KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKSENEL FANLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: TEKSTİL SANAYİ ÖRNEĞİ

BUSE TURNA

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKSENEL FANLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: TEKSTİL SANAYİ ÖRNEĞİ

BUSE TURNA

Prof.Dr. Durmuş KAYA		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Ethem TOKLU		
Jüri Üyesi,	**Düzce Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.09.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, tekstil sanayide klima santrallerinde kullanılan geleneksel eksenel fanlar ile E-camı Epoksi FRP (Fiber Reinforced Plastic) kanat yapısıyla aerodinamik dizayna sahip olan eksenel fanların enerji verimliliği açısından karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma konusunu belirlerken isteklerimi göz önünde bulundurarak bana enerji verimliliği alanında çalışma fırsatı sağlayan, değerli vaktini ve bilgilerini benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Durmuş KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarıma her zaman katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Muharrem EYİDOĞAN'a ve Prof. Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her konuda en büyük destekçilerim ve en büyük şansım olan sevgili babam Cemil TURNA'ya, sevgili annem Müzeyyen TURNA'ya ve sevgili dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Kasım – 2020 Buse TURNA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Enerji Verimliliği Kavramı ve Önemi 3
1.2. Dünyada Sektörlere Göre Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği 3
1.3. Türkiye'de Sektörlere ve Sanayideki Mekanik Ekipmanlara Göre Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği 5
1.4. Türkiye'de Sanayide Enerji Tüketimi ve Tekstil Sektörünün Paydaki Yeri 8
1.5. Literatür Taraması 12
1.5.1. Sayısal ve deneysel analizler ile ilgili önceki çalışmalar 12
1.5.2. Kanat malzemesi çeşidi ile ilgili örnek çalışmalar 13
1.5.3. Tekstil sektöründe enerji verimliliği ile ilgili önceki çalışmalar 15
2. FAN ÇEŞİTLERİ VE EKSENEL FANLAR 16
2.1. Fanlarla İlgili Genel Kavramlar ve Fan Çeşitleri 16
2.2. Radyal (Santrifüj) Fanlar 17
2.3. Karışık Akışlı (Eksenel – Radyal) Fanlar 18
2.4. Çapraz Akışlı Fanlar 19
2.5. Eksenel Fanlar 20
2.6. Eksenel Fanların Genel Uygulama Alanları ve Çeşitleri 21
2.6.1. Pervane kanat tipi eksenel fanlar 23
2.6.2. Silindir (tüp eksenel) kanat tip eksenel fanlar 24
2.6.3. Kılavuz (yönlendirici) kanatlı tip eksenel fanlar 25
2.7. Eksenel Fan Testleri 28
2.8. Sadeleştirilmiş Fan Kanunları 30
2.9. Eksenel Fanların Performans Eğrilerinin İncelenmesi 32
3. EKSENEL FAN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER 35
3.1. Fan Sistemlerinde Temel Denklemler 35
3.2. Kaldırma Kuvveti ve Direnç Kuvveti Katsayısının Aerodinamik Performans ile İlişkisi 37
3.3. Hücum Açısının Artırılmasının Fan Performansı ile İlişkisi 40
3.4. Açısı Ayarlanabilir Kanatların Kullanılmasının Fan Performansı ile İlişkisi 41
3.5. Kanat Profiline Kamburluk Verilmesinin Aerodinamik Performans ile İlişkisi 42
3.6. Eksenel Fanların İmalat Malzemelerinin Fan Performasına Etkisi 43

3.6.1. Metalik kanatlı (alüminyum ve karbon çelik) eksenel fanlar 44
3.6.2. Kompozit malzemeden üretilen eksenel fanlar 46
3.6.3. PVC eksenel fanlar 50
3.6.4. FRP eksenel fanların diğer malzemelerden üretilen fanlarla kıyaslanması 50
3.7. Eksenel Fanın Kanat ile Kanat Muhafazası Arasındaki Boşluk Mesafesinin Fan Performansı ile İlişkisi 52
3.8. Eksenel Fanın Hub Yapısının Fan Performansı ile İlişkisi 53
3.9. Eksenel Fan Sistemlerinin Bakımı ve Temizliği 54
3.10. Eksenel Fanlarda Verim Kayıpları Akış Diyagramı 54
4. E-CAMI EPOKSİ FRP EKSENEL FANLAR 56
5. MATERYAL METOT 63
6. ANALİZ VE HESAPLAMALAR 67
6.1. A İşletmesi - Uygulama Örneği – 1 67
6.2. B işletmesi - Uygulama Örneği – 2 69
6.3. C İşletmesi - Uygulama Örneği – 3 71
6.4. D İşletmesi - Uygulama Örneği – 4 73
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 76
KAYNAKLAR 81
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 86
ÖZGEÇMİŞ 87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 2017 yılı dünyada sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımı 3
Şekil 1.2. 2017 yılı dünyada sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı 4
Şekil 1.3. Dünyada sanayi sektöründe enerji verimliliği çalışmaları ile sağlanan tasarruf miktarları (2010 - 2017) 5
Şekil 1.4. 2017 yılı Türkiye'de sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımı 5
Şekil 1.5. 2017 yılı Türkiye'de sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı 6
Şekil 1.6. Sanayide kullanılan elektrik motorlarının tahrik ettiği mekanik ekipmanlar 7
Şekil 1.7. 2015 yılı imalat sanayi alt sektörler bazında enerji tüketimleri (4 sektör) 8
Şekil 1.8. 2015 yılı imalat sanayi alt sektörler bazında elektrik enerjisi tüketimleri (3 sektör) 9
Şekil 1.9. Klima santrallerinde ömür boyu maliyet oranları 10
Şekil 1.10. Tekstil fabrikasındaki örnek bir klima santralinin %50 iç hava %50 dış hava ile çalışma sistemi 11
Şekil 2.1. Bir hatta ve kanalda statik, dinamik ve toplam basınç ölçüm sistemi 16
Şekil 2.2. Akış yönüne göre fanların sınıflandırılması 17
Şekil 2.3. Radyal fan içindeki hava akımı 17
Şekil 2.4. Örnek bir radyal fan 18
Şekil 2.5. Karışık akışlı fanda akış doğrultusu ve örnek bir karışık akışlı fan 18
Şekil 2.6. Çapraz akışlı fan içindeki hava akımı 19
Şekil 2.7. Çapraz akışlı fanların örnek uygulama alanları 20
Şekil 2.8. Eksenel fanın yapısı ve hava akışı 21
Şekil 2.9. Eksenel fanların çeşitli kullanım uygulamaları 22
Şekil 2.10. Eksenel fanların çeşitleri, çalışma aralıkları ve kullanıldığı uygulamalar 22
Şekil 2.11. 4 kanatlı pervane kanat tipi eksenel fan performans karakteristiği 23
Şekil 2.12. Silindir kanat tip eksenel fanın genel görünüşü 24
Şekil 2.13. Silindir kanat tip eksenel fan performans karakteristiği 25
Şekil 2.14. Kılavuz kanatlı bir eksenel fan 26
Şekil 2.15. Bir eksenel fana ait kılavuz kanatlar 26
Şekil 2.16. Kılavuz kanatlı eksenel fanlarda kılavuz kanatların sistematik diyagramı 27
Şekil 2.17. 4 kanatlı yönlendirici kanat tip eksenel fan performans karakteristiği 28
Şekil 2.18. Eksenel fan testleri için örnek bir rüzgar tüneli test düzeneği 28

Şekil 2.19. AMCA 210 standardı eksenel fan test düzeneği 29
Şekil 2.20. Farklı fan hızları için fan performans eğrileri 31
Şekil 2.21. Eksenel fanın optimum çalışma noktası 32
Şekil 2.22. Eksenel fanın kararlı ve kararsız çalışma bölgesi 33
Şekil 2.23. Eksenel fanların en uygun çalışma alanı 34
Şekil 3.1. Kanat profilinin incelenmesinde referans alınan kısım 37
Şekil 3.2. Basıncın kaldırma kuvvetini oluşturması 38
Şekil 3.3. Kanat üzerindeki kuvvetler 38
Şekil 3.4. Örnek kanat profilleri 39
Şekil 3.5. Hücum açısının değiştirilmesi ile kanat profilindeki akışın değişimi – 1 40
Şekil 3.6. Hücum açısının değiştirilmesi ile kanat profilindeki akışın değişimi – 2 41
Şekil 3.7. Örnek bir eksenel fan sisteminde ayarlanabilir kanatların fan performansına etkileri 42
Şekil 3.8. Kanat üzerinde kamburluk, kamburluk eğrisi ve kalınlık 43
Şekil 3.9. Simetrik kanat profili ve kamburluklu kanat profillerinden oluşturulan kaldırma katsayı-hücum açısı grafiği 43
Şekil 3.10. İmalat malzemelerine göre en fazla karşılaşılan eksenel fanlar 44
Şekil 3.11. Alüminyum eksenel fanların kanatlarında yıpranma (klima santrali örneği) 45
Şekil 3.12. Alüminyum kanatlı eksenel fanların kanatlarında yıpranma (soğutma kulesi örneği) 45
Şekil 3.13. Kompozit malzeme oluşumunun basit özeti 46
Şekil 3.14. Cam elyaf ve karbon elyafın karşılaştırılması 47
Şekil 3.15. Reçine çeşitlerinin karşılaştırılması 47
Şekil 3.16. Elyaf ve reçinenin kombinasyonuyla yeni bir malzeme elde edilmesi 48
Şekil 3.17. Endüstriyel bir işletmede zaman içerisinde deforme olmuş GRP eksenel fan kanatları 49
Şekil 3.18. PVC malzemeden üretilen eksenel fan örnekleri 50
Şekil 3.19. Bir eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk 52
Şekil 3.20. Eksenel fanlarda by-pass durumu 53
Şekil 3.21. Eksenel fanların göbek boşluğu 54
Şekil 3.22. Eksenel fanlarda verim kayıpları akış diyagramı 55
Şekil 4.1. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan örnekleri 56
Şekil 4.2. Kanat ve göbek montajı için hazırlanan kanatlar ve göbek 58
Şekil 4.3. E-camı Epoksi FRP eksenel fan performansını etkileyen faktörler 60
Şekil 4.4. Eksenel fanlarda genel olarak karşılaşılan ve türbülansa neden olan açıklık ve E-camı Epoksi FRP eksenel fanların göbek yapısı 61
Şekil 4.5. E-camı Epoksi FRP fanın farklı kanat açılarındaki performans eğrileri 62
Şekil 5.1. Enerji analizörü ile eksenel fanların aktif güç ölçümleri 63
Şekil 5.2. Eksenel fanlarda hız ölçüm noktaları 64
Şekil 5.3. Anemometre ile hız ölçümleri 65

Şekil 6.1. A işletmesinde E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın deneme ölçümleri hava debisi&birim enerji tüketimi değişim grafiği 68
Şekil 6.2. A işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim 69
Şekil 6.3. B işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı ve uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı 70
Şekil 6.4. B işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim 71
Şekil 6.5. C işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve çizgisel hızdaki değişim 73
Şekil 6.6. D işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP 12 kanatlı eksenel aspiratör fanı 74
Şekil 6.7. D işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve çizgisel hızdaki değişim 75

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk mesafesinin mekanik verim ve oluşturduğu gürültü seviyesi üzerine etkisi 53
Tablo 4.1. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların genel çalışma aralıkları 59
Tablo 4.2. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların tekstil sektöründe genel çalışma aralıkları 59
Tablo 4.3. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanlar ve alüminyum kanatlı eksenel fanlar arasındaki farklar 59
Tablo 4.3. (Devam) E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanlar ve alüminyum kanatlı eksenel fanlar arasındaki farklar 60
Tablo 6.1. A işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 67
Tablo 6.2. A işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 67
Tablo 6.3. A işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi 68
Tablo 6.4. B işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 70
Tablo 6.5. B işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 70
Tablo 6.6. B işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi 71
Tablo 6.7. C işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 72
Tablo 6.8. C işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 72
Tablo 6.9. C işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi 72
Tablo 6.10. D işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 74
Tablo 6.11. D işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler 75
Tablo 6.12. D işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi 75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A :Alan
Δp :Basınç farkı
Q :Debi
° :Derece
°C :Derece santigrat
°F :Derece fahrenhayt
P :Güç
V :Hız
α :Hücum açısı
m^2 :Metrekare
m^3 :Metreküp
$:USD (Amerikan Doları)
η :Verim
ρ :Yoğunluk
% :Yüzde

Kısaltmalar

ABD :Amerika Birleşik Devletleri
AMCA :Air Movement and Control Association (Hava Hareketi ve Kontrolü Birliği)
CD :Drag Coefficient (Direnç Kuvveti Katsayısı)
CL :Lift Coefficient (Kaldırma Kuvveti Katsayısı)
CO_2 :Karbondioksit
CTI :Cooling Tower Institute (Soğutma Kulesi Enstitüsü)
DIN :Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
FD :Drag Force (Direnç (Sürüklenme) Kuvveti)
FL :Lift Force (Kaldırma Kuvveti)
FRP :Fiber Reinforced Plastic (Elyaf Takviyeli Plastik)
GRP :Glass Reinforced Plastic (Cam Elyaf ile Güçlendirilmiş Plastik)
h :Hour (Saat)
HAD :Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HP :Horse Power (Beygir Gücü)
KDV :Katma Değer Vergisi
kg :Kilogram
kTEP :Kilo Ton Eşdeğer Petrol
kW :Kilo Watt
kWh :Kilo Watt Saat
m :Metre
mm :Milimetre
Pa :Pascal

PVC :Polivinil Klorür
TEP :Ton Eşdeğer Petrol
TL :Türk Lirası

EKSENEL FANLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ: TEKSTİL SANAYİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Günümüzde tüm endüstriyel işletmelerde en önemli konulardan biri hiç şüphesiz ki enerji verimliliği kavramıdır. Azalmakta olan doğal enerji kaynakları ve artan enerji maliyetleri; endüstriyel işletmeleri enerjinin verimli kullanılması ve enerji tüketimlerini azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaya zorlamakta, bu durum da enerji verimliliğine olan önemi artırmaktadır.

Bu çalışmada, tekstil sanayide oldukça yaygın olarak kullanılan alüminyum kanatlı eksenel fanlar ile Epoksi cam elyaf kanat yapısıyla aerodinamik bir dizayna sahip olan eksenel fanların enerji verimliliği açısından karşılaştırma sonuçları ele alınmıştır. Bu kapsamda tekstil sanayide klima santrallerinde alüminyum eksenel fanların, E-camı Epoksi FRP fanlar ile değiştirilmesiyle, A işletmesinde %15,77, B işletmesinde %29,05, C işletmesinde %28,55 ve D işletmesinde %23,27 birim enerji tasarrufu sağlanmıştır. Eksenel fanlarda üretilen malzeme cinsi ve tasarımsal olarak yapılacak olan iyileştirmeler ile fanın kullanıldığı sistemde ihtiyaç duyulan akışkan debisinin %15-30 oranında daha az enerji tüketilerek elde edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eksenel Fanlar, Enerji Verimliliği, FRP Fanlar, Tekstil Sanayi.

ENERGY EFFICIENCY IN AXIAL FANS: AN EXAMPLE FOR THE TEXTILE INDUSTRY

ABSTRACT

Today, one of the most important issues in all industrial enterprises is undoubtedly the concept of energy efficiency. Declining natural energy resources and increasing energy costs; It forces industrial enterprises to work towards the efficient use of energy and to reduce their energy consumption, which increases the importance of energy efficiency.

In this study, the comparison results of axial fans with aluminum blades, which are widely used in textile industry, and axial fans, which have an aerodynamic design with epoxy glass fiber blade structure, in terms of energy efficiency are discussed. In this context, by replacing aluminum axial fans in air handling units in the textile industry with E-glass epoxy FRP fans, energy savings of 15.77% in 1 axial fan in plant A, 29.05% in 1 axial fan in plant B, 28.55% in 1 axial fan in plant C and 23.27% in plant D were achieved. With the improvements to be made in terms of material type and design in axial fans, it was concluded that it is possible to achieve the required fluid flow rate in the system where the fan is used by consuming 15-30% less energy.

Keywords: Axial Fans, Energy Efficiency, FRP Fan, Textile Industry.

GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada doğal enerji kaynaklarının azalması, sanayileşmenin ve nüfusun artması, enerjinin daha fazla kullanılmasına neden olmaktadır. Enerji maliyetlerinin de artmasıyla özellikle endüstriyel işletmelerde enerjinin daha etkin kullanılabilmesi adına yapılan çalışmalar oldukça önemli hale gelmiş ve bununla birlikte enerji verimliliği uygulamalarını ön plana çıkmıştır.

Ülkemizde 2017 yılında sanayi, taşımacılık, konut gibi sektörlerde tüketilen toplam enerji dağılımı incelendiğinde, endüstriyel işletmelerin %31'lik bir paya sahip olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisi tüketimi dağılımı incelendiğinde ise endüstriyel işletmelerin payının yaklaşık %46 olduğu görülmektedir [1].

Endüstriyel işletmelerde elektrik enerjisinin yaklaşık %70'i elektrik motorlarında, elektrik motorlarının %22'si ise fanlarda kullanılmaktadır [2, 3]. Hala birçok endüstriyel işlemede düşük verimli çok sayıda fan bulunmaktadır. Bu nedenle sanayide enerji verimliliği uygulamalarında öncelik verilmesi gereken ekipmanların başında fan sistemleri gelmektedir. Fan sistemlerinde enerjinin verimli kullanılması, fanların seçimi, tasarımı, imalatı ve işletme süreçlerinin optimize edilmesi gibi kriterlere bağlıdır.

Ülkemizde imalat sanayide alt sektörler bazında tekstil sektörü, 22 sektör içinde toplam enerji tüketimi açısından 4. sırada, elektrik enerjisi tüketimi açısından ise 3. sırada yer almaktadır [4]. Tekstil sanayi sektöründe enerji tüketen sistemlerin başında klima santralleri gelmekte ve klima santrallerinde genellikle vantilatör ve aspiratör fanı olarak eksenel fanlar kullanılmaktadır.

Tekstil sanayi sektöründe yapılan enerji etüdü çalışmaları ele alındığında özellikle iplik üretimi olan ve iplik boyama yapılan işletmelerin klima santrallerinde eksenel vantilatör ve aspiratör fanlarının toplam elektrik enerjisi tüketimindeki payının %7-10 mertebelerine ulaştığı görülmektedir. (Bu değerlendirme için tekstil sanayi sektöründe

faaliyet gösteren birkaç farklı endüstriyel işletmenin yıllık toplam elektrik tüketimleri ve enerji etüdü sırasında aspiratör ve vantilatör fanlarından alınan elektriksel ölçüm sonuçları referans alınmıştır.)

Bu çalışmada eksenel fanların çeşitleri, uygulama alanları ve performanslarını etkileyen parametrelere yer verilmiş; geleneksel eksenel fanlar ile E-camı Epoksi FRP eksenel fanların performansları arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Tekstil sanayi sektöründe faaliyet gösteren 4 farklı işletmede klima santrallerinde kullanılan alüminyum vantilatör ve aspiratör eksenel fan kanatlarının özel tasarım kanat malzemesi, kanat yapısı ve korozyona karşı yüksek dirençli, daha hafif ve aerodinamik dizaynı ile E-camı Epoksi FRP fan kanatları ile değiştirilmesine yönelik uygulamalar incelenmiştir. Eksenel fan kanatlarında hem malzeme cinsi hem de tasarımsal olarak yapılacak olan iyileştirmeler ile klima santrallerinde ihtiyaç duyulan hava debisinin %15-30 oranında daha az enerji tüketilerek elde edilebildiği sonucuna varılmıştır. Güç tüketiminin azaltılması ile de eksenel fan sistem veriminde (fan+elektrik motoru) artış sağlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

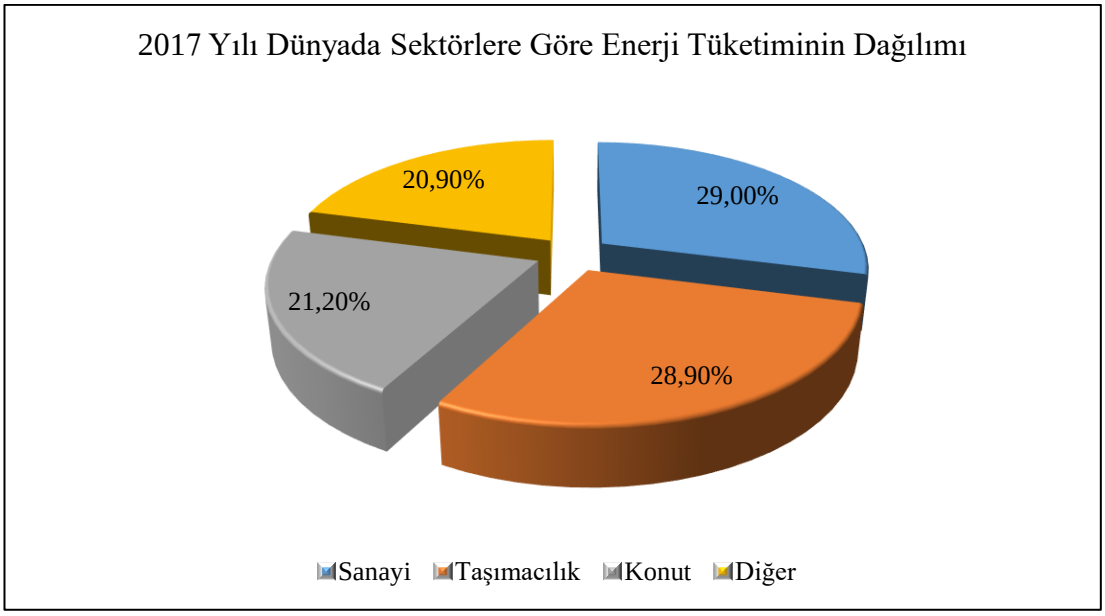
1.1. Enerji Verimliliği Kavramı ve Önemi

Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının mevcut enerji kayıplarının önlenmesi ve enerji atıklarının değerlendirilmesiyle en aza indirilmesi olarak tanımlanan bir süreçtir. Bu süreçteki en temel amaç ise üretimdeki miktar ve kalitenin düşürülmemesi, çevreye zarar verilmemesi ve yaşam standardının engellenmemesidir.

Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği uygulamaları ile işletmelerin enerji tüketimlerinin ve üretim maliyetlerinin azaltılması sağlanabilir. Aynı zamanda yapılan enerji tasarrufları ile de tasarruf edilen enerji miktarına eş CO_2 salımının önlenerek çevrenin korunması mümkündür.

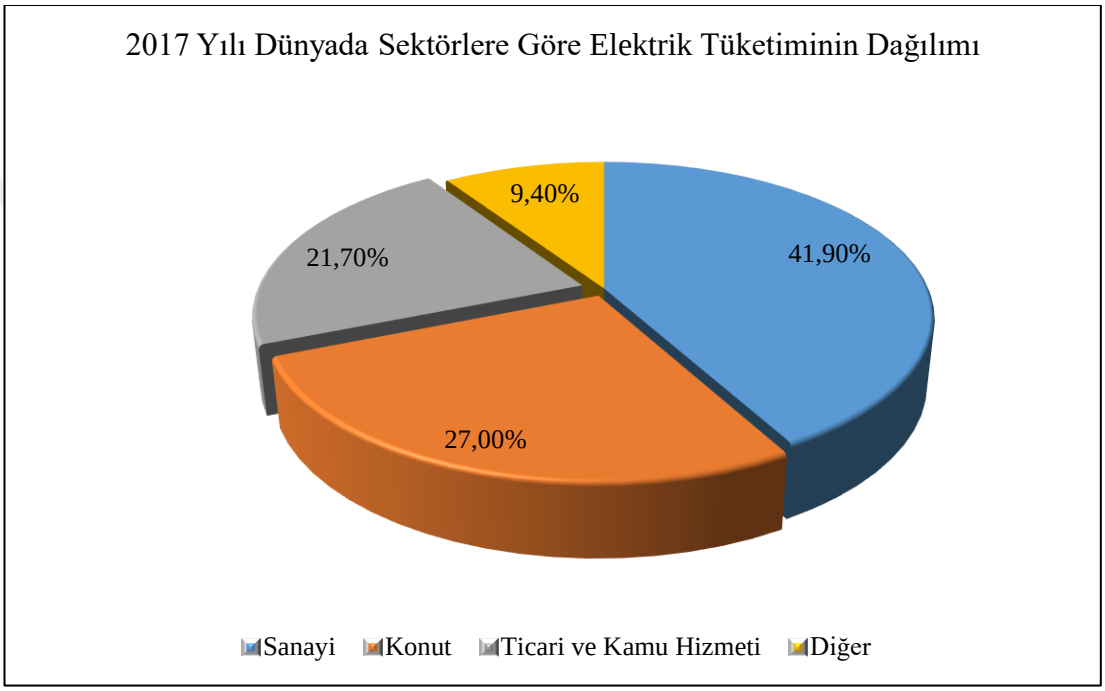
1.2. Dünyada Sektörlere Göre Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği

Dünyada sektörlere göre enerji tüketimi ve enerji verimliliği kapsamında 2017 yılı dünyada sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. 2017 yılı dünyada sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımı [1]

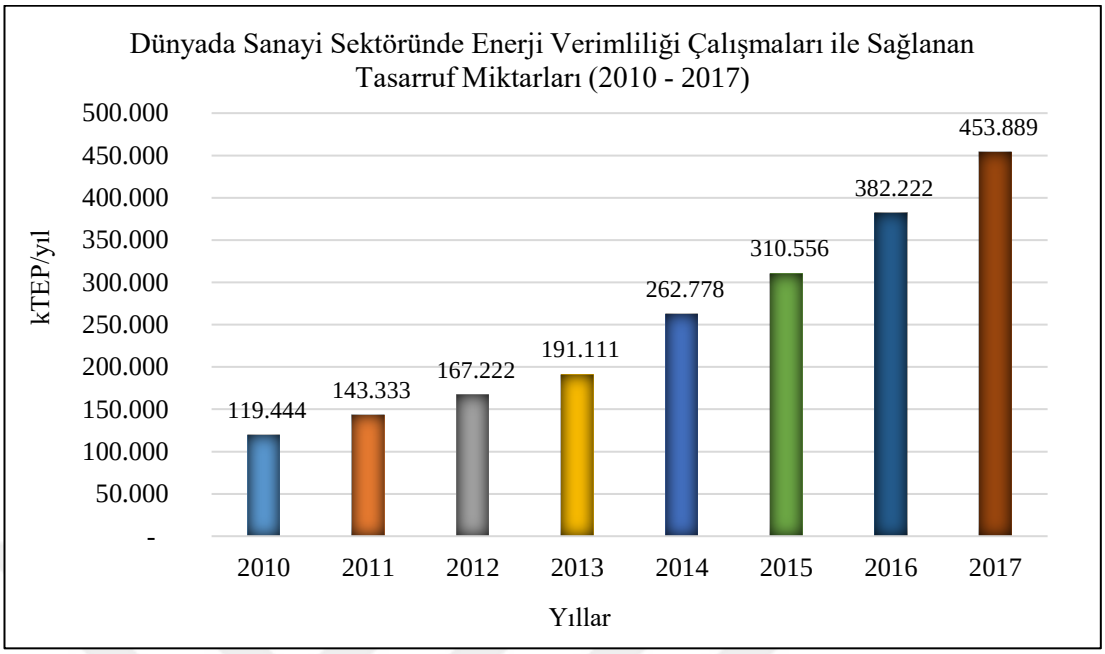
2017 yılında dünyada sektörlere göre elektrik enerjisi tüketim dağılımına bakıldığında ise endüstriyel tesisler %41,90 (769.106 kTEP (kilo ton eşdeğer petrol)) ile en yüksek paya sahiptir. Konutlar %27'lik (496.583 kTEP) pay ile ikinci sırada yer almakta, ticari ve kamu hizmetinin payı ise %21,70 (398.729 kTEP) ile üçüncü sırada yer almaktadır [1]. 2017 yılı dünyada sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. 2017 yılı dünyada sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı [1]

2010 ve 2017 yılları arasında dünyada sanayi sektöründe enerji verimliliği çalışmaları ile 2010 yılındaki tasarruf miktarı yaklaşık 119.444 kTEP'tir. Sağlanan tasarruf miktarları 2011 yılında 143.333 kTEP, 2012 yılında 167.222 kTEP, 2013 yılında 191.111 kTEP, 2014 yılında 262.778 kTEP, 2015 yılında 310.556 kTEP, 2016 yılında 382.222 kTEP ve 2017 yılında ise 453.889 kTEP'tir.

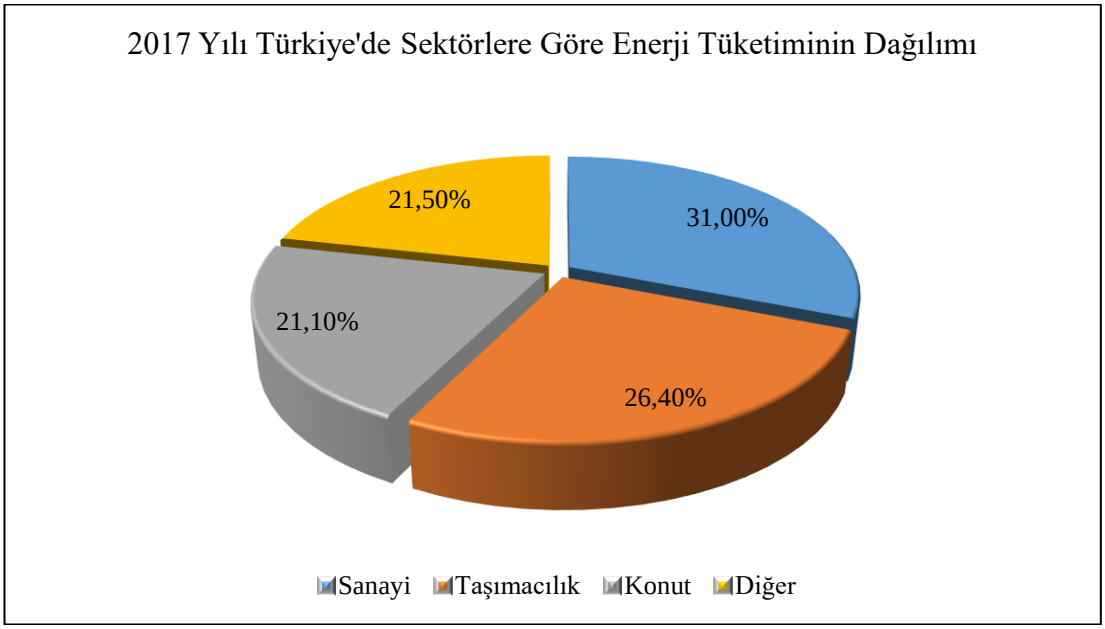
2010 yılında enerji verimliliği ile ilgili yapılan çalışmalarla sağlanan tasarruf miktarının 2017 yılına oranla yaklaşık 4 kat arttığı görülmektedir. Bu durum endüstriyel tesislerde enerji verimliliğine verilen önemin de arttığının bir göstergesidir [5]. Dünyada sanayi sektöründe enerji verimliliği çalışmaları ile sağlanan tasarruf miktarları (2010 - 2017) Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Dünyada sanayi sektöründe enerji verimliliği çalışmaları ile sağlanan tasarruf miktarları (2010 - 2017) [5]

1.3. Türkiye'de Sektörlere ve Sanayideki Mekanik Ekipmanlara Göre Enerji Tüketimi ve Enerji Verimliliği

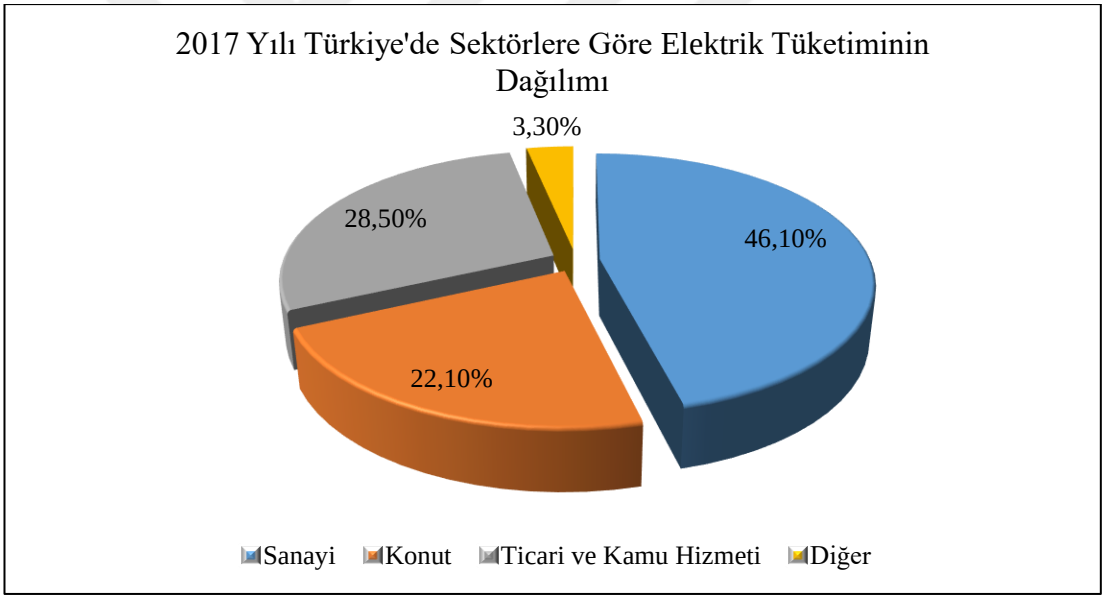
2017 yılında sektörlere göre Türkiye'de enerji tüketimi kapsamında 2017 yılı Türkiye'de sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. 2017 yılı Türkiye'de sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımı [1]

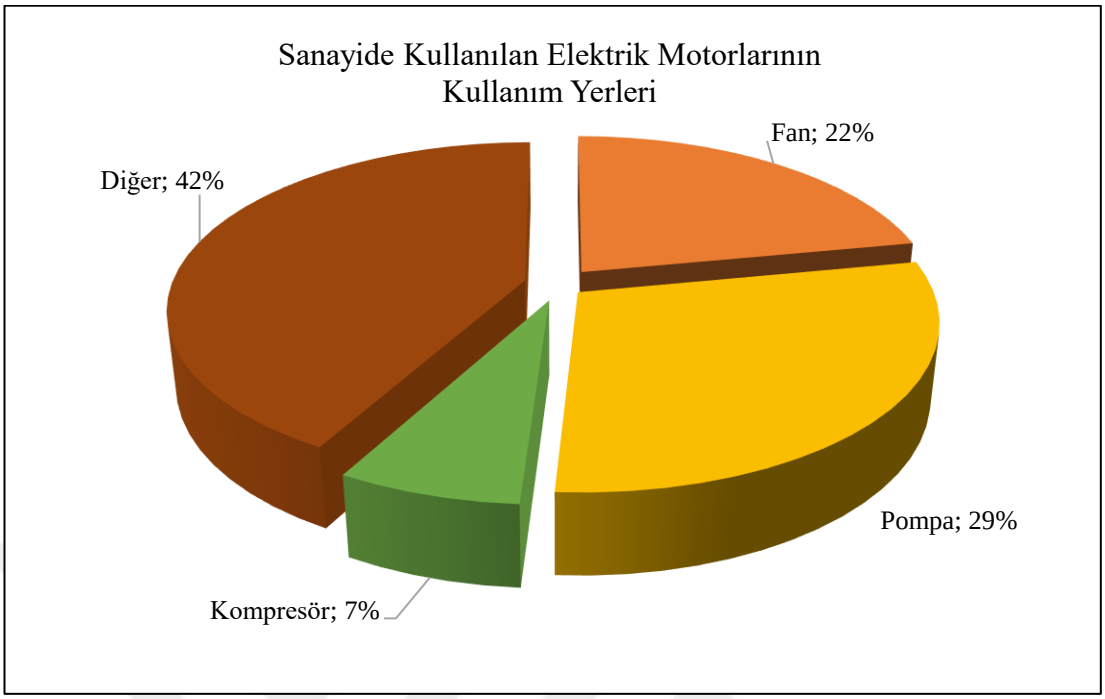
2017 yılında Türkiye'de sektörlere göre enerji tüketim dağılımına bakıldığında endüstriyel tesisler %31 (32.521 kTEP) ile en yüksek paya sahiptir. Taşımacılık sektörü %26,40 (27.734 kTEP) ile ikinci sırada, konutlar ise %21,10'luk (22.152 kTEP) pay ile üçüncü sırada yer almaktadır [1].

2017 yılında Türkiye'de sektörlere göre elektrik enerjisi tüketim dağılımına bakıldığında endüstriyel tesisler %46,10 (9.747 kTEP) oranında enerji tüketimi ile en yüksek paya sahiptir. Ticari ve kamu hizmeti için tüketilen elektrik enerjisinin payı %28,50 (6.036 kTEP) ile ikinci sırada yer almakta, konutlarda tüketilen elektrik enerjisinin payı ise %22,10'lik (4.665 kTEP) pay ile üçüncü sırada yer almaktadır [1]. 2017 yılı Türkiye'de sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. 2017 yılı Türkiye'de sektörlere göre elektrik tüketiminin dağılımı [1]

Demir-çelik, tekstil, otomotiv, çimento gibi birçok sektörde, enerji tüketiminde en yüksek paya sahip olan ekipmanların elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik motorları olduğu bilinmektedir. Sanayide elektrik enerjisinin ortalama %70'i elektrik motorlarına tarafından tüketilmektedir [2]. Sanayide kullanılan elektrik motorlarının %29'u pompalarda, %22'si fanlarda, %7'si ise kompresörlerde kullanılmaktır [3]. Sanayide kullanılan elektrik motorlarının tahrik ettiği mekanik ekipmanlar Şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Sanayide kullanılan elektrik motorlarının tahrik ettiği mekanik ekipmanlar [3]

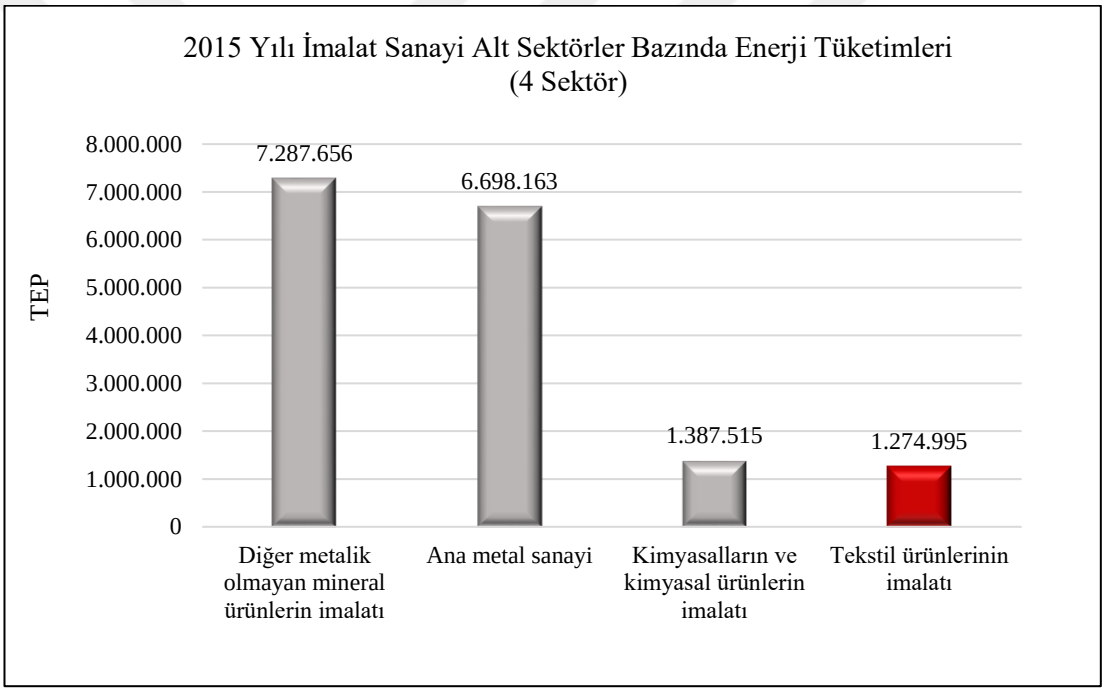
Elektrik motorlarının tahrik ettiği fan, pompa, kompresör gibi mekanik ünitelerde yapılacak olan enerji verimliliği uygulamaları ile enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Tahrik edilen mekanik ekipmanın verimi ne kadar yüksekse mekanik ekipman ve elektrik motoru birlikte bir sistem olarak değerlendirildiğinde sistem verimi de bununla paralel olarak daha yüksek olacaktır.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında, Türkiye'de 2017 yılında toplam 699.000.000 ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Doları enerji verimliliği yatırımıyla yıllık 347,5 kTEP enerji tasarrufu sağlanmıştır [6]. 2018 yılında ise toplam 517.000.000 ABD Doları enerji verimliliği yatırımıyla yıllık 149.000.000 ABD Doları mali tasarruf, 427,73 kTEP enerji tasarrufu sağlanmıştır [7].

2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda yer alan eylem planlarının hayata geçirilmesiyle; 2020 yılında 1.681 milyon ABD Doları yatırım ile 3.378 kTEP, 2021 yılında 1.748 milyon ABD Doları yatırım ile 4.298 kTEP, 2022 yılında 1.824 milyon ABD Doları yatırım ile 5.264 kTEP ve son olarak 2023 yılında 1.846 milyon ABD Doları yatırım ile 6.261 kTEP enerji tasarrufu sağlanması öngörülmektedir [8].

1.4. Türkiye'de Sanayide Enerji Tüketimi ve Tekstil Sektörünün Paydaki Yeri

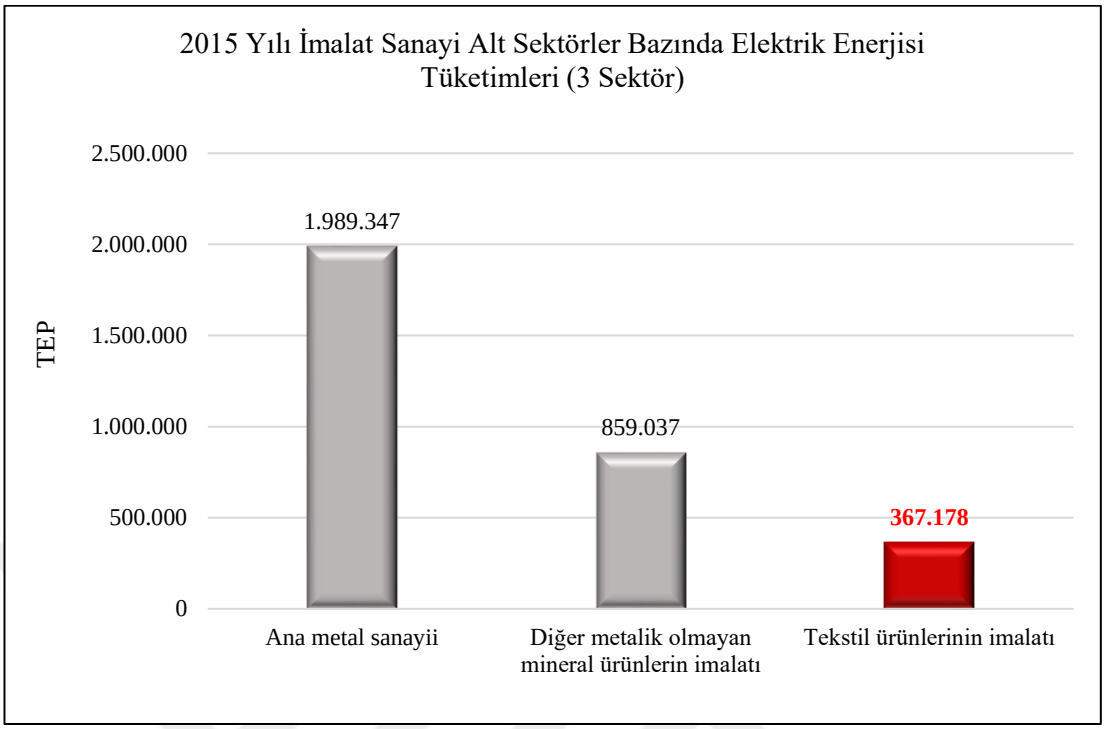
Türkiye'de 2015 yılı imalat sanayide alt sektörler bazında enerji tüketimleri incelendiğinde, 22 sektör arasında, diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü (7.287.656 TEP (ton eşdeğer petrol)) ilk sırada yer almaktadır. Bu sıralamayı ana metal sanayi sektörü (6.698.163 TEP) ve kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı sektörü (1.387.515 TEP) takip etmektedir. 4. sırada ise 1.274.995 TEP enerji tüketimi ile tekstil ürünlerinin imalatı sektörü yer almaktadır [4]. Türkiye'de imalat sanayide enerji tüketimi yüksek olan ilk 4 sektör ve enerji tüketimleri Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1.7. 2015 yılı imalat sanayi alt sektörler bazında enerji tüketimleri (4 sektör) [4]

Türkiye'de 2015 yılı imalat sanayide alt sektörler bazında elektrik enerjisi tüketimleri incelendiğinde, 22 sektör arasında, ana metal sanayi sektörü (1.989.347 TEP) ilk sırada yer almaktadır. Bu sıralamayı diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü (859.037 TEP) takip etmektedir. 3. sırada ise 367.178 TEP elektrik enerjisi tüketimi ile tekstil ürünlerinin imalatı sektörü yer almaktadır [4].

Türkiye'de imalat sanayide elektrik enerjisi tüketimi yüksek olan ilk 3 sektör ve enerji tüketimleri Şekil 1.8'de verilmiştir.

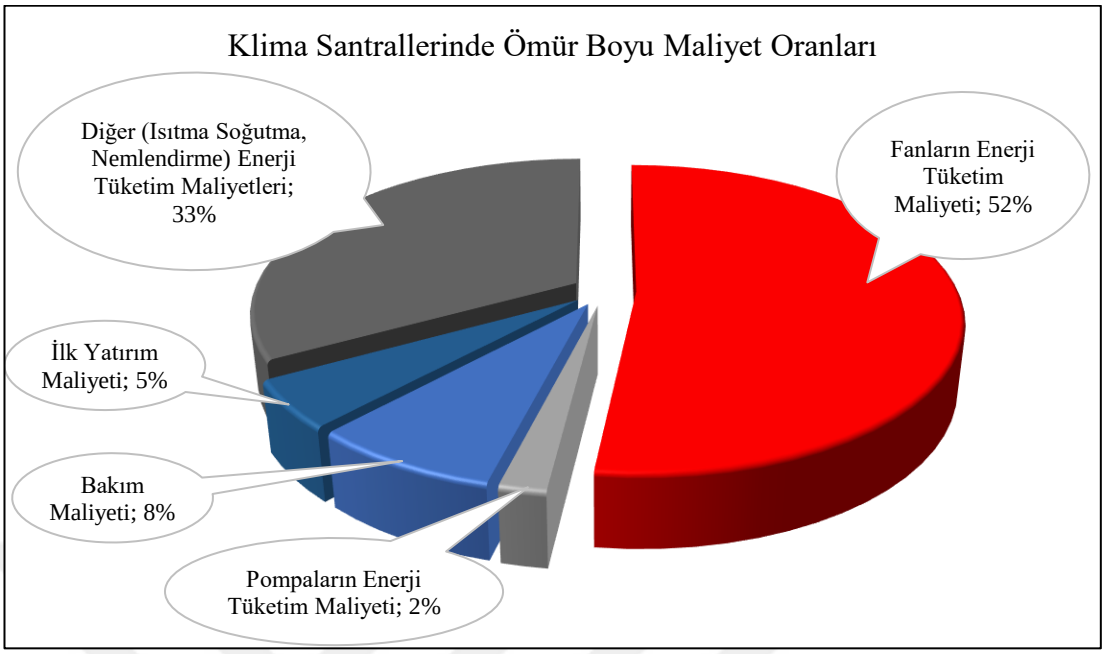


Şekil 1.8. 2015 yılı imalat sanayi alt sektörler bazında elektrik enerjisi tüketimleri (3 sektör) [4]

Türkiye'de tekstil sektörü özellikle 1990-2000 yılları arasında hızlı bir büyüme göstermiş, bu büyümeyle birlikte de sektördeki enerji tüketimi yüksek değerlere ulaşmıştır [9]. Sektörde artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi, enerjinin daha etkin kullanılabilmesi ve rekabet gücünün artırabilmesi için enerji tasarrufu yapmak zorunlu hale gelmiştir.

Türkiye'de tekstil sanayi sektöründe enerji tüketen ekipmanların toplam enerji tüketimdeki payları incelendiğinde klima santrallerinin payının yüksek mertebelerde olduğu görülmektedir. Klima santrallerinde genellikle vantilatör ve aspiratör fanı olarak eksenel fanlar tercih edilmekte ve eksenel fanlar enerji tüketimi yüksek ekipmanlar arasında yer almaktadır.

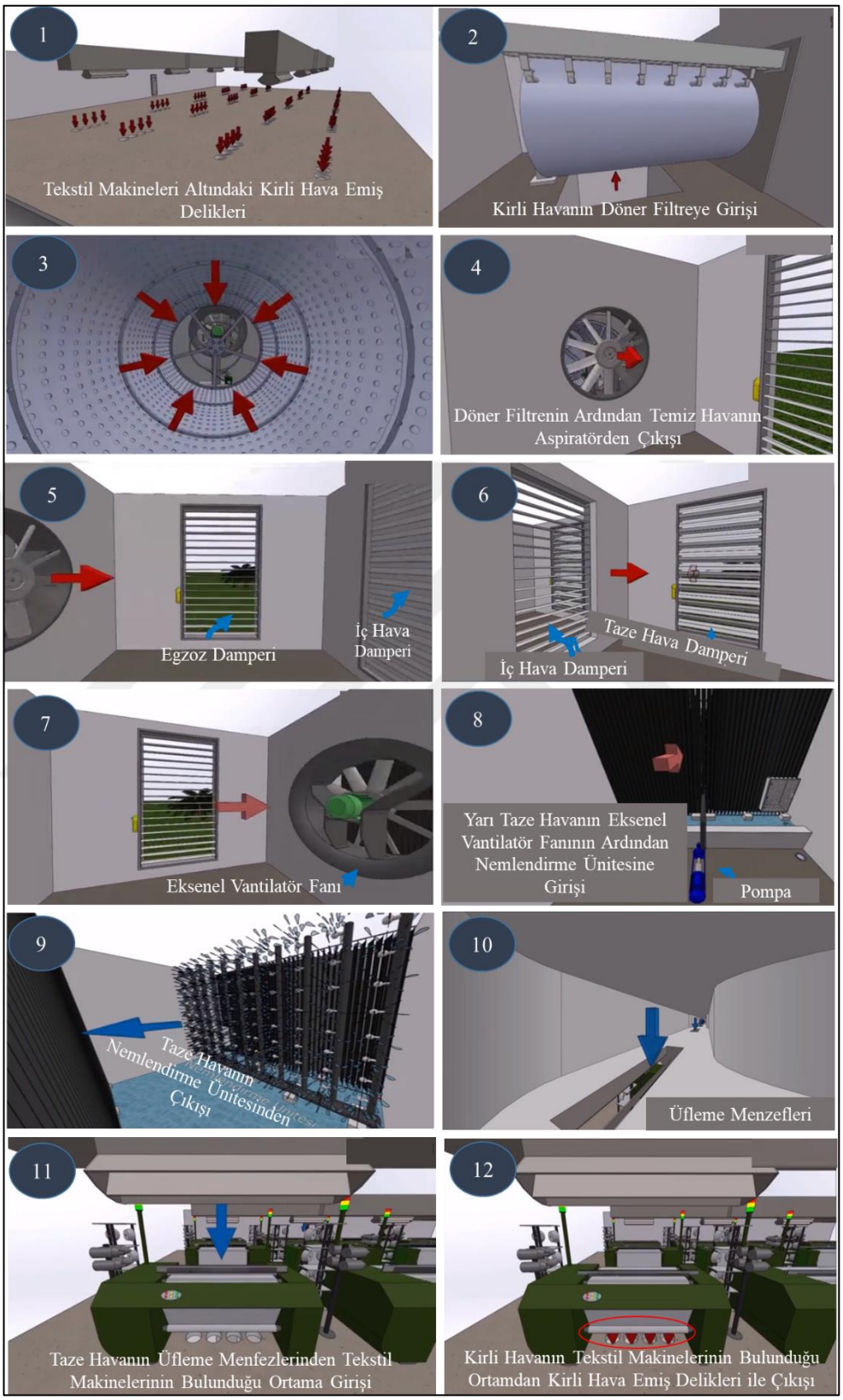
Klima santrallerinin ortalama ömür boyu maliyet oranlarına bakıldığında en büyük pay %52 oranıyla fanların enerji tüketim maliyetidir. Bu sıralamayı %33 ile ısıtma, soğutma ve nemlendirme enerji tüketim maliyeti, %8 ile bakım maliyeti, %5 ile ilk yatırım maliyeti ve %2 ile pompaların enerji tüketim maliyeti takip etmektedir. Şekil 1.9'da klima santrallerinde ömür boyu maliyet oranları verilmiştir.



Şekil 1.9. Klima santrallerinde ömür boyu maliyet oranları [10]

Türkiye'de özellikle iplik üretimi olan ve iplik boyama yapılan tekstil işletmelerinde yapılan enerji etüdü çalışmaları incelendiğinde, klima santrallerinde eksenel vantilatör ve aspiratör fanlarının toplam elektrik enerjisi tüketimindeki payı %7-10 mertebelerindedir.

Klima santralleri genel olarak iplik üretiminde, üretimdeki ipliklerin kopmaması ve üretim kaybının olmaması için iç ortamda istenilen nem ve ısı değerlerini sağlamak amacıyla nemlendirme, ısıtma, soğutma ve üretim alanındaki tekstil makinelerinin çalışması sırasında oluşan toz ve uçuntuları toplayarak havanın toz ve parçacıklardan arındırılması için kullanılmaktadır. Klima santralinde bulunan aspiratör fanları ile üretim makinelerinin bulunduğu alanın zemininden hava emişi yapılmaktadır. Emiş yapılan hava, döner filtrelerden geçirilerek toz, iplik vb. maddeler filtrelerde tutulmaktadır. İşletme içindeki hava, ortam sıcaklığı ve nemine göre tekrar ortama transfer edilebilmekte veya atmosfere atılabilmektedir. Vantilatör fanları, damperler yardımıyla atmosferden ya da üretim alanından hava emişi sağlayan fanlardır. Vantilatör fanları, havayı nemlendirme amacıyla önce nemlendirme ünitelerine, ardından kanallar yardımıyla ortama transferini sağlamaktadır. Tekstil fabrikasındaki örnek bir klima santralinin çalışma sistemi Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Tekstil fabrikasındaki örnek bir klima santralinin %50 iç hava %50 dış hava ile çalışma sistemi [11]

1.5. Literatür Taraması

Eksenel fan kullanımının birçok uygulamada oldukça yaygın olması sebebiyle eksenel fanlar ile ilgili çalışmalar da oldukça fazladır. Bu bölümde eksenel fanlar ile ilgili yapılan önceki çalışmalar araştırılmıştır. Bu bölümde genel olarak eksenel fan tasarımında kullanılan bazı sayısal ve deneysel analizlere, çeşitli malzemelerden üretilen eksenel fan kanatlarının performans kıyaslamalarının yapıldığı örnek çalışmalara ve tekstil sanayide kullanılan klima santrali sisteminin iyileştirilmesine yönelik yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Bu çalışmayla elde edilen sonuçlar ile birlikte önceki çalışmaların daha da güçlendirilmesi ve literatüre önemli katkılar sağlanması amaçlanmıştır.

1.5.1. Sayısal ve deneysel analizler ile ilgili önceki çalışmalar

Keklikoğlu, çalışmasında eksenel fan tasarımında kullanılan yöntemleri ele alarak, eksenel bir fan tasarımı yaparak bu yöntemleri uygulamayı amaçlamıştır. Bu kapsamda da eksenel bir fan tasarımda ortaya çıkan hataları tespit etmeyi, tasarım süresi boyunca harcanan zamanın azaltılması için bir tasarım uygulaması geliştirmeyi ve bu yöntemin güvenilirliğini sayısal ve deneysel yöntemlerle ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada eksenel fanlar için bir tasarım kodu geliştirmiş ve eksenel fan tasarımı ile ilgili tüm deneysel verileri sayısallaştırmıştır. Geliştirilen tasarım kodunun ön-geçerliliğini ortaya koymak için ise HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımını kullanmıştır. Ayrıca AMCA (Air Movement and Control Association) standartlarını referans alarak bir test düzeneği hazırlamış ve geliştirdiği tasarım kodunun doğruluğunu tespit etmek için bu test düzeneğinde birçok deney yapmıştır. Deneyler sonucunda eksenel bir fan tasarımı sürecinde geliştirilen yazılımın kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır [12].

Bacak, çalışmasında WingFan firmasının AMCA 210 standardına göre tasarlanmış eksenel fan test düzeneğinden eksenel fan karakteristik ve performans eğrilerini ve fanın optimum çalışma aralığını temin etmiştir. Eksenel fan karakteristik ve performans eğrileri ve fanın optimum çalışma aralığı HAD yazılımı ile de hesaplamış ve test düzeneğinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Fanın tasarım noktasına

yakın çalışması durumunda, hesaplanan ortalama hız ve basınç değerlerinin, test düzeneğinden elde edilen sonuçlara oldukça yakın olduğunu belirlemiştir. Fanın tüm çalışma şartlarında hesaplanan maksimum eşdeğer gerilmelerin, malzemenin akma gerilmesinden az olduğundan, fanda elastik şekil değişimlerinin oluştuğu ve fan tasarımında emniyet payının bulunduğu sonucu ortaya koyulmuştur [13].

Venter ve Kröger, çalışmasında eksenel akış fanının performansı üzerindeki kanat ile muhafaza alanı arasındaki mesafenin etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada, sadece statik fan basıncı ve fan statik verimindeki değişikliklerin değil, aynı zamanda hacimsel debi değişimlerinin de ele alındığı yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan eksenel fan, 8 kanatlı 1.542 mm (milimetre) çapındadır. 3 ile 10,50 mm arasında değişen toplam 6 farklı boşluk mesafesi kullanılmıştır. Analiz sonucunda, boşluk mesafesindeki artışların, statik basınçta, statik verim, güç tüketimi ve fanın hacimsel akış hızı üzerindeki etkisini ortaya koymuştur [14].

Munisamy ve arkadaşları, çalışmasında 30° kanat açısına sahip bir eksenel fan için sabit kılavuz kanatlar tasarlamıştır. Bu tasarım yapılırken, fanın optimum çalışma bölgesindeki en yüksek statik basınç değerini referans alarak bazı hesaplamalar yapmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda kılavuz kanat açısını belirlemiştir Yapılan hesaplamalar sonucunda 40° derece açıya sahip kılavuz kanatlar ile aynı hava debisinde statik basınç yaklaşık %29,63 oranında artmıştır. Statik basıncın artmasıyla da fan verimi %5,12 oranında artış göstermiş, fan güç tüketimi ise %5,32 oranında düşüş göstermiştir [15].

1.5.2. Kanat malzemesi çeşidi ile ilgili örnek çalışmalar

Sakin ve arkadaşları, çalışmasında endüstriyel işletmelerde havalandırma ve soğutma amacıyla kullanılan ve genellikle döküm alüminyum alaşımlarından üretilen eksenel fan kanatlarına alternatif olarak kullanılabilecek cam/polyester kompozit malzemeden üretilen profilleri ele almıştır. Bu kapsamda da cam/polyester kompozit ve döküm alüminyum malzemeden üretilen profillerin mekanik özelliklerini inceleyerek karşılaştırmalar yapmıştır. Yapılan çalışmalarda ticari adı Etial-141, Etial-145 ve Etial-160 olan külçeleri kum kalıba döküp işleyerek, üç farklı alüminyum profil

oluşturmuştur. Kompozit malzemeyi temsil etmek için ise 300, 500 ve 800 gr/m² ağırlığındaki cam dokumalar ve 225, 450 ve 600 gr/m² cam keçeler ile üç farklı cam/polyester profil oluşturmuştur. Profillere yapılan testler sonucunda 500 ve 800 gr/m²'lik cam dokuma kullanılarak oluşturulan kompozitlerin en yüksek yorulma ömrüne sahip olduğunu tespit etmiştir. Test sonuçlarına göre kompozit profillerinin çekme mukavemeti/yoğunluk oranının alüminyum profile göre 3,6 kat, eğilme mukavemeti/yoğunluk oranının 4,6 kat ve yorulma mukavemeti/yoğunluk oranının 2 kat daha fazla olduğunu belirlemiştir. Ayrıca cam/polyester kompozit malzemeden yapılacak bir profilin alüminyumdan üretilen bir kanat profiline göre yaklaşık %36,5 daha hafif olacağını tespit etmiştir [16].

Bacak ve Pınarbaşı, çalışmasında yüksek katlı binaların havalandırılması amacıyla kullanılan, dış ortam ile doğrudan temas halinde olan ve aero-akustik olmayan eksenel fan kanatlarını gürültü kirliliği açısından incelemiştir. Bu kapsamda eksenel fanın ses basınç düzeylerini Fowcs-Williams and Hawkings yaklaşımı ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı ile ele almış ve eksenel fanın iki farklı çalışma noktası için akış ve akustik analizleri yapmıştır. Çalışmalar sonucunda ise bilgisayar destekli yazılımlarda elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların (literatürde kabul edilebilecek sapmaları göz önünde bulundurarak) birbirine yakın olduğunu görmüştür. Yapılan analizler doğrultusunda eksenel fan kanadı yüzeyindeki akustik gerilmelerin yerinin belirlenmesini sağlamıştır. Akustik gerilmelerin yerinin tayinin ileriki dönemlerde yapılacak olan eksenel fan kanadı tasarımlarında bu çalışmanın toplam gürültü seviyesinin düşürülmesi için önemli rol oynayabileceğini ortaya koymuştur [17].

Velavan ve arkadaşları, çalışmasında Hindistan'da bulunan bir tekstil fabrikasında klima santrallerinde bulunan alüminyum eksenel fanların kompozit bir malzeme olan FRP fan kanatları ile değişimi yapılmıştır. Bu uygulama ile dokuma bölümünde 4,63 kWh/kg (kilo watt saat/kilogram) olan spesifik enerji tüketimi, 4,54 kWh/kg'a düşürülmüştür. Bu sayede dokuma bölümünde kg başına ürün için tüketilen enerji miktarından 0,07 kWh tasarruf edilmiştir [18].

1.5.3. Tekstil sektöründe enerji verimliliği ile ilgili önceki çalışmalar

Öztürk ve arkadaşları, çalışmasında bir tekstil fabrikasında, dokuma bölümünde iç hava kalitesinin iyileştirilmesi için 30 adet klima santralinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Fabrikada çalışma ortamında klima hava basıncı yüksek olduğu için sıcaklık ve nemin arttığını gözlemlemiştir. Bu durum da, tekstil sanayide klima santrallerinin kullanım amaçlarından biri olan pamuk veya elyaf uçuntuların toplanması işleminde aksaklığın gözlenmesine ve çalışma veriminin düşmesine neden olmuştur. İç basıncın fazla olması vantilatör hava debisinin istenilen değerden yüksek olmasından kaynaklandığından, bu durumun önüne geçebilmek için vantilatörlerin elektrik motorlarında direkt akuple yerine kayış kasnak sistemine geçilmiş ve kasnak çapları istenilen hava basıncını sağlayacak şekilde değiştirilerek devir sayıları düşürülmüştür. Elektrik motorlarının devir sayılarının düşürülmesiyle, enerji tüketimlerinin de düştüğü ve dokuma bölümünde iç ortam kalitesinin arttığını görmüştür. Elektrik motorlarındaki enerji tüketiminin azalması ile birlikte %18,5 oranında bir enerji tasarrufu sağlanmıştır [9].

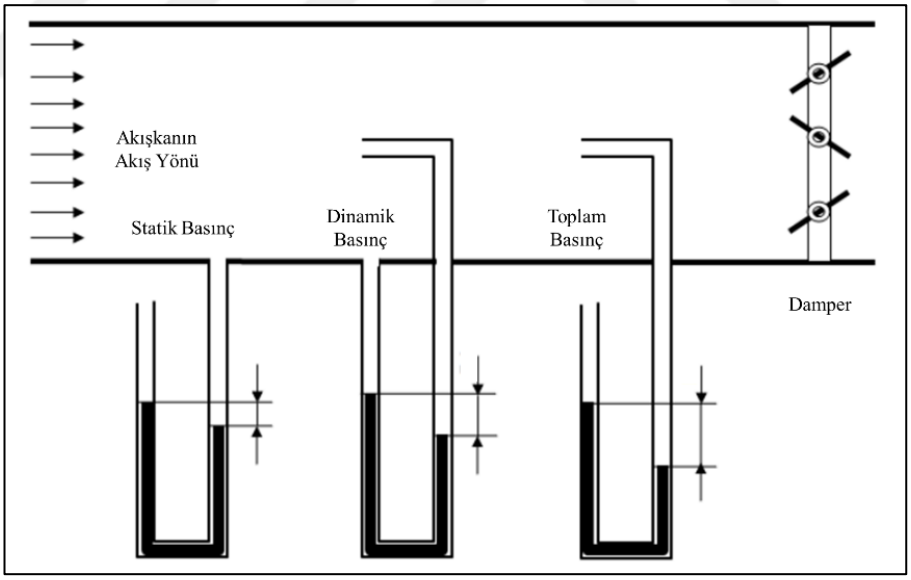
Sert, çalışmasında entegre bir tekstil fabrikasında enerji verimliliği potansiyellerinin ortaya çıkarılması üzerine bir proje yapmıştır. Çalışma kapsamında; klima santralleri ve diğer yardımcı tesis ekipmanlarını incelemiş ve enerji verimliliği projeleri geliştirmiştir. Fabrikada örgü bölümündeki klima santralinde bulunan toplam 6 adet aspiratör ve vantilatör fanına sürücü uygulamasına yönelik analizler yapmıştır. Bu uygulama ile örgü bölümünde istenilen sıcaklık ve nem değerine göre, değişken devirli hız sürücüsünün fanların devrini değiştirmesi ve bu sayede ortam için optimum koşulların sağlamasını öngörmüştür. Bu uygulama ile 427.728,00 kWh/yıl enerji tasarrufu, 95.041,16 TL (Türk Lirası)/yıl mali tasarruf sağlanmasının mümkün olduğu sonucuna varmıştır. Uygulamanın toplam yatırım maliyetini 87.000,00 TL, yatırımın basit geri ödeme süresini ise 0,92 yıl olarak belirlemiştir [19].

2. FAN ÇEŞİTLERİ VE EKSENEL FANLAR

2.1. Fanlarla İlgili Genel Kavramlar ve Fan Çeşitleri

Fanlar bir basınç farkı oluşturarak hava ve benzeri akışkanların transferini sağlayan ekipmanlar olarak tanımlanır.

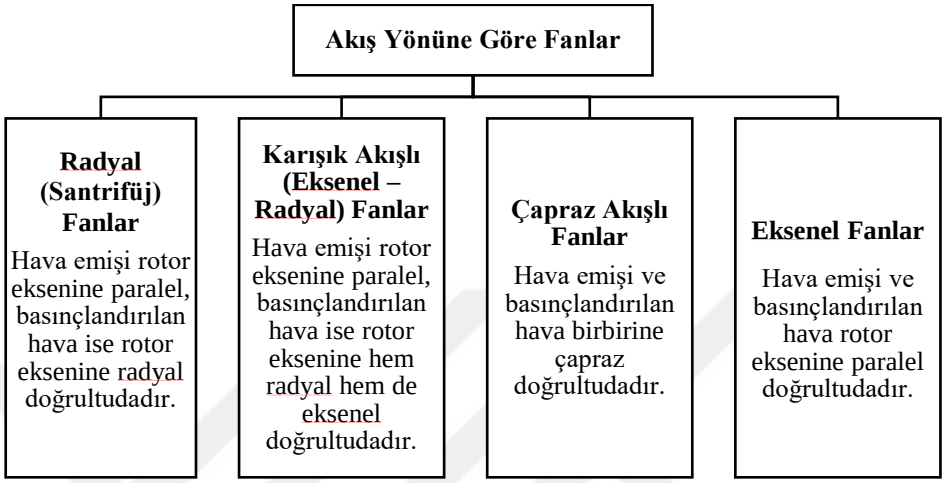
Bir akışkanın birim alana uyguladığı dik kuvvet basınçtır. Statik basınç, hat veya kanalın (yani fanın yer aldığı sistemde) içerisindeki akışkanın hat veya kanalın her noktasına uyguladığı basınçtır. Dinamik basınç ise hat veya kanal boyunca akışkanın hareketi doğrultusunda, önündeki engellere uyguladığı ve akışkanın hızı sebebiyle sahip olduğu basınçtır. Şekil 2.1'de bir hatta/kanalda statik, dinamik ve toplam basınç ölçüm sistemi verilmiştir.



Şekil 2.1. Bir hatta ve kanalda statik, dinamik ve toplam basınç ölçüm sistemi [20]

Debi, birim zamanda geçen akışkan miktarıdır. Akışkanın gücü ise gerekli debi ve basınç değerini karşılamak için mekanik ekipmandan elde edilen birim enerji olarak tanımlanır.

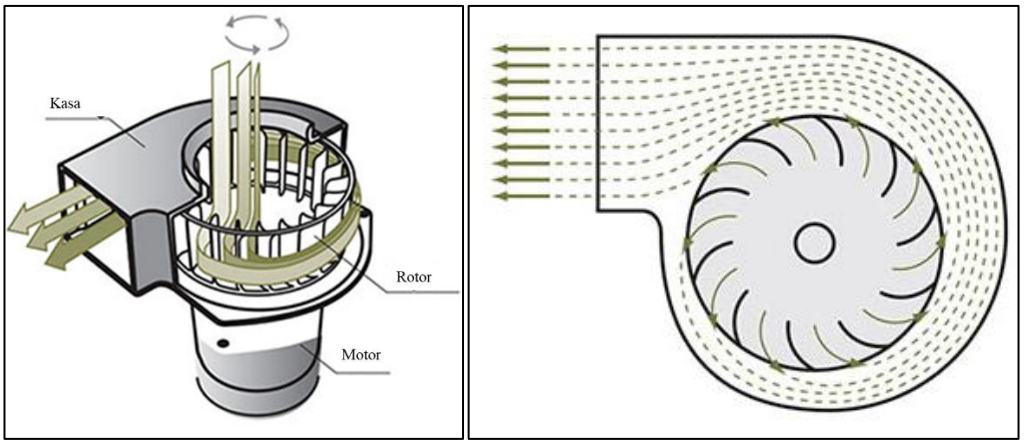
Fanlar akışkanın emiş yönü ile basma yönüne göre sınıflandırıldığında 4 çeşit fan tipi olduğu söylenebilmektedir. Bunlar eksenel fan, radyal (santrifüj) fan, karışık akışlı (eksenel-radyal) fan ve çapraz akışlı fandır. Akış yönüne göre fanların sınıflandırılması Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Akış yönüne göre fanların sınıflandırılması

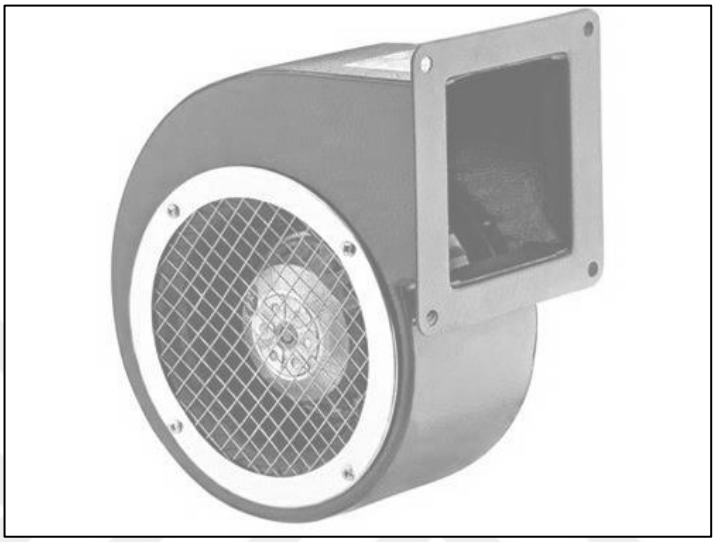
2.2. Radyal (Santrifüj) Fanlar

Radyal yani santrifüj fanlar, dönme hareketiyle momentumunu akışkana aktararak akışı oluşturan ve kanatlar ile emiş yapılan akışkanı basınçlandıran rotor ve akışa yön veren salyangozdan oluşur. Radyal fanlarda akışkan emişi rotor eksenine paralel, basınçlandırılan akışkanın çıkışı ise rotor eksenine radyal (merkezkaç) doğrultudadır. Radyal fan içindeki hava akımı Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Radyal fan içindeki hava akımı

Radyal fanlar endüstriyel işletmelerde ve enerji santrallerinde primer ve sekonder fan olarak kazan hava beslemelerinde, kazan veya fırınlarda sıcak gazların taşınmasında, havalandırma proseslerinde ve toz toplama sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Örnek bir radyal fan Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Örnek bir radyal fan

2.3. Karışık Akışlı (Eksenel – Radyal) Fanlar

Karışık akışlı (eksenel- radyal) fanlarda, akışkanın girişi rotor eksenine paralel yönde olmakta, sonrasında ise hem rotor eksenine hem paralel hem de radyal doğrultuda çıkış yapmaktadır [21]. Karışık akışlı fanda akış doğrultusu ve örnek bir karışık akışlı fan Şekil 2.5'te verilmiştir.



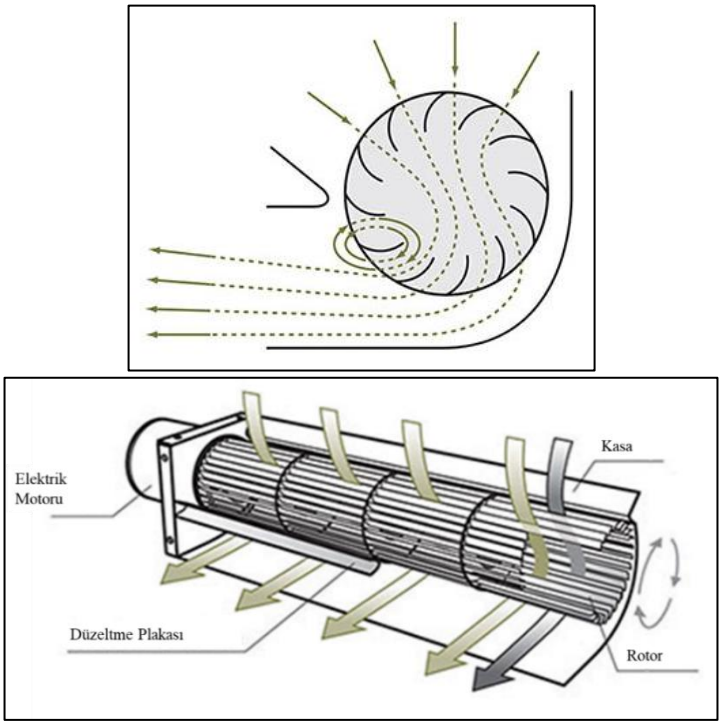
Şekil 2.5. Karışık akışlı fanda akış doğrultusu ve örnek bir karışık akışlı fan

Eksenel ve radyal fanların basınç ve debi aralıkları birbiri ile karşılaştırıldığında; eksenel fanlar daha düşük basınçta yüksek debi sağlarken, radyal fanlar ise daha yüksek basınçta orta seviye debide akış sağlamaktadır. Bu sebeple eksenel fanın yüksek debilerde çalışabilme özelliği, radyal fanın ise yüksek basınçlarda çalışabilme özelliği birleştirilerek karışık akışlı fanlar hayata geçirilmiştir [22].

Karışık akışlı fanlar genel havalandırma uygulamalarında ve besleme havası uygulamalarında kullanılmaktadırlar [23].

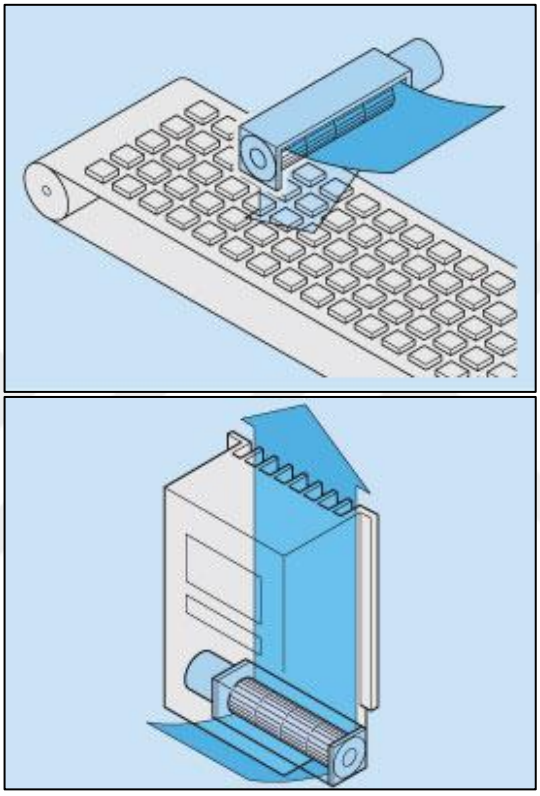
2.4. Çapraz Akışlı Fanlar

Çapraz akışlı fanlar radyal fanlara benzer bir rotora sahiptir. Ancak çapraz akışlı fanların her iki tarafı panellerle kaplıdır ve eksenel yönde bir emiş söz konusu değildir. Fanlarda havayı basınçlandırmak için uzun silindirik bir rotor kullanılır. Bu sayede akışkan geniş bir alandan geçer. Akış emiş yapılan ağza göre yaklaşık 45°'lik bir açı ile hareket eder. Çapraz akışlı fanlar çok düşük dirence karşı oldukça yüksek debi ihtiyacı olan proseslerde kullanılabilirler [23]. Çapraz akışlı fan içindeki hava akımı Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Çapraz akışlı fan içindeki hava akımı

Çapraz akışlı fanlar hava perdeleri, soğutma ve kurutma proseslerinde kullanılırlar. Örneğin elektronik cihazların yer aldığı ince ve uzun alanlarda hava üflemeli soğutma ve geniş alanlarda hava üflemeli kurutma veya soğutma yapmak için uygundur. Çapraz akışlı fanların en büyük özelliği bulunduğu ortamdan tasarruf sağlamalarıdır [24]. Çapraz akışlı fanların örnek uygulama alanları Şekil 2.7'de verilmiştir.



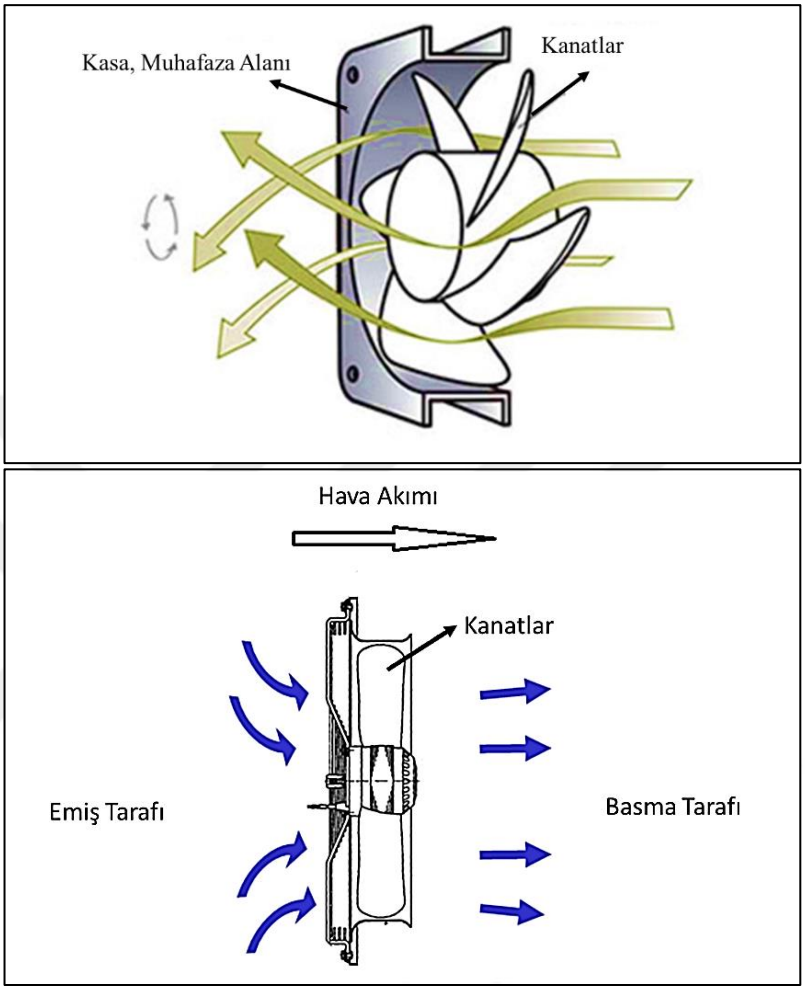
Şekil 2.7. Çapraz akışlı fanların örnek uygulama alanları [24]

2.5. Eksenel Fanlar

Eksenel fanlar dönme eksenine paralel bir akış oluşturup, çalıştıkları ortamda basınç farkı oluşturarak akışkanın (havanın veya benzeri gazların) transferini sağlamak için kullanılan ekipmanlardır. Eksenel fanlarda kanatlar fanın hareketli elemanlarıdır ve akışkana kinetik ve statik enerji kazandırarak iş yapar.

Eksenel fanlarda hava akışının izlediği yol rotor eksenine paralel yöndedir. Teorik olarak bakıldığında radyal doğrultuda bir hız bileşeni yoktur. Fakat fanın göbek bölümüne bir eğrilik verilerek radyal hız bileşenlerinin oluşturulduğu fanlar da vardır

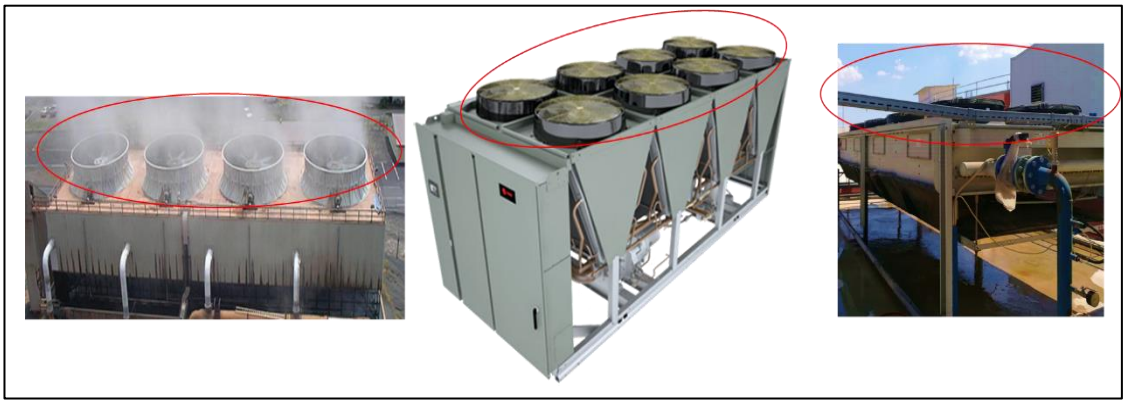
[25]. Eksenel fanın yapısı ve hava akış mekanizmalarının şematik çizimleri Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Eksenel fanın yapısı ve hava akışı

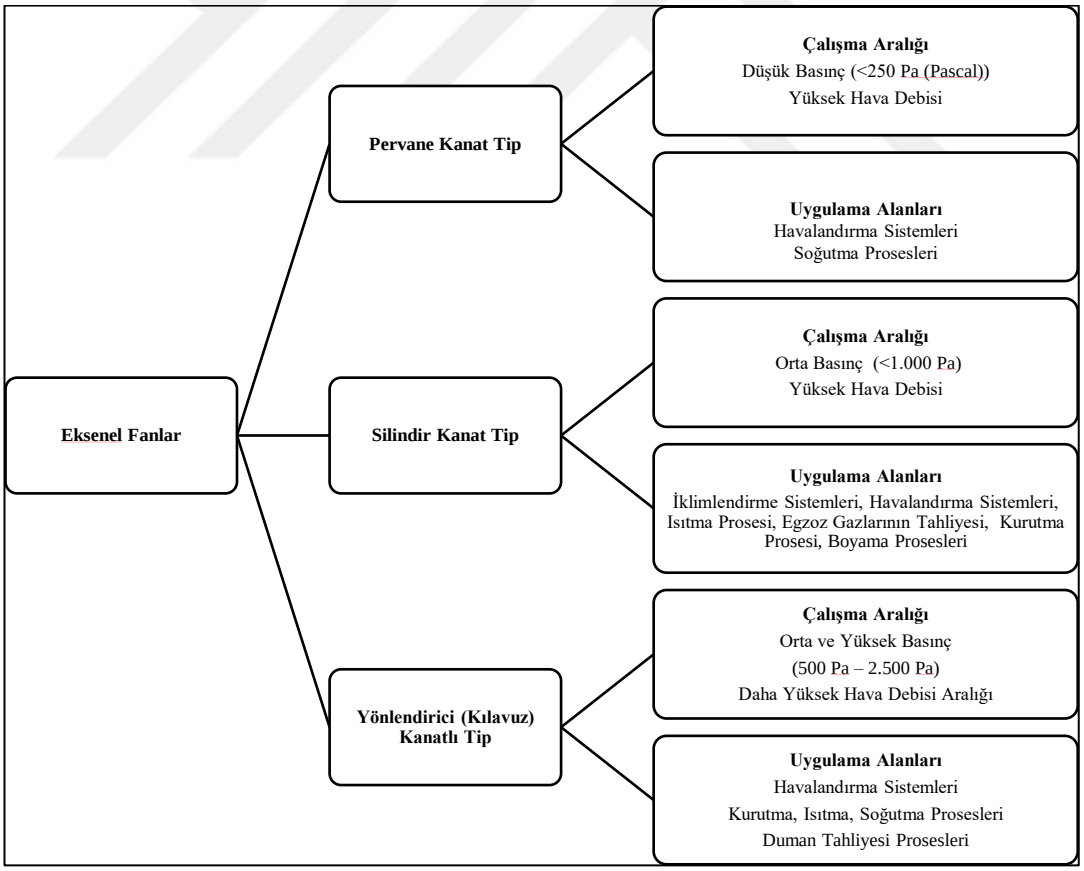
2.6. Eksenel Fanların Genel Uygulama Alanları ve Çeşitleri

Endüstriyel işletmelerde eksenel fanlar genel olarak soğutma kulelerinde sistemdeki istenmeyen ısının atmosfere transfer edilmesinde, hava soğutmalı chillerlerde kondenserin soğutulmasında, kojenerasyon sistemi gaz motorlarında (eğer ısı geri kazanım sistemi yok ise) motorun soğutulması için kullanılan soğutma suyunun soğutulmasında, havalandırma gerektiren proseslerde egzoz, duman gazları veya kötü kokuların atmosfere tahliyesi ve kurutma prosesi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Eksenel fanların çeşitli kullanım uygulamaları Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Eksenel fanların çeşitli kullanım uygulamaları

Eksenel fanlar genel olarak pervane kanat tip, silindir kanat tip ve kılavuz (yönlendirici) kanatlı silindir tip olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Şekil 2.10'da eksenel fanların çeşitleri, çalışma aralıkları ve kullanıldığı uygulamalar genel olarak özetlenmiştir. İlerleyene bölümlerde ise detaylandırılarak yer verilmiştir.



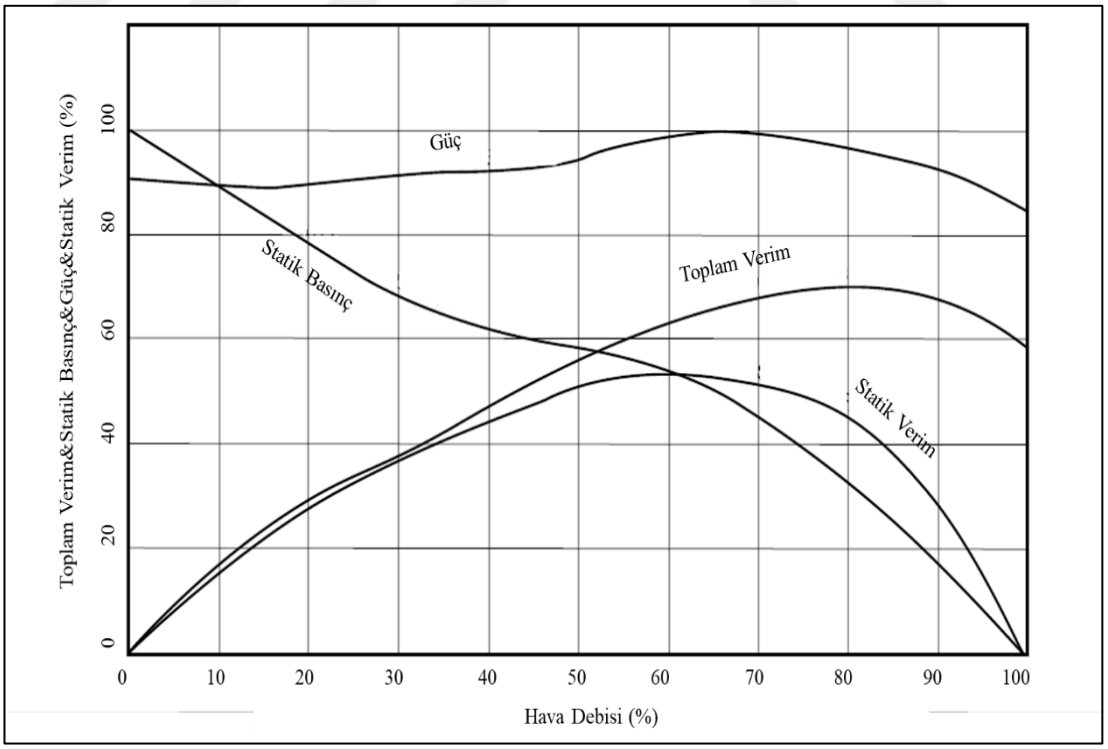
Şekil 2.10. Eksenel fanların çeşitleri, çalışma aralıkları ve kullanıldığı uygulamalar

2.6.1. Pervane kanat tipi eksenel fanlar

Pervane kanat tipi eksenel fanlar genellikle 250 Pa mertebelerine kadar statik basınç ihtiyacı olan proseslerde kullanılmaktadır. Fakat 750 Pa statik basınç ihtiyacı olan prosesler için de özel olarak tasarlaması mümkündür [26].

Pervane kanat tip eksenel fanlar diğer eksenel fan çeşitlerine (silindir kanat tip ve yönlendirici kanatlı silindir tip) göre düşük basınç ile yüksek debi ihtiyacı olan proseslerde kullanılmaktadırlar. Pervane kanat tip eksenel fanlar diğer eksenel fan çeşitlerine göre daha ucuzdurlar. Pervane kanat tipi eksenel fanlar yaygın olarak genel havalandırma sistemlerinde ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadırlar [27]. Pervane kanat tipi eksenel fanlarda hava akışı, fanın monte edildiği elektrik motoru şaftına paralel veya eksenel olabilmektedir [28].

Şekil 2.11'de 4 kanatlı pervane kanat tip bir eksenel fanın performans karakteristiği verilmiştir. Performans karakteristiği incelendiğinde pervane kanat tipi eksenel fanlarda toplam fan veriminin %70 mertebelerinde olduğu söylenebilmektedir.

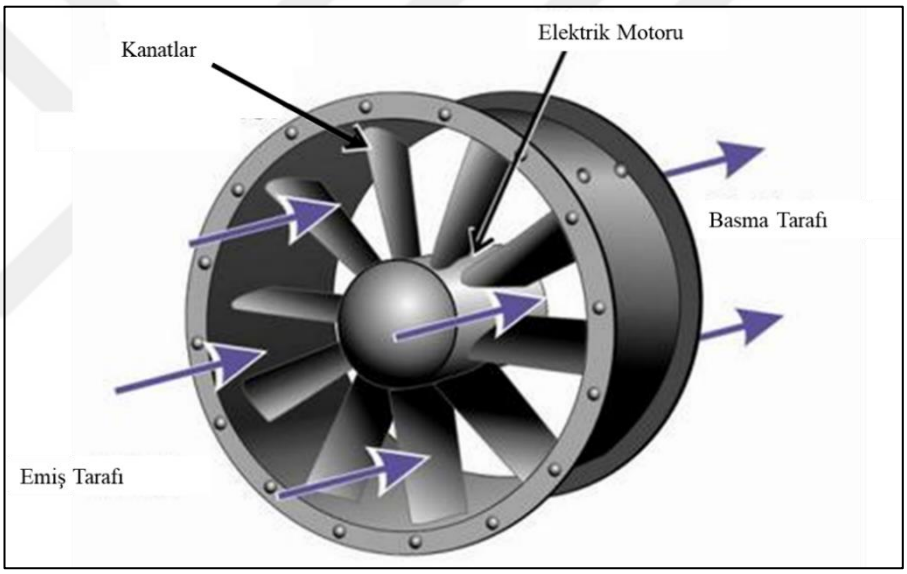


Şekil 2.11. 4 kanatlı pervane kanat tipi eksenel fan performans karakteristiği [26]

2.6.2. Silindir (tüp eksenel) kanat tip eksenel fanlar

Silindir kanat tip eksenel fanlar, silindirik tüp veya kanala monte edilmiş olan fanlardır ve genellikle kanal fanı olarak adlandırılırlar. Fanlar, statik basıncı 1.000 Pa mertebelerinde olan prosesler için tercih edilmektedirler [26]. Silindir kanat tip fanlar, silindir kanat tip eksenel fanlara göre daha yüksek, kılavuz kanatlı silindir kanat tip eksenel fanlara göre daha düşük statik basınç aralığında çalışabilmektedir.

Bu fanlarda hava akışı, çarkın monte edildiği elektrik motoru miline eksenel veya paralel olabilir. Silindir kanat tip eksenel fanların genel görünüşü Şekil 2.12'de verilmiştir.



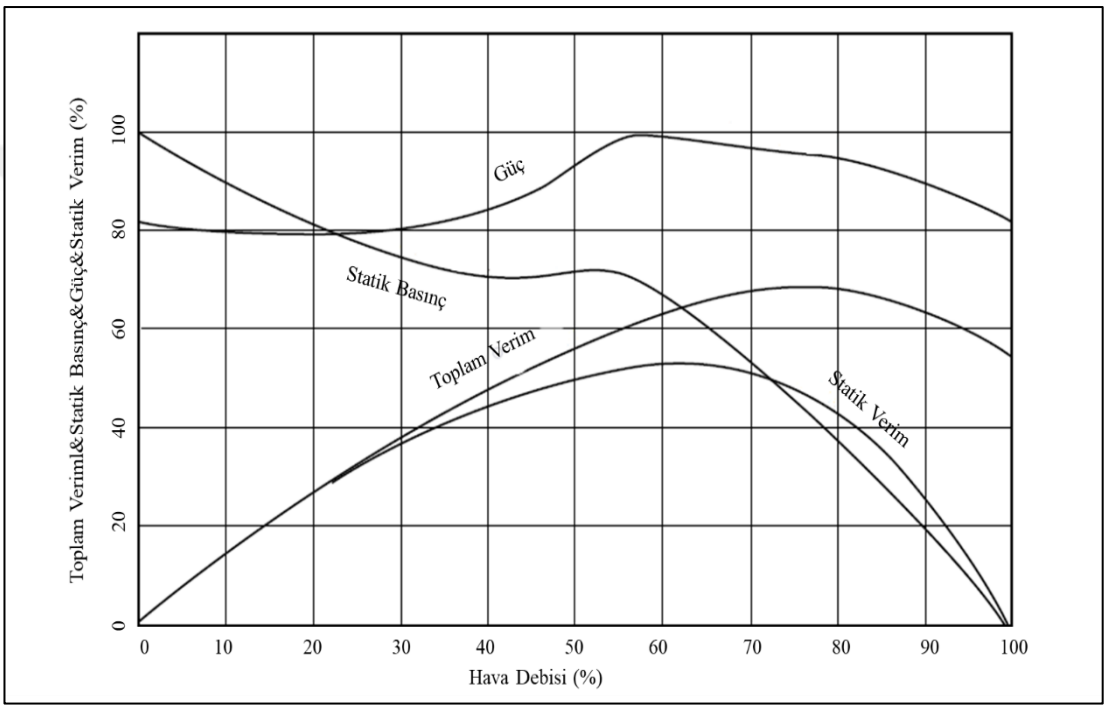
Şekil 2.12. Silindir kanat tip eksenel fanın genel görünüşü

Silindir kanat tip eksenel fanlar iklimlendirme, havalandırma, ısıtma, egzoz gazlarının tahliye edilmesi, kurutma ve boyama proseslerinde kullanılmaktadır [29].

Silindir kanat tip eksenel fanlar hafif aşınma altında, 600 °F sıcaklığa kadar dayanabilecek, aşındırıcı kimyasallar veya aşırı derecede kirlenmiş havayı transfer edebilecek malzemelerden imal edilebilirler. Proseste daha yüksek hava akışı için paralel olarak monte edilebilirler veya basınç kapasitelerini artırmak için seri olarak kademelendirilebilirler. Bu fanların göbek-uç çark oranlarının değiştirilmesiyle aynı basınçta daha düşük veya daha yüksek hızlarda çalıştırılması mümkündür [26].

Pervane kanat tip bir eksenel fan ile silindir kanat tip eksenel fanın performans karakteristikleri birbiri ile benzerlik göstermektedir. İki fanın çark yapıları da birbirleriyle karşılaştırıldığında birbirine benzerlik gösterdiği görülmektedir [27].

Şekil 2.13'te silindir kanat tip bir eksenel fanın performans karakteristiği verilmiştir. Silindir kanat tip eksenel fanlarda toplam fan veriminin maksimum %60-65 mertebelerinde olduğu söylenebilmektedir.

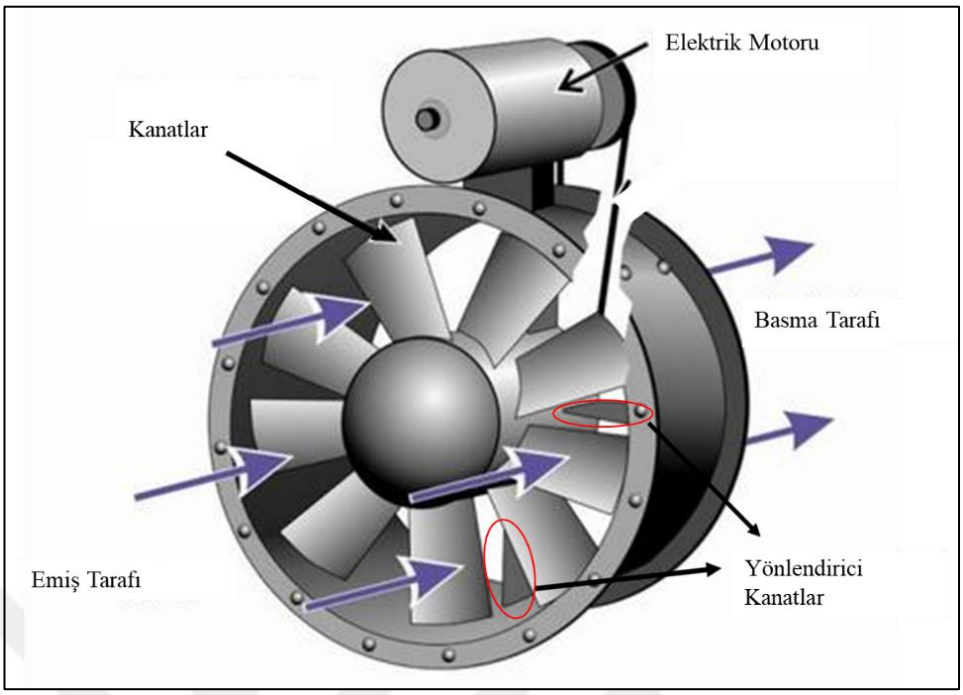


Şekil 2.13. Silindir kanat tip eksenel fan performans karakteristiği [26]

2.6.3. Kılavuz (yönlendirici) kanatlı tip eksenel fanlar

Kılavuz kanatlı eksenel fanların en önemli özelliği mevcut kanatlara ek olarak yönlendirici kanatlara sahip olmasıdır. Genellikle fan çarkının arkasına eklenen kılavuz kanatlar sayesinde dönel bileşen ortadan kaldırılarak, akışın eksenel olarak yönlendirilmesi ve daha düzgün olması sağlanır. Fan çarkının önüne eklenen kılavuz kanat uygulamaları da mevcuttur [27].

Kılavuz kanatlı fan örneği Şekil 2.14'te, bir eksenel fana ait kılavuz kanatlar ise Şekil 2.15'te verilmiştir.

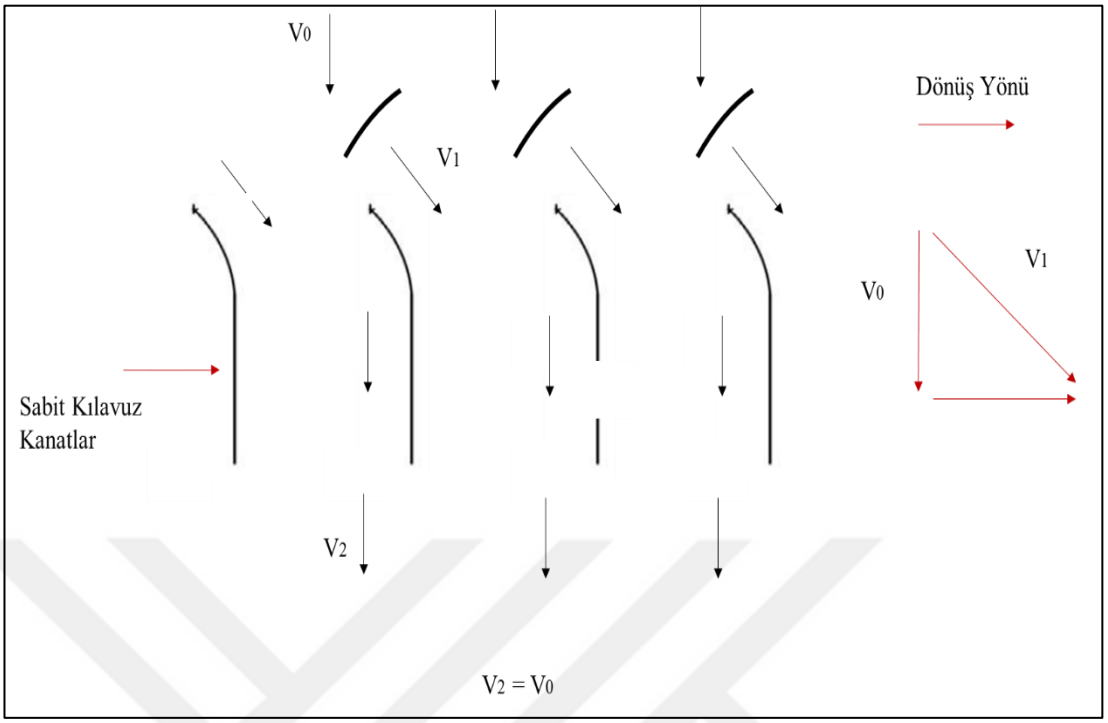


Şekil 2.14. Kılavuz kanatlı bir eksenel fan



Şekil 2.15. Bir eksenel fana ait kılavuz kanatlar

Kılavuz kanatlı eksenel fanlarda kılavuz kanatların sistematik diyagramı Şekil 2.16'da gösterilmektedir.

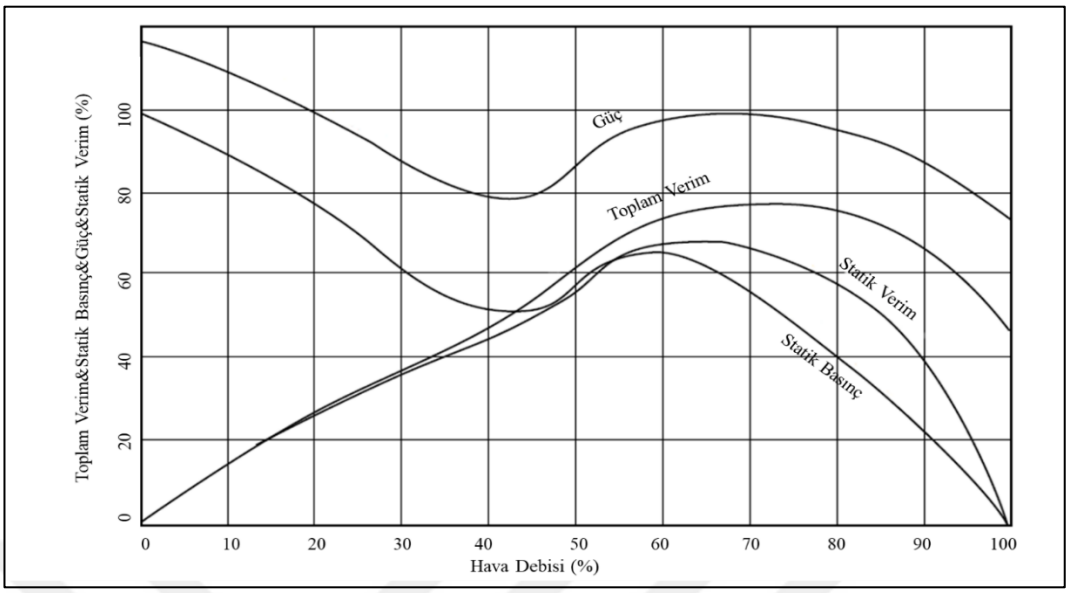


Şekil 2.16. Kılavuz kanatlı eksenel fanlarda kılavuz kanatların sistematik diyagramı [15]

Kılavuz kanatlı eksenel fanlar kılavuz kanatları sayesinde diğer eksenel fan çeşitlerine göre daha yüksek statik basınçta çalışabilirler. Fanlar 500 Pa ile 2.500 Pa aralığında statik basınç ve yüksek hava debisi ihtiyacı olan prosesler için tercih edilmektedirler [26].

Kılavuz kanatlı eksenel fanlar kurutma, ısıtma, soğutma, havalandırma ve duman tahliyesi proseslerinde kullanılırlar [30]. Bu fanlar aşındırıcı, tozlu veya lifli prosesler için önerilmezler. Bu proseslerdeki toz veya lif benzeri maddeler yönlendirici kanatlarda birikmeye neden olabilmekte ve fan performansını düşürebilmektedir [26].

Şekil 2.17'de 4 kanatlı yönlendirici kanat tip bir eksenel fanın performans karakteristiği verilmiştir. 4 kanatlı yönlendirici kanat tip bir eksenel fanın toplam veriminin maksimum %75-80 mertebelerinde olduğu görülmektedir. Yönlendirici kanatlı fanlar, pervane kanat tip ve silindir kanat tip fanlar ile karşılaştırıldığında yönlendirici kanatlar sayesinde maksimum toplam fan veriminin daha yüksek olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 2.17. 4 kanatlı yönlendirici kanat tip eksenel fan performans karakteristiği [26]

2.7. Eksenel Fan Testleri

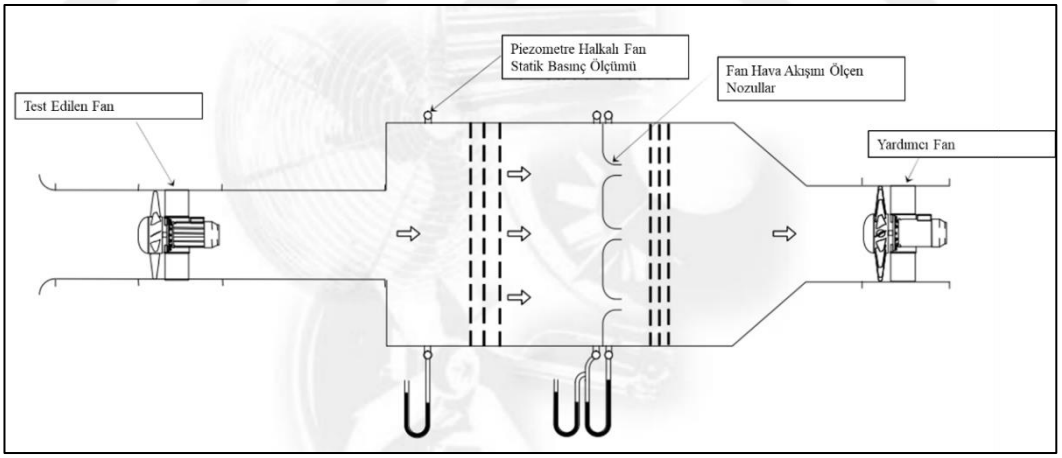
Bir fanın pratikte de tasarım şartlarına göre çalıştığından emin olmak, fanın gerçek performansının imalatçı tarafından yayınlanan katalog verileriyle eşleştiğini bilmek çok önemlidir. Bunu belirlemenin en doğru yolu ise uluslararası bir standarda uygun olarak tasarlanmış bir hava akış test sistemi kullanılarak fanların test edilmesidir [31]. Şekil 2.18'de eksenel fan testleri için örnek bir rüzgar tüneli test düzeneği verilmiştir.



Şekil 2.18. Eksenel fan testleri için örnek bir rüzgar tüneli test düzeneği

Üretimi planlanan/yapılan ve ardından piyasaya sunulacak olan fanların performanslarının deneysel olarak doğrulanması amacıyla, bazı standart kuruluşları tarafından fan test standartları oluşturulmuştur. Bu standartlarda test sistemlerinin yapıları, her bir fan performans değişkenin (verim, güç, basınç vs.) nasıl ölçüleceği gibi bilgiler/veriler yer almaktadır. Bu standartlara örnek olarak AMCA 210 Amerikan standardı ve DIN 24163 (Deutsches Institut für Normung) Alman standardı verilebilir.

AMCA; fan, damper ve diğer klima santrali ekipmanlarının performans değerlerini belirleyen ve deneysel olarak doğrulayan bir kuruluş olarak tanımlanabilir [32]. Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan standart AMCA 210 (Sertifikalı Aerodinamik Performans Derecelendirmesi için Fanların Test Edilmesi için Laboratuvar Yöntemleri) standardıdır. Bu standart hava akış hızı, basınç, güç tüketimi, hava yoğunluğu, dönme hızı gibi parametreleri derecelendirme veya garanti amaçlarına göre aerodinamik performansını belirlemek için bir fanın veya diğer hava taşıma cihazının laboratuvar testi için tek tip test yöntemleri oluşturur [33]. AMCA 210 standardı eksenel fan test düzeneği Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. AMCA 210 standardı eksenel fan test düzeneği [34]

Endüstriyel fanların performans testleri için kullanılan bir diğer standart ise DIN 24163 standardıdır. Bu standart kapsamında fanların performansı basınç, güç, fan verimi ve gürültü seviyesi gibi değişkenlerin hava debisine karşı çizildiği grafikler ile değerlendirilmektedir [28].

2.8. Sadeleştirilmiş Fan Kanunları

Fanlarda devir sayısı, hava debisi, basınç, yoğunluk, çark çapı arasındaki bağıntılar fan kanunları (benzerlik kanunları) adı verilen matematiksel denklemler ile belirlenir. Bir fan serisinin değişken çalışma koşullarında ayrı ayrı test edilmesi oldukça zor olacağından, seriye ait bir fanda yapılan test sonuçları referans alınarak ve fan kanunları kullanılarak fan serisindeki diğer fanların performansı tahmin edilebilir. Sadeleştirilmiş bazı fan kanunları aşağıda verilmiştir [35].

Hava debisi ve fanın devir sayısı arasındaki bağıntı (çark çapı sabit);

$$\frac{\text{Hava Debisi}_2}{\text{Hava Debisi}_1} = \frac{\text{Devir Sayısı}_2}{\text{Devir Sayısı}_1} \tag{2.1}$$

Basınç ve fan devir sayısı arasındaki bağıntı;

$$\frac{\text{Basınç}_2}{\text{Basınç}_1} = \left(\frac{\text{Devir Sayısı}_2}{\text{Devir Sayısı}_1}\right)^2 \tag{2.2}$$

Güç ve fanın devir sayısı arasındaki bağıntı (yoğunluk sabit);

$$\frac{\text{Güç}_2}{\text{Güç}_1} = \left(\frac{\text{Devir Sayısı}_2}{\text{Devir Sayısı}_1}\right)^3 \tag{2.3}$$

Debi ve çark çapı arasındaki bağıntı (devir sayısı sabit);

$$\frac{\text{Debi}_2}{\text{Debi}_1} = \left(\frac{\text{Çark Çapı}_2}{\text{Çark Çapı}_1}\right)^3 \tag{2.4}$$

Basınç ve çark çapı arasındaki bağıntı (yoğunluk sabit);

$$\frac{\text{Basınç}_2}{\text{Basınç}_1} = \left(\frac{\text{Çark Çapı}_2}{\text{Çark Çapı}_1}\right)^2 \tag{2.5}$$

Güç ve çark çapı arasındaki bağıntı;

$$\frac{\text{Güç}_2}{\text{Güç}_1} = \left(\frac{\text{Çark Çapı}_2}{\text{Çark Çapı}_1}\right)^5 \tag{2.6}$$

Basınç ve yoğunluk arasındaki bağıntı (debi sabit);

$$\frac{\text{Basınç}_2}{\text{Basınç}_1} = \left(\frac{\text{Yoğunluk}_2}{\text{Yoğunluk}_1}\right) \tag{2.7}$$

Güç ve yoğunluk arasındaki bağıntı (devir sayısı sabit);

$$\frac{\text{Güç}_2}{\text{Güç}_1} = \left(\frac{\text{Yoğunluk}_2}{\text{Yoğunluk}_1}\right) \tag{2.8}$$

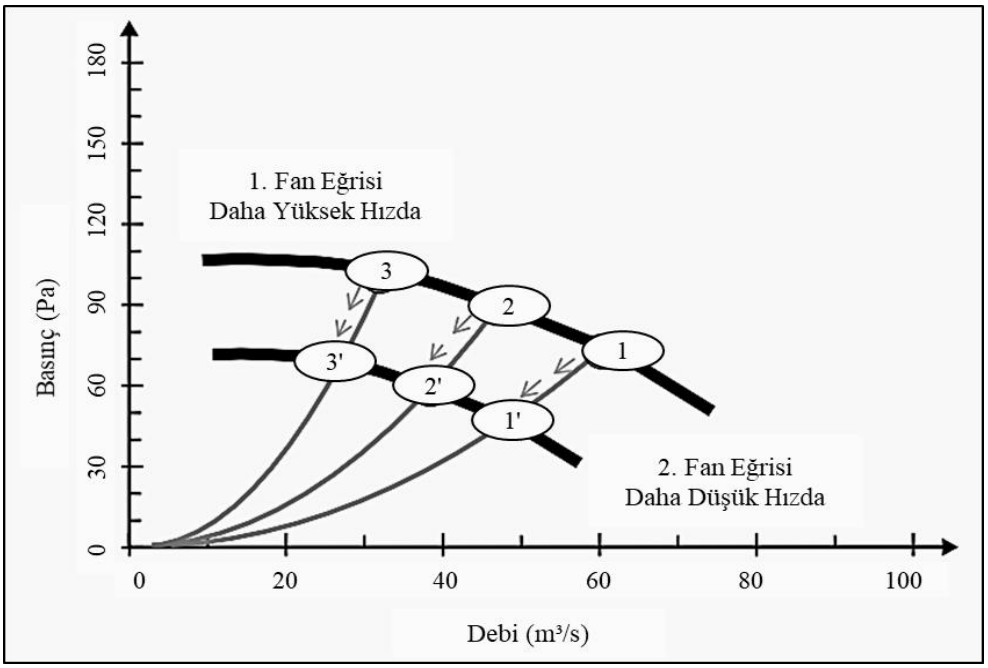
Fan kanunlarının kullanıldığı durumlar kısaca aşağıda belirtilmiştir [36];

✓ Fanların farklı devir sayılarında çalıştığı durumlardaki performanslarının tahmini

✓ Farklı büyüklüklerdeki fanların performanslarının tahmini

✓ Laboratuvarda standart havadan farklı yoğunlukta olan bir akışkanın transferini sağlarken fanın nasıl performans göstereceğinin tahmini

Şekil 2.20'de görüldüğü üzere, fan kanunları çok sayıda noktaya uygulanarak yeni bir fan eğrisi elde etmek için kullanılabilir [36].

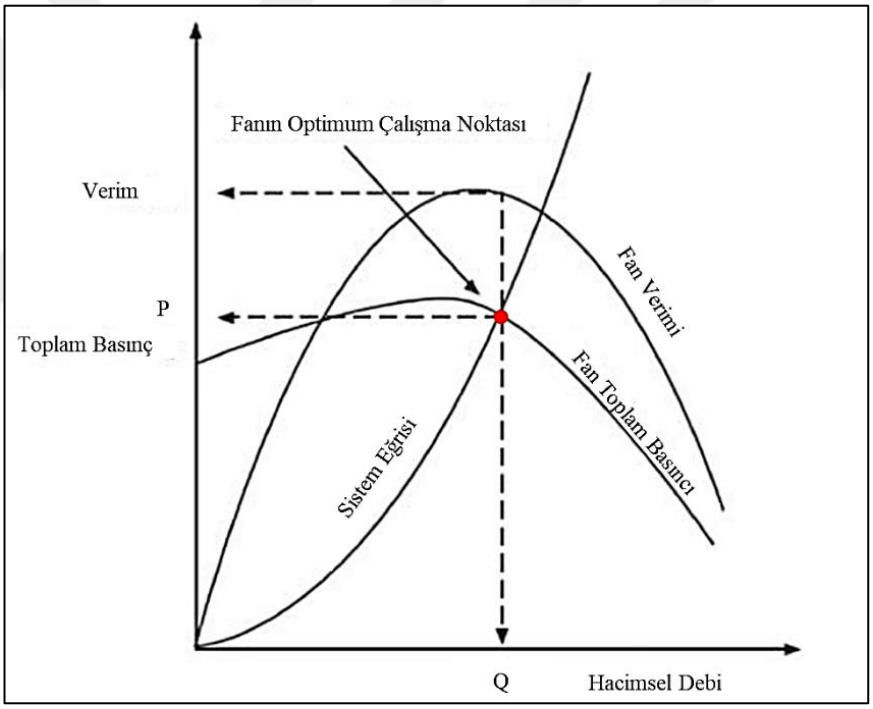


Şekil 2.20. Farklı fan hızları için fan performans eğrileri [36]

2.9. Eksenel Fanların Performans Eğrilerinin İncelenmesi

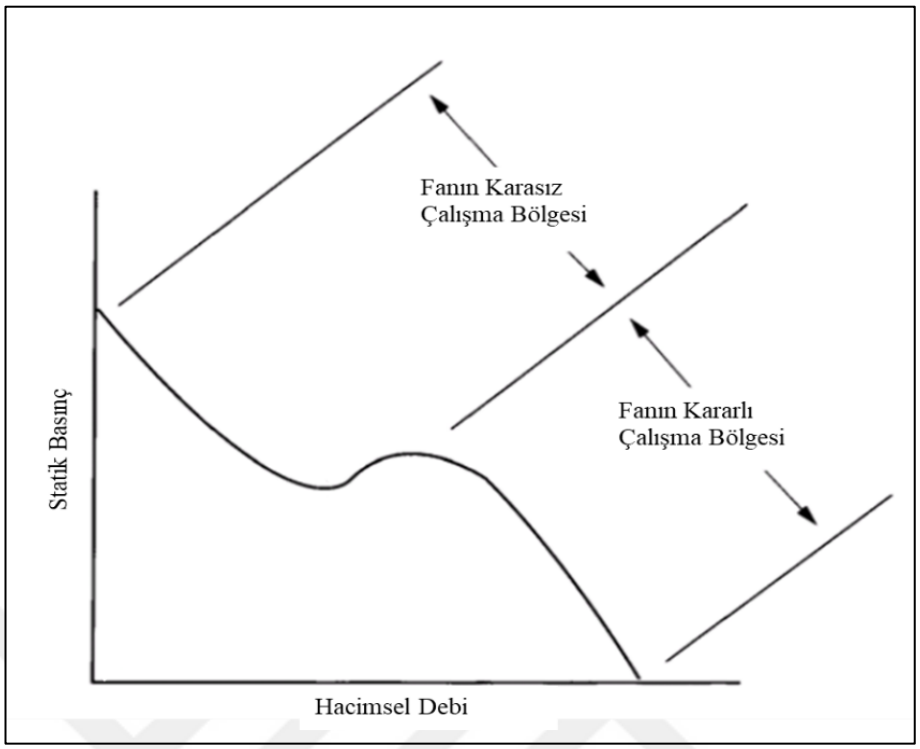
Fanlar imal edildiklerinde sabit devir sayısında farklı çalışma şartları (debi ve basınç) için testlerin yapılmasıyla performans ve eğrileri oluşturulmaktadır.

Enerji verimliği kavramı göz önünde bulundurulduğunda eksenel fanlar, sistemin ihtiyacına en uygun şekilde (akışkan debisi, basınç değeri) tasarlanıp imal edilmelidir. Şekil 2.21'de yer alan grafikte bir eksenel fanın optimum çalışma noktası gösterilmektedir. Fan eğrisi ile sistem eğrisinin birleştiği nokta fanın mevcut sistem için optimum çalışma noktasıdır. Bu nokta üzerinde çalışma yapılan fanlarda maksimum verim elde etmek mümkündür.



Şekil 2.21. Eksenel fanın optimum çalışma noktası [37]

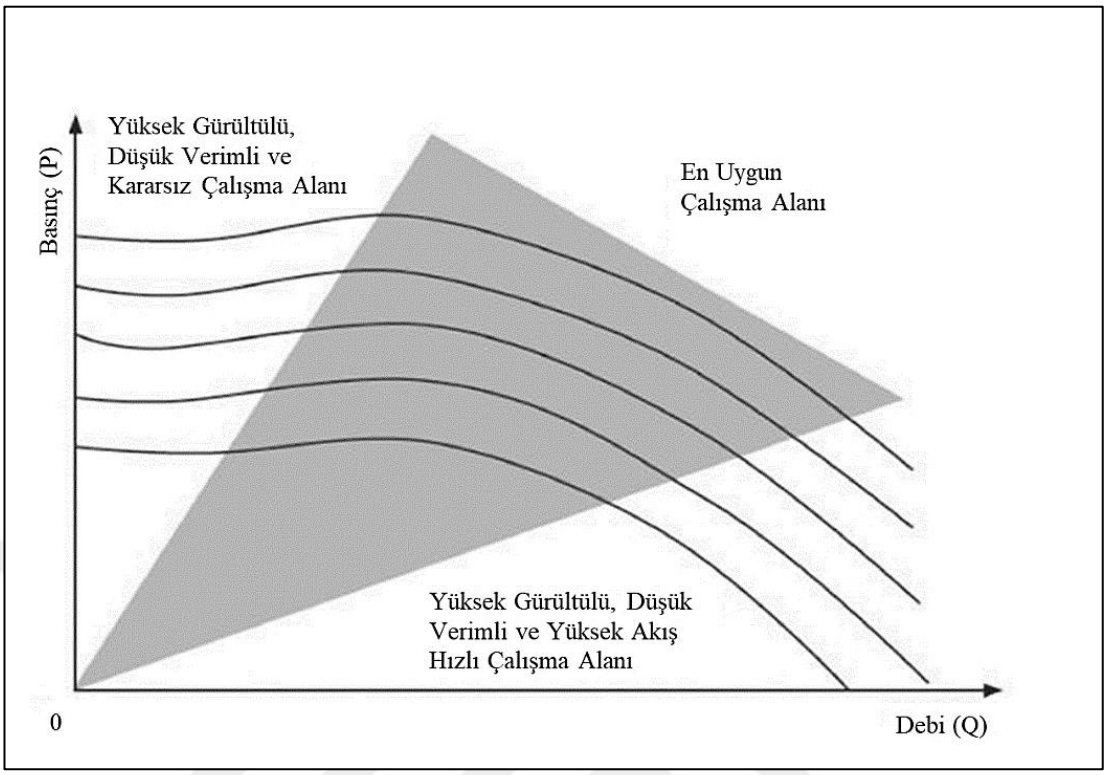
Eksenel fanın kararlı ve kararsız çalışma bölgesi Şekil 2.22'de verilmiştir. Eksenel fanın performans eğrisi incelendiğinde en sağda statik basıncın 0 olduğu noktadan itibaren ele alınırsa, debi düştükçe statik basıncın bir noktaya kadar yükseldiği görülmektedir. En üst noktaya kadar olan bölgeye fanın kararlı çalışma bölgesi denir ve fanın ulaşabileceği en yüksek verim değeri bu bölge içerisindedir [21].



Şekil 2.22. Eksenel fanın kararlı ve kararsız çalışma bölgesi [38]

Fanın kararlı çalışma bölgesi içerisinde debinin azalması ve statik basıncın tepe noktasına ulaşmasıyla kanat profilinin maksimum kaldırma kuvveti katsayısı elde edilir. Fan debisi düşürülmeye devam edilirse, hücum açısı artacağından akışkan kanadın emme yüzeyinden ayrılır. Bu durum fanın kararsız çalışma bölgesine girmesi şeklinde ifade edilir [21].

Eksenel fanın karakteristik eğrisinde optimum çalışma noktasının yanında yüksek verimde, gürültü oranı az sınırlı önerilen çalışma alanı bulunmaktadır. Eksenel fanların karakteristik eğrisinin önerilen çalışma alanında çalıştırılmasıyla uzun ömür sağlanması, bakım onarım ve enerji tüketim maliyetlerinin azaltılması mümkündür. Eksenel fanlar uygun çalışma noktasının sol tarafında yani kararsız çalışma bölgesinde çalışırsa düşük verim ve yüksek gürültünün yanı sıra fanın basma tarafından emiş tarafına doğru bir akış yönelmesi bile söz konusu olabilir. Ayrıca uzun süre kararsız çalışma bölgesinde çalışan fanların kanatlarında kırılmalar da olabilmektedir [37]. Eksenel fanların en uygun çalışma alanı Şekil 2.23'te verilmiştir.



Şekil 2.23. Eksenel fanların en uygun çalışma alanı [37]

3. EKSENEL FAN PERFORMANSINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. Fan Sistemlerinde Temel Denklemeler

Fanların akışkan gücü ve toplam sistem veriminin hesaplanması aşağıdaki formüllerden yararlanılarak yapılabilir.

Fanlardaki debi miktarı aşağıdaki denklikten hesaplanabilir.

Hız: V (m/s), Kesit Alanı: A (m^2)

$$Q(m^3/h)=V\ (m/s)x\ A\ (m^2) \tag{3.1}$$

V (m^3/h) debideki ve ΔPt (mmSS) basıncındaki bir fanın akışkan gücü (kW) aşağıdaki denklikten hesaplanabilir.

Debi: Q (m^3/h)

Basınç Farkı: ΔP (mmSS)

$$P_{\text{akışkan gücü}}\ (kW)=\frac{\Delta p\ (mmSS)x\ Q\left(\frac{m^3}{h}\right)}{3.600\ \left(\frac{s}{h}\right)\times 102} \tag{3.2}$$

Bir fan sistemine ait verim ise aşağıdaki denklikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$\mu_{\text{elektrik motoru verimi}}\ (\%)=\frac{P_{\text{fan mil gücü}}\ (kW)}{P_{\text{şebekeden çekilen güç}}\ (kW)} \tag{3.3}$$

$$\mu_{\text{tahrik sistemi verimi}}\ (\%)=\frac{P_{\text{fan mil gücü}}\ (kW)}{P_{\text{elektrik motoru gücü}}(kW)} \tag{3.4}$$

$$\mu_{\text{fan verimi}}\ (\%)=\frac{P_{\text{akışkan gücü}}\ (kW)}{P_{\text{fan mil gücü}}(kW)} \tag{3.5}$$

$$\mu_{\text{sistem verimi}}\ (\%)=\frac{P_{\text{akışkan gücü}}\ (kW)}{P_{\text{elektrik motoru gücü}}(kW)} \tag{3.6}$$

$$\mu_{\text{toplam verim}}\ (\%)=\mu_{\text{fan}}\ (\%)\ x\ \mu_{\text{tahrik sistemi}}\ (\%)\ x\ \mu_{\text{elektrik motoru}}(\%) \tag{3.7}$$

Yukarıdaki denkliklere bakıldığında, fanlarda akışkan gücü artığında enerji tüketiminin de artığı görülmektedir. Yani fanların enerji tüketiminin hava debisi ve statik basınç ile doğru orantılı olduğu, fanın, elektrik motorunun ve elektrik motoru tahrik sisteminin verimi ile ters orantılıdır. Bu sebeple fan sistemlerinde verimi olumlu yönde etkileyen etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

✓ Yüksek verimli elektrik motoru kullanmak;

Şebekeden çekilen gücün en az kayıp ile tahrik edilen mekanik ekipman olan fana aktarılabilmesi için verimi yüksek elektrik motorlarının kullanımı önemlidir.

✓ Sistem için en uygun ve en verimli tahrik sistemini kullanmak;

Genel olarak tahrik sistemleri doğrudan tahrik ve kayış-kasnak ile tahrik olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrudan tahrik sisteminde parça sayısı kayış-kasnak tahrik sistemine göre daha azdır. Bu durum hem ilk yatırım maliyetini hem de bakım maliyetini düşürmektedir. Aynı zamanda kayış-kasnak ile tahrik sistemi mekanik sürtünmelerden dolayı %10-15 mertebelerinde fazladan enerji tüketimine neden olmaktadır. Fazladan enerji tüketimi de doğrudan verim kaybına yol açmaktadır. Bu nedenle doğrudan tahrik sistemlerinde verim daha yüksektir. Ayrıca kayış-kasnak tahrik sistemi akış yönü üzerinde yer aldığı için akışı da bozabilmektedir [38].

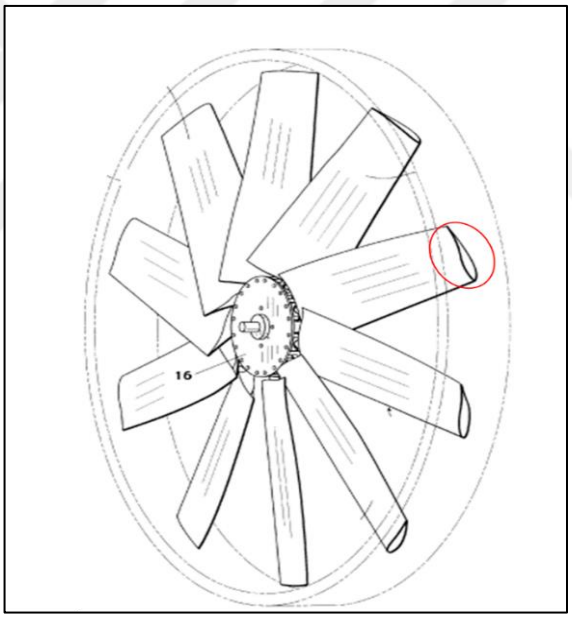
✓ Yüksek verimli fan sistemi (kanat, gövde vs.) kullanmak;

Yüksek verimli fan kullanılması doğrudan sistem verimini olumlu etkileyen bir durumdur. Eksenel fanlar için fanın verimini etkileyen en önemli unsurlar kanadın aerodinamik yapısı, fan gövdesinin tasarımı, kanatların imal edildiği malzeme cinsi, fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk, kanadın yıpranma faktörü ve sürtünme kayıpları şeklinde sıralanabilir. Bunların dışında en verimli fanın bile periyodik bakım ve temizliği yapılmazsa ve temizlenmezse iyi bir performans gösteremez. Damper sisteminin de temizliği bu konuda oldukça önemlidir.

3.2. Kaldırma Kuvveti ve Direnç Kuvveti Katsayısının Aerodinamik Performans ile İlişkisi

Eksenel fanlarda verimliliği etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesi fan kanatlarının aerodinamik yapısıdır. Aerodinamik genel anlamda havanın kuvvetsel etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Eksenel fanlarda akışkanın debisine göre elde edilen basınç artışı ve fanın bu basınç artışını ne verimde sağladığı, doğrudan fan kanadının aerodinamik performansı ile ilgilidir [39].

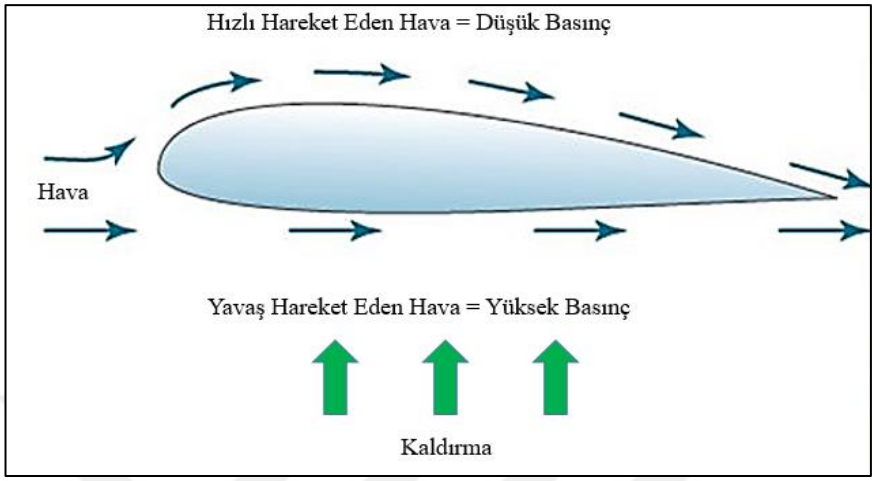
Şekil 3.1'de kanat profillerinin incelenmesinde referans alınan kısım verilmiştir. Eksenel fan kanadının işaretlenen bölümü, ilerleyen kısımlarda ele alınan kanat profillerinin incelenmesinde referans alınan bölümdür.



Şekil 3.1. Kanat profilinin incelenmesinde referans alınan kısım

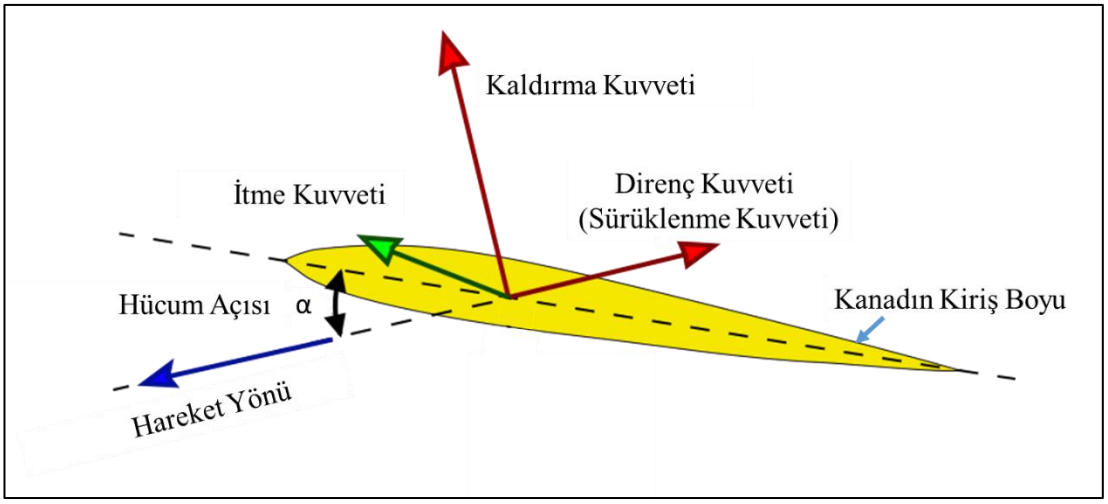
Kanadın yüzeyi üzerinde yüzeye paralel, akış ile aynı yönde ve harekete zıt yönde oluşan gerilme kayma gerilmesi olarak adlandırılmaktadır. Kanadın yüzeyine dik yönde oluşan etki ise basınçtır. Kanatlara verilen form kanadın alt kısmındaki basınç pozitif, üst yüzeydeki basınç ise negatif olacak şekildedir. Bu durum Bernoulli prensibi ile açıklanmaktadır. Bernoulli ilkesine göre, akışkanın hızı arttığında basınç

azalmakta, hızı azaldığında ise basıncı artmaktadır. Oluşan basınç farkı ise bir hareket etkisi yaratmaktadır. Şekil 3.2'de basıncın kaldırma kuvvetini oluşturması verilmiştir.



Şekil 3.2. Basıncın kaldırma kuvvetini oluşturması

Kanadın alt yüzeyindeki yüksek basınç ve üst yüzeyindeki düşük basınç arasındaki fark kaldırma kuvvetini (FL (lift force)) oluşturur. Başka bir deyişle kaldırma kuvveti, bir yüzey üzerinde basınç ve yüzey kayma gerilimi dağılımının akış doğrultusuna dik şekilde ortaya çıkardığı kuvvettir. Bir yüzey üzerinde basınç ve yüzey kayma gerilimi dağılımının akış doğrultusunda, yani akan akışkanın cisme akış yönünde uyguladığı kuvvete direnç kuvveti (FD (drag force)) adı verilir. Direnç ve kaldırma kuvveti basınç dağılımının ve kayma gerilmesi dağılımının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Kanat üzerindeki kuvvetler Şekil 3.3'te verilmiştir.



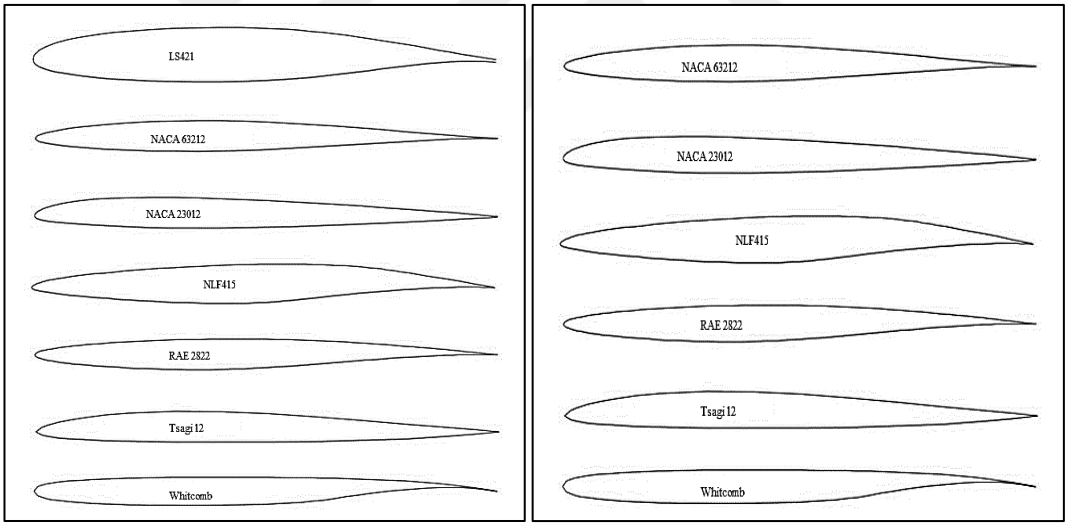
Şekil 3.3. Kanat üzerindeki kuvvetler

Kaldırma kuvveti (FL) ve kaldırma kuvveti katsayısı (CL (lift coefficient)) arasındaki ilişki ve direnç kuvveti (FD) ve direnç kuvveti katsayısı (CD ((drag coefficient)) arasındaki ilişki aşağıdaki denkliklere göre hesaplanmaktadır. Burada ρ akışkanın yoğunluğu, V akışkanın hızı, A ise akış yönüne dik bir düzlem üzerine iz düşürülmüş alandır.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A} \tag{3.8}$$

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A} \tag{3.9}$$

Kanat profillerinde, profilinin geometrisinden kaynaklı olarak aerodinamik kuvvetler değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.4'te bazı örnek kanat profilleri yer almaktadır.



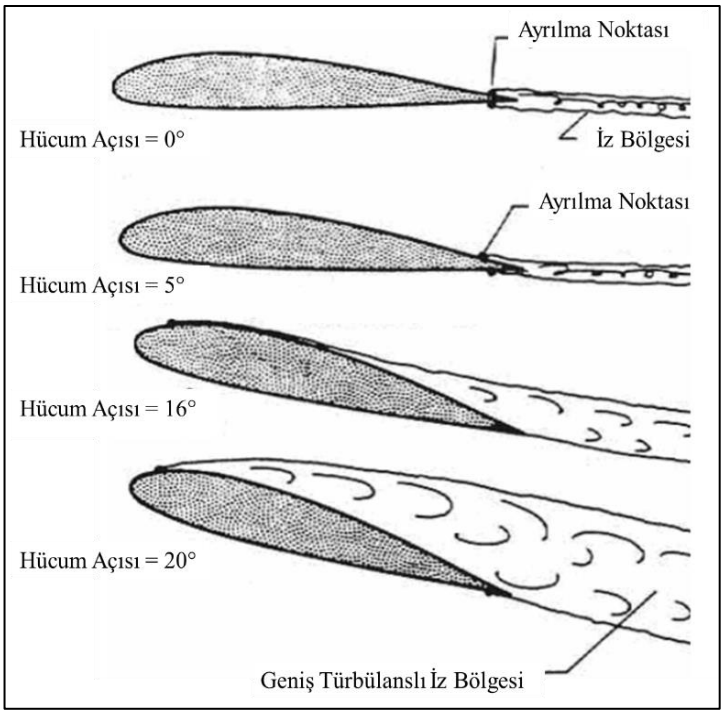
Şekil 3.4. Örnek kanat profilleri [40]

Genellikle bir kanat profilinin performansı kaldırma kuvveti katsayısının, direnç kuvveti katsayısına oranına (CL/CD) göre yorumlanmaktadır. Kanattaki en yüksek kaldırma kuvvetini en düşük direnç ile yapması yani kaldırma kuvvetinin direnç katsayısına oranı kanatlarda performans ölçüsüdür. Kaldırma kuvveti katsayının artırılması ve direnç kuvveti katsayısının düşürülmesiyle CL/CD oranının artırılması mümkündür.

3.3. Hücum Açısının Artırılmasının Fan Performansı ile İlişkisi

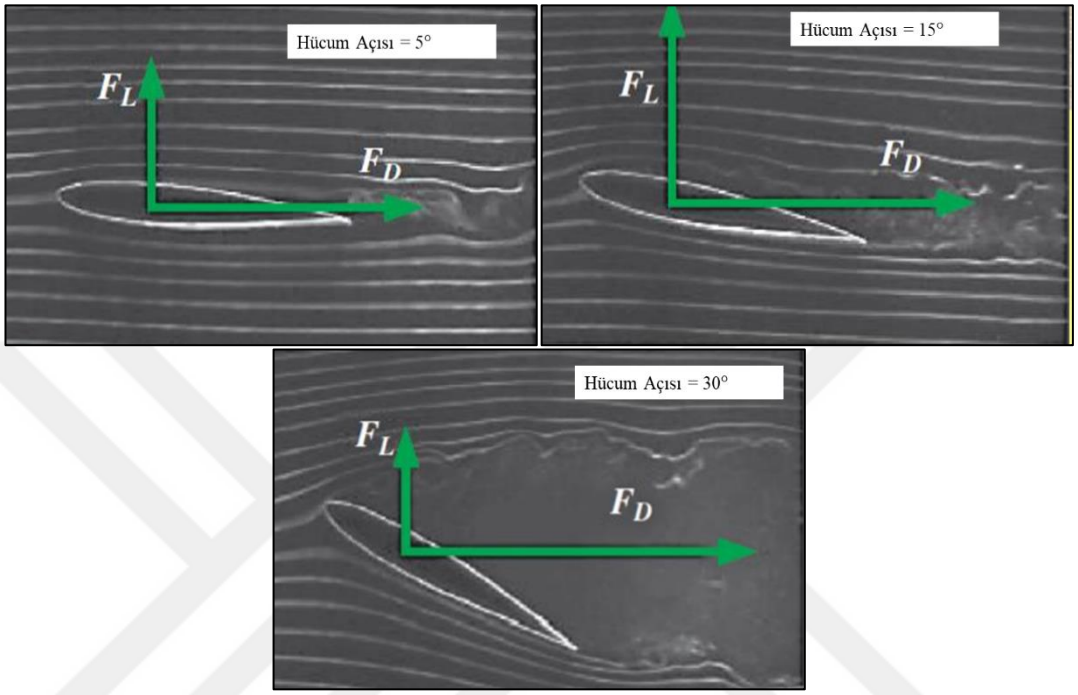
Kanat profili tasarımındaki hücum açısı, kanat boyunca herhangi bir özel yarıçapta gereken bıçak büküm miktarını belirler [41]. Hücum açısı arttığında kaldırma kuvveti artmakta, bu durum doğrudan aerodinamik performansı artırmaktadır. Fakat hücum açısı belirli bir değerin üzerine çıkarsa (akış ayrılması açısına ulaştığında, yani türbülansın başladığı açıya ulaştığında) akım çizgileri kanadın yüzeyinde tutunamadığından ve fan performansı olumsuz etkilenmektedir [42].

Şekil 3.5'te hücum açısının değiştirilmesi ile kanat profilindeki akışın değişimi - 1 verilmiştir. Şekil 3.5'i incelediğimizde hücum açısı arttığında ayrılma noktasının hücum kenarına yaklaştığı görülmektedir. 12-16º'lik hücum açısına değerine geldiğinde türbülans başlamaktadır. Hücum açısı daha da artırıldığında ise kaldırma kuvveti azalır, direnç kuvveti artar ve performansta düşüş gözlenir [42]. Aynı zamanda hava akımları fanın dönüş yönünün tersine yönelerek kanatları zorlayabilir. Bundan dolayı fan tasarımında, izin verilen maksimum hücum açısının belirlenmesi oldukça önemlidir [13].



Şekil 3.5. Hücum açısının değiştirilmesi ile kanat profilindeki akışın değişimi – 1 [42]

Hücum açısının değiştirilmesi ile kanat profilindeki akışın değişimi – 2 Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekil 3.6 da incelenen kanat profilinde ise hücum açısı ortalama 15° mertebelerine ulaştığında akışın kanadın üst yüzeyinden ayrılmıştır.



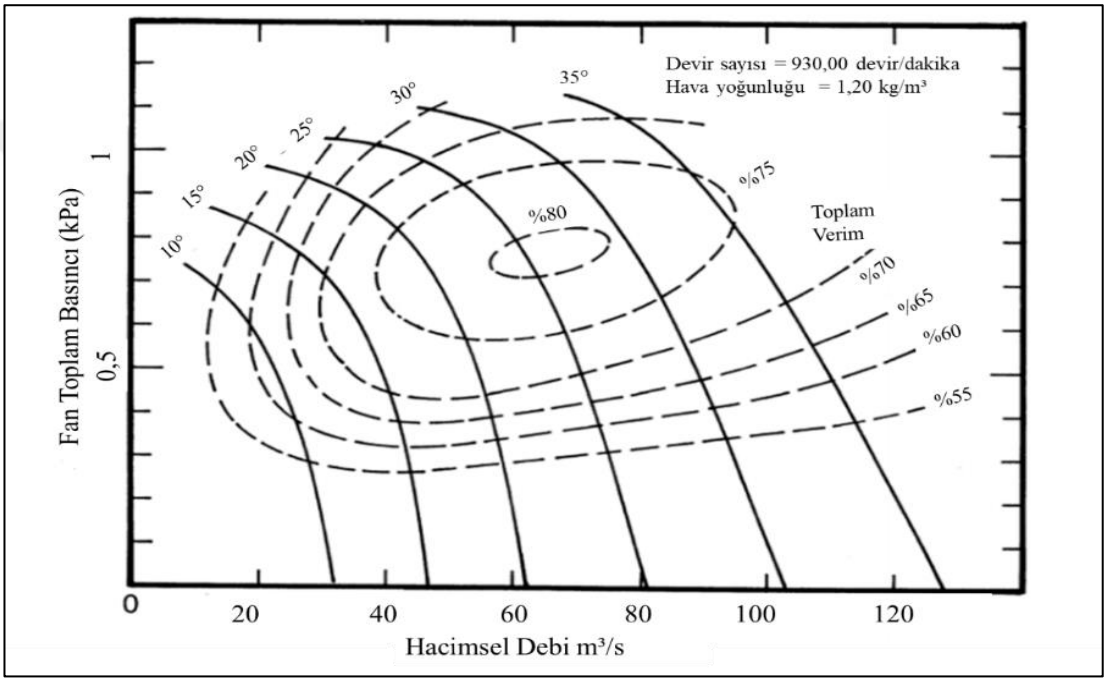
Şekil 3.6. Hücum açısının değiştirilmesi ile kanat profilindeki akışın değişimi – 2 [43]

Akış ayrılması gerçekleştiğinde iz bölgesinde dönen akışkan yapıları oluşmakta ve kopmaktadır. Bu akışkan yapılarına vorteks adı verilmektedir. Bu vortekslerin süreli üretimi ise vorteks kopması olarak adlandırılmaktadır. Vorteks kopma frekansı kanadın doğal frekansı ile yakın ise, kanat yüzeyine yakın vortekslerin oluşturduğu titreşimler kanadın rezonansa girmesine yol açabilmektedir [43]. Bundan dolayı fan tasarımında, rezonansa girilen doğal frekansın belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü uzun süre rezonans durumunda çalışılması, kanatlarda tahribata neden olabilir [13].

3.4. Açısı Ayarlanabilir Kanatların Kullanılmasının Fan Performansı ile İlişkisi

Ayarlanabilir kanatlara sahip eksenel fanların kullanılması durumunda istenilen kapasiteye göre çalışma imkanı bulunmaktadır [21]. Değişken debiye ihtiyaç olan proseslerde açısı ayarlanabilir kanatların kullanılması fan sistemin yüksek verimde işletilebilmesine olanak sağlar.

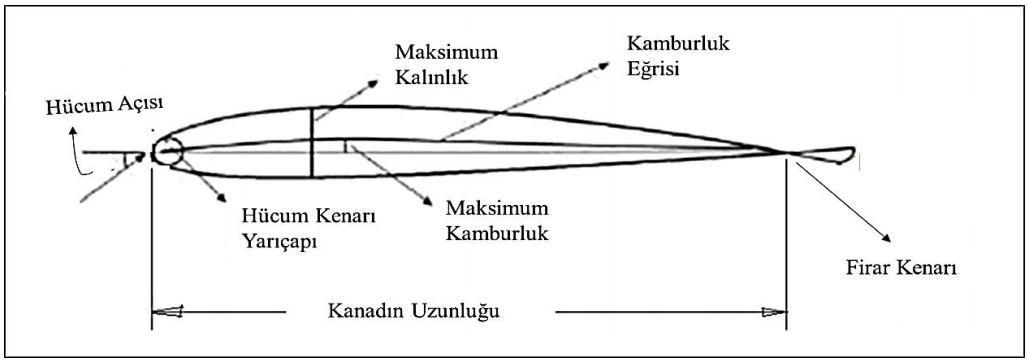
Örnek bir eksenel fan sisteminde ayarlanabilir kanatların fan performansına etkileri Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekilde sabit devirde çalışan ve sabit kanatlı bir fanın değişken debilerde karşılık geldiği verim değerleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde kanat açısının artırılmasıyla debi ve basınç değerlerinin de arttığı görülmektedir. Örneğin, 80 m³/s debi ihtiyacı oluştuğunda en yüksek verim değeri için kanat açısı 30° mertebelerine ayarlanmalı, 60 m³/s debi ihtiyacı oluştuğunda ise kanat açısı 25° mertebelerine ayarlanmalıdır.



Şekil 3.7. Örnek bir eksenel fan sisteminde ayarlanabilir kanatların fan performansına etkileri [21]

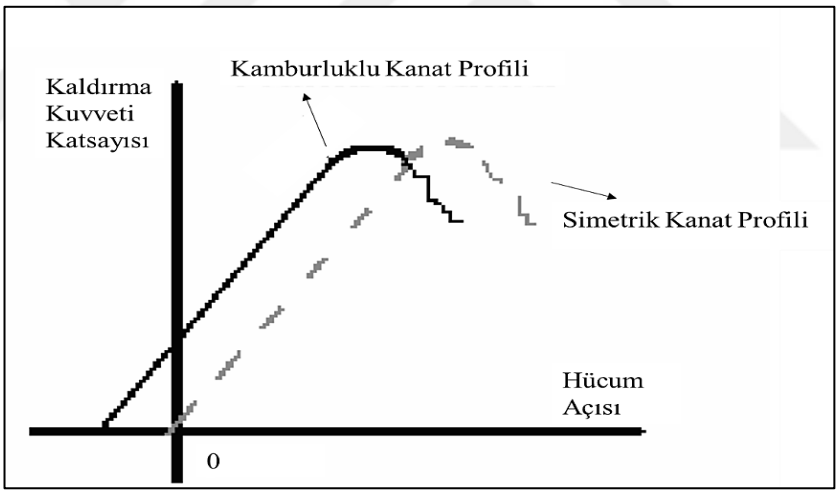
3.5. Kanat Profiline Kamburluk Verilmesinin Aerodinamik Performans ile İlişkisi

Kanat profilinin alt yüzeyi ve üst yüzeyinin sınırlarına eşit mesafede çizilen eğri kamburluk eğrisidir. Kanat uzunluğu ve kamburluk eğrisi arasındaki kalınlık ise maksimum kamburluk olarak adlandırılır [44]. Kanat üzerinde kamburluk, kamburluk eğrisi ve kalınlık Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Şekil 3.8'deki kanat profili incelendiğinde, hücum kenarı ve firar kenarını (akan havanın profilden ayrıldığı kenar, art kenar) arasındaki mesafe kanat uzunluğudur.



Şekil 3.8. Kanat üzerinde kamburluk, kamburluk eğrisi ve kalınlık [44]

Kanat profiline kamburluk verilmesiyle üst yüzeydeki alanın büyütülmesi sağlanmakta, bu sayede Bernoulli ilkesine göre alan arttığı için hava hızı artmakta ve basınç düşmektedir. Böylece alanlar arasındaki basınç farkı da arttığı için kaldırma kuvveti artmaktadır. Simetrik kanat profili ve kamburluklu kanat profillerinden oluşturulan kaldırma katsayı-hücum açısı grafiği Şekil 3.9'da verilmiştir.



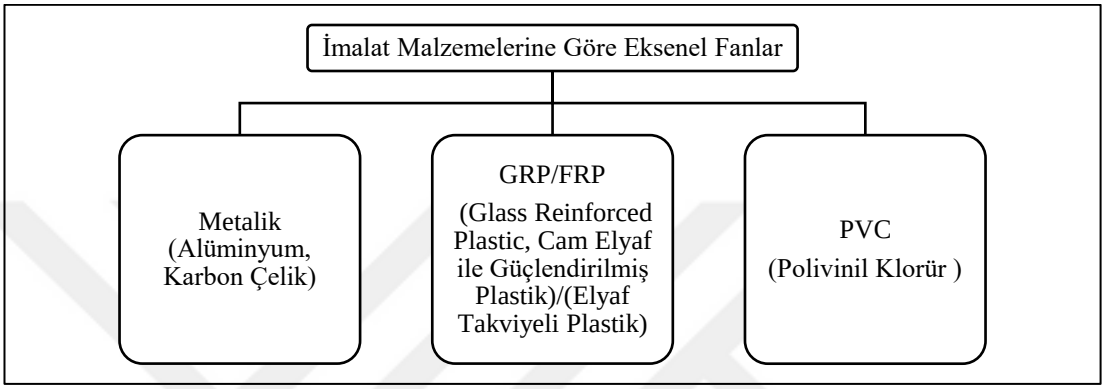
Şekil 3.9. Simetrik kanat profili ve kamburluklu kanat profillerinden oluşturulan kaldırma katsayı-hücum açısı grafiği [42]

3.6. Eksenel Fanların İmalat Malzemelerinin Fan Performansına Etkisi

Tüm mekanik ekipmanlarda olduğu gibi eksenel fanlarda da imalat malzemesi eksenel fanın tasarımını, yapısını, performansını ve verimini etkilemektedir. Fan imalatçıları, bir fan sistemini ömrü boyunca en yüksek verimde çalışacak şekilde ve en uygun maliyetle imal etmeyi amaçlar. Bu bölümde endüstriyel işletmelerde yaygın olarak

kullanılan eksenel fanların imalat malzemelerinin korozyon direnci, şekil verilebilme, şekli koruyabilme ve verim gibi parametreleri ele alınmıştır.

Endüstriyel işletmelerde eksenel fanlara sıklıkla klima santrallerinde ve soğutma kulelerinde rastlanmaktadır. Klima santrallerinde ve soğutma kulelerinde imalat malzemesine göre en fazla karşılaşılan fanlar Şekil 3.10'da verilmiştir [45].



Şekil 3.10. İmalat malzemelerine göre en fazla karşılaşılan eksenel fanlar

3.6.1. Metalik kanatlı (alüminyum ve karbon çelik) eksenel fanlar

Endüstriyel işletmelerde kullanılan eksenel fanların kanatları genellikle döküm alüminyum alaşımlarından veya düşük karbonlu çelikten imal edilmektedir. Fakat bu tip metalik kanatlarda korozyon direnci düşüktür. Bu nedenle kanatta boyut/geometri ve yüzey pürüzsüzlüğünün sabitliğini sağlamak oldukça zordur. Bu durum ise gürültü seviyesinin ve güç tüketiminin artmasına neden olmakta ve verimi düşürmektedir [16].

Endüstriyel işletmelerde yapılan çalışmalara bakıldığında alüminyum eksenel fanların ilk devreye alındıklarında verimlerinin genellikle %85 mertebelerinde olduğu görülmektedir. Fakat zamanla kanat yüzeyleri aşınmaya uğradığından kanatların şekilleri korunsa da, kanat yüzeylerinde boşluklar oluşmakta ve yüzeydeki pürüzsüzlük bozulmaktadır. Bu durum kanadın yüzeyindeki hava akış rejimini laminer akıştan türbülanslı akışa geçirmektedir. Çünkü havanın geçtiği kanat yüzeyinin pürüzlü olması akışın türbülanslı olmasına yani düzensiz olmasına neden olmaktadır. Kanat tasarımı için temel tasarım kriterlerinden biri, fanın tüm düzlemi üzerinde düzgün hava akışı sağlamaktadır [41]. Fan kanatları yüzeyinin düzgün ve pürüzsüz olması havanın karşılaştığı direncin az olmasını sağlamakta ve bu sayede fan elektrik

motoru yükünün azalması ile doğrudan enerji tüketimi de azalmaktadır. Fan kanatları yüzeyindeki akış türbülanslı olduğunda ise, havanın karşılaştığı direnç artmakta ve buna bağlı olarak fan elektrik motorunun üzerindeki yük artmaktadır. Bu nedenle aynı hava debisini sağlamak amacıyla daha fazla enerji harcanması gerekmekte ve fanın enerji tüketimi artmaktadır. Sonuç olarak alüminyum fan kanatlarındaki aşınma nedeniyle fanlar çok hızlı yaşlanmakta ve verimleri %65-70 mertebelerine kadar düşebilmektedir. Klima santralinde ve soğutma kulesinde bulunan alüminyum eksenel fanların kanatlarındaki yıpranmalara ait örnekler Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



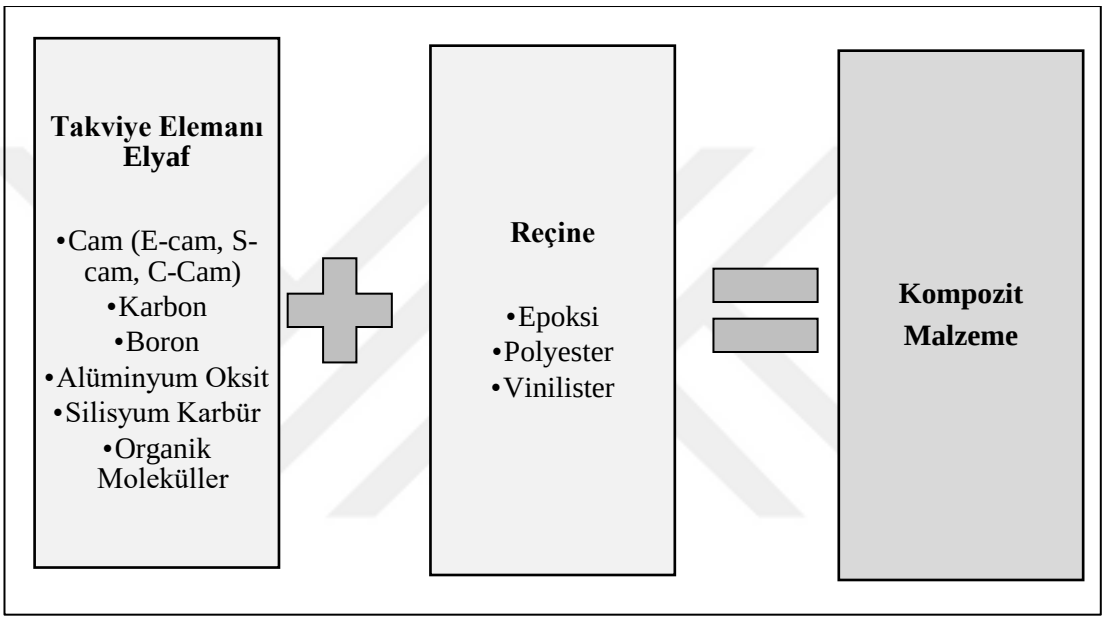
Şekil 3.11. Alüminyum eksenel fanların kanatlarında yıpranma (klima santrali örneği)



Şekil 3.12. Alüminyum kanatlı eksenel fanların kanatlarında yıpranma (soğutma kulesi örneği)

3.6.2. Kompozit malzemeden üretilen eksenel fanlar

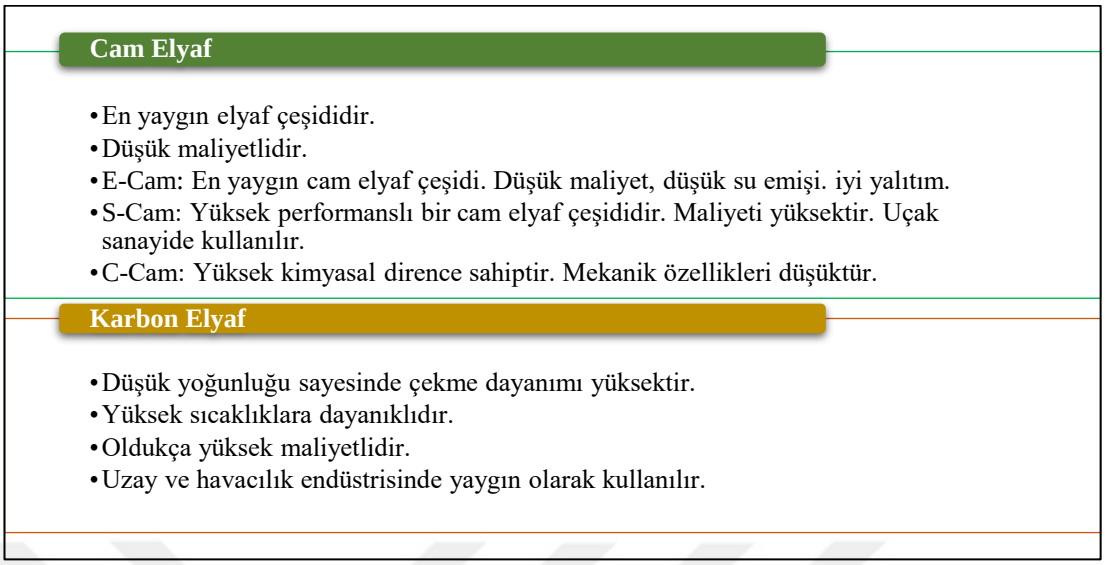
Kompozit malzemeden imal edilen eksenel fan kanatları iki ana bileşenden oluşur. Bunlardan ilki bir takviye elemanı olan elyaf, diğeri ise taşıyıcı bir matris reçinedir [46]. Elyaf ve reçinenin ayrı ayrı özellikleri sayesinde farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde yeni bir malzeme elde edilmiş olur [47]. Kompozit malzeme oluşumunun basit özeti Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Kompozit malzeme oluşumunun basit özeti [48]

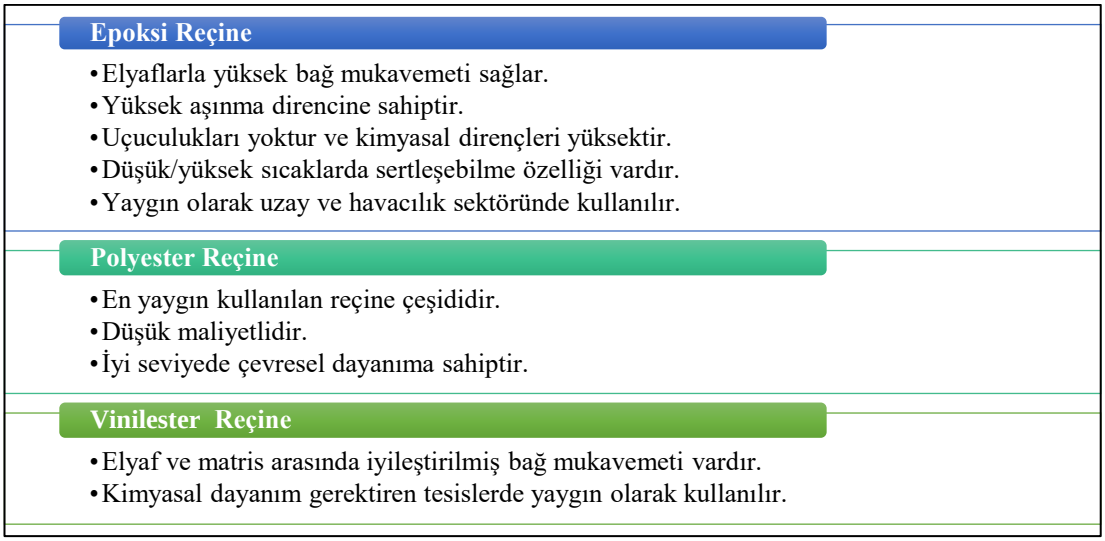
Kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanı elyaflar, malzemeye mukavemet ve sertlik kazandırır. Elyaflar tek başına kullanıldıklarında oluşan malzeme oldukça kırılgandır (örneğin cam). Bu nedenle bir reçine ile birleştirilmesiyle malzemenin yapısal bütünlük için birbirine bağlanması ve elyaflar arasında yük dağılımı sağlanır [47].

Başlıca takviye elemanları cam elyaf ve karbondur [47]. En çok karşılaşılan takviye elemanı ise cam elyaftır. Cam elyafın E-cam, S-cam ve C-cam gibi çeşitleri bulunmaktadır ve E-cam en yaygın olarak kullanılan cam elyaf çeşididir [48]. Cam elyaf ve karbon elyafın karşılaştırılması Şekil 3.14'te verilmiştir.



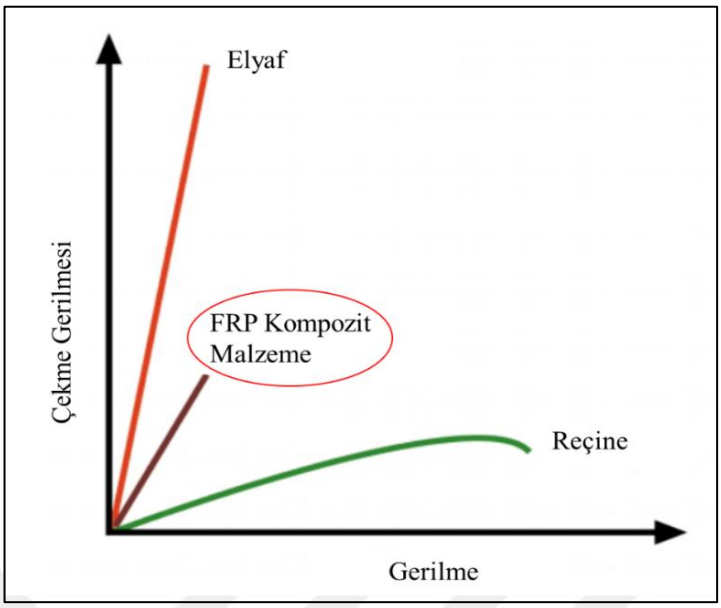
Şekil 3.14. Cam elyaf ve karbon elyafın karşılaştırılması [45,48]

Kompozit üretiminde kullanılan reçine çeşitleri ise Epoksi reçine, polyester reçine, vinilister reçine vb.'dir. Epoksi reçinenin yüksek aşınma direncine sahip olması, elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlaması ve kimyasal direncinin yüksek olması gibi avantajları bulunmaktadır [45]. Şekil 3.15'te reçine çeşitlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 3.15. Reçine çeşitlerinin karşılaştırılması [45]

Epoksinin, cam veya karbon elyafı ile kombinasyonu oldukça iyi mekanik dayanım sağlamaktadır [45]. Elyaf ve reçinenin ayrı ayrı özellikleri sayesinde farklı özelliklerde yeni bir malzeme elde edilmesine ait bir örnek Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Elyaf ve reçinenin kombinasyonuyla yeni bir malzeme elde edilmesi [48]

Kompozit malzemelerden üretilen eksenel fan kanatlarının fiziksel performansı, cam elyafın oranına ve dizilişine, elyafın özelliklerine, reçinenin özelliklerine ve elyaf ve reçinenin ara yüzündeki yapışma yeteneğine bağlıdır [48]. Genel olarak kompozit malzemelerde takviye elemanı olan elyafın işlevleri şu şekildedir [48];

✓ Yük taşınması (Bir kompozit malzemede yükün %70-90'ı takviye elemanı ile taşınır),
✓ Mukavemet, termal stabilite sağlayabilmesi,
✓ Elektrik iletkenliği veya yalıtım sağlayabilmesi,

Genel olarak kompozit malzemelerde reçinenin işlevleri şu şekildedir;
✓ Matris elyafları bir arada tutarak yük aktarımında köprü görevi (malzemeye şekil ve sertlik verebilmesi) görebilmesi,
✓ Matris elyafları birbirinden izole ederek, matris elyafların birbirinden bağımsız olmasını sağlayabilmesi (bir çatlak oluşumunda çatlağın ilerlemesi durdurmak),
✓ Aşınma ve mekanik hasarlara karşı elyafları koruyabilmesi,
✓ Seçilen reçineye bağlı olarak elemanın taşıma kapasitesini kaybetmeden esneyebilme/şekil değiştirme özelliği katabilmesi ve daha sünek bir matris yapının kırılma tokluğunu arttırabilmesi.

Endüstride elyaf takviyeli plastikler genel olarak FRP adıyla bilinmektedirler. GRP ise FRP'nin bir alt çeşididir ve kompozit malzemede kullanılan elyaf çeşidinin cam elyaf olduğu anlamına gelmektedir [49].

Endüstriyel işletmelerde metal eksenel fan kanatlarından sonra en çok karşılaşılan eksenel fan kanadı cam elyaf takviyeli plastiklerdir. Bu tip fanlar ilk devreye alındıklarında verimleri %85-88 mertebelerindedir. Fakat kullanılan cam elyafın çeşidi ve dizilimi, reçinenin kalitesi, su emiş özelliği gibi etmenlerden dolayı genellikle fanların kanat uçları fanlar sisteme monte edildikten 3-4 yıl sonra çalışma şartlarından ve çalışma ortamı nedeniyle dolayı oldukça fazla deforme olmaktadır. Bu nedenle de yıllar içerisinde fan performansı düşmekte ve verim kaybı gerçekleşmektedir. Şekil 3.17'de endüstriyel bir işletmede zaman içerisinde deforme olmuş GRP eksenel fan kanatları görülmektedir.



Şekil 3.17. Endüstriyel bir işletmede zaman içerisinde deforme olmuş GRP eksenel fan kanatları

Endüstriyel işletmelerde yapılan çalışmalar, alüminyum fanların sıklıkla klima santrallerinde ve soğutma kulelerinde, kompozit malzemelerden imal edilen fanların ise daha çok soğutma kulesi uygulamalarında tercih edilmekte olduğunu göstermektedir.

3.6.3. PVC eksenel fanlar

PVC'den yani sert polivinil klorürden yapılmış fanlar çok yönlü korozyon direncine sahiptir ve genellikle FRP'den üretilen fanlara göre daha düşük maliyetlidir. Ancak PVC'nin fanlarda kullanımını ciddi şekilde sınırlayan iki fiziksel özelliği vardır. Bunlardan ilki PVC'nin donma noktasının altındaki sıcaklıklarda oldukça kırılgan hale gelmesidir. Diğer sınırlayıcı fiziksel özelliği ise ortalama sıcaklıktaki yaz aylarında bile sıcaklığın etkisiyle kanat formunun bozulmasıdır [50]. PVC malzemeden üretilen eksenel fan örnekleri Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. PVC malzemeden üretilen eksenel fan örnekleri

3.6.4. FRP eksenel fanların diğer malzemelerden üretilen fanlarla kıyaslanması

FRP yani elyaf takviyeli eksenel fanlar diğer malzemelerden üretilen eksenel fanlar ile karşılaştırıldıklarında, kullanılan elyafa ve reçineye, elyaf ve reçinenin oranına vs. etmenlere bağlı olarak birçok üstünlüğe sahiptir. Bu üstünlükler, korozyon ve erozyona karşı oldukça uzun süre direnç, şekil verebilme, şekli koruyabilme ve hafiflik şeklinde sıralanabilir. FRP eksenel fanlardaki bu üstünlükler ise metalik kanatlı

eksenel fanlara ve plastik kanatlı eksenel fanlara göre aynı çalışma şartlarında daha düşük enerji tüketimi ile daha yüksek verime sahip olmasını sağlamaktadır.

FRP fanlar üretiminde kullanılan malzemeler sayesinde erozyon ve korozyona karşı daha dayanıklıdır [51]. Alüminyum fanlar nemli ve asitli ortamların dışında sadece su bulunan ortamlarda çalışsa dahi, zaman içinde su da alüminyumun aşınmasına neden olabilmektedir. Bu durum da kanadın pürüzsüzlük formunu olumsuz etkilemektedir [52]. Fakat FRP fanlar su, nem, kimyasalların olduğu çalışma koşullarında daha dayanıklıdır ve güçlü bir dirence sahiptir [53].

Metalleri veya metal alaşımları karmaşık şekillere getirmek genellikle zordur. FRP malzemeler alüminyum malzemelere göre daha kolay şekillendirilebilir. Bu durum FRP malzemelerin alüminyum malzemelere göre daha kolay aerodinamik şekle getirilebileceği anlamına gelmektedir. Örneğin bir soğutma kulesinde, suyun dolgu malzemesi boyunca düzgün bir şekilde soğutulmasını sağlamak için kuleden uygun miktarda hava akışının olması gerekmektedir. FRP malzemeden üretilen fanlarda tasarımcılar FRP fan kanatlarının şekli üzerinde daha fazla kontrol sağlayabilmektedir. Bu sayede de istenilen hava akışını elde edebilmek için kanadı mümkün olan en iyi şekle getirebilmektedir [52].

FRP malzemelerinin kullanılmasından önce, alüminyum, oldukça iyi mukavemet/ağırlık oranı sayesinde fan kanadı tasarımı için en iyi seçenekti. Yapılan mühendislik çalışmaları sonucunda FRP malzeme ile hem güçlü hem de hafif bir kanat tasarımı elde edilebilmiş ve FRP kanatların alüminyuma göre daha avantajlı olduğu ortaya koyulmuştur. Örneğin, soğutma kulesi fanları çok yüksek devirlerde çalışabilmektedir. Bu nedenle fan kanatlarının sadece üzerine yerleştirilen dönme kuvvetlerine dayanacak kadar güçlü bir malzemeye sahip olmasının yanında aynı zamanda hafif bir malzemeye sahip olması gerekmektedir [52]. Bu durum, düşük atalet momenti, motor, yatak ve tahrik sisteminde minimum aşınma ve yıpranma sağladığı için tüm fan sisteminin ömrünü uzatmaya yardımcı olur.

FRP eksenel fanların hafif olması ani duruşlar sırasında da fan sisteminin zarar görmesini engellemek için avantajdır [54]. FRP fan kanatları metal fan kanatlarına

göre tek bir parça halinde kalıplanabildiğinden tüm fan sisteminde dengeyi sağlamak, metal fan kanatlarına göre daha kolaydır [52].

FRP fanların ilk satın alma maliyeti metalik ve plastik kanatlı fanlara göre daha yüksektir. Fakat ömür boyu maliyet (işletme, enerji maliyeti, bakım/onarım) açısından değerlendirildiğinde diğer fan kanatlarına göre daha avantajlıdır.

3.7. Eksenel Fanın Kanat ile Kanat Muhafazası Arasındaki Boşluk Mesafesinin Fan Performansı ile İlişkisi

Eksenel fanlarda, fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk mesafesi eksenel fan performansını etkileyen parametrelerden biridir. Bir eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk Şekil 3.19'da verilmiştir.



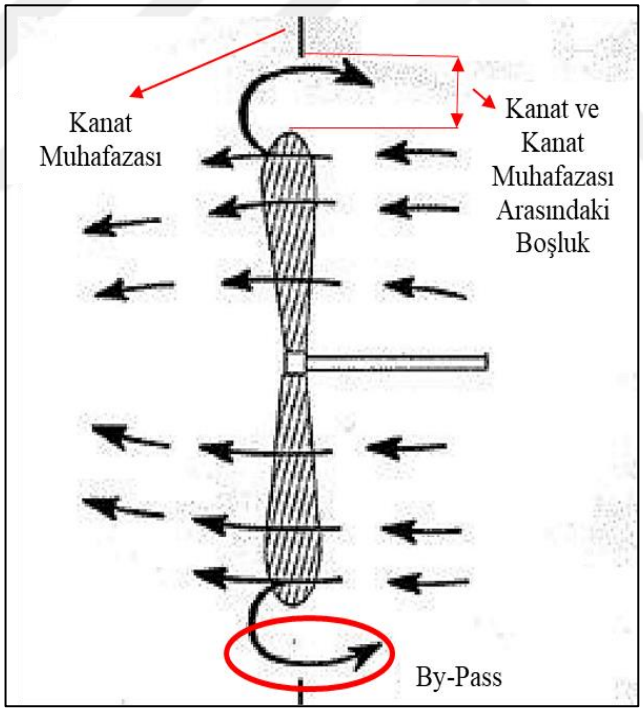
Şekil 3.19. Bir eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk

Eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk mesafenin mekanik verim ve oluşturduğu gürültü seviyesi üzerine etkisi Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluk mesafesinin mekanik verim ve oluşturduğu gürültü seviyesi üzerine etkisi [38]

Boşluk Mesafesi	Mekanik Verim	Gürültü Seviyesi
inç	%	dB
1/16	82,00	73,50
5/16	72,00	-
13/16	60,00	76,00
1	58,00	-

Eksenel fanın kanadı ile kanat muhafazası arasındaki boşluğun olabildiğince kısa olması gerekmektedir. Bu durum aynı zamanda eksenel fanın by-pass yapmasının önüne geçerek, fazladan enerji tüketimini ortadan kaldırır. Eksenel fanlarda by-pass durumu Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Eksenel fanlarda by-pass durumu

3.8. Eksenel Fanın Hub Yapısının Fan Performansı ile İlişkisi

Eksenel fan göbeği (hub), fan kanatlarını tutmak amacıyla dişli redüktörünün şaftına monte edilen bir parçadır. Eksenel fanın gövde yapısı da fan kanatları üzerindeki akışın

bozulmaması için önemli bir etkendir. Fan kanatları ve hub arasında Şekil 3.21'de gösterildiği gibi bir boşluk bulunduğunda, hava akışı bu bölümde girdaplı hale gelerek türbülans oluşturmaktadır. Fan göbeğine monte edilen bir kapak ile buradaki boşluklar kapatılabilir.



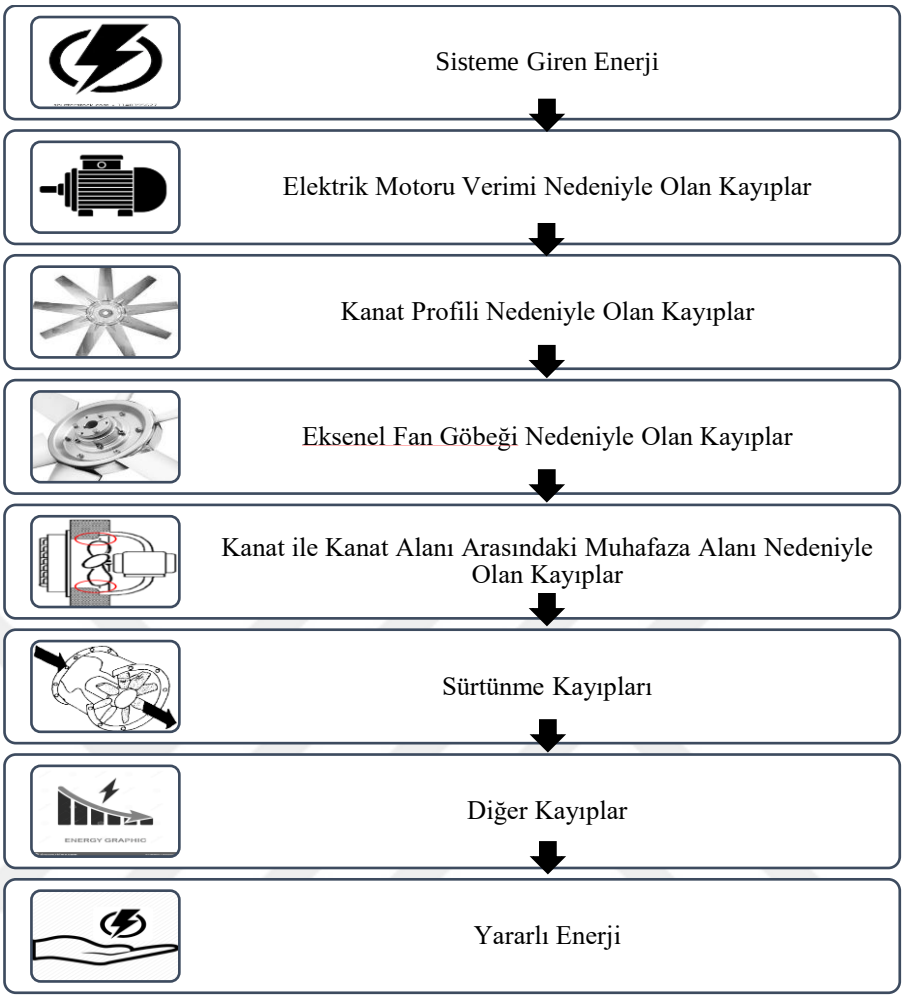
Şekil 3.21. Eksenel fanların göbek boşluğu

3.9. Eksenel Fan Sistemlerinin Bakımı ve Temizliği

Fan kanatları üzerinde kirin ve pisliklerin birikmesi verim kaybına yol açan etmenlerden biridir. Fan kanatlarının temizliği fan performansı açısından oldukça önemlidir. En verimli fan sistemi bile bakım yapılmazsa ve temizlenmezse iyi bir performans gösteremez.

3.10. Eksenel Fanlarda Verim Kayıpları Akış Diyagramı

Eksenel fan gibi mekanik ekipmanlarda şebekeden çekilen enerji birçok etmenden dolayı (elektrik motoru verimi, kanadın aerodinamik yapısı vb.) kayba uğrayarak yararlı enerjiye dönüşmektedir. Şekil 3.22'de eksenel fanlarda verim kayıpları akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.22. Eksenel fanlarda verim kayıpları akış diyagramı

4. E-CAMI EPOKSİ FRP EKSENEL FANLAR

Bu çalışmada herhangi bir metal parça, ses, gözeneklilik, hava boşluğu vb. içermeyen içi boş E-camı Epoksi FRP kompozit malzemeden üretilen fanlar ele alınmıştır. Şekil 4.1'de E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan örnekleri verilmiştir.



Şekil 4.1. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan örnekleri

E-camı Epoksi FRP eksenel fan, aerodinamik tasarımı sayesinde değişken debi ihtiyacını karşılayabilmekte ve yaklaşık %86 mertebelerindeki verim değeri ile yıllarca performans kaybetmeksizin çalışabilmektedir. Aerodinamik kanat, çalışma sırasında sabit ve dalgalı yük etkilerine dayanacak şekilde işletme yükünün on katından fazla olan serbest bir güvenlik faktörü marjı ile tasarlanmıştır. Yüksek verimli olması ve düşük enerji tüketiminde işletilebilir olması E-camı Epoksi FRP eksenel fanların tasarım amaçları arasında yer almaktadır.

E-camı Epoksi FRP fan metaryelleri genel olarak şu şekildedir;

- Kompozit malzeme E-camı Epoksi FRP (Vetrorex),
- Epoksi reçine (Hunstman),
- Antikorozif Epoksi boya,
- Hücum kenarına erozyon ve ultraviyole önleyici extra Epoksi kaplama.

E-camı Epoksi FRP eksenel fan kanatları, cam elyaf ve yüksek dereceli Epoksi reçinenin kombinasyonu ile oluşturulmuştur. Epoksi reçinenin malzemeye kattığı özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yüksek mekanik dayanım,
- Korozyona karşı daha fazla direnç,
- Daha düşük su emiciliği,
- Daha yüksek ısı direnci,
- Yüksek yorulma dayanımı.

E-camı Epoksi FRP eksenel fan kanatları aynı zamanda antikorozif Epoksi boya ile boyanmaktadır. Soğutma kulesinin/klima santralinin sıcak ve nemli atmosferinde çalışırken aşınmayı önlemek için fan kanadının ön kenarında yani akışkan ile ilk olarak karşılaştığı uç kısımda (hücum kenarında) Epoksi reçine ile ekstra kaplama (güçlendirme) yapılmaktadır. Ayrıca E-camı Epoksi FRP eksenel fan kanatlarının yüzey kaplaması sayesinde yüzey sürtünmesi ihmal edilebilir seviyede olmakta ve bu da gürültü (ses) seviyesini azaltmaktadır.

E-camı Epoksi FRP kanatlar, korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı olduğu için ömrü boyunca performans kaybetmeksizin çalışabilmekte ve geleneksel eksenel fanlara kıyasla çok daha düşük bakım maliyeti ile işletilebilmektedir. E-camı Epoksi FRP fan kanatları metal fan kanatlarına göre tek bir parça halinde kalıplanabilmektedir. Bu sayede tüm fan sisteminde dengeyi sağlamak metal fan kanatlarına göre daha kolaydır. Ayrıca fan göbek düzeneği, fanın montajı ve sökülmesini kolaylaştıracak, bakım süresini, bakım gücü gereksinimini ve bakım maliyetini azaltacak şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 4.2'de kanat ve göbek montajı için hazırlanan kanatlar ve göbek verilmiştir.



Şekil 4.2. Kanat ve göbek montajı için hazırlanan kanatlar ve göbek

E-camı Epoksi FRP eksenel fan kanatlarının çok yüksek devirlerdeki dönme kuvvetine dayanacak kadar güçlü bir malzemeden imal edilmiş olmasının yanında aynı zamanda hafif bir malzemeden de imal edilmiş olmasının diğer bir avantajı ise atalet momentinin düşük olmasıdır. Atalet momentinin düşük olması motor, yatak ve tahrik sistemindeki aşınma ve yıpranmanın minimum düzeyde olmasını sağlamakta ve bu da fan sistemi ömrünü uzatmaktadır. Ayrıca E-camı Epoksi FRP fanların hafif olması, ani duruşlarda fan sistemi hasarının en aza indirilmesinde büyük avantaj sağlamaktadır.

E-camı Epoksi FRP eksenel fanların sıcak ve nemli atmosferik çalışma koşullarında (özellikle soğutma kulelerinde) korozyon ve aşınmaya yüksek direnç sağlaması için göbek gövde plakası, göbek makarası, kanat kelepçeleri ve diğer donanımlarda (cıvata, somun, kontra somun, yaylı rondela) uygun yüksek dirençli donanımlar kullanılmaktadır.

E-camı Epoksi FRP eksenel fanların uygulama alanları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Endüstriyel havalandırma ve iklimlendirme sistemleri,
- Soğutma kuleleri,
- Hava soğutmalı eşanjörler,
- Madenlerin havalandırılması,
- Radyatör motorları,
- Kurutma fırınları.

E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların genel çalışma aralıkları Tablo 4.1'de, E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların tekstil sektöründe genel çalışma aralıkları ise Tablo 4.2'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 4.1. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların genel çalışma aralıkları

E-camı Epoksi FRP Eksenel Fanların Genel Çalışma Aralığı	
Fan Çapı	610 mm – 15.200 mm
Kanat Sayısı	2 – 22 adet
Debi	1.800 m³/s'ye kadar
Basınç	1.400 Pascal'a kadar
Devir	81 – 3.000 devir
Güç	0,5 – 270 HP (beygir gücü)
İşletme sıcaklığı	-10 ^{0}C – 230 ^{0}C

Tablo 4.2. E-camı Epoksi FRP eksenel fanların tekstil sektöründe genel çalışma aralıkları

E-camı Epoksi FRP Eksenel Fanların Tekstil Sektöründe Genel Çalışma Aralığı	
Fan Çapı	500 mm – 5.400 mm
Kanat Sayısı	4-12
Debi	180 m³/s'ye kadar
Basınç	1.800 Pascal'a kadar
Devir	500 – 3.000 devir
Güç	0,25 – 360 HP
İşletme sıcaklığı	-10 ^{0}C – 180 ^{0}C

E-camı Epoksi FRP eksenel fanlar ve alüminyum eksenel fanlar arasındaki farklar Tablo 4.3'te genel olarak özetlenmiştir.

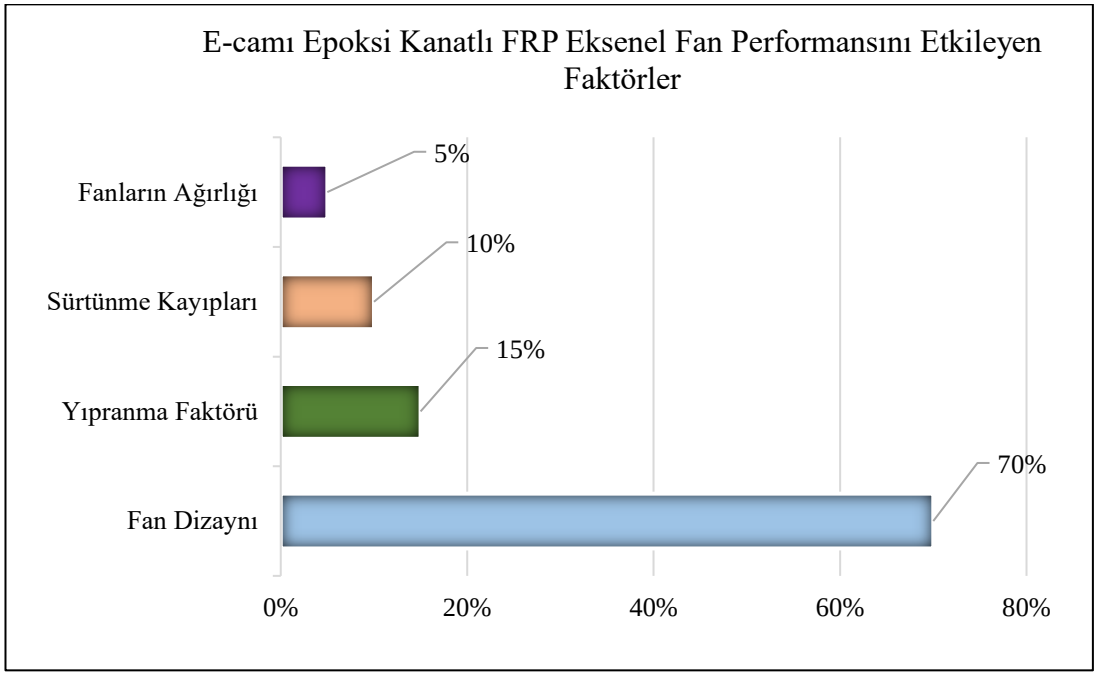
Tablo 4.3. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanlar ile alüminyum kanatlı eksenel fanlar arasındaki farklar

Karşılaştırma	**E-camı Epoksi FRP Eksenel Fanlar**	**Alüminyum Eksenel Fanlar**
Dizayn	Aerodinamik yüksek profil	Eski geleneksel tip
Materyal	Epoksi FRP	Alüminyum döküm
Kanat	İçi boş kanat (daha az ağırlık)	Genellikle içi dolu kanat (daha fazla ağırlık)
Yük	Dişli kutusunda düşük eksenel baskı	Dişli kutusunda yüksek eksenel baskı
Enerji Tasarruf Oranı	%15-30 Enerji Tasarrufu	-

Tablo 4.3. (Devam) E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanlar ve alüminyum kanatlı eksenel fanlar arasındaki farklar

Karşılaştırma	**E-camı Epoksi FRP Eksenel Fanlar**	**Alüminyum Eksenel Fanlar**
Dayanıklılık	> 10 yıl	2, 3 yıl sonra performansta yavaşlama
Yüzeysel Sürtünme	İhmal edilebilir seviyede yüzey sürtünmesi	Kanadın pürüzlü yüzeyi nedeniyle daha fazla sürtünme kaybı
Hücum Kenarı Koruması	Fazladan Epoksi reçine ile güçlendirilmiş	-
Bozulma	Fanların mukavemeti, yorulma dayanımı, kimyasal dayanımı ve ısı direnci yüksek	Yüksek düzeyde
Fan Kanat Değişimi	Herhangi bir sorunda gerekli olan fan kanadının/kanatlarının değişim imkânı	-

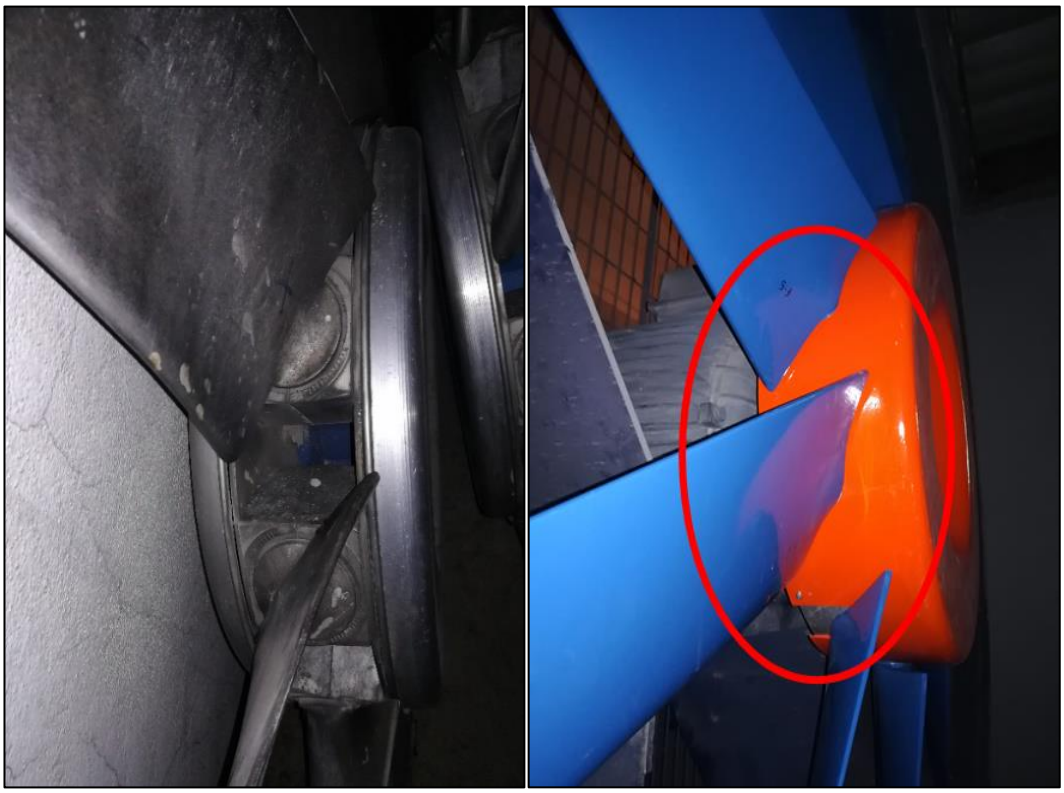
E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların performansının yüksek olmasının sebeplerine bakıldığında; fan dizaynının etkisinin %70, yıpranma faktörünün etkisinin %15, sürtünme kayıplarının etkisinin %10 ve fanların ağırlığının etkisinin ise %5 olduğu söylenebilmektedir. Bu durum, fanların ağırlıklı olarak kanat malzemelerinde yapılacak olan iyileştirmeler ile yüksek performansta çalışabileceğini göstermektedir. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan performansını etkileyen faktörler Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan performansını etkileyen faktörler

Aynı zamanda E-camı Epoksi FRP eksenel fanların göbek yapısı sayesinde eksenel fanlarda genel olarak karşılaşılan ve türbülansa neden olan açıklık kapatılarak fan sistemleri adına bir iyileştirme sağlanmıştır.

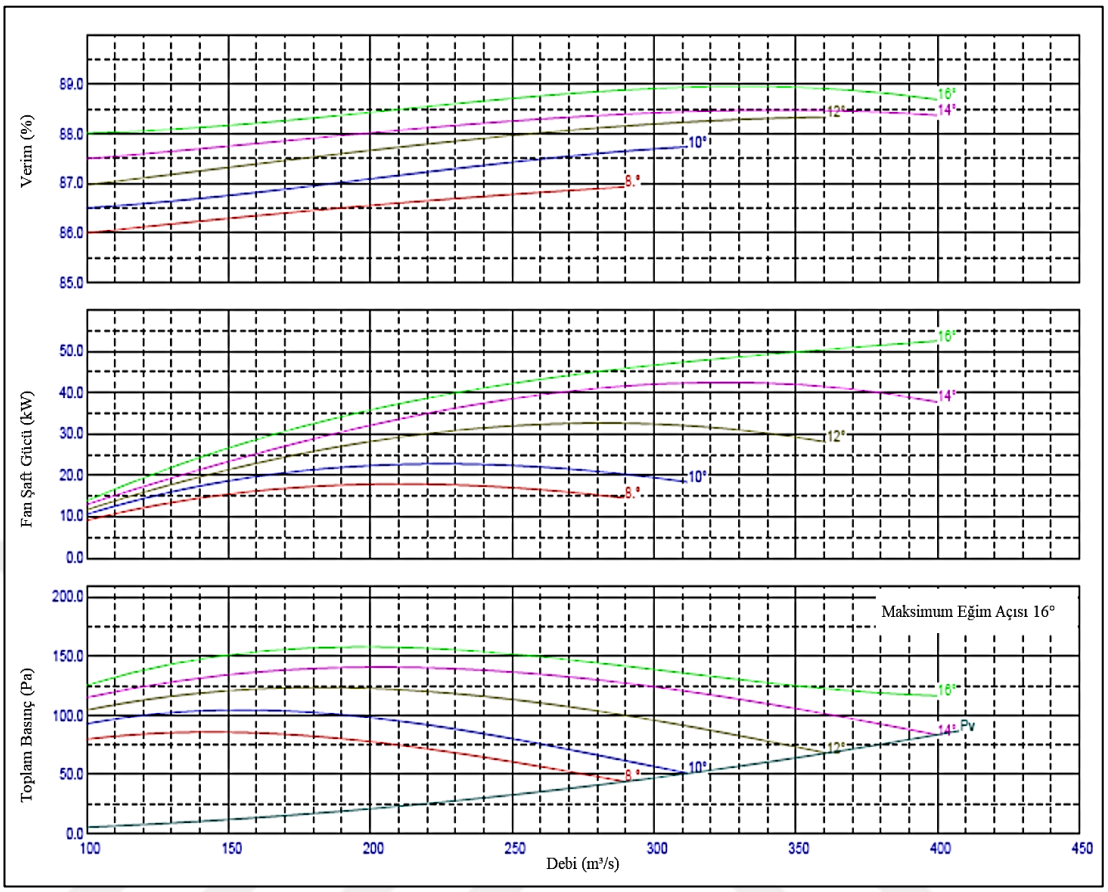
E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbek yapısı Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Eksenel fanlarda genel olarak karşılaşılan ve türbülansa neden olan açıklık ve E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanların göbek yapısı

E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanlarda ayarlanabilir kanat açısı sayesinde prosesteki debi ihtiyacının değişmesi durumunda E-camı Epoksi FRP eksenel fan kanatlarının açısı değiştirilerek tasarımda belirlenen debiden oldukça uzak debilerde bile, fanların yüksek verim değerlerinde çalışması mümkündür.

Şekil 4.5'te E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın farklı kanat açılarında ve debilerde verim, güç ve toplam basıncının performans eğrisi verilmiştir.



Şekil 4.5. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın farklı kanat açılarındaki performans eğrileri

5. MATERYAL METOT

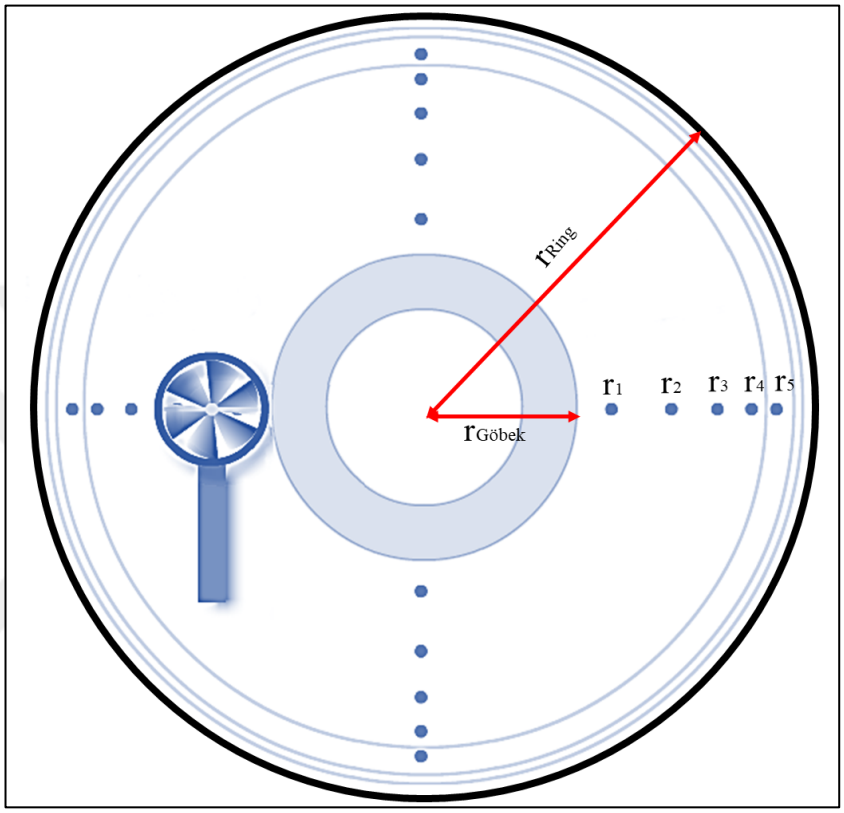
Klima santralinde alüminyum malzemeden üretilmiş aspiratör ve vantilatör fanlarının, E-camı Epoksi FRP fanlar ile değişimi öncesinde ve sonrasında aynı işletme şartlarında mekanik ve elektriksel ölçümleri yapılmıştır. Fanların besleme panolarına enerji analizörü bağlanarak elektriksel ölçümler yapılmıştır. Enerji analizörü ile fanların aktif güç ölçümleri Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Enerji analizörü ile eksenel fanların aktif güç ölçümleri

Mekanik ölçümler kapsamında ise anemometre ile fan akışkanının (hava) çizgisel hızı ölçülmüştür. Çizgisel hız ölçümleri gerçekleştirilirken referans alınan standart CTI (Cooling Technology Institute) Field Test of Fan Perfomance (Fan Performansı Saha Testleri) standardıdır. CTI Fan Performansı Saha Testleri standardı, eksenel fanların performanslarının karşılaştırılması için kullanılan bir yöntemdir. Bu standarda göre fan yüzeyinin 4 farklı yarıçap konumundan ve her yarıçapın 5 farklı noktasından yaklaşık 10-15 saniye boyunca anemometre ile hız ölçümleri alınmıştır. Eksenel fanın

belirlenen yarıçap noktalarında yapılan çizgisel hız ölçümlerin ortalaması referans alınarak fanın çizgisel hızı belirlenmiştir. CTI Fan Performansı Saha Testleri standardına göre eksenel fanlarda hız ölçüm noktalarını gösteren görsel Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Eksenel fanlarda hız ölçüm noktaları

CTI Fan Performansı Saha Testleri standardına göre bir eksenel fanın çizgisel hız ölçüm noktaları aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$r_{Göbek}$:Eksenel fanın göbek yarıçapı

r_{Ring}: Eksenel fanın içerisinde bulunduğu ring yarıçapı

$A_{Göbek}$:Eksenel fanın göbek alanı

A_{Ring}:Eksenel fanın içerisinde bulunduğu ring alanı

$$A_{Göbek} = \frac{\pi \times (r_{Göbek})^2}{4} \tag{5.1}$$

$$A_{Ring} = \frac{\pi \times (r_{Ring})^2}{4} \tag{5.2}$$

Eksenel fanda yarıçap ölçüm noktaları üzerindeki r_1, r_2, r_3, r_4 ve r_5 değerleri, alanları A_1, A_2, A_3, A_4 ve A_5 olan dairelerin yarıçaplarıdır. Yarıçap ölçüm noktaları aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$r_1 = A_{Göbek} - \frac{A_{Ring\text{-}}A_{Göbek}}{10} \tag{5.3}$$

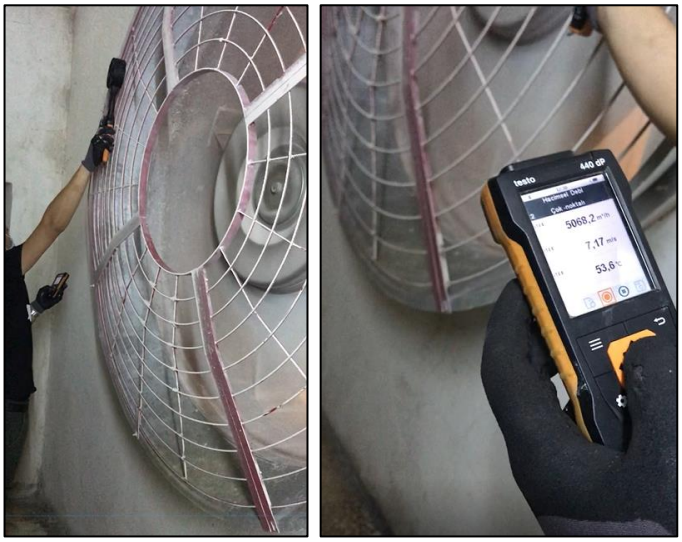
$$r_2 = A_{Göbek} - \left(3 \times \frac{(A_{Ring\text{-}}A_{Göbek})}{10}\right) \tag{5.4}$$

$$r_3 = A_{Göbek} - \left(5 \times \frac{(A_{Ring\text{-}}A_{Göbek})}{10}\right) \tag{5.5}$$

$$r_4 = A_{Göbek} - \left(7 \times \frac{(A_{Ring\text{-}}A_{Göbek})}{10}\right) \tag{5.6}$$

$$r_5 = A_{Göbek} - \left(9 \times \frac{(A_{Ring\text{-}}A_{Göbek})}{10}\right) \tag{5.7}$$

Anemometre ile hız ölçümleri ise Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Anemometre ile hız ölçümleri

Uygulama sonrasında fanların kanat açı ayarları yapılarak çizgisel hız ölçümleri tekrarlanmış ve uygulama öncesindeki debi değerini sağlayıncaya kadar (oldukça küçük bir sapma mümkündür) kanat açı ayarı yapılarak hız ölçümleri yinelenmiştir. Fanda istenilen debi değeri sağlandığında ise enerji analizörü ile fanın aktif gücü ölçülmüştür. Mevcut durumdaki eksenel fanın debisi, aktif gücü ile uygulama sonrası sisteme monte edilen E-camı Epoksi FRP fanın debisi ve aktif gücü karşılaştırılmıştır. Mevcut durumdaki fanın aktif gücü ile uygulama sonrası sisteme monte edilen E-camı Epoksi FRP fanın aktif gücü arasındaki fark, işletmenin yıllık çalışma saati ile çarpılarak yıllık enerji tasarrufu hesaplanmıştır. İşletmenin elektrik birim maliyeti kullanılarak yıllık mali tasarruf miktarı hesaplanmış ve fanın yatırım maliyeti ile oranlanarak uygulamanın basit geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

6. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

6.1. A İşletmesi - Uygulama Örneği – 1

A işletmesinde bulunan klima santralinde 1 adet alüminyum kanatlı aspiratör fanının, 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı aspiratör fanı ile değişimine yönelik ölçümler alınarak analizler yapılmıştır. Uygulama öncesi alüminyum eksenel fanın elektrik motoru etiket gücü 37 kW, fan ölçüsü 1.600 mm ve fan kanat sayısı 12 adettir. Uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fan ise 1.600 mm ölçülerine ve 10 adet kanada sahiptir. Uygulama sonrası 37 kW gücünde aynı elektrik motoru kullanılmaktadır. Uygulama öncesinde alüminyum eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan 0,29 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fanın göbeğinin kapladığı alan ise 0,24 m²'dir. C işletmesinde, uygulama öncesi alüminyum kanatlı aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.1'de, uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.1. A işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan	**Elektrik Motoru Etiket Gücü**	**Çalışma Saati**	**Fan Ölçüsü**	**Emiş Alanı**	**Göbek Alanı**	**Havanın Transfer Edildiği Alan**	**Kanat Sayısı**	**Birim Enerji Tüketimi**	**Ort. Çizgisel Hız**	**Ort. Hava Debisi**
	kW	saat/yıl	mm	m²	m²	m²	adet	kW	m/s	m³/h
Alüminyum Aspiratör	37,00	8.400	1.600	2,54	0,29	2,25	12	35,14	14,40	116.640

Tablo 6.2. A işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

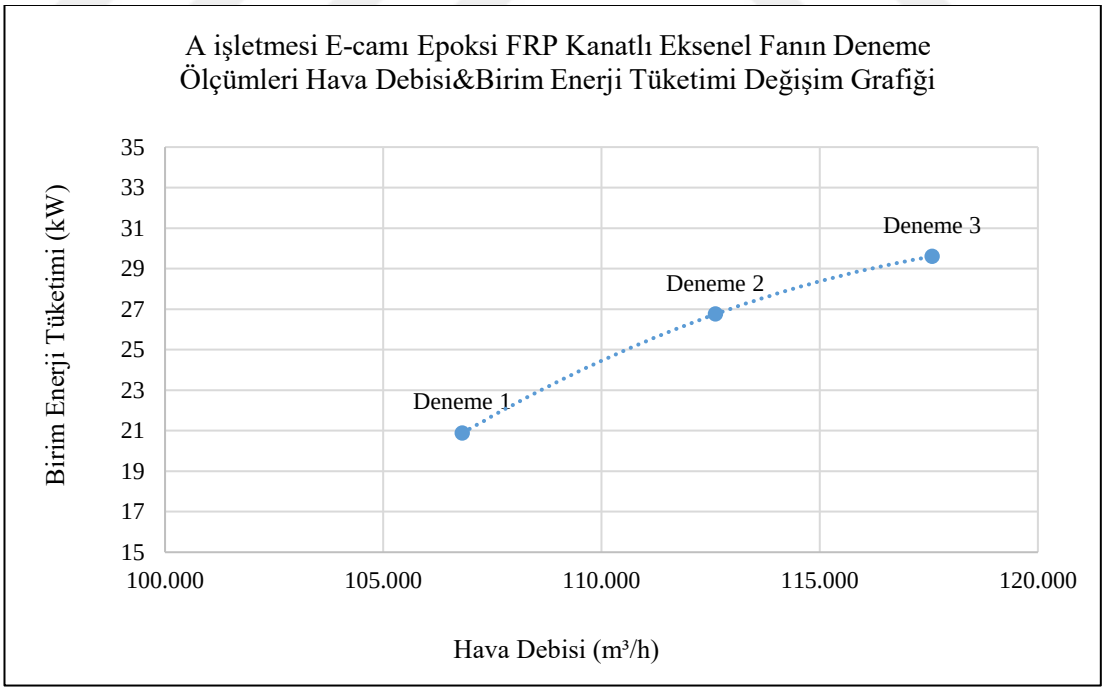
Deneme Ölçümleri	**Fan Kanat Malzemesi**	**Fan Ölçüsü**	**Emiş Alanı**	**Göbek Alanı**	**Havanın Transfer Edildiği Alan**	**Kanat Sayısı**	**Birim Enerji Tüketimi**	**Ortalama Çizgisel Hız**	**Ortalama Hava Debisi**
		mm	m²	m²	m²	adet	kW	m/s	m³/h
Deneme 1	E-camı Epoksi FRP	1.600	2,54	0,24	2,30	10	20,88	12,90	106.812
Deneme 2							26,75	13,60	112.608
Deneme 3							29,60	14,20	117.576

E-camı Epoksi FRP fanı sisteme monte edildikten sonra uygulama öncesi hava debisini elde edebilmek amacıyla deneme ölçümleri yapılmıştır. Yapılan 3. deneme ölçümünde uygulama öncesi hava debisi elde edilmiştir. 1 adet alüminyum kanatlı aspiratör fanının, 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. A işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı aspiratör eksenel fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi

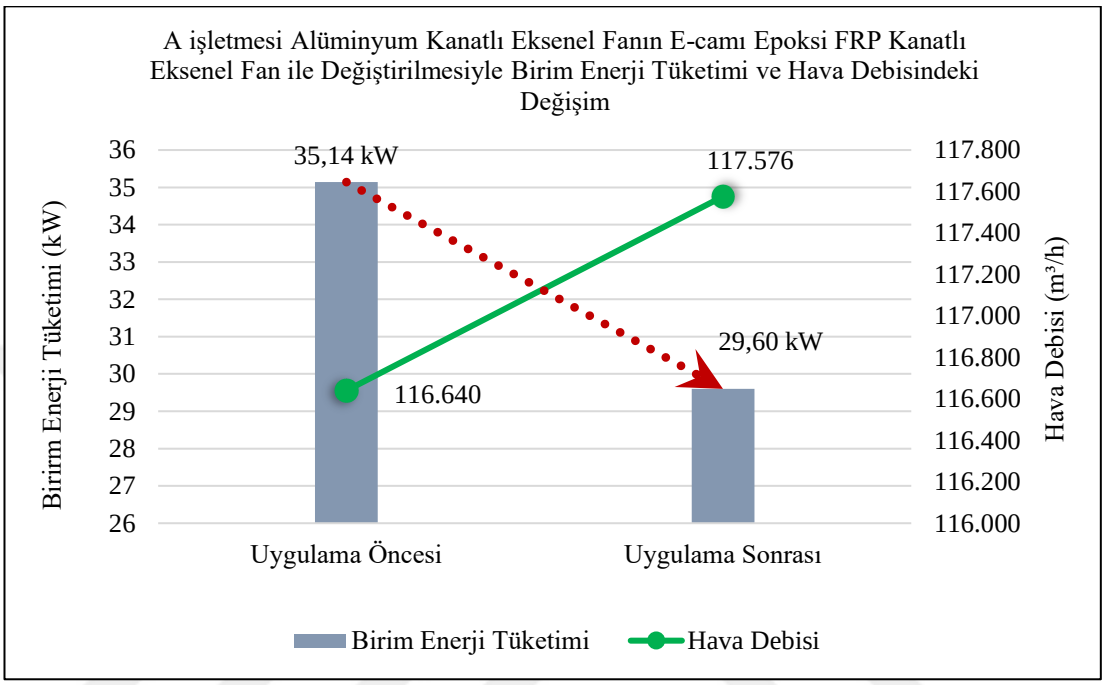
Birim Enerji Tasarrufu Yüzdesi	Birim Enerji Tasarrufu	Hava Debisindeki Artış Oranı	Elektrik Birim Maliyeti	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
%	kW	%	TL/kWh	kWh/Yıl	TL/yıl	TL	yıl
15,77	5,54	0,80	0,50	46.536	23.268	42.925	1,84

A işletmesinde E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı sisteme monte edildikten sonra yapılan deneme ölçümleri kapsamında, E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanın deneme ölçümleri hava debisi&birim enerji tüketimi değişim grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. A işletmesinde E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanın deneme ölçümleri hava debisi&birim enerji tüketimi değişim grafiği

A işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. A işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim

6.2. B işletmesi - Uygulama Örneği – 2

B işletmesinde bulunan klima santralinde 1 adet alüminyum kanatlı aspiratör fanının, 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı aspiratör fanı ile değişimine yönelik ölçümler alınarak analizler yapılmıştır. Uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel fanın elektrik motoru etiket gücü 22,00 kW, fan ölçüsü 1.600 mm, fan kanat sayısı 10 adet ve kanat açısı 19°'dir. Uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fan ise 1.600 mm ölçülerine, 10 adet kanada ve 8° kanat açısına sahiptir. Uygulama sonrası 22,00 kW gücünde aynı elektrik motoru kullanılmaktadır. Uygulama öncesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan 0,30 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fanın göbeğinin kapladığı alan ise 0,28 m²'dir. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır. Uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı ve uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. B işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı ve uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı

B işletmesinde, uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.4'te, uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.5'te ve 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.4. B işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan	**Elektrik Motoru Etiket Gücü**	**Çalışma Saati**	**Fan Ölçüsü**	**Emiş Alanı**	**Göbek Alanı**	**Havanın Transfer Edildiği Alan**	**Kanat Sayısı**	**Kanat Açısı**	**Birim Enerji Tüketimi**	**Ort. Çizgisel Hız**	**Ort. Hava Debisi**
	kW	**saat/yıl**	**mm**	**m²**	**m²**	**m²**	**adet**	**°**	**kW**	**m/s**	**m³/h**
Alüminyum Aspiratör	22,00	8.400	1.600	2,54	0,30	2,24	10	19	17,35	8,17	65.883

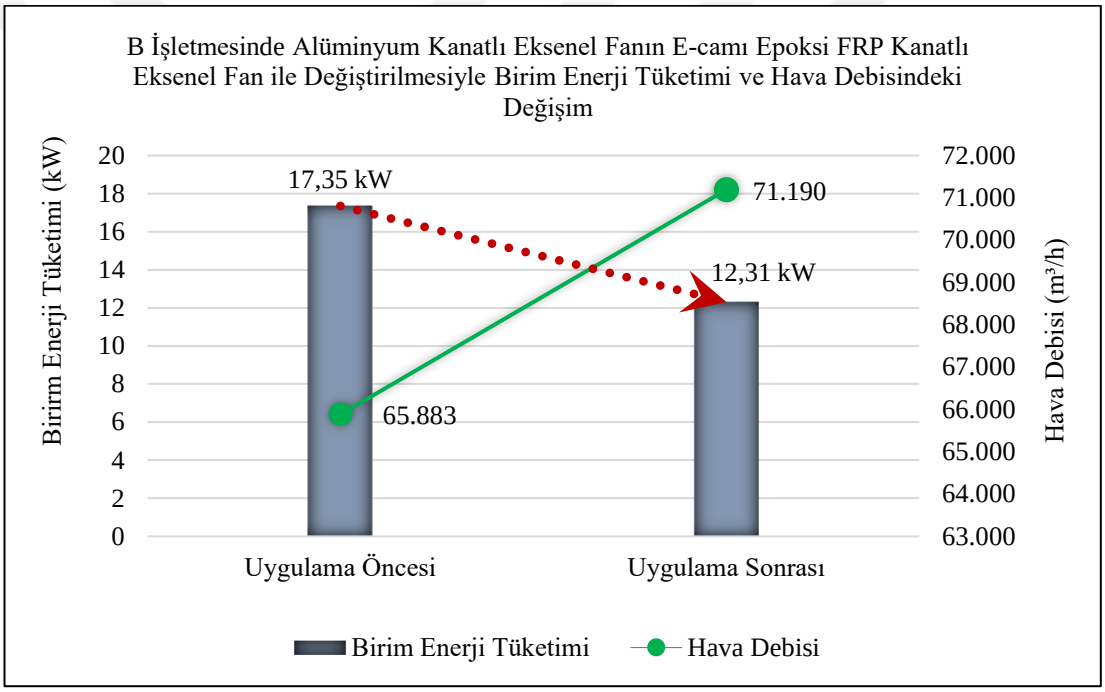
Tablo 6.5. B işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan	**Fan Kanat Malzemesi**	**Fan Ölçüsü**	**Emiş Alanı**	**Göbek Alanı**	**Havanın Transfer Edildiği Alan**	**Kanat Sayısı**	**Kanat Açısı**	**Birim Enerji Tüketimi**	**Ortalama Çizgisel Hız**	**Ortalama Hava Debisi**
		mm	m²	m²	m²	**adet**	**°**	**kW**	**m/s**	**m³/h**
Aspiratör	E-camı Epoksi FRP	1.600	2,54	0,28	2,26	10	8	12,31	8,75	71.190

Tablo 6.6. B işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi

Birim Enerji Tasarruf Oranı	Birim Enerji Tasarrufu	Hava Debisindeki Artış Oranı	Elektrik Birim Maliyeti	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
%	kW	%	TL/kWh	kWh/Yıl	TL/Yıl	TL	yıl
29,05	5,04	8,06	0,50	42.336	21.168	36.793	1,74

B işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. B işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim

6.3. C İşletmesi - Uygulama Örneği – 3

C işletmesinde bulunan klima santralinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının, 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik ölçümler alınarak analizler yapılmıştır. Uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel fanın elektrik motoru etiket gücü 18,50 kW, fan ölçüsü 1.400 mm, fan kanat sayısı 10 adet ve kanat açısı 22°'dir. Uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan

ise 1.400 mm ölçülerine, 10 adet kanada ve 10° kanat açısına sahiptir. Uygulama sonrası 18,50 kW gücünde aynı elektrik motoru kullanılmaktadır. Uygulama öncesinde alüminyum fanın göbeğinin kapladığı alan 0,24 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fanın göbeğinin kapladığı alan ise 0,22 m²'dir. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır.

C işletmesinde, uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.7'de, uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.8'de ve 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanın 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi Tablo 6.9'da verilmiştir.

Tablo 6.7. C işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan	Elektrik Motoru Etiket Gücü	Çalışma Saati	Fan Ölçüsü	Emiş Alanı	Göbek Alanı	Havanın Transfer Edildiği Alan	Kanat Sayısı	Kanat Açısı	Birim Enerji Tüketimi	Ort. Çizgisel Hız	Ort. Hava Debisi
	kW	saat/yıl	mm	m²	m²	m²	adet	°	kW	m/s	m³/h
Alüminyum Aspiratör	18,50	8.400	1.400	1,56	0,24	1,32	10	22	14,15	8,81	41.865

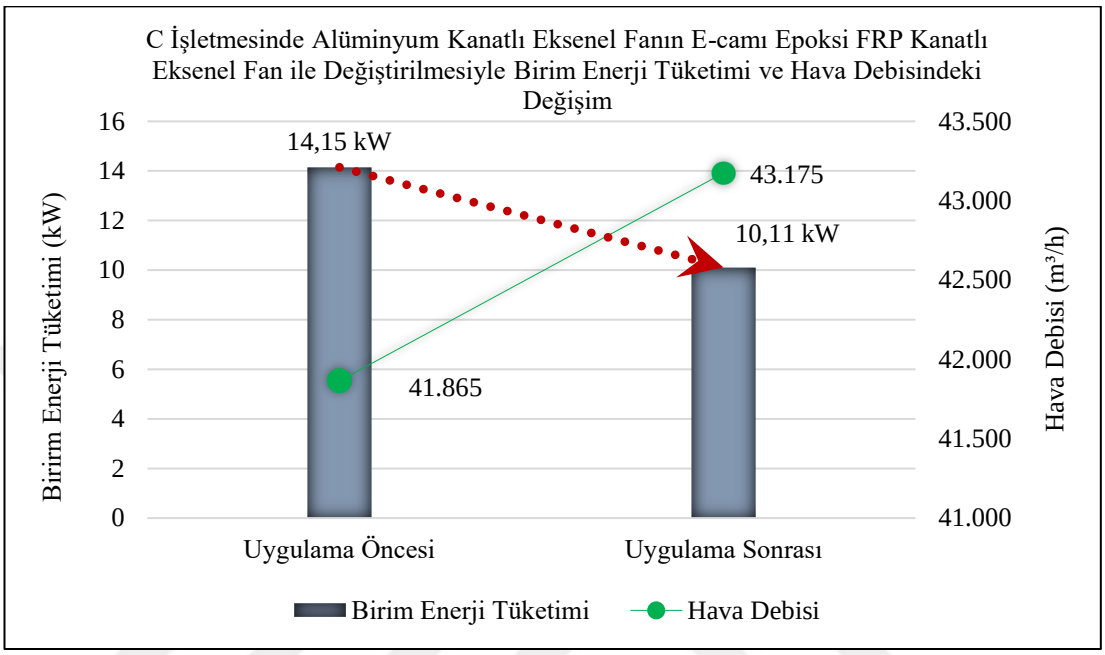
Tablo 6.8. C işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan Türü	Fan Kanat Malzemesi	Fan Ölçüsü	Emiş Alanı	Göbek Alanı	Havanın Transfer Edildiği Alan	Kanat Sayısı	Kanat Açısı	Birim Enerji Tüketimi	Ortalama Çizgisel Hız	Ortalama Hava Debisi
		mm	m²	m²	m²	adet	°	kW	m/s	m³/h
Aspiratör	E-camı Epoksi FRP	1.400	1,56	0,22	1,37	10	10	10,11	8,95	43.175

Tablo 6.9. C işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi

Birim Enerji Tasarrufu Oranı	Birim Enerji Tasarrufu	Hava Debisindeki Artış Oranı	Elektrik Birim Maliyeti	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
%	kW	%	TL/kWh	kWh/Yıl	TL/Yıl	TL	yıl
28,55	4,04	3,13	0,50	33.936	16.968	30.122	1,78

C işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve çizgisel hızdaki değişim Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.5. C işletmesinde alüminyum eksenel kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve çizgisel hızdaki değişim

6.4. D İşletmesi - Uygulama Örneği – 4

D işletmesinde bulunan klima santralinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının, 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik ölçümler alınarak analizler yapılmıştır. Uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel fanın elektrik motoru etiket gücü 30,00 kW, fan ölçüsü 1.600 mm, fan kanat sayısı 10 adet ve kanat açısı 24°'dir. Uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ise 1.600 mm ölçülerine, 12 adet kanada ve 21° kanat açısına sahiptir. Uygulama sonrası 30,00 kW gücünde aynı elektrik motoru kullanılmaktadır. Uygulama öncesinde alüminyum fanın göbeğinin kapladığı alan 0,29 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fanın göbeğinin kapladığı alan ise 0,23 m²'dir. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır. Şekil 6.6'da E-camı Epoksi FRP 12 kanatlı eksenel fan verilmiştir.



Şekil 6.6. D işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP 12 kanatlı eksenel aspiratör fanı

D işletmesinde, uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.10'da, uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler Tablo 6.11'de ve 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi Tablo 6.12'de verilmiştir.

Tablo 6.10. D işletmesinde uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan	**Elektrik Motoru Etiket Gücü**	**Fan Ölçüsü**	**Emiş Alanı**	**Göbek Alanı**	**Havanın Transfer Edildiği Alan**	**Kanat Sayısı**	**Kanat Açısı**	**Birim Enerji Tüketimi**	**Ort. Çizgisel Hız**	**Ort. Hava Debisi**
	kW	mm	m²	m²	m²	adet	°	kW	m/s	m³/h
Alüminyum Aspiratör	30,00	1.600	2,54	0,29	2,25	10	24	27,98	15,80	127.980

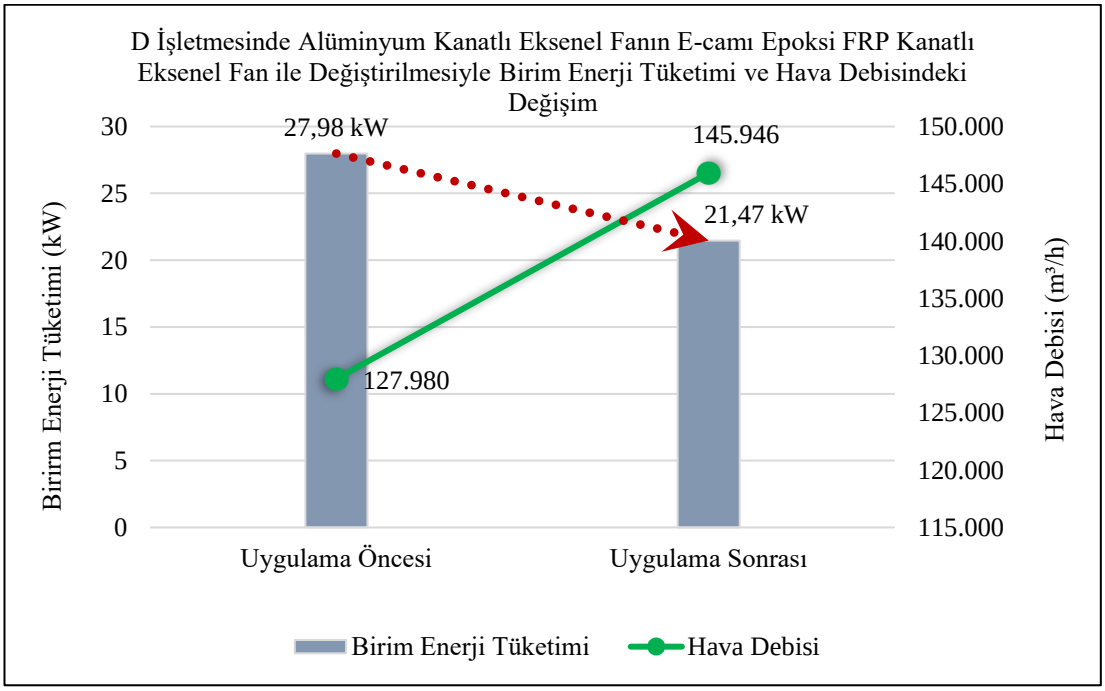
Tablo 6.11. D işletmesinde uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanında yapılan ölçümler ve alınan bilgiler

Fan Türü	Fan Kanat Malzemesi	Fan Ölçüsü	Emiş Alanı	Göbek Alanı	Havanın Transfer Edildiği Alan	Kanat Sayısı	Kanat Açısı	Birim Enerji Tüketimi	Ortalama Çizgisel Hız	Ortalama Hava Debisi
		mm	m²	m²	m²	adet	°	kW	m/s	m³/h
Aspiratör	E-camı Epoksi FRP	1.600	2,54	0,23	2,31	12	21	21,47	17,55	145.946

Tablo 6.12. D işletmesinde 1 adet alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanının 1 adet E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değişimine yönelik yıllık tasarruf analizi

Birim Enerji Tasarrufu Oranı	Birim Enerji Tasarrufu	Hava Debisindeki Artış Oranı	Elektrik Birim Maliyeti	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
%	kW	%	TL/kWh	kWh/Yıl	TL/Yıl	TL	yıl
23,27	6,51	14,04	0,50	54.684	27.342	53.516	1,96

D işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve çizgisel hızdaki değişim Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. D işletmesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fan ile değiştirilmesiyle birim enerji tüketimi ve hava debisindeki değişim

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tekstil sanayi sektörü klima santrallerinde aspiratör ve vantilatör fanı olarak kullanılan ve enerji tüketimi yüksek olan eksenel fanlar, sanayide enerji verimliliği kapsamında ele alınması gereken ekipmanların başında gelmektedir. Bu çalışmada, tekstil sanayide birkaç farklı işletmede bulunan klima santrallerinde enerji verimliliği çalışmaları kapsamında, alüminyumdan üretilmiş eksenel aspiratör ve vantilatör fan kanatlarının alüminyuma göre korozyon direnci daha yüksek, ağırlığı daha düşük ve aerodinamik dizaynı sayesinde daha verimli E-camı Epoksi FRP malzemeden üretilmiş fan kanatları ile değiştirilmesine yönelik çalışmalara yer verilmiştir. Eksenel fan kanatlarının malzeme çeşidinin değişimi ve kanatlarda tasarımsal olarak yapılacak iyileştirmeler sayesinde klima santrallerinde ihtiyaç duyulan hava debisinin %15-30 oranında daha az enerji tüketilerek sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

A işletmesinde 37,00 kW etiket gücünde, 1.600 mm boyutlarında, 12 kanatlı alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı, E-camı Epoksi FRP kanatlı aspiratör fanı ile değiştirilmiştir. Uygulama sonrasında 1.600 mm boyutlarında ve 10 kanatlı E-camı Epoksi FRP fan kanatları sayesinde güç tüketiminde %15,77 oranında azalma, hava debisinde ise %0,80 oranında artış olmuştur. Uygulama öncesi ve uygulama sonrası benzer hava debisi sağlanırken, fanların güç tüketimlerindeki farklılığın yanı sıra hücum açılarının da farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Uygulama öncesi alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanında yüksek hava debisi sağlamak amacıyla, kanat profilinde izin verilen maksimum hücum açısı değerinin göz önünde bulundurulmamış olabileceği tespit edilmiştir. Uygulama öncesi alüminyum kanat profilindeki hücum açısının, izin verilen maksimum hücum açısı değerinin üzerine çıkarılmış olması, akış ayrılmasının ve türbülansın oluşmasına neden olmuş olabilir.

A işletmesinde uygulama öncesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan 0,29 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın

göbeğinin kapladığı alan ise 0,24 m²'dir. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır. Uygulama öncesi hava debisi üretim alanı için yeterli olduğundan hava debisinin daha da artırılmasına işletme yetkililerince gerek duyulmamıştır. Deneme ölçümleri ile üretim alanındaki debi ihtiyacının değişmesi durumunda E-camı epoksi FRP eksenel fanların kanatlarının açısı değiştirilerek, istenilen debi değerinde çalıştırılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

A işletmesinde yapılan uygulama ile yıllık 46.536 kWh/yıl enerji tasarrufuna karşılık, elektrik birim maliyeti 0,50 TL/kWh (KDV (Katma Değer Vergisi) hariç) olarak kabul edildiğinde elde edilecek yıllık mali tasarruf miktarı ise 23.268 TL/yıl'dır. Uygulamanın yatırım maliyeti 42.925 TL (1$=7 TL), basit geri ödeme süresi ise 1,84 yıl'dır. Bu çalışma çevresel boyutta ele alındığında elde edilen enerji tasarrufu sayesinde, çevreye salınması önlenen CO_2 emisyon miktarı 28.992 kg/yıl azalma sağlanabilecektir. Bu da yaklaşık 71 adet ağacın nötrleyebileceği CO_2 emisyon miktarına denk gelmektedir.

B işletmesinde 22 kW etiket gücünde, 1.600 mm boyutlarında, 10 kanatlı, 19° kanat açısına sahip alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı, E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değiştirilmiştir. Uygulama sonrasında 1.600 mm boyutlarında, 10 kanatlı, 8° kanat açısına sahip E-camı Epoksi FRP fan kanatları sayesinde güç tüketiminde %29,05 oranında azalma, hava debisinde de %8,06 oranında artış olmuştur.

B işletmesinde uygulama öncesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan 0,30 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan ise 0,28 m²'dir. E-camı Epoksi FRP eksenel fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır. Bu uygulama ile yıllık 42.336 kWh/yıl enerji tasarrufuna karşılık, elektrik birim maliyeti 0,50 TL/kWh (KDV hariç) olarak kabul edildiğinde elde edilecek mali tasarruf miktarı 21.168 TL/yıl'dır. Uygulamanın yatırım maliyeti 36.793 TL (1$=7 TL), basit geri ödeme süresi ise 1,74 yıl'dır. Bu çalışma çevresel boyutta ele alındığında elde edilen enerji tasarrufu sayesinde, küresel ısınmasın asıl nedeni olan ve çevreye salınması

önlenen CO_2 (karbondioksit) emisyon miktarı 26.375 kg/yıl azalma sağlanabilecektir. Bu da yaklaşık 65 adet ağacın nötrleyebileceği CO_2 emisyon miktarına denk gelmektedir.

C işletmesinde 18,50 kW etiket gücünde, 1.400 mm boyutlarında, 10 kanatlı, 22° kanat açısına sahip alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı, E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değiştirilmiştir. Uygulama sonrasında 1.400 mm boyutlarında, 10 kanatlı, 10° kanat açısına sahip E-camı Epoksi FRP fan kanatları sayesinde güç tüketiminde %28,55 oranında azalma, hava debisinde ise %3,13 oranında artış olmuştur.

C işletmesinde uygulama öncesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan 0,24 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP fanının göbeğinin kapladığı alan ise 0,22 m²'dir. E-camı Epoksi FRP fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır. Uygulama öncesi hava debisi üretim alanı için yeterli olduğundan hava debisinin daha da artırılmasına işletme yetkililerince gerek duyulmamıştır. Bu uygulama ile yıllık 33.936 kWh/yıl enerji tasarrufuna karşılık, elektrik birim maliyeti 0,50 TL/kWh (KDV hariç) olarak kabul edildiğinde elde edilecek mali tasarruf miktarı 16.968 TL/yıl'dır. Uygulamanın yatırım maliyeti 30.122 TL (1$=7 TL), basit geri ödeme süresi ise 1,78 yıl'dır. Bu çalışma çevresel boyutta ele alındığında elde edilen enerji tasarrufu sayesinde, çevreye salınması önlenen CO_2 emisyon miktarı 21.142 kg/yıl azalma sağlanabilecektir. Bu da yaklaşık 52 adet ağacın nötrleyebileceği CO_2 emisyon miktarına denk gelmektedir.

D işletmesinde 30,00 kW etiket gücünde, 1.600 mm boyutlarında, 10 kanatlı, 24° kanat açısına sahip alüminyum kanatlı eksenel aspiratör fanı, E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör fanı ile değiştirilmiştir. Uygulama sonrasında 1.600 mm boyutlarında, 12 kanatlı, 21° kanat açısına sahip E-camı Epoksi FRP fan kanatları sayesinde güç tüketiminde %23,27 oranında azalma, hava debisinde ise %14,04 oranında artış olmuştur.

D işletmesinde uygulama öncesinde alüminyum kanatlı eksenel fanın göbeğinin kapladığı alan 0,29 m², uygulama sonrası E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın

göbeğinin kapladığı alan ise 0,23 m²'dir. E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanın göbeğinin daha küçük olması sayesinde akışkanın transfer edildiği alan da artmıştır. Bu uygulama ile yıllık 54.684 kWh/yıl enerji tasarrufuna karşılık, elektrik birim maliyeti 0,50 TL/kWh (KDV hariç) olarak kabul edildiğinde elde edilecek mali tasarruf miktarı 27.342 TL/yıl'dır. Uygulamanın yatırım maliyeti 53.516 TL (1$=7 TL), basit geri ödeme süresi ise 1,96 yıl'dır. Bu çalışma çevresel boyutta ele alındığında elde edilen enerji tasarrufu sayesinde, çevreye salınması önlenen CO_2 emisyon miktarı 34.068 kg/yıl azalma sağlanabilecektir. Bu da yaklaşık 83 adet ağacın nötrleyebileceği CO_2 emisyon miktarına denk gelmektedir.

Güç tüketiminin azaltılması ile fanların sistem veriminde (fan + elektrik motoru) artış sağlanmakta ve fanlar yüksek verimlilikle işletilebilir olmaktadır. Ayrıca yapılan bu çalışmalar ile enerji maliyetlerinin işletme bütçesi üzerindeki yükünün hafifletilmesi sağlanmıştır.

Klima santrallerinde bulunan aspiratör ve vantilatör fanlarının E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel aspiratör ve vantilatör fanları ile değiştirilmesiyle, fanların bulunduğu bölümün/bölümlerin (iplik üretimi, boyama, dokuma) enerji tüketimleri düşürülmüştür. Bu durum klima santrallerinin bulunduğu bölümün/bölümlerin spesifik enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamıştır.

A işletmesi ve B işletmesindeki örnek uygulamalar ardından klima santrallerindeki tüm eksenel aspiratör ve vantilatör fanları E-camı Epoksi FRP kanatlı eksenel fanlar ile değiştirilmiştir. İşletmeler bu projeleri ile sanayide enerji verimliliği adı altında finansal bir destek programından yararlanmıştır. Bu durum işletmelerin finansal yükünü hafifletmiş ve projelerin geri ödeme süresini azaltmıştır. İşletmelerin finansal yükünün azaltılmasının yanı sıra bu gibi destek/hibe programlarından yararlanılmasının işletmenin kurumsal imajı açısından da önemi oldukça büyüktür.

Eksenel fanların kanatlarında çalışma ortamından dolayı zaman içinde toz birikebilmekte ve bu durum kanadın üzerine ağırlık yaparak fanın çalışma performansını etkileyebilmektedir. Fan kanatlarının işletmede duruş olduğunda bir bez ile temizlenmelidir.

Klima santrallerindeki döner filtrelerin kirli olması transfer edilen havanın hızını düşürebilmekte ve bu durumda toplam hava debisinin düşmesine neden olmaktadır. Döner filtrelerde periyodik bakım ve temizlik yapılmasının fan performansı açısından önemi oldukça büyüktür.

KAYNAKLAR

[1] Uluslararası Enerji Ajansı, https://www.iea.org/statistics/, (Ziyaret Tarihi: 29 Aralık 2019).

[2] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası http://www.emo.org.tr/ekler/364734147179187_ek.pdf, (Ziyaret Tarihi: 21 Haziran 2020).

[3] Yumurtacı., Z., Sarıgül, A., Santrifüj Pompalarda Enerji Verimliliği ve Uygulamaları, *TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2011, 122, 49-58.

[4] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü,http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/document/%C4%B0malat%20Sanayinde%20Enerji%20T%C3%BCketim%20%C4%B0statistikleri.pdf, (Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2019).

[5] Uluslararası Enerji Ajansı, https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/efficiency-related-energy-savings-by-sector-2000-2017, (Ziyaret Tarihi: 29 Aralık 2019).

[6] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, https://enerjiapi.etkb.gov.tr//Media/Dizin/SGB/Faaliyet_Raporlari/2018/691837-etkb_2018_yili_i%CC%87dare_faaliyet_raporu.pdf, (Ziyaret Tarihi: 15 Kasım 2019).

[7] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, https://enerjiapi.etkb.gov.tr//Media/Dizin/SGB/Faaliyet_Raporlari/2019/496210-etkb_2019_yili_i%CC%87dare_faaliyet_raporu28.02.2020.pdf, (Ziyaret Tarihi: 28 Temmuz 2020).

[8] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, https://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/01/Ulusal-Enerji-Verimlili%C4%9Fi-Eylem-Plan%C4%B1-2017-2023.pdf, (Ziyaret Tarihi: 6 Ocak 2020).

[9] Öztürk E., Coşkun C., Oktay Z., Tekstil Klima Santralleri için Enerji Tasarrufu Bağlamında Pratik Bir Çalışma, *TMMOB MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 2012, (127), 47-51.

[10] Bulut S., Ünveren M., Arısoy A., Böke Y.E., CFD Analiz Yöntemiyle Klima Santrallerinde İç Kayıpların Azaltılması, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, Türkiye, 13-16 Nisan 2011.

[11] https://www.mitasklima.net/, (Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2020).

[12] Keklikoğlu H.Ö., In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science In Mechanical Engineering, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019, 581655.

[13] Bacak A., Eksenel Fan Performansının Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 439430.

[14] Venter S.J., Kröger D.G., The Effect of Tip Clearance on The Performance of an Axial Flow Fan, *Energy Conversion and Management*, 1992, **33** (2), 89-97.

[15] Munisamy K.M., Govindasamy R., Thangaraju S.K., Experimental Investigation on Design Enhancement of Axial Fan Using Fixed Guide Vane, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2014, DOI: 10.1088/1757-899X/88/1/012026.

[16] Sakin R., Kumru N., Ay İ., Eksenel Vantilatör Kanatları için Alüminyum Alaşımı ve Cam/Polyester Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, *13. Uluslararası Malzeme Sempozyumu (IMSP'2010),* Denizli, Türkiye, 13-15 Ekim 2010.

[17] Bacak A., Pınarbaşı A., Eksenel Fan Akustik Performansının Sayısal Olarak İncelenmesi, *4. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu,* Edirne, Türkiye, 18-20 Nisan 2018.

[18] Velavan R., Rudramoorthy R., Balachandran S., CO2 Emission Reduction Opportunities for Small and Medium Scale Textile Sector in India, *Journal of Scientific & Industrial Research (JSIR),* 2009, **68** (7), 630-633.

[19] Sert M.Ö., Tekstil Sanayinde Enerji Verimliliği: Entegre Bir Tekstil Fabrikası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 537586.

[20] https://www.aironn.com.tr/upload/files/publication/euler-teorisi-ve-fan-termolojisinin-temel-kavramlari/euler-teorisi-ve-fan-termolojisinin-temel-kavramlari-10.pdf, (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2020).

[21] İlikan A.N., Kanat Profili Dizilimi Biçimlerinin Eksenel Fanların Performansına Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 356054.

[22] https://www.rs-online.com/designspark/fan-types-why-choose-an-mixed-flow-diagonal-fan, (Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2020).

[23] Çakır E.T., Eksenel Fanlarda Rotor-Stator Etkileşim Yüzeyi Modellerinin Ve Kanat Profillerine Kaydırma Uygulamasının Performansa Etkileri, Yüksek

Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 504764.

[24] https://www.otkon.com.tr/Urun/641/230/mfd-serisi-dc-beslemeli-crossflow-fanlar/, (Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2020).

[25] Güney M., Radyal Fan Salyangozunun Fan Performansına Etkilerinin HAD Yardımı ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 438168.

[26] https://www.tcf.com/wp-content/uploads/2018/06/Fan-Performance-Characteristics-of-Axial-Fans-FE-2300.pdf, (Ziyaret Tarihi: 21 Haziran 2020).

[27] Matkap Ü., Eş Eksenli Kanal Tipi Radyal Vantilatör Tasarımı ve Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 222508.

[28] Bulgurcu H., Fanlar, Deneysan, https://docplayer.biz.tr/5337913-Doc-dr-huseyin-bulgurcu-bolum-4-fanlar.html, (Ziyaret Tarihi: 3 Mayıs 2020).

[29] Uğural G., Parmaksızoğlu C., *Vantilatör ve Sistemleri,* Termas Yayınları, 1992.

[30] https://www.howden.com/en-gb/articles/general/an-insiders-guide-to-fans-in-the-industrial sector?utm_source=linkedin&utm_medium=post&utm_campaign=linkedin, (Ziyaret Tarihi: 4 Mayıs 2020).

[31] https://www.fantech.com.au/images/Brochures/DIN_ISO.pdf, (Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2020).

[32] https://www.alarko-carrier.com.tr/Upload/Newsletter/495d0ad3-2dfb-4afe-a7d5-80c138003b26.pdf, (Ziyaret Tarihi: 24 Kasım 2019).

[33] https://en.wikipedia.org/wiki/Air_Movement_and_Control_Association, (Ziyaret Tarihi: 19 Nisan 2020).

[34] https://www.amca.org/assets/resources/public/userfiles/file/ FanEffectPPT2.pdf, (Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2020).

[35] https://fluidflowinfo.com/fan-performance-and-fan-laws/, (Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2020).

[36] http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/document/Fan%20Sistemleri.pdf, (Ziyaret Tarihi: 24 Kasım 2019).

[37] https://www.aironn.com.tr/upload/files/publication/fanpedia-1/fanpedia-1-83.jpg, (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2020).

[38] Bleier, F. P., *Fan Handbook: Selection, Application, and Design*, McGraw-Hill, New York, 1998.

[39] Cory, B., *Fans and Ventilation*, 1. Baskı, Elsevier Science, 2005.

[40] https://docplayer.biz.tr/14190531-5-bolum-ucusun-esaslari-kanatlar-kuyruk-yuzeyleri.html, (Ziyaret Tarihi: 23 Nisan 2020).

[41] http://www.daeilaqua.com/eng/sub_05/body_002_03.htm, (Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2020).

[42] Genç S.M., Özışık G., Kahraman N., Düz Flaplı NACA0012 Kanat Profilinin Aerodinamik Performansının İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2018, **28** (1), 1-8.

[43] Çengel Y.A., Cimbala JM., *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*, Nobel Matbaacılık, İstanbul, 2012.

[44] Yıldız S., Rüzgar Türbini için Farklı Tip Uçak Kanat Profillerinin Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, 2017, 489394.

[45] http://www.esa.com.tr/kompozit-hakkinda/, (Ziyaret Tarihi: 19 Haziran 2020).

[46] http://durakom.com/ctp-kompozit-hakkinda/, (Ziyaret Tarihi: 11 Temmuz 2020).

[47] https://www.differencebetween.com/difference-between-frp-and-vs-grp/, (Ziyaret Tarihi: 11 Temmuz 2020).

[48] http://kisi.deu.edu.tr/cesim.atas/kompozit/2_%20Takviye%20ve%20 Matris%20Malzemeleri.pdf, (Ziyaret Tarihi: 11 Temmuz 2020).

[49] http://chmcomposites.com/2015/10/what-is-the-difference-between-composites-frp-and-grp/, (Ziyaret Tarihi: 11 Temmuz 2020).

[50] https://www.mkplastics.com/documents/technical/M.K._Plastics_Technical_ Paper_3_Advantages_of_an_FRP_Fan__Blower.pdf, (Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020).

[51] https://nisco.ca/why-to-choose-fiber-reinforced-plastic-or-frp-fans/, (Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020).

[52] http://h2ocooling.com/2017/10/23/benefits-frp-fan-blades/, (Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020).

[53] http://h2ocooling.com/2018/03/19/frp-superior-wood-aluminum-steel concrete/, (Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2020).

[54] https://www.aeroteche.com/Articles/features/215, (Ziyaret Tarihi: 19 Haziran 2020).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Turna B.**, Kaya D., Eyidoğan M., Kılıç F.Ç., Eksenel Fanlarda Enerji Verimliliği: Tekstil Sanayi Örneği, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi,* Kocaeli, Türkiye, 1-3 Kasım 2019

ÖZGEÇMİŞ

Buse Turna lise öğrenimini Çan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2013 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl içinde Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde Eksenel Fanlarda Enerji Verimliliği konusunda çalışmaları bulunmaktadır.