AÇIK VE AÇIK JET ODALI RÜZGAR TÜNELLERİNİN TASARIMI, ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYON SONUÇLARI

Yashar OSTOVAN[1], Talha MUTLU[2], Oğuz Kaan ONAY[3], Javid KHALİLOV[4], Halit KUTKAN[5], Ali Ruhşen ÇETE[6]
Turbotek Turbomakina Teknolojileri Ltd Şti, ODTÜ Teknokent/ANKARA

Bayram MERCAN[7], Anas ABDULRAHIM[8], Oğuz UZOL[9]
ODTÜ, Havacılık ve Uzay Mühendisliği

Semih ÖZDEDE[10]
GSR Enerji Ltd. Şti, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, 1 adet açık tip (ODTÜ, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü Rüzgar Tüneli, HUMRT) ve 1 adet açık jet odalı (GSR Enerji Rüzgar Tüneli ,GSRRT) rüzgar tünelinin tasarım ve üretim aşamalarından ve karakterizasyon çalışmalarından söz edilmiştir. Bu tünellerden açık tip olan 1x1 m^2 kesit alanına sahip 2 m uzunlugunda test odasına sahipken, açık jet odalı tünel 1.5x1.5 m^2 açık jet çıkışına sahiptir. Bu tünellerin ön tasarımı Eckert[2] ve Pope'a[1] ait formulasyonlar kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tasarım aşamasında iki boyutlu HAM (Hesaplamalı Akışkanlar Mekaniği) analiz sonuçlarından faydalanılmıştır. Detay tasarımın ardından üretilen tünellerin karakterizasyon ölçüm çalışmaları tamamlanmıştır ve bu bildiride detaylı bir şekilde sunulmuştur.

GİRİŞ

Bu çalışmada söz edilen tünellerin ikisi de emme tipi rüzgar tünelleri olup birbirine çok benzer alık tiplerine sahiptirler. Emme tipi rüzgar tünellerinde fan sebebiyle oluşan bozuntunun test odasındaki akış üzerindeki etkisi ihmal edilebilecek kadar düşüktür ve tüneller bu yüzden emme tipi olarak tasarlanmıştır. Tünellerin ikisinde de iki boyutlu daralan hava alıkları kullanılmıştır ve akışı düzleştirmek amacıyla bu alıkların girişlerine yönlendirici kanatlar konmuştur.

GSRRT'nin açık jet odalı olmasının sebebi bu tünelde görece daha büyük modellerin test edilecek olmasıdır. Bu tip test odaları blokaj etkisini uzakta tuttuğundan tünellerde daha büyük modellerin test edilebilmesine imkan vermektedir.

[1] Yüksek Havacılık ve Uzay Mühendisi, E-posta: yostovan@ae.metu.edu.tr
[2] Havacılık ve Uzay Mühendisi, E-posta: talha.mutlu@metu.edu.tr
[3] Makine Mühendisi, E-posta: o.onay@turbotek.com.tr
[4] Makine Mühendisi, E-posta: cavid@turbotek.com.tr
[5] Makine Mühendisi, E-posta: hkutkan@turbotek.com.tr
[6] Dr. Uçak Mühendisi, E-posta: arcete@turbotek.com.tr
[7] Yüksek Havacılık ve Uzay Mühendisi, E-posta: bayram@metu.edu.tr
[8] Havacılık ve Uzay Mühendisi, E-posta: anas.abdulrahim@hotmail.com
[9] Yrd. Doç. Dr. Havacılık ve Uzay Müh. Böl. E-posta: uzol@metu.edu.tr
[10] Makine Mühendisi, E-posta: semihozdede@gsrenerji.com.tr

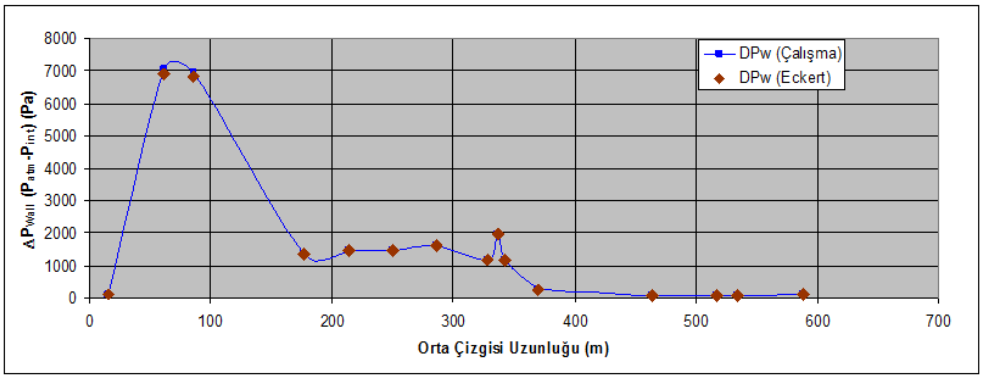
YÖNTEM VE SONUÇLAR

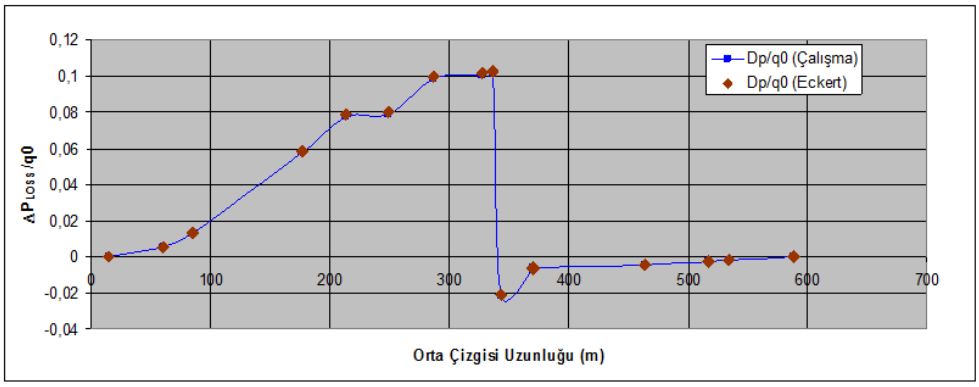
Çalışmada kullanılan rüzgar tüneli tasarım formülasyonları Eckert [2]'den ve Pope [2]***Error! Reference source not found.***'dan yararlanılarak hazırlanmıştır, ayrıca bu formülasyonların doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Doğrulama sonuçları kaynak [2]'de ölçüm ve hesaplama değerleri sunulan 4 farklı tünel için elde edilmiştir. Karşılaştırma sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1 - Tasarım yönteminin mevcut tünel verileri ile karşılaştırılması

Rüzgar Tüneli Tanımlamaları					**Enerji Oranı**				
Tünelin Adı	**Dönüş tipi Kesit şekli**	**Test Kesiti**	**Yorum**	**Test K. hızı (m/sn)**	**Gerçek Değer**	**Çalışma sonucu**	**Eckert Sonucu**	**Eckert Hata %**	**Çalışma Hata %**
NASA-AMES 40x80 foot	Tek Dönüş/ Dikdörtgen	Kapalı / Flat oval	Klasik Tünel	107.3	7.88	7.96	7.96	1.0	1.0
NASA-AMES 7x10 foot	Tek Dönüş/ Dikdörtgen	Kapalı / Dikdörtgen	Difüzörde ayrılma ve fanda Stall	133.0	7.85	8.09	8.07	2.8	3.0
Lockheed-Georgia ~27x23 foot	Tek Dönüş/ Dikdörtgen	Kapalı/ Dikdörtgen	V/STOL Tuneli	52.3	1.10	1.12	1.12	1.8	1.8
NASA-LANGLEY 30x60 foot	Çift Dönüş/ Dikdörtgen	Kapalı/ Flat oval	Bazı önemli bileşenlerde yüksek genişleme var.	52.7	3.71	4.71	4.73	27.4	26.9

Şekil 1'de ise 40x80 foot boyutlarındaki tek kollu tünel için elde edilen basınç hesaplamaları kaynak [1] de sunulanlar ile başarı ile karşılaştırılmıştır. Bu kullanılan hesaplama yönteminin doğru uygulandığını göstermektedir.





Şekil 1 - NASA AMES 40x80 foot rüzgar tüneli [2] basınç sonuçları karşılaştırması

Ön tasarım gerçekleştirildikten sonra GSRRT'nin HAM ile analizi yapılarak test bölgesinde 15 m/s hıza ulaşılabilmek için ne kadar güce ihtiyacı olduğu hesaplanmış ve sonuçlar ile analizin detayları sunulmuştur.
GSRRT tüneli 1.5 m x 1.5 m çapta girişe ve 3 m x 3m çapta odaya sahiptir. Analiz yapılırken giriş ve oda üretilmesi düşünülen kare kesitlerle aynı hidrolik çaplarda silindirler olarak modellenmiştir. Fan olarak modellenen kesitte 500 Pa ve 550 Pa basınç atlaması gerçekleştiği durumdaki analiz sonuçları aşağıda Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulduğu gibidir.

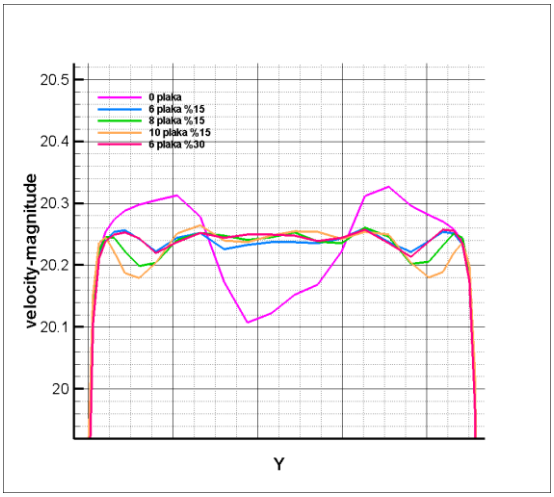
Tablo 2-GSRRT fanında 500 Pa basınç atlamasında analiz sonuçları

500 Pa basınç farkında sonuçlar	
Test bölgesi ort. hız	14,77 m/s
Fan ort. Hız	29,49 m/s
Debi	40,82 kg/sn
Güç	16660 Watt

Tablo 3-GSRRT fanında 550 Pa basınç atlamasında analiz sonuçları

550 Pa basınç farkında sonuçlar	
Test bölgesi ort. hız	15,50 m/s
Fan ort. Hız	30,93 m/s
Debi	42,82 kg/sn
Güç	19224 Watt

Ayrıca bu tip bir tünelin hava alığı girişine akışı düzgünleştirme amacıyla konulması planlanan yönlendirici profillerden kaç adet koyulmasının daha uygun olacağına karar verilmesi için tünel girişi 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Alığın yarıçapının % 15'i olmak üzere 6,8 ve 10 plaka konduğunda ve alığın yarıçapının %30'u olmak üzere 6 adet plaka konduğunda girişteki ve girişten 1 m uzaklıktaki dikey hız profillerinin düzgünlükleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonucu elde edilmiş tünel girişinden 1 m sonraki hız profillerinin karşılaştırması şekil 2'de görüldüğü gibidir. GSRRT ve HUMRT aynı tipte hava alıklarına sahiptirler ancak HUMRT'de GSRRT'nin alığının ölçeklendirilmiş hali bulunmaktadır. Burada hazır alimünyum profiller kullanıldığı için uygulamadaki profil veter boyu ve profil sayısı hesaplanandan bir miktar sapmıştır.

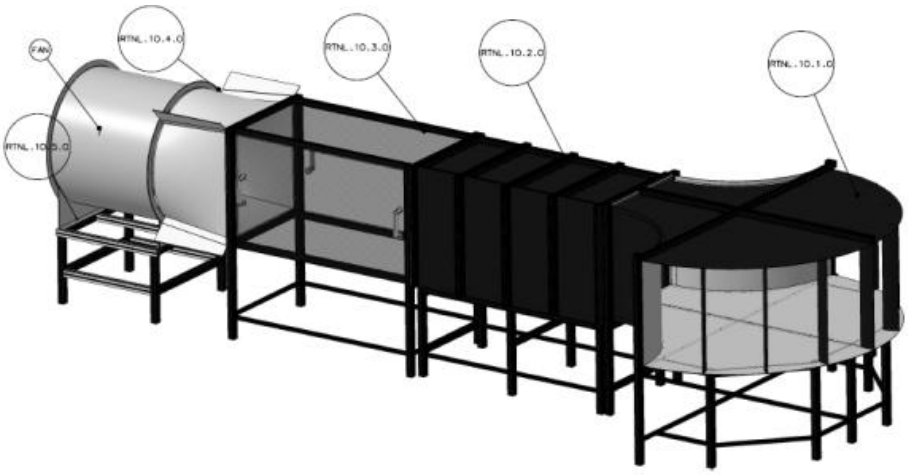


Şekil 2- Girişten 1 m Sonra Dikey Hız Profilleri

Tasarlanmış olan GSRRT'nin önden ve arkadan görünümü Şekil 3'teki gibidir. HUMRT'nin görünümü ise Şekil 4-5'teki gibidir.

Karakterizasyon calışması sonucunda motorun frekansı ve ortalama hız arasındakı ilişki her tünel için test odasının girişinde tam orta noktada sıcak tel ile ölçülerek Şekil 6'da gösterilen eğriler elde edilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi açık jet odalı rüzgar tünelinde en yüksek hız 15 m/s, eiffel tipi rüzgar tünelinde ise maksimum hız 27 m/s'dir.

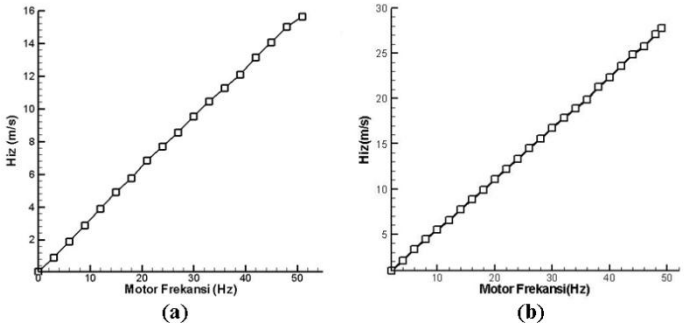
Şekil 3 – GSRRT'nin önden ve arkadan görünümü



Şekil 4 – HUMRT'nin görünümü

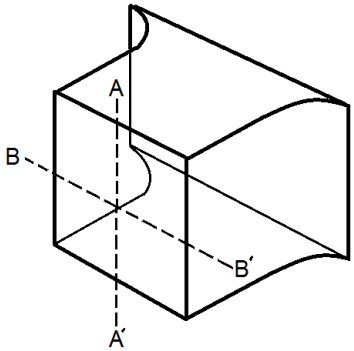
Şekil 5 – HUMRT'nin fotografı

GSRRT'nin kalibrasyonu sabit sıcaklıklı tel anemometresi kullanılarak yapılmıştır. Tünelin test odası girişinde ve girişin 0.5 m arkasında olmak üzere iki farklı konumda ölçümler alınmıştır. Şekil 7'de görülebileceği üzere, A-A' kesitinde dikey olarak, B-B' kesitinde de yatay olarak ölçümler alınmıştır. 1.5 x 1.5 m^2 alana sahip test odası girişinde her 0.5 cm'de bir ölçüm alınmış, her noktada 10000'er veri toplanmıştır.

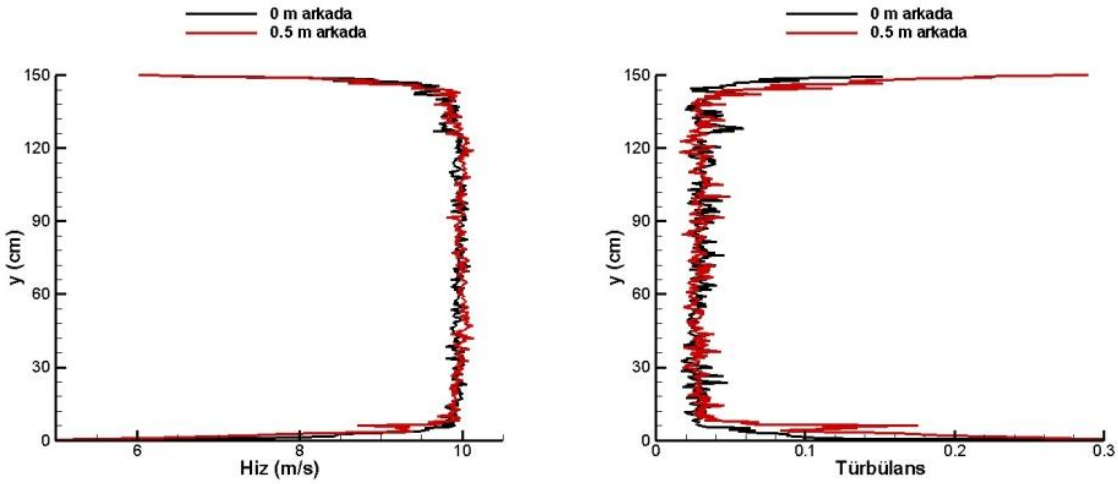


Şekil 6 – Motor frekansı ve ruzgar hızı eğrisi, (a) GSRRT, (b) HUMRT

Ölçümler rüzgar hızı 10 m/s'ye denk gelecek şekilde yapılmıştır. A-A' kesitinde elde edilen ortalama hız ve türbülans dağılımı Şekil 6'te görülebilir. Şekil 7'da görüldüğü gibi tünel test odası girişinin büyük bir kısmında rüzgar hızı 10 m/s'ye yakındır. Sınır tabaka kalınlığı ise yaklaşık olarak 8 cm'dir. Test odasi girişinden uzaklaştıkça, hız profili çok değişmemekte, hız azalması yaşanmamakta, sınır tabakası ise yaklaşık olarak 1-2 cm büyümektedir. Türbülans seviyesi tünelin orta kısımlarında yaklaşık olarak %3 seviyesindedir

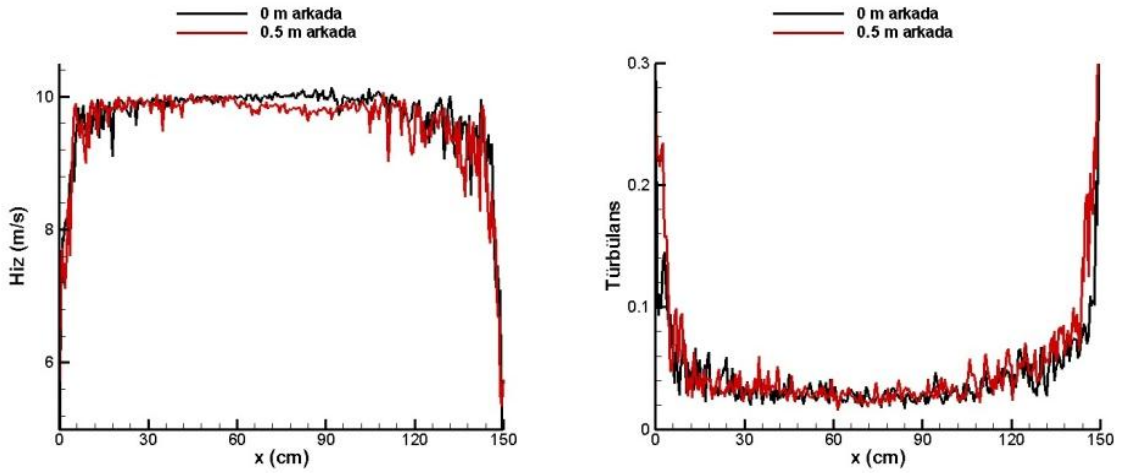


Şekil 7 - Ölçüm yapılan düzlemler



Şekil 8 - A-A' kesitinde elde edilen ortalama hız ve türbülans dağılımı

B-B' kesitinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ortalama hız ve türbülans dağılımları ise Şekil 9'da görülebilir. Ortalama hız tünel test odasının orta bölümlerinde 10 m/s'dir. Ancak duvarlara doğru yaklaştıkça ortalama hız ve türbülans değerlerinde oynama artmaktadır. Sınır tabakası dikey kesitte olduğu gibi yaklaşık olarak 8 cm'dir. Ancak belirtildiği gibi, dikey kesitten farklı olarak duvarlara yaklaştıkça hız ve türbülans değerlerinde oynama artmaktadır. Tünel test odasının girişinde ortalama türbülans seviyesi yaklaşık %3'tür. Test odası girişinden uzaklaştıkça hız ve türbülans dağılımlarında çok fazla değişiklik olmamaktadır.



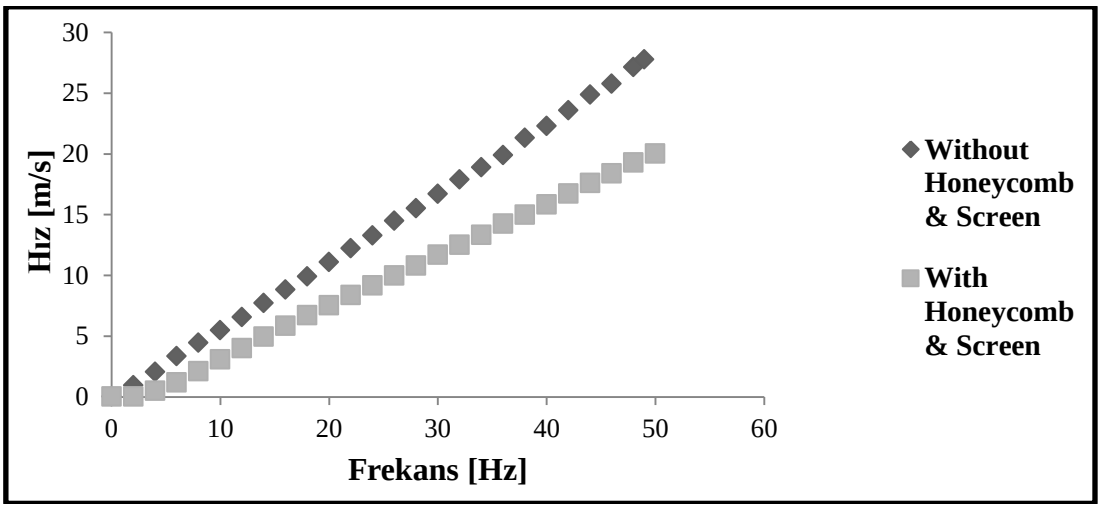
Şekil 9 - B-B' kesitinde elde edilen ortalama hız ve türbülans dağılımı

HUMRT Rüzgar Tüneli Karakterizasyon Çalışması

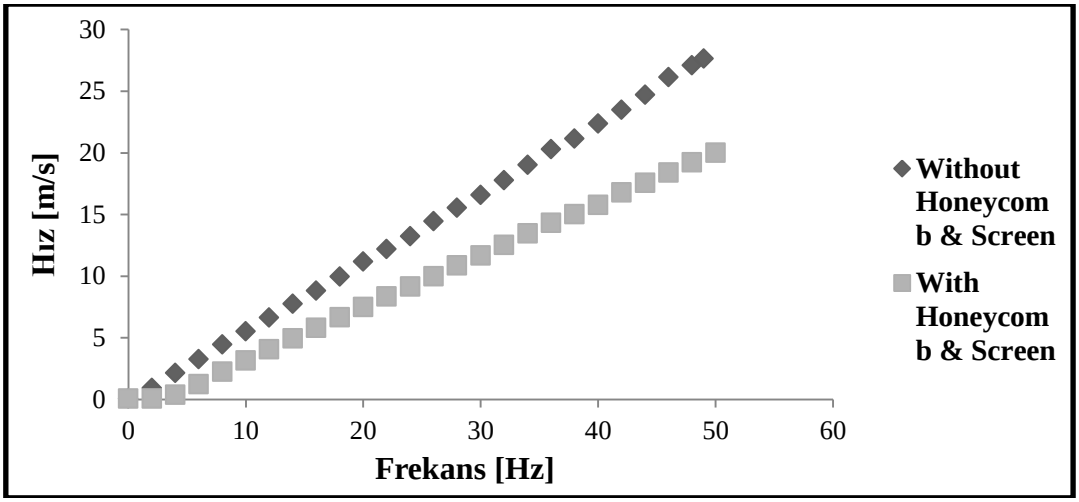
HUMRT'nin inşasından sonra test bölmesi içindeki ortalama hız ve türbülans yoğunluğu gibi tünelin akış özelliklerinin belirlenebilmesi için tünelin karakterizasyonu yapılmıştır. Bu adım rüzgar tünelinin tasarımında tünelin verimliliği açısından hayati önem taşır.

Rüzgar tüneli karakterizasyonu iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak test bölmesinin girişinde ortalama hız ve türbülans yoğunluğu akım teli ve referans ölçme ucu aracılığıyla ölçülmüş. İkinci olarak ise bir petek ve elek test bölmesinin önüne yerleştirilerek aynı ölçüm yapılmıştır. Birinci aşamada yapılan ölçümlere bakıldığında test bölmesinde ulaşılan en yüksek hızın yaklaşık 30 m/s ve türbülans yoğunluğunun ise %1.2 olduğu gözlemlenmiştir.

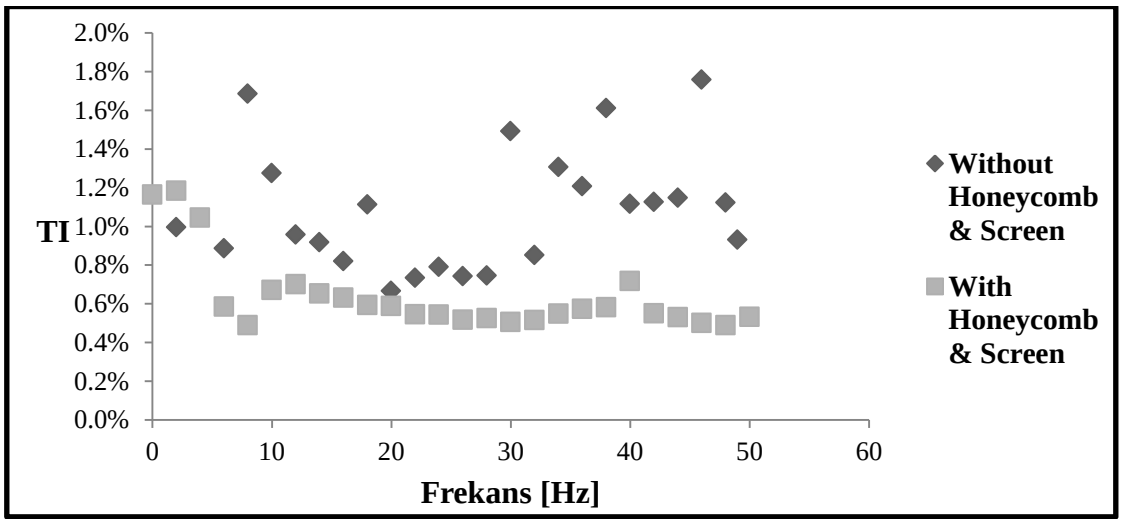
İkinci aşamada ise petek ve eleğin konulmasından sonra test bölmesinde ulaşılan yüksek ortalama hızın yaklaşık 20 m/s ve türbülans yoğunluğunun ise %0.6 olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki karakterizasyon aşaması arasında ortalama hız ve türbülans yoğunluğu için yapılan karşılaştırmalarda gözlenmiştir ki petek ve eleğin konulmasından sonra ortalama hız olumsuz etkilenmiş ve büyük bir düşüş yaşamışken akış kalitesi türbülans yoğunluğunun neredeyse iki katı kadar azalmasına bağlı olarak artmıştır. Şekil 10, 11 ve 12'de petekli, elekli ile peteksiz, eleksiz tünel karakterizasyon sonuçları verilmiştir, bu şekillerde sırası ile referans ölçme ucu ile, sıcak tel ile hız ölçümleri ve türbülans yoğunluğunun motor frekansına göre değişimleri verilmiştir.



Şekil 10 Referans ölçme ucu ölçümlerine göre akış hızının motor frekansına göre değişimi



Şekil 11 Sıcak-tel ölçümlerine göre akış hızının motor frekansına göre değişimi



Şekil 12 Test bölmesi girişindeki türbülans yoğunluğu

SONSÖZ

Bu çalışmada düşük maliyet ve kullanışlılık çerçevesinde 2 boyutlu hava alığı iki adet benzer tünelde başarı ile uygulanmıştır. GSRRT tüneli endüstriyel olarak rüzgar türbini testleri için kullanılacak bir tüneldir, burada açık jet odası uygulaması başarı ile gerçekleştirilmiştir. HUMRT tüneli ise akademik amaçlı bir tüneldir, petek ve elek uygulaması ile oldukça düşük türbülans değerlerine ulaşılmıştır. Bunların yanında Rüzgar Tüneli tasarlamak ve üretmek işi ticari düzeyde yapılmasının da önemli bir nokta olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

[1] Barlow, J.B., Rae, W.H., and Pope, A., Low-Speed Tunnel Testing, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1999.

[2] Eckert,W.T, Mort,K.W., and Jope, J, “Aerodynamic Design Guidelinesa and Computer Program for Estimation of Subsonic Wind Tunnel Performance,” NASA Technical Note, D-8243, 1976.