

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDEKİ SOĞUTMA KULELERİNİN
POMPA VE AKSİYEL FANLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE
ETKİSİ**

DENİZ KOPARAN

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDEKİ SOĞUTMA KULELERİNİN
POMPA VE AKSİYEL FANLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE
ETKİSİ**

DENİZ KOPARAN

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem EYİDOĞAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.01.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

Bu tez çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Deniz KOPARAN

İmza

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***“Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Deniz KOPARAN

İmza

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, endüstriyel işletmelerde kullanılan soğutma kulelerinde enerji verimliliğini ve enerji tasarruf imkanlarını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim süresince görüşleriyle çalışmalarına yön veren, karşılaştığım her zorlukta desteğini esirgemeyen danışmanım Dr. Muharrem EYİDOĞAN'a ve Prof. Dr. Fatma Çanka KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini her an hissettiğim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan annem Aysun KOPARAN'a, babam İlhan KOPARAN'a, kardeşim Damla KOPARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Aralık – 2021

Deniz KOPARAN



İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Enerji Verimliliği.....	3
2.2. Literatür Taraması.....	4
3. SOĞUTMA KULELERİ.....	7
3.1. Soğutma Kulelerinin Çalışma Prensipleri.....	7
3.2. Soğutma Kulesi Terimleri.....	8
3.3. Soğutma Kulelerinin Çeşitleri	11
3.3.1. Temas Durumuna Göre Soğutma Kuleleri	11
3.3.2. Hava Akımının Türüne Göre Soğutma Kuleleri.....	13
3.3.3. Hava Akımının Yönüne Göre Soğutma Kuleleri.....	15
3.4. Soğutma Kulelerinde Kullanılan Ekipmanlar.....	16
4. SOĞUTMA KULELERİNDE AKSİYEL FANLARDA VE POMPALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	22
4.1. Soğutma Kulelerinde Aksiyel Fanlarda Enerji Verimliliği	22
4.2. Soğutma Kulelerinde Pompalarda Enerji Verimliliği.....	29
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
5.1. Soğutma Kulesi Fanları Ölçümleri	32
5.2. Soğutma Kulesi Pompaları Ölçümleri	34
6. ANALİZ VE HESAPLAMALAR.....	37
6.1. Otomobil Lastiği Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Fan Kanatlarının Epoksi Fiber Glass Fan Kanatlarıyla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları.....	37
6.2. Cam Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Fan Kanatlarının Epoksi Fiber Glass Fan Kanatlarıyla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları	41
6.3. Demir Çelik Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Fan Kanatlarının Epoksi Fiber Glass Fan Kanatlarıyla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları.....	44
6.4. Otomobil Lastiği Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Pompalarının Daha Verimli Pompalarla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları	48
6.5. Demir Çelik Sektörü Soğutma Kulesi Pompalarının Kontrol Sistemiyle Kontrol Edilmesi Analizleri ve Hesaplamaları	50
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR.....	55
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Açık çevrim soğutma kulesi çalışma sistemi	12
Şekil 3.2.	Kapalı devre soğutma kulesi çalışma sistemi	12
Şekil 3.3.	Aksiyel fanlı cebri çekişli soğutma kulesi görünümü	14
Şekil 3.4.	Doğal çekişli soğutma kulesi görünümü	14
Şekil 3.5.	Karşı akışlı ve çapraz akışlı soğutma kulelerinin çalışma sistemi	15
Şekil 3.6.	Sıcak su dağıtım sistemi görünümü	16
Şekil 3.7.	Soğutma kulesi spreyleme nozulları örnekleri	16
Şekil 3.8.	Damla tutucu görünümü	17
Şekil 3.9.	Dolgu malzemesi örnekleri	18
Şekil 3.10.	Hava giriş panjuru örnekleri	19
Şekil 3.11.	Soğutma kulesi aksiyel fan görünümleri	20
Şekil 3.12.	Soğutma kulesi fanındaki elektrik ve mekanik ekipmanlar	20
Şekil 3.13.	Fan bacası görünümü.....	21
Şekil 4.1.	Epoksi fiber glass aksiyel fan kanatları görünümü	22
Şekil 4.2.	Epoksi fiber glass aksiyel fan görünümü	23
Şekil 4.3.	Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının üç boyutlu çizimleri	25
Şekil 4.4.	Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan hız analizleri	26
Şekil 4.5.	Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan basınç analizi	26
Şekil 4.6.	Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan yapısal analizleri	27
Şekil 4.7.	Dinamik balans test düzeneği.....	28
Şekil 4.8.	Statik balans test düzeneği	28
Şekil 4.9.	Yük testi düzeneği	28
Şekil 4.10.	Pompa, bağlantı elemanı ve elektrik motoru görünümü	29
Şekil 4.11.	Pompa performans eğrisi örneği.....	31
Şekil 5.1.	Enerji analizörü görünümü	32
Şekil 5.2.	Pervane hız probu görünümü	33
Şekil 5.3.	Soğutma kulelerinde havanın çizgisel hız ölçümü	33
Şekil 5.4.	Ultrasonik sıvı debimetresi görünümü	34
Şekil 5.5.	Soğutma kulesi pompalarında enerji analizörü ile aktif güç ölçümleri.....	35
Şekil 6.1.	Uygulama öncesi alüminyum fan kanatları örnekleri	37
Şekil 6.2.	Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin A soğutma kulesindeki A1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	39
Şekil 6.3.	Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin A soğutma kulesindeki A2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	40
Şekil 6.4.	Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin B soğutma kulesindeki B1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	40

Şekil 6.5.	Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin B soğutma kulesindeki B2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	41
Şekil 6.6.	Cam sektöründeki işletmenin C soğutma kulesindeki C1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	43
Şekil 6.7.	Cam sektöründeki işletmenin C soğutma kulesindeki C2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	43
Şekil 6.8.	Demir çelik sektöründeki işletmenin D soğutma kulesindeki D1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	45
Şekil 6.9.	Demir çelik sektöründeki işletmenin D soğutma kulesindeki D2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler	46
Şekil 6.10.	Soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının sökülmesi örneği	46
Şekil 6.11.	Soğutma kulesindeki epoksi fiber glass fan kanatlarının montajı örneği	47
Şekil 6.12.	Uygulama öncesi ve sonrası soğutma kulesi fan kanatları görünümleri	47

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının çalışma aralıkları	24
Tablo 4.2. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanları ile alüminyum / GRP fan kanatlarının karşılaştırılması	24
Tablo 6.1. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler	38
Tablo 6.2. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler	38
Tablo 6.3. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri	38
Tablo 6.4. Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler	42
Tablo 6.5. Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler	42
Tablo 6.6. Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri	42
Tablo 6.7. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler	44
Tablo 6.8. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler	44
Tablo 6.9. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri	45
Tablo 6.10. Otomobil lastiği sektöründeki işletmede uygulama öncesinde kullanılan kule pompalarından alınan bilgiler ve ölçümler	48
Tablo 6.11. Otomobil lastiği sektöründeki işletmedeki kule pompalarının sistem verimi daha yüksek pompalarla değiştirilmesi uygulaması sonrasında pompalardan alınan bilgiler ve ölçümler	49
Tablo 6.12. Otomobil lastiği sektöründeki işletmedeki kule pompalarının sistem verimi daha yüksek pompalarla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri	49
Tablo 6.13. Demir çelik sektöründeki işletmenin kule pompalarından uygulama öncesinde alınan bilgiler ve ölçümler	51
Tablo 6.14. Demir çelik sektöründeki işletmenin kule pompalarından uygulama sonrasında alınan bilgiler ve ölçümler	51
Tablo 6.15. Demir çelik sektöründeki işletmedeki kule pompalarına çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulamasıyla sağlanan enerji tasarrufu analizleri	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Derece santigrat
Y / Δ	: Yıldız / Üçgen Bağlantı
%	: Yüzde

Kısaltmalar

EES	: Engineering Equation Solver
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ft	: Feet
FRP	: Fiber Rainforced Plastic (Elyaf Takviyeli Plastik)
GRP	: Glass Rainforced Plastic (Cam Elyaf Takviyeli Plastik)
HP	: Horse Power (Beygir Gücü)
h	: Hour (Saat)
CO ₂	: Karbondioksit
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
L/G	: Liquid/Gas (Sıvı/Gaz)
m	: metre
m ²	: metrekare
m ³	: metreküp
mm	: milimetre
s	: saniye
PVC	: Polivinil Klorür
rpm	: Revolutions Per Minute
TL	: Türk Lirası
VAP	: Verimlilik Arttırıcı Proje
VSD	: Variable Speed Driver (Değişken Hız Sürücüsü)

ENDÜSTRİYEL İŞLETMELERDEKİ SOĞUTMA KULELERİNİN POMPA VE AKSİYEL FANLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

ÖZET

Endüstriyel işletmelerde soğutma prosesleri, enerji tüketimlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Artan enerji maliyetleri, endüstriyel işletmelerin enerji verimliliği konusunda duyarlılığını arttıran en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Soğutma kuleleri, soğutma ihtiyacı bulunan tesislerde kullanılan önemli ölçüde enerji tüketimi olan ekipmanlardır. Bu çalışmada, endüstrinin farklı sektörlerinde kullanılan soğutma kulelerinde uygulanan enerji verimliliği çalışmaları incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında otomobil lastiği, cam ve demir çelik sektörlerindeki işletmelerin 4 farklı su soğutma kulesindeki 8 adet alüminyum malzemeden imal edilmiş fan kanatların yüksek verimli epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle %23,13 enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin 2 farklı su soğutma kulesindeki 4 adet santrifüj tipteki sirkülasyon pompasının daha verimli pompalarla değiştirilmesiyle %41,85 enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Demir çelik sektöründeki 3 adet santrifüj pompadan oluşan pompa grubunun çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi ile kontrol edilmesiyle %27,22 enerji tasarrufu sağlandığı belirlenmiştir. Soğutma kulelerinde fan kanatlarında ve pompa sistemlerinde yapılabilecek iyileştirmelerle endüstriyel işletmelerde enerji tasarrufu sağlanabileceği ve CO₂ salımlarının azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aksiyel Fan, Enerji Etüdü, Enerji Verimliliği, Pompa, Soğutma Kulesi.

EFFECT OF PUMP AND AXIAL FANS OF COOLING TOWERS IN INDUSTRIAL FACILITIES ON ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

Cooling processes in industrial facilities constitute an significant part of total energy consumption. Increasing energy costs have become one of the most important factors that expound awereness of industrial facilities on energy efficiency. Cooling towers are the equipments with considerable energy consumption in facilities which need cooling. In this study, energy efficiency practices on cooling towers used in different sectors of the industry.

In this thesis, it has been determined that 23.13% energy saving was achieved by replacing 8 fan blades made of aluminum with high efficiency fan blades made of epoxy fiber glass on 4 different water cooling towers of the facilities in tire, glass and iron steel industries. It was been determined that 41.85% energy saving was achieved by replacing 4 centrifugal type circulation pumps located in 2 different water cooling towers of the facility in tire industry with more efficient pumps. It has been determined that 27.22% energy saving was achieved by controlling the pump group consisting of 3 centrifugal pumps with a multi-pump frequency driver and automation system in iron steel industry. It has been concluded that energy savings can be achieved and CO₂ emissions can be reduced through the improvements on the fan blades and pump systems of cooling towers in industrial facilities.

Keywords: Axial Fan, Energy Audit, Energy Efficiency, Pump, Cooling Tower.

1. GİRİŞ

Dünyada nüfusun hızla artması, sanayileşmenin yaygınlaşması ve teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacını arttırmaktadır. Enerji talebindeki artış küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir.

Dünyada enerji tüketiminin %87'si fosil yakıtlardan, %7'si nükleer enerji kaynaklarından ve %6'sı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Rühl, 2008).

Fosil yakıt kaynaklarının azalması, bu kaynakların kullanımıyla ortaya çıkan sera gazlarının küresel ısınmaya ve iklim değişikliklerine sebep olması enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için alternatif çözümler aranmasını gerektirmektedir. Enerji konusunda arz talep dengesinin sağlanabilmesi için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji verimliliği konuları, yıllar içinde önemini arttırmıştır. Enerji verimliliği çalışmalarıyla yeni teknolojiler veya iyileştirme yöntemleri kullanılarak ürün/hizmet kalitesinden ve yaşam standartlarından ödün vermeden ürün başına enerji tüketimleri azaltılabilir.

Türkiye, enerjisinin yaklaşık %70'ini ithal etmektedir. Bu sebeple mevcut enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasıyla enerjideki dışa bağımlılığımızı azaltmak hedeflerimiz arasında yer almalıdır.

2017 yılında Türkiye'deki enerji tüketimlerinin sektörel dağılımları incelendiğinde sanayi sektörünün %31 ile en büyük paya sahip olduğu, elektrik tüketiminin ise yaklaşık %46'sının endüstriyel işletmelerde olduğu görülmektedir (URL-1). Sanayi sektörünün en fazla mali giderlerinden biri de enerjidir. Enerji maliyetlerinin her geçen gün artması beraberinde ürün maliyetlerini de arttırmaktadır. Sanayi sektöründe enerjinin verimli kullanılmasıyla üretim maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilir. Sanayide üretim maliyetlerinin azaltılması işletmelerin karlılığını ve rekabet gücünü arttırmaktadır.

Türkiye'de sanayide enerji yoğun prosesler basınçlı hava prosesleri, ısıtma prosesleri ve soğutma prosesleri olarak sıralanabilir. Demir çelik, kimya, petrokimya, enerji üretimi, cam, otomotiv gibi neredeyse tüm sektörlerde soğutma ihtiyacı bulunmaktadır. Sanayide soğutma ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılan en yaygın ekipmanlar soğutma kuleleridir. Bu sebeple soğutma kuleleri, sanayide enerji verimliliği çalışmalarında önceliklendirilmesi gereken ekipmanların başında gelmektedir.

Bu tez çalışmasında endüstriyel işletmelerde kullanılan su soğutma kulelerinin çeşitlerine, performanslarını etkileyen parametrelere ve farklı sektörlerdeki soğutma kulelerinde uygulanmış enerji verimliliği çalışmalarına yer verilmiştir.

Bu çalışmada otomobil lastiği, cam ve demir çelik sektörlerinde kullanılan farklı fan kanat çaplarına ve elektrik motoru güçlerine sahip toplam 8 adet soğutma kulesi fan kanatlarının özel tasarım epoksi fiber glass fan kanatları ile değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir.

Otomobil lastiği sektöründe kullanılan 2 adet aktif, 2 adet yedek olmak üzere 4 adet sistem verimi ideal seviyelerden düşük olan santrifüj kule pompasının daha verimli santrifüj pompalarla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir.

Demir çelik sektöründe kullanılan 3 adet kule pompasından oluşan pompa grubuna frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulamasıyla sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir.

Çalışmada bilgi gizliliği sebebiyle işletmelerdeki ekipmanlar A, B, C, D olarak adlandırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Enerji Verimliliği

EİE tarafından enerji verimliliği; üretim miktarını ve kaliteyi düşürmeden, iktisadi kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden tüketilen enerji miktarının en aza indirilmesi şeklinde tanımlanmıştır (Narin ve Akdemir, 2006). Enerji tüketim noktalarındaki kayıpların önlenmesi, atıkların ve/veya atık enerjinin geri kazanılarak değerlendirilmesi, teknolojinin gelişmesiyle daha verimli sistemler kullanılarak üretim miktarında kayıp yaşanmadan enerji tüketimlerinin azaltılması enerji verimliliğinin kapsamına girmektedir (Narin ve Akdemir, 2006).

Türkiye'nin enerji yoğunluğunun 2023 yılına kadar 2011 yılına göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir. Bu sebeple ülkemizde enerjinin en fazla kullanıldığı sektör olan sanayide enerji verimliliği çalışmalarının yapılması son derece önemlidir. Sanayide enerji verimliliğinin sağlanması ile kaynakların verimli kullanılması ve küresel ısınmaya sebep olan çevresel etkilerin azaltılması mümkündür. Sanayi işletmelerinde enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenebilmesi ve enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için enerji etütlerinin yaptırılması, enerji izleme sistemlerinin kurulması ve kullanılması, enerji tüketimlerinin takip edilmesi, yeni teknolojilerin kullanılması, uygulamaların çevresel faktörlere ve iklim şartlarına göre yapılması gibi birçok yol izlenebilir.

Endüstriyel işletmelerde yapılan enerji etüt çalışmaları, işletmelerin %95'inde %5-40 enerji tasarrufu potansiyeli olduğunu göstermektedir. Bunun yanında işletmelerde yatırımsız veya düşük yatırımlı uygulamalarla %10 enerji tasarrufu sağlanmasının mümkün olabileceği belirlenmiştir (Ünlü, 2009).

İşletmelerin enerji etüdü çalışmalarını yaptırması ve enerji tasarruf potansiyeli belirlenen uygulamaların hayata geçirilmesi ile enerjinin daha verimli kullanılabileceği bilinmektedir. Enerji verimliliği konusunda işletmelerde her konumdaki çalışanların bilinçlendirilmesi ve enerji verimliliği çalışmalarının sürekliliği uzun vadede çevresel ve ekonomik anlamda olumlu sonuçlar verecektir.

2.2. Literatür Taraması

Soğutma kuleleri yaygın kullanılan ekipmanlar olduğundan literatürde soğutma kuleleriyle ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bölümde soğutma kulelerinin performansı ve verimliliği ile ilgili daha önce yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Bu tez çalışmasıyla ulaşılan sonuçlarla soğutma kulelerinin performanslarının ve verimlerinin iyileştirilebilmesi için yapılan çalışmaların güçlendirilmesi ve literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Şengil, çalışmasında su soğutma kuleleri üzerinde bazı değişiklikler yaparak kulenin verimini arttırmayı amaçlamıştır. Bu konuda değişiklik yapılabilecek kule parçalarını; fan, dolgu, soğutma suyu pompası işletme suyu pompası olarak öngörmüştür. Ayrıca ortam ve sistem şartlarındaki değişikliklerle de kule veriminin arttırılabileceğini belirtmiştir. Bu deneysel çalışma kapsamında ortam şartları olarak yaş termometre sıcaklığı, sistem şartı olarak ise işletme suyu giriş sıcaklığı, devir daim pompası, fan motoru frekanslarında değişiklikler yaparak verimleri incelemiştir. Su sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda pompa ve fan motor devirlerinin frekans sürücüsü ile ayarlanmasıyla verimliliğin arttırılabileceği sonucuna varmıştır. Çalışma kapsamında dolgu ve eşanjör sıra sayısında değişiklikler yaparak verime olan etkilerini incelemiştir. Soğutma kulesinde dolgu ve eşanjör sıra sayısının arttırılmasının verimi arttırdığı sonucu ortaya koymuştur. Soğutma kulelerinde maksimum alan kullanımı kule verimini arttırdığından eşanjör sıra sayısının arttırılmasıyla %10 verim artışı, dolgu sıra sayısının arttırılmasıyla %3 verim artışı sağlanmıştır (Şengil, 2019).

Zengin, çalışmasında soğutma kulelerinde dolgu yüksekliğindeki değişikliklerin performansa etkisini deneysel olarak incelemiştir. PVC yapraklı çapraz film tipi dolgu blokları 1.500 mm'den 2.400 mm'ye kadar 4 farklı dolgu yüksekliğinde yaptığı performans testleriyle dört farklı yükseklikteki dolgunun ampirik hesaplama katsayılarını belirlemiştir. Performansı en düşük olan 1.500 mm'lik dolgu, en yüksek olan 2.400 mm'lik dolgu olmuştur. Bu çalışmayla soğutma kuleleri dizaynında dolgu yüksekliğinin performansla doğru orantılı arttığı, fakat bu artışın hava tarafındaki direnci arttırdığı sonucuna varmıştır (Zengin, 2019).

Tukta, çalışmasında Merkel metodunu kullanarak iki farklı hatve ve iki farklı yükseklik değerindeki PVC film tipi dolgu malzemelerinin performanslarını incelemiştir. Bu çalışmayla dar hatveye ve daha büyük yüksekliğe sahip dolgu malzemesinin soğutma yeteneğinin diğer dolgu malzemelerine göre daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca hem dar hem geniş hatveli dolgu malzemeleri için dolgu yüksekliğinin artmasının performansı olumlu etkilediği sonucuna varmıştır. Soğutma kulelerinde kullanılan dolgu malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak belirli şartlardaki suyu soğutmak için gereken hava debisi ve hava tarafı basınç düşümü değeri değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada soğutma kulelerinde doğru dolgu malzemesi seçimiyle azımsanmayacak parasal tasarrufların sağlanabileceği sonucunu ortaya koymuştur. Ayrıca alanın sınırlı olduğu soğutma kulesi uygulamalarında daha küçük bir oturma alanında aynı soğutmayı sağlayacak dar hatveli dolgu malzemelerinin tercih sebebi olacağını belirtmiştir. Kule oturma alanının sorun olmadığı uygulamalarda daha geniş hatveli dolgu malzemeleri düşük işletme maliyeti sayesinde tercih sebebi olabilmektedir. Ayrıca bu çalışma belirli şartlardaki suyun soğutulması için gerekli hava debisinin, kuledeki hava tarafı basınç düşümü değerlerinin hesaplanabilmesiyle doğru soğutma kulesi seçiminin yapılabilmesi konusunda literatüre önemli katkılar sağlamıştır (Tukta, 2019).

Gül, çalışmasında ters akımlı soğutma kulelerinde farklı sıcaklık ve debilerdeki havanın ve suyun akışını deneysel olarak inceleyerek en etkin çalışma aralığını bulmayı amaçlamıştır. Çalışma kapsamında 80 adet plakadan oluşan üç farklı dolgu malzemesi ile farklı koşullarda 129 adet deney yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda soğutma kulelerinde en yüksek etkinliği elde edebilmek için hava debisinin arttırılması ve su debisinin azaltılması gerektiği sonucunu ortaya koymuştur. Fakat bu durumun mevcut soğutma yükünü karşılayamayacağını ve daha büyük fanların kullanımını gerektireceğini belirtmiştir. Çalışma kapsamındaki deneyler sonucunda metal dolgu malzemelerin diğer dolgu malzemelerine göre daha etkin olduğunu tespit etmiştir. Fakat metal dolgu malzemelerin paslanma özelliği sebebiyle kısa ömürlü olduğu sonucuna varmıştır. Bu sebeple paslanmaya karşı dirençli, etkinliği metal malzemeye yakın alüminyum dolgu malzemelerin tercih edildiği belirtmiştir. PVC dolgu malzemelerin etkinliğinin metal ve alüminyuma yakın olması, üretim maliyetlerinin alüminyuma göre düşük olması gibi sebeplerle PVC dolgu malzemelerin tercih edildiği sonucunu ortaya koymuştur (Gül, 2012).

Dalkıran, kapalı çevrim su soğutma kulesini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir ve Engineering Equation Solver (EES) yazılımı ile termodinamik model oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında tasarlanan prototip soğutma kulesi havuz, ısı değiştirici, dolgu, sprey dağıtım ve fan bölümü olarak 5 bölümden oluşmaktadır. Bu çalışmayla ısı değiştiricinin çapraz bağlanmasıyla kapasitenin %10 arttırıldığı sonucuna varmıştır. Dolgu malzemesinin ısı değiştiricinin altı yerine üzerine yerleştirilmesiyle soğutma kapasitesinin daha da arttığı sonucuna varmıştır. Çapraz bağlantı ile dolgu malzemesinin bir arada kullanılmasıyla düz bağlantıya oranla %13,50 kapasite arttırımı sağlandığını belirlemiştir. Bunun yanında yaş termometre sıcaklığının artmasının kapasiteyi düşürdüğünü ve su çıkış sıcaklığını arttığını tespit etmiştir. Yaş termometre sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda kuledeki hava hızının, kule içindeki basınç farkının ve soğutma aralığının arttırılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır (Dalkıran, 2019).

3. SOĞUTMA KULELERİ

Su soğutma kuleleri, sistemden ısınarak gelen suyun küçük bir kısmını buharlaştırıp atmosfere atarak suyu soğutan, gerekli sıcaklığa kadar soğumuş suyu ise kullanılması için alttaki tankta biriktiren ısı atma üniteleridir.

Soğutma kuleleri enerji santrallerinde, sanayinin birçok alanında, soğutma ve iklimlendirme endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Termik santraller gibi büyük tesisler için çok büyük kapasitelerde tasarlanabilen soğutma kuleleri, farklı sanayi kolları için orta ve küçük kapasitelerde de dizayn edilebilmektedir.

Sanayide faaliyet gösteren birçok sektörde proseslerden uzaklaştırılması gereken ısı bulunmaktadır. Proseslerdeki ısının uzaklaştırılabilmesi için soğutucu yoğusturucularından veya ısı eşanjörlerinden ısıyı uzaklaştırmak için su, ısı transfer aracı olarak kullanılmaktadır (ASHRAE, 2000).

Soğutma kulelerinin tarihsel gelişimi incelendiğinde birçok tipte soğutma kulesi olduğu görülmektedir. Fakat en yaygın kullanılan soğutma kuleleri, suyun kuleye üst kısımdan girerek aşağı yönde aktığı ve hava akışının ise kulenin üstüne konumlanan fan vasıtasıyla sağlandığı soğutma kuleleridir.

3.1. Soğutma Kulelerinin Çalışma Prensibi

Soğutma kulesine transfer edilen su, su dağıtım sistemi ve fiskiyeler vasıtasıyla yukarıdan aşağıya doğru damlacıklar halinde ve homojen olarak dolgu malzemelerinin üzerine püskürtülmektedir (Gül, 2012).

Dolgu malzemeleri, soğutulmak istenen suyun yüzey alanını arttırmakta ve suyun atmosfer havası ile daha uzun süre ısı alışverişi gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Atmosfer havası, fan yardımıyla dolgu malzemesi üzerinden aşağıdan yukarıya doğru transfer edilmektedir. Dolgu malzemesinin altından yukarı doğru hareket eden sıcaklığı ve entalpisi düşük, neme doymun olmayan atmosfer havası, üzerine nem alabilmek için bir miktar suyu buharlaştırmaktadır. Buharlaşıma esnasındaki enerji transferi sayesinde suyun soğutulması sağlanmaktadır. Soğutma kulesinin girişinde sıcaklığı ve entalpisi yüksek olan su, soğutulduktan sonra havuzlarda toplanmaktadır.

Atmosfer havası ise neme doygun bir şekilde kulenin üstündeki fan vasıtasıyla bacadan atmosfere transfer edilmektedir (Kröger, 2004).

Buharlaşıyan su atmosfer havasına nem olarak girerek, havanın özgül neminin ve bağıl neminin artmasına neden olmaktadır. Teorik olarak soğutma kulesinde su, en fazla atmosfer havasının yaş termometre sıcaklığına kadar soğutulabilmektedir. Pratikte ise soğutma kulesinde su, atmosfer havasının yaş termometre sıcaklığının 4 – 5 °C üzerindeki sıcaklığa kadar soğutulabilmektedir (Kara, 2010).

Soğutma kulelerinde suyun soğutulması prosesinde ısı ve kütle transferi gerçekleşmektedir. Termodinamik kanunlarına göre buharlaşan her bir gram suyun buharlaşabilmesi için yaklaşık 540 kalori enerji gerekmektedir. Bu yaklaşımla; soğutulmak istenen suyun her 6 °C soğuması için toplam su debisinin neredeyse %1'inin buharlaşması gerekmektedir (Gül, 2012). Soğutma kulesinde buharlaşma ile su kaybedildiği gibi boşaltım havası ile sürüklenme ile ve su kalitesinin korunabilmesi için gerçekleştirilen blöf ile de su kayıpları yaşanmaktadır (ASHRAE, 2000).

Soğutma kulelerinde atmosfer havasının üzerine aldığı ve soğutma suyunun buharlaşmak için ortama verdiği enerji miktarları eşittir. Bu eşitlik soğutma kulelerindeki ısı transfer denkleğinin temelini oluşturmaktadır. Kulede eksilen su miktarı, buharlaşan ve damlacık şeklinde sıvı fazla kaybedilen su miktarlarının toplamına eşittir. Bu eşitlik soğutma kulelerindeki kütle transfer denkleğinin temelini oluşturmaktadır. Soğutma kulelerinde çevrimdeki su miktarının yaklaşık %1-3'ü buharlaşmaktadır (Kröger, 2004).

Soğutma kulesinin ısı performansı giren havanın yaş termometre sıcaklığıyla ilgilidir. Giren atmosfer havasının bağıl nemi ve kuru termometre sıcaklığı, soğutma kulesi içindeki su buharlaşma oranını etkilemektedir (Gül, 2012).

3.2. Soğutma Kulesi Terimleri

Hava Debisi: Hava debisi, soğutma kulelerinde suyun soğutulması için atmosferden fanlar vasıtasıyla veya doğal yollarla sağlanan toplam debiyi ifade etmektedir.

Hava Hızı: Hava hızı, soğutma kulesine giren atmosfer havasının birim zamanda aldığı yolu ifade etmektedir.

Soğutma kulelerinin tasarımında kuledeki direnç noktaları olan panjurlarda, dolgu malzemesinde, damla tutucularda ve kule bacasında havanın çizgisel hızı önemlidir (Zengin 2019).

Su Debisi: Su debisi, soğutma kulelerine birim zamanda gelen soğutulmak istenen su miktarını ifade etmektedir.

Sıcak Su Sıcaklığı: Sıcak su sıcaklığı, soğutma kulelerine soğutulmak amacıyla giren suyun suyun sıcaklığını ifade etmektedir.

Soğuk Su Sıcaklığı: Soğuk su sıcaklığı, soğutma kulelerinde soğutularak havuzda biriktirilen suyun sıcaklığını ifade etmektedir.

Sıcaklık Farkı: Sıcaklık farkı, soğutma kulesine gelen su ile çıkan su sıcaklığı arasındaki farkı ifade etmektedir.

Kuru Termometre Sıcaklığı: Haznesinin etrafı kuru ve hava ile temas eden termometre ile ölçülen hava sıcaklığına kuru termometre sıcaklığı denir (Çınar A., 2007).

Yaş Termometre Sıcaklığı: Yaş termometre sıcaklığı, hava neme doyana kadar havadaki suyun adyabatik buharlaşmasıyla elde edilen en düşük sıcaklığa denir. Yaş termometre sıcaklığı, kule dizaynındaki en önemli değişkenlerden biridir. Yaş termometre sıcaklığı, teorik olarak suyun kulede düşürülebileceği minimum sıcaklığı ifade eder. Soğutma kulelerinde farklı etkiler sebebiyle bazı verimsizlikler olduğundan su, yaş termometre sıcaklığına belirli bir miktarda yaklaşabilmektedir (Black & Veatch, 1996).

Bağıl Nem: Bağıl nem, havanın içindeki su buharı miktarının aynı sıcaklıkta havada bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranıdır. Havanın bağıl nemi 0 ve 1 arasındadır (Çengel ve Boles, 2012).

Yaklaşım: Soğuk su sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığı arasındaki farka yaklaşım denir. Yaklaşım düşükse soğutma işlemi zorlaşmakta ve daha büyük kapasitelerdeki ürünlere ihtiyaç duyulmaktadır (Zengin, 2019).

Soğutma Kapasitesi: Soğutma kulelerinin kapasitesi, kulelerin soğutabileceği su debisi ya da ısı transferi kapasitesidir.

Egzoz Havası: Egzoz havası, soğutma kulesinden çıkan sıcaklığı ve nemi yüksek havayı ifade etmektedir.

Buharlaştırma Kaybı: Buharlaştırma kaybı, su soğutulurken ısı transferi esnasında buharlaşarak kuleyi terk eden su buharı miktarını ifade etmektedir.

Besleme: Besleme, soğutma kulelerinde kaybedilen suyun kuleye takviye edilmesi işlemini ifade etmektedir.

pH: pH, soğutma kulesindeki soğutulmak istenen suyun asitlik veya bazlık derecesini ifade etmektedir. Soğutma kulelerinde suyun pH'ının 8 – 9,5 arasında olması istenmektedir (Uzunlar, 1998).

Blöf: Soğutma kulesindeki suyun içerisindeki mineral oranı yüksek ise bu durum kulede olumsuzluklara sebep olabilmektedir. Suda bulunan silikat gibi iyonlar kristalize olarak kule performansını düşürebilir veya kule ekipmanlarında hasarlar meydana getirebilir. Soğutma kulelerinde suyun buharlaşması ile sudaki eriyik madde oranı yükselmektedir. İletkenliği yüksek suyun kuleden atılması işlemine blöf adı verilmektedir. Suyun iletkenliğinin kontrol altında tutulabilmesi için sık sık blöf yapılması yerine sisteme taze su eklenmesi işletmelerde daha sık uygulanan bir yöntemdir (Burkut, 1995).

Basma Yüksekliği: Soğutma kulelerinde soğutulmak istenen su, pompalar kullanılarak iletilmektedir. Kule dizayn edilirken pompanın emme ve basma hatlarındaki statik basınç farkının bilinmesi ve bu değere uygun şekilde pompa seçilmesi gerekmektedir. Kulelerde soğutulmak istenen su, genellikle üst kottan girmektedir. Bu durum pompanın suyu transfer etmesine direnç sağlamaktadır. Bu değere basma yüksekliği denir. Kule pompaları seçiminde fışkiyelerin meydana getireceği basınç kaybının da dikkate alınması gerekmektedir (Zengin, 2019).

Su Yüğü: Su yüğü, soğutma kulelerinde dolgu malzemeleri üzerine püskürtülen suyun 1 metre karedeki debisini ifade etmektedir (Zengin, 2019).

L/G Değeri: L/G değeri “liquid” ve “gas” terimlerini ifade etmektedir. L/G değeri, soğutma kulelerinde 1 kg hava ile soğutulan su miktarıdır. Kule dolgu malzemesi değiştirilerek L/G değeri de değiştirilebilir (Zengin, 2019).

Havuz: Soğutma kulelerinde soğutulan suyun depolandığı yer havuz olarak adlandırılmaktadır.

3.3. Soğutma Kulelerinin Çeşitleri

İşletmelerde soğutma maliyetlerinin düşürülmesi, çevreye daha az zarar veren su soğutma proseslerinin kullanılması, enerji verimliliğinin artırılması gibi farklı gerekliliklerle çeşitli soğutma kuleleri tasarlanmıştır. Bu sebeple endüstriyel tesislerde farklı tiplerde soğutma kuleleri kullanılmaktadır.

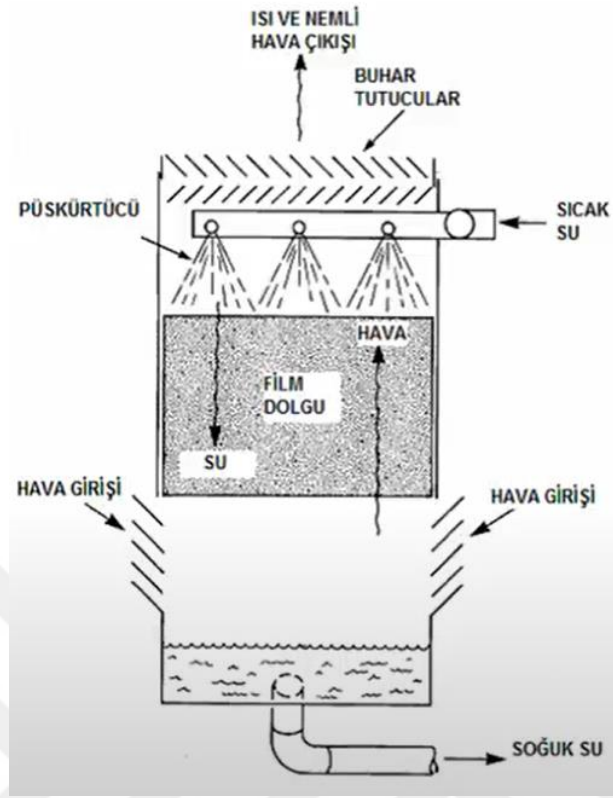
Soğutma kulelerini temas durumuna göre soğutma kuleleri, hava akımının türüne göre soğutma kuleleri, hava akımının yönüne göre soğutma kuleleri olmak üzere üç başlıkta incelenebilir.

3.3.1. Temas Durumuna Göre Soğutma Kuleleri

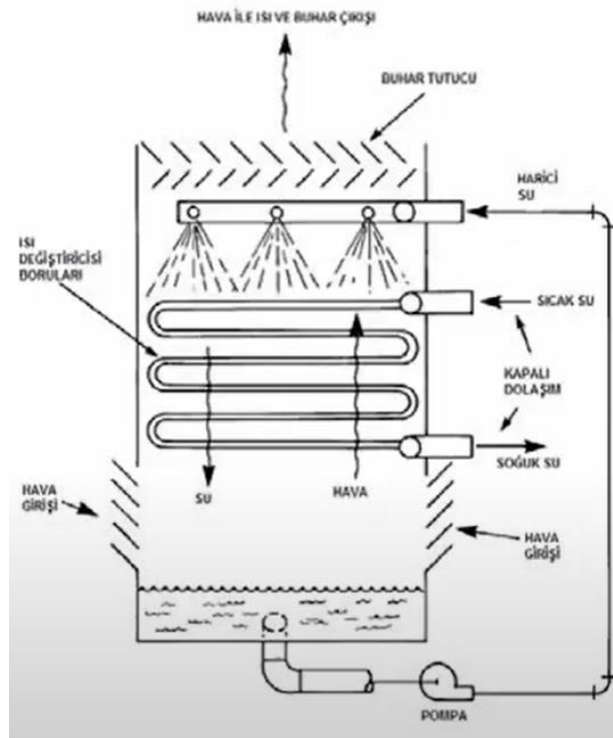
Temas durumuna göre soğutma kuleleri, açık çevrim (ıslak tip) soğutma kuleleri ve kapalı devre soğutma kuleleri olmak üzere iki temel tipte sınıflandırılmaktadır.

Açık çevrim soğutma kulelerinde soğutulmak istenen su, su dağıtım sistemine transfer edilmektedir. Su, fiskiyeler vasıtasıyla dolgu malzemesinin üzerine dağıtılmaktadır (URL-2). Açık çevrim soğutma kulelerinde su, doğrudan soğutma havasıyla temas etmekte ve böylelikle ısı yükü direkt olarak havaya transfer edilmektedir (ASHRAE, 2000).

Kapalı devre soğutma kulelerinde soğutulmak istenen su serpantinlerin içinde bulunmaktadır. Atmosfer havası ile açık çevrimde ısı transferi sağlayan kule suyu, serpantin içinde bulunan suyu soğutmaktadır. Soğutulmak istenen su serpantinlere pompalar vasıtası ile transfer edilmektedir. İşletme suyu soğutulurken açık hava ile temas etmemesi gerekliyse kapalı devre soğutma kuleleri tercih edilmektedir. Kapalı devre soğutma kulelerinde serpantinler ısı transfer yüzeyi olduğundan serpantinlerin malzemesi, ısı transfer katsayısı, ömrü, maliyeti gibi faktörler oldukça önemlidir. Açık çevrim soğutma kulesi çalışma sistemi Şekil 3.1’de, kapalı devre soğutma kulesi çalışma sistemi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Açık çevrim soğutma kulesi çalışma sistemi (URL-3)



Şekil 3.2. Kapalı devre soğutma kulesi çalışma sistemi (URL-3)

3.3.2. Hava Akımının Türüne Göre Soğutma Kuleleri

Hava akımının türüne göre soğutma kuleleri, cebri çekişli/itişli soğutma kuleleri ve doğal çekişli soğutma kuleleri olmak üzere iki temel tipte sınıflandırılmaktadır. Cebri çekişli/itişli soğutma kulelerinde giren havanın akışı fanlar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Fanlar ihtiyaca göre santrifüj veya aksiyel tipte olabilmektedir. Fanlar giriş havası tarafında konumlandırılmışsa cebri itişli soğutma kulesi, çıkış havası tarafında konumlandırılmışsa cebri çekişli soğutma kulesi olarak adlandırılmaktadır (ASHRAE, 2000).

Cebri itişli soğutma kulelerinde radyal fanlar veya aksiyel fanlar kullanılabilir. Aksiyel fanlı cebri itişli soğutma kulelerinde atmosfer havası direkt olarak aksiyel fan ile kuleye girerek yukarı doğru hareket etmekte ve kulenin çıkışında bulunan damla tutuculardan sonra atmosfere transfer edilmektedir. (ASHRAE, 2000). Radyal fanlı cebri itişli soğutma kulelerinde atmosfer havası direkt olarak radyal fan ile kuleye girerek yukarı doğru hareket etmekte ve kulenin çıkışında bulunan damla tutuculardan sonra atmosfere transfer edilmektedir. (ASHRAE, 2000).

Cebri çekişli soğutma kulelerinde hava panjurlarından giren atmosfer havası, su soğutma prosesini tamamladıktan sonra kulenin üzerinde bulunan fan vasıtasıyla atmosfere transfer edilmektedir. Cebri çekişli soğutma kuleleri, yağmur, rüzgar gibi dış hava koşullarından çok fazla etkilenmemektedir. Cebri çekişle sağlanan yüksek basınç farkı sayesinde neredeyse sabit bir hava debisi sağlanabilmektedir. Soğutma kulelerinin su soğutma performansı, kule içine transfer edilen havanın debisiyle doğrudan ilgili olduğundan bu tip kulelerde performans çok fazla değişmemektedir. Soğutma kulesindeki ısı yükünün değişkenlik gösterdiği zamanlarda fan devrinin ayarlanmasıyla soğutma ihtiyacının karşılanması sağlanabilmektedir. Cebri çekişli/itişli soğutma kuleleri, doğal çekişli kulelere oranla daha az yer kaplayan tasarımlara sahiptir. Fakat cebri itişli/çekişli soğutma kulelerinde mekanik gruplar enerji tüketmekte ve periyodik bakımlar gerektirmektedir. Cebri itişli/çekişli soğutma kuleleri düşük yatırım maliyetli, yüksek işletme maliyetli su soğutma kuleleridir denebilir (ASHRAE, 2000). Aksiyel fanlı cebri çekişli soğutma kulesi görünümü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Aksiyel fanlı cebri çekişli soğutma kulesi görünümü (URL-4)

Doğal çekişli soğutma kulelerinde hava debisi, ısınmış ve nem oranı artmış çıkış havası ve ortam havası arasındaki yoğunluk farkının etkisiyle sağlanmaktadır. Doğal çekişli soğutma kuleleri genellikle uzun vadeli yatırımlarda, özellikle büyük güç santrallerinde tercih edilmektedir. Doğal çekişli soğutma kuleleri, iklim koşullarından etkilendiğinden işletmelerde doğal çekişli soğutma kuleleri mekanik çekişli soğutma kuleleriyle yedeklenmektedir. Bu sayede doğal çekişli kuledeki herhangi bir sebepten kaynaklanan performans dalgalanmaları/düşüşleri yaşandığında mekanik çekişli kuleler devreye girerek üretim kayıpları önlenmektedir (ASHRAE, 2000). Doğal çekişli soğutma kulesi görünümü Şekil 3.4’te verilmiştir.



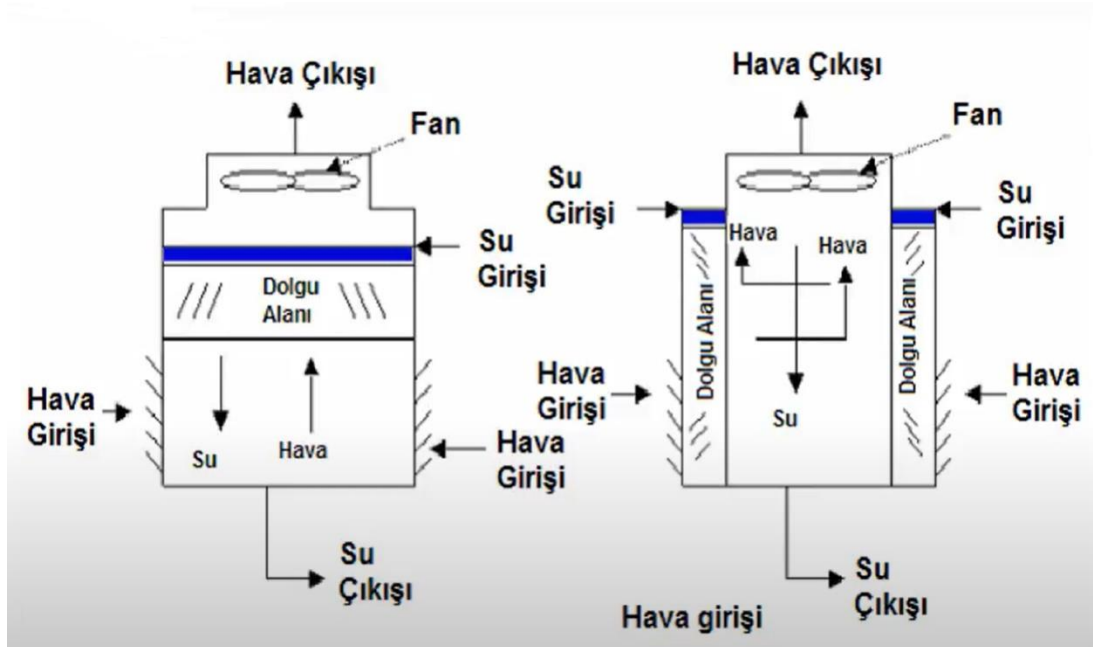
Şekil 3.4. Doğal çekişli soğutma kulesi görünümü (URL-5)

3.3.3. Hava Akımının Yönüne Göre Soğutma Kuleleri

Hava akımının yönüne göre soğutma kuleleri, karşı akışlı soğutma kuleleri ve çapraz akışlı soğutma kuleleri olmak üzere iki temel tipte sınıflandırılmaktadır.

Karşı akışlı soğutma kulelerinde soğutulmak istenen su; yerçekimi etkisiyle yukarıdan aşağı hareket ederken, hava ise aşağıdan yukarı hareket etmektedir. Hava, kulenin alt bölümündeki hava giriş panjurlarından kuleye girmekte, 90 derece dönmekte ve hava ile su arasında ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği dolgu bölümünden yukarı doğru hareket etmektedir (Black & Veatch, 1996).

Çapraz akışlı soğutma kuleleri, suyun yukarıdan aşağı hareket ederken hava akımının yatay yönde olduğu dolgu yapısına sahiptir. Çapraz akışlı soğutma kulelerindeki dolgu malzemesi, hem yatayda hem de dikeyde akışkan geçişine izin veren bir yapıya sahiptir. Sıcak su yukarıdan aşağıya hareket ederken atmosfer havası ise dışarıdan içeriye doğru hareket etmektedir (Tukta, 2019). Hava, yanlardaki hava giriş panjurlarından içeri girip, yönünü değiştirmeden dolgu ve damla tutuculardan geçerek bir fan vasıtasıyla atmosfere transfer edilmektedir. Karşı akışlı ve çapraz akışlı soğutma kulelerinin çalışma sistemi Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Karşı akışlı ve çapraz akışlı soğutma kulelerinin çalışma sistemi (URL-6)

3.4. Soğutma Kulelerinde Kullanılan Ekipmanlar

Farklı tasarımlarda soğutma kuleleri olsa da genel olarak kullanılan ekipmanlar benzerdir. Soğutma kulelerinde genel anlamda su dağıtım sistemi, damla tutucular, dolgu malzemesi, soğuk su toplama havuzu, hava giriş panjuru, dış kaplama ve taşıyıcı yapı, fan, pompa ve elektrik motoru bölümleri bulunmaktadır.

Su Dağıtım Sistemi: Su dağıtım sistemi, soğutulmak istenen suyun dolgu malzemesinin üzerine homojen bir şekilde püskürtülmesi için kullanılan mekanik sistemi ifade etmektedir. Soğutulmak istenen suyun dolgu üzerine homojen olarak dağıtılması, kulenin etkinliği açısından oldukça önemlidir. Su dağıtım sistemlerinde ana ve ara dağıtım boruları, spreyleme nozulları ve vanalar bulunmaktadır. Sıcak su dağıtım sistemi görünümü Şekil 3.6’da verilmiştir.



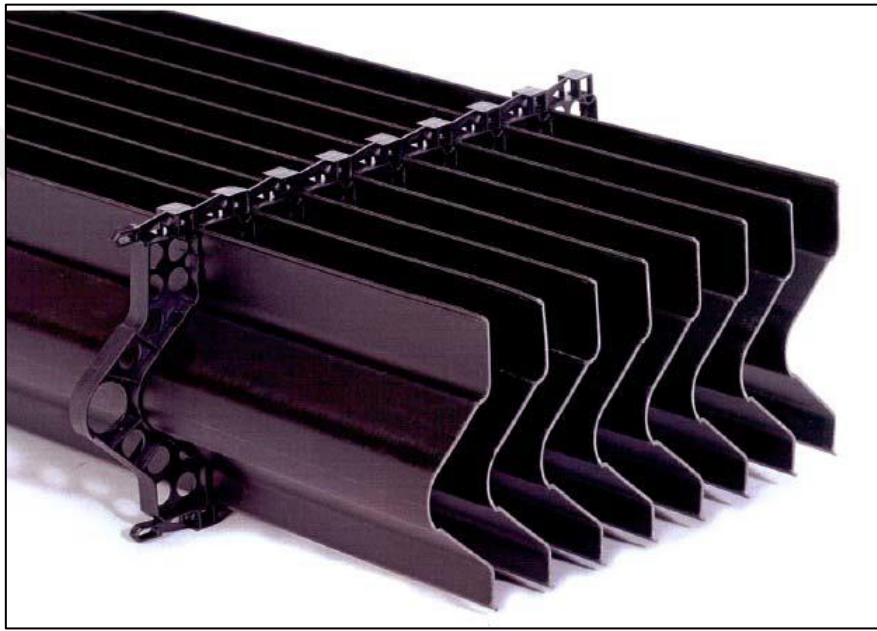
Şekil 3.6. Sıcak su dağıtım sistemi görünümü (URL-7)

Fıskiyeler (spreyleme nozulları) sıcak suyu dağıtım sistemleriyle beraber suyu belirli basınç ve debide dolgu üzerine püskürtmek amacıyla kullanılmaktadır. Soğutma kulesi spreyleme nozulları örnekleri Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Soğutma kulesi spreyleme nozulları örnekleri (Zengin, 2019)

Damla Tutucular: Soğutma kulelerinde havaya karışarak sürüklenen su damlacıklarını kuleden çıkmadan yakalayarak sisteme geri döndürmek için kullanılan ekipmanlara damla tutucu denir (Black & Veatch, 1996). Soğutma kulelerinde damla tutucuların kullanılmasıyla çevrim suyunun sürüklenerek kuleyi terk etmesi engellenmekte, böylelikle su tüketiminin azaltılmasını sağlamaktadır. Ayrıca damla tutucular, çevrim suyunun şartlandırılması için eklenen kimyasal miktarının azaltılmasında ve çevreye kimyasal madde yayılımının engellenmesinde de etkilidir. Damla tutucu görünümü Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Damla tutucu görünümü (Encon Group, 2019)

Dolgu Malzemesi: Soğutma kulelerinde dolgular, ısı ve kütle transferinin yüksek miktarda gerçekleştiği bölümdür. Dolgu malzemesi üzerinde su ve hava için ayrı yollar bulunmaktadır. Soğutma kulelerinde dolgular, hava ve su arasındaki ısı transferi yüzey alanını ve süresini arttırarak suyun soğutulmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Dolgu malzemeleri, soğutma kulelerinin performansını direkt olarak etkileyen ekipmanlardır. Dolgu malzemelerinin ısı aktarımı özelliğinin yüksek olması, hava akımına karşı gösterdiği direncin düşük olması ve homojen su-hava dağılımı için uygun bir yapıda olması soğutma kulesinin verimli bir şekilde işletilebilmesi için oldukça önemlidir. Ayrıca dolgu malzemelerinin bozulmaya karşı yüksek dirençli olması, belirli bir seviyeye kadar buz yüklenmesine dayanıklı olması, uzun vadede ısı transferi özelliğini koruyabilmesi de önemlidir (Black & Veatch, 1996).

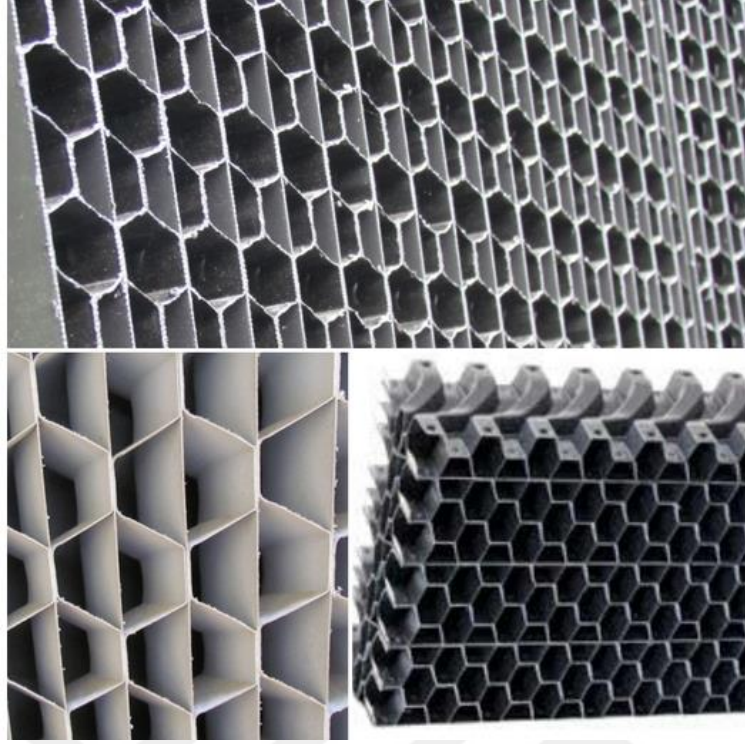
Soğutma kulelerinde çok farklı tasarımlarda ve materyallerde dolgu malzemeleri kullanılabilir. İşletmelerde en çok rastlanan dolgu malzemesinin PVC film tipi olduğu söylenebilir. İhtiyaca ve çalışma şartlarına göre farklı tiplerde dolgu malzemeleri de kullanılabilmektedir. Dolgu malzemesi örnekleri Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Dolgu malzemesi örnekleri (Encon Group, 2019)

Soğuk Su Toplama Havuzu: Soğutma kulelerinde soğutulan su, su havuzunda toplanmaktadır. Paslanmaz çelik, galvanizli çelik, GRP sıkça kullanılan su havuzu malzemeleridir. Soğutma kulelerinde su soğutulurken bir miktar su buharlaştığından sistemdeki su miktarı azalmaktadır. Taze su besleme şamandırası kullanılarak havuzdaki su seviyesi azaldığında sisteme taze su eklenmektedir.

Hava Giriş Panjuru: Hava giriş panjurları, kuleye soğutma havasının girdiği yapılardır. Hava giriş panjurlarından da sıçrama yoluyla su kayıpları gerçekleşebilmektedir. Hava giriş panjuru örnekleri Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Hava giriş panjuru örnekleri (URL-8)

Dış Kaplama ve Taşıyıcı Yapı: Soğutma kulelerinin ömrünü belirleyen en önemli faktörlerden biri dış kaplama ve taşıyıcı malzemelerdir. Soğutma kuleleri açık sistemler olduğundan ana gövde malzemelerinin dış ortam şartlarına dayanıklı olması önemlidir.

Soğutma kulelerinde beton, çelik ve türevleri, termoplastik malzemeler, cam elyaf takviyeli polyester malzemeler kullanılabilmektedir.

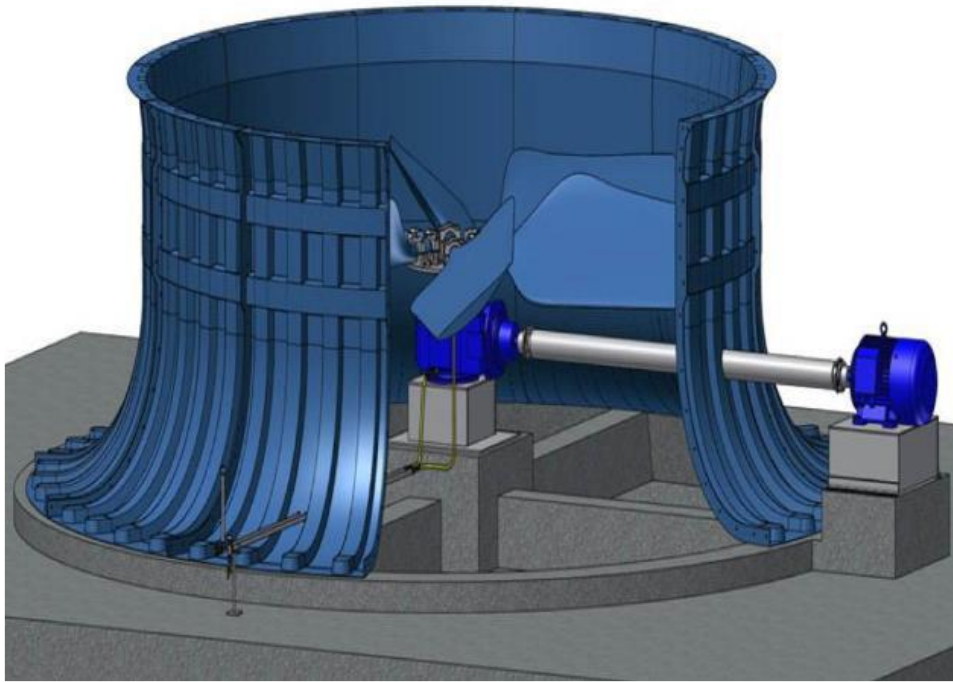
Fan: Fan, soğutma kulelerinde hava akımını elektrik motorundan alınan güç ile sağlayan ekipmandır. Endüstride kullanılan soğutma kulelerinde aksiyel fan kullanımının daha yaygın olduğu söylenebilir. Kule fanlarının kule dizaynında belirlenmiş olan hava debisini sağlayabilecek ve hava akışına az direnç oluşturabilecek şekilde seçilmesi önemlidir. Soğutma kulesinden atmosfere transfer edilen hava sıcak ve nemli olduğundan fanlarda korozyona dayanıklı malzemelerin kullanılması gerekmektedir.

Genellikle kule fanları kanatları ayarlanabilir olarak seçilmektedir. Fan kanat açıları mevsim koşullarına göre fan göbeğinin gevşetilmesiyle manuel olarak değiştirilebilmekte veya otomatik açı ayarlayan sistemler kullanılabilmektedir. Kış aylarında suyun soğutma ihtiyacı daha az olduğundan fan kanat açıları işletme şartlarına göre azaltılabilir (Cooling Tower Institute, 2011). Soğutma kulesi aksiyel fan görünüşleri Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Soğutma kulesi aksiyel fan görünümleri

Soğutma kulelerinde kullanılan aksiyel fanlar kanat, göbek, bağlantı elemanları ve kapak diski bölümlerinden oluşmaktadır. Fan kanatları, havayı ittiren ana bölümdür. Göbek ise fan kanatlarının bağlandığı bölümdür. Bağlantı ekipmanları, kanatlar ve göbeğin birbirlerine bağlanarak çalışma esnasında açının değişmemesini sağlamaktadır. Kapak diski, göbeğin orta bölümünden (merkezden) havanın resirkülasyon yapmaması amacıyla kullanılmaktadır (Zengin, 2019). Soğutma kulesi aksiyel fanındaki elektrik ve mekanik ekipmanlar Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Soğutma kulesi fanındaki elektrik ve mekanik ekipmanlar (Zengin, 2019)

Fan Bacası: Cebri çekişli aksiyel fanlı soğutma kulelerinde fan bacaları kullanılmaktadır. Fan bacası tasarımı, kule performansını etkileyen etmenlerden biridir. Soğutma kulelerinde fan, fan bacasının tam ortasında konumlandırılmalıdır. Ayrıca fanın altında ve üzerinde fan çapının en az %5'i kadar boşluk bırakılması kule performansı için önemlidir. Fan bacasının yüksekliğinin ideal seviyelerden fazla veya az olması da kule performansını olumsuz etkileyebilmektedir (Zengin, 2019). Fan bacası görünümü Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Fan bacası görünümü (Encon Group, 2019)

Pompa: Açık çevrim kulelerde pompalar, kulede soğutulan suyu soğuk su toplama havuzundan işletmeye, işletmede ısınan suyu kuleye iletmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca kapalı çevrim kulelerde soğutulmak istenen su serpantinlere pompa vasıtasıyla iletilmektedir.

Elektrik Motoru: Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ekipmanlardır. Elektrik motorları çalışırken elektrik enerjisinin bir kısmı mekanik enerjiye dönüşürken bir kısmı ısıya dönüşmekte ve bu durum elektrik motorlarının verimini düşürmektedir (Bodur, 2016). Soğutma kulelerinde elektrik enerjisini mil gücüne dönüştürerek fanın ve pompanın dönmesini elektrik motorları sağlamaktadır. Soğutma kulesi fanlarında ve pompalarında genelde üç fazlı asenkron motorlar kullanılmaktadır. Soğutma ihtiyacının değişkenlik gösterdiği işletmelerde elektrik motorlarının değişken hız sürücüsüyle kontrol edilmesi enerji verimliliği açısından önerilen bir uygulamadır.

4. SOĞUTMA KULELERİNDE AKSİYEL FANLARDA VE POMPALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

4.1. Soğutma Kulelerinde Aksiyel Fanlarda Enerji Verimliliği

Fanlar, havayı hareket ettirmek için basınç kaybı olarak tanımlanan sistem direncinin üstesinden gelmek zorundadır. Kule fan kanatlarında çoğunlukla alüminyum, termoplastik, GRP (cam elyaf takviyeli polyester) malzemeler kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiyle bu malzemelere daha iyi bir alternatif olarak epoksi fiber glass aksiyel fan kanatları geliştirilmiştir.

Epoksi fiber glass eksenel fan kanatları, aerodinamik kanat yapısı tasarımı sayesinde hava akışına daha az direnç göstererek soğutma kulelerindeki değişken debiyi karşılayabilmekte, %81-90 verim aralığında ve uzun yıllar boyunca etkinliğini kaybetmeden çalışabilmektedir (Encon Group, 2019). Epoksi fiber glass aksiyel fan kanatları görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Epoksi fiber glass aksiyel fan kanatları görünümü (Encon Group, 2019)

Optimum mukavemet, sağlamlık, dayanıklılık özellikleri, dış ortam koşullarına ve ultraviyole bozunmalara karşı direnç sağlayabilmek amacıyla yüksek dereceli epoksi reçine ve fiber glass kombinasyonu kullanılarak epoksi fiber glass fan kanatları üretilmiştir. Bu fan kanatları antikorozyon epoksi boyayla boyanmakta, soğutma kulelerinin sıcak ve nemli atmosferinde çalışırken aşınmayı önlemek için hücum kenarında ekstra kaplama yapılmaktadır. Epoksi fiber glass fan kanatları aşınmalara ve korozyonlara karşı dayanıklı malzemelerden imal edildiğinden diğer malzemelerden üretilmiş fanlara göre daha düşük bakım maliyetlerine sahiptir ve daha uzun ömürlüdür.

Fan kanatlarının yüzeylerinin epoksi boyayla boyanmasıyla ve hücum kenarlarında ekstra kaplama yapılmasıyla yüzey sürtünmeleri azaltılmakta ve bunun sonucunda soğutma kulelerinin ses seviyesi (gürültü) azaltılmaktadır. (Encon Group, 2019). Soğutma kulelerinde metal parça, gözeneklilik, hava boşluğu bulunmayan içi boş FRP (Fiberglass Reinforced Plastics, cam elyaf takviyeli plastik) fan kanatlarının kullanılması kulelerin verimli işletilmesinde oldukça etkilidir. FRP, alüminyuma oranla daha kolay şekil verilebilen bir malzeme çeşididir. FRP malzeme, alüminyuma göre daha kolay bir şekilde aerodinamik forma sokulabilmektedir. FRP fanların üretiminde kullanılan malzemeler, bu fanların korozyon etkilerine karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Örneğin nemli ortamlarda çalıştırılan alüminyum fan kanatları zamanla aşınabilmekte ve fan kanatlarının pürüzsüzlük formu bozulabilmektedir. Fakat nemli ortamlarda çalıştırılan FRP fanlar nemden etkilenmemekte ve uzun yıllar yüksek verim ile çalıştırılabilmektedir. Epoksi fiber glass aksiyel fan görünümü Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Epoksi fiber glass aksiyel fan görünümü (Encon Group, 2019)

Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarında dinamik balans, statik balans ve yüklenme testleri yapılarak fan kanatlarının çalışma aralıkları belirlenmektedir. Fan kanatları, çalışma esnasında sabit veya değişken yük etkilerine dayanabilecek şekilde tasarlanmıştır (Encon Group, 2019). Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının çalışma aralıkları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının çalışma aralıkları (Encon Group, 2019)

Fan Çapı	2 ft / 64 ft
	609,60 mm / 19.507,20 mm
Kanat Sayısı	4 - 24
Hava Debisi	3.000 m ³ /s'ye kadar
Basınç	1.400 Pascal'a kadar
Devir	81 / 3.000 rpm
Güç	0,25 / 1.600 HP
	0,19 / 1.193,12 kW
Çalışma Sıcaklığı	-45 °C / 230 °C

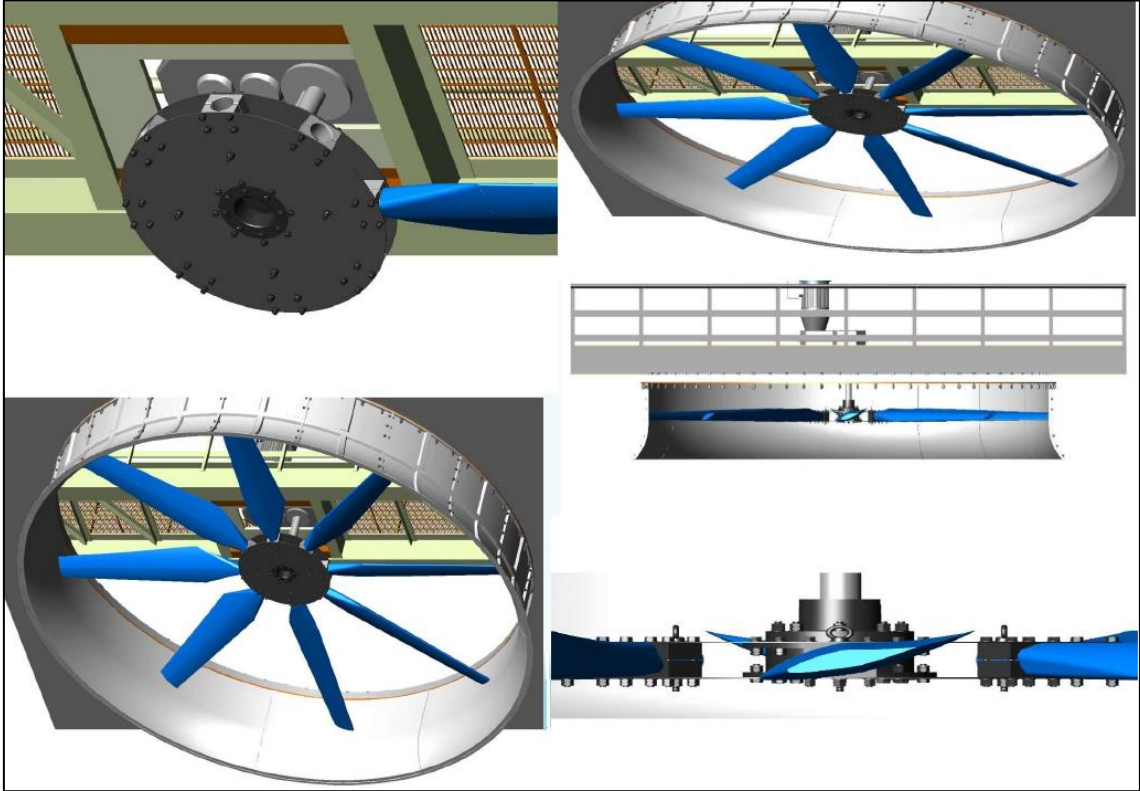
Soğutma kulelerinde alüminyum ve GRP fan kanatları sıklıkla kullanılmaktadır. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanları ile alüminyum / GRP fan kanatlarının karşılaştırılması Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanları ile alüminyum / GRP fan kanatlarının karşılaştırılması (Encon Group, 2019)

Özellik	Epoksi Fiber Glass Kanatlı Eksenel Fanlar	Alüminyum / GRP Fanlar
Verimlilik	%81-90	%56-65
Malzeme	Yüksek dereceli epoksi, FRP ile laminasyon	Alüminyum döküm
Dizayn	Aerodinamik yüksek profil	Geleneksel tip
Yüklenme Durumu	Dişli kutusuna düşük eksenel baskı	Dişli kutusuna yüksek eksenel baskı
Kanat	İçi boş kanatlar (düşük ağırlık)	Çoğunlukla içi dolu kanat (yüksek ağırlık)
Dayanıklılık	10 yıldan uzun ömürlü	2 – 3 yıl sonra etkinliğin azalmaya başlaması
Yüzey Sürtünmesi	İhmal edilebilir sürtünme kayıpları	Yüzey pürüzlülüğü sebebiyle yüksek sürtünme kayıpları
Hücum Kenarı Koruması	Epoksi reçine ile güçlendirilmiş	-
Bozulmalara Karşı Direnç	Mukavemeti, yorulma, kimyasal ve ısı dayanımı yüksek (Yüksek seviye)	Yüksek seviye
Fan Kanatlarının Bakımı ve Değiştirilmesi	Kolay değişim ve bakım imkanı	-

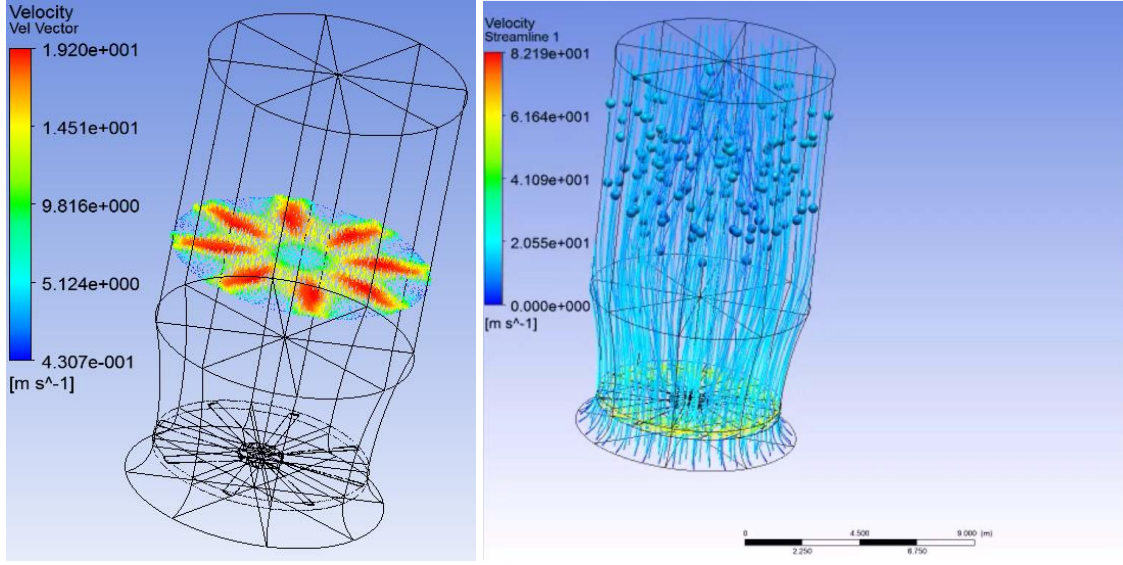
Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının veriminin yüksek olmasının birçok sebebi bulunmaktadır. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının fan dizaynı, yıpranma faktörü, sürtünme kayıplarının etkisi ve kanat ağırlığı fanların performansının yüksek olmasında en önemli parametrelerdir. Soğutma kulesi fanları kullanım noktasındaki ihtiyaca göre yüksek devirlerde çalışabilmektedir. Bu sebeple soğutma kulesi fan kanatlarının dayanıklı ve hafif malzemelerden imal edilmesi oldukça önemlidir. Fan kanatlarının sisteme uygunluğunun analiz edilebilmesi için analiz programları kullanılmaktadır.

Epoksi fiber glass eksenel fanlar öncelikle üç boyutlu şekilde tasarlanmakta, ardından simülasyon programları kullanılarak fanların hız, basınç ve yapısal analizleri yapılmaktadır (Encon Group, 2019). Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının üç boyutlu çizimleri Şekil 4.3'te verilmiştir.

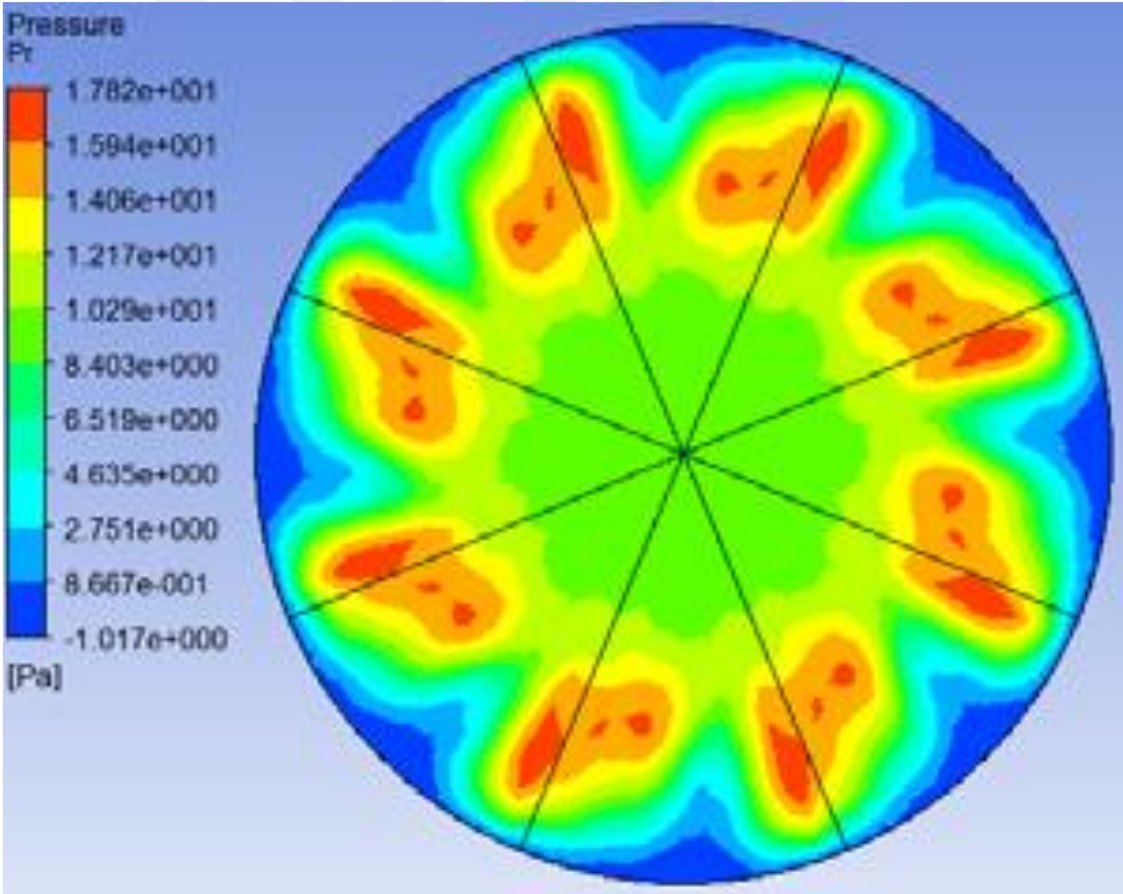


Şekil 4.3. Epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarının üç boyutlu çizimleri (Encon Group, 2019)

Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan hız analizleri Şekil 4.4'de, basınç analizi Şekil 4.5'te verilmiştir.

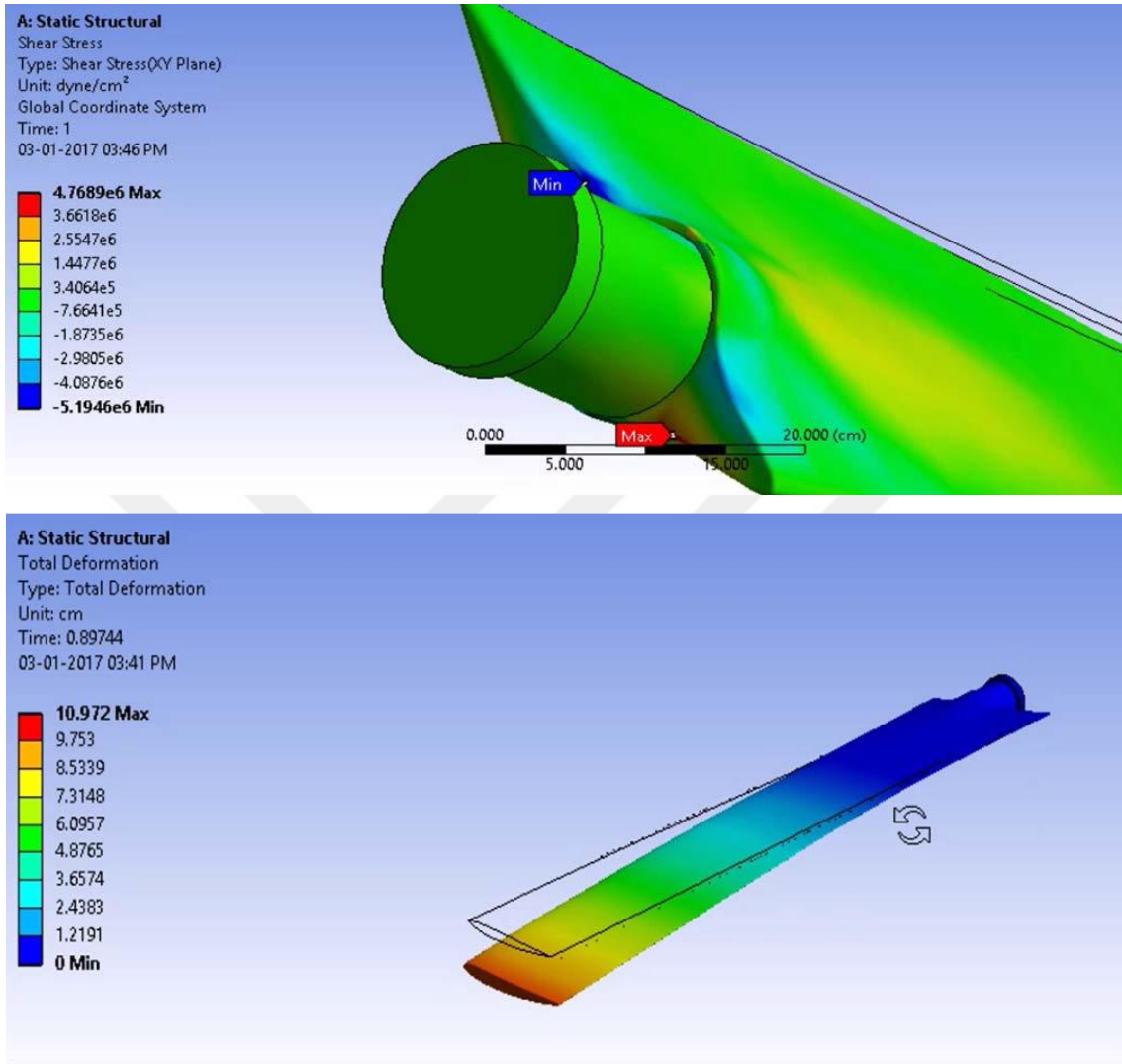


Şekil 4.4. Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan hız analizleri (Encon Group, 2019)



Şekil 4.5. Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan basınç analizi (Encon Group, 2019)

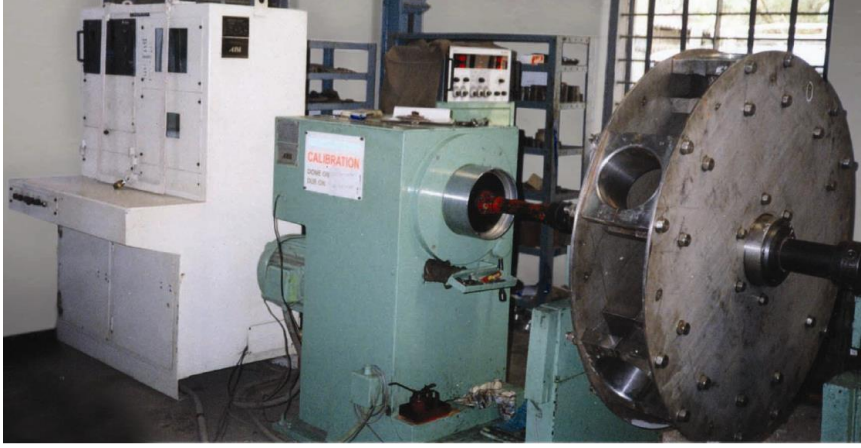
Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan yapısal analizleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. Epoksi fiber glass eksenel fanların simülasyon programı ile yapılan yapısal analizleri (Encon Group, 2019)

Soğutma kulelerinde kullanılmak amacıyla tasarlanan epoksi fiber glass kanatlı aksiyel fanlar tasarım ve analizlere uygun olarak imal edilmekte ve sonrasında dinamik balans, statik balans ve yük testi gibi farklı düzeneklerde tekrar teste tabi tutulmaktadır (Encon Group).

Epoksi fiber glass kanatlı aksiyel fanların dinamik balans test düzeneği Şekil 4.7’de, epoksi fiber glass kanatlı aksiyel fanların statik balans test düzeneği Şekil 4.8’de ve epoksi fiber glass kanatlı aksiyel fanların yük testi düzeneği Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7. Dinamik balans test düzeneği (Encon Group, 2019)



Şekil 4.8. Statik balans test düzeneği (Encon Group, 2019)



Şekil 4.9. Yük testi düzeneği (Encon Group, 2019)

Soğutma kulesi fanlarında alüminyum, GRP gibi malzemeden imal edilmiş geleneksel tipteki fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

Soğutma kulesi fan kanatlarının mevsimsel ve/veya işletmesel sebeplerle soğutma ihtiyacının değiştiği durumlarda kuleye giren hava debisinin ayarlanabilmesi için fanların kanat açıları ayarlanabilir olarak üretilmektedir. Bu sayede soğutma kulesi fanlarının kanat açıları ayarlanarak istenen hava debisi verimli bir şekilde sağlanabilmektedir.

Soğutma ihtiyacının değiştiği durumlarda fanların elektrik motorlarında frekans sürücüsü kullanılmasıyla elektrik motorunun devir sayısı ayarlanarak hava debisi istenen seviyede tutulabilir. Ayrıca fanların elektrik motorlarının yüksek verimlilik sınıfından seçilmesi, fan ve elektrik motorlarının periyodik kontrol ve bakımlarının yaptırılması da verimliliği arttıracı uygulamalardır.

4.2. Soğutma Kulelerinde Pompalarda Enerji Verimliliği

Pompalar elektrik enerjisini hidrolik enerjiye çevirerek sıvıları mekanik güçle hareket ettiren ekipmanlardır. Sanayi tesislerinde elektrik enerjisi tüketiminin yaklaşık %20'lik bir bölümü pompalama sistemleri tarafından harcanmaktadır (Yumurtacı ve Sarıgül, 2011). Bu sebeple pompa satın alınırken sadece ilk yatırım maliyetine değil, pompanın ömür boyu maliyetine de (işletme, bakım, enerji maliyeti vs.) bakılması gerekmektedir. Pompa, bağlantı elemanı ve elektrik motoru görünümü Şekil 4.10'da verilmiştir.

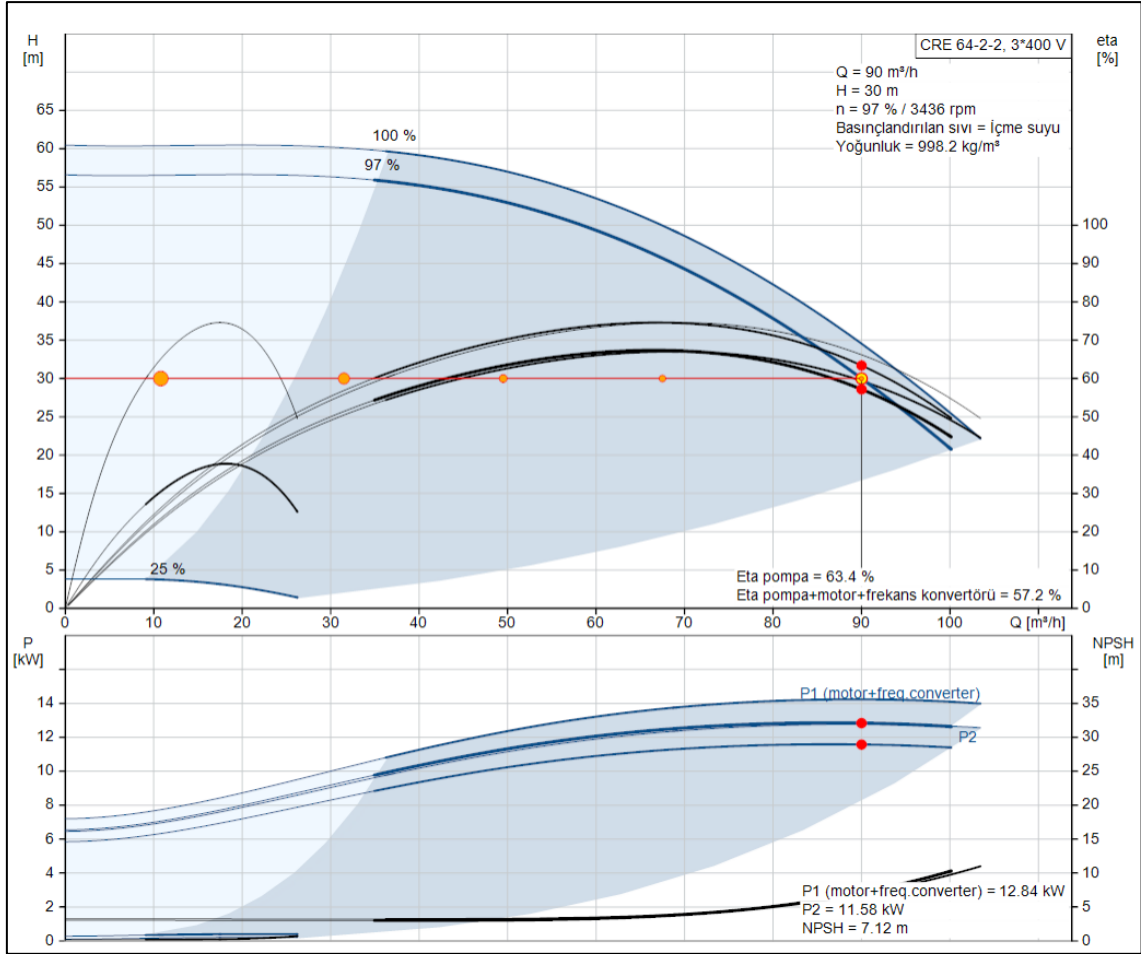


Şekil 4.10. Pompa, bağlantı elemanı ve elektrik motoru görünümü (URL-9)

Pompalarda enerjinin etkin kullanılması tasarımında ve işletme anında olmak üzere iki aşamada düşünülebilir. Uygun kapasitede ve tipte pompa seçimi ve tesisat tasarımı, uygun güçte ve yüksek verimlilik sınıfından elektrik motoru seçimi, değişken debi ihtiyacı olan sistemlerde frekans sürücüsü kullanımı, ihtiyaç noktasında değişkenlik aralığı fazla olan sistemlerde pompa sayısının artırılarak pompaların ihtiyaca göre paralel olarak devreye girip çıkması enerjinin etkin kullanılabilmesi için pompaların tasarımında yapılabilecek çalışmalardır. Pompa sistemlerinde vana, boru hattı ve pislik tutuculardaki kirlilik ve tıkanıklıkların giderilmesi, boru devresinin sızdırmazlığının sağlanması, pompa, elektrik motoru, filtre, yatak ve diğer ekipmanların periyodik kontrol ve bakımlarının yapılması, titreşimin önlenmesi, pompaların aşınan çarklarına yüzey kaplaması yapılması enerjinin etkin kullanılabilmesi için pompaların işletilmesinde yapılabilecek çalışmalardır (Kaya ve diğ., 2000).

Pompa sistemi tasarlanırken en etkin ve verimli sistemin seçilebilmesi için prosesin ihtiyacının bilinmesi gerekmektedir. Sistemin yıl boyunca debi-zaman aralığı ve basma yüksekliği çok iyi bilinmelidir (Toklu ve diğ., 1996). Pompa sistemleri, işletmenin maksimum kapasitesini karşılayabilecek şekilde seçilmelidir fakat işletmenin çoğunlukla hangi kapasitede çalıştığı bilinmelidir. Boru sistemi dizayn edilirken sistemin eğrisi çizilmelidir. Eğer pompa sisteminde maksimum kapasite kısa süre için gerekli ise, büyük çaplı hatta ihtiyaç olmayabilir. Eğer sistem uzun süre boyunca maksimum kapasitede çalışıyor ise, hat çapının belirlenmesinde bu durum dikkate alınmalıdır. Pompa sisteminin kapasitesi ve sistem eğrisi referans alınarak en uygun çalışma aralığındaki en verimli pompanın seçilmesi oldukça önemlidir. Pompaların ilk satın alma maliyetleri ömür boyu maliyetlerinin %3-5'lik kısmını oluşturduğundan pompanın doğru seçilmesi gereklidir. Değişken debili pompa sistemlerinde debinin vana yerine frekans konvertörü ile ayarlanması enerji verimliliğini arttıran bir uygulamadır. İşletmedeki ihtiyacın değiştiği durumlarda, frekans sürücüsü pompa elektrik motorunun devrini değiştirerek frekansı ayarlayabilmektedir. Frekans konvertörleri bağlı oldukları elektrik motorlarının güç tüketimlerinin yaklaşık %2-6'sını tüketmektedir. Değişkenliğin olduğu sistemlerde frekans konvertörünün enerji tüketimi göz ardı edilebilir. Fakat debinin değişken olmadığı sistemlerde, sisteme uygun ve verimli, sabit devirli pompa kullanımı en uygun çözümdür. Frekans konvertörü bağlı olduğu tek bir pompayı kontrol edebildiği gibi çoklu pompalar da tek bir frekans konvertörü ile kontrol edilebilir.

Pompa performans eğrisi örneği Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Pompa performans eğrisi örneği (URL-10)

İşletmelerde genellikle elektrik motorları, ekstra yüklenmeleri de karşılayabilmek için büyük seçilmektedir. Elektrik motorlarının büyük seçilmesi motorların düşük yükte, verimsiz çalışmalarına sebep olmaktadır. Düşük yüklerde çalışan elektrik motorlarında elektrik enerjisi daha yüksek oranda ısı kayıplara sebep olduğundan bu durum motorların arıza riskini arttırarak motor ömrünü kısaltmaktadır.

Yüksek verimlilik sınıfındaki elektrik motorlarının ilk satın alma maliyeti, kullanılan malzeme cinsi, miktarı ve tasarımı sebebiyle düşük verimli motorlara nazaran daha yüksektir. Fakat yüksek verimli motorlarda kayıplar daha az olduğundan işletme maliyetleri daha düşük olmaktadır. Pompa sistemlerinde elektrik motorlarının ihtiyaca uygun ve verimli seçilmesi, enerjinin verimli kullanımı için önem arz etmektedir.

5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Soğutma Kulesi Fanları Ölçümleri

Bu çalışmada otomobil lastiği, cam ve demir çelik sektörlerindeki işletmelerde bulunan alüminyum kanatlı soğutma kulesi fanlarının epoksi fiber glass kanatlı eksenel soğutma kulesi fanlarıyla değiştirilmesi çalışmaları incelenmiştir.

Fanlar değiştirilmeden önce elektriksel ve mekanik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Elektriksel ölçümler kapsamında soğutma kulesi fanlarının elektrik besleme panolarına kalibrasyonlu enerji analizörü bağlanarak fanların aktif güç değerleri ölçülmüştür. Enerji analizörü görünümü Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Enerji analizörü görünümü (URL-11)

Mekanik ölçümler kapsamında soğutma kulesi fanlarındaki havanın çizgisel hızı pervane hız probu (anemometre) ile ölçülmüştür. Soğutma kulesi fanlarındaki havanın çizgisel hızı ölçülürken Cooling Technology Institute’nün Field Test of Fan Performance standardı referans alınmıştır. Bu standarda göre fandaki hava akış yüzeyi teorik olarak 4 farklı yarıçapa bölünmüş ve her yarıçapta 5 farklı noktada çizgisel hız ölçümleri yapılmıştır. Çizgisel hız değerlerinin ortalaması, fandaki havanın çizgisel hızı olarak belirlenmiştir. Pervane hız probu görünümü Şekil 5.2’de, soğutma kulelerinde havanın çizgisel hız ölçümü Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.2. Pervane hız probu görünümü (URL-12)



Şekil 5.3. Soğutma kulelerinde havanın çizgisel hız ölçümü

Soğutma kulelerindeki fan kanatları epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmiş, fan açıları işletmenin soğutma ihtiyacını karşılayabilecek şekilde ayarlanmış ve aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Uygulama öncesinde kullanılan fanların debileri ve aktif güçleri, uygulama sonrası epoksi fiber glass fanlarınkilerle kıyaslanmıştır. Uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fanların aktif güçleri uygulama öncesinde kullanılan fanların aktif gücünden çıkarılarak birim enerji tasarrufu belirlenmiştir.

Birim enerji tasarrufu değeri, fanların yıllık çalışma saati ile çarpılarak elde edilen yıllık enerji tasarrufları hesaplanmıştır. Yıllık enerji tasarrufları, elektrik birim maliyetleri ile çarpılarak yıllık mali tasarruf miktarları belirlenmiştir. Fanların yatırım maliyetleri yıllık enerji tasarruflarının mali karşılıklarına bölünerek projelerin basit geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

5.2. Soğutma Kulesi Pompaları Ölçümleri

Otomobil lastiği sektöründeki işletmede bulunan ekonomik ömrünü tamamlamış soğutma kulesi pompalarının daha verimli pompalarla değiştirilmesi çalışması incelenmiştir.

Soğutma kulesi pompaları değiştirilmeden önce sistem verimlerinin belirlenebilmesi ve sistem ihtiyaçlarının incelenebilmesi için debi, basınç, akışkan sıcaklığı ve aktif güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Pompa hatlarına ultrasonik sıvı debimetresi bağlanarak debi ölçümleri, pompaların elektrik besleme panosuna da enerji analizörü bağlanarak pompaların elektriksel ölçümleri yapılmıştır. Pompaların emme ve basma basınçları sistem üzerindeki manometrelerden alınmıştır ve dijital manometre ile doğrulanmıştır. Akışkan sıcaklıkları ise sıcaklık ölçer ile ölçülmüştür. Ultrasonik sıvı debimetresi görünümü Şekil 5.4'te, soğutma kulesi pompalarında enerji analizörü ile aktif güç ölçümleri Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Ultrasonik sıvı debimetresi görünümü (URL-13)



Şekil 5.5. Soğutma kulesi pompalarında enerji analizörü ile aktif güç ölçümleri

Ekonomik ömrünü tamamlamış soğutma kulesi pompaları daha verimli pompalarla değiştirilmiş, aynı işletme şartlarında ölçümler tekrarlanmıştır. Uygulama öncesinde kullanılan pompaların debileri, basma yükseklikleri ve aktif güçleri, uygulama sonrası pompalarınkilerle kıyaslanmıştır. Uygulama sonrasında kullanılan sistem verimleri daha yüksek pompaların aktif güçleri uygulama öncesinde kullanılan pompaların aktif gücünden çıkarılarak birim enerji tasarrufu belirlenmiştir. Birim enerji tasarrufu değeri, pompaların yıllık çalışma saati ile çarpılarak elde edilen yıllık enerji tasarrufları hesaplanmıştır. Yıllık enerji tasarrufları, elektrik birim maliyetleri ile çarpılarak yıllık mali tasarruf miktarları belirlenmiştir. Pompaların yatırım maliyetleri yıllık enerji tasarruflarının mali karşılıklarına bölünerek projelerin basit geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Demir – çelik sektöründeki işletmede bulunan ihtiyaçtan daha fazla debi sirküle eden soğutma kulesi pompa grubuna çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulanması çalışması incelenmiştir. Soğutma kulesi pompalarına frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulaması yapılmadan önce, pompaların sistem verimlerinin belirlenebilmesi ve sistem ihtiyaçlarının incelenebilmesi için debi, basınç, akışkan sıcaklığı ve aktif güç değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Pompa hatlarına ultrasonik sıvı debimetresi bağlanarak debi ölçümleri, pompaların elektrik besleme panosuna da enerji analizörü bağlanarak pompaların elektriksel ölçümleri yapılmıştır.

Pompaların emme ve basma basınçları sistem üzerindeki manometrelerden alınmıştır ve dijital manometre ile doğrulanmıştır. Akışkan sıcaklıkları ise sıcaklık ölçer ile ölçülmüştür.

İhtiyaçtan daha fazla su sirküle eden soğutma kulesi pompalarına çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulaması yapılmış, aynı işletme şartlarında ölçümler tekrarlanmıştır. Pompa grubunun aynı işletme şartlarındaki soğutma ihtiyacını karşılayabildiği çalışma noktasındaki debi, basma yüksekliği ve aktif güç ölçümleri uygulama önceki debi, basma yüksekliği ve aktif güçlerle kıyaslanmıştır. Uygulama sonrasında çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi ile kontrol edilen pompaların aktif güçleri uygulama öncesinde tam yükte çalışan pompaların aktif gücünden çıkarılarak birim enerji tasarrufu belirlenmiştir. Birim enerji tasarrufu değeri, pompaların yıllık çalışma saati ile çarpılarak elde edilen yıllık enerji tasarrufları hesaplanmıştır. Yıllık enerji tasarrufları, elektrik birim maliyetleri ile çarpılarak yıllık mali tasarruf miktarları belirlenmiştir. Pompalara çoklu frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulamasının yatırım maliyetleri toplanıp yıllık enerji tasarrufunun mali karşılığına bölünerek projenin basit geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

6. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

6.1. Otomobil Lastiği Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Fan Kanatlarının Epoksi Fiber Glass Fan Kanatlarıyla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları

Otomobil lastiği sektöründe faaliyetini sürdüren bir işletmede 2 adet soğutma kulesinin toplam 4 adet alüminyum fan kanadının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesi projesi uygulanmıştır. Uygulama sonrasında kule fanlarının elektrik motorları ve fan bacaları değiştirilmemiş, kullanılmaya devam edilmiştir. Otomobil lastiği sektöründeki işletmede bulunan soğutma kulesi fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değişimi uygulamalarının basit geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.1’de, otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.2’de ve otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri Tablo 6.3’te verilmiştir. Uygulama öncesinden kullanılan alüminyum fan kanatları örnekleri Şekil 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. Uygulama öncesi alüminyum fan kanatları örnekleri (Encon Group, 2019)

Tablo 6.1. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Fan Adı	Etiket Gücü	Fan Çapı	Ring Çapı	Hub Çapı	Akış Alanı	Çizgisel Hız	Hava Debisi	Aktif Güç
		kW	mm	m	m	m ²	m/s	m ³ /h	kW
A Kule	A1 Fan	15,00	1.800	1,84	0,13	2,65	6,47	61.723,80	13,75
	A2 Fan	15,00	1.800	1,84	0,13	2,65	5,91	56.381,40	13,31
B Kule	B1 Fan	18,50	2.450	2,50	0,68	4,55	8,93	146.273,40	16,89
	B2 Fan	18,50	2.450	2,50	0,68	4,55	8,16	133.660,80	15,12

Tablo 6.2. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Fan Adı	Etiket Gücü	Fan Çapı	Ring Çapı	Hub Çapı	Akış Alanı	Çizgisel Hız	Hava Debisi	Aktif Güç
		kW	mm	m	m	m ²	m/s	m ³ /h	kW
A Kule	A1 Fan	15,00	1.800	1,84	0,12	2,65	7,38	70.405,20	10,88
	A2 Fan	15,00	1.800	1,84	0,12	2,65	6,45	61.533,00	10,35
B Kule	B1 Fan	18,50	2.450	2,50	0,65	4,58	10,07	166.034,16	12,97
	B2 Fan	18,50	2.450	2,50	0,65	4,58	9,06	149.381,28	11,94

Tablo 6.3. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri

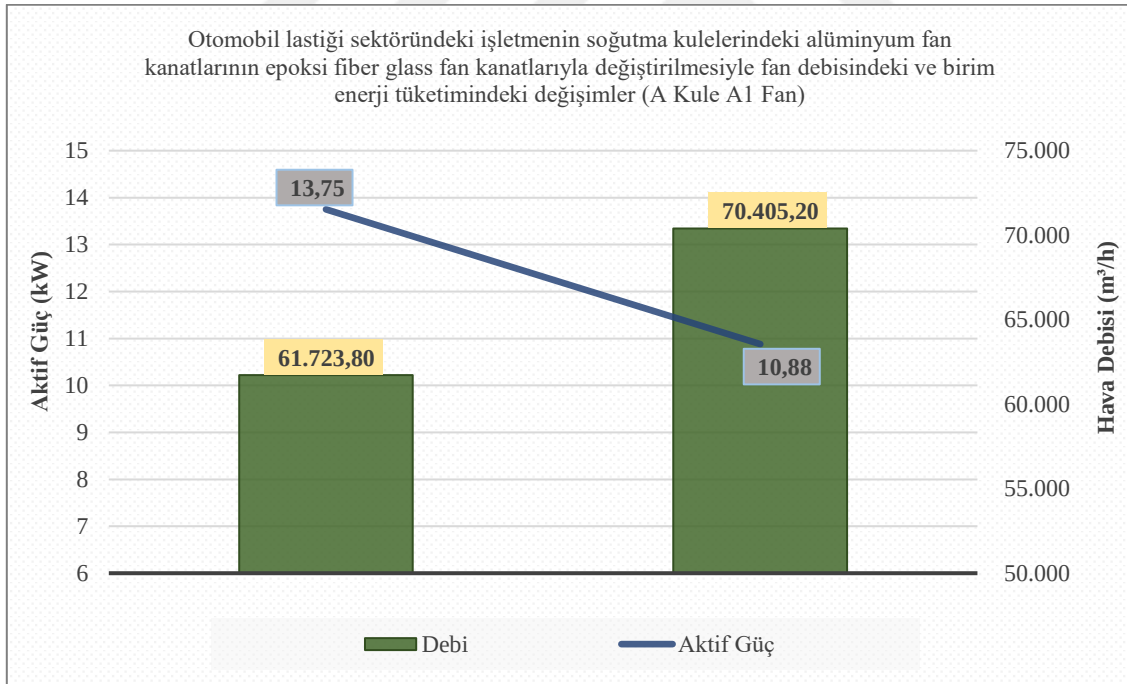
Kule Adı	Fan Adı	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu Oranı	Hava Devisindeki Artış Oranı	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
		kW	%	%	kWh/yıl	TL/yıl	TL	yıl
A Kule	A1 Fan	2,87	20,87	14,06	24.108,00	21.697,20	42.500,00	1,96
	A2 Fan	2,96	22,24	9,14	24.864,00	22.377,60	42.500,00	1,90
B Kule	B1 Fan	3,92	23,21	13,51	32.928,00	29.635,20	61.400,00	2,07
	B2 Fan	3,18	21,03	11,76	26.712,00	24.040,80	61.400,00	2,55

A kulesi A1 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 11,86 ton CO₂ salımını engellemektedir. 11,86 ton CO₂ salımı yılda 29 adet ağacın nitrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir.

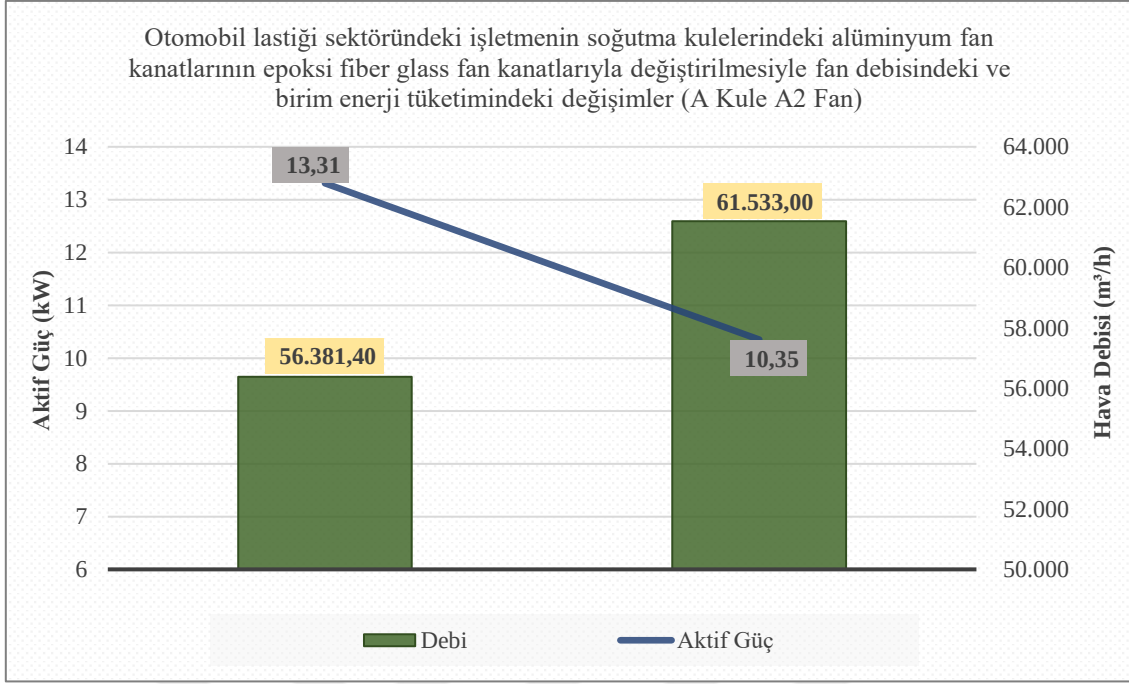
A kulesi A2 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 12,23 ton CO₂ salımını engellemektedir. 12,23 ton CO₂ salımı yılda 30 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir.

B kulesi B1 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 16,20 ton CO₂ salımını engellemektedir. 16,20 ton CO₂ salımı yılda 39 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir. B kulesi B2 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 13,14 ton CO₂ salımını engellemektedir. 13,14 ton CO₂ salımı yılda 32 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir (URL-14).

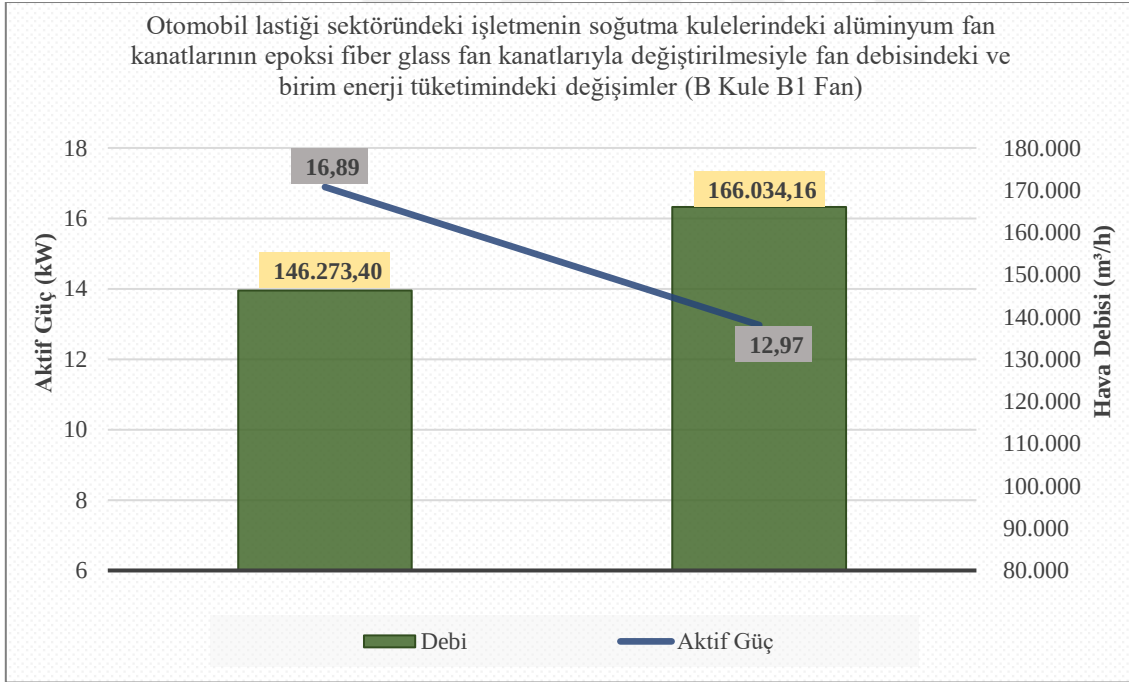
Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin soğutma kulelerindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 6.2 ile Şekil 6.5 arasında verilmiştir.



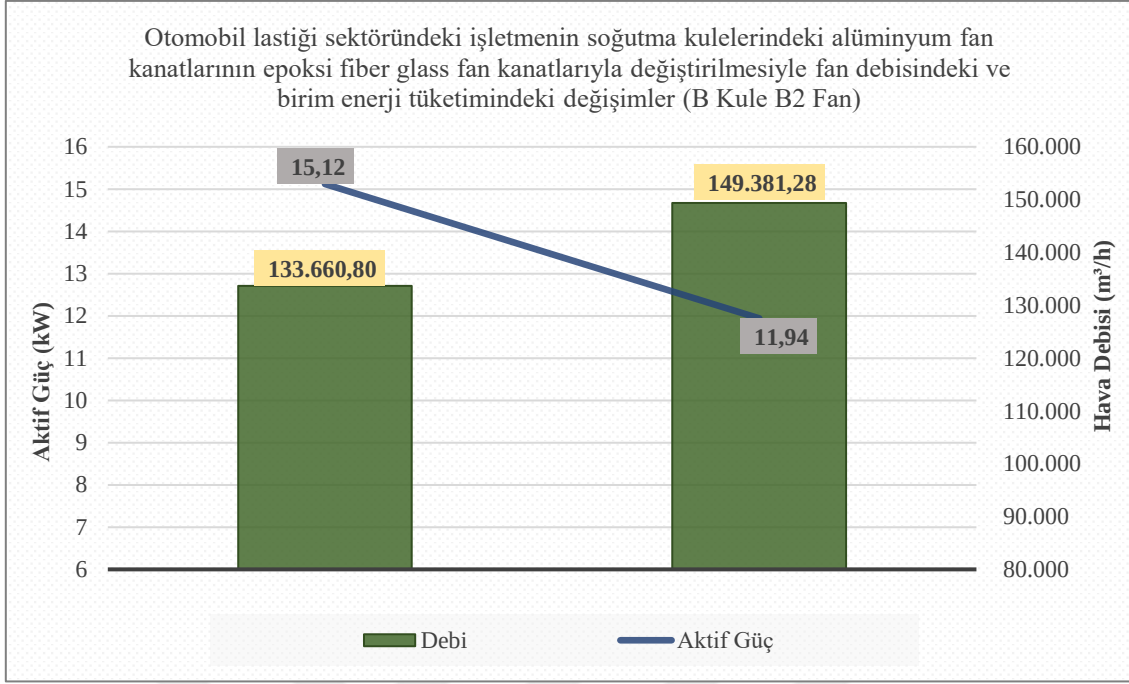
Şekil 6.2. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin A soğutma kulesindeki A1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler



Şekil 6.3. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin A soğutma kulesindeki A2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler



Şekil 6.4. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin B soğutma kulesindeki B1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler



Şekil 6.5. Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin B soğutma kulesindeki B2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler

6.2. Cam Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Fan Kanatlarının Epoksi Fiber Glass Fan Kanatlarıyla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları

Cam sektöründe faaliyetini sürdüren bir işletmede 1 adet soğutma kulesinin toplam 2 adet fan kanadının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesi projesi uygulanmıştır. Uygulama sonrasında kule fanlarının elektrik motorları ve fan bacaları değiştirilmemiş, kullanılmaya devam edilmiştir. Cam sektöründeki işletmede bulunan soğutma kulesi fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değişimi uygulamalarının basit geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.4'te, cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.5'te ve cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.4. Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Fan Adı	Etiket Gücü	Fan Çapı	Ring Çapı	Hub Çapı	Akış Alanı	Çizgisel Hız	Hava Debisi	Aktif Güç
		kW	mm	m	m	m ²	m/s	m ³ /h	kW
C Kule	C1 Fan	30,00	4.350	4,35	0,60	14,58	8,71	457.170,48	27,88
	C2 Fan	30,00	4.350	4,35	0,60	14,58	9,24	484.989,12	28,45

Tablo 6.5. Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler

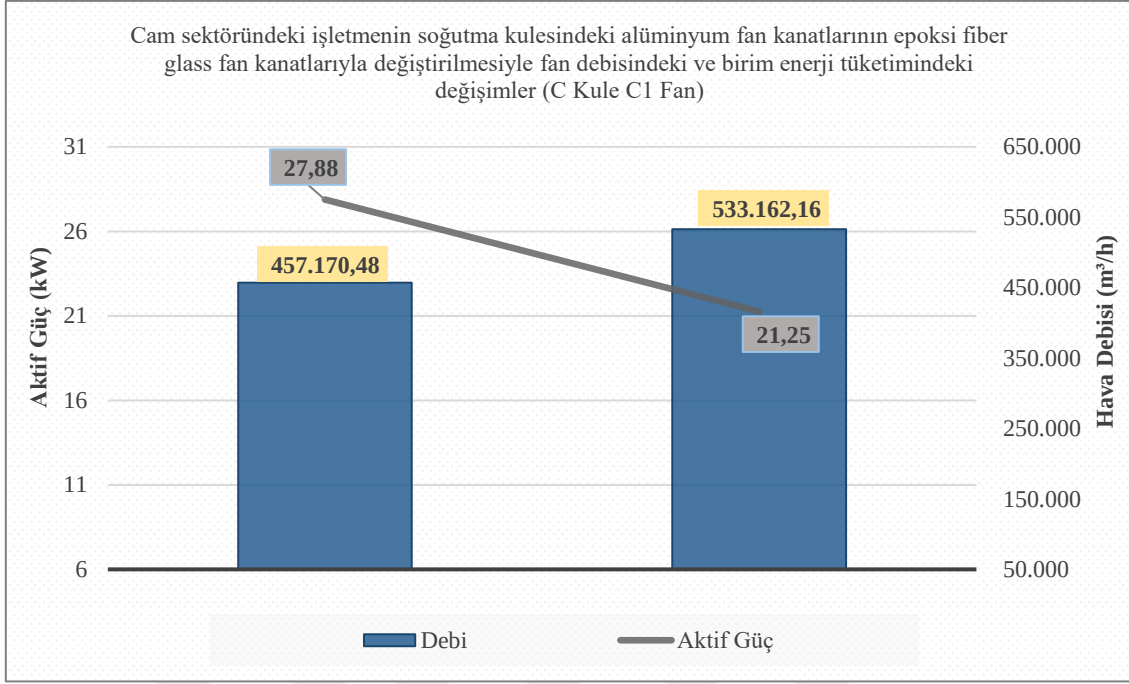
Kule Adı	Fan Adı	Etiket Gücü	Fan Çapı	Ring Çapı	Hub Çapı	Akış Alanı	Çizgisel Hız	Hava Debisi	Aktif Güç
		kW	mm	m	m	m ²	m/s	m ³ /h	kW
C Kule	C1 Fan	30,00	4.350	4,35	0,55	14,62	10,13	533.162,16	21,25
	C2 Fan	30,00	4.350	4,35	0,55	14,62	11,11	584.741,52	21,68

Tablo 6.6. Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri

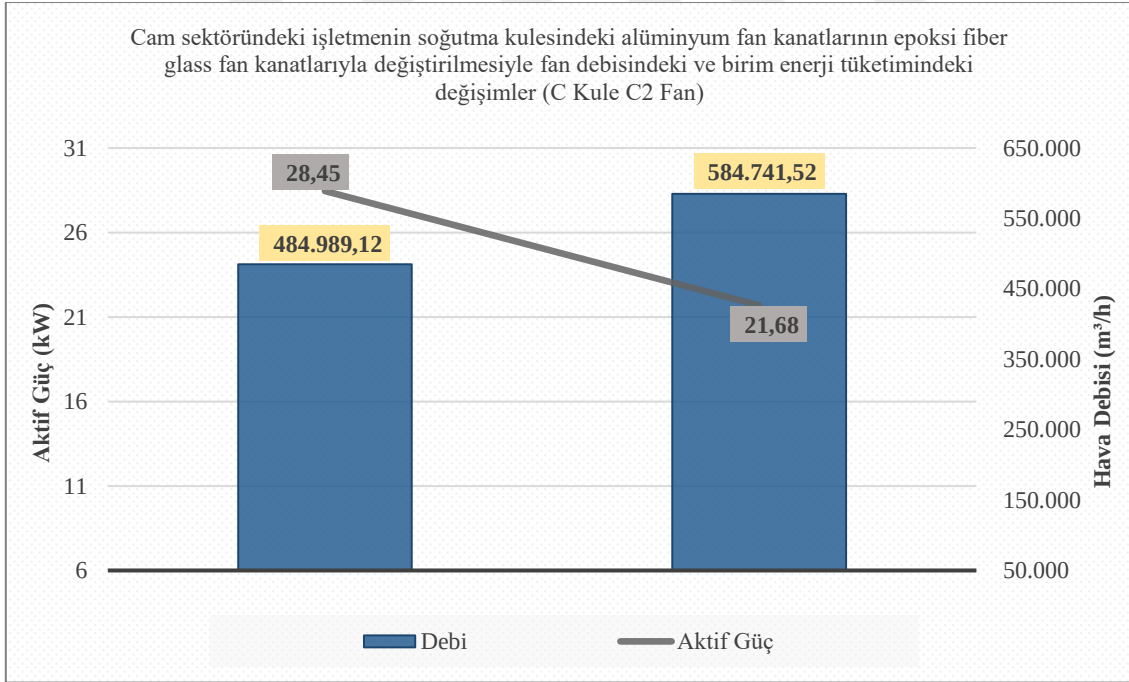
Kule Adı	Fan Adı	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu Oranı	Hava Debisindeki Artış Oranı	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
		kW	%	%	kWh/yıl	TL/yıl	TL	yıl
C Kule	C1 Fan	6,63	23,78	16,62	55.692,00	50.122,80	102.000,00	2,04
	C2 Fan	6,77	23,80	20,57	56.868,00	51.181,20	102.000,00	1,99

C kulesi C1 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 27,40 ton CO₂ salımını engellemektedir. 27,40 ton CO₂ salımı yılda 67 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir. C kulesi C2 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 27,98 ton CO₂ salımını engellemektedir. 27,98 ton CO₂ salımı yılda 68 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir (URL-14).

Cam sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 6.6'da ve Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.6. Cam sektöründeki işletmenin C soğutma kulesindeki C1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler



Şekil 6.7. Cam sektöründeki işletmenin C soğutma kulesindeki C2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler

6.3. Demir Çelik Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Fan Kanatlarının Epoksi Fiber Glass Fan Kanatlarıyla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları

Demir çelik sektöründe faaliyetini sürdüren bir işletmede 1 adet soğutma kulesinin toplam 2 adet fan kanadının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesi projesi uygulanmıştır. Uygulama sonrasında kule fanlarının elektrik motorları ve fan bacaları değiştirilmemiş, kullanılmaya devam edilmiştir. Demir çelik sektöründeki işletmede bulunan soğutma kulesi fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değişimi uygulamalarının basit geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.7’de, demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.8’de ve demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri Tablo 6.9’da verilmiştir.

Tablo 6.7. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama öncesinde kullanılan alüminyum fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Fan Adı	Etiket Gücü	Fan Çapı	Ring Çapı	Hub Çapı	Akış Alanı	Çizgisel Hız	Hava Debisi	Aktif Güç
		kW	mm	m	m	m ²	m/s	m ³ /h	kW
D Kule	D1 Fan	75,00	5.500	5,60	1,30	23,30	11,40	956.232,00	61,57
	D2 Fan	75,00	5.500	5,60	1,30	23,30	10,58	887.450,40	58,48

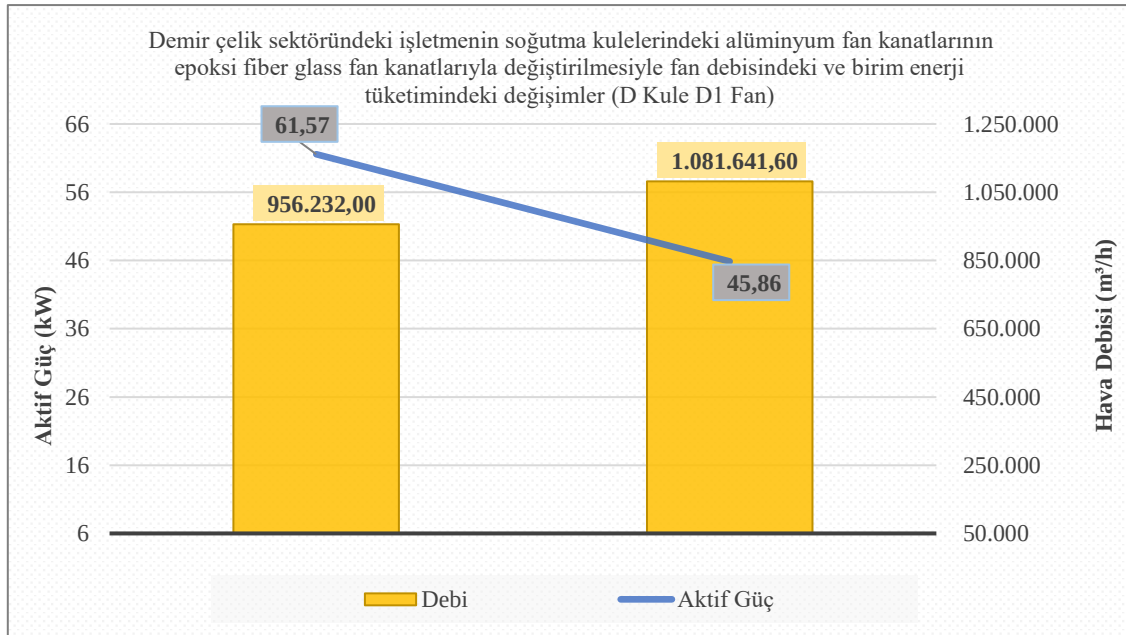
Tablo 6.8. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesinde uygulama sonrasında kullanılan epoksi fiber glass fan kanatlarından alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Fan Adı	Etiket Gücü	Fan Çapı	Ring Çapı	Hub Çapı	Akış Alanı	Çizgisel Hız	Hava Debisi	Aktif Güç
		kW	mm	m	m	m ²	m/s	m ³ /h	kW
D Kule	D1 Fan	75,00	5.500	5,60	1,25	23,40	12,84	1.081.641,60	45,86
	D2 Fan	75,00	5.500	5,60	1,25	23,40	11,89	1.001.613,60	44,11

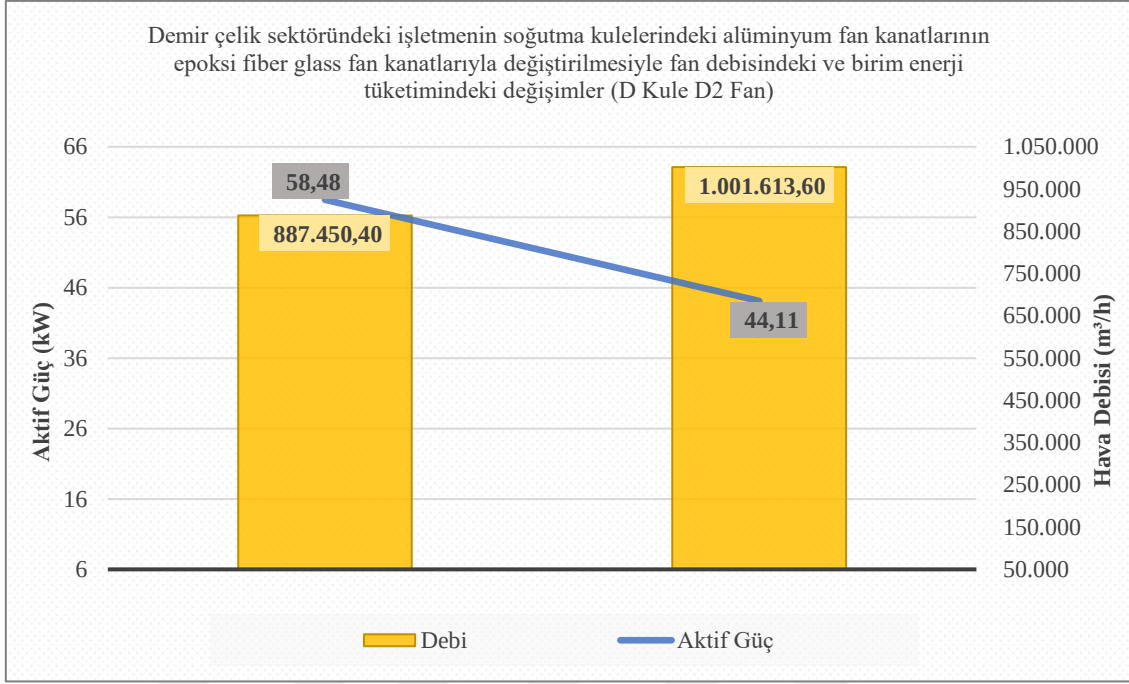
Tablo 6.9. Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri

Kule Adı	Fan Adı	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu Oranı	Hava Debisindeki Artış Oranı	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
		kW	%	%	kWh/yıl	TL/yıl	TL	yıl
D Kule	D1 Fan	15,71	25,52	13,11	131.964,00	118.767,60	225.000,00	1,89
	D2 Fan	14,37	24,57	12,86	120.708,00	108.637,20	225.000,00	2,07

D kulesi D1 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 64,93 ton CO₂ salımını engellemektedir. 64,93 ton CO₂ salımı yılda 158 adet ağacın nitrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir. D kulesi D1 fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 59,39 ton CO₂ salımını engellemektedir. 59,39 ton CO₂ salımı yılda 144 adet ağacın nitrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir (URL-14). Demir çelik sektöründeki işletmenin soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimleri gösteren grafikler Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.8. Demir çelik sektöründeki işletmenin D soğutma kulesindeki D1 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler



Şekil 6.9. Demir çelik sektöründeki işletmenin D soğutma kulesindeki D2 fanının alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle fan debisindeki ve birim enerji tüketimindeki değişimler

Soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının sökülmesi örneği Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. Soğutma kulesindeki alüminyum fan kanatlarının sökülmesi örneği (Encon Group, 2019)

Soğutma kulesindeki epoksi fiber glass fan kanatlarının montajı örneği Şekil 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.11. Soğutma kulesindeki epoksi fiber glass fan kanatlarının montajı örneği (Encon Group, 2019)

Uygulama öncesinde kullanılan soğutma kulesi alüminyum fan kanatları ve uygulama sonrasında kullanılan soğutma kulesi epoksi fiber glass fan kanatları görünümleri Şekil 6.12’de verilmiştir.



Şekil 6.12. Uygulama öncesi ve sonrası soğutma kulesi fan kanatları görünümleri (Encon Group, 2019)

6.4. Otomobil Lastiği Sektörü Mevcut Soğutma Kulesi Pompalarının Daha Verimli Pompalarla Değişimi Analizleri ve Hesaplamaları

Soğutma kulesinde soğutulan suların işletme içerisine transferini sağlayan pompalar bulunmaktadır. Bu pompalar soğutulmuş olan suyu, soğutma ihtiyacı olan bölümlere transfer etmektedir. Otomobil lastiği sektöründe faaliyetini sürdüren bir işletmede 2 adet soğutma kulesinin 2 adet aktif olarak çalıştırılan, 2 adet yedek bekletilen toplam 4 adet sistem verimleri düşük olan su pompalarının daha verimli pompalarla değiştirilmesi projesi uygulanmıştır. Uygulama sonrasında su pompalarının elektrik motorları da değiştirilmiştir. Otomobil lastiği sektöründeki işletmede uygulama öncesinde kullanılan kule pompalarından alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. Otomobil lastiği sektöründeki işletmede uygulama öncesinde kullanılan kule pompalarından alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Pompa Adı	Etiket Gücü	Kontrol Yöntemi	Debi	Emme Basıncı	Basma Basıncı	Akışkan Sıcaklığı	Basma Yüksekliği	Aktif Güç	Akışkan Gücü	Sistem Verimi
		kW		m³/h	bar	bar	°C	m	kW	kW	%
A Kule	A1 Pompa	22,00	Y / Δ	90,90	0,10	3,40	23,00	33,73	20,20	8,33	41,24
	A2 Pompa	22,00	Y / Δ	53,21	0,10	4,10	23,00	40,79	17,10	5,90	34,50
B Kule	B1 Pompa	22,00	Y / Δ	59,35	0,10	3,30	23,00	32,63	16,50	5,26	31,88
	B2 Pompa	22,00	Y / Δ	70,54	0,10	3,50	23,00	34,67	18,80	6,65	35,37

Pompalardan alınan ölçümler sonucunda pompalarının basma yükseklikleri, akışkan güçleri ve sistem verimleri (pompa + aktarma elemanı + elektrik motoru) hesaplanmıştır.

Pompaların sistem verimleri hakkında yorumlama yapabilmek için pompaların çalışma şartlarına göre değerlendirilmesi ve ardından aynı debi ve basma yüksekliğinde çalışabilecek sistem verimi daha yüksek pompaların araştırılması gerekmektedir. İşletmede bulunan kule pompaları çalışma sistemlerine ve şartlarına göre değerlendirilmiştir. Pompaların sistem verimleri aynı çalışma şartlarını sağlayabilecek (debi ve basma yüksekliği) yeni pompalar ile karşılaştırılarak verimlilik analizleri yapılmıştır.

Kule pompalarının sistem verimleri aynı çalışma şartlarını sağlayabilecek yeni pompalar ile karşılaştırıldığında daha yüksek verimli pompaların bulunduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple kule pompaları sistem verimleri daha yüksek pompalarla değiştirilmiştir. Otomobil lastiği sektöründeki işletmedeki kule pompalarının sistem verimi daha yüksek pompalarla değiştirilmesi uygulaması sonrasında pompalardan alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.11’de, otomobil lastiği sektöründeki işletmedeki kule pompalarının sistem verimi daha yüksek pompalarla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.11. Otomobil lastiği sektöründeki işletmedeki kule pompalarının sistem verimi daha yüksek pompalarla değiştirilmesi uygulaması sonrasında pompalardan alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Pompa Adı	Etiket Gücü	Kontrol Yöntemi	Debi	Emme Basıncı	Basma Basıncı	Akışkan Sıcaklığı	Basma Yüksekliği	Aktif Güç	Akışkan Gücü	Sistem Verimi
		kW		m³/h	bar	bar	°C	m	kW	kW	%
A Kule	A1 Pompa	15,00	Y / Δ	91,12	0,10	3,40	23,00	33,73	13,50	8,35	61,85
	A2 Pompa	15,00	Y / Δ	53,50	0,10	4,10	23,00	40,79	9,70	5,93	61,13
B Kule	B1 Pompa	15,00	Y / Δ	60,45	0,10	3,30	23,00	32,63	8,60	5,36	62,33
	B2 Pompa	15,00	Y / Δ	71,97	0,10	3,50	23,00	34,67	10,70	6,78	63,36

Tablo 6.12. Otomobil lastiği sektöründeki işletmedeki kule pompalarının sistem verimi daha yüksek pompalarla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu analizleri

Kule Adı	Pompa Adı	Uygulama Öncesi Sistem Verimi	Uygulama Sonrası Sistem Verimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu Oranı	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
		%	%	kW	%	kWh/yıl	TL/yıl	TL	yıl
A Kule	A1 Pompa	41,24	61,85	6,70	33,17	28.140,00	25.326,00	83.400,00	3,29
	A2 Pompa	34,50	61,13	7,40	43,27	31.080,00	27.972,00	83.400,00	2,98
B Kule	B1 Pompa	31,88	62,33	7,90	47,88	33.180,00	29.862,00	83.400,00	2,79
	B2 Pompa	35,37	63,36	8,10	43,09	34.020,00	30.618,00	83.400,00	2,72

A kulesi A1 pompasının daha verimli pompayla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 13,84 ton CO₂ salımını engellemektedir. 13,84 ton CO₂ salımı yılda 34 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir. A kulesi A2 pompasının daha verimli pompayla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 15,29 ton CO₂ salımını engellemektedir. 15,29 ton CO₂ salımı yılda 37 adet ağacın

nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir. B kulesi B1 pompasının daha verimli pompayla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 16,32 ton CO₂ salımını engellemektedir. 16,32 ton CO₂ salımı yılda 40 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir. B kulesi B2 pompasının daha verimli pompayla değiştirilmesiyle sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 16,74 ton CO₂ salımını engellemektedir. 16,74 ton CO₂ salımı yılda 41 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir (URL-14).

6.5. Demir Çelik Sektörü Soğutma Kulesi Pompalarının Kontrol Sistemiyle Kontrol Edilmesi Analizleri ve Hesaplamaları

Demir çelik sektöründeki işletmede soğutma kulesinde soğutulan su, tav fırınının mekanik aksamalarının soğutulmasında kullanılmaktadır. Soğutma kulesinde soğutulan su, santrifüj kule pompaları vasıtasıyla soğutma ihtiyacı olan tav fırını bölümüne transfer edilmektedir. İşletmede 3 adet kule pompası bulunmaktadır. Kule pompalarından 2 tanesi aktif olarak çalıştırılmakta, 1 adet pompa yedek bekletilmektedir. Sistemde 1 adet pompanın çalıştırılmasıyla sağlanan debi ve basınç işletmedeki soğutma ihtiyacını karşılayamamakta, 2 adet pompanın çalıştırılmasıyla sağlanan debi ve basınç ise ihtiyaçtan fazla olmaktadır. Demir çelik sektöründe tav fırını çok kritik bir proses olduğundan sistem ekipmanlarının istenen seviyede soğutulamaması tav fırınının durmasına sebep olabilir. Herhangi bir pompada oluşabilecek arıza ve pompaların devre dışı kalma riski göz önünde bulundurularak işletmede uygulama öncesinde 2 adet pompa aktif olarak çalıştırılmaydı. Uygulama sonrasında 3 adet pompanın bulunduğu pompa grubundaki pompaların frekansının ihtiyaca göre ayarlanabilmesi için sisteme bir adet çoklu pompa frekans sürücüsü dahil edilmiştir. Pompaların çalışma rejiminin takip edilebilmesi ve gerektiğinde pompalara müdahale edilebilmesi için pompaların debi, basınç değerleri ve pompaların frekans bilgileri otomasyon sistemine entegre edilmiştir. Pompa grubuna frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulaması sonrasında işletmedeki soğutma ihtiyacı değişkenlik gösterdiğinde pompalar basma hattındaki debi ve basınç set değerine göre frekanslarını arttırıp azaltmakta, sistemin basınç ve debisinin dengelenmesini sağlamaktadır. İşletmedeki soğutma ihtiyacının değiştiği durumlarda, frekans sürücüsü elektrik motorlarının hızını değiştirerek frekansı ayarlayabilmektedir. Bu durumda işletmedeki soğutma ihtiyacına göre elektrik motorunun frekansı değiştirilerek enerji sarfıyatı önlenebilmektedir.

Pompa grubuna frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulaması sonrasında 1 adet kule pompası sürekli aktif olarak çalıştırılmakta, 1 adet pompa sürekli çalıştırılmamakta, ihtiyacın arttığı durumlarda devreye girmektedir. 1 adet pompa ise yedek bekletilmektedir.

Otomasyon sistemi sayesinde 3 adet pompanın çalıştırılma ve/veya yedek bekletilme sırası otomatik olarak ayarlanmakta, böylelikle pompaların eş yaşlandırılması sağlanmaktadır. Pompalar arasında eş yaşlandırma yapılmasıyla pompaların eşit ömürlü ve eşit verimli bir şekilde işletilmesi sağlanmaktadır.

Demir çelik sektöründeki işletmenin kule pompalarından uygulama öncesinde alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.13'te, demir çelik sektöründeki işletmenin kule pompalarından uygulama sonrasında alınan bilgiler ve ölçümler Tablo 6.14'te ve demir çelik sektöründeki işletmedeki kule pompalarına çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulamasıyla sağlanan enerji tasarrufu analizleri Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.13. Demir çelik sektöründeki işletmenin kule pompalarından uygulama öncesinde alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Pompa Adı	Etiket Gücü kW	Kontrol Yöntemi	Debi m ³ /h	Emme Basıncı bar	Basma Basıncı bar	Akışkan Sıcaklığı °C	Akışkan Yoğunluğu kg/m ³	Basma Yüksekliği m	Aktif Güç kW	Akışkan Gücü kW	Sistem Verimi %
D Kule	D1 Pompa	75,00	Y / Δ	214,00	0,20	7,10	25,00	997,37	70,55	42,57	41,02	44,74
	D2 Pompa	75,00	Y / Δ							49,12		

Tablo 6.14. Demir çelik sektöründeki işletmenin kule pompalarından uygulama sonrasında alınan bilgiler ve ölçümler

Kule Adı	Pompa Adı	Etiket Gücü kW	Kontrol Yöntemi	Debi m ³ /h	Emme Basıncı bar	Basma Basıncı bar	Akışkan Sıcaklığı °C	Akışkan Yoğunluğu kg/m ³	Basma Yüksekliği m	Aktif Güç kW	Akışkan Gücü kW	Sistem Verimi %
D Kule	D1 Pompa	75,00	VSD	191,50	0,20	6,00	25,00	997,32	59,30	66,73	30,85	46,23
	D2 Pompa	75,00										

Uygulama sonrasında aynı pompaların sistem verimlerinin artması, işletmenin soğutma ihtiyacı karşılanırken pompalarla sirküle edilen su debisinin ve fark basıncının azalmasıyla hatlardaki kayıpların azalması olarak öngörülmektedir.

Tablo 6.15. Demir çelik sektöründeki işletmedeki kule pompalarına çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulamasıyla sağlanan enerji tasarrufu analizleri

Kule Adı	Pompa Adı	Uygulama Öncesi Güç Tüketimi	Uygulama Sonrası Güç Tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu Oranı	Yıllık Enerji Tasarrufu	Yıllık Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	Basit Geri Ödeme Süresi
		%	%	kW	%	kWh/yıl	TL/yıl	TL	yıl
D Kule	D1 Pompa	91,69	66,73	24,96	27,22	179.712,00	161.740,80	590.000,00	3,65
	D2 Pompa								

Demir çelik sektöründeki işletmedeki kule pompalarına çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi uygulamasıyla sağlanan elektrik enerjisi tasarrufu yılda 88,42 ton CO₂ salımını engellemektedir. 88,42 ton CO₂ salımı yılda 215 adet ağacın nötrleyebileceği CO₂ salımına eşdeğerdir (URL-14).

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayide demir – çelik, kimya, petrokimya, enerji üretimi, cam, otomotiv gibi neredeyse tüm sektörlerde soğutma ihtiyacı bulunmaktadır. Sanayide soğutma ihtiyacının karşılanabilmesi için kullanılan en yaygın ekipmanlar soğutma kuleleridir. Bu sebeple soğutma kuleleri, sanayide enerji verimliliği çalışmalarında önceliklendirilmesi gereken ekipmanların başında gelmektedir. Bu çalışmada farklı sektörlerdeki endüstriyel işletmelerin soğutma kulelerinde hayata geçirilen enerji verimliliği projeleri incelenmiştir.

Soğutma kulelerinde enerji tüketen ekipmanlar fanlar ve pompalardır. Tez çalışması kapsamında otomobil lastiği, cam ve demir çelik sektörlerindeki soğutma kulelerinde bulunan alüminyum fan kanatlarının aerodinamik kanat yapısı sayesinde hava akışına daha az direnç gösteren, daha hafif ve daha uzun ömürlü epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir. Farklı sektörlerde bulunan soğutma kulelerinin alüminyum fan kanatlarının epoksi fiber glass fan kanatları ile değiştirilmesiyle soğutma kulelerinde ihtiyaç duyulan hava debilerinin yaklaşık %20 - 25 daha az enerji tüketilerek sağlandığı belirlenmiştir.

3 ayrı sektördeki işletmenin 4 farklı su soğutma kulesindeki 8 adet alüminyum malzemeden imal edilmiş fan kanatların yüksek verimli epoksi fiber glass fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle soğutma kulelerinde ihtiyaç duyulan hava debileri sağlanırken (hatta uygulama öncesine göre artarken) ortalama %23,13 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Soğutma kuleleri dış ortama açık sistemler olduğundan kule fanları nem, sıcaklık, yağış, güneş, toz gibi birçok aşındırıcı etkiye maruz kalabilmektedir. Soğutma kulelerinin ve fanlarının uzun yıllar verimli bir şekilde işletilebilmesi için periyodik bakımlar ve temizlikler göz ardı edilmemelidir. Soğutma kulesi fanlarının periyodik kontrol ve bakımlarının aksatılmadan yapılması önerilmektedir.

Tez çalışması kapsamında otomobil lastiği sektöründeki soğutma kulelerinde bulunan ekonomik ömrünü tamamlamış santrifüj tipteki sirkülasyon pompalarının daha verimli pompalarla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir.

Otomobil lastiği sektöründeki işletmenin 2 farklı su soğutma kulesindeki 4 adet santrifüj tipteki sirkülasyon pompasının daha verimli pompalarla değiştirilmesiyle işletmede ihtiyaç duyulan su debileri sağlanırken ortalama %41,85 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Demir – çelik sektöründeki 3 adet santrifüj pompadan oluşan pompa grubunun çoklu pompa frekans sürücüsü ve otomasyon sistemi ile kontrol edilmesiyle işletmenin soğutma ihtiyacı karşılanırken %27,22 enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Soğutma kulesi sirkülasyon pompalarının uzun yıllar verimli bir şekilde işletilebilmesi için periyodik bakımlar ve temizlikler göz ardı edilmemelidir. Soğutma kulesi pompalarının periyodik kontrol ve bakımlarının aksatılmadan yapılması önerilmektedir.

Soğutma kulelerinde yapılan enerji verimliliği uygulamalarıyla işletmelerin CO₂ salımları ve enerji maliyetleri azaltılmıştır. İşletmeler söz konusu enerji verimliliği projeleri için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın VAP olarak adlandırılan finansal destek programından faydalanmış, böylelikle yatırım maliyetinin %30’unu hibe olarak geri almıştır. (VAP, endüstriyel işletmelerde enerji atıklarının, kayıpların ve verimsizliklerin giderilmesi için gerekli önlemlerin uygulanması amacıyla hazırlanan hibe/destek programıdır.)

Endüstriyel işletmelerde enerji tasarruf potansiyellerini belirleyebilmenin en iyi yolları enerji etütlerinin yaptırılması ve enerji izleme sistemlerinin kurulmasıdır. İşletmelerin belirli sıklıklarla enerji etüdü yaptırması ve enerji etüdü sonucunda belirlenen tasarruf potansiyellerinin değerlendirilerek hayata geçirilmesi önerilmektedir. Ayrıca işletmelerde enerji izleme sistemi kurulmasıyla ekipman, sistem ve işletme genelinin verimleri sistematik olarak kontrol edilebilir ve verimsizlikler tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

- ASHRAE, (2000). 2000 ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Amerika Birleşik Devletleri.
- Black & Veatch, (1996). Power Plant Engineering, Springer Science + Busines Media, Inc. Amerika Birleşik Devletleri.
- Bodur, F., (2016). Yüksek Verimli Elektrik Motoru Tasarımı, TMMOB EMO, İzmir.
- Burkut E., (1995). Soğutma Sularının Terbiyesi, TMMOB MMO.
- Cooling Tower Institue, (2011). Mechanical Components for Cooling Towers.
- Çengel Y.A., Boles M.A., (2012). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Beşinci Baskı, İzmir Güven Kitabevi.
- Çınar A., (2007), Psikrometri Nedir?, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği*, 27, Mayıs-Haziran 2007.
- Dalkıran O., (2019). Kapalı Çevrim Bir Soğutma Kulesinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 600261.
- Encon Group, Cooling Tower Presentation, (2019).
- Gül H., (2012). Ters Akımlı Soğutma Kulesi Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 341557.
- Kara E.C., (2010). Heat and Mass Transfer Analysis of a Counter Flow Cooling Tower Under Various Air and Water Flow Arrangements, M.Sc. Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, 256114.
- Kaya, D., Saraç, H.I, Olgun, H., Tırıs, M., (2000), A Study of Axial Flow Pump Impellers-Effects of pump Design Parameters on its Performance, *Proc. The Twelfth International Symposium, on Transport Phenomena*, Istanbul, 701-705.
- Kröger D.G., (2004). Air-Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers (1), PenWell Corporation, Oklahoma, Amerika Birleşik Devletleri.
- Narin M., Akdemir S., (2006). Enerji Verimliliği ve Türkiye, *Uluslararası Ekonomi Konferansı-Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK*, Ankara, Türkiye, 11-13 Eylül 2006.
- Rühl C. (2008). BP Statistical Review of World Energy, <http://www.britcham.com.br/download/260808rj.pdf/> (Ziyaret Tarihi: 16 Ekim 2021).

- Şengil B.E., (2019). Su Soğutma Kulesi Kapasite Arttırımı için Sayısal ve Deneysel Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 569868.
- Toklu E., Kılıçaslan İ., Yiğit K.S., (1996). Pompa Dizaynında Optimum Karakteristiklerin Seçimi, 2. *Pompa Kongresi*, İstanbul, 3-5 Nisan 1996.
- Tukta C., (2019). Karşı Akışlı Islak Tip Soğutma Kulelerindeki Film Dolgu Malzemelerinin Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 604085.
- URL-1: <http://www.iea.org/statistics/>, (Ziyaret Tarihi: 16 Ekim 2021).
- URL-2: <http://fintherm.com.tr/urun/acik-tip-sogutma-kulesi/>, (Ziyaret Tarihi: 14 Eylül 2021).
- URL-3: <https://www.susogutmakulesi.com.tr/Sogutma-Kulesi-Nedir.html/>, (Ziyaret Tarihi: 07 Eylül 2021).
- URL-4: <https://www.welltechcoolingtower.com/2548/bottle-shape-forced-draft-cooling-towers-in-saudi-arabia-2/>, (Ziyaret Tarihi: 08 Ağustos 2021).
- URL-5: <https://www.rehau.com/id-en/cooling-towers/>, (Ziyaret Tarihi: 08 Ağustos 2021).
- URL-6: <https://www.susogutmakulesi.com.tr/CTP-Su-Sogutma-Kuleleri.html/>, (Ziyaret Tarihi: 07 Eylül 2021).
- URL-7: http://www.cenk.com.tr/tr/TowerElements_Details.asp?PGGroupID=511&PGImageID=7&CatID=20 (Ziyaret Tarihi: 07 Eylül 2021).
- URL-8: <https://www.hvacportal.org/urun/ctp-muhendislik-sogutma-kuleleri-pvc-ithal-hava-panjuru/>, (Ziyaret Tarihi: 07 Eylül 2021).
- URL-9: <https://pompa-vana.com/santrifuj-pompa-nedir/>, (Ziyaret Tarihi: 14 Eylül 2021).
- URL-10: <https://product-selection-classic.grundfos.com/front-page.html?custid=GTR&qcid=1449636945/>, (Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2021).
- URL-11: <https://www.netes.com.tr/urun/fluke-435-ii-3-faz-kayit-fonksiyonlu-guc-kalitesi-analiz-cihazı/>, (Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2021).
- URL-12: <https://www.cmitest.com/produits/multifonction-anemometer-testo-440/> (Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2021).
- URL-13: <https://www.testteknik.com.tr/urun/ge-transport-pt900-ultrasonik-sivi-debimetresi-cift-kanal/>, (Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2021).

URL-14: <https://www.egeorman.org.tr/hesaplayicilar/karbon-ayakizi/>, (Ziyaret Tarihi: 01 Aralık 2021).

Uzunlar M., (1998). Su Soğutma Kuleleri için Temel Bilgiler, *Termodinamik Dergisi*, (Nisan-1998).

Ünlü O., (2009). Sanayide Enerji Tasarrufu Çalışmalarının Önemi ve Buhar Sistemleri ile İlgili Uygulama Örnekleri, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1, 67-80.

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

Zengin G., (2019). Endüstriyel Tip Islak Soğutma Kulelerinin Deneysel ve Teorik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 548444.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Koparan D., Kaya D., Eyidoğan M., Kılıç F.Ç., (2019). Endüstriyel İşletmelerde Kullanılan Soğutma Kulelerinde Enerji Verimliliği İmkanlarının Araştırılması, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, 1-3 Kasım 2019.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Tekirdağ'da tamamladı. 2013 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde endüstriyel işletmelerde kullanılan su soğutma kulelerinde enerji verimliliği konusunda çalışmaları bulunmaktadır. 2018 yılından beri bir enerji verimliliği danışmanlık şirketinde Enerji Sistemleri Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

