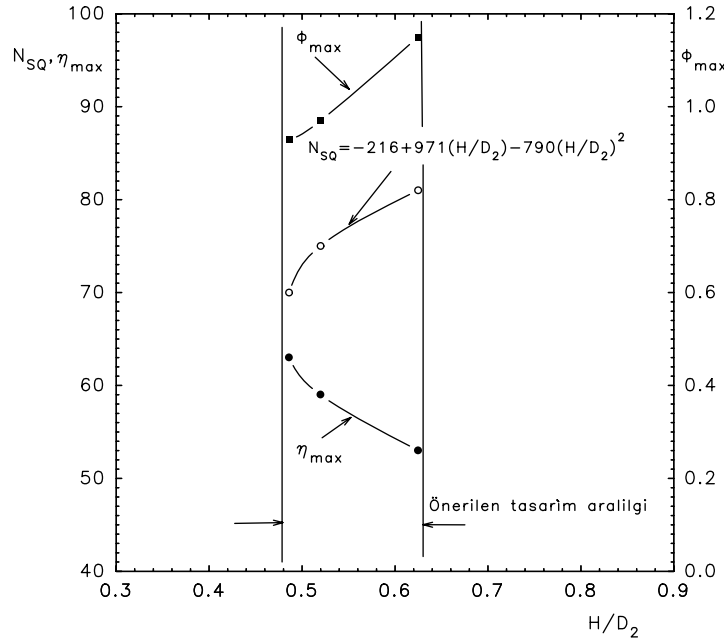
$$\frac{\Delta P_1}{N_1^2 D_1^2} = \frac{\Delta P_2}{N_2^2 D_2^2} \quad (9)$$

$$\frac{Q_1}{N_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{N_2 D_2^3} \quad (10)$$

burada 1 ve 2 indisleri benzer fanlarda iki farklı çalışma noktasını ifade etmektedir. Şekil 19 ve 20'den görüleceği gibi özgül hız $69 < N_{SQ} < 81$ arasında değişmektedir. H/D_2 oranının artması ile özgül hız artmaktadır, ki bu belirli bir debi için H/D_2 oranının artması ile fandan atılan havanın toplam basıncının azaldığı anlamına gelmektedir.

$0.48 < H/D_2 < 0.625$ aralığı için N_{SQ} ve H/D_2 arasındaki ilişki belirlenmiş olup Denklem (11)'de verilmektedir.

$$N_{SQ} = -216 + 971\left(\frac{H}{D_2}\right) - 790\left(\frac{H}{D_2}\right)^2 \quad (11)$$



Şekil 20. Özgül Hız, Maksimum Debi Katsayısı ve Maksimum Verimin Çıkış Yüksekliği ile Değişimi.

Buraya kadar yapılan irdelemelerde çıkış alanının teğetsel fan performansına etkileri incelenirken arka yönlendirme duvarları değiştirilerek farklı çıkış alanları oluşturulmuştur. Girdap duvarı değiştirilerek de farklı çıkış alanları elde etmek mümkündür. Girdap duvarının fan performansına etkileri kaynak [7]'de incelenmiş olup bu çalışma kapsamına alınmamıştır.

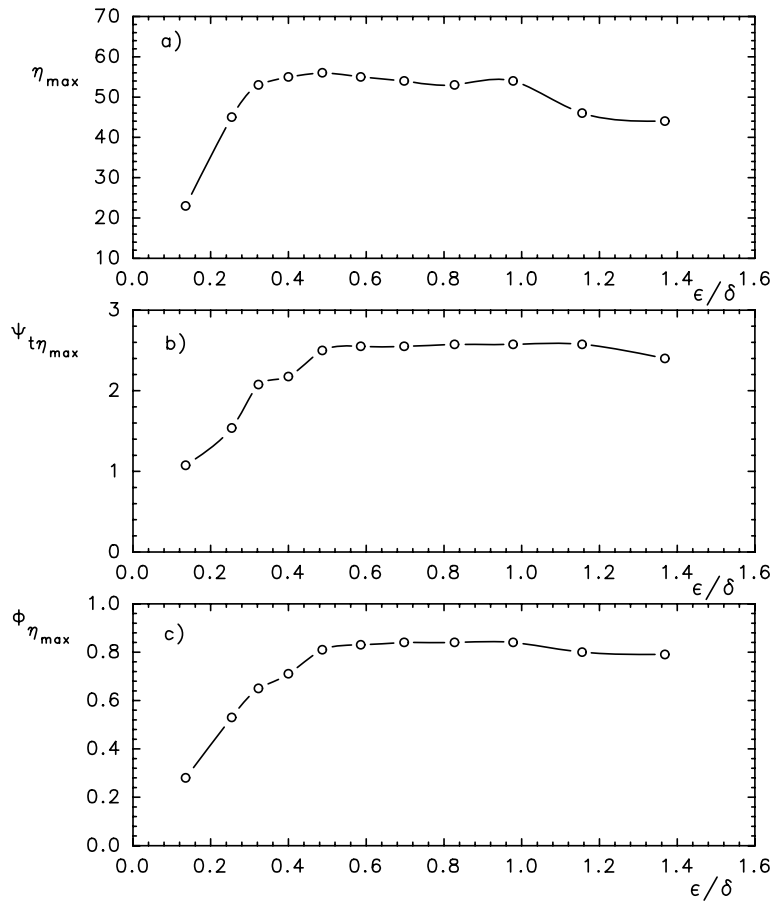
Giriş Arkı ile Çıkış Arkı Oranı, ε/δ

Giriş arkı ile çıkış arkı oranını değiştirerek teğetsel fan performansına etkilerini belirlemek amacı ile Şekil 13'de gösterilen arka yönlendirme duvarları kullanılmıştır. Giriş arkı, ε , Şekil 13'de gösterildiği gibi tanımlanmış olup rotorun geri kalan çevre uzunluğu $(2\pi r - \varepsilon)$ çıkış arkı, δ , olarak tanımlanmıştır.

$$\delta = 2\pi r - \varepsilon \quad (12)$$

Burada r rotorun dış yarıçapıdır. Deneyle yapılan arka yönlendirme duvarlarına ait ε/δ oranları Tablo 2'de sunulmuş olup elde edilen performans verilerinin maksimum verim noktasındaki değerleri Şekil 21 a,b,c'de sunulmuştur.

Şekil 21'de görüldüğü gibi $0.5 < \varepsilon/\delta < 1.35$ aralığında $\phi_{\eta_{max}}$ değerleri etkilenmemektedir ancak ε/δ oranının azalması ile $\phi_{\eta_{max}}$ değerinde sürekli azalma gözlenmektedir. Aslında ε/δ oranının azalması ile $\phi_{\eta_{max}}$, $\psi_{t\eta_{max}}$ ve η_{max} değerleri azalmaktadır, zira ε/δ oranının azalması giriş alanını azaltarak daralma etkisi oluşturmaktadır. $0.55 < \varepsilon/\delta < 1.05$ aralığında $\psi_{t\eta_{max}}$ değerleri yaklaşık olarak sabit kalmakta ise de, $\varepsilon/\delta > 1.05$ değerleri için, bu oranın artması ile $\psi_{t\eta_{max}}$ değerleri azalmaktadır.



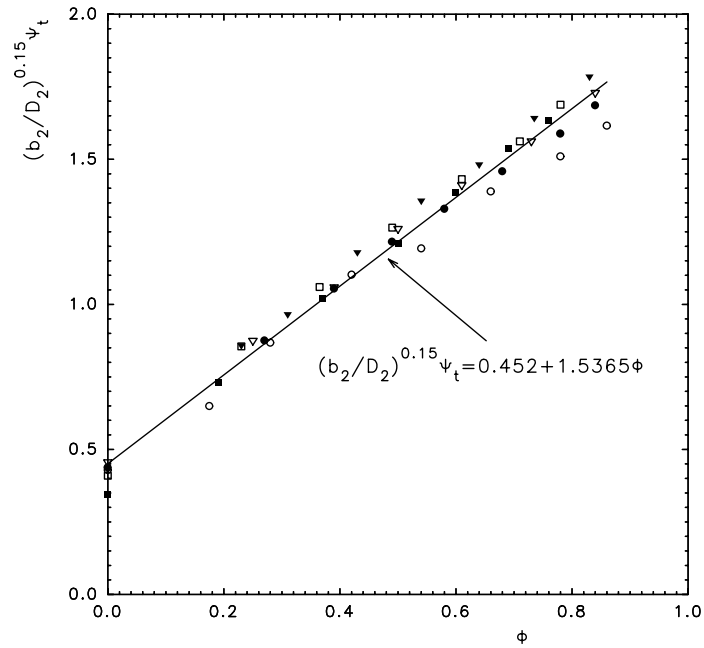
Şekil 21. ε/δ 'nin Maksimum Verim Noktasında Fan Performansına Etkileri.

Tablo 2. Test edilen arka yönlendirme duvarlarının ε ve ε/δ değerleri

Arka Yönlendirme Duvarı	ε^0	ε/δ
R 110 (120^0)	43	0.1356
R 110 (90^0)	73	0.254
R 110 (75^0)	88	0.323
R 110 (60^0)	103	0.4
R 110 (45^0)	118	0.487
R 110 (30^0)	133	0.5859
R 110 (15^0)	148	0.698
R 110 (0^0)	163	0.8274
R 110 (-15^0)	178	0.978
R 110 (-30^0)	193	1.1556
R 110 (-45^0)	208	1.3684

Rotor ve Arka Duvar Arasındaki Boşluk

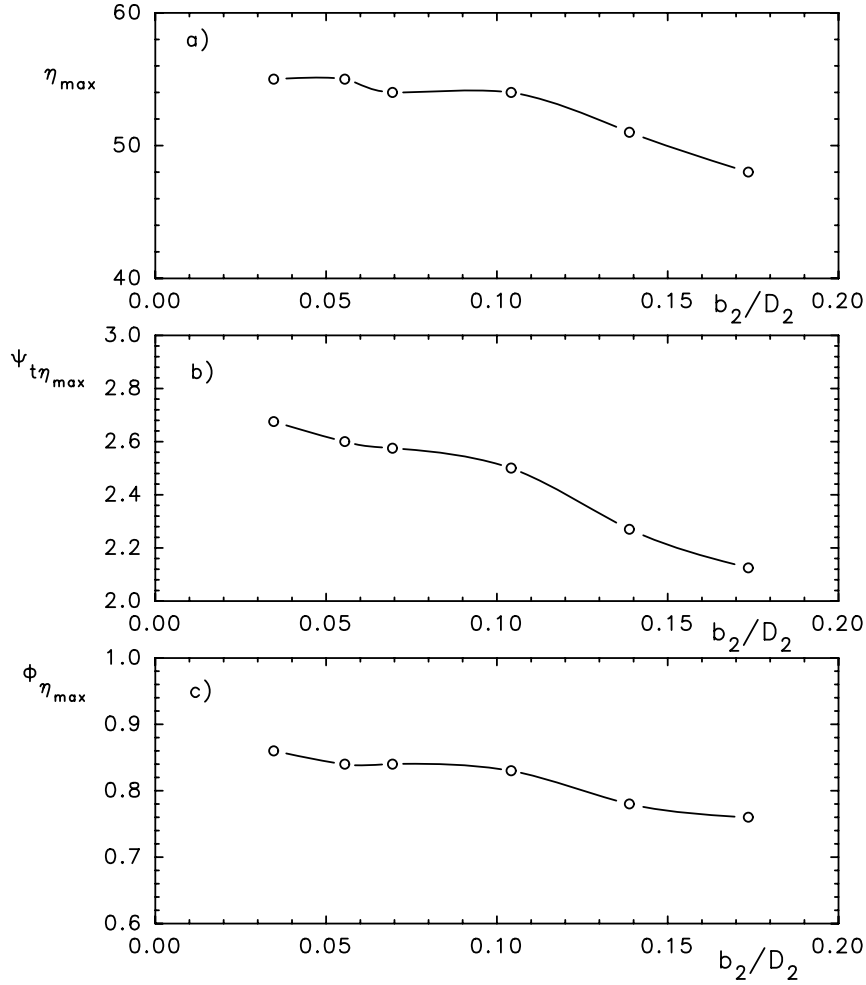
Arka yönlendirme duvarı ile rotor arasındaki boşluğun, b_2 , teğetsel fan performansına etkilerini incelemek için $0.0347 < b_2/D_2 < 0.2083$ aralıklarında deneyler gerçekleştirilmiş olup veriler Şekil 22'de sunulmuştur.

**Şekil 22.** Rotor ile Arka Duvar Arasındaki Boşluğun Basınç Katsayısı ile Debi Katsayısına Etkileri.

Bu sonuçlar Şekil 22'de boyutsuz olarak yeniden çizilerek teğetsel fan performansı ile boşluk arasındaki ilişki, Denklem 13'de elde edilmiştir.

$$\left[\left(\frac{b_2}{D_2} \right)^{0.15} \Psi_t \right] = 0.452 + 1.5365\phi \quad (13)$$

Maksimum verim noktasında elde edilen η , ψ_t , ϕ değerlerinin b_2/D_2 oranı ile değişimi Şekil 23 a,b,c'de sunulmuştur. $0.0347 < b_2/D_2 < 0.104$ aralığında η_{\max} değerinde bir değişiklik gözlenmemiş olup bu oranın daha fazla artırılması ile η_{\max} değerlerinde hafif azalmalar görülmüştür.



Şekil 23. b_2/D_2 Oranının Maksimum Verim Noktasında Fan Performansına Etkileri.

En yüksek η_{\max} değeri $b_2/D_2 = 0.0694$ değerinde elde edilmiştir. b_2/D_2 oranının artması ile $\psi_{t\eta_{\max}}$ ve $\phi_{2\max}$, değerlerinde azalma gözlenmektedir.

SONUÇ

Arka Yönlendirme duvarının teğetsel fan performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Arka yönlendirme duvarı profilleri, fan çıkış alanı, giriş arki ile çıkış arki oranı, rotor ve arka duvar arasındaki boşluğun fan performansına etkileri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Basit dairesel şekilli arka yönlendirme duvarları, ECK girdap duvarı ile birlikte kullanıldığında, performans parametreleri çıkış alanına bağımlı fakat arka yönlendirme duvarı eğiminden bağımsızdır.

2. Fan çıkış yüksekliği $0.43 < H/D_2 < 0.65$ aralığında iyi verim değerleri elde edilmektedir. $H/D_2 = 0.48$ 'de en yüksek verim, % 62, elde edilmiştir. $H/D_2 > 0.65$ değerleri için verim azalmakta diğer yandan ϕ_{max} değerleri genellikle artmaktadır.
3. $0.48 < H/D_2 < 0.625$ aralığında kabul edilebilir $\psi_{t\eta_{max}}$ ve ϕ_{2max} değerleri elde edilmesine rağmen $H/D_2 > 0.625$ değerleri için bu parametreler azalmaktadır.
4. H/D_2 oranının 0.65 'ten büyük olması halinde akımda istikrarsız olma eğilimi artmaktadır.
5. İyi fan performansının elde edildiği $0.48 < H/D_2 < 0.625$ aralığı için H/D_2 , ψ_t ve ϕ arasındaki ilişki belirlenmiştir.
6. $0.6 < \phi < 1$ akım katsayısı aralığında özgül hız ± 2 % bir bant içerisinde sabit kalmaktadır.
7. Arka yönlendirme duvarı şeklinden bağımsız olarak benzeşim kuralları geçerlidir.
8. H/D_2 oranının artması ile N_{SQ} değerleri de artmaktadır.
9. $0.5 < \varepsilon/\delta < 1.35$ aralığında, ϕ_{2max} değerleri, ε/δ oranındaki değişimden etkilenmemektedir, ancak ε/δ oranının azalması ile ϕ_{2max} değerleri azalmaktadır.
10. $0.55 < \varepsilon/\delta < 1.05$ aralığında $\psi_{t\eta_{max}}$ değerleri yaklaşık olarak sabit kalmaktadır ve $\varepsilon/\delta > 1.05$ için ε/δ oranının artması ile $\psi_{t\eta_{max}}$ azalmaktadır.
11. $0.45 < \varepsilon/\delta < 1$ aralığında η_{max} yaklaşık olarak sabittir ve bu oranın artması ile η_{max} azalmaktadır.
12. $0.0347 < b_2/D_2 < 0.104$ aralığında verim değerleri değişmemekte ise de b_2 değerinin artması ile ψ_{st} ve ψ_t değerlerinde azalma gözlenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ECK, B. "Fans", Berlin, Springer-Verlag, 1962.
- [2] HAKTANIR, V., YILMAZ, T. "Çift Geçişli Ventilator Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi", Türkiye, Doğa Müh. Ve Çev. D. 10, 3., 1986.
- [3] MURATA, S., MISHIHARA, K., "An Experimental Study of Cross Flow Fan", BJSME, Vol 19, 314-321., 1976.
- [4] ÖZYAMAN, A., "Construction and Performance Evaluation of a Cross Flow Fan", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Gaziantep, 1981.
- [5] PORTER, A. M., MARKLAND, E., "A Study of Cross Flow Fan" I. Mec. Eng. Sci., 12, 421-431. 1970.
- [6] TSURUSAKI, H., TSUJIMOTO, Y., YOSHIDA, Y., KITAGAWA, K., Visualization Measurement and Numerical Analysis of Internal Flow in Cross-Flow Fan, J. Fluids Eng. Cilt 119, 633-638, 1997,
- [7] USKANER Y.A., "Determination of Design Parameters for Optimum Operation of a Cross Flow Fan", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Gaziantep, 1990.
- [8] USKANER, Y. A., GÖKSEL, Ö. T., "Construction of an Experimental Set up for Performance Evaluation of a Cross Flow Fan and a Computer Aided Design of a Cross Flow Fan", ODTÜ Havacılık 10. Sempozyumu, 22-26 Haziran 1992, 209-218., 1992.
- [9] USKANER, Y. A., GÖKSEL, Ö. T., "Kanat Parametrelerinin Teğetsel Fan Performansına Etkileri" TMMOB MMO Bilim Günleri, 05-07 Mayıs, Denizli, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Azrail USKANER

1964 Adana doğumludur, 1987 yılında ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü'nden Makine Mühendisi , ve aynı bölümden 1990 yılında Makine Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1994 yılında Gaziantep Üniversitesi Makine Bölümünden Doktorasını almıştır. Çalışma hayatının tamamı Gaziantep Üniversitesi Makine Bölümünde geçmiştir. 1987 yılında Araştırma Görevlisi, 1990 yılında Öğretim Görevlisi ve 1995 yılında Yardımcı Doçent olarak görev yapmıştır. Çalışmaları akışkanlar mekaniği ve uygulamaları alanlarında yoğunlaşmıştır.

Ömer Turgay GÖKSEL

1938 yılı Gaziantep doğumludur, 1960 yılında Robert Kolejinden Makine Mühendisi olarak mezun olmuştur. 1962 yılında Purdue Üniversitesinde (ABD) Yüksek Lisans, 1968 yılında ise Liverpool Üniversitesinde (İngiltere) Doktora çalışmalarını tamamlamıştır. 1962-1964 yılları arasında ABD Uzay ve Havacılık Laboratuvarında araştırmacı olarak görev yapmıştır. ODTÜ Makine Mühendisliği bölümünde 1964-1966 yılları arasında Öğretim Görevlisi, 1968-1973 yılları arasında Yardımcı Doçent, olarak çalışmış ve 1973 yılında Doçentlik ünvanını almıştır. 1974 yılında ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesi kurucu Dekanlığına, getirilmiştir. Çalışma hayatına 1974 yılında kurduğu ODTÜ Gaziantep Mühendislik Fakültesinde devam etmiş ve fakültenin Gaziantep Üniversitesi'ne dönüştürülmesinin ardından 1987 yılında Profesör olmuştur. 1987 yılından bu yana Gaziantep Üniversitesi Makine Bölümünde çalışmalarını sürdüren Ömer Turgay GÖKSEL'in çalışmaları Akışkanlar Mekaniği ve Uygulamaları alanlarında yoğunlaşmıştır.