DİKEY RÜZGAR TÜRBİNİ PROTOTİPİNDE PERFORMANS BELİRLENMESİ AMACIYLA GELİŞTİRİLMİŞ ARAÇ ÜSTÜ TEST DÜZENEĞİ

Oğuz K. Onay¹ ve Gökhan Çeterez² Turbotek Ltd. Şti.

A. Ruhşen Çete³ Turbotek Ltd. Şti.

ÖZET

Bu çalışmada makul boyutlarda rüzgar türbinleri veya rüzgar türbini prototipleri için performans belirlenmesi amacıyla bir araç üstü test düzeneği tasarlanmıştır. Bu düzenek geliştirilirken aynı zamanda; rüzgar tüneli maliyetlerinden, tünellerde oluşabilecek maddi hasarlardan ve tünel duvarlarından kaynaklı kenar kayıplarından kaçınılması da hedeflenmiştir. Oluşturulmuş olan sistemde; rüzgarsız hava şartlarında aracın hızı sabit tutulmaya çalışılarak, araç üzerine monte edilmiş olan (Darrieus tipi) dikey rüzgar türbininde (DRT) devir ve tork ölçümü diz üstü bilgisayar üzerinden yapılabilmekte, başlangıç probleminin çözümü amacıyla araç içerisinden DRT'ye ilk hareket verilebilmekte ve gerekli durumlarda türbini yüklemek veya durdurmak amacıyla bir pnömatik fren vasıtasıyla yine bilgisayar üzerinden fren yapılabilmektedir. Söz konusu test düzeneği kullanılarak 0,30 m çapına, 0,58 m kanat açıklığına, 0,02 m veter boyuna sahip; yörünge üzerinde burulmuş NACA 0015 profilli Darrieus tipi bir DRT 1,5 ve 4,5 uç hız oranları aralığında test edilmiş ve elde edilen performans sonuçları bildiride verilmiştir.

GİRİŞ

Bugün her ne kadar sayısal yöntemler kullanılarak pervane veya rüzgar türbini gibi döner kanatlı kontrol yüzeylerinin performans analizleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilebiliyor olsa da, tasarımların performansları konusunda daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek ya da sayısal analizleri doğrulayabilmek amacıyla tasarımların birebir modellerinin ya da ölçeklendirilmiş prototiplerinin performans testlerinin yapılması gerekliliği kaçınılmazdır.

Gerekli performans testleri rüzgar tünellerinde gerçekleştirilebilse de, yeterince büyük rüzgar tünellerinin sayıca fazla olmayışı ve mevcut tünellerde yapılan testlerin yüksek maliyetler gerektirmesi alternatif test yöntemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Daha önce de literatürde uygulanmış olduğu bilinen araç üstü test uygulamaları [3], hem rüzgar tünellerinde gerçekleştirilen testler kadar maliyetli değildir; hem de tünellerde duvarlardan kaynaklanan kenar kayıplarını engellemek gibi bir avantaja sahiptir.

Ön tasarımı tamamlanmış bir DRT'nin ölçeklendirilmiş prototipinin performansının belirlenmesi ve sayısal analizlerinin doğrulanması ihtiyacını karşılamak amacıyla yukarıda bahsedilen şekilde söz konusu testleri gerçekleştirebilmek için bir test düzeneği kurulmuş ve düzeneğin ayrıntıları aşağıda belirtilmiştir. Test düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

¹Makina Mühendisi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Yüksek Lisans Öğrencisi, E-posta: o.onay@turbotek.com.tr

²Metalurji ve Malzeme Mühendisi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans Öğrencisi, E-posta:gceterez@turbotek.com.tr
³Dr. Uçak Mühendisi, E-posta: arcete@turbotek.com.tr



Şekil 1:Test Düzeneğinin Genel Görüntüsü

TEST DÜZENEĞİ VE TEST YÖNTEMİ

Söz konusu test düzeneğini basitçe kontrol elemanları, geri besleme elemanları ve türbinin kendisi olmak üzere üc kısıma ayırmak mümkündür. Kontrol, 1,5 kW kompresörle beslenmekte olan pnömatik bir frenle sağlanmaktadır. Burada frenin amacı, istenildiği durumda türbini durdurmak ya da türbinde yükleme sağlayarak alternatörü simüle edebilmek ve gerektiğinde türbinin açısal hızını sabit tutarak önceden belirlenmiş devir değerinde ve rüzgar hızında torkun değerinin ölçülebilmesini sağlamaktır. Pnömatik hat; filtre, oransal regülatör, transmitter ve açma kapama kontrolünden oluşmaktadır. Bu pnömatik sistemin test düzeneğindeki görünümü Sekil 2'de verilmiştir. Oransal regülatör, frene; veri toplama sistemi vasıtasıyla, bilgisayar üzerinden gönderilen sabit voltajdaki sinyalin voltaj miktarıyla doğru orantılı olarak hava basıncı sağlamaktadır. 0-10 volt aralığında çalışan oransal regülatör, kompresörle 10 bar besleme basıncı sağlandığında 0.2-8 bar aralığında hava basıncının pnömatik frene verilmesine imkan tanır [4]. Regülatörün besleme basıncını (10 barı geçmemek şartıyla) arttırıp azaltarak ve gerekli kalibrasyonu yaparak çalışma basıncı aralığını değiştirmek mümkündür [4]. Söz konusu hava basıncı aynı zamanda türbine yapılacak yükleme ile ilintili olduğundan ölçüm esnasında uvgulanması gerekebilecek türbin yüklemeleri belli bir esnekliğe sahiptir ve farklı tork aralıklarında çalışması beklenen türbinlerin aynı sistemle test edilmesi mümkündür. Burada transmitter, frene sağlanan basıncı hassas olarak ölcerek frenin kontrolünde bir cesit geri besleme görevi görmektedir. Transmitter, oransal regülatörün aksine, ölçülen basınçla doğru orantılı şekilde voltaj yaratarak veri toplama sistemine gönderir ve bu voltaj değerinin bilgisayar ortamında görüntülenebilmesini sağlar [5].



Şekil 2: Fren kontrolünde kullanılan pnömatik hat

Bahsedilen sistemde, türbinin davranışını görüntüleme ve tork ile devir bilgilerini kaydetme amaçlı geri besleme, aynı zamanda devir ölçme özelliği de bulunan bir torkmetre ile sağlanır. Torkmetre; mildeki torku, devir sayısını ve dönüş açısını ölçebilmektedir. 0-10 Nm'lik tork aralığı yine 0-10 Volt aralığında analog kanal vasıtasıyla ölçülür ve cihazın kalibrasyona ihtiyacı yoktur [7]. Cihaz aynı zamanda devir ölçümü için, milin bir dönüşünde 60 puls üretmektedir [7]. Sayaç kanalı vasıtasıyla devir belirlenirken aynı zamanda türbinin anlık azimut açısı 6 derecelik hassasiyet ile belirlenebilmektedir. Torkmetreden alınan tork geri beslemesiyle, regülatör ve torkmetre arasında kapalı bir devre oluşturarak türbini istenen tork değerinde yüklü halde tutmak mümkündür. Aynı geri besleme devir ölçümü ile de yapılabilir. Böylece sabit devir değerinde türbinin ne kadar tork üretme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiş olur. Daha önce de belirtildiği gibi türbinin devrini ayarlayabilmek üzere (alternatörün simülasyonu için) fren kullanılmaktadır. Türbini yüklemek için kullanılan pnömatik fren, 0,1-6 bar basınç aralığında 0,25-15 Nm yükleme kapasitesine sahiptir [6]. Hava basıncıyla gerilen diyaframların balatalara baskı yapmasıyla çalışır ve tüm sürtünen yüzeyleri açık havayla temas ettiğinden herhangi bir harici soğutmaya ihtiyaç duymamaktadır. [6]. Pnömatik frenin torkmetre ile test düzeneğindeki görünümü Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3: Pnömatik Fren ve Torkmetre

Oransal regülatör, transmitter, pnömatik fren ve torkmetrenin teknik özellikleri aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

CİHAZIN ADI	BESLEME	GİRİŞ ARALIĞI	ÇIKIŞ ARALIĞI	HASSASİYET
Oransal Regülatör [4]	8,3-10,0 bar basınçta hava	0,0-10,0 Vdc	0,2-8,0 bar basınçta hava	0,07 bar
Transmitter [5]	12 Vdc	0,0-10,0 bar basınçta hava	0,0-10,0 Vdc	0,25%
Pnömatik Fren [6]	-	0,1-6,0 bar basınçta hava	0,25-15 Nm tork	-
Torkmetre [7]	-	0-10000 dev/dk devir - 0-10 Nm tork	0-600000 puls/dk (5V kare dalga) - 0,0-10,0 Vdc	0,1 mV

Tablo 1: Oransal Regülatör, Transmitter, Pnömatik Fren ve Torkmetrenin Teknik Özellikleri

Türbin torkunun kayıpları yenememesi durumunda ise motor ile devir ayarlanabilmektedir. Bu durumda kanatsız olarak türbin döndürülerek kayıp tork miktarı ölçülebilmektedir.[1] Üretilen DRT'nin testleri bu şekilde yürütülmüştür. Devrin ayarlanması için motor olarak ThunderTiger

markasının OBL 49/08 modeli kullanılmıştır. 3 fazlı fırçasız motorun teknik özellikleri aşağıda Tablo 2'de verilmiştir

Voltaj Aralığı	8~10S Li-Po Pil	
KV Oranı	770 RPM/V	
Maks. Verimli Akım	4 ~60A	
İç Direnç	18.4 mΩ	
Ağırlık	335 g	

Tablo 2: Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri [8]

Türbin testlerinde kullanılan motorun beslemesi 12 VDC araç aküsüyle sağlanmıştır. Motorun sürülmesi için radyo kontrol kumandası kullanılmıştır. Radyo kontrol kumandasından sağlanan radyo dalgası bir alıcıya gönderilerek alıcı tarafından genliği değiştirilebilen bir kare dalgaya dönüştürülür ve bu kare dalga da elektronik hız kontrolörüne (ESC) giderek motorun sürülmesi için gerekli frekansta bir sinüs dalgaya dönüştürülerek motorun kontrolü sağlanmış olur. Elektrik motorunun kontrolü için kullanılan, radyo kontrol kumandası, alıcı ve elektronik hız kontrolörünün teknik özellikleri aşağıda Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3: Radyo Kontrol Kumandasının ve Radyo Alıcısının Teknik Özellikleri [9]

RADYO KONTROL KUMANDASI		RADYO ALICISI	
Kanal sayısı	6	Kanal Sayısı	6
Sinyal Gücü	<750 mW	Çalışma Mesafesi	≤400 m
Çlışma Akımı	≤250 mA	Akım Direnajı	10 mA
Çlışma Voltajı	12 V	Çalışma Voltajı	4 ,5~6,5 V

Tablo 4: Elektronik Hız Kontrolörünün (ESC) Teknik Özellikleri [10]

Voltaj Aralığı	3~7S Li-Po Pil	
10 sn maks. Akım	130 A	
Çalışma Akımı	120 A	
İç Direnç	1 mΩ	

Test sisteminde veri toplama için lOtech PersonalDAQ 3000 serisininin 3001 modeli kullanılmıştır. Bu veri toplama kartının test sisteminde görüntüsü Şekil 4'te teknik özellikleri ise Tablo 5'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Veri Toplama Sisteminin Düzenek Üzerinde Görünüşü

Analog Giriş Kanalları	16SE / 8DE	
Analog Çıkış Kanalları	4 Adet	
Dijital Giriş/Çıkış Kanalları	24 Adet	
Sayaç (Counter) Girişleri	4 Adet	
Zaman Ölçer (Timer) Çıkışları	2 Adet	
Sinyal Üretici (Encoder) Ölçümü	20 MHz'ye kadar	
Frekans ve Puls Genliği Çözünürlüğü	20,83 nsec	

Tablo 5: Veri Toplama Sisteminin Teknik Özellikleri [11]

Test düzeneğinde elektrik motoru dışında elektrik beslemesi gerektiren tüm cihazların beslemeleri 12 VDC araç aküsüne bağlı bir invertör sayesinde sağlanmaktadır. Uygun adaptörler doğrudan invertöre bağlanarak besleme yapılır. 12 VAC'yi 230 VDC'ye çevirmek için kullanılan invertörün teknik özellikleri aşağıda tablo 6'da verilmiştir.

Giriş Voltaj Menzili	10~15 Vdc
Giriş Tam Yük Akımı	60 A
Çıkış Voltajı	230 Vac
Çıkış Frekansı	50Hz
Devamlı Çıkış Gücü	1000 W
Zirve Çıkış Gücü	2000 W
Verimlilik	85-90 %

Tablo 6: İnvertörün Teknik Özellikleri [12]

Test düzeneği her ne kadar öncelikli olarak Darrieus tipi DRT prototipini test etmek amacıyla tasarlanmış olsa da, tasarım sürecinde pervane ve yatay türbin gibi yatay eksenli döner kanatlıların performanslarının belirlenmesi amacıyla da kullanılabilir olması amaçlanmıştır. Şekil 3'te görülen fren, kaplin, torkmetre, kaplin hattının şekil 5'te görüldüğü gibi yatay bir şekilde konumlandırılması yatay eksenli testleri gerçekleştirebilmek için yeterli olacaktır.



Tasarlanan test düzeneği ile gerçekleştirilecek testlerde rüzgar hızı, aracın hızına eşdeğer olmaktadır. Sistemde araç hızının sabitliği, aracı trafiğe kapalı ve virajlı olmayan bir yolda kullanan sürücü tarafından sağlanmaya çalışılır. Ölçümün hassas olması ve kolay kaydedilebilmesi için ölçümün GPS sistemi ile yapılması tercih edilmiştir. Testlerde günün rüzgarsız saatlerinin seçilmesi rüzgar hızının doğru temsil edilmesi açısından faydalı olacaktır.

Test sisteminin şeması Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: Test sisteminin şeması

DARRIEUS TİPİ RÜZGAR TÜRBİNİNDE PERFORMANS BELİRLENMESİ

Daha önce de belirtildiği gibi test düzeneği, ön tasarımı tamamlanmış bir DRT'nin ölçeklendirilmiş prototipinde performans belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Şekil 7'de Performans testleri gerçekleştirilmiş olan prototipin CAD çizimi görülmektedir.

Ölçümleri yapılmış olan 0,30 m çapındaki ölçekli prototipte; 0,58 m kanat açıklığına, 0,02 m veter boyuna sahip NACA 0015 profilli kanatlar kullanılmıştır. Kanatlar dairesel bir yörüngede ilerleyeceğinden istenmeyen yönde bir kamburluk etkisinin oluşmaması için profiller yörungenin çapı kadar bir yay üzerinde burulmuştur.



Şekil 7: Performans ölçümleri yapılmış olan DRT prototipi

Bu boyutlarda bir DRT'nin 1,5-4,5 uç hız oranları aralığındaki testlerinde, Reynold sayısının 10⁴ seviyelerine kadar düştüğü görülmüştür. Türbin kesit alanının çok küçük olması nedeniyle, elde edilecek güç miktarı çok küçük olmakta ve konstrüksiyonların sebep olduğu kayıptan küçük kalmaktadır. Bu nedenle performans testleri, türbinin kanatlı ve kanatsız halleri için ayrı ayrı yapılmıştır, net güç ikisinin farkından elde edilmiştir. Araç günün rüzgarsız saatlerinde 10 m/s hızla sürülürken türbinin hızı 1000 ve 3000 devir aralığında değiştirilerek (hem kanatlı hem kanatsız olmak üzere) ikişer dakikalık ölçümler alınmıştır. Her bir ölçüm esnasında tork ve devir bilgisi 500 Hz ile kaydedilirken motor, radyo kontrol kumandası ile sabit devirde tutulmaya çalışılmıştır. Tork, devir ve araç hızı bilgileri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir ve elde edilmiş olan ham verilerin yalnızca çalkantısı düşük olan zaman aralıklarında olanları değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen sonuçların tutarlılığından emin olmak amacıyla söz konusu ölçümler birden fazla kez tekrarlanmış ve genel sonuç ortalama değerler kullanılarak sunulmuştur. Şekil 8'de türbinin araç üzerinde, test öncesi görünümü verilmiştir.



Şekil 8: Test öncesi aracın ve DRT prototipinin görünümü

ONAY, ÇETEREZ ve ÇETE

Aşağıda Şekil 9'da, örnek olarak türbin devrinin 2000 dev/dk'da tutularak alınan 2 dakikalık ölçümlerden birisinin işlenmiş verileri gösterilmiştir. 500 Hz ile alınan 120 saniyelik tork ve devir ölçümlerinin ham verisi, alınan ölçüm başına 60000'er tork ve devir verisi anlamına geldiğinden; verilerle çalışmanın ve daha net yorumlarda bulunmanın kolaylığı için tork ve devir bilgisi, türbinin 40 devrinde bir ortalama alınarak ele alınmıştır. Ancak bu şekilde ortalamaları ele almanın tork verisindeki çalkantıların gözden kaçmasına sebep olabileceği farkedilmiştir. Bu nedenle ortalaması alınan değerlerin standart sapmaları da gözlemlenerek tork verisinde çalkantıların en az olduğu bölgeler belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 9: 2000dev/dk'da 2 dakikalık kanatlı ölçüm sürecinin ardından işlenmiş veriler

Şekil 9'da görülen araç hızı verisi ise saniyede bir alınan GPS ölçümüne dayanmaktadır.

Bu ölçümün verileri göz önüne alındığında 60 ve 70 saniye aralığında türbinin belli bir rejime girmiş olduğu söylenebilir. Bu zaman aralığında elde edilen tork, devir ölçümü ve araç hızı ortalamaları, türbinin genel davranışının belirlenmesi için kullanılmıştır. Aynı prosedür, aynı devir için kanatlar sökülerek motorun karşılaştığı tork direncinin ölçülmesi için de uygulanmıştır. Kanatlı testlerde motorun karşılaştığı tork direncindeki azalmanın, DRT'nin üretmesi beklenen tork miktarından kaynaklandığı varsayılmaktadır.

Şekil 10'da 2000 dev/dk'da elde edilmiş yaklaşık 8 saniyelik tork değerleri görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı gibi türbin, ölçümlerdeki çalkantıların az olduğu bölgelerde motorun karşılaştığı tork direncini azaltmıştır.



Şekil 10: 2000 dev/dk'da elde edilmiş tork değerleri

Şekil 11'de ise örnek olarak, 1000 dev/dk de elde edilmiş yaklaşık 9 saniyelik tork değerleri kanatlı ve kanatsız testler için karşılaştırılmıştır. Bu devirde türbin kanatlarının, dönme yönünün tersine tork oluşturduğu görülmektedir. Bu, türbinin 1000 dev/dk'de henüz pozitif tork üretmediğini göstermektedir.



Şekil 11: 1000 dev/dk'da elde edilmiş tork değerleri

Burada belirli bir devir için kanatlı ölçüm verisinden elde edilen ortalama tork değeri *T*, aynı devir değerinde kanatlar sökülmüş haldeyken motorun karşılaştığı tork direnciyse *T*' olarak anılırsa, DRT'nin bu devirdeki güç katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$T' - T = T_{net}$$

 $T_{net} \times \omega = P_{net}$
 $P_{riizgar} = 0,5 \times \rho \times V_{\infty}^{3} \times A$
 $C_{p} = P_{net} / P_{riizgar}$

Yukarıda ω türbin devrinin rad/sn cinsinden karşılığı, P_{net} türbinin ürettiği güç, ρ serbest akımın yoğunluğu, V_{∞} serbest akım hızı, A türbinin süpürme alanı, $P_{riizgar}$ türbinin süpürme alanının karşılaştığı rüzgarın kinetik enerjisinin birim zamandaki miktarı ve C_p hesaplanan güç katsayısıdır.

Türbin yarıçapına *r* denirse hesaplanmış olan güç katsayısının karşılık geldiği uç hız oranı λ ise aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$\lambda = \boldsymbol{\omega} \times r / V_{\infty}$$

Yukarıda anlatılan prosedür devri 1000-3000 dev/dk aralığında değiştirerek tekrarlanmış ve bu devir aralığındaki testler, tutarlılıklarından emin olunması için birden fazla kez yapılmıştır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Güç katsayıları yukarıda bahsedildiği şekliyle hesaplandıktan sonra elde edilen grafik şekil 12'de verildiği gibidir. Grafikte aynı zamanda türbinin sayısal analizi sonucunda elde edilen performans eğrisi de gösterilmiştir.



Şekil 12: Sayısal sonuçlarla deney sonuçlarının karşılaştırılması

Alınan ölçümler süresince DRT prototipinin kanatlarının yapısal olarak yetersiz olduğu ve devir yükseldikçe kanat uçlarının ve kanat göbeğinin santrifüj etkisiyle dışa doğru bükülerek (fıçılanarak) şekil değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu şekil değiştirmelerin aerodinamik davranışı ciddi anlamda değiştireceği düşünülmektedir. Bunun yanısıra Şekil 7'deki CAD çiziminde görüldüğü gibi prototipin küçüklüğü ve yapısal sıkıntıları nedeniyle türbinde çok fazla konstrüksiyon kullanılması gerekmiştir, bu da sürükleme etkisinin artışına sebep olmaktadır. Aynı zamanda kanatların üretim işleminden kaynaklanan yüzey hataları da performans ölçümünün, sayısal analiz sonuçlarıyla tutarsızlığına başka bir gerekçe olarak gösterilebilir. Türbinin tork üretimi 10⁻² Nm mertebelerindeyken mildeki ve yataklardaki iç direncin 10⁻¹ Nm mertebelerinde olmasının da ölçüm hatalarına sebep olmuş olabileceği tahmin edilmektedir.

Bütün bu deneysel sorunlar dışında performans eğrilerinin uyumsuzluğunun bir başka sebebi de iki eğrinin farklı Reynold sayılarında elde edilmiş olmasıdır. Sayısal analiz 40000'in altındaki Reynold sayılarında sağlıklı sonuçlar elde etmeye elverişli olmadığı için, Reynold sayısı en az 80000 seviyesinde tutulacak şekilde yürütülmüştür.

Şekil 12'de verilen sayısal analiz ve deney sonuçları göz önüne alındığında performans eğrilerinin aynı eğilimde oldukları ve birbirine yakın uç hız oranlarında maksimum verimi gösterdikleri söylenebilir. Test sonuçları ve sayısal sonuçlar arasındaki sapmaların, yukarıda bahsedilen bir çok olumsuzluğa rağmen beklenenden az olduğu görülmektedir. Bu çalışmada karşılaşılan problemlerin önüne geçebilmek için yapısal sorunların daha az olacağı, daha büyük çaplarda ve daha az konstrüksiyonlu türbinlerle yeni testler yapılması planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Takao, M., Takita, H., Saito, Y., Maeda, T., Kamada, Y., Toshimitsu, K., *Experimental Study of a Straight Bladed Vertical Axis Wind Türbine with a Directed Guide Vave Row*, ASME/OMAE2009/Honolulu,Hawai,ABD Haziran 2009
- [2] Camporeale, S. M., Fortunate, B., Marilli, G., Maeda, T., *Automatic System for Wind Turbine Testing*, ASME /Journal of Solar Energy Engineering 2001
- [3] Kirke B. K., *Evaluation of Self-starting Vertical Axis Wind Turbines for Stand Alone Applications*, Griffith University Nisan 1998
- [4] Installation, Operation and Maintenance Instructions, Type 550X Miniature I/P, E/P Transducer, ControlAir Inc
- [5] *3100 Series Compact High Pressure OEM Pressure Transmitter, Indicators and Accessories*, Gems Sensor & Controls
- [6] Mini freni raffreddati ad aria, Dati Tecnici, FRENI MAC
- [7] *Operating Instructions, Torque Transducer, Type DRFL; DRFL-n; DRFL-w,* ETH-messtechnik gmbh
- [8] *Thunder Tiger Ripper OBL Series Helicopter Brushless Motor Instruction Manual*, Thunder Tiger CORP.
- [9] Operating Manual for LCD Digital Proportional Radio Control System, E-Fly, ART-TECH
- [10] Brushless Hiz Kontrol-120 Amper 3-7 Li-Po, VERTEX MOTOR
- [11] PersonalDAQ/3000 Series, USB 1-MHz, 16-Bit Multifunction Modules, IOtech
- [12] DC to AC Power Inverter, Instruction Manuel, Linetech