

EKSENEL VANTİLATÖR KANATLARI İÇİN ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE CAM/POLYESTER KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Raif SAKİN¹, Nurcan KUMRU², İrfan AY³

¹ Edremit Meslek Yüksekokulu Makine Böl. 10300, Edremit, Balıkesir / Balıkesir Üniversitesi / rsakin@balikesir.edu.tr

² Soma Meslek Yüksekokulu, Makine Böl., 45500, Soma, Manisa / Celal Bayar Üniversitesi / nurcan.kumru@bayar.edu.tr

³ Mühendislik–Mimarlık Fakültesi Makine Müh. Böl.,10145, Balıkesir / Balıkesir Üniversitesi / ay@balikesir.edu.tr

ÖZET

Sanayide soğutma ve havalandırma amaçlı olarak kullanılan eksenel vantilatörlerin kanatları geleneksel olarak döküm alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir. Kanatların kütlesi ve rüzgarın etkisiyle oluşan itme kuvveti hasara sebep olan en önemli kuvvettir. Özellikle vantilatörü ilk çalıştırma ve durdurma esnasında (düşük frekans ve yüksek genlik) oluşan bu kuvvetler tekrarlı eğme gerilmeleri yaratarak yorulma hasarı oluşturur.

Bu çalışmada alüminyum kanatlara alternatif olabilecek cam/polyester kompozitler ile döküm alüminyum malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve kıyaslamalar yapılmıştır. Testlerde ticari ismi Etial-141, Etial-145 ve Etial-160 olan külçeler kum kalıba dökülerek işlenmiş ve üç farklı alüminyum plaka elde edilmiştir. Kompozitler için ise 300-500-800 gr/m² ağırlığındaki cam dokumalar ile 225-450-600 gr/m² cam keçeler kullanılarak RTM metodu ile ($V_f \approx \%44$) üç farklı yapıda cam/polyester plaka imal edilmiştir. Hazırlanan numunelere, üç noktadan eğme ve çekme testlerinin yanı sıra amaca uygun olarak; tam değişken ($R=-1$) ankastre tip düzlemsel-eğme yorulması testleri uygulanmıştır. Yorulma mukavemet sınırı olarak ise 10^6 yük tekrar sayısı esas alınmıştır.

Test sonuçlarına göre en yüksek yorulma ömrü, 800 ve 500 gr/m²'lik cam dokuma kullanılan kompozitlerde tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerin yanında mukavemet/yoğunluk değerleri önemlidir. Maksimum test verileri dikkate alındığında çekme mukavemeti/yoğunluk, eğilme mukavemeti/yoğunluk, yorulma mukavemeti/yoğunluk oranları kompozit numunelerin alüminyuma göre sırasıyla 3.6, 4.6 ve 2 kat daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, Cam/Polyester kompozitten yapılacak bir kanatın alüminyuma göre %36.5 daha hafif olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Eksenel vantilatör kanadı, alüminyum alaşımı, cam/polyester kompozit, mekanik özellikler yorulma mukavemeti, mukavemet/yoğunluk oranı veya (mukavemet/ağırlık oranı)

COMPARISON OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY AND GLASS/POLYESTER COMPOSITES PRODUCED FOR AXIAL FAN BLADES

Raif SAKIN¹, Nurcan KUMRU², İrfan AY³

¹ Edremit Vocational School of Technical Sciences, 10300, Edremit, Turkey / Balıkesir University / rsakin@balikesir.edu.tr

² Soma Vocational School of Technical Sciences, 45500, Soma, Turkey / Celal Bayar University / nurcan.kumru@bayer.edu.tr

³ Dep. of Mechanical Eng., Engineering and Arch. Faculty, 10145, Balıkesir, Turkey / Balıkesir University / ay@balikesir.edu.tr

ABSTRACT

Axial fan blades used in industry on the purpose of cooling and ventilation are produced as aluminum alloy casting. The push force which is occurred by the influence of the mass of the blades and wind is the most important force causing damage. During the first-run and stop of the ventilator, the repeated bending stresses resulted from these forces (low-frequency and high amplitude) cause fatigue failure.

The examination and comparison of the mechanical properties of cast aluminum and glass/polyester composites which may be alternative to aluminum blades were carried out in this study. In tests, commercially known as Etial-141, Etial-145 and Etial-160 produced in shape of ingots by sand molding process to obtain three different aluminum plates. Glass/Polyester composite plates ($V_f \approx 44\%$) with three different structures were produced with RTM process by using 300-500-800 g/m² glass-fiber wovens and 225-450-600 g/m² glass-fiber mats. Three-point bending, tension tests as well as fully reversed ($R=-1$) cantilever plane-bending fatigue tests were applied to samples prepared. Fatigue endurance limit was determined in 10⁶ cycles.

According to test results, the highest fatigue life was found in 800 g/m², 500 g/m² glass-fiber woven composites. In addition to mechanical properties, “strength/density ratio” values are important. When the maximum test data is taken into consideration, it was observed that tension strength/density, bending strength/density and fatigue strength/density ratio of the composite samples are respectively 3.6, 4.6 and 2 times higher than those of aluminum. Also, it was concluded that a blade which is made of glass/polyester composite is lighter 36.5% when compared to aluminum one.

Key Words: axial fan blade, aluminum alloy, glass-polyester composite (GFRP), mechanical properties, fatigue strength, strength/density ratio or (strength-to-weight ratio)

1. GİRİŞ

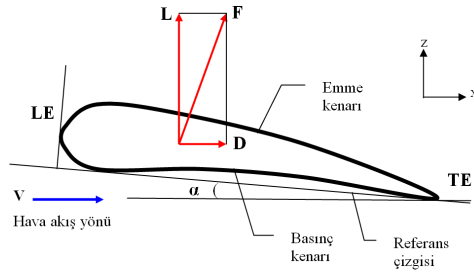
Vantilatörler veya diğer bir deyişle fanlar, belirli bir sistem içinde havanın, buharın ve diğer gazların dolaşımını veya taşınmasını sağlayan mekanik cihazlardır. Vantilatör, oda ve binaların hava sirkülasyonunda, ısıtma ve soğutmada, toz ve pis koku temizlemede, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde çok sık kullanılır. Vantilatör, giriş ve çıkışındaki hava akımının üzerinde basınç farkı oluşturarak hava akışını sağlar. Endüstriyel tip eksenel akış vantilatörleri ise; genel havalandırma sistemlerinin yanı sıra, hafif kütle (yaprak, yonga, talaş, toz vs.) transferinde kullanılan aspiratörler, hava sirkülasyonunun gerektiği toplu yaşam yerleri, büyük depolar, soğutma kuleleri, temiz hava işleme üniteleri, soğuk hava depoları, ısıtma/soğutma ve iklimlendirme sistemleri, motor, malzeme ve ürün soğutma sistemleri, hava temizleme ve dışa hava atım sistemleri, yüksek basınç sistemleri, fabrikaların klima tesisleri, havalandırma ve nemlendirme amaçlı olarak tekstil fabrikaları, çay ve tütün gibi ürünlerin kurutma sistemleri, havalandırma ve hava sirkülasyonunun yoğun olarak gerektiği maden fabrikaları gibi yerlerde çok sık kullanılmaktadır [1-3].

Eksenel akışlı vantilatörlerde kullanılan kanatlar, geleneksel olarak döküm alüminyum veya düşük karbonlu çelikten yapılır. Günümüzde, korozyon dirençlerinin düşük olmasından dolayı bu tip metalik kanatlarda geometri/boyut ve yüzey düzgünlüğünün stabilitesini sağlamak çok zordur. Bu durum ise, güç tüketiminin ve gürültü (ses) seviyesinin artmasına ve dolayısıyla fan veriminin düşmesine yol açar [2]. Cam fiber takviyeli kompozit (GFRP) malzemelerden imal edilen vantilatör kanatları, en zor ortam şartlarında bile korozyona uğramadan çalışabilirler. Metalik kanatlara göre ağırlıkça daha hafif olan GFRP kompozit kanatlar sayesinde, motorda, yataklarda ve tahrik sisteminde düşük atalet momenti sağlanır. Ayrıca GFRP kompozit kanatların aşınma ve yorulma dayanımı da daha yüksek seviyelere çıkarılabilmektedir. Özellikle içi boş kesit olarak da imal edilebilen GFRP kompozit kanatlar, ani duruş/kalkış anında vantilatörde ve konstrüksiyonda oluşabilecek hasarları azaltır. Metalik kanatlara göre malzeme imalat ve montaj maliyeti daha azdır. Çeşitli formlardaki (keçe, dokuma, roving, vb.) cam fiberlerin RTM kalıbı içerisinde farklı doğrultularda yerleşimi ile en uygun kompozit yapı tasarımı yapılabilir. Böylece en uygun mekanik özellikler elde edilebilir. Bunların yanında, cam/polyester kompozit malzemelerin işleme kolaylığından dolayı kanat giriş genişliği ve burulma açısının optimum dağılımı ile daha verimli profiller ortaya çıkarılabilir. Vantilatör kanat geometrilerinin optimum tasarımları daha yüksek verime ulaşmayı, daha düşük ses ve güç tüketimi elde etmeyi sağlar. Yani aerodinamik olarak tasarımı daha kolay ve fabrikasyon olarak üretilen kompozit vantilatör kanatları, birçok kritik avantajının yanında verim artışı ve enerji tasarrufu açısından döküm alüminyum kanatlara mükemmel bir alternatif olabilir [1]. Ayrıca kanat tasarımlarında, birçok uygulama için içi boş cam/polyester kanat üretmek daha kolayken içi boş metal kanat üretmek zordur [2].

Rüzgar türbinleri ve vantilatörler, etkiyen değişken yüklerin karmaşık sisteminden dolayı özellikle yorulma hasarından çok etkilenirler. Özellikle kanatlar risk altındadır. Bu nedenle bir çok araştırmacı, işletme ömrü süresince kanatların yorulma hasar olasılıklarını değerlendirebilmek için yoğun çaba sarf etmişlerdir. GFRP kompozit malzemelerin yorulma ömrü mekanik özelliklerine ve diğer bileşen malzemelerin rijitliklerine bağlıdır. GFRP kompozitler rüzgar türbin ve vantilatör kanatlarında oldukça sık kullanılmaktadır. Yapılan bazı simülasyon çalışmaları, normal şartlar altında çalışan GFRP kompozit kanat ömürlerinin memnun edici olduğunu göstermektedir. Ancak, bazı deneysel çalışmalarda GFRP kompozitin sonlu çalışma ömrünü gösteren S-N eğrisinde sürekli bir azalma olduğu görülmektedir. Ancak bu azalma alüminyum alaşımlarının S-N eğrisindeki kadar ani değildir. Buna rağmen GFRP kompozit kanatlar tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak dikkatli bir şekilde takip edilirse daha güvenilir şekilde kullanılabilirler. Bu çalışmada da uygulandığı gibi, eğer fiber yönlenmesi dönüş yönündeki gerilmelere paralel uygulanırsa cam/polyester kompozit malzemeler genelde çok daha iyi yorulma özelliklerine sahip olmaktadır [4,5].

Şekil-1'de kesiti verilen aerodinamik kanatların asıl kullanım alanı uçak kanatlarıdır. Bu tip standart kesitler ayrıca vantilatör kesiti olarak da kullanılmaktadır. Kanadın altında ve üstünde oluşan pozitif ve negatif basınçların sonucunda oluşan F itme kuvveti, L kaldırma ve D sürüklenme olan iki bileşene sahiptir. L bağıl hava hızına dik, D ise paraleldir. Yararlı bileşen ise L kuvveti ve uçaklarda kanadın ağırlığını dengeleyen kuvvettir. Vantilatörlerde ise akışı saptırarak statik basınç oluşturur. D sürüklenme kuvveti ise kanadın ileri doğru hareketine direnç oluşturur ve güç tüketen bir bileşendir. Aerodinamik kanatlarda yüksek kaldırma kuvveti yanında L/D oranının da iyi seçilmesi gerekir. Hücum açısı (α) değiştiğinde bu oranda değişmektedir [6-8]. S-N eğrileri, kanatlardaki yorulma özelliklerini izafi olarak verir. Ancak, S-N eğrileri çalışma süresince türbin kanatlarında etkili olan karmaşık ve farklı yük tekrarlarının etkilerini tam olarak hesaba katmaz. Aşağıda sıralanan bu kuvvetlerin kaynağı ise kanatların kendi kütlesi ve rüzgar etkisidir [4,5].

- Kanadın kütlesi üzerindeki yer çekimi kuvveti. Bu kuvvet her çevrimde basma ve çekme olarak gerçekleşen eğilme gerilmelerine sebep olur. Özellikle ilk kalkış ve yavaşlama anlarındaki düşük devirlerde daha yüksektir.
- Rüzgarın itme (F) kuvveti
- Kanadın dönmelerinden dolayı oluşan merkezkaç kuvvet
- Rüzgar türbülansından dolayı hızlı bir şekilde değişerek meydana gelen diğer kuvvetler.



- V : Bağlı hız vektörü
- L : Kaldırma kuvveti
- D : Sürüklenme kuvveti
- F : Toplam kuvvet
- α : Hücum (atak) açısı
- LE : Ön (hücum) kısmı
- TE : Kuyruk (fırar) kısmı

Şekil-1. Kanat kuvvetleri ve aerodinamik profil örneği

Araştırmalara göre, nispeten düşük frekans ve yüksek genlikli rüzgar itme kuvveti değişken eğilme gerilmeleri (çeki-bası) yaratacağından yorulma hasarı üzerinde oldukça etkidir. Bu durumda dış darbe almaksızın çalışan vantilatör ve rüzgar türbin kanatları daha çok eğilme yorulması ile hasara uğrarlar. Dolayısıyla, diğer bahsedilen yüklerle kıyaslandığında rüzgar itme kuvveti yorulma hasarı üzerinde çok daha etkilidir [4,5].

Eksenel vantilatör kanatları Türkiye’de de birçok firma tarafından genellikle kum kalıba dökülen alüminyumdan imal edilmektedir. Bu çalışmada halen Türkiye iç piyasasında sık kullanılan döküm alüminyumdan eksenel vantilatör kanatları ve ona önemli bir alternatif olabilecek cam/polyester kompozit kanatların; başta amaca uygun olarak ankastre-tip eğmeli yorulma dayanımları olmak üzere, çekme ve üç noktadan eğme dayanımları gibi mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Ayrıca her malzeme tipi için **çekme dayanımı/yoğunluk, eğilme dayanımı/yoğunluk ve yorulma dayanımı/yoğunluk** gibi özgül mukavemet (σ/ρ) özellikleri grafiklere dökülmüştür. Yorulma testlerde ise kanatlarda tekrarlı eğilme gerilmelerinden dolayı oluşan hasar mekanizmasını basite indirgeyerek, vantilatör kanatlarındaki yüklemeye ve gerilme şekline benzer düzlemsel ankastre-tip eğilme testleri yapılmıştır. Sonuçta döküm alüminyuma alternatif, pratik ve ucuz bir çözüm üretilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda avantajları da sıralanarak en uygun cam/polyester kompozit kanat malzemesi önerisi yapılmıştır.

2. MALZEME VE METOT

Yapılan araştırmalar sonucu Ed-Van Vantilatör Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. gibi Türkiye’de eksenel vantilatör üreten bazı firmaların kanat ve kanatların bağlandığı göbek malzemeleri, genellikle kum kalıba dökülen alüminyum alaşımlarıdır [3]. Bunun için Türkiye iç piyasasından temin edilen ve ticari isimleri Etial-141, Etial-145 ve Etial-160 olan alüminyum külçeler kum kalıba dökülmüştür. Daha sonra bu üç farklı döküm alüminyumdan 5mm kalınlığında plakalar işlenerek test numuneleri elde edilmiştir. Bütün alüminyum numunelerinin kimyasal bileşimleri Tablo-1’de verilmiştir. Cam/polyester kompozit numunelerin imalatı RTM (Reçine Transfer Kalıplama) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem için ise ısıtmalı özel bir kalıp imal edilmiştir. Kalıp boşluğuna (3mm) 800-500-300 gr/m² ağırlığındaki cam dokumalar ile 225 ve 450 gr/m² ağırlığındaki cam keçeler Şekil-2’de görüldüğü gibi sırasıyla ve 0/90° yönlerinde yerleştirilerek E[800], F[500] ve G[300] olarak üç farklı grup kompozit yapı elde edilmiştir. Her bir grup kompozit yapı için cam-fiber oranı yaklaşık %44 olarak sabit tutulmuştur. Cam/polyester kompozit plakaların imalatında kullanılan fiber-matris çiftinin ve diğer yardımcı maddelerin özellikleri Tablo-2’de verilmiştir. Kompozit plaka içindeki fiberlerin yerleşimi, gruplandırılması ve katman sayıları ise Tablo-3’de gösterilmiştir [4].

Tablo-1. Alüminyum plakaların kimyasal bileşimi (% ağırlık) standart gösterimi [9].

Ticari İsim Etinorm	Uluslararası Standart	Al	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti
Etial-141	ISO AlSi12Fe	87.30	0.68	11.94	0.01	0.010	0.01	0.02	---	0.027
Etial-145	AA 332	84.23	0.50	11.87	1.23	0.013	1.00	0.02	1.12	0.019
Etial-160	ISO AlSi8Cu3Fe	87.65	0.62	8.26	3.38	0.040	0.01	0.02	---	0.020

Tablo-2. Kompozit plakaların özellikleri [4]

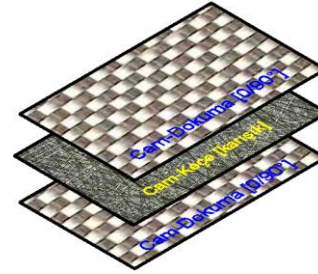
Matris	Ortoftalik polyester reçinesi ¹ Polipol™ 351, $\rho=1.128 \text{ gr/cm}^3$
Monomer	Stren ¹ , $\rho=0.95 \text{ gr/cm}^3$
Karışım Matris	Polyester (%85)+ Stren (%15) $\rho=1.1 \text{ gr/cm}^3$
Katalizör	Kobalt ¹ (Cobalt Naphthenate (%1'lik)) (Matris hacminin %0.2'si)
Sertleştirici	MEKP ¹ (Methyl Ethyl Ketone Peroxide) (Matris hacminin %0.7'si)
Takviye Fiberler	<u>Cam-Dokumalar</u> ^{2,3} $\rho=2.5 \text{ g/cm}^3$ ağırlıklar=800-500-300 gr/m^2 <u>Cam-Keçeler</u> ^{1,3} $\rho=2.5 \text{ g/cm}^3$ ağırlıklar=225-450 gr/m^2
Cam/polyester plakalar	$\rho=1.716 \text{ gr/cm}^3$

¹Poliya A.Ş., ²Cam Elyaf A.Ş., ³Fibroteks A.Ş (Türkiye'de)

Tablo-3. Kompozit numune grupları ve yapıları ($V_f = \%44$)

Grup	Fiber Yönü	Cam-dokuma			Cam-Keçe	
		Birim ağırlıklar (gr/m^2)				
		800	500	300	225	450
E[800]	0/90°	3 ¹	-	-	4	-
F[500]	0/90°	-	4	-	4	1
G[300]	0/90°	-	-	5	4	2

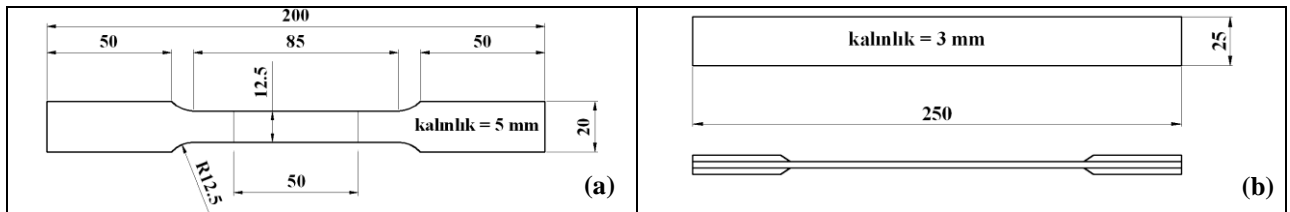
¹ Numune içindeki katman (layer) sayısını göstermektedir



Şekil-2. Cam-dokuma ve cam-keçe fiberlerin RTM kalıbı içindeki yerleşimi

2.1. Çekme Testleri

Bütün numunelere öncelikle çekme testleri uygulanmıştır. Alüminyum numuneler için kullanılan TS EN 485-2 ve ASTM-E/8M-04 standardına göre çekme testi numune boyutları Şekil-3(a)'da, cam/polyester kompozitler için kullanılan ASTM-D-3039 standardına göre numune boyutları ise Şekil-3(b)'de verilmiştir. Her malzeme grubunun çekme dayanımının belirlenmesi için en az beş numune kullanılmıştır. Elde edilen ortalama çekme dayanım değerleri ve diğer mekanik özellikler Tablo-5'de verilmiştir. Çekme değerleri kıyaslamalı olarak ise Şekil-7'de verilmiştir.



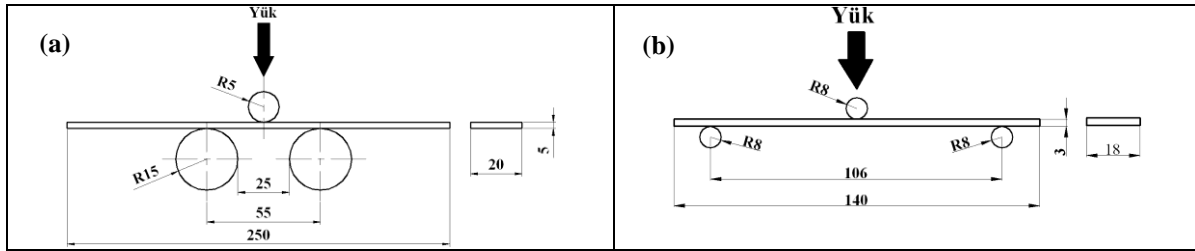
Şekil-3. (a) alüminyum ve (b) kompozit plakalar için çekme numunesi boyutları [10-12]

Tablo-5. Alüminyum ve kompozit plakaların mekanik özellikleri [4,9]

Numune Grupları	Çekme Dayanımı σ_{tu} - (MPa)	Akma Dayanımı σ_{ty} - (MPa)	Elastisite Modülü E_c - (MPa)	Eğilme Dayanımı σ_{tu} - (MPa)	Eğilme Modülü E_e - (MPa)	Sertlik HV
Etial-141	122	98	70000	99	45000	71.5
Etial-145	132	106	68200	120	53000	96.5
Etial-160	157	125	73000	127	56000	120.5
E[800]	358	299	18150	354	17131	ölçülmedi
F[500]	324	257	18070	375	16438	ölçülmedi
G[300]	327	257	16585	348	15611	ölçülmedi

2.2. Üç Noktadan Eğme Testleri

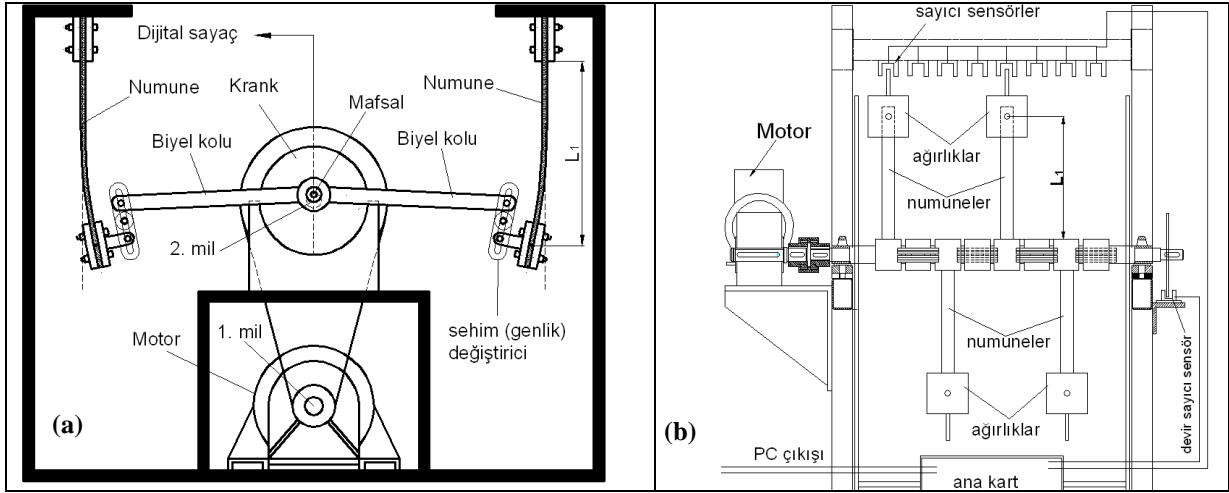
Üç noktadan eğme testleri, sırasıyla alüminyum plakalar için ISO-7438:2005(E) standardına göre, kompozit plakalar için ise ASTM 790-00 standardına göre yapılmıştır. Standart numune boyutları sırasıyla Şekil-4(a) ve (b)'de verilmiştir. Her malzeme grubunun eğilme dayanımının belirlenmesi için en az beş numune kullanılmıştır. Elde edilen ortalama eğilme dayanım değerleri Şekil-7'de kıyaslamalı olarak verilmiştir



Şekil-4. (a) alüminyum ve (b) kompozit plakalar için eğilme numunesi boyutları [13,14]

2.3. Yorulma Testleri

Bu çalışmada, vantilatör kanatlarındaki yorulma olayı ve faktörleri göz önüne alınarak, değişken yükler altında çalışan kanatların çalışma şartlarına uygun test şekli seçilmiştir. Böylece daha gerçekçi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Diğer bir değişle, vantilatör kanatlarındaki eğme yorulmasına benzer ve amaca uygun bir yorulma şekli için ankastre-tip eğmeli yorulma testleri yapılmıştır. Bu amaç için kullanılan ve tarafımızdan geliştirilen test cihazları Şekil-5'de görülmektedir. Alüminyum için kullanılan test cihazı dört numuneli ve test frekansı 50 Hz'dir [4,9]. Kompozitler için ise durum farklıdır. Literatürlerde de bahsedildiği gibi, kompozitlerin yorulma testleri için farklı yükleme frekansları kullanılmasına rağmen, kırılma bölgesindeki ısıyı minimize etmek için genellikle 10 Hz veya daha düşük frekans kullanılması tavsiye edilir [15]. Dolayısıyla malzemenin kırılma bölgesindeki ısıyı en düşük seviyede tutmak, test frekansının artmasıyla oluşabilecek gerçek-dışı verilerden kaçınmak, dönme esnasında oluşan kaldırma, sürüklenme ve merkezkaç kuvvetlerinin etkisini ihmal edebilmek için düşük test frekansı (0.5 Hz) kullanılmıştır [4,15-17]. Şekil-5(b)'de görülen ve sadece ağırlıkların oluşturduğu eğme gerilmesi esas alınmıştır. Bu gerilme ise, kanada etki eden rüzgar itme ve kanat kütlelerinin oluşturduğu eğme kuvvetini temsil etmektedir. Ancak düşük frekans test süresini arttıracığından kompozitler için özel ve onaltı numuneli bir yorulma test cihazı tasarlanmıştır [4]. Diğer yorulma test parametreleri Tablo-5'de, alüminyum ve kompozitler için numune boyutları ise Tablo-6'da verilmiştir.



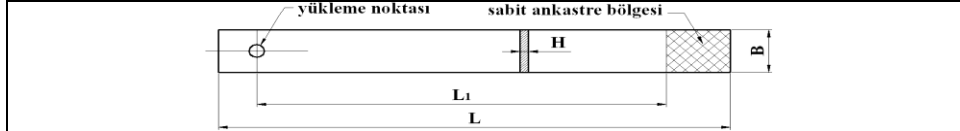
Şekil-5. (a) Alüminyum ve (b) kompozit plakalar için ankastre-tip eğilmeli yorulma test cihazları [4,9]

Tablo-5. Yorulma testi parametreleri [4,9,16]

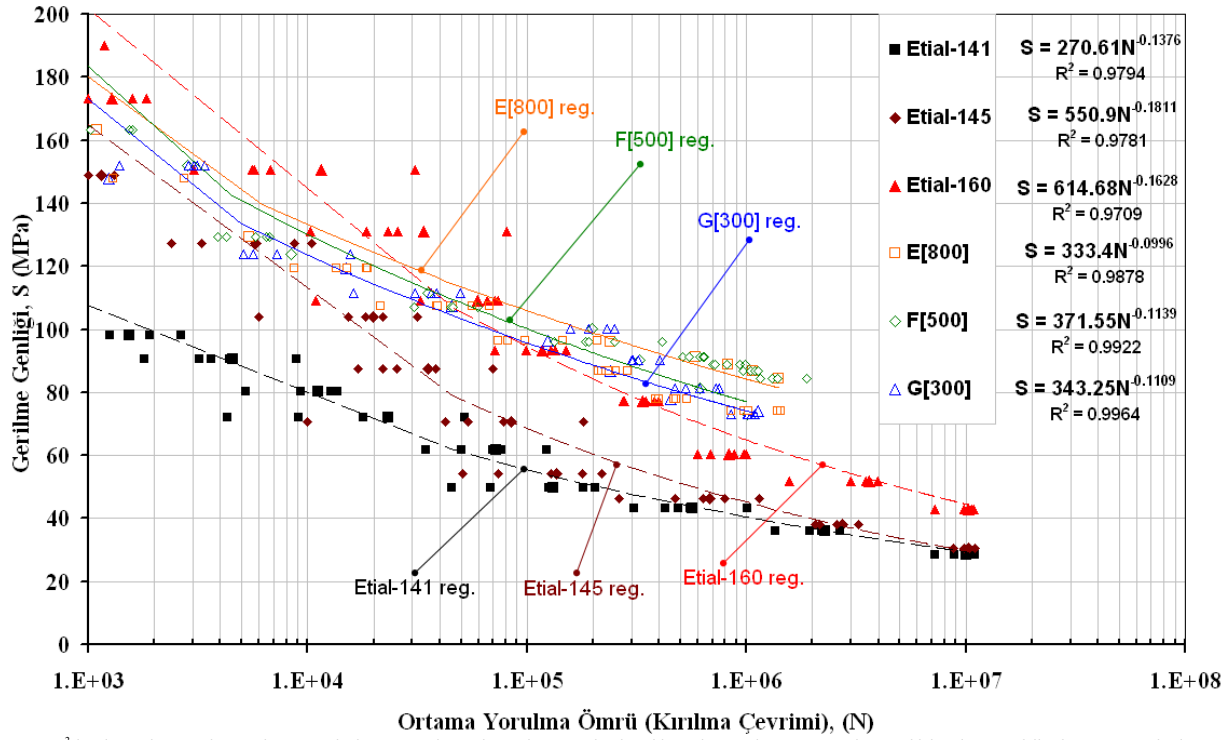
Test Parametreleri :	Alüminyum numuneler için	Kompozit numuneler için
Motor	2.95 HP – 2880 dev/dak	0.5 HP – 1390 dev/dak
Test frekansı	50 Hz	0.5 Hz
Sıcaklık	Oda ısısı	Oda ısısı
Kontrol tipi	Sehim kontrollü	Gerilme kontrollü
Her gerilme için kırılan numune	5	5
Toplam kırılan numune	150	110
Yükleme oranı	R=-1 (tam değişken)	R=-1 (tam değişken)
Maksimum çevrim	10 milyon	1 milyon

Tablo-6. Alüminyum ve kompozit plakalar için yorulma numunesi boyutları [4,9]

Numune Grubu	Genişlik B – (mm)	Kalınlık H – (mm)	Numune Boyu L – (mm)	Eğme Moment Kolu L ₁ – (mm)
Etial-141	25	5	200	160
Etial-145	25	5	200	160
Etial-160	25	5	200	160
E[800]	25	3	250	190
F[500]	25	3	250	190
G[300]	25	3	250	190



Bütün numuneler kırılıncaya kadar testlere alüminyum için 10^7 , kompozitler için ise 10^6 yük tekrar sayısına kadar devam edilmiştir. Ancak, her iki numune için kıyaslama yapılırken hasar çevrimi ve yorulma ömür sınırı olarak, ortalama $N=10^6$ yük tekrar sayısına karşılık gelen gerilme seviyeleri esas alınmıştır [15-23]. Bütün numune yapılarının yorulma sınırını tespitinde, deneysel veriler kullanılarak S-N eğrileri (Wöhler eğrileri) elde edilmiştir. Şekil-6'da bütün numuneleri için ortalama S-N eğrileri verilmiştir. Yorulma ömürlerinin tahmini için çizilen S-N eğrilerinden faydalanılarak ampirik formüller türetilmiş ve malzeme sabitleri hesaplanmıştır. Bu formüller ve malzeme sabitleri literatürdeki düzeltilmiş S-N eğrilerine göre $S = a(N)^{-b}$ Basquin (Power) fonksiyonu ve katsayıları olarak da adlandırılabilir. Dolayısıyla kullanılan bu model literatürlerdeki modellere oldukça uygundur [15-23]. Alüminyum ve kompozit numunelerin bütün yorulma test verileri Şekil-7'de kıyaslamalı olarak verilmiştir.



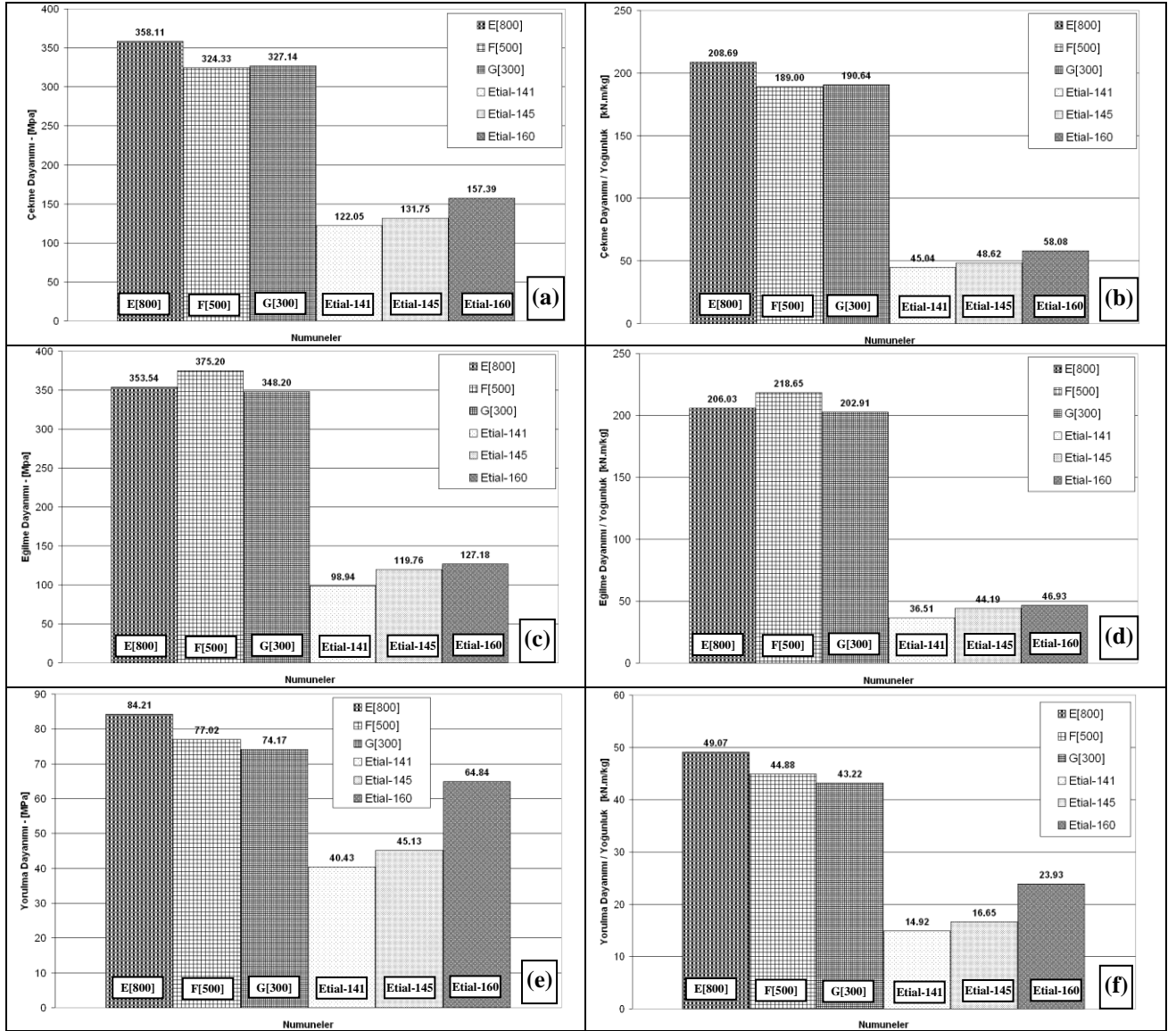
Burada; R^2 korelasyon katsayısıdır ve 0 ile 1 arasında değişir. Korelasyon katsayıları 1'e çok yakın olduğundan, ortalama ömür eğrilerinin oldukça doğru modellendiğini göstermektedir.

Şekil-6 Bütün numuneleri için ortalama S-N eğrileri

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması

Bu çalışmanın esas amacı vantilatör ve rüzgar türbin kanatlarındaki eğilme yorulması ile oluşan hasarı basite indirgeyerek incelemek olduğu için; çekme, eğilme ve yorulması verilerinin kıyaslaması tasarımcı için son derece önemlidir.



Şekil-7 Mekanik özelliklerin ve özgül mukavemetlerin karşılaştırılması

(a) Çekme dayanımı, (b) Çekme dayanımı / yoğunluk, (c) Eğilme dayanımı

(d) Eğilme dayanımı / yoğunluk, (e) Yorulma dayanımı, (f) Yorulma dayanımı / yoğunluk

3.1.1. Çekme Dayanımı ve Özgül Çekme Dayanımı Özellikleri (çekme-dayanımı/yoğunluk oranı)

Şekil-7.'den görüldüğü gibi cam/polyester kompozit numunelerin çekme dayanımı döküm alüminyum numunelerden çok daha yüksektir. 324.33 MPa'lık en düşük çekme dayanımına sahip olan F[500] cam/polyester kompozit ile 157.39 MPa ile en yüksek çekme dayanımına sahip Etial-160 alüminyum kıyaslanırsa, cam/polyester kompozit ve alüminyum kanat malzemelerinin çekme dayanımları arasında en az 2 kat fark vardır. Çekme-dayanımı/yoğunluk oranlarına bakıldığında ise bu fark en az 3.25'dir.

3.1.2. Eğilme Dayanımı ve Özgül Eğilme Dayanımı Özellikleri (eğilme-dayanımı/yoğunluk oranı)

Şekil-7.'den görüldüğü gibi cam/polyester kompozit numunelerin eğilme dayanımı döküm alüminyum numunelerden çok daha yüksektir. 348.20 MPa'lık en düşük eğilme dayanımına sahip olan G[300] cam/polyester

kompozit ile 127.18 MPa ile en yüksek eğilme dayanımına sahip Etial-160 alüminyum kıyaslanırsa, cam/polyester kompozit ve alüminyum kanat malzemelerinin çekme dayanımları arasında en az 2.73 kat fark vardır. Eğilme dayanımı/yoğunluk oranlarına bakıldığında ise bu fark en az 4.32'dir.

3.1.3. Yorulma Dayanımı ve Özgül Yorulma Dayanımı Özellikleri (yorulma-dayanımı/yoğunluk oranı)

Şekil-6 ve Şekil-7(e)'de görüldüğü gibi $N=10^6$ ve daha büyük çevrime (yük tekrar sayısına) karşılık gelen dayanım değerleri için cam/polyester kompozitlerin alüminyum malzemelere göre yorulma dayanımları (ömürler) daha yüksektir. $N=10^6$ çevrim için 74.17 MPa'lık en düşük yorulma dayanımına sahip olan G[300] cam/polyester kompozit ile 64.84 MPa ile en yüksek yorulma dayanımına sahip Etial-160 alüminyum kıyaslanırsa, cam/polyester kompozit ve alüminyum kanat malzemelerinin yorulma dayanımları arasında en az 1.14 kat fark vardır. Yorulma dayanımı/yoğunluk oranlarına bakıldığında ise bu fark en az 1.8'dir. Bu durumda, aynı şartlardaki bir döküm alüminyum kanat malzemesi yerine kompozit malzeme kullanmak son derece önem kazanmaktadır.

3.2. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada hem alüminyum hem de cam/polyester kompozitler için özel olarak vantilatör kanatlarındaki dönme esnasında oluşan kaldırma, sürüklenme ve merkezkaç kuvvetlerin etkisini ihmal edip yüklemeyi basite indirgeyerek, simülasyonu ve yorulma testini yapan test cihazları imal edilmiştir. Böylece, gerçekçi test verileri sunulmaya çalışılmış ve aşağıdaki genel sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Şekil-7'deki karşılaştırmalardan da görüldüğü gibi cam/polyester kompozitler döküm alüminyum numunelere göre; çekme dayanımı açısından (min–maks.) 2–2.93 kat, eğilme dayanımı açısından 2.73–3.79 kat ve yorulma dayanımı açısından 1.14–2 kat daha üstündür. Çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin üstünlüğüne bağlı olarak, cam/polyester kompozit kanatların alüminyum kanatlara göre daha yüksek yorulma dayanımına sahip olması bütün vantilatör sisteminin hem mukavemetini hem de rijitliğini arttıracaktır.
2. Mekanik özelliklerin yanında döküm alüminyum ve cam/polyester kompozit kanatların karşılaştırılmasında en önemli özelliklerinden biri de özgül mukavemet değerleridir. Şekil-7'deki maksimum test verileri dikkate alındığında, çekme dayanımı/yoğunluk, eğilme dayanımı/yoğunluk ve yorulma dayanımı/yoğunluk oranları cam/polyester kompozit numunelerin alüminyuma göre sırasıyla 3.6, 4.6 ve 2 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum;
 - Vantilatör için daha yüksek dayanım ve daha uzun ömür,
 - Yüksek performans, yüksek verim ve enerji tasarrufu anlamına gelir.
3. Tablo-2'den döküm alüminyumun ve cam/polyester kompozit plakaların yoğunluk farkları dikkate alındığında, cam/polyester kompozitten yapılacak bir kanat alüminyuma göre %36.5 kadar hafif (ağırlık olarak) olacağı belirlenmiştir. Bu duruma bağlı olarak ;
 - Kanatların ağırlığının azaltılması sayesinde başta motor olmak üzere mekanik tahrik sistemlerindeki dişliler, yataklar gibi her bir elemanın çalışma ömrü uzar.
 - Daha düşük güçte motor ve daha az yük taşıyan konstrüksiyon kullanılarak maliyet düşürülür.
 - Düşük güç tüketimi sayesinde önemli bir enerji tasarrufu sağlanır.
 - Cam/polyester kompozit kanatlı vantilatörlerin kurulumu esnasında balansı ve montajı daha hızlı yapılabilir. Daha kısa zamanda daha kolay bakım yapılabilir.
4. Cam/polyester kompozit kanatların imalatı ve işlenmesi kolaydır. Cam/polyester kompozit kanatlar, reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemi ile tek parça (uniform) ve sabit kalitede üretilebilir. Bu durumda ;
 - Vantilatör kanatlarının optimum aerodinamik tasarımı yapılabilir ve birçok spesifik uygulamada döküm alüminyum kanatlara göre daha yüksek verim sağlanır.
5. En yüksek yorulma dayanımı $0/90^\circ$ yönlü E[800] grubu numunelerde elde edilmiştir. Ancak bu yapının anizotrop özelliği diğer kompozitlere göre çok daha baskın olduğundan [16], kanat tasarımı öncelikli F[500] grup yapıyı, küçük boyutlu kanatlarda ise G[300] grup yapıyı kullanmak daha uygun olacaktır.
6. Bu çalışma kapsamında araştırılmayan ancak literatürde verilen ve bazı vantilatör firmalarının bilimsel araştırmaları sonucunda; geleneksel metalik kanatlara göre GFRP kanatların aşağıda belirtilen diğer kritik ve önemli avantajları belirtilmiştir [1,24,25]. Bu avantajlar ;

- GFRP kanatlar korozyona karşı daha dirençlidir.
- GFRP vantilatörlerde hava akış ve mekanik gürültü (ses) seviyesi daha düşüktür.
- Daha az güç ile daha fazla hava akışı sağlar. Bu durum ise daha az çalışma maliyeti anlamına gelir. Yapılan araştırmalarda metalik vantilatörlere göre %20-40 enerji tasarrufu sağladığı ifade edilmektedir. GFRP vantilatörün metalik vantilatörlere göre hava akışının daha fazla olduğu, oluşan hava hızının bütün kanat boyunca daha üniform dağıldığı ve güç tüketiminde ise %26.57 kazanç olduğu deneysel verilerle ispatlamıştır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi (BAP 2002/14) ve Celal Bayar Üniversitesi (BAP 2005/42) Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] www.tifac.org.in : Energy Efficient FRP Axial Flow Fans (Erişim tarihi: 16.06.2010)
- [2] www.indiamart.com : Axial Flow FRP Fan And Axial Flow Fan (Erişim tarihi: 16.06.2010)
- [3] www.edvan.com.tr : Edvan Vantilatör Sanayi ve Tic. Ltd. Şti_(Erişim tarihi: 16.06.2010)
- [4] Ay, İ., Sakin, R., “Balıkesir ilinde Alüminyum’dan Üretilen Eksenel Fan Kanatlarının Kompozit (CTP) Malzemeden Yapılması ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi”, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, BAP 2002/14, Balıkesir, 2006.
- [5] Rowler, P.N., “Dynamics and Fatigue”, AMSET Wind Energy Training Course, De Montfort University, GB, 1996
- [6] Dolay F.H., “Bilgisayar Destekli Vantilatör Tasarımı ve Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000
- [7] Bleier, F. B., 1998, Fan Handbook, 3rd ed., McGraw-Hill, New York
- [8] Özgür, C., Yazıcı, H.F., 1994, Pompalar, Vantilatörler, Kompresörler, İ.T.Ü Makine Fak. Yay., İstanbul
- [9] Kumru, N., “Etial-141, 145 ve 160 Tipi Döküm Alüminyum ile Plaka Tipi Alüminyum Malzemeler için Yorulma Makinesi Tasarımı ve Eğilmeli Yorulma Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [10] Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri, TS EN 485-2, Türk Standartları Ens., 2005
- [11] Standard Test Methods For Tension Testing Metallic Material, ASTM-E/8M-04, 2004
- [12] Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM D3039 / D3039M -95a, October 1995
- [13] Metallic Materials – Bend Test, ISO-7438 : 2005(E), 2005
- [14] Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM D790-00, January 2001
- [15] Ay,İ., Sakin, R., and Okoldan, O., "An improved design of apparatus for multi-specimen bending fatigue and fatigue behaviour for laminated composites", Materials and Design, Vol. 29, Issue 2, 397-402, 2008,
- [16] Sakin R., Kumru N. ve Ay İ., “Gerilme-Kontrollü, Çok Numuneli Eğilme Yorulma Test Cihazı Tasarımı ve Kompozitler İçin Uygulama”, 12. Uluslararası Malzeme Sempozyumu (IMSP-2008) Bildiriler Kitabı, 531-541, Denizli, Türkiye, 15-17 Ekim 2008
- [17] Kim, H.Y., Marrero, T.R., Yasuda, H.K., Pringle, O.A., “A Simple Multi-Specimen Apparatus for Fixed Stress Fatigue Testing” Journal of Biomedical Materials Research, Vol.48, No. 3, 297-300, 1999
- [18] Sakin R., Er M.,” The Investigation of Plane-Bending Fatigue Behavior of 1100-H14 Aluminum Alloy “,Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol.25, No.2, 213-223, 2010
- [19] Tomita, Y., Morioka, K., Iwasa, M., “Bending fatigue of long carbon fiber-reinforced epoxy composites”, Materials Science and Engineering A, Vol.319-321, 679-682, 2001
- [20] Abd Allah, M.H., Abdin, Enayat M., Selmy, A.I., Khashaba, U., “Short communication effect of mean stress on fatigue behaviour of GFRP pultruded rod composites”, Composites-Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol..28, No.1, 87-91, 1997
- [21] Sakin, R., Ay, İ., and Yaman, R., "An investigation of bending fatigue behavior for glass-fiber reinforced polyester composite materials", Materials and Design, Vol. 29, Issue 1, 212-217, 2008
- [22] Sakin, R., Ay, İ., "Statistical analysis of bending fatigue life data using Weibull distribution in glass-fiber reinforced polyester composites, Materials & Design, Vol. 29, Issue 6, 1170-1181, 2008
- [23] Er, M., “Yüksek Frekanslı, Genlik Ayarlı Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve 1100-H14 Alüminyum

Levhasının Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.

[24] www.mayafan.in : Maya Fan Air Engineering Pvt. Ltd. (Erişim tarihi: 20.06.2010)

[25] www.paragfans.com : Parag Fans and Cooling System LTD. (Erişim tarihi: 20.06.2010)

6. BİYOGRAFİLER

Raif SAKİN (Yrd.Doç.Dr) – Dr. Raif Sakin, Balıkesir’de Aralık-1970 yılında doğdu. 1987 yılında Balıkesir Merkez Teknik Lise Makine Bölümünden mezun oldu. 1991 yılında Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Aralık-1995 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü “Konstrüksiyon ve İmalat” Bilim Dalından mezun olarak “Makine Yüksek Mühendisi” unvanını aldı. Aralık-2004 yılında aynı Enstitüde Doktorasını tamamlayarak “Doktor” unvanını aldı. Eylül-1993’den beri Balıkesir Üniversitesi’nin sırasıyla Havran MYO, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ve Edremit MYO Makine Bölümlerinde Öğretim Görevliliği yapmıştır. Aralık-2009’dan itibaren Balıkesir Üniversitesi Edremit Meslek Yüksekokulu Makine Bölümünde Yrd.Doç.Dr. unvanı ile Öğretim Üyeliğine yükselmiştir. Halen bu görevini sürdürmektedir.

Dr. Raif Sakin, sırasıyla alüminyum alaşımları, Cam Fiber Takviyeli Kompozitler ve Üretimi, Mekanik Özelliklerinin araştırılması, Kompozitlerin Yorulma Hasarları ve hasar tahminleri konularında çalışmaktadır. 2002-2005 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerinin desteği ile Kompozitler için Bilgisayar Destekli Çok Numuneli Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarlayıp, Cam/Polyester Takviyeli Kompozitlerin Yorulması konusunda uzun çalışmalar yapmıştır. Bahsedilen konularda yayınlanmış eserleri bulunmaktadır.

Dr. Sakin, çalıştığı kurumlara çeşitli zamanlarda Müdür Yardımcılığı ve Bölüm Başkanlığı görevlerinde bulunmuştur. Eylül-2009’dan beri Edremit Meslek Yüksekokulu Müdür Yardımcılığı görevini yürütmektedir. Ayrıca Makine Mühendisleri Odası Üyeliği bulunmaktadır.

Nurcan KUMRU (Yrd.Doç.Dr) – Dr. Nurcan Kumru, Manisa Soma’da Eylül-1964 yılında doğdu. 1983 yılında Soma Linyit Lisesi’nden mezun oldu. 1988 yılında Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mart-2000 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü “Konstrüksiyon ve İmalat” Bilim Dalından mezun olarak “Makine Yüksek Mühendisi” unvanını aldı. Eylül-2007 yılında Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü “Konstrüksiyon ve İmalat” Bilim Dalında Doktorasını tamamlayarak “Doktor” unvanını aldı. 1990-1995 yılları arasında Soma’da Serbest Mühendis olarak çalıştıktan sonra Ekim 1998 yılından itibaren Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Makine Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmış ve Şubat 2010 tarihinde aynı yerde Yrd.Doç.Dr. unvanı ile Öğretim Üyeliğine yükselmiştir. Halen bu görevini sürdürmektedir.

Dr. Nurcan Kumru, sırasıyla Alüminyum alaşımları, Mekanik Özelliklerinin araştırılması, Yorulma Hasarları ve hasar tahminleri konularında çalışmaktadır. 2005-2007 yılları arasında Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerinin desteği ile Alüminyum Malzemeler için Çok Numuneli Eğilme Yorulması Test Cihazı tasarlayıp, Alüminyum malzemelerin Yorulması konusunda uzun çalışmalar yapmıştır. Bahsedilen konularda yayınlanmış eserleri bulunmaktadır.

Dr. Kumru, 2005-2008 yılları arasında CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu’nda Elektrik Program Başkanlığı yaptıktan sonra 2008 yılından itibaren Mekatronik program Başkanlığı ve 2005 yılından itibaren Yüksekokul Yönetim Kurulu Üyeliği görevlerini yürütmektedir. Ayrıca Makine Mühendisleri Odası Üyeliği bulunmaktadır. Ayrıca Makine Mühendisleri Odası Üyeliği bulunmaktadır.

İrfan Ay (Prof.Dr) – Dr. İrfan Ay, Sakarya’da Mart 1954 yılında doğdu. 1970 yılında Sakarya Lisesinden mezun oldu. 1975 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1977 yılında Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim dalı “**Konstrüksiyon ve İmalat**” Bilim Dalından mezun olarak “**Makine Yüksek Mühendisi**” unvanını aldı. 1978 yılında Balıkesir üniversitesine asistan olarak girdi. 1985 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktorasını tamamlayarak “**Doktor**” unvanını aldı. 1985’te **Yardımcı Doçent**, 2000 yılında **Doçent**, 2007 yılında **Profesör** oldu.

Dr. İrfan Ay, sırasıyla Kırılma Mekaniği, Cam Fiber Takviyeli Kompozitler ve onların Mekanik Özelliklerinin araştırılması, Kompozitlerin Yorulma Hasarları ve hasar tahminleri, Borlama, Saçlarda Geri Esne ve Polis Kurşun Geçirmez Yelek konularında çalışmaktadır. Bahsedilen konularda yayınlanmış eserleri bulunmaktadır.

Dr. Ay, çalıştığı kurumlarda çeşitli zamanlarda SSK Daire Başkanlığı (vekaleten) Dekan Yardımcılığı (2 kez), Bölüm Başkanlığı, Fen bilimleri Enstitüsü müdür yardımcılığı, Vakıf Müdürlüğü, BESYO müdürlüğü görevlerinde bulunmuştur. 2009’dan beri Balıkesir Meslek Yüksekokulu Müdürü (**BMYO**) görevini yürütmektedir. Ayrıca Makine Mühendisleri Odası Üyeliği bulunmaktadır.