

RÜZGEM BÜYÜK RÜZGAR TÜNELİ KARAKTERİZASYON SİSTEM TASARIMI ve ÖLÇÜMLERİ

Tunahan Ulu¹
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Mustafa Perçin²
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Bu çalışmada Orta Doğu Teknik Üniversitesi Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (RÜZGEM) Büyük Rüzgâr Tüneli (BRT) test odalarındaki akış koşullarının deneysel yöntemlerle ölçülmesi ve raporlanması amaçlanmaktadır. Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılması planlanan ölçüm sistemlerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile ölçümlere olan etkileri bu çalışma kapsamında incelenmiştir. RÜZGEM BRT düşük ses altı kapalı çevrim bir tünel olmakla beraber üç farklı test kesiti ile çok amaçlı kullanım hedeflenerek tasarlanmıştır. Yeni tasarlanmış bir tünelin ya da tünel hava akışını etkileyen bir yapının değişiminin ardından tünelin karakterizasyonunun yapılması ve raporlanması elzemdir. Bu çalışma kapsamında detaylı karakterizasyon ölçümlerinde kullanılmak üzere tasarlanan travers mekanizmasının akışa olan etkisi incelenmiş ve akışa etkisi görece az olan bir tasarım önerilmiştir. Bu doğrultuda rüzgar tüneli içerisinde karakterizasyon çalışmalarını yürütmek için bir travers sistemi kurulmuştur.

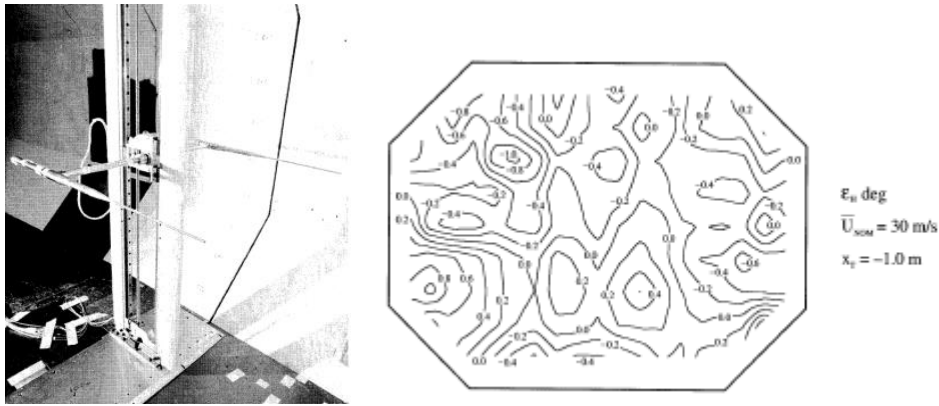
GİRİŞ

Rüzgâr tünelleri, havanın katı cisimler üzerinde etkisini incelemek için kurulmuş tesislerdir. Rüzgâr tüneli testi ise bir aracın ya da yapının hava ile etkileşiminin kontrollü akış şartları altında rüzgâr tüneline incelenmesi olarak tanımlanabilir [AIAA R-093, 2003]. Bu testlerde genellikle hedeflenenler; hava akışına maruz kalan cisimler için aerodinamik kuvvet ve moment veri setlerinin oluşturulması, akış alanı karakteristiğinin anlaşılması ve/veya hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözümlerinin doğrulanmasıdır. Rüzgâr tünelleri genel olarak geometrik tasarımlarına ve hız rejimlerine göre iki alt kademede incelenmektedir. Geometrik olarak kapalı çevrim, açık çevrim ve üfleli olarak bir ayrım yapmak mümkündür. İkinci bir sınıflandırma ise tünellerin Mach sayısı rejimlerine göre yapılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre rüzgâr tünelleri düşük ses altı, yüksek ses altı, transonik, ses üstü ve hipersonik olarak sınıflandırılmaktadır. Kapalı çevrim tüneller çoğunlukla ses altı ve transonik rejimde yer alan deneysel testler için aktif olarak kullanılmaktadır. Yüksek Mach sayılarına çıkılmak istenildiğinde ise üfleli tünellerin ön plana çıktığı görülmektedir. Yeni inşa edilen veya üzerinde yapısal değişiklikler yapılan bir rüzgâr tüneline test odası içerisindeki akış şartlarını elde etmek üzere gerçekleştirilen karakterizasyon çalışması önemli bir adımdır. Karakterizasyon çalışması kapsamında genellikle test odasındaki statik basınç dağılımı, dinamik basınç/hız dağılımı, türbülans şiddeti dağılımı, hava akış açısı ve test odası sınır tabaka gelişimi gibi parametrelerinin ölçümü ve raporlanması hedeflenmektedir [Owen ve Owen, 2008].

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., tunahan.ulu@metu.edu.tr

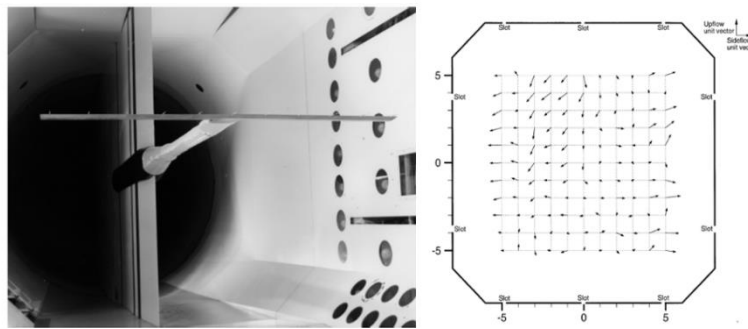
² Asst. Prof. Dr., Havacılık ve Uzay Müh. Böl./RÜZGEM Deneysel Aerodinamik Laboratuvarı Koordinatörü, mpercin@metu.edu.tr

Tünel karakterizasyonu, test odasında belirlenen tek bir noktada, bir yüzeyde ya da test odasında belirlenen farklı yüzeylerde yapılabilir. Test odası içerisindeki basınç ve hız dağılımlarının elde edilmesinde genel olarak Pitot-statik ve/veya Prandtl tüpü gibi ekipmanlar tercih edilirken, hava akış açısının tespitinde 5 delikli problar kullanılmaktadır [Barlow, Rae ve Pope, 1999]. Türbülans şiddeti ölçümleri ise sıcak tel anemometresi metodu kullanılarak gerçekleştirilmektedir [Lincoln, 2000]. Bahsi geçen problemlerin test odasının efektif ölçüm alanı içerisinde farklı noktalarda ölçüm alabilmeleri için ise hassas bir şekilde kontrol edilebilen travers sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistem prob ölçümlerini etkilemeyecek bir aerodinamik tasarıma ve akış altında ciddi mekanik titreşimlerin oluşmayacağı bir yapısal tasarıma sahip olmalıdır. Örneğin Şekil 1'de AMRL Düşük Hızlı Rüzgâr Tüneli karakterizasyonu sırasında kullanılan travers mekanizması ve bu mekanizmaya bağlı 5 delikli probdan alınan akış sonuçları sunulmuştur [Lincoln, 2000]. Şekil 2'de ise NASA Langley Ses Geçiş Tünelinde model hareketlendirme sistemine bağlanmış bir tırmık, 5 delikli prob kullanımı ve 0.6 Mach koşulunda test odası akış açıları sunulmuştur [William, Matthew ve Paul, 2005].



Şekil 1: Travers mekanizması kullanımı (AMRL Düşük Hızlı Rüzgâr Tüneli)

Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (RÜZGEM) bünyesinde bulunan Büyük Rüzgâr Tüneli (BRT), kapalı devre düşük ses altı bir tünel olup farklı sektörlere hizmet edebilecek üç farklı test kesitine sahiptir [Perçin ve Uzol 2019]. 2020 yılı ortalarında işlevsel hale gelen BRT'nin öncül kalibrasyon ve karakterizasyon testleri gerçekleştirilmiş, detaylı karakterizasyon çalışmalarının gerçekleştirilmesi için ise görece daha geniş bir hareket kapasitesine sahip bir travers sistemi ve ölçüm ekipmanlarının tasarım, imalat ve tedarik süreçlerine başlanmıştır. Bu çalışmanın amacı RÜZGEM BRT'nin test odası akış koşullarının detaylı karakterizasyonunun yapılması ve raporlanmasıdır. Bu amaçla kullanılacak traverse sisteminin aerodinamik tasarımına dair hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 2: NASA Langley rüzgâr tüneli 5 delikli prob kullanımı ve Sonuçları (Mach 0.6)

YÖNTEM

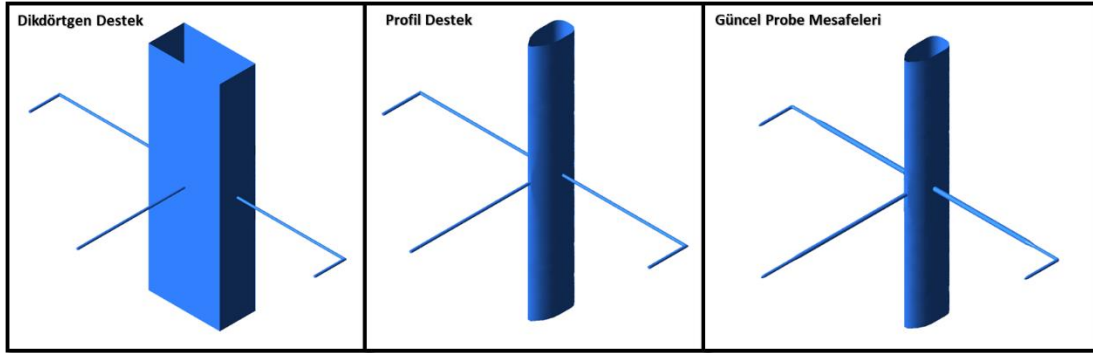
Rüzgem BRT Özellikleri ve Ölçüm Yöntemleri

RÜZGEM BRT atmosferik kapalı döngü tüneli 3 farklı test odasına sahiptir: (1) 100 m/s maksimum serbest akış hızına sahip 2.5 m × 2.5 m × 10 m boyutlarındaki (yükseklik × genişlik × uzunluk) havacılık test odası (TK1); (2) 32 m/s maksimum serbest akış hızına sahip 3 m × 7 m × 20 m boyutlarındaki sınır tabaka test bölümü (TK2); (3) 80 m/s maksimum serbest akış hızına sahip 3 m çapındaki açık jet (TK3). Tünelde hava akışı her biri 400 kW güce sahip olan 6 elektrik motoru ve fan ile sağlanmaktadır. TK1 öncesi yerleştirilmiş olan bir bal peteği, üç elek ile TK2 öncesi bir bal peteği ve iki elek yardımı ile test odaları akış kalitesi artırılmaktadır. Hedeflenen en yüksek türbülans seviyeleri, TK1 için %0.1, TK2 için %2 ve TK3 için %0.3'dür. Gerçekleştirilen öncül karakterizasyon ölçümleri tüneldeki akış kalitesinin bu değerleri sağladığını göstermektedir. Tünel 750 kW ısı eşanjörü ve soğutma ünitesine sahiptir.

Bu çalışma kapsamında RÜZGEM karakterizasyon ölçümleri sırasında, 5 delikli prob, Pitot-statik prob ve sıcak tel anemometresi kullanımı planlanmıştır.

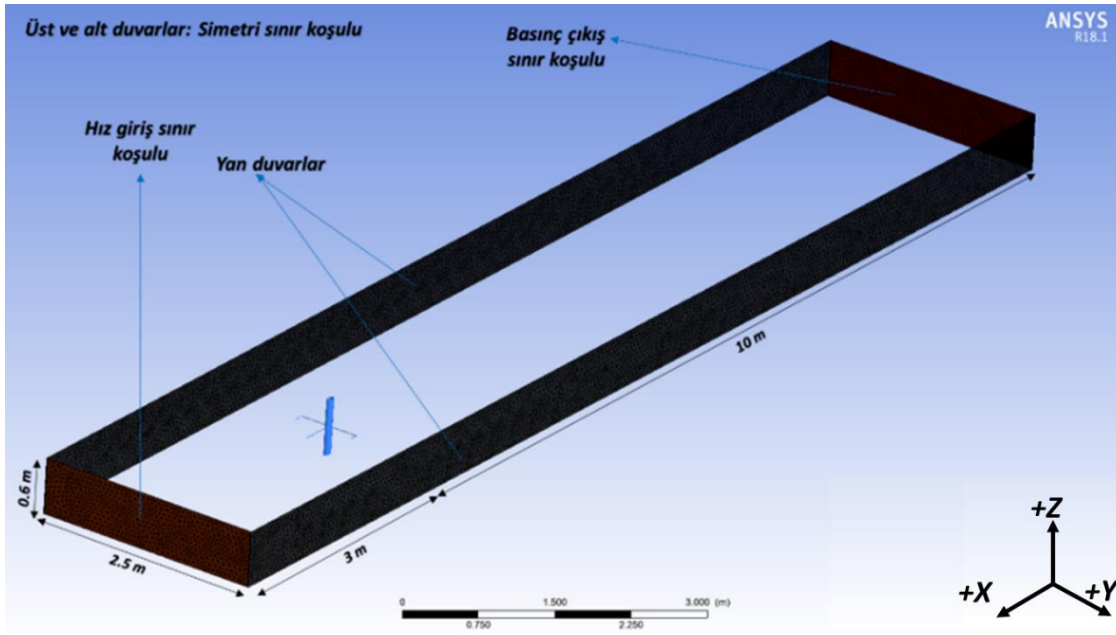
Travers Sistemi Kavramsal ve Detay Tasarım Çalışmaları

Karakterizasyonun yapılabilmesi için test odası içerisinde farklı konumlarda ölçüm alınması gerekmektedir. Farklı hızlar ve noktasal konumlar düşünüldüğünde otonom bir sistem bu ölçümler için uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda travers sistem kavramsal tasarımları yapılmış ve prob mesafeleri belirlenmiştir. Şekil 3'te kavramsal tasarım analizleri sırasında kullanılan farklı travers yapılarından üç tanesi gösterilmiştir. Bu yapılar ortada 5 delikli prob, yanlarda ise iki adet L-tipi Pitot-statik prob taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. En solda görülen dikdörtgen destek şeklindeki travers destek parçasının ölçümleri ciddi miktarda etkileyeceği önceden tahmin edilse de halihazırda RÜZGEM bünyesinde bulunan geleneksel laboratuvar travers sistemleri kabaca kullanıldığında karşılaşılabilecek ölçüm hatalarını görmek adına bu geometrinin de analizi gerçekleştirilmiştir. Ortadaki tasarımda destek parçası kanat profili şeklinde bir kesite sahiptir. En sağdaki tasarımda ise profil aynı kalacak şekilde prob uzunlukları değiştirilmiştir.

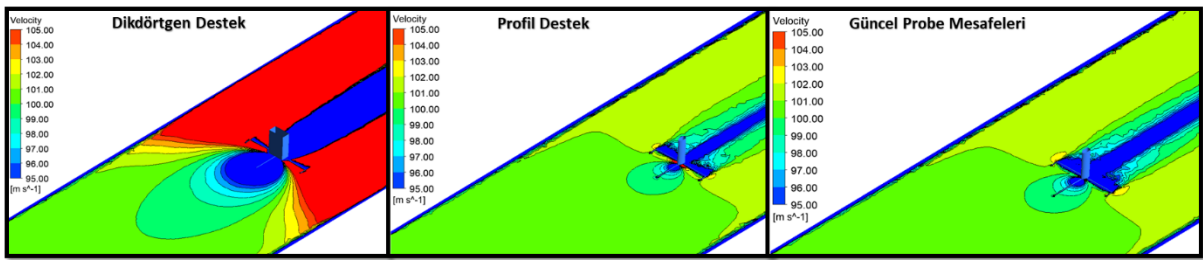


Şekil 3: Traverse sistem kavramsal tasarımları

ANSYS Fluent ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak yukarıda tarif edilen üç farklı tasarım için analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan çözüm hacmi ve sınır koşulları Şekil 4'te gösterilmiştir. TK1 en yüksek hızı olan 100 m/s serbest akış hızı için analizler gerçekleştirilmiştir. Toplamda 3 milyon elemana sahip bir çözüm ağı kullanılmıştır. Analizlerde k-omega SST türbülans modeli tercih edilmiştir.

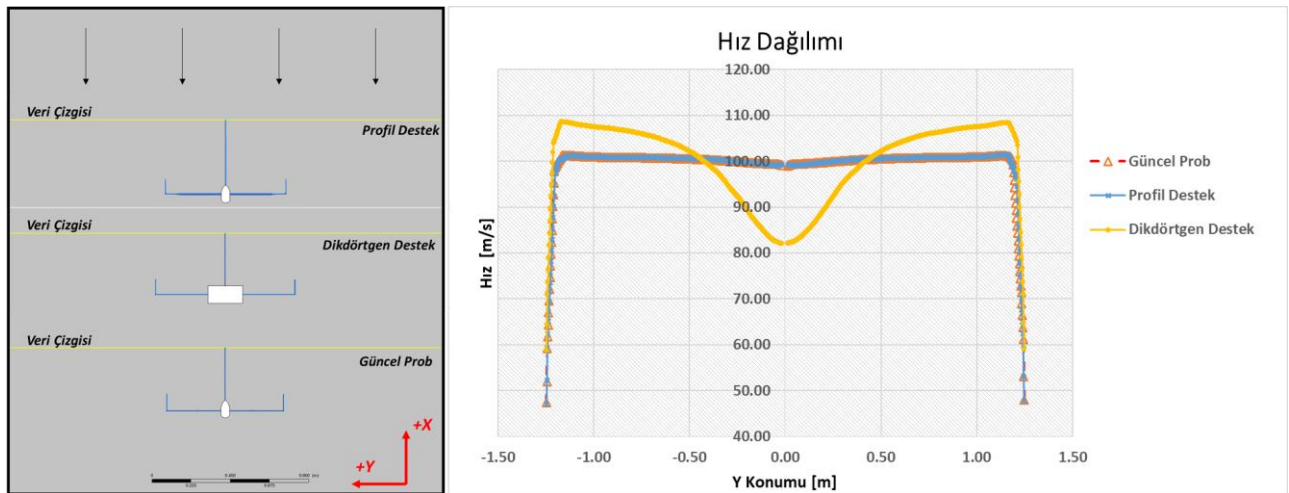


Şekil 4: Simülasyon sınır koşulları



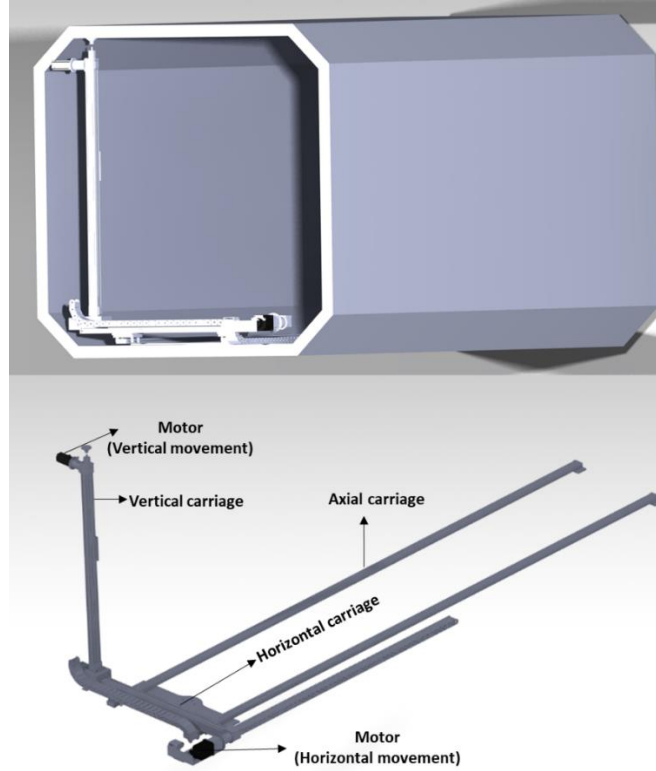
Şekil 5: Destek elemanı ve prob uzunluklarının tünel hız dağılımına etkisi

Şekil 5 ve Şekil 6'da yer alan hız dağılımları incelendiğinde, dikdörtgen destek kullanımının uygun olmadığı değerlendirilmiştir. Burada dikdörtgen destek kullanımı durumunda ölçüm yapılan noktadan yaratılan blokajdan dolayı ciddi seviyede hız değişimi olduğu gözlemlenmiş, tünel yatay konumu boyunca hız dağılımının sabit olmadığı tespit edilmiştir. Bu travers geometrisi maliyet açısından avantaj sağlamaktadır fakat ölçümü etkileyeceği düşünülerek kanat profiline benzer bir profile sahip bir yapının kullanılması yönünde karar alınmıştır.



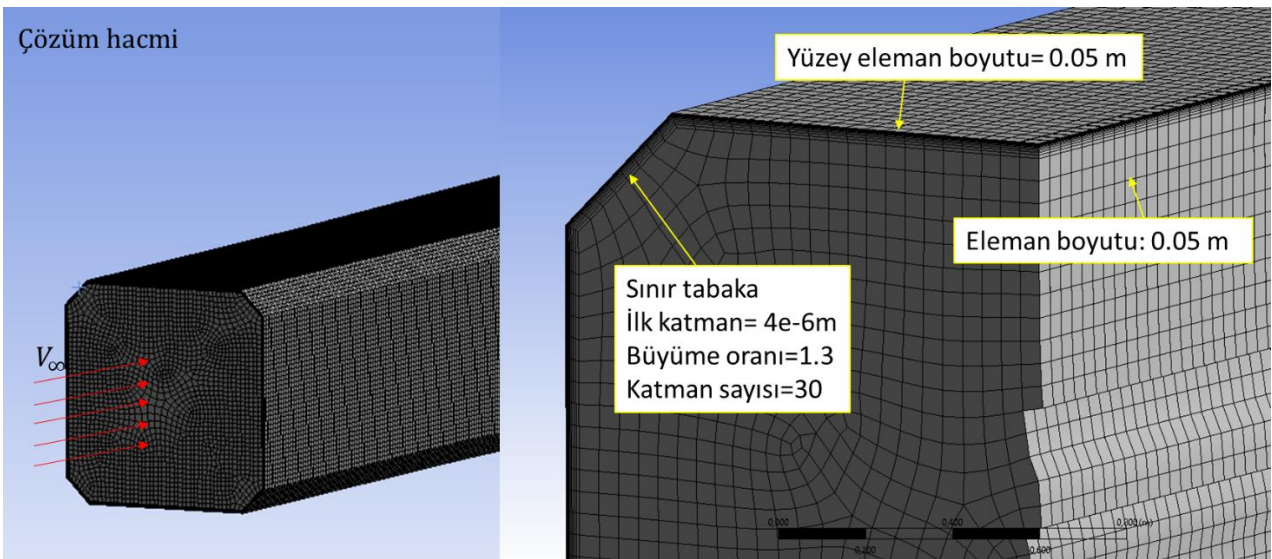
Şekil 6: Travers sistemleri orta prob genişlik boyunca hız dağılımı

Kavramsal tasarımların tamamlanmasının ardından traverse sistem detaylı tasarım aşamasına geçilmiş ve analizler güncel travers sistemi imalat verilerine göre tekrarlanmıştır. Şekil 7'de travers sistemi detaylı tasarımı ve TK1 içerisinde yerleşimini gösteren modeli sunulmuştur.



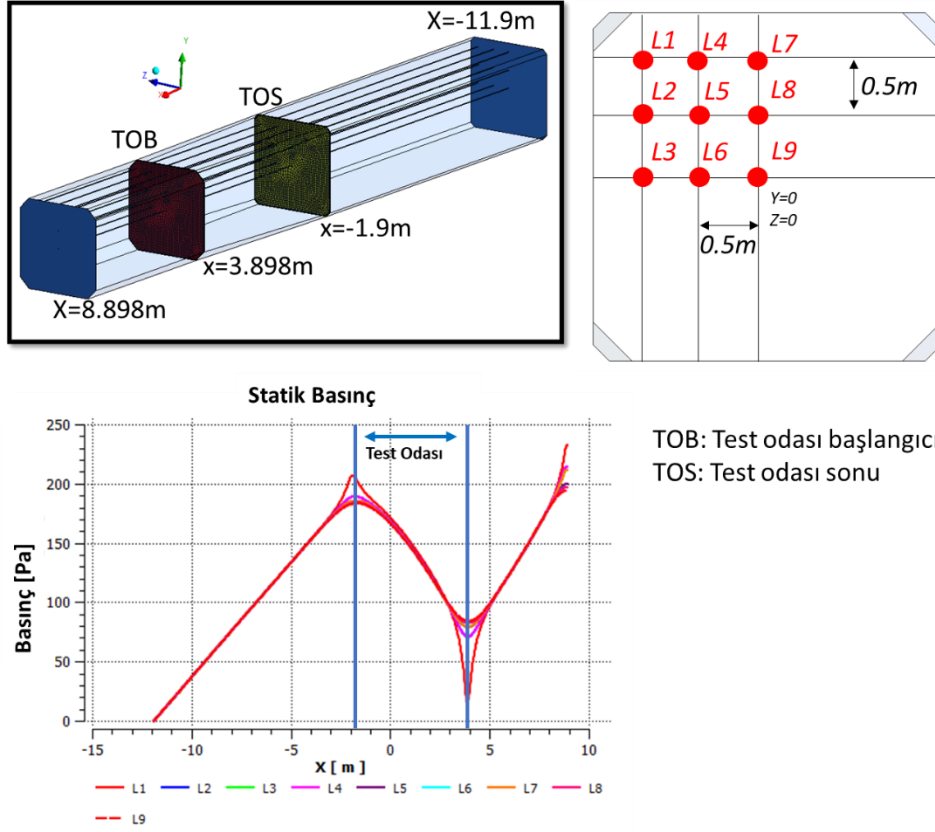
Şekil 7: Travers sistemi detaylı tasarımı

Travers sisteminin TK1 içerisinde analizleri öncesinde test odası analizleri gerçekleştirilmiştir. Test odası tünel içi statik basınç dağılımının düzenlenmesi amacı ile genişleyen bir geometriye sahiptir. Analizlerin yakınsamasını sağlamak amacı ile analiz hacmi test odası girişinden 5 m akışa ters yönde ve 10 m test odası çıkışından akış yönünde uzatılmıştır.



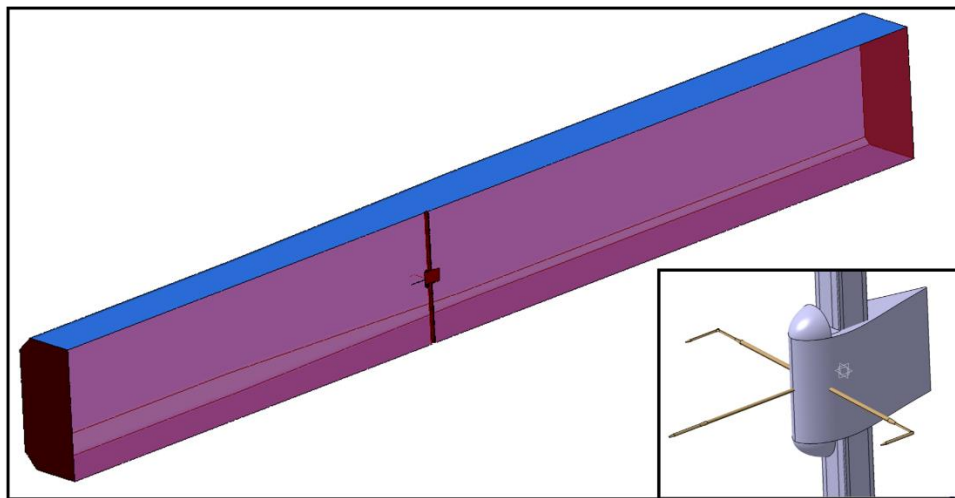
Şekil 8: Boş test odası çözüm hacmi

Boş test odası çözüm hacmi oluşturulmasında 3.1 milyon eleman kullanılmıştır ve en yüksek çarpıklık (ing. skewness) oranı 0.88 olarak not edilmiştir. Bu analizin amacı boş test odası kaynaklı statik basınç dağılımının belirlenmesi ve travers analizlerinde etkisinin göz önünde bulundurulmasını sağlamaktır. Analiz sonucu en yüksek y^+ değeri 0.6'dır. Bu simülasyonlarda akış $-X$ yönündedir. Boş test odasındaki statik basınç dağılımı Şekil 9'da sunulmuştur. Bu analiz sonucuna göre 100 m/s giriş hız koşulunda yaklaşık 20 Pa/m statik basınç değişimi ve tünel girişi ile çıkışı arasında toplam 120 Pa mertebesinde bir statik basınç farkı görülmektedir.



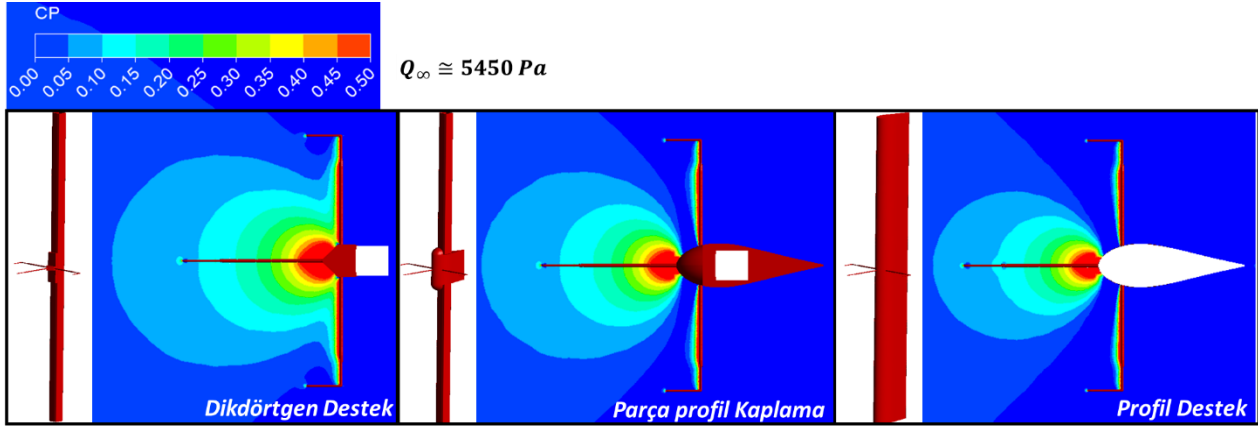
Şekil 9: Boş test odası statik basınç dağılımı

Travers sistem analizleri sırasında detaylı imalat geometrisi sadeleştirilmiştir ve traverse sistemi üzerine EPPLER 862 strut airfoil kaplama eklenmiştir.



Şekil 10: Travers sistemi çözüm ağı geometrisi

Traverse sistemi, kare şeklinde, parçalı kaplama ve alttan üste profil olacak şekilde analiz edilmiştir. Şekil 11'de üç farklı destek elemanı geometrileri ve akışa etkileri sunulmuştur. Geometriler 5450 Pa dinamik basınç koşulunda analiz edilmiştir. Basınç katsayısı dağılımları incelendiğinde, tüm yükseklik boyunca yerleştirilen profil destek elemanın akışta daha az bozuntuya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Dikdörtgen ve parçalı kaplamanın basınç katsayısı değerleri karşılaştırıldığında ise parçalı kaplamanın dikdörtgen yapıya göre bölgesel düzenleyici etkiye sahip olduğu not edilmiştir. Burada profil destek elemanı maliyet ve zaman açısından dezavantaj getirmektedir. Bu sebeple travers sistemde parçalı kaplama ve dikdörtgen yapıya kıyasla prob konumunda iyileştirmesi yapılması planlanmıştır.



Şekil 11: Traverse sistemi destek geometrisi incelemesi

Farklı geometrilerin etkilerinin incelenmesi ve parça profil kaplamalı model ile ilerlenmesinin belirlenmesinin ardından parça profil kaplamalı model için HAD analizleri detaylandırılmıştır. 5 delikli prob ve yanlardaki L tipi problemler çevresindeki akışın detaylı incelemesi gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak analizlerin çözüm açısından bağımsızlığının incelenmesi amacı ile 7 farklı çözüm ağında analizler tekrarlanmıştır. 7 milyon eleman sayısından daha küçük eleman sayısında analizler yakınsamamıştır. Analizlerde kullanılan farklı çözüm ağlarının detayları aşağıda verilmiştir.

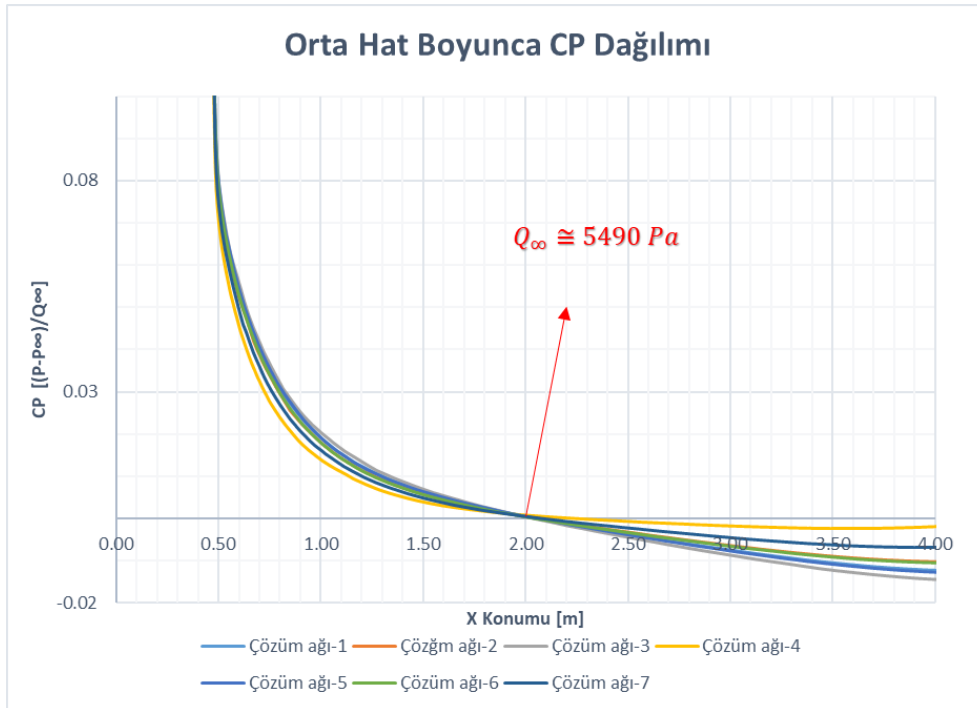
- Çözüm ağı-1: 7.7 milyon eleman, 1.99 y+ değeri,
- Çözüm ağı-2: 9.3 milyon eleman, 1.29 y+ değeri, y+ iyileştirmesi
- Çözüm ağı-3: 10.3 milyon eleman, 0.98 y+ değeri, y+ iyileştirmesi
- Çözüm ağı-4: 10.7 milyon eleman, 0.98 y+ değeri, prob çevresi iyileştirme
- Çözüm ağı-5: 10.6 milyon eleman, 1 y+ değeri, prob yüzey elemanları iyileştirmesi
- Çözüm ağı-6: 14.6 milyon eleman, 1 y+ değeri, prob yüzey elemanları iyileştirmesi
- Çözüm ağı-7: 15.7 milyon eleman, 1.13 y+ değeri, çözüm hacmi elemanları iyileştirmesi

Farklı çözüm ağları sonuçları karşılaştırması Şekil 13 ve Şekil 14'de basınç katsayısı (CP) dağılımı ve basınç katsayısı gradyanı (ΔCP) ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda $X=0.466$ m konumu orta prob durma noktasını ifade etmektedir. $X=2$ m konumu ise serbest akış referans değerlerinin alındığı konum olarak tanımlanmıştır. Farklı çözüm ağlarından alınan sonuçlar eğilim ve değer olarak benzer sonuçlar sunmaktadır ve analizlerin çözüm açısından bağımsız olduğunu göstermektedir. Fakat CP grafiği detaylı incelendiğinde, çözüm ağı-4'ün serbest akış referans konumu öncesi tünel boş test odasında beklenen dağılımı verdiği değerlendirilmiştir.

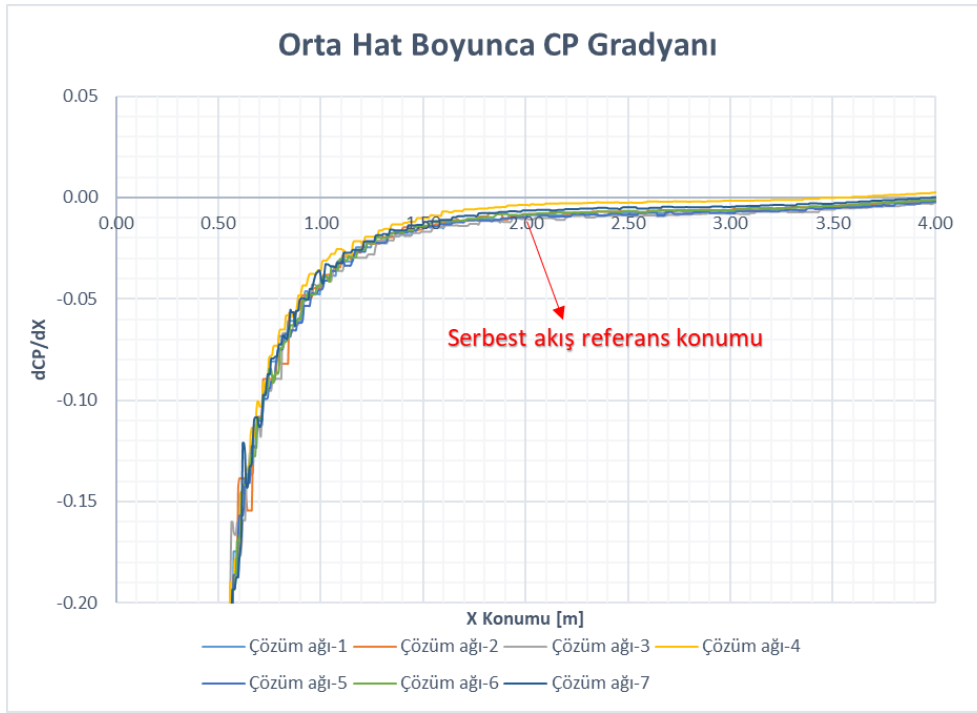
	Çözüm hacmi
Travers sistemi sınır tabaka ilk katman boyutu	3e-6m
Travers sistemi sınır tabaka katman büyüme oranı	1.2
Travers sistemi sınır tabaka toplam katman sayısı	30
Travers duvarı sınır tabaka ilk katman boyutu	45e-7m
Travers duvarı sınır tabaka katman büyüme oranı	1.3
Travers duvarı sınır tabaka toplam katman sayısı	30
En küçük eleman	4e-4m
En büyük yüzey eleman boyutu	6e-2m
En yüksek hacim eleman boyutu	8e-2m
En yüksek y^+	0.98
Prob çevresi hacim eleman boyutu	3e-2m
En yüksek çarpıklık	0.88
Toplam eleman sayısı	10.7



Şekil 12: Çözüm ağı-4

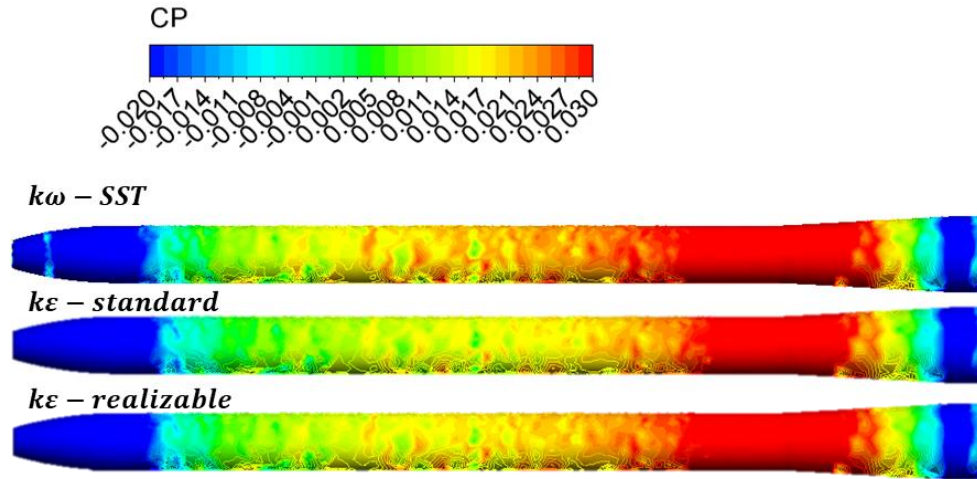


Şekil 13: Farklı çözüm ağları basınç katsayısı



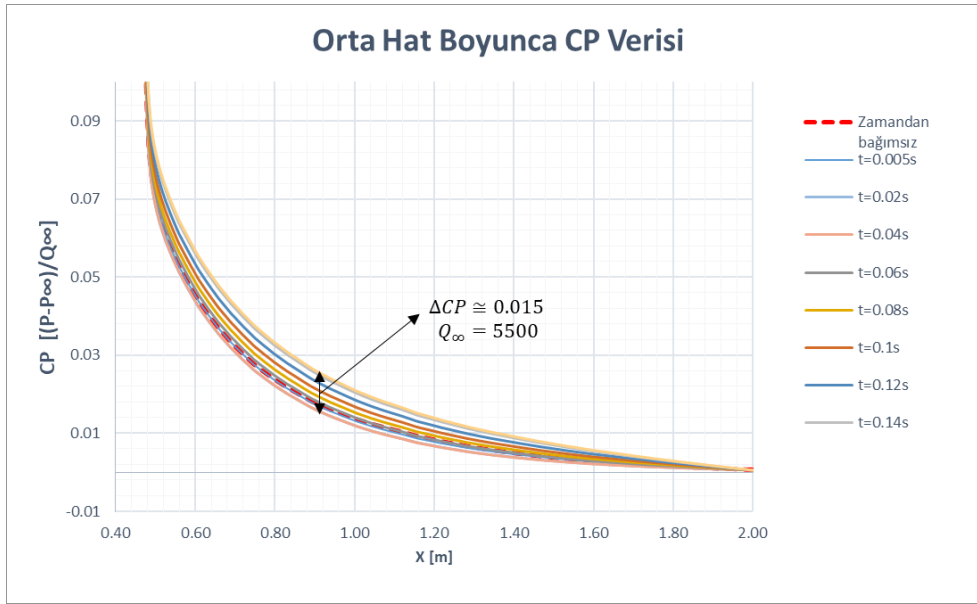
Şekil 14: Farklı çözüm ağları basınç katsayısı gradyanı

Çözüm ağı incelemesi sonrası farklı türbülans modelleri karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 15'te sunulmuştur. Farklı türbülans modelleri ile gerçekleştirilen analizlerde prob üzerinde benzer CP dağılımları elde edilmiştir. Çözüm ağı y^+ değerinin 0.98 olduğu göz önüne alınarak analizlerde $k-\omega$ SST modeli tercih edilmiştir.



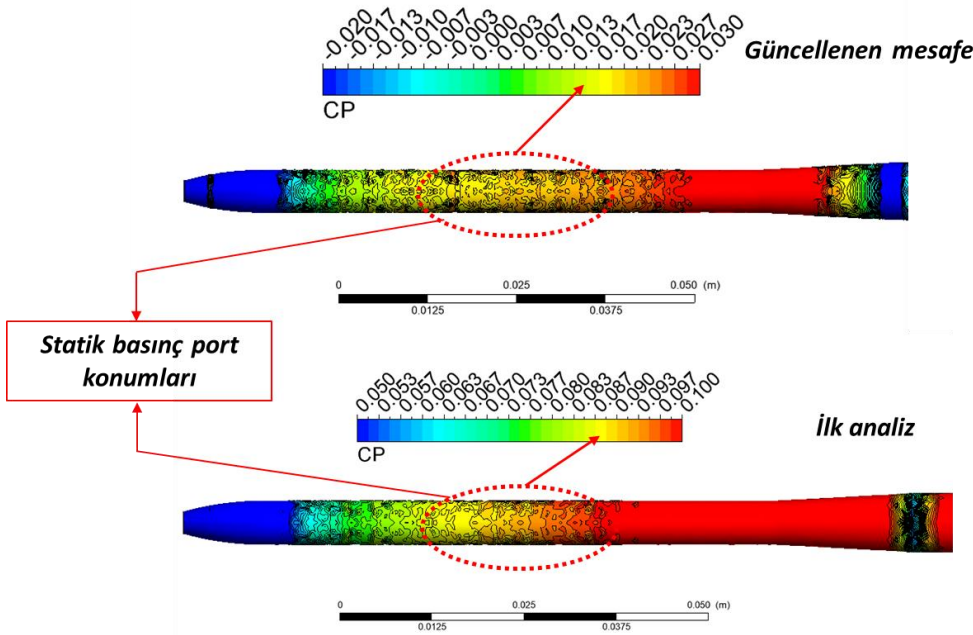
Şekil 15: Farklı türbülans modelleri karşılaştırması

Farklı çözüm ağları analizleri sırasında analizlerin yakınsamalarının kararsız bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr tüneli test odası içerisinde travers sisteminden kaynaklı kararsız bir akış beklenmektedir fakat zamandan bağımsız analiz doğruluğunun teyit edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple zamana bağlı analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 16'da verilmiştir. Zamana bağlı analizler için CFL=2 değeri kullanılmıştır. Şekil 16'da yer alan grafiklerde görüldüğü üzere, tünel içi CP dağılımı zamana bağlı değişim göstermektedir ve $\Delta CP=0.015$ zamana bağlı analizlerde beklenmelidir.



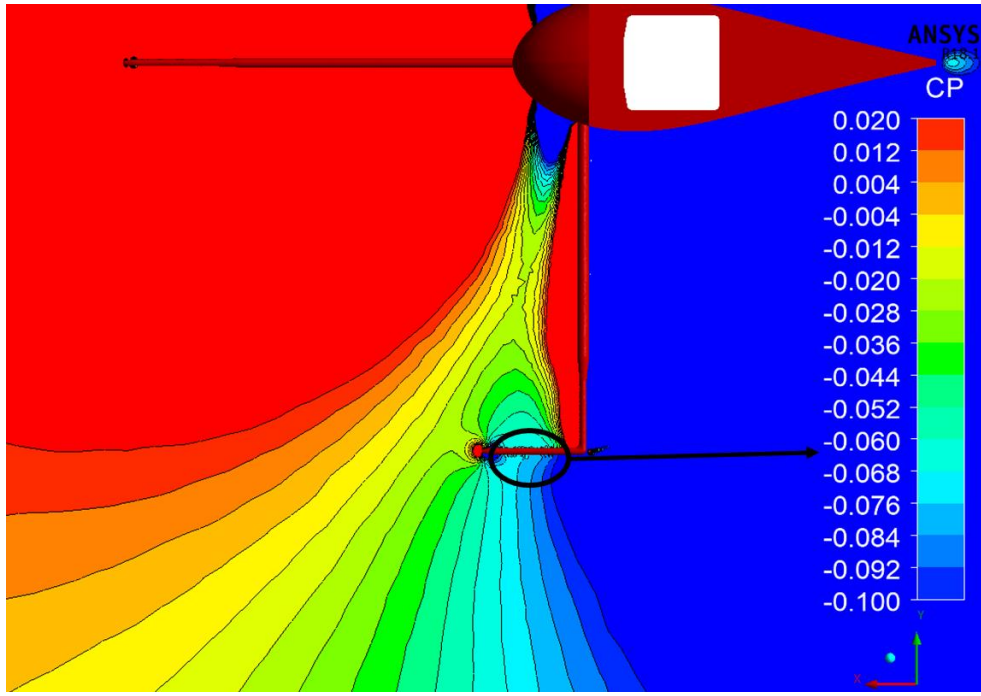
Şekil 16: Zamana bağlı ve zamandan bağımsız analiz sonuçları

Boş tünel analizinden 20 Pa ($\Delta CP=0.003$) ve zaman bağıli analizlerden $\Delta CP=0.015$ fark beklenmektedir. Prob statik basınç deliklerinden $CP=0.018$ değerinin okunması hedeflenmiştir. Bu amaçla prob durma noktası, destek sistemi ön konumundan 880 mm mesafede olacak şekilde güncellenmiştir. Güncelleme sonrası karşılaştırma Şekil 17'de verilmiştir. Güncellenen prob mesafeleri ile $CP=0.018$ hedefine ulaşılmıştır.



Şekil 17: Prob mesafeleri güncellemesi

Analizler sırasında "L" Prob üzerinden alınması planlan verinin, travers sistemden etkilendiği fark edilmiştir. Şekil 18'de "L" Prob çevresi basınç katsayısı dağılımları sunulmuştur. $\pm CP=0.018$ olarak belirlenen hedefe "L" Prob üzerinde erişilememektedir. Bu analize bağıli olarak "L" Probların kullanımının sağlıklı olmayacağı düşünülmektedir. Bu sebeple, eş zamanlı 3 prob verisi almak yerine tek orta prob ile veri alınmasına karar verilmiştir.



Şekil 18: "L" Prob çevresi basınç katsayısı dağılımı

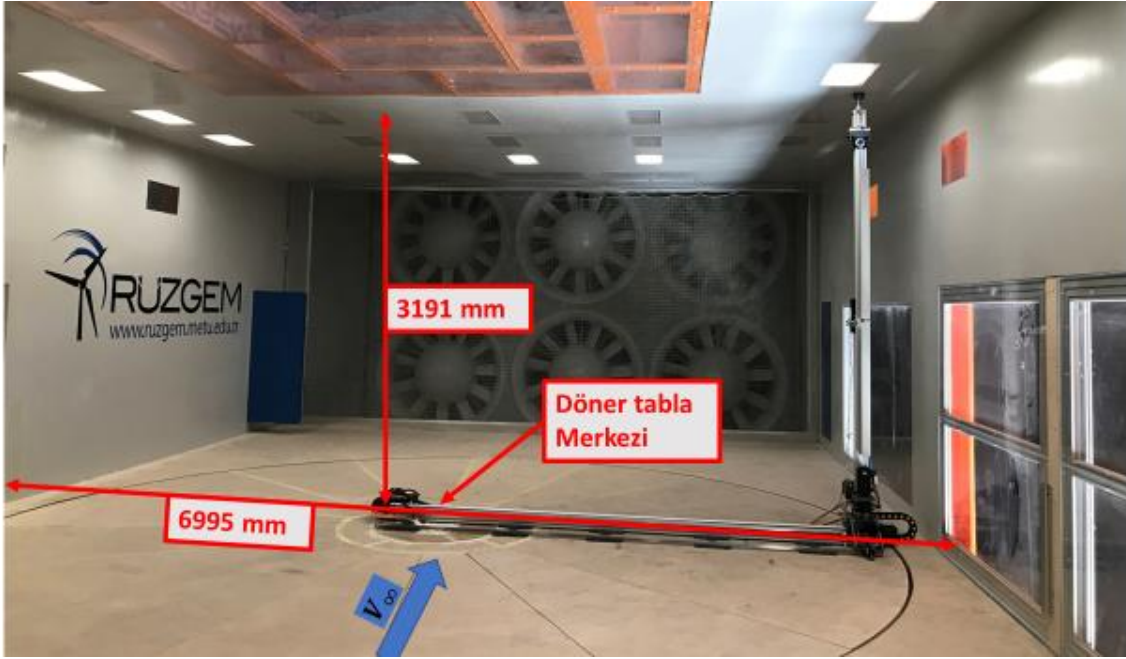
Analizlerin doğruluğunun teyit edilmesi ve prob mesafesinin belirlenmesinin ardından farklı konum ve hızlar için beklenen hatalar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1: Farklı konum ve hızlarda beklenen hatalar

	Prob Konumu	Akış Koşulları				Hız Hata Oranı %	$\Delta P/Q$ %
		Q [Pa]	Mach	V (m/s)	Re*10 ⁶ (1/m)		
Analiz-1	Merkez	5463	0.286	99.6	6.0	1.1	1.8
Analiz-2	Merkez	218	0.057	19.9	1.2	0.8	1.5
Analiz-3	Merkez	1963	0.172	59.7	3.6	0.9	1.5
Analiz-4	En alt	5498	0.287	99.6	6.0	0.8	1.2
Analiz-5	En alt	218	0.057	19.9	1.2	0.7	1.2
Analiz-6	En alt	1962	0.172	59.7	3.6	0.9	1.5
Analiz-7	En sol	5469	0.287	99.6	6.0	1.3	2.4
Analiz-8	En sol	218	0.057	19.9	1.2	1.2	2.2
Analiz-9	En sol	1962	0.172	59.7	3.6	1.3	2.2

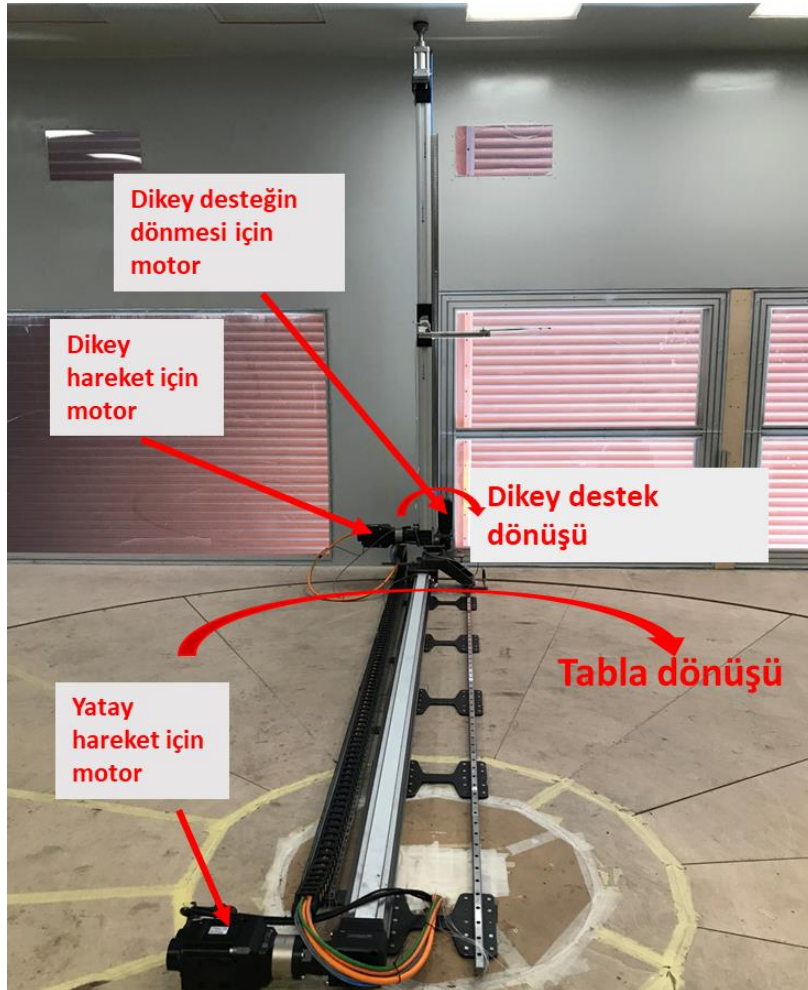
Deneyel/Travers Sistem Kurulumu

Travers sistemi kurulumu öncelikli olarak sınır tabaka test kesitinde yapılmıştır. Sınır tabaka test kesitine kurulan düzenek aşağıda gösterilmiştir. Şekil 19 ve Şekil 20'de sınır tabaka test kesiti boyutları, döner tabla merkezi ve travers sistem gözükmektedir.



Şekil 19: Sınır tabaka test kesiti travers sistem kurulumu

Bu test odası 7 m genişliğe sahiptir ve traverse sistem sadece test odası yarısını tarayabilmektedir. Bir yarının taranmasının ardından döner tabla yardımı ile traverse sistem döndürülüp diğer yarının da taraması hedeflenmiştir.



Şekil 20: Sınır tabaka travers sistem çalışma mekanizması

SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, RÜZGEM BRT karakterizasyon testlerinin icra edilmesi için gerekli travers sistemi kavramsal ve detaylı tasarımları tamamlanmıştır. Ölçüm için farklı kavramsal travers mekanizmaları tasarlanmış, ölçümlere etkileri incelenmiştir. Dikdörtgen bir destek kullanımının prob üzerinden alınan datayı etkileyeceği bu sebeple kanat profiline benzer kesite sahip bir yapının kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir. Fakat zaman ve maliyet açısından tüm yükseklik boyunca yerleştirilen profil desteğin uygun olmadığına karar verilmiştir. Kavramsal tasarım aşamasında, bir orta prob ve iki adet L prob kullanımı ile eşzamanlı 3 ölçüm yapılması planlanmıştır. Analizler sonucunda L tipi yan problardan sağlıklı ölçüm alınamayacağı tespit edilmiş ve sadece orta prob kullanımı ile veri alınmasına karar verilmiştir. Orta prob güncel mesafesi $CP=0.018$ hedefi göz önüne alınarak konumlandırılmış ve gerekli mesafeler detaylı tasarıma aktarılmıştır. Farklı tünellerde kullanılan ölçüm mekanizmaları ve ölçüm parametreleri incelenmiş ve RÜZGEM BRT için ölçüm yapılması gereken parametreler belirlenmiştir. Detaylı tasarımı yapılan travers sistemi imalatı tamamlanmış, gerekli ekipmanlar satın alınmış ve sınır tabaka test kesiti içerisine bütünlenmiştir. TK2 sınır tabaka test kesitidir ve en yüksek hızı 32 m/s'dir. Travers sistem üzerinde 5 delikli prob bütünlenmiş ve basınç, hız, akış açısı parametrelerin ölçümü yapılması planlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı tünelin karakteristiği hakkında bir rapor ortaya koymaktadır. Bu rapor, TK2'de test icra edildiğinde sonuçlarda karakterizasyonda ortaya konulan basınç dağılımları ve akış açılarının etkilerinin değerlendirilmesi için olanak sunacaktır.

Kaynaklar

- Barlow J. B., Rae W. H. and Pope A., *Low Speed Wind Tunnel Testing*, 3rd Edition, John Wiley and Sons, Hoboken, 1999.
- Lincoln, P.Erm, *Calibration of the Flow in the Test Section of the Low-Speed Wind Tunnel at AMRL*, DSTO-TR-1073, November 2000
- Perçin, M. ve Uzol, O., *Mühendis ve Makina Dergisi*, Ekim 2019, s. 47-51.
- Recommended Practice, *Calibration of Subsonic and Transonic Wind Tunnels*, AIAA R-093-2003
- Santos, C. Jabardo P. J. S., Cardoso M., Taira N.M., Pereira M.T, *CHARACTERIZATION OF LOW TURBULENCE WIND TUNNEL*, XVIII IMEKO WORLD CONGRESS Metrology for a Sustainable Development September, 17 – 22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil
- Owen, K. and Owen, A., *Measurement and assessment of wind tunnel flow quality*, Progress in Aerospace Sciences journal, 10 July 2008
- William T. Yeager, Jr., Matthew L. Wilbur, Paul H. Mirick, *Flow Angularity Measurements in the NASA-Langley Transonic Dynamics Tunnel*, NASA/TM-2005-213946, December 2005