

## **KAPALI DEVRE SES ALTI RÜZGAR TÜNELİ İÇİN TÜRBÜLANS PERDESİ TASARIMI, ÜRETİMİ VE BÜTÜNLEME SÜRECİNİN İNCELENMESİ**

Harun Gökçe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, Ankara Türkiye  
harungokce@yahoo.ca (ORCID 0000-0002-2702-0111)

### **Özet**

Rüzgar tünellerinde akım kalitesinin artırılması ve daha homojen bir dağılımın elde edilmesi için perde ve bal peteği olarak adlandırılan elekler kullanılmaktadır. Bu elekler tünel içerisinde oluşan türbülans seviyesinin ve akıştaki açısallığın azaltılmasını sağlamaktadır. Daralma konisi olarak ifade edilen ve devamında test odasına çıkan alanın önüne yerleştirilen bu yapılar, test odası içerisindeki akış davranışının istenilen kaliteye yaklaştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada, Ankara Ses Altı Rüzgar Tüneli'nde kullanılacak türbülans perdesinin boyutlarının belirlenmesi, tasarlanması ve tünel döngüsü içerisinde bütünlenme süreci anlatılacaktır. Özellikle perdenin tünel içerisinde gerilmesini sağlamak için geliştirilen gerdirme mekanizması tanıtılmıştır. Tel örgüsü boyutlarının belirlenmesinde gözeneklik ve blokaj oranı referans alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar tüneli, Türbülans perdesi, Gerdirme mekanizması.

## **INVESTIGATION OF TURBULENCE SCREEN DESIGN, PRODUCTION AND INTEGRATION FOR CLOSED CIRCUIT SUBSONIC WIND TUNNEL**

### **Abstract**

Screen and honeycomb screens are used in wind tunnels to increase the quality of the flow and to obtain a more homogeneous distribution. These screens reduce the level of turbulence that occurs in the tunnel and the angularity of the flow. These structures, which are expressed as a contraction cone and placed in front of the area leading to the test chamber, aim to bring the flow behavior in the test chamber closer to the desired quality. In this study, the determination of the dimensions of the turbulence screen to be used in the Ankara Subsonic Wind Tunnel, its design, and the integration process into the tunnel cycle will be explained. Especially, the tension mechanism developed to stretch

the screen inside the tunnel has been introduced. The porosity and blockage rate was taken as reference in determining the wire mesh dimensions.

**Keywords:** Wind tunnel, Turbulence screen, Tension mechanism.

## 1. Giriş

Hava gibi hareketli bir gaz içinde bulunan katı cisimlere gazın uyguladığı etkinin incelenmesi, araştırılması ve yorumlanması için tasarlanmış ve üretilmiş, içindeki havanın hareket ettirildiği ve hızının ayarlanabildiği tünellere rüzgar tüneli denir [1]. Rüzgar tünelleri, içine yerleştirilen gerçek ya da ölçeklendirilmiş boyutlardaki parça ve araçların aerodinamik niteliklerinin, denetlenebilen koşullar altında denenmesinde kullanılan altyapılardır [2]. İlk dönemlerinde sadece uçak gövdelerinin aerodinamik yapılarının denetiminde kullanılan rüzgar tünelleri, bugün savunma, havacılık ve karayolları taşıtları başta olmak üzere çok çeşitli endüstride, ürünlerin geometrilerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli yer test merkezleridir [3,4]. Ayrıca; yüksek yapıların, köprülerin, güç iletim hatlarının ve radar tarayıcıların rüzgar yükleri, yüksek binaların çevresinde oluşan rüzgar girdaplarının incelenmesi, karayollarının bulunduğu bölgelere yağın karın ne şekilde biriktiğinin araştırılmasına kadar bir çok konuda deneylere imkan sağlarlar.

Yukarıda belirtilen deney süreçlerinde, rüzgar tünelineki havanın akış kalitesinin artırılması, türbülans yoğunluğunun minimize edilmesi, homojen ve sabit bir hız profilinin elde edilmesi için bir dizi ekipmandan yararlanılır. Bu ekipmanlar genel olarak tünel test odası girişinde bulunan daralma konisi önüne (dinlenme odası (ing. settling chamber)) yerleştirilen perde ve bal petekleridir. Perdeler, aksel türbülansı yanal türbülansdan daha fazla azaltırken, bal petekleri yanal türbülansı aksel türbülansdan daha fazla azaltır. Perdeler, kare veya dikdörtgen kafes geometrisinden oluşan tel elemanlardır. Bal petekleri ise, altıgen profile sahip ince sac levhaların uzun bir hat boyunca kaynatılması ile oluşturulan, daralma konisi önündeki elemanlardır.

Dinlenme odaları, akış döndürme kanatçıklarının ardında ve kollektörlerin önünde yer alan, akımın mümkün olduğunca paralel halde ve düşük türbülanslı olarak kollektöre girmesini sağlamak üzere yavaşlatıldığı bölgelerdir. Paralel duvarlı ve genel olarak genişliğine kıyasla boyu çok uzun olmayan bu kanal içerisinde akışı paralel hale getirmeye yarayan bal petekleri ve türbülansı küçültmeye yarayan perdeler yer alır.

Perdeler, akıştaki üniformsuzlukların ve türbülansların azaltılması temelinde iki kullanım amacı vardır [5]. Bu perdeler, dinlenme odası ve genellikle bal peteklerinin arkasında olacak şekilde tünel içerisine yerleştirilir. Tünellerde hızın en düşük olduğu dinlenme odası içerisine yerleştirilmelerine rağmen basınç kayıplarına ve dolayısıyla tünel için gerekli gücün artmasına neden olurlar [6]. Perdeler, akıştaki büyük girdapları kırarak çok sayıda küçük girdaplara dönüşmesine neden olur. Böylece küçülen girdaplar kollektör boyunca daha hızlı kaybolur [7]. Perdeler akım türbülansını azaltırken, diğer yandan kendileri türbülans oluştururlar. Perdelerin oluşturduğu girdapların büyüklüğü perdeyi oluşturan telin çapıyla ifade edilen Reynolds sayısına bağlıdır. Reynolds sayısının küçük olmasını için perdelerde kullanılan tel çaplarının küçük tutulması gerekir. Ayrıca, dinlenme odasındaki akış hızının büyük olmamasına da dikkat edilmelidir [8].

Literatürde, rüzgar tünellerindeki akış kalitesini etkileyen parametreler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Mehta, ekran malzemesinin akış kalitesindeki etkisini incelemiş ve elyafların dokuma özellikleri ve elastik modüllerinin farklı olması nedeniyle plastik ve metal ekranlar arasında önemli farklılıkların olduğunu ortaya koymuştur [9]. Karnik ve Tavoularis, tel kalınlığını ve malzemesini sabit tutarak, tel örgü genişliği ve aralıklarındaki değişimin, akış düzensizliğini azaltma üzerindeki etkisini incelemişlerdir [10].

Santoz ve arkadaşları, ekran özelliklerinin rüzgar tüneli içerisindeki akışın karakteristiğini nasıl etkilediğini incelemiştir [11]. Brezilya Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde bulunan rüzgar tüneline yapılan çalışmada sıcak tel anamometresi ve ultrasonik ölçüm cihazları ile akım kalitesinin görüntülenmesi amaçlanmıştır. Farklı noktalarda ölçümler alınarak ekranların, tünel içindeki akış karakteristiğine etkisi tespit edilmiştir. Literatüre benzer olarak bu çalışmada, Ankara Rüzgar Tüneli (ART)'nde kullanılacak akım düzenleyici perdelerin seçimi, tasarımı ve tünel içerisine bütünlenme süreci anlatılacaktır. Tünel içerisine yerleştirilecek üç perdenin betonarme tünel duvarına yerleşimi ve kullanılan gerdirme mekanizması tasarımı tanıtılacaktır.

## **2. Türbülans Perdeleri ve Hücre Boyutunun Belirlenmesi**

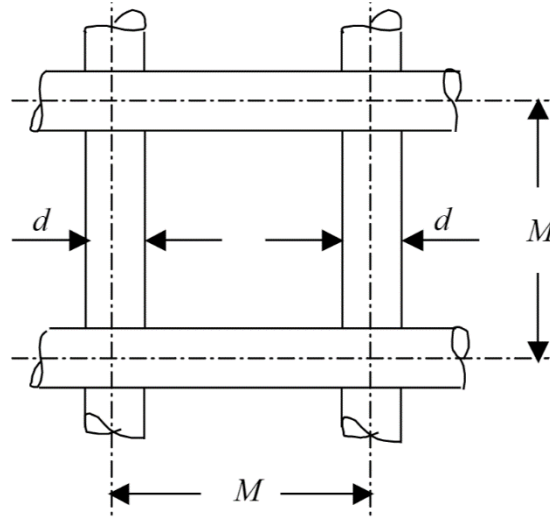
Türbülans perdeleri akış hızının en düşük olduğu tünel içerisinde bulunan en geniş alana yerleştirilir. Bunun nedeni, akış önünde oluşacak blokaj değerinin minimize edilmesidir. Türbülans seviyesini azaltma teorileri göz önünde bulundurulduğunda perde

performansına etkiyen en önemli parametre olarak basınç kaybı katsayısı (ing. Pressure-loss coefficient)  $K$  öne çıkmaktadır. De Vahl [12] basınç kaybı katsayısını düşük Reynolds sayıları için aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (Eş.1).

$$K = K_0 + \frac{55,2}{Re_w} \quad (1)$$

$$K_0 = \left( \frac{1-0,95\beta}{0,95\beta} \right)^2 \quad (2)$$

Burada  $\beta$  katsayısı perdenin açıklık oranını, yani açık alanın toplam alana oranını,  $Re_w$  katsayısı ise tel çapına bağlı Reynolds sayısını ifade etmektedir. Tel çapına bağlı Reynolds sayısı oldukça düşük olup genellikle 100 ile 600 arasında değişmektedir. Perdelerin kullanılmasıyla birlikte aksenal ve yanal türbülans meydana gelecek azalma basınç kaybı katsayısı ile ilişkilendirilerek bulunabilmektedir.



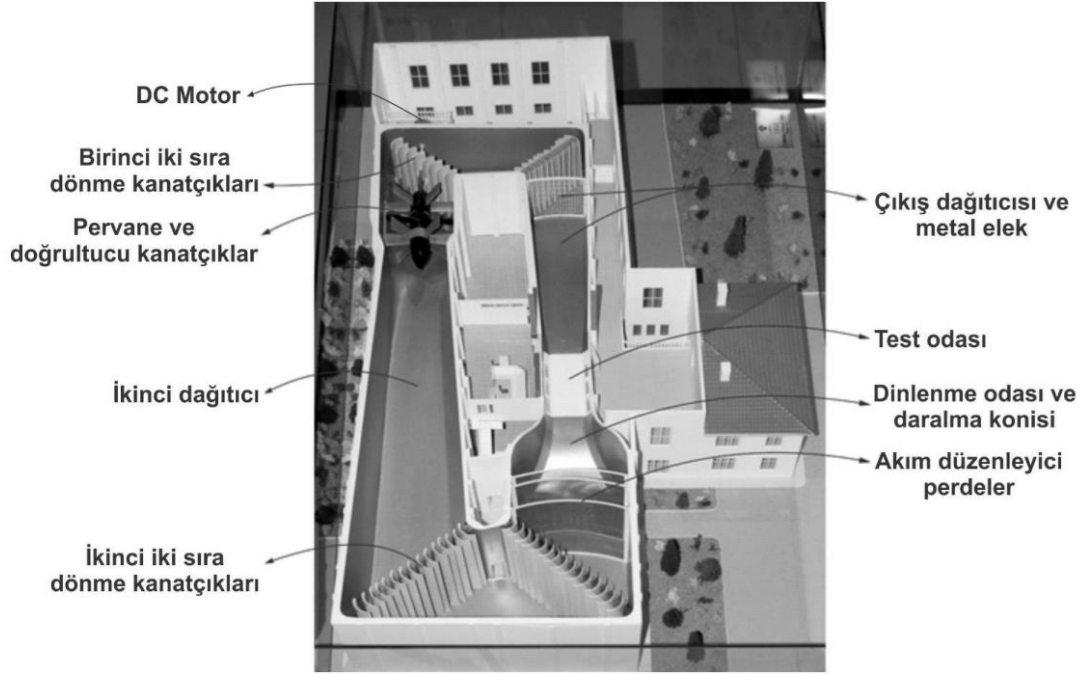
Şekil 1. Boşluk oranı [12].

Rae ve Pope ark., boşluk oranını ( $\beta$ ) eleğin bir gözeneği içerisindeki boşluğun toplam alana oranı olarak hesaplamışlardır (Eş.3). Şekil 1’de boşluk oranında kullanılan ölçüler gösterilmiştir.

$$\beta = \left( 1 - \frac{d}{M} \right)^2 \quad (3)$$

Burada  $d$  tel çapını,  $M$  ise gözeneğin genişliğini ifade eder. Literatürde türbülans seviyesinin düşürülmesi için boşluk oranının 0.57 üstünde olması tavsiye edilmektedir

[6]. Bu değerin altındaki elekler test odasında akım kararsızlığına sebep olabilir. Boşluk oranı belirtilen değerin üstünde olan elekler seçilirse, test odası içerisinde istenen hız değişimlerinin istenen zamanda sağlanması zor olacaktır. Akıştaki türbülansı düşürmek için daha küçük gözenek boyutlarının tercih edilmesi gerekmektedir.



Şekil 2. ART 1/50 ölçekli maket modeli genel görüntüsü [13].

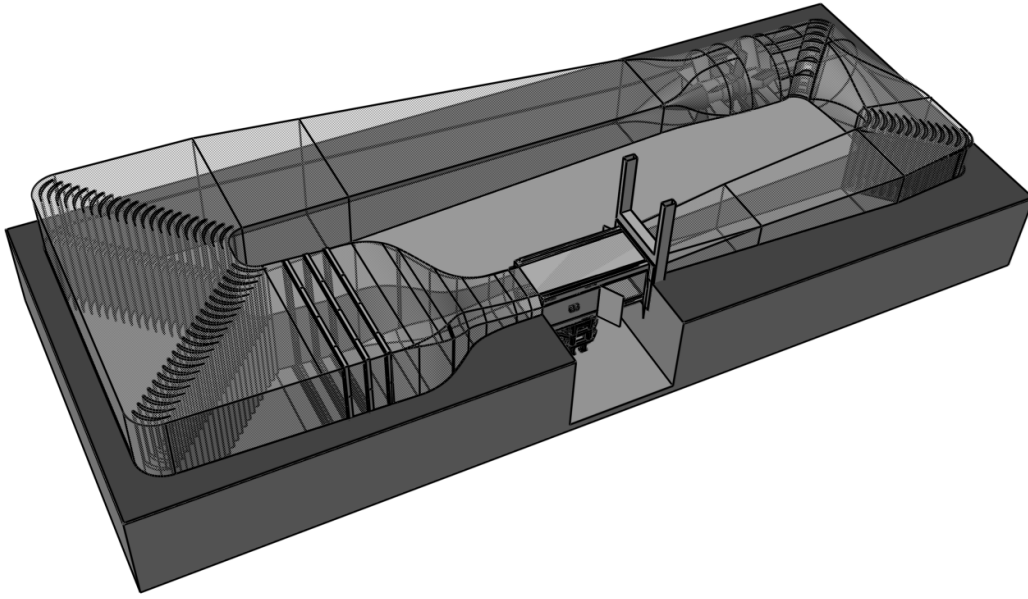
### 3. Türbülans Perdesinin Tasarımı ve Bütünlenmesi

#### 3.1. Ankara Rüzgar Tüneli (ART)'nin temel özellikleri

ART, düşük ses altı hızlarda çalışan, kapalı devre, yatay döngülü, atmosferik test odasına sahip bir rüzgar tünelidir. Test odası genişliği 3.05 m, yüksekliği 2.44 m, uzunluğu 6.10 m'dir. Tünel döngüsü betonarme olup test odası ahşap duvarlardan oluşmaktadır (Şekil 2). Boş test odası içerisinde 80 m/s (288 km/saat) hıza ulaşılmaktadır. ART'de deneyi yapılacak cismin kendisi veya ölçekli modeli deneyin yapıldığı test odasına monte edilir, rüzgar hızı blokaj oranı değerlendirilerek istenen değere getirilir, model istenen açığa getirilir, dış balans veya iç balans sistemleri ile kuvvet ölçüm veya akımın incelenmesi için değişik tekniklerle akım görüntüleme testleri yapılır [13]. Şekil 3'te ART'nin üç boyutlu (3B) görüntüsü verilmiştir.

### 3.2. Türbülans perdesinin seçimi ve bütünlenme aşaması

Üretim kapasiteleri araştırıldığında 8 m genişliğinde tel kafes üretimi için endüstride yaygın olarak 0.588 mm kalınlığında tel kullanıldığı belirlenmiştir. Endüstride kaynaklı olarak birleştirilen tel perde kullanımının olduğu da görülmektedir. Ancak daha önceki tecrübeler kaynak bölgelerinin, akış davranışından kaynaklı olarak yırtıldığı ortaya koymuştur. Bu üretim kapasitesi dikkate alınarak imal edilen türbülans perdesinin, farklı hücre açıklıklarına ait hesaplamaları Tablo 1’de verilmiştir.

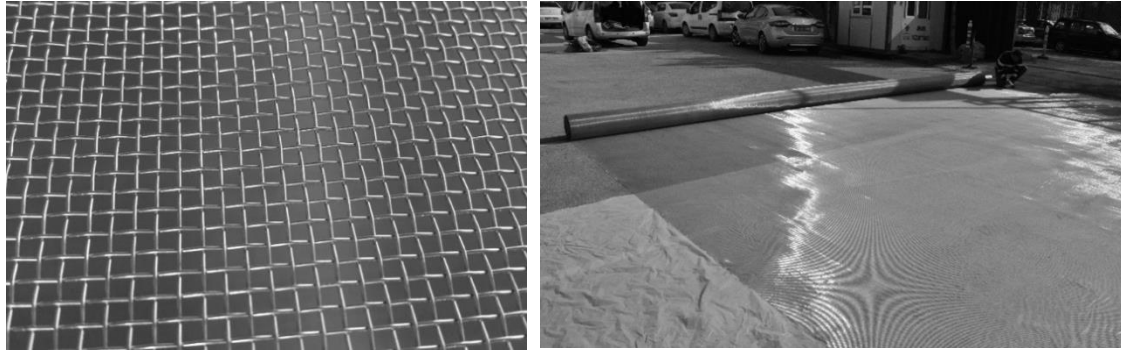


Şekil 3. ART'nin 3B görüntüsü.

Bu çalışmada hazır olarak temin edilmiş 7.75 m x 50 m boyutlarında, 0.58 mm tel kalınlığında ve 2.5 mm kare açıklık oranına sahip perde kullanılmıştır. Temin edilen perde kaynaklı olarak tek parça üretilmiştir. DIN 9044 ve DIN 4782 standartlarına göre üretimi gerçekleştirilmiştir. Telin malzemesi paslanmaz çelik 316L seçilmiştir. Bütünleme aşamasına başlanmadan önce betonarme tünel yüzeyleri zımpara yardımı ile temizlenmiş, bazı betonarme alanlarda tadilatlar gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 50 m olarak tedarik edilen perde 7.5 m boyunda 3 parçaya metal kesme makası ile kesilmiştir. Ardından aşamalı bir şekilde tünelin içerisine alınmıştır. Şekil 4 ve Şekil 6’da süreçler gösterilmektedir.

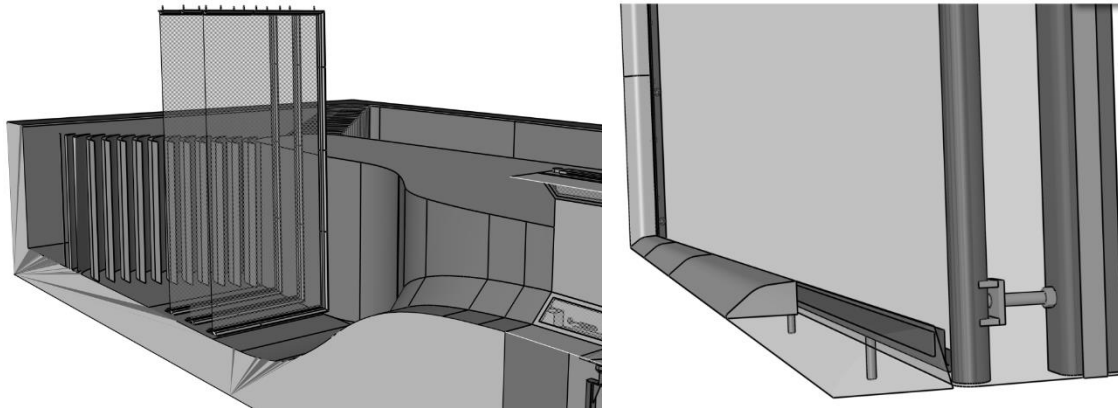
Tablo 1. Farklı hücre açıklığına sahip perdeler için hesaplamalar.

Hücre Açıklığı (mm)	Açıklık Oranı (%)	Basınç Kaybı Katsayısı (K)	Eksenel Türbülans Azalma Faktörü ( $u'$ )	Yanal Türbülans Azalma Faktörü ( $v'$ )
2.0	60.1	0.75	0.543	0.737
2.5	65.9	0.54	0.612	0.782



Şekil 4. Perdenin genel görüntüsü, bütünlendirme aşaması öncesi.

7.5 m x 8 m boyutlarındaki üç perde için bağlantı arayüzleri hazırlanmıştır. Bu arayüzlerin tünel içerisinde düzlemselliğinin elde edilmesi için lazer şeritmetreden yararlanılmıştır (Şekil 6). Perdelerin montajında eski perde pozisyonları referans alınmıştır. Ancak form farklılığından dolayı akım yönündeki ilk iki perde sırası ile 10-20 cm şeklinde yerleşimleri ileri taşınmıştır.



Şekil 5. Akım düzenleyici perde 3B görüntüsü.

Akım Düzenleyici Perdelerin bütünlendirme aşamasında dikkat edilmesi gereken önemli detaylardan biri gerdirme mekanizmasıdır. Perdenin farklı çalışma koşullarında aynı gerginlikte olması sağlanmalıdır. Bu çalışmada perde, kenar boyunca yerleştirilmiş

silindir bir boru üzerine sarılmış ve borunun dikey yönlerde doğrusal olarak ötelenmesi ile gerdirilmesi sağlanmıştır (Şekil 5). Dört kenardan eşit miktarlarda telin gerdirilmesi, tel gözeneklerinin geometrik olarak bozulmasını engelleyecektir. Tünel duvarları içerisine yerleştirilen mekanizmanın daralmaya sebep olmaması beklenmektedir. Bu nedenle, mekanizma boyutlarının mümkün olduğunca küçük boyutlarda olması sağlanmalıdır. Ayrıca, mukavemet değerini düşürebileceği için perde ile kaynaklı bağlantılardan uzak durulmuştur. Bu çalışmada mevcut bir tünel perdesi değişim yapıldığından, mekanizma boyutu tek kenar içinde 8 cm kademeye neden olmuştur. Ahşap malzemeler kullanılarak mekanizmanın akışa etki etmemesi sağlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 6. Perdelerin tünel içerisine bütünlenme süreci.

Perde mekanizmasının betonarme tünel kenarlarına yerleştirilmesinde kimyasal dübel kullanılmıştır. Tüm metal konstrüksiyonlar M16 civata ile kimyasal dübellere her kenarda 8 adet olacak şekilde bütünlenmiştir. Şekil 6'da tünel deliklerinde düzlemsel olarak delinmesi işlemi gösterilmektedir. Tünel betonarme yapısı yüksek mukavemete sahip olduğundan dolayı sulu delme işlemi yapılmıştır.



#### 4. Sonuçlar

Çalışma, Ankara Ses Altı Rüzgar Tüneli Altyapı Geliştirme Projesi kapsamında, tünelin mevcut perdelerinin yenilenmesi faaliyetlerini anlatmaktadır. Akım düzenleme perdelerinin etkisinin değerlendirilmesi için sıcak tel anamometresi ile gerekli ölçümler yapılmış ve test odasında istenen türbülans seviyesi elde edilmiştir. Dinlenme odasına yerleştirilen sıralı üç perdenin tasarım, üretim ve kullanım koşulları hakkında yapılan değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Tünel içerisinde olabilecek toz ve kir birikmesine karşın, perdelerin özelliklerini kaybetmemesi için belirli aralıklarda temizlenmelidir. Aksi takdirde, akım istikrarının bozulması ve basınç kaybı problemlerine neden olabilir.
- ✓ Akım görüntüleme testlerinde kil, yağ, karbon tozu vb. maddeler kullanılıyorsa, test sonrasında tünel içinin temizlenmesi gerekmektedir.
- ✓ Test odasında iklimlendirme olmaması nedeni ile sıcak ve soğuk farklılıklarında tellerin gerginliğinin aynı olması için gerdirme mekanizması tasarlanmalıdır.
- ✓ Gerdirme mekanizması tüm kenarlardan eşit şekilde tellerin gerdirilebilmesine olanak sağlamalıdır. Aksi halde, gözenek kesitlerinin bozulmasına neden olacaktır.
- ✓ Gerdirme mekanizması, mümkün ise tünel duvarları içerisine yerleştirilerek ek bir daralmaya sebep olmamalıdır. Bu çalışmada, mevcut bir tünel perdesi değişim yapıldığından 8 cm kademe oluşturulmuştur. Ahşap malzemeler kullanılarak mekanizmanın akışa etki etmemesi sağlanmıştır.
- ✓ Mümkün olduğu durumlarda akım düzenleme perdelerinin, bakım faaliyetleri için modüler tasarlanması yararlı olacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışmada, TÜBİTAK Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü (SAGE) ART Altyapısında gerçekleştirilen ASARTA Projesinin bir parçası olan akım düzenleyici perde değişim süreçleri ele alınmıştır.

#### Kaynaklar

- [1] Barlow J. B., Rae W. H., Pope A. Low-speed wind tunnel testing, Third Edition Book, John Wiley Sons New York; 1999.

- [2] Li, C.G., Liu, Y., Chueng J.K. Wind tunnel test of honeycomb in improving flow quality, *Advanced Materials Research* 2013; 774-776: 275-278.
- [3] Andrew W. Low turbulence wind tunnel design and wind turbine wake characterization, *University of Wisconsin-Milwaukee Yüksek Lisans Tezi*; 2013.
- [4] Mahesh K. P., Amiya K. S. Design of low cost open circuit wind tunnel: a case study, *Indian Journal of Science and Technology* 2016; (9)30.
- [5] Şenol, S. Emişli tip bir sesaltı rüzgar tüneli tasarımı ve bilgisayar destekli simülasyonu, *Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*; 2006.
- [6] Rae, W.H., Pope, A. *Low speed wind tunnel testing*, Second Edition Book Cambridge University; 1984.
- [7] Kulkarni V., Sahoo, N., Chavan, S.D. J. Simulation of honeycomb screen combinations for turbulence management in a subsonic wind tunnel, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2011; 99:1, 37-45.
- [8] Scheiman J., Brooks, J.D. Comparison of experimental and theoretical turbulence reduction from screens, honeycomb and honeycomb screen combination, *AIAA 80-0433R*, 1981; 638-641.
- [9] Mehta, R.D. Turbulent boundary layer perturbed by a screen, *AIAA Journal* 1985; 23(9) 1335-1347.
- [10] Karnik, U., Tavoularis, S. Generation of uniform shear with the use of screens, *Experiments in Fluids*, 1987; 5:247-254.
- [11] Santos, A.M., Souza, D.B., Costa, F.O., Farias, M.H., Massari, S.E. Effects of screens set characteristics on the flow field in a wind tunnel, *Journal of Physics Conference Series*; 2016.
- [12] De Vahl, D.G. The flow of air through wire screens, *Proceedings of the First Australasian Conference Held at the University of Western Australia*, 1964: 191-212.
- [13] TÜBİTAK SAGE Ankara Rüzgar Tüneli online: <https://www.art.gov.tr/>
- [14] Besni, F., Gökçe, H., Günacar, G., Başçı, H., Küçük, U.C., Ertürk, B., Kurun, S. “Ankara Rüzgar Tüneli Modernizasyonu ve Yetenek Artırma Faaliyetleri”, *UHUK 8. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*; 2020.