



YÜKSEK PERFORMANSLI YELKEN

KUMAŞI GELİŞTİRİLMESİ

MURAT YILDIRIM

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

2023

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK PERFORMANSLI YELKEN KUMAŞI GELİŞTİRİLMESİ

MURAT YILDIRIM

ORCID: 0000-0001-6073-4442

TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

Mart -2023

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

YÜKSEK PERFORMANSLI YELKEN KUMAŞI GELİŞTİRİLMESİ

Murat YILDIRIM

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

Bu tez çalışmasının amacı, biyomimetik bir yaklaşımla tasarlanan kanallı (tüberkül) kumaş konstrüksiyonları ile seyir yelkenlerinde kullanılmak üzere aynı rüzgâr şiddetinde ve aynı şartlar altında daha yüksek hızlara ulaşabilecek bir yelken kumaşı geliştirmektir. Sunulan tez çalışması kapsamında kambur balina yüzgecine benzer yapıya sahip alternatif kumaş tasarımları geliştirilmiş, geliştirilen kumaş yapılarının aerodinamik performansları rüzgâr tüneli deneyleri ile ölçülmüş, aerodinamik performansa etki eden kumaş parametreleri belirlenmiş ve ölçüm sonuçları analiz edilerek kumaş parametreleri ve aerodinamik performans arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Aerodinamik performansa etki eden parametrelerden kumaş yüzey indeksi (Yİ), kumaş statik ve kinetik sürtünme katsayıları ölçülmüş; rüzgâr basıncı ile şişmeden kaynaklı alan artışının belirlenmesi için ise yeni bir yöntem ve esneme indeksi (Eİ) kavramı geliştirilmiştir. Bu dört parametre ile kumaş aerodinamik performansı arasındaki ilişki regresyon analizi ile ortaya konmuştur. Rüzgâr tüneli ölçümleri ve modelden hesaplanan değerler karşılaştırılarak regresyon modelinin doğrulaması yapılmış ve kumaşların aerodinamik performansının %4 hata payı ile hesaplanabildiği görülmüştür. Böylece, kumaşların aerodinamik performanslarını belirlemek için erişimi zor ve maliyetli olan rüzgâr tüneli testlerine alternatif, kolay ve pratikte uygulanabilir yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yapılan rüzgâr tüneli deneyleri, tüberkül yapıya sahip kumaşın standart yelken kumaşına göre %10,3 ve tüberkül yapıya sahip ve mikro lif iplikler ile dokunmuş kumaşın standart yelken kumaşına göre %24,3 daha yüksek aerodinamik performansa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç hedeflenen tüberkül yapının ve mikro lif kullanımının yelken kumaşlarının aerodinamik performansına etkisini açıkça göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yelken Kumaşı, Rüzgâr Tüneli, Aerodinamik Performans, Kambur Balina Yüzgeci.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF HIGH PERFORMANCE SAILCLOTH

Murat YILDIRIM

Department of Textile Engineering

PhD Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Özer GÖKTEPE

The aim of this thesis is to develop a sailcloth having tubercule fabric constructions designed with a biomimetic approach that can reach higher speeds at the same wind intensity and under the same conditions to be used in cruising sails with. Within the scope of the presented thesis, alternative fabric designs with a structure similar to the fin of a humpback whale were developed, the aerodynamic performances of these fabric structures were measured by wind tunnel experiments, the fabric parameters affecting the aerodynamic performance were determined, the measurement results were analyzed and the relationships between fabric parameters and aerodynamic performance were investigated. Fabric surface index (YI), fabric static and kinetic friction coefficients were measured as fabric parameters affecting aerodynamic performance. Also a new method and the flexural index (EI) concept have been developed to measure the area increase due to wind pressure. The relationship between these four parameters and fabric aerodynamic performance was revealed by regression analysis. The regression model was verified by comparing the wind tunnel measurements and the values calculated from the model, and it was seen that the aerodynamic performance of the fabrics could be calculated with a 4% margin of error. Thus, a new, easy and practically applicable method has been developed as an alternative to wind tunnel tests, which are difficult to access and costly, to determine the aerodynamic performance of fabrics. Wind tunnel experiments suggested that the fabric with tubercule structure has a 10.3% higher aerodynamic performance; while the fabric with tubercle structure and woven with microfiber yarns has a 24.3% higher aerodynamic performance compared to the standard sail fabric. This results clearly show the effect of targeted tubercule structure and microfiber use on aerodynamic performance of the sailcloth.

Keywords: Sailcloth, Wind Tunnel, Aerodynamic Performance, Fin of Humpback Whale

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
TEŞEKKÜR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Temel Kavramlar.....	2
1.2. Yelkenli Hareket Prensibi (Bernoulli Prensibi).....	5
1.3. Yelken Kumaşı Aerodinamiği.....	5
1.4. Tor.....	9
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	11
2.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	26
3. MATERYAL VE METOT.....	28
3.1. Çalışmada Kullanılan İplikler ve Geliştirilen Kumaşlar.....	28
3.2. Geliştirilen Kumaşlara Uygulanan Terbiye İşlemleri.....	29
3.3. Kumaşlara Uygulanan Rutin Performans Testleri.....	30
3.4. Rüzgâr Tüneli Deneyleri.....	31
3.5. Friktörq Cihazı ile Sürtünme Katsayısı Ölçüm.....	35
3.6. Kumaşlarda Yüzey Alanı Ölçümü.....	36
3.7. Esneme İndeksi Ölçümü İçin Yeni Yöntem Geliştirme.....	38
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	41
4.1. Yelken Kumaşlarının Geliştirilmesi Öncesinde Ön Çalışma: Uygun Lif Enine Kesit Şeklinin Belirlenmesi.....	41
4.2. Geliştirilen Yelken Kumaş Yapıları ve 3 Boyutlu Bilgisayar Simülasyonları.....	42
4.3. Üretilen Yelken Kumaşlarına Ait Görseller.....	48
4.4. Yelken Kumaşlarının Rutin Performans Test Sonuçları.....	56
4.5. Kumaş Yüzey Alanı Ölçümü Sonuçları.....	57
4.6. Kumaşlara Ait Esneme İndeksi (EI) Ölçüm Sonuçları.....	64
4.7. Kumaşlara Ait Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı Ölçüm Sonuçları.....	66
4.8. Rüzgâr Tüneli Testlerinden Elde Edilen Sonuçlar.....	67
4.8.1. Yelken Kumaşlarına Ait Aerodinamik Sürtünme Katsayısı Sonuçları.....	67
4.8.2. C_R Aerodinamik Sürtünme Katsayısının Değerlendirmesi.....	82
4.9. Yelken Kumaş Parametreleri ve Aerodinamik Performans Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi.....	85

4.10. 45° Beta (β) Açısı ile Oluşturulan Regresyon Modeli Doğrulaması.....	91
4.11. Geliştirilen Yelken Kumaşı Aerodinamik Performansının İyileştirilmesi ve Regresyon Modelinin Doğrulanması.....	92
4.11.1. Mikro Lifli Kumaş (T926M), Std. Yelken Kumaşı (SYK) ve T926 Kodlu Kumaş Alansal Esneklik, Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı ve Yüzey Alan Ölçüm Sonuçları..	93
4.11.2. Std. Yelken Kumaşı, T926 ve T926M Mikro Kumaş Rüzgâr Tüneli Doğrulama Testleri Ölçüm Sonuçları	94
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR.....	102
EK-A. Tekne hareket yönü ile rüzgâr arasındaki (β) açısına göre C_R ve C_{LAT} Ölçüm Sonuçları	104
EK-B. β 45° İçin 6-10 m/s Hızlarda ΣC_{R45} Sonuçları	113
EK-C. β 45° için 6-10 m/s hızlarda ΣC_{R45} grafikleri	116
TEZDEN ÜRETİLMİŞ ESERLER	119
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Yelken bezi kumaşlarının özellikleri (Najafzadeh ve ark., 2019).....	14
Çizelge 2.2. Rüzgâr hızı ve açılarına göre teknelerin ortalama süratleri (Köseoğlu, 2018).....	24
Çizelge 3.1. Numune kumaşların dokunmasında kullanılan ipliklere ait bilgiler	28
Çizelge 3.2. Dokuma kumaş üretim parametreleri.....	29
Çizelge 3.3. Standart yelken kumaşı parametreleri.....	29
Çizelge 3.4. Terbiye işlemlerine ait parametreler	30
Çizelge 3.5. Uygulanan rutin performans testleri, test metodları ve test cihazları.....	31
Çizelge 4.1. Farklı enine kesite sahip lifler içeren kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları	42
Çizelge 4.2. Tüberkül yapının sayısal ve görsel değerlendirmesi	55
Çizelge 4.3. Rutin performans testlerine ait sonuçlar	56
Çizelge 4.4. UV yaşlandırma işlemi sonucu renk ve mukavemet değişiminin test sonuçları	57
Çizelge 4.5. Profilometre ile ölçülen kumaş yüzey alanları ölçüm sonuçları	63
Çizelge 4.6. Patlama mukavemet testinde elde edilen diyafram yüksekliği yardımıyla hesaplanan Esneme İndeksi değerleri	65
Çizelge 4.7. Kumaşlara ait ortalama statik ve kinetik sürtünme katsayıları	66
Çizelge 4.8. T920 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	68
Çizelge 4.9. T920 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	68
Çizelge 4.10. T921 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	69
Çizelge 4.11. T921 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	69
Çizelge 4.12. T922 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	70
Çizelge 4.13. T922 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	70
Çizelge 4.14. T923 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	71
Çizelge 4.15. T923 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	71
Çizelge 4.16. T924 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	72
Çizelge 4.17. T924 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	72
Çizelge 4.18. T925 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	73
Çizelge 4.19. T925 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	73
Çizelge 4.20. T926 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	74
Çizelge 4.21. T926 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	74
Çizelge 4.22. T928 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	75
Çizelge 4.23. T928 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	75
Çizelge 4.24. T929 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi	76
Çizelge 4.25. T929 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi	76
Çizelge 4.26. Belirli rüzgâr hızlarında ve α açılarında C_R sürtünme katsayısı sonuçları	83

Çizelge 4.27. Rüzgâr tüneli deney sonuçlarına göre yelken kumaşı numunelerinin C_R hareket yönü sürtünme katsayıları sıralaması	84
Çizelge 4.28. Aerodinamik sürtünme katsayısı toplamı, yüzey indeksi, statik ve kinetik sürtünme katsayıları ve esneme indeksi değerleri.....	85
Çizelge 4.29. Rüzgâr tüneli sonuçları ile yüzey indeksi, esneme indeksi, statik sürtünme katsayısı ve kinetik sürtünme katsayısının regresyon analizi	86
Çizelge 4.30. Girdiler arası etkileşim ve girdi parametrelerinin tekli, ikili ve üçlü çıktı parametresini etkileme seviyesi	87
Çizelge 4.31. Ölçülen ve hesaplanan toplam C_R verileri ve aralarındaki ilişki.....	90
Çizelge 4.32. $\beta 45^\circ$ için hız bazında ΣC_R sonuçları ve ΣC_{R90} değerleri ile mukayese	92
Çizelge 4.33. Mikro lifli kumaş, standart yelken kumaşı ve T926 kodlu numune esneme indeksi, sürtünme katsayıları, yüzey alan ve yüzey indeksi değerleri	93
Çizelge 4.34. Standart yelken kumaşı ile T926 kodlu yelken kumaşı ve T926 mikro yelken kumaşı rüzgâr tüneli toplam C_R sonuçları	95
Çizelge 4.35. Ölçülen ve hesaplanan toplam C_R değerlerinin karşılaştırılması	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kaymadaki temas esnasında sürtünme kuvveti F , cismin ağırlığı W , normal tepki kuvveti N ve Hız V 'nin gösterimi (Howell ve ark., 1959).....	3
Şekil 1.2. Yelken hareket prensibi (www.kalyeta.com).....	5
Şekil 1.3. Hava akışı içine yerleştirilmiş kanat üzerinde oluşan kuvvetler (//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)	6
Şekil 1.4. Taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimi ve akım ayrılması etkisi (//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)	7
Şekil 1.5. Tekne üzerinde oluşan kuvvet bileşenleri (//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu).....	7
Şekil 1.6. Yelken kumaşı hava akışı yapısı ve kuvvet gösterimi (//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)	8
Şekil 1.7. Tekne üzerinde oluşan aerodinamik kuvvetin farklı bileşen gösterimi (//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)	9
Şekil 1.8. Yelkenlerde tor (www.kalyeta.com).....	9
Şekil 2.1. Tüberkül yapısı (Polat ve ark., 2012)	11
Şekil 2.2. Tüberkül yapıdan esinlenilerek geliştirilen mekanizmalar (Polat ve ark., 2012).....	11
Şekil 2.3. Geçirgenlik faktörleri (Turan ve ark., 2012).....	12
Şekil 2.4. Yelken ve rüzgâr arasındaki konumlar (Banks ve ark., 2010).....	13
Şekil 2.5. (a) Şematik olarak şişirilmiş kumaş (b) Kumaş deformasyonunun önden görünümü (Najafzadeh ve ark., 2019)	14
Şekil 2.6. Farklı basınç değerlerinde test numunelerinin görüntüleri, (a) 0.2 bar, (b) 0.4 bar, (c) 0.6 bar, (d) 0.8 bar, (e) 1 bar (Najafzadeh ve ark., 2019).....	15
Şekil 2.7. Yelken modelinin parçaları (Cali ve ark., 2018).....	16
Şekil 2.8. 3 açılı simetrik balon: (a) desen şekli; (b) panel düzenlemesi; (c) balon şekli (Cali ve ark., 2018)	16
Şekil 2.9. Yeni tasarlanan desen (Cali ve ark., 2018)	17
Şekil 2.10. Rüzgâr üstü seyirlerde oluşan rüzgâr üstü seyir çizimi (Bayati ve ark., 2019).....	17
Şekil 2.11. 3 farklı yükseklikte (%25, %50 ve %75) yelken basınç değerleri (Bayati ve ark., 2019) ..	18
Şekil 2.12. Balon modelinin bir bölümündeki aerodinamik parametrelerinin tanımı (Bot ve ark., 2014).	19
Şekil 2.13. Rüzgâr yönüne göre 0° ile 90° arasındaki farklı açılarda aerodinamik özellikleri (kaldırma ve sürüklenme) ölçmek için silindir geometrisinin tasarımı ve deneysel düzenlemesi (a) şematik CAD modeli, (b) rüzgâr tünelineki silindir (Moria ve ark., 2013)	19
Şekil 2.14. Çekme kuvveti rüzgâr tüneli test düzeneği (Bardal ve ark., 2013).....	21
Şekil 2.15. Rüzgâr tüneli deney tasarımı (Yan ve ark., 2017).....	23
Şekil 2.16. (a) Standart tasarım yelkene gelen basınç dağılımı (b) Yeni tasarım yelkene gelen basınç dağılımı (Cali ve ark. 2018)	25

Şekil 3.1. Kapalı devre ses altı rüzgâr tüneli (İTÜ Uzak ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)	31
Şekil 3.2. Rüzgâr tüneli için kullanılan ölçüm cihazları (İTÜ Uzak ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)	32
Şekil 3.3. Kapalı devre ses altı rüzgâr tüneli kontrol odası (İTÜ Uzak ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)	32
Şekil 3.4. Kuvvet ölçüm duyarğaları (İTÜ Uzak ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)	33
Şekil 3.5. Rüzgâr tüneli deney numuneleri	34
Şekil 3.6. Friktorq test cihazı (Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı)	35
Şekil 3.7. Profilometre cihazı (Gebze Teknik Üniversitesi Alüminyum Uygulama Laboratuvarı)	37
Şekil 3.8. Kumaş yüzey alanı hesaplanmasına ait temel prensip (Gülmez, Ders Notları)	37
Şekil 3.9. Hidrolik patlama mukavemeti cihazı (Tübitak Butal Laboratuvarı)	38
Şekil 3.10. Patlama mukavemeti testi (a) şematik gösterim (b) fotoğrafik gösterim (Najafzadeh ve ark., 2019)	39
Şekil 3.11. Küresel kapak alanı hesabı için kullanılan küre formu (Kern, W.F., Bland, J.R. 1938)	39
Şekil 4.1. Gama, hollow, octolobal, trilobal, W, kanallı ve yuvarlak kesite sahip lifler (Kara, Ş. 2011)	41
Şekil 4.2. Dalgalı yüzey kesit görünümü ve 3D görüntüsü	43
Şekil 4.3. T920 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	43
Şekil 4.4. T921 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	44
Şekil 4.5. T922 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	44
Şekil 4.6. T923 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	45
Şekil 4.7. T924 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	45
Şekil 4.8. T925 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	46
Şekil 4.9. T926 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	46
Şekil 4.10. T927 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	47
Şekil 4.11. T928 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	47
Şekil 4.12. T929 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü	48
Şekil 4.13. (a) T920 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	48
Şekil 4.14. (a) T921 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	49
Şekil 4.15. (a) T922 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	49
Şekil 4.16. (a) T923 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	49
Şekil 4.17. (a) T924 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	50
Şekil 4.18. (a) T925 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	50
Şekil 4.19. (a) T926 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	50
Şekil 4.20. (a) T927 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	51
Şekil 4.21. (a) T928 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	51

Şekil 4.22. (a) T929 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	51
Şekil 4.23. (a) Standart Yelken Kumaşı (SYK) (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit	52
Şekil 4.24. Profilometre yüzey tepe ve çukur yerlerin gösterimi	52
Şekil 4.25. T920 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	58
Şekil 4.26. T921 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	58
Şekil 4.27. T922 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	59
Şekil 4.28. T923 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	59
Şekil 4.29. T924 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	60
Şekil 4.30. T925 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	60
Şekil 4.31. T926 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	61
Şekil 4.32. T928 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	61
Şekil 4.33. T929 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	62
Şekil 4.34. T-926M kodlu numunenin (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü	62
Şekil 4.35. Standart yelken kumaşı (SYK) yüzey alanı görüntüsü	63
Şekil 4.36. Yelken kumaşı ön/arka yüz yüzey alanları ve ön/arka yüz yüzey indeksi	64
Şekil 4.37. Kumaşlara ait diyafram yüksekliği ve esneme indeksi (EI) değerleri	65
Şekil 4.38. Kumaşlara ait statik ve kinetik sürtünme katsayıları	67
Şekil 4.39. 6 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları	77
Şekil 4.40. 6 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları	77
Şekil 4.41. 7 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları	78
Şekil 4.42. 7 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları	78
Şekil 4.43. 8 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları	79
Şekil 4.44. 8 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları	79
Şekil 4.45. 9 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları	80
Şekil 4.46. 9 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları	80
Şekil 4.47. 10 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları	81
Şekil 4.48. 10 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları	81
Şekil 4.49. ΣC_R ile Yüzey İndeksi arasındaki ilişki	88
Şekil 4.50. ΣC_R ile Esneme İndeksi arasındaki ilişki	88
Şekil 4.51. ΣC_R ile Statik Sürtünme Katsayısı arasındaki ilişki	89
Şekil 4.52. ΣC_R ile Kinetik Sürtünme Katsayısı arasındaki ilişki	89
Şekil 4.53. ΣC_R ile toplam alan indeksi ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki	90
Şekil 4.54. SYK, T926 ve T926M aerodinamik performans karşılaştırması	96
Şekil 4.55. Ölçülen ve hesaplanan toplam C_R değerlerinin radar grafiğinde gösterimi	97

SİMGELER DİZİNİ

L	Kuvvet Taşıma Bileşeni
D	Sürüklenme Bileşeni
VB	Yelkenin Hareket Hızı
F _R	Aerodinamik Kuvvet Paralel Bileşen
F _L	Aerodinamik Kuvvet Dik Bileşen
v	Rüzgâr Hızı
C _R	Sürtünme Katsayısı Hareket Yönü Bileşeni
μ	Sürtünme Katsayısı
F	Sürtünmeye Karşı Direnç
N	Normal Tepki Kuvveti
F _S	Statik Sürtünme Direnci
F _K	Dinamik Sürtünme Direnci
W	Ağırlık
V	Hız
μ _s	Statik Sürtünme Katsayısı
μ _k	Kinetik Sürtünme Katsayısı
W _a	Aerodinamik Direnç Kuvveti
φ	Hava Yoğunluğu
C _w	Aerodinamik Katsayı
C _D	Aerodinamik Sürtünme Katsayısı
A	Harekete Dik İz Düşüm Alanı
V ₀	Hareket Doğrultusundaki Rüzgâr Hızı
α	Hücum Açısı
β	Yelkenli hareket yönü ile rüzgâr arasındaki açı
Σ	Sigma (Toplam)

KISALTMALAR DİZİNİ

PBO	Polietil Esaslı Sıvı Kristal Polimer
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
BUTAL	Bursa Test ve Analiz Laboratuvarı
CFD	Bilgisayarlı Akışkanlar Dinamiği
FSI	Akışkan Yapı Etkileşimi
CSM	Yelken Modeli
RANS	Reynolds Ortalama Rancier Simülasyonu
SST	Yırtılma Gerilim Akışı
3D	Üç Boyutlu
VLM	Rüzgâra Karşı Seyir Tipi
TFWT	Türbülanslı Akış Rüzgâr Tüneli
CAD	Bilgisayar Destekli tasarım
2D	İki Boyutlu
No	Numara
UHM	Çok Yüksek Molekül
GDOES	Alan Derinlik ve Yükseklik Ölçümü
UV	Ultraviyole
Yİ	Yüzey İndeksi
Eİ	Esnekleme İndeksi
SSK	Statik Sürtünme Katsayısı
KSK	Kinetik Sürtünme Katsayısı
SYK	Standart Yelken Kumaşı
KA	Kumaş Yüzey Alanı
AE	Alansal Esneklik
DA	Düzlemsel Alan
EAT	Desen Tasarım Programı
VIF	Çoklu Bağlantı Problemi

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başından sonuna kadar bilgi birikimi, tecrübesi, akademik bakış açısıyla desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın danışman hocam Prof. Dr. Özer GÖKTEPE'ye teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmasının tümünün yürütüldüğü ZORLUTEKS TEKSTİL A.Ş. çalışanlarına, bilgi birikimlerini paylaştıkları, değerli zamanlarını ayırdıkları ve proseslerin yürütülmesi konusunda verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim. Çalışmamın uygulama, test koordinasyonu bölümünde bana destek olan Sayın Gizem AYDEMİR'e ve tez yazımı ve analizlerde destek olan Sayın Gizem ÖZBEK ÇAM'a teşekkür ederim. Ayrıca yoğun çalışmalarım boyunca sabırla gösterdikleri destek, büyük özveri ve sonsuz anlayışı için sevgili eşim Nahibe ve çocuklarım Maide İrem ve Deniz Kaan'a teşekkürlerimi sunarım.

Murat YILDIRIM

Tekstil Yüksek Mühendisi

1. GİRİŞ

Arkeolojik çalışmalar yelkenlerin taşıt aracı olarak kullanımının M.Ö. 4000 yıllarına dayandığını göstermektedir. Motorun henüz bulunmadığı bu dönemlerde savaş, ticaret, ulaşım ve balıkçılık gibi amaçlar için kullanılan yelkenliler pek çok uygarlığın kaderini belirlemiştir. Örneğin Mısırlılar daha büyük yelkenler taşıyabilsin diye daha uzun ve sağlam direkli tekneler inşa etmiş ve bu sayede pek çok savaş kazanmıştır. Kullandıkları yelkenli tekneler sayesinde Vikingler denizlerde çok uzun mesafeler kat edebilmişlerdir (İncetan, 2016).

Tarihte kullanılan ilk yelkenler papirüs parçalarından yapılmış, fakat bu malzemenin dayanıksız oluşu büyüyen yelken ebatlarıyla birlikte bu malzemeyi kullanışsız hale getirmiştir. Geçmişten günümüze genellikle yelkenli teknelerin gelişimi teknenin en önemli parçası olan yelkenlerin gelişimiyle sınırlanmıştır. Malzeme bilimi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte yelkenlerin şekli, yapısı ve malzemesi ciddi değişikliklere uğramıştır. 19. yüzyılın ortalarına kadar ince dokunmuş keten kumaşı ve pamuk en çok kullanılan yelken malzemeleri olmuştur. Pamuğun ketene göre daha hafif olması avantaj sağlasa da doğal liflerden üretilen bu malzemelerin kolay çürümesi, UV ışınlarına ve neme karşı dayanıksız olması gibi dezavantajları yelken üreticilerini çevresel ve mekanik etkilere karşı daha dayanıklı olan yeni malzeme arayışlarına ve üretimde yeni teknikler geliştirmeye itmiştir. Bu sürecin sonunda daha yüksek performanslı sentetik malzemeler üretilmeye başlanmıştır.

1938 yılından itibaren yelken kumaşında doğal malzemenin yerini sentetik malzemeler almıştır. Naylon ve Poliester ilk kullanılan sentetik malzemeler olmuştur. Daha sonraları yine Naylon ailesinden olan Aramid lifleri (Kevlar, Twaron ve Technora gibi) yelken kumaşı yapımında kullanılmıştır. Teknoloji geliştikçe bu yarışa Spectra, Certran ve Dyneema gibi Polietilen esaslı malzemeler ve Sıvı-Kristal Polimer malzemeler (Vectran ve PBO gibi) eklenmiş ve son olarak karbon elyaf kullanılmaya başlanmıştır. Yelken kumaşı diğer kumaşlarda olduğu gibi ipliklerin çeşitli formlarda bir araya getirilmesi ile üretilir ve binlerce iplik birleşerek kumaşı meydana getirir. Dolayısıyla yelken kumaşını incelerken, elyafın özellikleri yanında iplik özelliklerinin de dikkate alınması gerekir (İncetan, 2016).

Kumaş üreticileri az esneyen, hafif ve sağlam yelkenleri üretmeye çalışırlar. Yelkenin daha iyi bir performans sağlayabilmesi, öncelikle kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olsa da, gelişen teknolojiyle bu malzemelerin farklı kombinasyonlarının aynı kumaşta kullanılabilmesi ve uygulanan üretim teknikleri gibi faktörlerin de yelken performansını

etkilediği görülmektedir. Yelken kumaş üretiminde dokuma yanında, laminasyon yöntemi ve kalıpla üretim yöntemi de kullanılan teknikler arasındadır. Yelken kumaşının performansı değerlendirilirken elyaf, iplik, dokuma, terbiye ve konfeksiyon dahil tüm üretim aşamalarının dikkate alınması gereklidir.

1.1 Temel Kavramlar

Sürtünme kuvveti, birbiri ile temas eden iki cisim ara yüzeyinde birbirlerine göre hareket etmesini engelleyici yönde gerçekleşen kuvvettir. İki yüzey arasındaki sürtünme kuvvetinin yüzeyler arasındaki normal kuvvete oranı sürtünme katsayısı olarak tanımlanmakta olup, boyutsuz bir değerdir. Sürtünme kuvvetinin varlığını fark eden ve ilk defa tanımlayan Leonardo da Vinci'dir. İleriki yıllarda Amonton tarafından sürtünme konusu incelenmiş ve sürtünmeye ait iki önemli kanun bulunmuştur. Bu özellikler Amonton'un sürtünme kanunları olarak anılırlar;

- Sürtünme kuvveti ile normal kuvvet birbiri ile ilişkilidir.
- Sürtünme kuvveti, birbiri ile sürtünen iki cisim arasındaki temas eden yüzey alanından bağımsızdır.

Sürtünme kuvveti ve yük arasındaki bağıntı eşitlik 1.1 deki gibi ifade edilir;

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1.1)$$

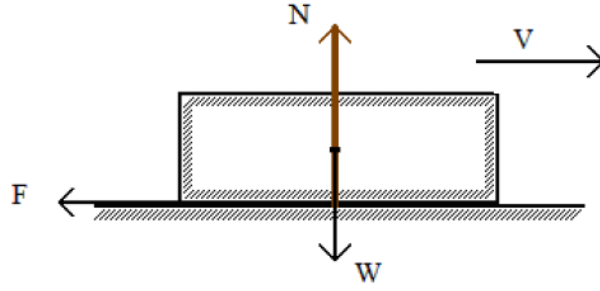
Bu eşitlikte, μ sürtünme katsayısı, F sürtünmeye karşı direnç kuvveti ve N normal tepki kuvvetidir ve hareket tarzı Şekil 1.1 de gösterilmiştir. Pürüzlü iki yüzey birbirine temas ettiğinde ve hareket başladığında, iki yüzey arasında hareketi engellemeye çalışan kuvvet sürtünme kuvvetidir. Coulomb 1788'de, Amonton tarafından geliştirilen formülün yeterli olmadığını ve cismin hareketli olup olmadığına göre iki farklı sürtünme kuvvetinin olduğunu belirtmiştir. Cisim hareketsiz iken sürtünme kuvveti, statik sürtünme kuvveti (F_s) ve cisim hareketli iken sürtünme kuvveti de (F_k) kinetik sürtünme kuvvetidir (Beer ve Johnston, 1983).

Coulomb'un bulduğu statik ve kinetik sürtünme kuvvetleri Eşitlik 1.2 ve 1.3'de ifade edilmiştir. μ_s statik sürtünme katsayısı, μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır. Bu durumda sürtünme;

$$F_s = \mu_s N, \quad (1.2)$$

$$F_k = \mu_k N \quad (1.3)$$

eşitlikleri ile gösterilebilir (Can ve ark., 2010).



Şekil 1.1. Kaymadaki temas esnasında sürtünme kuvveti F , cismin ağırlığı W , normal tepki kuvveti N ve Hız V 'nin gösterimi (Howell ve ark., 1959)

Statik sürtünme katsayısı (μ_s), sürtünme kuvvetinin en büyük değeriyle normal kuvvet arasındaki, kinetik sürtünme katsayısı (μ_k) ise hareket halindeki sürtünme kuvveti ile normal kuvvet arasındaki oran olup, aynı malzeme için statik sürtünme katsayısı kinetik sürtünme katsayısından daha yüksek çıkmaktadır (Balcı ve Sular, 2013).

Adhezyon teorisine göre iki yüzeyin sürtünme davranışı mikroskobik olarak incelendiğinde, birbirini ile temas eden iki yüzey üzerine kuvvet uygulanırsa, iki yüzey arasında birbirine değen pürüzlerde (asperit) temas oluşmaktadır. Cismin sürtünme kuvvetini yenerek yüzeyden kayabilmesi için güçlü asperitler yok edilmelidir. Gerçek temas alanı (asperitler toplamı) ne kadar küçükse kaymanın meydana gelmesi için o kadar az yük gerekecek ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısı düşecektir (Balcı ve Sular, 2013).

Birçok hız sporunda, en iyi yarışmacı genellikle sürtünme kuvvetine karşı en yüksek gücü oluşturmaktadır. Koşu, yüzme, bisiklet, hız pateni, kayak gibi spor dallarında başarı, milisaniyelerle ilişkilidir. Bu konuda son yıllarda birçok çalışma yapılmış ve ortaya çıkan aerodinamik direncin ve müsabaka sırasında kaybedilen enerji miktarının azaltılması ile ilişkili faktörler ortaya çıkarılmıştır. Bu faktörler sporcuların vücut şekilleri, sporcu ve kullanılan ekipmanların ağırlığı ve aerodinamik yapısı yanında özellikle kullanılan tekstil materyalinin yüzey yapısı ile ilişkilidir. Yapılan araştırmalar sonucunda kullanılan kumaşların yüzey yapısının sporcunun başarısına direkt etki ettiği tespit edilmiştir (Konopova ve ark., 2010).

Alp stili ve özellikle slalom disiplini kayak sporu, sporcuların 140 km/saat hıza ulaştıkları düşünülürse, en sıra dışı kış sporlarından biridir. Yarış kazanmanın milisaniyelerle ölçüldüğü bu ve benzeri spor dallarında aerodinamik faktörlerin ne kadar kritik bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Aerodinamik performansı iyileştirmek ise sporcunun biçim (form) ve yüzey yapısını değiştirmekle mümkündür. Bu konudaki etik olan tek yöntem ise sporcunun

yüzey yapısının değiştirilmesidir. Bundan dolayı hıza dayalı sporlarda sporcu kıyafetinin biçimi ve yüzey yapısı başarıyı getirecek en önemli unsurlardandır.

Dikişlerin yerleşimi ve kumaş yüzey pürüzlülüğü kıyafet aerodinamiğinde en önemli iki faktördür. Spor aerodinamiği ile ilgili geçmişte yapılan birçok çalışmada kollar ve bacaklar silindirler şeklinde modellenmiştir. Bardal ve arkadaşları daha önceki çalışmalarla karşılaştırma yapabilmek için aynı yöntemi benimsemişler, böylece silindir etrafındaki hava akışı ve yüzey pürüzlülüğü etkisinin ölçümünü daha kolay gerçekleştirebilmişlerdir. Çalışma sonunda, yüzey pürüzlülüğü ile türbülansın uygun bir Reynolds sayısına indirgenebileceğini, dolayısı ile sürtünme kuvvetinin %40-60 oranında azaltılabileceğini saptamışlardır (Bardal ve ark., 2012).

Diğer bir çalışmada, bisiklet yarışlarında, bisikletin 32 km/saat hıza ulaşabilmesi için sporcuların enerjisinin %90'ını sürtünme kuvvetine karşı gelmek için harcadığı ve bu sebeple bisiklet yarışında hızı arttırabilmek için sürtünme kuvvetini azaltmanın çok kritik rol oynadığı belirtilmiştir (Yan ve ark., 2017).

Aerodinamik, hava ortamı içinde ilerleyen katı kütle ve bu kütlenin yüzeyleri ile etrafını çevreleyen havanın değişik hızlarda ve rüzgâr yönlerinde ilişkilerinin incelenmesidir. Bu ilişki sonucunda aerodinamik kuvvetler yalpa ve gürültü gibi etmenlerden oluşmaktadır.

Aerodinamik direnç kuvveti eşitlik 1.4'de ifade edilmiştir.

$$W_a = 0,5 \times \rho \times C_w \times A \times (V \pm V_0)^2 \quad (1.4)$$

W_a , aerodinamik direnç kuvveti (N), ρ havanın yoğunluğu (kg/m^3), C_w aerodinamik katsayı, A harekete dik iz düşüm alanı (m^2), V taşıtın hızı (m/s), V_0 hareket doğrultusundaki rüzgâr hızı (m/s) dır. Yukarıda açıklanan çalışmalardan da görüleceği gibi taşıtlarda ve sporcu giysilerinde aerodinamik direncin en az olması istenmektedir. Yani rüzgârın aracın ya da sporcunun hızını kesmemesi, dolayısı ile yakıt sarfiyatını arttırmaması ya da sporcu enerjisini mümkün olduğunca hıza çevirmesi yani birim uzaklığı en kısa sürede alması için hızını arttırması istenmektedir.

Bu tezde, yukarıda anlatılan prensibin tam tersi yönde hareket ederek, rüzgâr direnci ne kadar fazla ise, rüzgârdan faydalanmanın daha fazla olacağı hipotezi ile hareket edilmiş, aerodinamik direnci arttırmak suretiyle en yüksek aerodinamik dirence sahip kumaşın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için Eşitlik 1.4'te verilen aerodinamik katsayı ve yüzey alan parametrelerinin, hız sporlarının aksine, maksimizasyonu gerekmektedir. Daha açık bir

ifadeyle aerodinamik direnç kuvvetinin (W_a) arttırılabilmesi için kumaş aerodinamik katsayısının (C_w), kumaş yüzey alanının (A) ve hızın (V) arttırılması gerekmektedir. Rüzgâr hızı kontrol dışı bir parametre olduğu için bu çalışmada temel parametreler olarak kumaş yüzey alanı (A) ve kumaş aerodinamik sürtünme katsayısı (C_w) belirlenmiştir. Sunulan tez çalışmasında bu iki değeri arttırmak için doğadan esinlenerek tasarlanmış dokuma kumaş yapılarının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

1.2 Yelkenli Hareket Prensibi (Bernoulli Prensibi)

18. yüzyılda İsviçreli bir bilim adamı olan Daniel Bernoulli akışkanların hızı ile basıncı arasında bir ilişkinin olduğunu kanıtladı. Bir akışkanın akma hızı ne kadar fazlaysa, üzerinde aktığı yüzeye o kadar az basınç uygular, dolayısıyla basıncı düşer. Bu olayın tam tersinde ise, akışkanın akma hızı ne kadar az ise üzerinde aktığı yüzeye o kadar fazla basınç uygular, yani basıncı artır.

Yelkenin rüzgâr altı tarafındaki yol, rüzgâr üstü tarafındaki yoldan daha uzundur (aynı bir uçak kanadı gibi). Rüzgâr altındaki hava hızlanır, rüzgâr üstünden akan hava görece olarak daha yavaş akar. İki yüzey arasındaki hız farkından dolayı basınç farkı oluşacaktır. Bu durum Şekil 1.2’de açıklanmıştır. Bu basınç farkı vakum ya da başka bir ifade ile çekme kuvveti oluşturur ve yelkenliyi hareket ettirir.

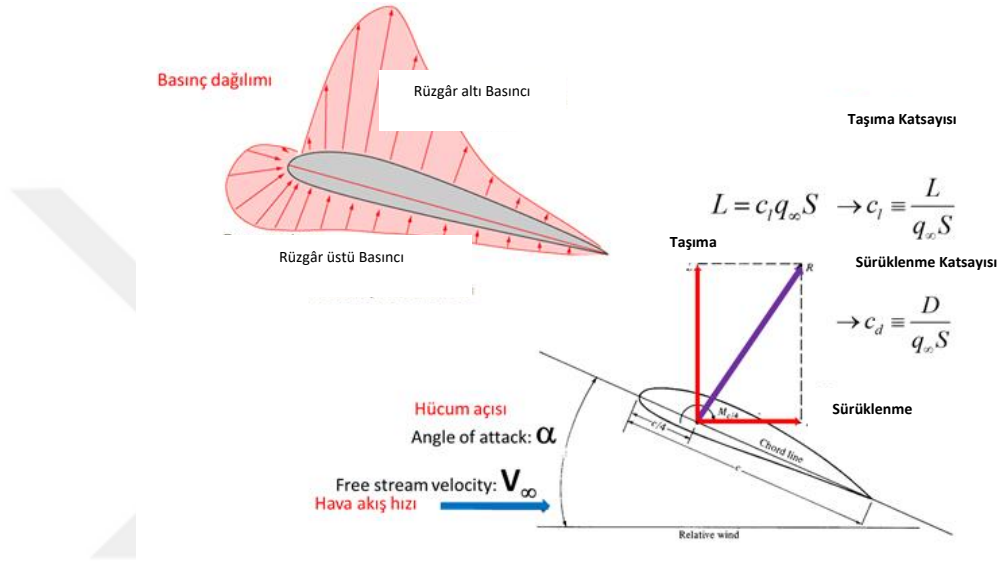


Şekil 1.2. Yelken hareket prensibi (www.kalyeta.com)

1.3 Yelken Kumaşı Aerodinamiği

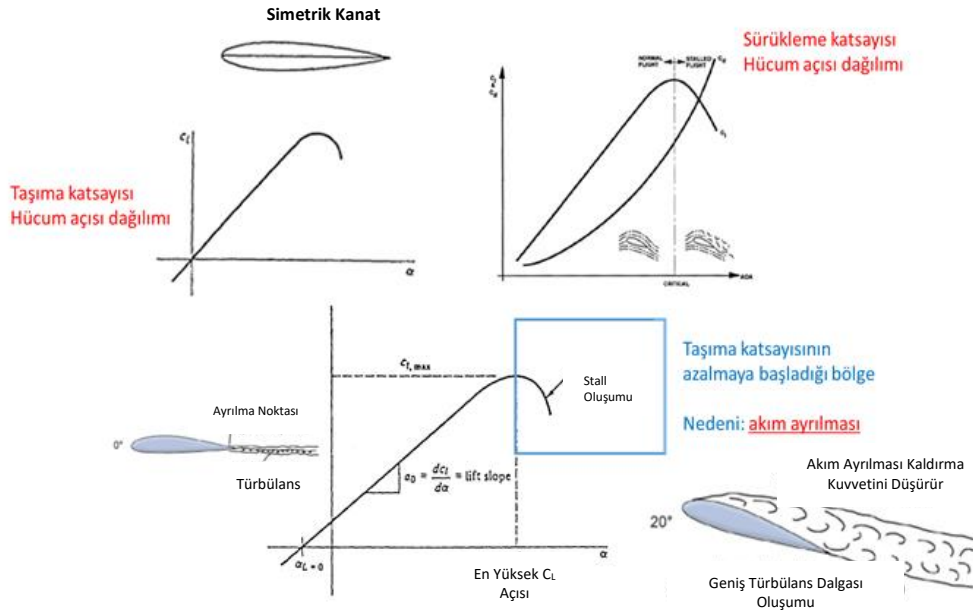
Yelken kumaşı ile teknenin deniz üzerinde yönlendirilmesi sırasında rüzgârın kumaş üzerinde oluşturduğu kuvvetlerden faydalanılmaktadır. Bu kuvvetler ile ilgili olarak hava akışı içine yerleştirilmiş bir kanat ve üzerinde oluşan kuvvetler Şekil 1.3’te gösterilmiştir. Kanat alt ve üst

yüzeyindeki basınç dağılımı ve kayma gerilmesi dağılımı farkı ile R ile gösterilen aerodinamik kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetin akışa dik doğrultudaki bileşeni taşıma (L) ve akışa paralel doğrultudaki bileşeni sürüklenme (D) olarak tanımlanmaktadır. Hız vektörü ile kanat rüzgâr doğrultusu arasındaki açı α ile gösterilmiş ve hücum açısı olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâra maruz kalan yelkenin alanı (S), havanın yoğunluğu (ρ) olarak tanımlanmıştır. c_l taşıma katsayısı ve c_d sürüklenme katsayısı olarak gösterilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen kumaş yapıları ile ilgili karşılaştırma yapılırken bu katsayılardan faydalanılmıştır.



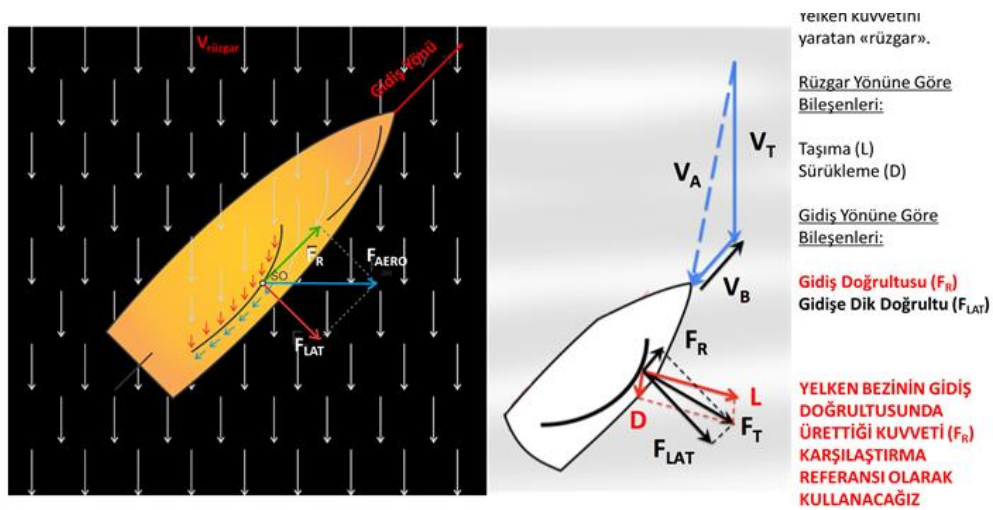
Şekil 1.3. Hava akışı içine yerleştirilmiş kanat üzerinde oluşan kuvvetler (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>)

Kanat üzerinde oluşan kuvvet, hücum açısı ile değişmektedir. Taşıma katsayısı hücum açısı ile lineer olarak artarken belli bir hücum açısında azalmaya başlamaktadır. Akım ayrılması açısı olarak tanımlanan bu açı kanat üzerinde oluşan akım ayrılması nedeniyle taşıma kuvvetinin azalmasına neden olmaktadır (Şekil 1.4).



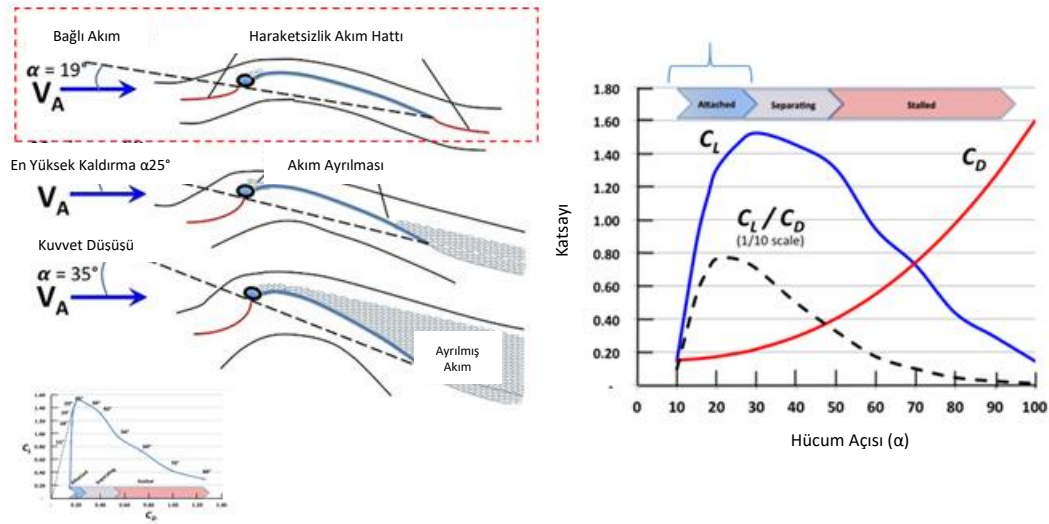
Şekil 1.4. Taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimi ve akım ayrılması etkisi ([//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu))

Yelken kumaşı ile tekne üzerinde hareket kuvvetinin oluşturulması sırasında kullanılan tanımlamalar Şekil 1.5'te aktarılmıştır. Yelken kumaşı üzerinde oluşan aerodinamik kuvvet taşıma (L) ve sürüklemeye (D) bileşenleri kırmızı renk ile gösterilmiştir. Tekne hareket hızı V_B ile aktarıldığı durumda aerodinamik kuvvetin hareket doğrultusuna paralel bileşeni F_R hareket doğrultusuna dik bileşeni F_{LAT} ile gösterilmiştir. Yelken kumaşı numunelerinin performans karşılaştırması yapılırken F_R kuvvet bileşeni dikkate alınmıştır.



Şekil 1.5. Tekne üzerinde oluşan kuvvet bileşenleri ([//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu))

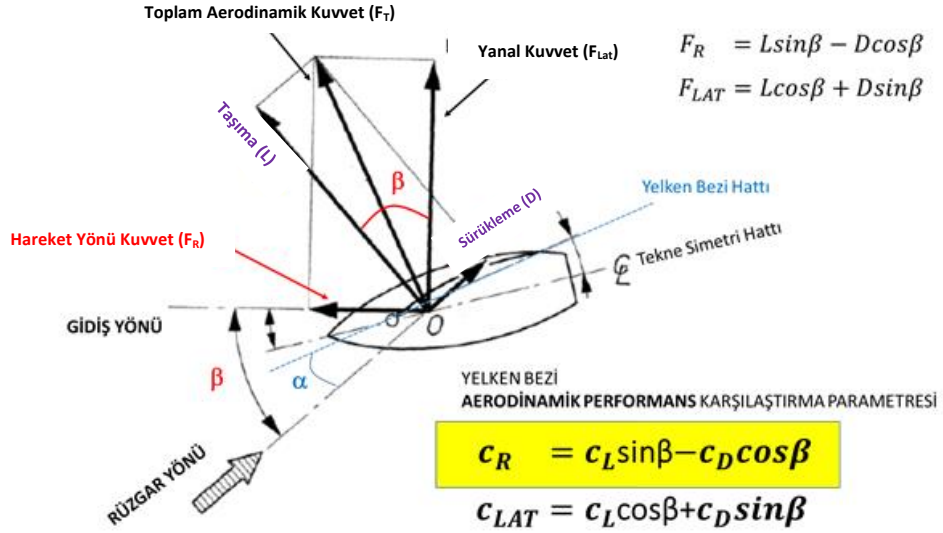
Yelken kumaşının hava akış hızı ile yaptığı α açısının farklı değerlerine göre üzerinde oluşan akım yapısı ve akım ayrılması Şekil 1.6’da gösterilmiştir. Akım ayrılmasının oluşmadığı hücum açılarında (şekilde $0^\circ - 25^\circ$) “Taşıma Kuvveti” etkindir. Tekneyi ileri doğru götüren kuvvetin büyük bir kısmı taşıma kuvvetinden sağlanmaktadır. Akım ayrılmasının olduğu hücum açılarında ise (şekilde $40^\circ - 90^\circ$) “Sürüklenme Kuvveti” etkindir. Tekneyi ileri doğru götüren kuvvetin büyük bir kısmı sürüklenme kuvvetinden sağlanmaktadır



Şekil 1.6. Yelken kumaşı hava akışı yapısı ve kuvvet gösterimi (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>)

Yelken kumaşı rüzgâr tüneli deneylerinde kumaş üzerinde oluşan taşıma ve sürüklenme kuvveti ölçümleri yapılmıştır. Bu nedenle yelken kumaşı numunelerinin performans karşılaştırması yapılırken kullanılacak olan hareket doğrultusuna paralel bileşen F_R ve hareket doğrultusuna dik bileşeni F_{LAT} arasındaki ilişki formülü Şekil 1.7’de gösterilmiştir. F_T toplam aerodinamik kuvveti göstermektedir. Bu formülden C_R ve C_{Lat} hesaplanır. C_R sürtünme katsayısı hareket yönüne paralel sürtünme katsayısıdır ve yelken kumaşlarının aerodinamik performansının değerlendirilmesinde bu katsayı kullanılacaktır. C_R katsayısı hesaplamasında Eşitlik 1.5’ten faydalanılmıştır.

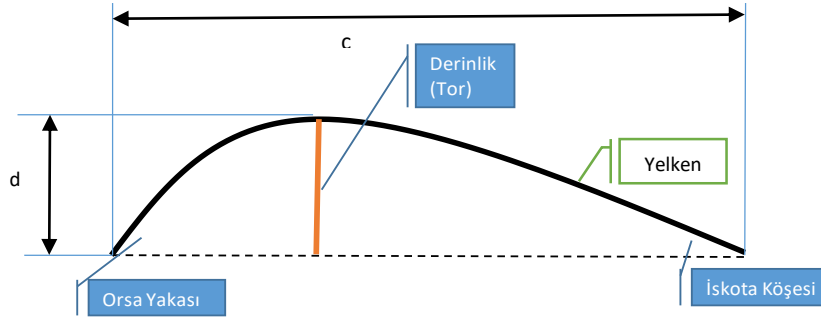
$$C_R = C_L \times \sin \beta - C_D \times \cos \beta \quad (1.5)$$



Şekil 1.7. Tekne üzerinde oluşan aerodinamik kuvvetin farklı bileşen gösterimi ([//hyperphysics.phy-astr.gsu.edu](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu))

1.4 Tor

Tor, seyir esnasında rüzgâr şiddetinden en uygun değerde yararlanabilmek için yelkene verilen kavis sayesinde sağlanan derinliği ifade eder. Yelkenlerdeki tor arttıkça rüzgârın tekneye uyguladığı kuvvet artar. Yani tor ve kuvvet doğru orantılıdır.



Şekil 1.8. Yelkenlerde tor (www.kalyeta.com)

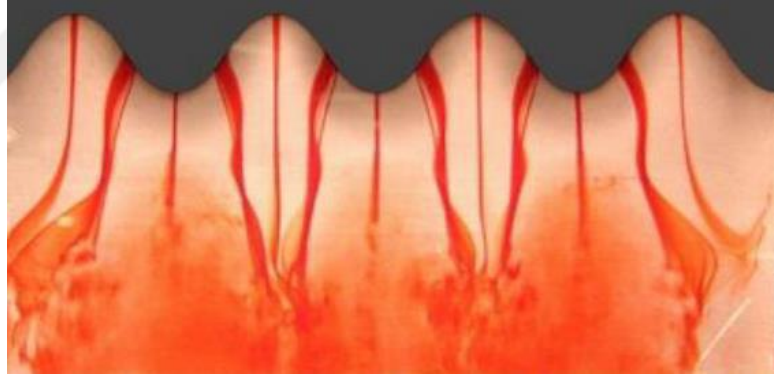
Tor, yelkenlerin orsa yakasından güngörmez yakasına çekildiği farz edilen bir kirişin (c) ve kiriş boyunun (d) birbirlerine oranının 100 ile çarpımıdır ve Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Tor, yelkenlerin rüzgârla doluluğunu ifade eden kavramdır ve yüzde (%) ile ifade edilir. % 30 tor dendiğinde yelkenin orsa yakasından, % 30 kadar ileride olduğu anlamına gelir. Eşitlik 1.6’da tor formülü gösterilmiştir.

$$\% \text{ Tor} = \frac{d}{c} \times 100 \quad (1.6)$$

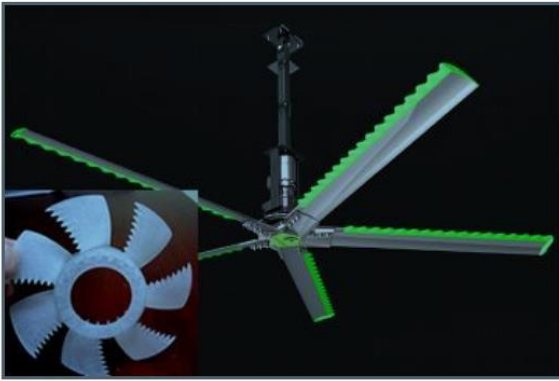
Değişik hava ve deniz koşullarına göre derinlik (tor) teknedeki yelken ayar araçları sayesinde başa veya arka tarafa doğru kaydırılır. Yelkenlerde tor arttırıldıkça güç de artacaktır. Tor verilmiş bir yelkenle hafif havada daha hızlı ve dalgalı denizde daha güvenli gidilebilmesi sağlanır. Rüzgâr şiddeti arttıkça tor azaltılarak yelken düzleştirilir. Yani yelkenciler hava durumuna göre denizde tor ayarı ile oynarlar. Hatta trim ayarlarıyla torun yerini yelkenin önüne veya arkasına doğru kaydırabilirler. Yelkenlerdeki tor arttıkça rüzgârın tekneye uyguladığı kuvvet artar. Yani tor ve kuvvet doğru orantılıdır (www.kalyeta.com).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Polat ve arkadaşlarının yaptığı kambur balina yüzgecinden esinlenerek tasarlanan rüzgâr türbin kanatlarının karşılaştırmalı analizi çalışmasında, kambur balinaların yüzgecinden esinlenerek tasarlanan rüzgâr türbin kanatları dünyadaki örnekleriyle birlikte incelenerek, bu tip kanat modelinin klasik kanat modellerine göre verimliliği, maliyeti, aşınma payı süresi, yorulma süresi ve değişen rüzgâr hızlarına tepkisi analiz edilmiştir. Vantilatör, santrifüj, gemi pervaneleri, iklimlendirme fanları ve benzer makine kanat yapılarında bu modelin kullanılması durumunda verimliliğin nasıl değiştiğine karşılaştırmalı olarak yer verilmiştir. Ayrıca rüzgâr santrali kurulması açısından rüzgâr hızı az farkla yetersiz kalan bölgelere bu yöntemle rüzgâr santrali kurulabileceği tavsiye edilmiştir. Mevcut rüzgâr santrallerinin de bu yöneme geçmesi durumunda, üretilen enerjinin hatırı sayılır oranda artacağı vurgulanmıştır. Ülkemizin artan enerji ihtiyacının karşılanması açısından bu modelin önemine değinilmiştir. Tüberküllü yapı ve bu yapıdan esinlenilerek geliştirilen teknolojiler Şekil 2.1 ve 2.2’de gösterilmiştir.



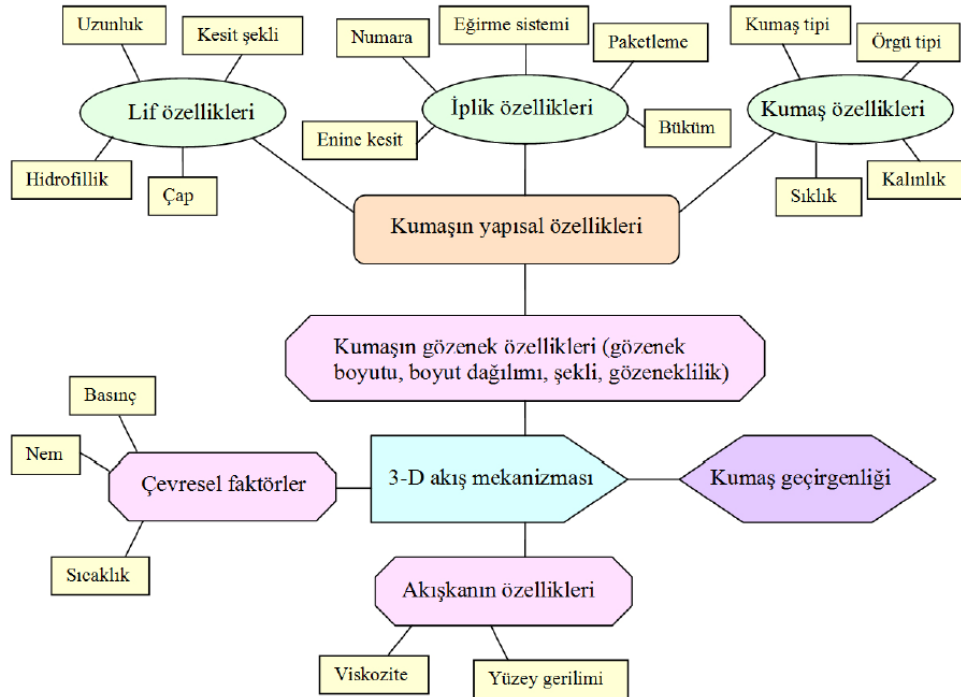
Şekil 2.1. Tüberkül yapısı (Polat ve ark., 2012)



Şekil 2.2. Tüberkül yapıdan esinlenilerek geliştirilen mekanizmalar (Polat ve ark., 2012)

Tüberkül yapı kanat modelinin birçok alanda kullanımı, enerji verimliliği açısından önemli oranda kazanç sağlar. Bu modelin özellikle rüzgâr türbinlerinde kullanılması ile daha fazla enerji üretilmesinin yanısıra birçok ilave fayda sağladığı da görülmektedir. Ülkemizin rüzgâr enerjisi açısından verimli olması ve son yıllarda enerji yatırımlarının rüzgâr enerjisi sistemlerine yönelik olması durumları göz önünde tutulursa, tüberküllü kanat teknolojisinin gerisinde kalmamak gerekir (Polat ve ark., 2012).

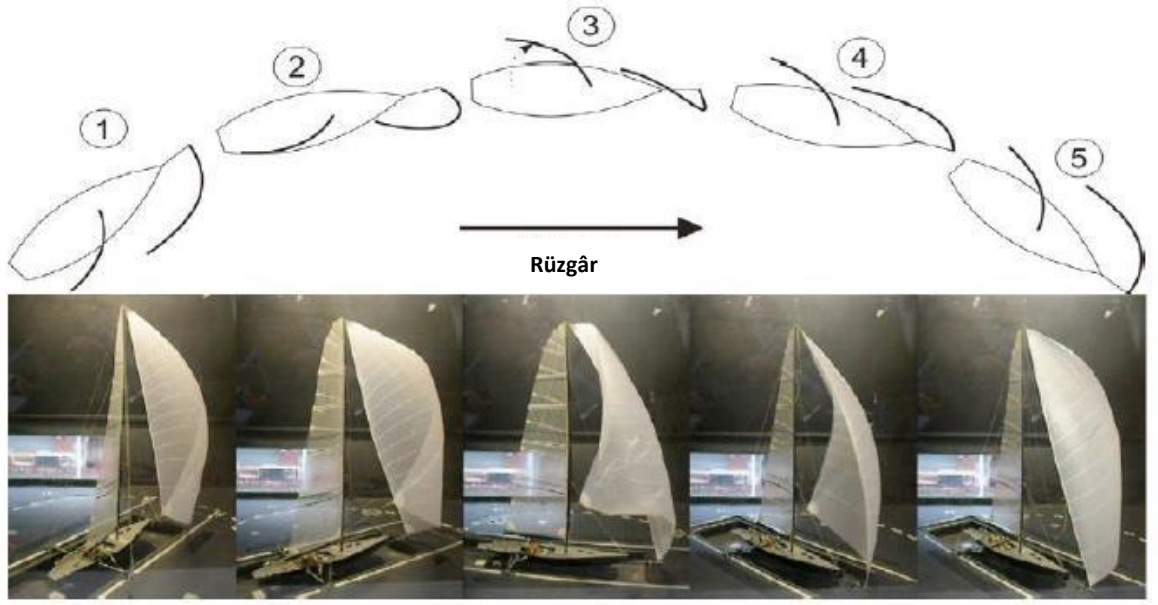
Turan ve arkadaşlarının yaptığı kumaşların geçirgenlik özellikleri ile yapısal ve geometrik özellikleri arasındaki ilişkiler isimli çalışmada dokuma kumaşların yapısal, geometrik ve geçirgenlik özellikleri arasındaki ilişkiler gerçekleştirilen deneysel ve teorik çalışmalarla incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmayla ilgili ayrıntılı bilgilere geçmeden önce bu bölümde öncelikle geçirgenlik mekanizmasının daha iyi kavranabilmesi amacıyla akışkan transferi ile ilgili tanımlar verilmiş ve akış davranışları ile literatürde çokça kullanılan akış eşitlikleri açıklanmıştır. Geçirgenliği etkileyen faktörler Şekil 2.3'te ilişkilendirilerek gösterilmiştir (Turan ve ark., 2012).



Şekil 2.3. Geçirgenlik faktörleri (Turan ve ark., 2012)

Banks ve arkadaşlarının yaptığı yelken temel hareket prensibi isimli çalışmada yelken konusunda temel bilgiler paylaşılmıştır. Bunlar özetlenecek olursa; yelkenliler yelkenin rüzgârı

belirli bir açıyla kavramasıyla hareket eder ve rüzgâr ve yelken arasında belirli bir açının olması yelkenin farklı yüzeyleri arasında bir basınç farkının oluşmasına neden olur. Bu basınç farkı beraberinde bir emme kuvveti meydana getirmektedir. Yelkenliler, yelkenin maruz kaldığı bu emme kuvvetinin etkisiyle hareket etmektedirler. Bu hareket prensibi Bernoulli yasasıyla açıklanmaktadır. Tıpkı kaşık deneyinde olduğu gibi akışkan etkisinde hareket eden cisimlerde cisim ile akışkan vektörleri arasında belirli açılar olmalıdır. Yelken için bu açının ideali 45-50 derece arasında değişmektedir. Dolayısı ile yelkenler hiçbir zaman tam rüzgâra karşı (0 derecelik açı ile) hareket edemezler. Yelken ve rüzgâr ilişkisi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yelken ve rüzgâr arasındaki konumlar (Banks ve ark., 2010)

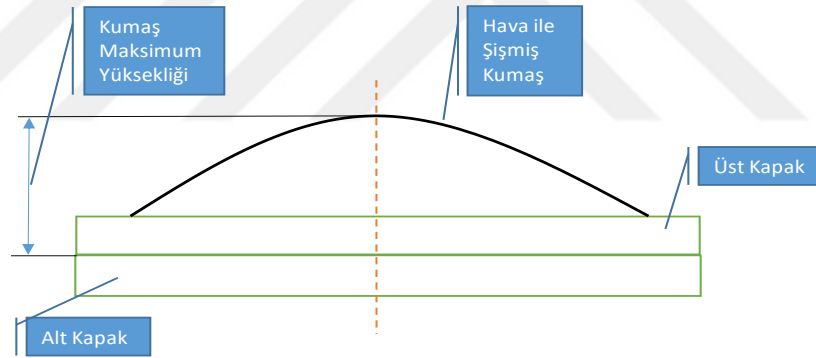
Yelkenlinin hareketi için gerekli olan ideal emme kuvvetinin oluşumu için gerekli açı 45°'dir. Yelken kumaşı, rüzgârla bu açıyı yapabilecek şekilde konumuna göre yönlendirilir. Yelkenli araçlar motor gücü ihmal edilirse sadece rüzgâr etkisi altında bu şekilde kullanılır (Banks ve ark., 2010).

Najafzadeh ve arkadaşlarının yaptığı hava ile şişirilmiş kumaş deformasyonunun deneysel ve teorik analizi isimli çalışmada, hava ile şişme sonucu kumaşta oluşan deformasyonu test edebilecek bir cihaz tasarımı yapılmıştır. Muare gölgesi metodu (bu teknik, bir desen ve yüzeye yansıtılan gölgesi arasındaki etkileşim ile düzlem dışı yer değiştirme analizi için kullanılır) ile sonuçlar analiz edilmiş ve deforme olan kumaşın 3D profili tekrar tasarlanmıştır. Bu analizden elde edilen sonuçları doğrulamak için önden görünüş fotoğrafları çekilmiştir. Kumaş deformasyonunun teorik modellenmesi sabit bir basınç altında gerçekleştirilir. Deneysel

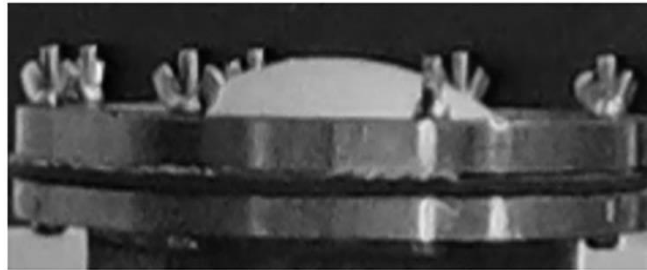
sonuçlar göstermiştir ki, çözgü yönünden atkı yönüne doğru açısal uzaklıklar arttığında kumaş deformasyonu düşmektedir. Hava basıncı ile kumaş deformasyonu lineer olmayan bir doğrultuda artmaktadır. Teorik sonuçlarla, deneysel sonuçlar arasında güçlü bir korelasyon oluşmuştur. Bu çalışmanın amacı farklı kumaş konstrüksiyonlarının teorik ve deneysel sonuçları arasındaki korelasyonu aramaktır. Bu çalışmada 4 farklı tip kumaş kullanılmıştır. Kumaş zellikleri izelge 2.1’de gösterilmiştir. şekil 2.5’te kumaş deformasyonun şematik ve fotografik görüntüsü, şekil 2.6’da ise farklı basınç değerlerinde üstten görünüm fotografik olarak verilmiştir (Najafzadeh ve ark., 2019).

Çizelge 2.1. Yelken bezi kumaşlarının zellikleri (Najafzadeh ve ark., 2019)

Elyaf Tipi	rg	Gramaj (g/m ²)	Sıklık (atkı/cm)
Naylon 6.6	Bezayağı	210	18
Naylon 6.6	Bezayağı	190	16
Naylon 6.6	Bezayağı	170	14
Poliester/Pamuk	2/2 Dimi	240	20

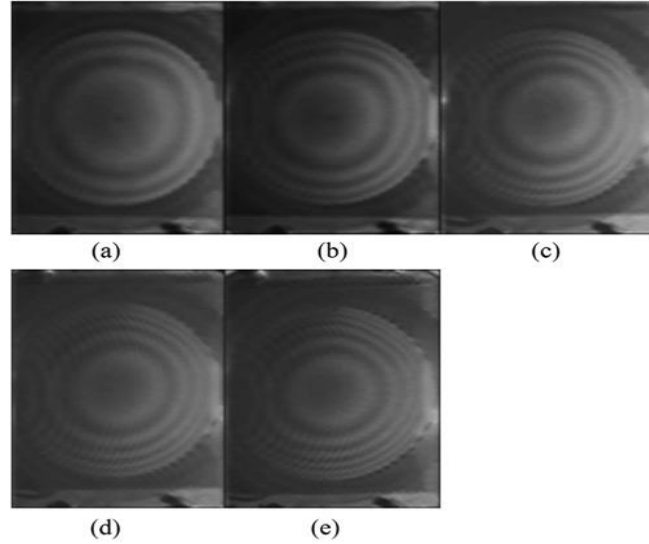


(a)



(b)

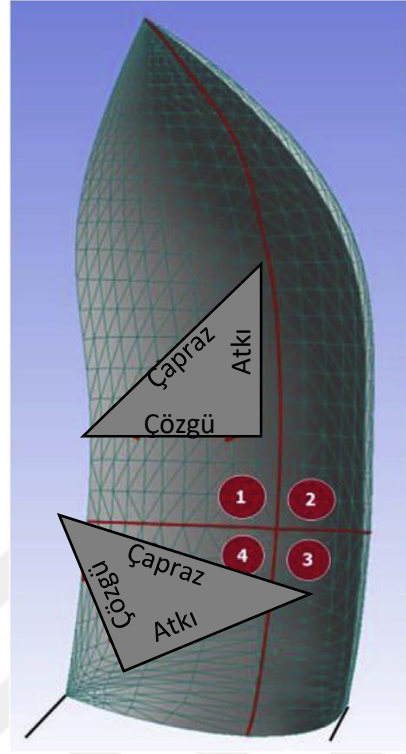
şekil 2.5. (a) şematik olarak şişirilm kumaş (b) Kumaş deformasyonunun nden görünümü (Najafzadeh ve ark., 2019)



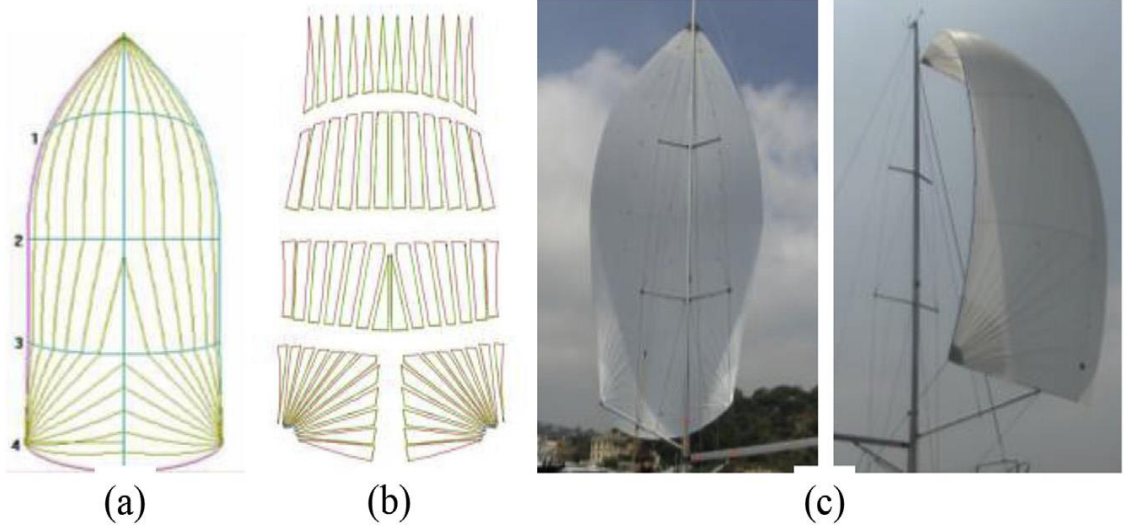
Şekil 2.6. Farklı basınç değerlerinde test numunelerinin görüntüleri, (a) 0.2 bar, (b) 0.4 bar, (c) 0.6 bar, (d) 0.8 bar, (e) 1 bar (Najafzadeh ve ark., 2019)

Cali ve arkadaşlarının yaptığı yelken kumaşının rüzgâr altı seyrinde akışkan yapı etkileşimi analizi ile mekanik karakterizasyonu ve modellenmesi çalışmasına göre CFD (Computerized Fluid Dynamics) analizinin optimum yelken tasarımını kısa bir zaman aralığında yapmak ve yaklaşık sonuçlar elde etmek için kullanıldığı belirtilmiştir. Yani CFD analizinden elde edilen sonuçlar yaklaşıktır ve doğrulanmaya ihtiyacı vardır. Bu doğrulamalardan bazıları yapıcı malzeme uygulaması ve izotropik özelliklerinin varsayımı ile ilgilidir. Yelken aerodinamik performansı, yelken panellerinin yerleşiminden ve paneller içindeki ipliklerin yerleşiminden güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Bu makalede yelken panellerinin yerleşimi ve iplik yerleşiminin yelken performansını nasıl etkilediğine dair yaklaşımda bulunmaktadır. FSI (akışkan yapı etkileşimi) simetrik balon yelkende CFD analizi de kullanılarak çalışılmıştır. Yelken için uygun bir üçgen membran formülasyonu referans alınarak CSM modeline konstrüksiyon değerleri girilmiş ve deneysel olarak da ölçülmüştür. Yelkenin aerodinamik performansı özellikle çekme ve yan kuvvetler RANS (reynolds averaged navier stokes simulations) ile değerlendirilmiştir ve SST (shear stress transport) türbülans modeli farklı panellerin yerleşimi ve değiştirilen rüzgâr altı şartlarında rüzgâr hızı ve açısı da değiştirilerek karşılaştırılmıştır. Sonucunda dijital foto haritacılık kullanılarak yelken panellerinin 3D şekilleri çizilmiş ve Şekil 2.7-2.9'da gösterilmiştir. Bu çalışma, 4 ana bölüme ayrılmış olup, ilk bölümde naylon SK75 kumaşının mekanik karakterizasyonu incelenmiştir. İkinci bölümde CFD analizi ve FSI analizi yapılmıştır. Üçüncü bölümde simüle edilmiş şekiller dijital haritacılık ile doğrulanmıştır. Ayrıca balon yelkenin

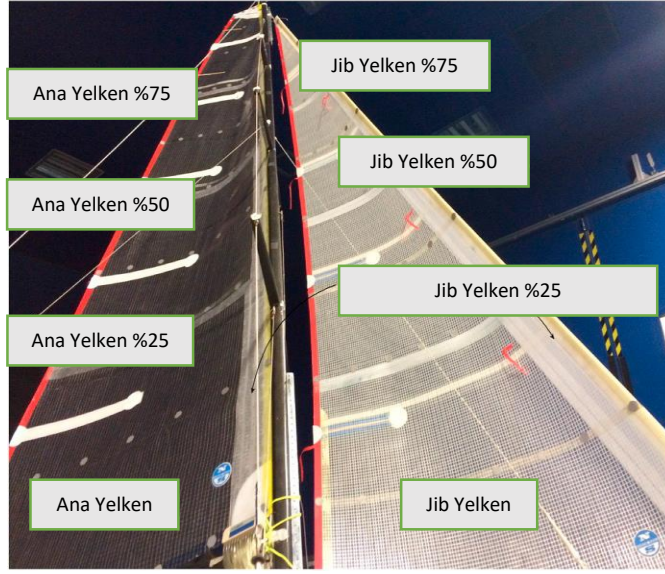
performansı çekiş ve yan kuvvetler farklı lif ve panel yerleşimleri incelenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve yorumlar paylaşılmıştır (Cali ve ark., 2018).



Şekil 2.7. Yelken modelinin parçaları (Cali ve ark., 2018)



Şekil 2.8. 3 açılı simetrik balon: (a) desen şekli; (b) panel düzenlemesi; (c) balon şekli (Cali ve ark., 2018)



Şekil 2.11. 3 farklı yükseklikte (%25, %50 ve %75) yelken basınç değerleri (Bayati ve ark., 2019)

Sonuçta elde edilen veriler;

- RANS analizinden elde edilen sonuçlar VLM ye göre rüzgâr tüneli sonuçlarına %5'ten daha az bir hata payı ile daha yakın çıkmıştır
- Yana yatma sabiti C_y doğru bir şekilde tahmin edilmiştir.
- VLM metodunun düşük rüzgâr hızlarında daha doğru tahmin yaptığı görülmüştür.

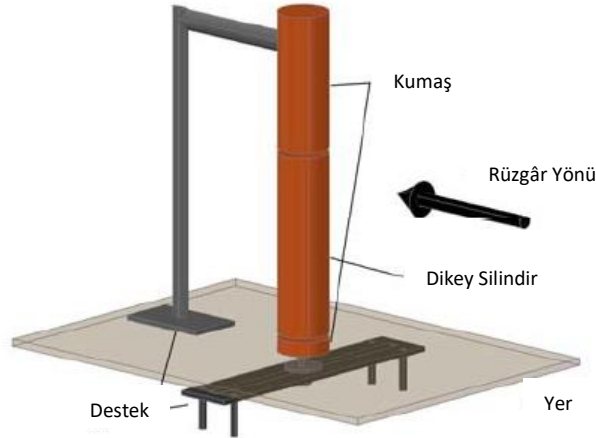
Bot ve arkadaşlarının yaptığı model ölçeğinde rüzgâr altı seyirleri üzerine rüzgâr tüneli basınç ölçümü analizi çalışması, 1/15 ölçeğinde balon yelken üzerine gelen basınç dağılımının TFWT (twisted flow wind tunnel) yöntemi kullanılarak deneysel olarak ölçmeyi amaçlamıştır. Çalışma göstermiştir ki basınç, yelkenin en üst noktasına doğru azalarak değişim göstermektedir. Konvansiyonel aerodinamik teorisi ile basınç dağılımının şekli irdelenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlara göre yelkenin en iyi performansı 55° de elde edilmiştir. Zamana bağlı basınç incelendiğinde, ayırma bölgesinde büyük bir vortex oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen basınç dağılımı sonuçları, literatürdeki farklı çalışma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2.12'de şema eşliğinde aerodinamik parametreler tanımlanmıştır (Bot ve ark., 2014).

Şekil 2.13'te görüleceği üzere, silindire kumaş numunesi giydirilmiş ve standart deney şartlarında sürüklenme, emme ve yan kuvvetleri ölçülmüştür. Bu çalışmada, 0° ile 90° arasındaki rüzgâr kuvvetlerinin aerodinamik ölçümleri gerçekleştirilerek, deneysel bir yöntem geliştirilmiştir. En yüksek lift to drag (L/D) 45° 'de gerçekleşmiştir. Yani emme kuvveti için maksimum açı 45° 'dir. Yelken minimum emme kuvveti ise 75° ve 15° 'lerde elde edilmiştir (Moria ve ark., 2013).

Turan ve arkadaşlarının yaptığı kumaşların geçirgenlik özellikleri ile yapısal ve geometrik özellikleri arasındaki ilişkiler isimli doktora tezine göre, kumaşın geçirgenlik özelliği farklı alanlarda kullanılan tekstil yapılarının beklenen bir performans özelliğidir. Kumaşın geçirgenlik özellikleri başta kumaşın yapısal özelliklerinin oluşturduğu gözenek özellikleri olmak üzere çevresel faktörlerin ve akışkan maddenin özelliklerinin bir fonksiyonu olarak oluşur. Bu nedenle belli bir kullanım alanı için ürün tasarlarırken kumaşın gözenek yapısını belirleyen yapısal faktörler en uygun şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada giyimden teknik tekstillere birçok kullanım alanına sahip dokuma kumaşların geçirgenlik özellikleri ile yapısal özellikleri arasındaki ilişkiler aynı numara çözgü ve atkı iplikleriyle üretilmiş farklı örgü tiplerine ve sıklıklara sahip bir grup test kumaşından elde edilen verilerin de yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada kumaşın gözenek özellikleri öncelikle iplikler arası gözenek bölgeleri ve lifler arası gözenek bölgeleri olmak üzere iki bölgeye ayrılarak incelenmiştir. İplikler arası gözenek özelliklerini tanımlamak amacıyla sıklık, iplik numarası, kumaş kalınlığı gibi yapısal özelliklerden yararlanarak iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) birim gözenek hücre modelleri ile 3D örgü birim modelleri teorik olarak tanımlanmıştır. Ayrıca elde edilen düzlemsel ve enine kesit kumaş görüntülerinden görüntü analizi yöntemiyle gözenek özellikleri belirlenmiştir. İplikler arası gözenek özelliklerinin kumaşın yapısal özellikleri ve geçirgenlik özellikleri ile ilişkisi incelenerek farklı kumaş yapıları için aradaki ilişkiyi en iyi tanımlayan yaklaşım analiz edilmiştir. İplik içi gözenek özellikleri ise hem enine kesit görüntülerinden ölçülerek tanımlanmış, hem iplik ve lif özelliklerine kullanılarak farklı yaklaşımlara göre teorik olarak tanımlanmış, hem de hızlı ve objektif bir yöntem olan görüntü analizi yöntemi ile belirlenmiştir. Her iki bölge için kumaşın yapısal ve geometrik özelliklerinin belirlediği gözenek özellikleri farklı yaklaşımlara göre tanımlandıktan sonra, elde edilen gözenek özellikleri akış eşitliklerinde kullanılarak kumaşın hem düzleme dik yönde hem de düzlemsel yönde gerçekleşen geçirgenlik sonuçları teorik olarak tahminlenmiştir. Sonuç olarak, 2D yaklaşımlardan elde edilen sonuçların farklı örgü yapıları arasındaki farkı ortaya koymada yetersiz olduğu; geçirgenlik

özellikleri gözenek parametreleri ile tahminlenirken kumaşın 3D yapısının her zaman dikkate alınması gerektiği bulunmuştur (Turan ve ark., 2012).

Bardal ve arkadaşlarının yaptığı kumaş yapısal özelliklerinin aerodinamik davranışına etkisi isimli çalışmada, farklı örtme faktörü, iplik numarası ve lif kompozisyonuna sahip 15 farklı örme kumaşın aerodinamik özellikleri araştırılmıştır. Metot olarak rüzgâr tüneli ve dikey silindir metodu kullanılmıştır. Çekme kuvveti, basınç dağılımı ve havanın akış hızını ölçerek iplik, harman, örtme faktörü, elastik deformasyon, akış bölgesi ve çekme kuvveti katsayısının etkisinin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Deney sonucunda elyaf kompozisyonu ve iplik yapısının önemli ölçüde sürtünme kuvveti ve sürtünme kuvveti katsayısını etkilediği görülmüştür. Çok filamanlı iplikten üretilmiş olan kumaşlar kesik elyaftan üretilmiş olanlara göre daha düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. İplik tüyleri kumaş yüzeyindeki hızı kesmekte ve tüylü iplik yüzeyleri yüksek türbülansa neden olmaktadır. Kumaşların aerodinamik davranışları, hava geçirgenlikleri ve yüzey pürüzlülüğü ile direkt ilgilidir. Şekil 2.14'te deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Çekme kuvveti rüzgâr tüneli test düzeneği (Bardal ve ark., 2013)

Kumaş tasarımlarında şu noktalara dikkat edilmelidir;

- Üretim metodu
- İplik numarası
- İplik/lif harmanı
- İplik yapısı
- Kumaş yoğunluğu

- Örtme faktörü
- Elastik özellikler (Bardal ve ark., 2013)

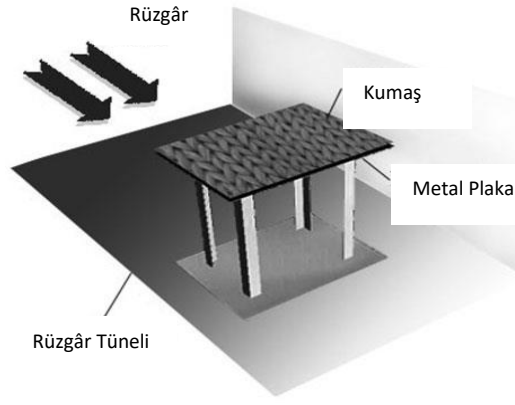
Yan ve arkadaşlarının yaptığı esnek kumaşlarda aerodinamik sürtünme direnci isimli çalışmada, esnek kumaşlarda aerodinamik direncinin etki faktörlerini ve ilişkilerini araştırmaya odaklanılmıştır. Öncelikle, akışkan dinamiğine dayalı olarak aerodinamik sürtünme direnci için bir model tanımlanmıştır. Bu model 2.1 eşitliğinde verilmiştir.

$$P = f \times p \times v^2 \quad (2.1)$$

P; kumaşın her iki yüzü arasındaki basınç farkı, f; hava sürtünme direnci katsayısı, p; havanın yoğunluğu, v; rüzgâr hızı.

Rüzgâr tüneli testi 27 farklı kumaş numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonucunda, her bir kumaş numunesi için hava sürtünme direnci katsayısı bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara bakınca düşük hava sürtünmesi, düşük higroskopik değerler ve ter tutma özellikleri nedeni ile poliesterden üretilmiş kumaşlar spor giyim için en ideal kumaş tipidir. Tüm etki faktörleri arasında karışım oranı en çok hava sürtünme direnci katsayısını etkiler. Karışım oranı ile hava sürtünme direnci arasında pozitif bir korelasyon vardır. Naylon, poliester ve modal ile karıştırıldığında, karışım oranı arttıkça sürtünme direnci artmaktadır.

Karışım oranı, yapısı ve hava sürtünme direnci üzerinde yapılan korelasyon sonucunda, lif karışım oranının pozitif korelasyonlu olduğu bulunmuştur. Pamuğun yüzey pürüzlülüğünden dolayı bu oran fazladır. Bu durum aynı zamanda laminar olan hava akışını türbülansa çevirmektedir. Ayrıca hızı arttırmak için yüzey sürtünme direnci katsayısını da düşürmek gerekmektedir. Şekil 2.15'te kumaşın rüzgâr tünelineki yerleşimi gösterilmiştir (Yan ve ark., 2017).



Şekil 2.15. Rüzgâr tüneli deney tasarımı (Yan ve ark., 2017)

Kan ve arkadaşlarının yaptığı denizcilikte kullanılan kumaşlar ve kompozitler isimli çalışmada, naylon ve poliesterin yelken kumaşı üretiminde en çok kullanılan elyaf tipleri olduğu belirtilmiştir. Özellikle hafif olmaları, çürümeye karşı dirençli olmaları, düşük su tutma kapasiteleri ve yüksek güneş ışığı dayanımları nedeni ile tercih edilmektedir. Poliester ve naylon aralarında karşılaştırıldıklarında, poliesterin genel olarak daha uygun bir malzeme olduğu görülmektedir. Bunun yanında naylon özellikle balon yelken ile yapılan seyirlerde daha elastik olması sebebi ile bir adım öne geçmektedir.

Yelken ağırlığının çok önemli olduğu yarış yelkenlerinde yüksek mukavemeti ve hafifliği nedeni ile aramid kumaşlar tercih edilmektedir. Bunun yanında aramid, güneş ışığı altında bozunur. Bundan kaçınmak isteyen yarışçılarda aramid yerine UHM Polietilen ve karbondan üretilmiş yelken kumaşı kullanma yoluna gitmişlerdir. Yarışlarda yelkenler çoğu kez tek seferlik kullanıldıkları için elyaf cinsi kaynaklı olumsuzluklar elimine edilmektedir. Ancak seyir yelkenlerinde bu konu çözülmesi gereken bir problemdir. Uzun süreli kullanım ve seyir yelkenleri için dokuma poliester kumaştan üretilmiş yelken kumaşları tercih edilmektedir.

Su tutma oranı yüksek olan yelken kumaşları genel ağırlığı arttırdığı ve hızı düşürdüğü için tercih edilmemektedir. Yelkene gelen diyagonal kuvvetler yelken kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu olumsuzluk yelken kumaşının kalenderlenmesi ve/veya reçine ile kaplanması ile elimine edilmektedir. Yelken üretimindeki en büyük sorunlardan bir tanesi de en zayıf halkalardan biri olan dikişlerdir. Yüksek yük altında dikiş deliklerinde genişleme olmaktadır. Bu da hava kaçağına neden olmakta ve yelken verimini düşürmektedir.

Yüksek gerilim altında uzamış yelken kumaşı formunu kaybeder ve bükülür. Yelken formunu korumak için yelken kumaşları ince film tabakaları ile lamine edilebilir. Bu aynı zamanda bütün yönlerde mukavemeti ve elastik modülü de arttırmaktadır. Böylelikle yelkenin

formu durağan kalır ve performansı düşmez. Kumaş lamine edildiğinde ayrıca UV dayanımı ve deniz suyu direnci de kazanmış olur. Günümüzde ise yüksek mukavemetli ve UV dayanımı yüksek poliester kumaşlar üretilmektedir. Dolayısı ile laminasyona ihtiyaç kalmadan yelkenliler için en uygun spesifikasyonlarda dokuma yöntemi ile kumaşlar üretilmektedir (Kan ve ark., 2019).

Paul ve arkadaşları yaptıkları denizcilik tekstilleri çalışmasında, yatçılıkta, tekstillerin hem fonksiyonel hem de dekoratif olarak pek çok alanda kullanıldığı belirtilmiştir. Tekstiller, yatlarda döşemelik kumaştan yelkene kadar pek çok kullanım yeri bulmaktadır. Yelken kumaşı da en çok alan kaplayan ve fonksiyonel olan teknik tekstil kumaşlarından bir tanesidir. Deniz tekstilleri, yüksek performans özellikleri ve ihtiyaçları nedeni ile teknik tekstiller içerisinde sınıflandırılmaktadır. Denizcilikte kullanılan tekstillerden yelken kumaşlarının sahip olması gereken özellikler dikkate alındığında; güneş ışığı, deniz suyu ve UV ışınlarına yüksek dayanım göstermesinin yanında güç tutuşur olması da güvenlik açısından istenen bir özelliktir. Ağırlık kazanmaması (deniz suyunu ve havadaki rutubeti emerek) ve çürümeye karşı dirençli olması da olması gereken özelliklerdendir. Bunların yanında zorlu hava şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır. Bu yüzden güçlendirilmiş malzemelerden, özellikle yüksek mukavemetli poliesterden üretilmelidir (Paul ve ark., 2019).

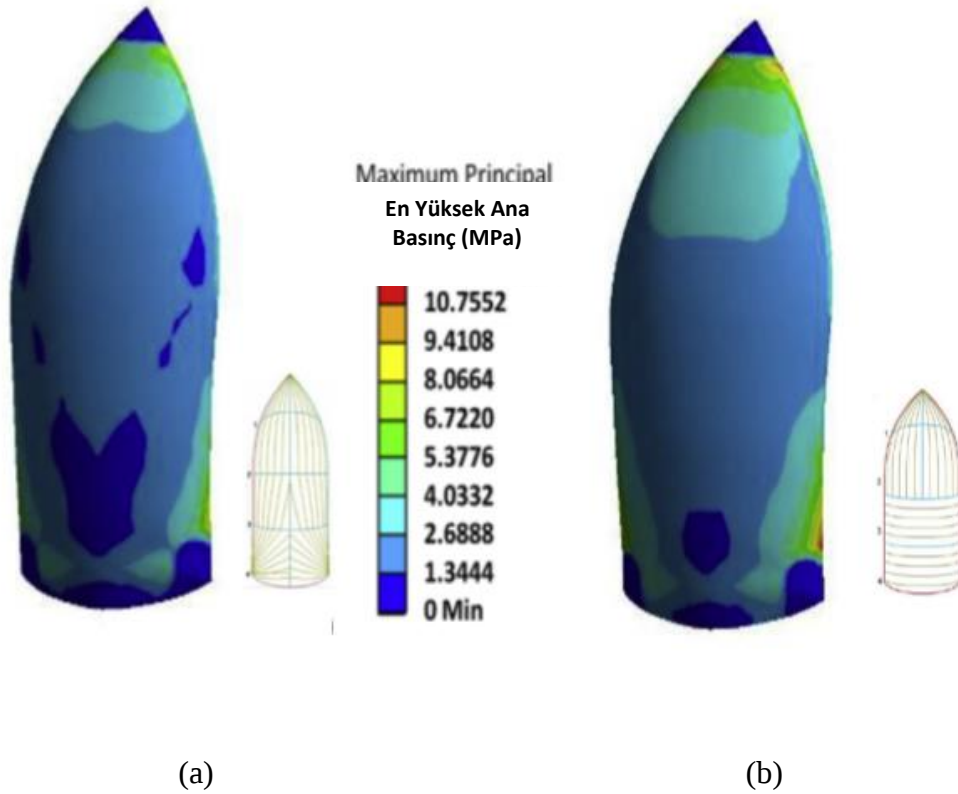
Bir başka çalışmada rüzgâr tüneli deneylerinde kullanılacak hızlar üretilen teknelerin Span programı yardımı ile hesaplanan polar diyagramlarında en iyi hız ortalamaları alınarak seyir bölgeleri apaz altı, apaz, apaz üstü olarak üçe ayrılmıştır. 6 knot ile 20 knot aralığındaki rüzgâr hızlarına karşı yelkenli teknelerin yapacağı ortalama hızlar Çizelge 2.2’de verilmiştir (Köseoğlu, 2018).

Bu çizelgeden görüleceği üzere 3 seyir tipinden biri olan apaz seyrindeki yelkenli rüzgârla 90⁰ aç yapmaktadır ve yelkenlinin en hızlı gittiği açıdır.

Çizelge 2.2. Rüzgâr hızı ve açılarına göre teknelerin ortalama süratleri (Köseoğlu, 2018)

Yelken Seyirleri			
Rüzgâr Hızı (knot)	Orsa (knot) 45⁰	Apaz(knot) 90⁰	Apazüstü (knot)
6	4.7	5.8	4.2
8	5.5	6.8	5.4
10	6.1	7.5	6.2
12	6.6	8.0	7.0
14	6.8	8.3	7.5
16	6.9	8.7	8.0
20	7.0	9.1	8.8

Cali ve arkadaşları, CFD analizi kullanarak rüzgâr yönü ile yelken kumaşının mekanik davranışını incelemiş ve yeni bir balon yelken modeli oluşturmaya çalışmıştır. Bu çalışmada, tasarım aşamasında CFD analizi kullanımının, en uygun tasarımı oluşturmak ve zaman kaybının önüne geçmek için faydalı olduğu belirtilmiştir. Geleneksel CFD modelleri yaklaşık sonuçlar vermesi ve doğrulanmaya ihtiyacının olması nedeni ile yelkeni oluşturan her bir kumaş panelinin şekli, içindeki elyaf dizilimi ve büyük yelken içindeki pozisyonunu açıklayan yeni bir CFD modeli önerilmiştir. Bu çalışmada ele alınan konulardan bir tanesi de yelkene gelen kuvvet ve basınçların analizi ile yeni bir balon yelken panel dizilimi yapılmasıdır. Hesaplamalarda kullanılan rüzgâr hızı 4-10 m/s olarak alınmıştır. Şekil 2.16'da eski ve yeni tasarım yelkenlerin maruz kaldığı basınçlar görülmektedir. Bu basınçlar 1344 ile 2689 kPa aralığındadır (Cali ve ark. 2018).



Şekil 2.16. (a) Standart tasarım yelkene gelen basınç dağılımı (b) Yeni tasarım yelkene gelen basınç dağılımı (Cali ve ark. 2018)

Literatür incelendiğinde yelken kumaşlarında kullanılan malzemeler, üretim teknikleri ve performansın ölçülmesi üzerine çalışmalar olduğu görülmektedir. Ancak aerodinamik performansı artıracak kumaş konstrüksiyonlarının tasarımı, kumaş yapısı ve aerodinamik

performans arasındaki ilişkilerin incelenmesi ve aerodinamik performansın kumaş parametreleri yardımı ile tahminlenmesine dair bir çalışma yapılmadığı görülmektedir.

2.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı, kambur balina yüzgecinden esinlenen ve biyomimetik bir yaklaşımla tasarlanan kanallı (tüberkül) kumaş konstrüksiyonları ile seyir yelkenlerinde kullanılmak üzere aynı rüzgâr şiddetinde ve aynı şartlar altında daha yüksek hızlara ulaşabilecek bir yelken kumaşı geliştirmektir.

Sunulan tez çalışmasında;

- Kambur balina yüzgecine benzer yapıya sahip dokuma kumaş tasarımları geliştirmek,
- Geliştirilen tasarımların dokuma makinelerinde üretimini gerçekleştirmek,
- Dokunan kumaşların aerodinamik performanslarını rüzgâr tüneli deneyleri ile ölçmek,
- Ölçüm sonuçlarını analiz ederek kumaş parametreleri ve aerodinamik performans arasındaki ilişkileri açıklamak ve
- Bu kumaş parametrelerini kullanarak, rüzgar tüneli deneyleri yapmadan aerodinamik performansı öngörebilecek matematik bir model geliştirmek hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında;

- Elyaf kesitinin hava geçirgenliğine etkisi dikkate alınarak kullanılacak lif tipi ve iplik özellikleri belirlenmiş,
- Tüberkül yüzey yapısına sahip kumaş yapılar tasarlanmış ve 3 boyutlu simülasyonları ile dokuma öncesi yüzey yapılarının uygunluğu değerlendirilmiş,
- Tasarlanan kumaşlar dokunmuş ve terbiye işlemleri uygulanmış,
- Bitmiş kumaşlara yelken kumaşlarının sahip olması gereken özellikler dikkate alınarak rutin performans testleri gerçekleştirilmiş,
- Rüzgâr tüneli deneyleri ile geliştirilen yelken kumaşı yapılarının aerodinamik performansları ölçülmüş,
- Aerodinamik performansa etki eden kumaş parametreleri belirlenmiş,
- Geliştirilen kumaşların yüzey alanları ölçülerek yüzey indeksleri belirlenmiş,
- Rüzgâr basıncı ile esnemedi kaynaklı alan artışının ölçülmesi için yeni bir yöntem ve esneme indeksi kavramı geliştirilmiş,
- Geliştirilen yelken kumaşı yapılarının statik ve kinetik sürtünme katsayıları ölçülmüş,

- Kumaş parametreleri ile rüzgâr tüneline elde edilen aerodinamik performans değerleri arasındaki ilişkinin regresyon analizi yapılmış,
- En yüksek aerodinamik performansa sahip kumaş tasarımının performansını iyileştirmek için mikroliften mamul iplik kullanılarak üretimi ve tüm test aşamaları tekrarlanmış,
- Son aşamada üretilen mikrolif içerikli konstrüksiyon ve düz yüzeyli standart yelken kumaşının ölçüm sonuçları ile modelden hesaplanan sonuçlar karşılaştırılmak suretiyle regresyon modelinin doğrulaması yapılmış, ve
- Geliştirilen tüberkül yapı ile aerodinamik performansta sağlanan artış oranı belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışmada Kullanılan İplikler ve Geliştirilen Kumaşlar

Bu tez çalışması kapsamında kambur balina yüzgeç yapılarından esinlenerek biyomimetik yaklaşımla yelken kumaşları tasarlanarak üretilmiştir. Tasarlanan konstrüksiyonların üretilmesinde trilobal kesitli, 8 cN/dtex mukavemet ve %6 uzama değerlerine sahip yüksek mukavemetli poliester iplikler kullanılmış olup, geliştirilen yelken kumaş numunelerinin dokunmasında kullanılan ipliklere ait temel parametreler Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Numune kumaşların dokunmasında kullanılan ipliklere ait bilgiler

İplik tipi	İplik özellikleri	Çözü	Atkı
		Yüksek mukavemetli poliester	Yüksek mukavemetli poliester
Konvansiyonel lif içeren çoklu filaman iplik	İplik no (dtex)	450	830
	Filaman sayısı (Adet)	96	144
	Büküm (T/m)	350	250
Mikrolif içeren çoklu filaman iplik	İplik no (dtex)	450	830
	Filaman sayısı (Adet)	432	864
	Büküm (T/m)	350	250

Tasarlanan kumaş konstrüksiyonları etamin, panama, balıksırtı, ribs ve dimi örgülerden geliştirilmiş türev örgülerle dokunmuştur. Tüberkül yüzey yapısına sahip konstrüksiyonların üretim parametreleri belirlendikten sonra dokuma işlemi gerçekleştirilmiş ve bu kumaşlara ait üretim bilgileri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Dokuma işlemi için jakarlı ağızlık açma sistemine sahip 1999 model 340 cm eninde Dornier hava jetli dokuma makinesi kullanılmıştır ve konvansiyonel liflerle 10 farklı kumaş üretilmiştir. Üretilen bu kumaşlardan T927 kodlu numune, dokunduktan sonra stabilitesini koruyamayıp kumaş formu sabit kalamadığı için testlerden çıkarılmış ve değerlendirmeye alınmamıştır. Konvansiyonel liflerle rüzgâr tüneli deneyleri sonucunda en yüksek performanslı kumaş yapısı belirlendikten sonra, lif inceliğinin etkisini görmek için bu tasarımın mikrolif içeren iplikler kullanılarak kumaş üretimi (T926M kodlu kumaş) gerçekleştirilmiştir. Üretilen kumaşların teorik örtme faktörleri 23,41 ile 24,36 arasındadır. Standart yelken kumaşının ise 25,74’dür. Bu değerler kumaşların sıkı yapılı (örtme faktörü 21-28 arasında) olduklarını göstermektedir. Örtme faktörü, Pierce örtme faktörü kullanılarak hesaplanmıştır. Genel olarak atkı sıklıkları konstrüksiyona göre 1 ya da 2 sıklık daha arttırılabilir. Böylece maksimum sıklığa ulaşmış olacaklardır. Sonuç olarak tez

kapsamında tüberköl yüzey yapısına sahip Çizelge 3.2’de bilgileri yer alan 11 farklı kumaş üretimi gerçekleştirilmiş olup, bunlardan 10 adedi deneysel çalışmalara dâhil edilmiştir.

Çizelge 3.2. Dokuma kumaş üretim parametreleri

Kumaş Kodu	Makine Tipi	Makine Çalışma Hızı (dev/dk)	Kumaş Eni (cm)	Tarak Eni (cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Çözü Sıklığı (tel/cm)	Teorik Kumaş Örtme Faktörü	Örgü Tipi
T-920	Hava Jetli	270	280	285	14	30	24,36	Etamin
T-921					14	30	24,36	Panama
T-922					14	30	24,36	Panama
T-923					12	30	23,88	Etamin
T-924					14	30	24,36	Dimi
T-925					14	30	24,36	Dimi
T-926					14	30	24,36	Balıksırtı
T-927					12	30	23,88	Dimi+Ribs
T-928					14	30	24,36	Dimi
T-929					10	30	23,41	Ribs
T-926M					14	30	24,36	Balıksırtı

Çalışma kapsamında ayrıca karşılaştırma amaçlı kullanmak üzere düz yüzeye sahip standart bir yelken kumaşı da dokunmuştur. Söz konusu standart yelken kumaşlarına ait bilgiler ise Çizelge 3.3’de verilmiştir. Bu kumaşlardan SYK kodlu kumaş dokunmuş ve karşılaştırma testlerinde kullanılmıştır.

Çizelge 3.3. Standart yelken kumaşı parametreleri

Kumaş kodu	Mamul gramaj (g/m ²)	Ham gramaj (g/m ²)	Atkı iplik no	Çözü iplik no	Sıklıklar çözgü/atkı (tel/cm)	Teorik Örtme Faktörü
T1	300	270	455 dtex 144 f	450 dtex 108 f	34/15	25,43
SYK	345	315	660 dtex 96 f	450 dtex 108 f	34/15	25,74
T2	395	360	1100 dtex 192 f	450 dtex 108 f	34/13	25,96

3.2 Geliştirilen Kumaşlara Uygulanan Terbiye İşlemleri

Ham kumaş üretimi gerçekleştirildikten sonra terbiye süreç çalışmaları yürütülmüştür. Terbiye proseslerinde gösterilecek hassasiyet bir sonraki yelken dikim işlemlerinin sağlıklı olabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Kumaş açma ve hazırlama aşamalarında sarım işlemi uygun gerginliklerde kumaşı ezmeden yapılmıştır. Böylece sonraki aşamalarda marullanma probleminin önüne geçilmiştir. Terbiye işlemleri sonrasında kumaşlarda tüberköl yapının ortadan kalkmaması için süreç değişikliklerine gidilmiş, kalandır basınçları ayarlanarak

kumaşların aşırı ezilerek düzleşmeleri önlenmiştir. Terbiye işlemleri süreç akışı ve kontrol parametreleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Terbiye işlemlerine ait parametreler

Proses Aşaması	Sıcaklık (°C)	Hız (m/dk)
Fikse	185	15
Fular Apre+Kürleme	220	20
Kalandır	150	25

Terbiye işlemleri kuru fikse işlemi ile başlamaktadır. Bu işlem kumaşların boyut stabilitesi kazanması için yapılmıştır. Fular apre prosesinde kumaşa uygulanan kimyasal reçetesinde kullanılan reçine ile yelken kumaşına boyutsal sabitlik, sertlik ve düşük hava geçirgenliği özelliği kazandırılmıştır. Reçinenin hızlı bir şekilde ve daha fazla elyafa bağlanmasını sağlamak için reçetede katalizör kullanılmıştır. Yelken kumaşının zorlu hava koşullarına karşı dayanımını arttırmak amacı ile su geçirmezlik kimyasalı da aynı işlemde verilmiştir. Böylelikle yelken kumaşlarına hem su iticilik hem de hava geçirmezlik kazandırmak hedeflenmiştir. Aynı pasajda işlem sonu kumaşlar kimyasalın kumaşa nüfuz edebilmesi için kürleme işlemine tabi tutulmuştur. Hem fikse hem de reçine uygulaması sonucunda kumaşlarda %15 oranında gramaj artışı gerçekleşmiştir. Sonrasında 40 ton/m basınç değerinde kalenderden geçirilmek suretiyle kumaşların terbiye prosesleri tamamlanmıştır. Kalenderleme işlemi genel olarak yelken kumaşlarında hava geçirgenliğini azaltmak, iplikler arası boşlukları kapatmak, reçinenin kumaş yüzeyinde homojen dağılmasını sağlamak ve yelken kumaşına rijitlik kazandırmak için yapılmaktadır. Geliştirilen kumaş tüberkül yapısının bozulmaması için en düşük oranda kalender baskısı uygulanmıştır.

3.3 Kumaşlara Uygulanan Rutin Performans Testleri

Geliştirilen yapıların yelken kumaşı olarak kullanıma uygunluklarını görmek için öncelikle rutin performans testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yelken kumaşlarına uygulanan testler; kopma mukavemeti, dikiş açma mukavemeti, patlama mukavemeti, gramaj ölçümü, berger indeks ölçümü, UV yaşlandırma testi sonucu renk ve mukavemet değişimi ölçümü, ΔE renk farkı ölçümü ve hava geçirgenliğidir. Ayrıca yelken kumaşlarında güneş ışığına, deniz suyuna yüksek dayanım göstermesi, deniz suyunu ve havadaki rutubeti emerek ağırlık kazanmaması da istenen özelliklerdendir. Bunların yanında zorlu hava şartlarına karşı da dayanıklı olmalıdır. Bu kapsamda kumaşlara su iticilik, yıkama haslığı, boyutsal sabitlik ve

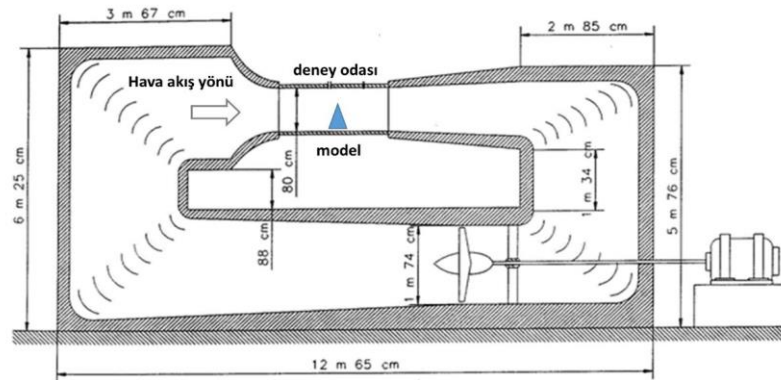
deniz suyuna karşı haslık testleri de uygulanmıştır. Uygulanan test metotları ve kullanılan test cihazları Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Uygulanan rutin performans testleri, test metotları ve test cihazları

Test	Test Metodu	Test Cihazı Marka/Model
Kopma mukavemeti	TSE EN ISO 13934-2	SDL CRE Tipi Test Cihazı
Dikiş açma mukavemeti	TSE EN ISO 13935-1	SDL CRE Tipi Test Cihazı
Patlama mukavemeti	TSE EN ISO 13938-1	SDL Otomatik Patlama Mukavemeti Test Cihazı
UV testi	ASTM D4587	Q-Lab UV QUV Yaşlandırma Cihazı
Su iticilik	TS 259 EN 24920	SDL Püskürtmeli Su iticilik Testi
Gramaj	TSE EN ISO 3801	SDL Gramaj Kesme Aparatı
Boyutsal sabitlik	TSE EN ISO 6330	Washcator/Elekrolux Yıkama Makinası
Yıkama haslığı	TSE EN ISO 105 C06	Rotowash- Döner Yıkama Cihazı
Deniz Suyu haslığı	TSE EN ISO 105 N01	SDL Ter Haslığı Cihazı-Fırın
Berger indeks	AATCC110	Spektrofotometre/ X-rite Renk Ölçüm Cihazı
Hava geçirgenliği	TSE EN ISO 9237	Proser Hava Geçirgenliği Test Cihazı

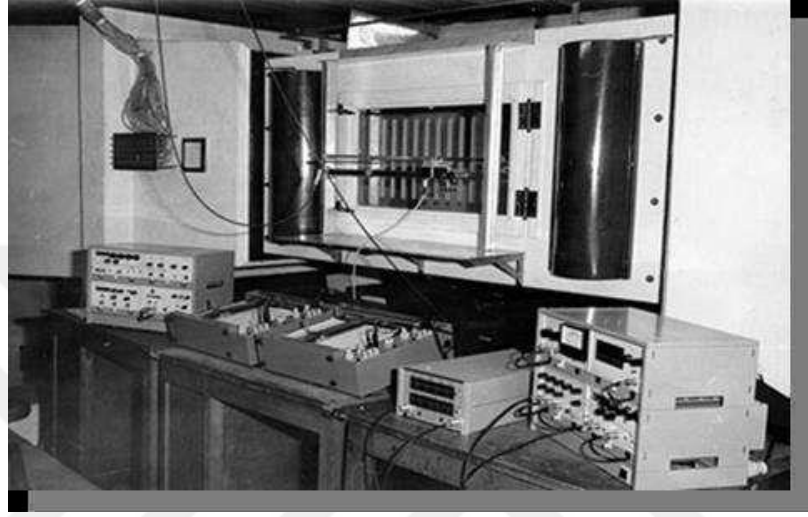
3.4 Rüzgâr Tüneli Deneyleri

Tasarlanan tüberkül yapıdaki konstrüksiyonların aerodinamik performansı rüzgâr tüneli deneyleri ile test edilmiştir. Rüzgâr tünelleri günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Rüzgâr tünellerinin çevrim tiplerine göre kapalı rüzgâr tüneli ve açık rüzgâr tüneli olmak üzere 2 çeşidi, hızlarına göre ses altı hızları, ses hızına geçiş, ses üstü hızlar olmak üzere 3 çeşidi mevcuttur. Bu tez çalışmasında rüzgâr tüneli testleri için İTÜ Gümüşsuyu Aerodinamik Laboratuvarı kapalı devre rüzgâr tüneli kullanılmış olup, deney odası 80cmx110cm boyutlarındadır. Kapalı devre ses altı rüzgâr tüneline ait şematik gösterim Şekil 3.1’de; deney odası ve ilgili ölçüm ekipmanlarına ait fotoğraflar ise Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kapalı devre ses altı rüzgâr tüneli (İTÜ Uzay ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)

Şekil 3.1’de gösterilen rüzgâr tünelinin çalışma prensibi kısaca özetlenecek olursa; rüzgâr tüneli deneyi yapılacak materyalin kendisi veya ölçekli modeli deneyin yapıldığı test odasına monte edilmekte, pervanenin dikdörtgen kabin içinde saat yönünde dönmesiyle hava akışı oluşmaktadır. Test odasında hava akış yönü soldan sağa doğrudur. Test odasına yerleştirilen numuneye farklı hücum açılarında hava akımı, minimum hızdan başlayarak artan şiddette uygulanmaktadır.



Şekil 3.2. Rüzgâr tüneli için kullanılan ölçüm cihazları (İTÜ Uzay ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)



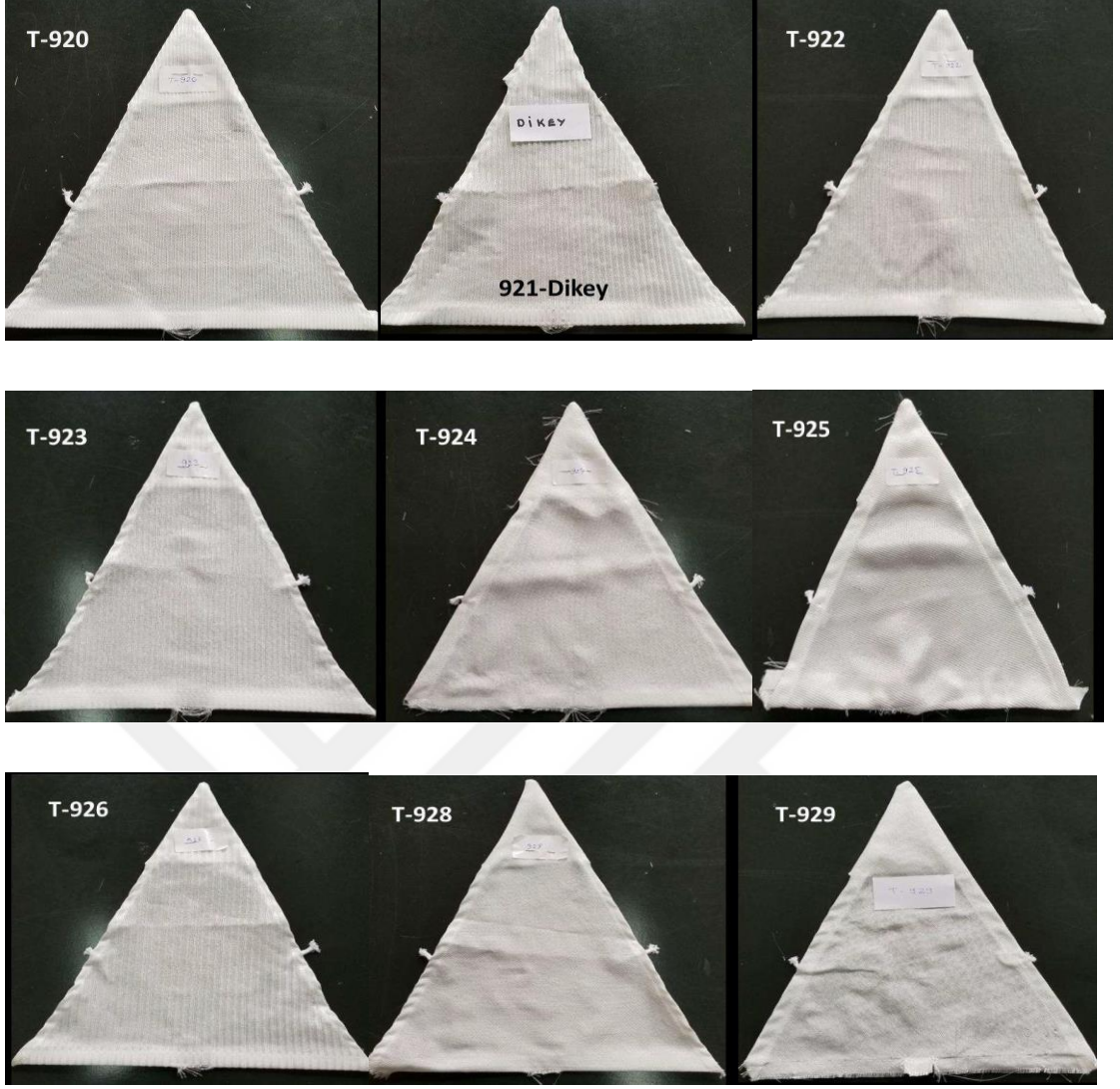
Şekil 3.3. Kapalı devre ses altı rüzgâr tüneli kontrol odası (İTÜ Uzay ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)

Yelkenli aerodinamik performansının rüzgâr tüneli testleri ile belirlenmesi için model, mekanizmaya bağlanmıştır. Mekanizma, model üzerindeki kuvvetleri kuvvet ölçüm duyargalarına aktarmak için tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan AKZ 320 Axis tipi ve Gauge Tester HF-500 tipi kuvvetölçerler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kuvvet ölçüm duyargaları (İTÜ Uzay ve Uçak Bilimleri Rüzgâr Tüneli Laboratuvarı)

Kafes yüzeye sabitlenmiş her bir yelken kumaşı için 5 farklı hızda kuvvet ölçümleri yapılmıştır. Yelkenlinin hareket doğrultusundaki kuvvet bileşeni hesaplanarak en iyi sonucu veren yelken kumaş konstrüksiyonu belirlenmiştir. Her bir test için 1'er adet numune, test numunesi olarak hazırlanmış ve teste tabi tutulmuştur. Geliştirilen yelken kumaşlarından deney modelleri oluşturulmuştur. Kumaş numunelerine deneyler 1 kere uygulanmıştır. Rüzgâr tüneli deney odası için yerleştirilecek olan yelken modeli ile elde edilecek ölçüm sonuçlarının doğruluğunu arttırmak için alan kuralına uyulması gerekmektedir. Hava akışı yönünde modelin kapladığı alanın deney odası alanının en fazla % 10'unu kaplamalıdır. Bunun yanında model kenarlarının deney odası kenarından en az 20 cm uzakta olmalıdır. Bu kurallar kapsamında yapılan hesaplamada model yelken kumaşı yüksekliğinin 40 cm ve genişliğinin 36 cm olması gerektiği bulunmuştur.



Şekil 3.5. Rüzgâr tüneli deney numuneleri

Rüzgâr tüneli deneyleri 6, 7, 8, 9 ve 10 m/s rüzgar hızlarında yapılmıştır. Şekil 1.7’de gösterildiği gibi α hücum açısı yelkenli merkezi ile rüzgâr arasındaki açı, β açısı ise yelkenlinin hareket yönü ile rüzgar arasındaki açıdır. Rüzgâr tüneli deneylerinde ölçümler, hücum açısı α , 0 ila 90° arasında değişecek şekilde gerçekleştirilmiştir.

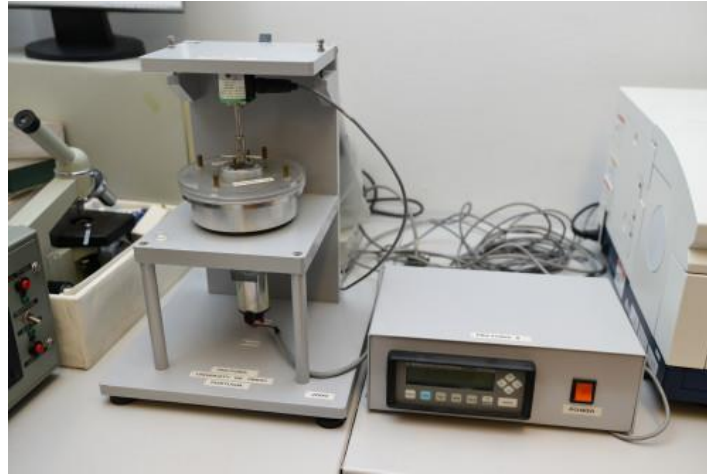
C_R sürtünme katsayısı hareket yönüne paralel sürtünme katsayısıdır ve bu tez çalışmasında geliştirilen yelken kumaşlarının aerodinamik performansının değerlendirilmesinde bu katsayı esas alınacaktır.

Yelkenlinin hareket yönündeki sürtünme katsayısı bileşeni C_R değerinin hesabında, rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilen C_D sürüklenme ve C_L taşıma aerodinamik katsayıları

ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Hesaplamalar her bir hız ve açı değerinde ve her bir farklı kumaş numunesi için ayrı ayrı olarak Eşitlik 1.5 yardımı ile yapılmıştır.

3.5 Friktorq Cihazı ile Sürtünme Katsayısı Ölçümü

Çalışma kapsamında kumaşların aerodinamik performansının sürtünme özelliği ile ilişkisini irdelemek amacıyla yüzey sürtünme testleri de gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan Friktorq test cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). Bu test cihazı iki tekstil yüzeyinin birbiri üzerinde sürtünerek döndürülmesi ile statik ve kinetik sürtünme katsayılarının ölçülmesini esas alır. Bu metotta kumaş-kumaş sürtünmesi ve kumaş-standart kumaş sürtünmesi en çok kullanılan yöntemlerdir. Kumaş numuneleri ayarlandıktan sonra, üst kısım alt kısım ile üst üste konarak merkezlenme iğnesi ve tork sensörü plakası çalışma konumuna getirilir. Kumaş numunesinin ağırlığı gram cinsinden girilir. Test başlatılarak saniye cinsinden test süresi ölçülür. Deney süresi (20 s) dolduğunda test işlemi otomatik olarak durur. Kumaş-Std. kumaş testinde başlangıçta tork oluşurken numune hareketsiz kalırken, bağıl hareketin başlamasıyla tork düşüşü gerçekleşir. Bu ana kadarki sonuç statik sürtünme katsayısını, torkun ani düşüşünden sonraki değer ise kinetik sürtünme katsayısını verir. Bu bölümde her bir numune için 5 adet ölçüm yapılarak ortalama değerler elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Friktorq test cihazı (Ege Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı)

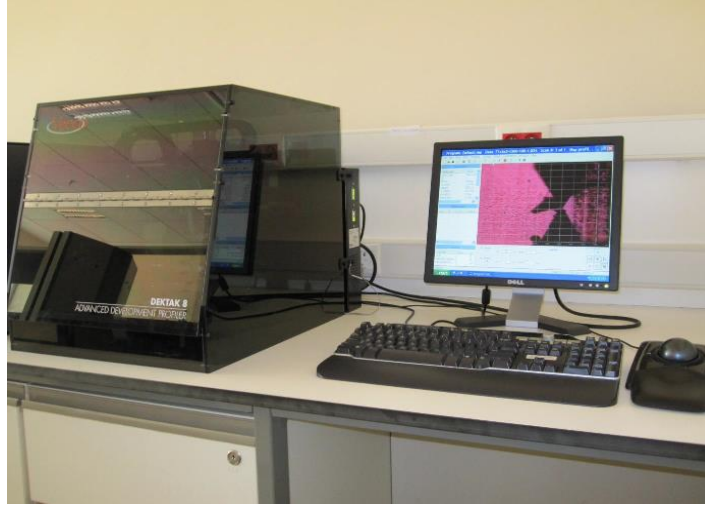
Bir yelkenlinin aerodinamik performansı, sürtünme katsayısı yanında, seyir esnasında rüzgâr ve yelken bezi arasındaki temas yüzeyi alanı ile doğru orantılıdır. Bu temas yüzeyi de yelken kumaşının büyüklüğünün (düzlemsel alan) yanında, mikro düzeyde kumaşın

örgüsünden kaynaklanan kumaş yüzey alanına ve makro düzeyde rüzgâr basıncı ile şişmeden (tor) kaynaklanan esnemeye bağlı olarak değişmektedir. Kumaş yüzey alanı (KA) ve esnemeye bağlı alan değişikliğinin (Alansal esneklik, AE) belirlenmesi için kullanılan yöntemler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.6 Kumaşlarda Yüzey Alanı Ölçümü

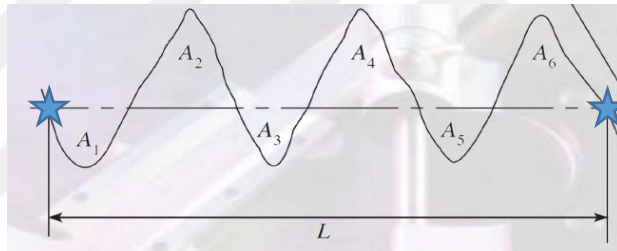
Geliştirilen kumaşlarda tüberkül (pürüzlü) yapı sayesinde rüzgâr ile temas yüzeyinin artırılması amaçlanmıştır. Kumaşın tüberkül yapısından dolayı ortaya çıkan kumaş yüzey alanı (KA) esas alınarak yüzey indeksi (Yİ) olarak ifade edilen bir parametre tanımlanmış olup, çalışmada geliştirilen kumaşların aerodinamik performans değerleri ile yüzey indeks değerleri arasındaki ilişki irdelenmiştir.

Farklı kumaş tasarımlarının sahip oldukları yüzey alanlarının ölçümü Gebze Teknik Üniversitesi, Alüminyum Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Yüzey Profilometresi (Veeco Dektak 8 Profilometer) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Cihazın temel çalışma prensibi genel olarak yüzeye temas eden (mekanik profilometre) farklı çaplardaki elmas ucun, numune yüzeyinde hareket etmesiyle ölçümü esasına dayanmaktadır. Numune yüzeyine temas eden hassas uç, 7 Å ile 1 mm arası hassasiyete sahiptir. Cihazın tepede ve yanda iki kamerası vardır. Dönme hareketi yapabilen tabla ile çok eksenli tarama yapılabilir. Mekanik yüzey profilometresi, iki boyutta yüzey pürüzlülüğü, üç boyutta yüzey topografyası yardımıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçme ve yüzey haritası çıkarabilme, kumaş gibi ince yüzeylerin kalınlığını ölçme, çizik testi, derinlik, alan ve hacim ölçme gibi hesaplamaları yapabilmektedir.



Şekil 3.7. Profilometre cihazı (Gebze Teknik Üniversitesi Alüminyum Uygulama Laboratuvarı)

Profilometre cihazı ile kumaş yüzey alanı ölçümünün prensibi ise Şekil 3.8’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kumaş yüzey alanı hesaplanmasına ait temel prensip (Gülmez, Ders Notları)

Şekil 3.8’de şematize edilen kumaş yüzey formu esas alınarak kumaş yüzey alanı (KA) şu şekilde belirlenmektedir:

$$KA = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (3.1)$$

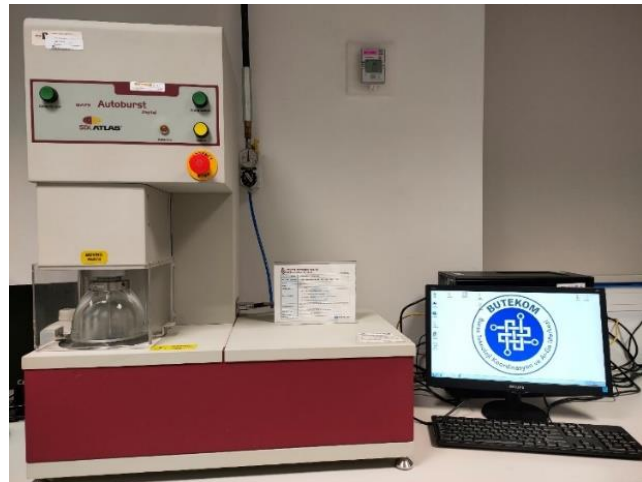
Kumaşlara ait yüzey indeksi (Yİ) değeri ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$Yİ = \frac{\text{Kumaş yüzey alanı}}{\text{Kumaş düzlemsel alanı}} = \frac{KA}{DA} \quad (3.2)$$

Söz konusu eşitlikte düzlemsel alan (DA), ölçüme tabi tutulan kumaşın en ve boy çarpımına eşit olup, ölçümlerde referans alınan düzlemsel alan (lateral area) 395,017 mm²’dir ve tüm numuneler için sabit bir değerdir.

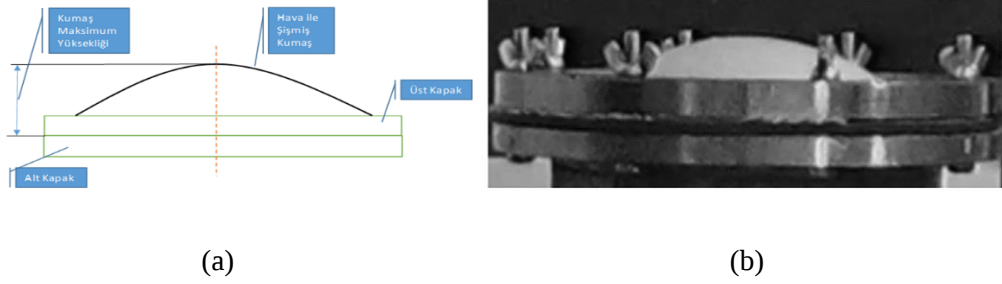
3.7 Esneme İndeksi Ölçümü İçin Yeni Yöntem Geliştirme

Yukarıda belirtildiği gibi bir yelkenlinin aerodinamik performansı, seyir esnasında rüzgâr ve yelken bezi arasındaki temas yüzeyi alanı ile doğru orantılı olup; mikro düzeyde kumaşın örgüsünden kaynaklanan kumaş yüzey alanına ve makro düzeyde rüzgâr basıncı ile şişmeden (tor) kaynaklanan esneme sonucu alan artışına bağlıdır. Bu amaçla yukardaki bölümde açıklandığı üzere kumaşların yüzey alanı (KA) ve buna bağlı olarak yüzey indeksi (Yİ) değerleri belirlenmiştir. Buna ilave olarak rüzgâr basıncı ile şişmeden kaynaklanan esnemeye bağlı alan değişiminin de belirlenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, alansal esnekliğin ölçümü amacıyla patlama mukavemeti testinden yararlanarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu amaçla (hidrolik diyaframlı) patlama mukavemeti test cihazı kullanılmıştır. Söz konusu testte belirli bir alana sahip kauçuk diyafram altında hidrolik bir yük uygulanarak kumaşların patlama mukavemeti ve patlama esnasındaki diyafram yüksekliği değerleri belirlenmektedir. Dokunan yelken kumaşı numunelerinin patlama mukavemeti test cihazı kullanılarak sabit basınçta diyafram yüksekliği ölçümleri SDL Auto Burst Patlama Mukavemeti Cihazı kullanılarak Bursa Butal Test Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Şekil 3.9). Kullanılan cihazda test alanı 50 cm²'ye kadar olup, maksimum basınç kapasitesi 6000 kPa'dır. Geliştirilen kumaş yapılarının patlama mukavemeti testleri ve esneme ölçümlerinde test cihazında 7,3 cm² test alanı (bilezik çapı 30,5 mm.) kullanılmıştır. Bu çalışmada her kumaş türünden 5 adet numune teste tabi tutulmuş olup; ölçümler, numuneler kondüsyonlandıktan sonra standart atmosferik koşullarda (ISO 139, 20±2 °C, %65±4 RH) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Hidrolik patlama mukavemeti cihazı (Tübitak Butal Laboratuvarı)

Söz konusu test esnasında oluşan kumaş formu Şekil 3.10’da gösterilmiştir.

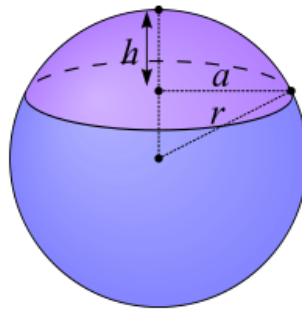


Şekil 3.10. Patlama mukavemeti testi (a) şematik gösterim (b) fotoğrafik gösterim (Najafzadeh ve ark., 2019)

Esname kaynaklı alan artışının hesabında, patlama mukavemeti test cihazında yelken kumaşı numunelerine basınç uygulandığında oluşan kumaş yüzey formunun bir küre parçasına ait olduğu varsayılmıştır (Şekil 3.11). Test esnasında 2000 kPa basınç uygulanarak diyafram yüksekliği değeri (h) elde edilmiş olup, 2000 kPa değeri Cali ve arkadaşlarının (2018) yaptığı çalışmadan elde edilen yelken kumaşına etki eden ortalama rüzgâr basıncı değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Şekil 3.11’de şematize edildiği gibi küre kapağının taban yarıçapının (a) ve patlama mukavemeti testinde elde edilen diyafram yüksekliğinin (h) değerinin bilinmesi durumunda küresel kapağın alanı A , eşitlik 3.3’de gösterildiği gibi belirlenmektedir:

$$A = \pi \times (a^2 + h^2) \quad (3.3)$$

Bu tez çalışmasında A değeri belirlendikten sonra, yelken kumaşlarının rüzgâr basıncı ile şişmesi sonucu oluşan esnmeden kaynaklı yüzey alan artışı alansal esneklik (%AE), Eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır:



Şekil 3.11. Küresel kapak alanı hesabı için kullanılan küre formu (Kern, W.F., Bland, J.R. 1938)

$$\%AE = \frac{\pi \times (a^2 + h^2) - (\pi \times a^2)}{\pi \times a^2} \times 100 \quad (3.4)$$

Bu eşitlik sadeleştirilerek;

$$\%AE = \frac{h^2}{a^2} \times 100 \quad (3.5)$$

elde edilir.

Ayrıca kumaş numunesinin basınç altında şişme sonrası yüzey alanının düz haldeki yüzey alanına oranı Esneme İndeksi (Eİ) olarak tanımlanmış ve aşağıda verilen eşitlikle (Eşitlik 3.7) hesaplanmıştır.

$$Eİ = \text{Küresel Kapak Alanı/Test Alanı} \quad (3.6)$$

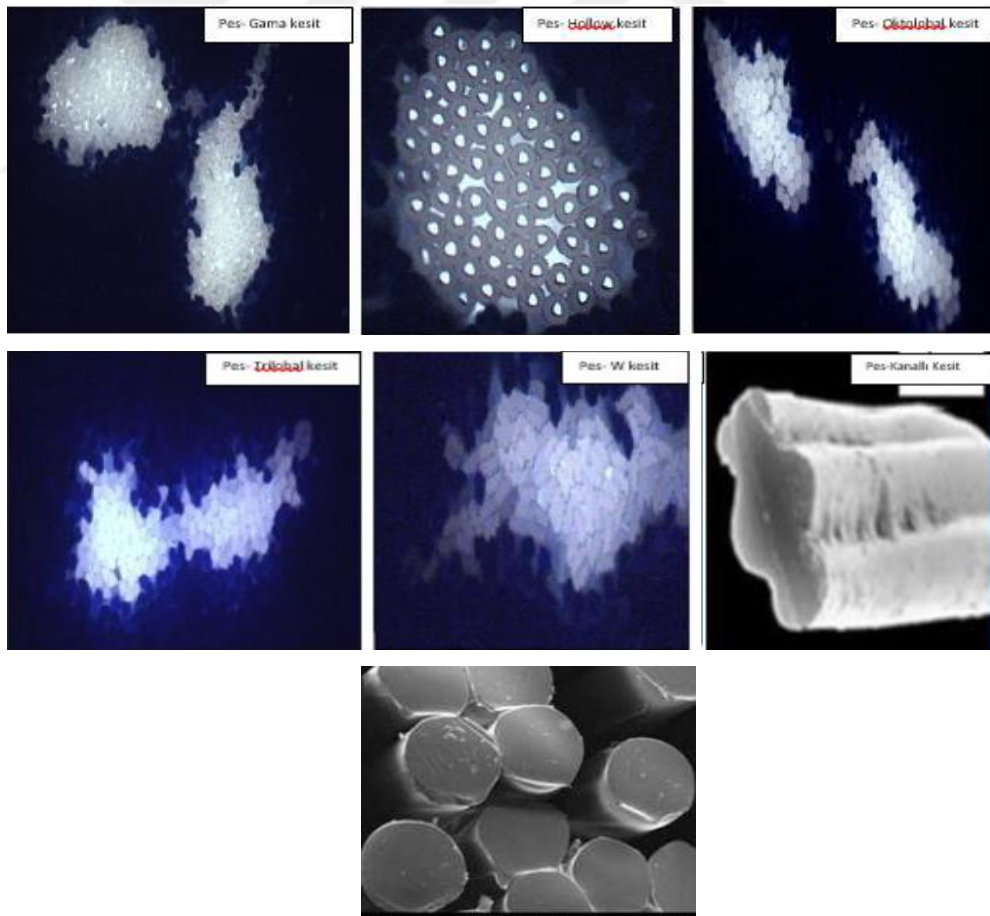
$$Eİ = \frac{A}{\pi \times a^2} = \frac{\pi \times (a^2 + h^2)}{(\pi \times a^2)} = 1 + \frac{h^2}{a^2} \quad (3.7)$$

Bu tez çalışmasının hedeflerinden biri de, yöntem olarak kullanılan rüzgâr tüneli testlerine erişimin oldukça zor, zaman alıcı, testlerin karmaşık ve maliyetli olmasından dolayı, rüzgâr tüneli testleri yerine kullanılabilecek daha kolay ve daha hızlı karar vermeyi sağlayacak yeni bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla geliştirilen kumaşların sürtünme katsayıları, yüzey indeks ve esneme indeksleri değerlerini ile aerodinamik performansları arasındaki ilişkiler irdelenmiş ve ölçülen kumaş parametreleri ile aerodinamik performansı öngörmeye imkân verecek bir regresyon modeli geliştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Yelken Kumaşlarının Geliştirilmesi Öncesinde Ön Çalışma: Uygun Lif Enine Kesit Şeklinin Belirlenmesi

Hava geçirgenliği yelken kumaşları için çok önemli parametrelerden biridir. Zira bir yelken kumaşından mümkün olduğunca hava geçirmemesi beklenmektedir. Hava geçirgenliği değerini etkileyen önemli parametrelerden biri de yelken kumaşının dokunmasında kullanılan ipliklerde yer alan liflerin enine kesit şeklidir. Lif enine kesitinin şekli, liflerin iplik kesiti içindeki yerleşimini ve etkileşimini şekillendirmekte ve hava geçirgenliğini belirleyen önemli bir parametre olmaktadır. Bu tez kapsamında aynı konstrüksiyon için en düşük hava geçirgenliği sonucunu verebilecek uygun lif enine kesit şekline karar vermek üzere bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Şekil 4.1’de yer alan 7 farklı lif kesiti ile 7 ons standart yelken kumaşı parametreleri esas alınarak dokuma kumaşlar üretilmiştir. Kumaşların terbiye işlemlerini takiben mamul kumaşlara 5 farklı basınçta hava geçirgenliği testi uygulanmıştır.



Şekil 4.1. Gama, hollow, octolobal, trilobal, W, kanallı ve yuvarlak kesite sahip lifler (Kara, Ş. 2011)

Yapılan testler sonucunda Çizelge 4.1’de yer alan test sonuçlarına ait ortalama değerler dikkate alınarak trilobal enine kesite sahip lifler içeren kumaşın hava geçirgenliğinin en düşük olduğu görülmüştür. Öte yandan hollow, gama ve yuvarlak enine kesitlere sahip lifleri içeren kumaşların test sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu bilgiler ışığında geliştirilen tüberkül yapıları kumaşlarda trilobal enine kesite sahip lifler kullanılmıştır.

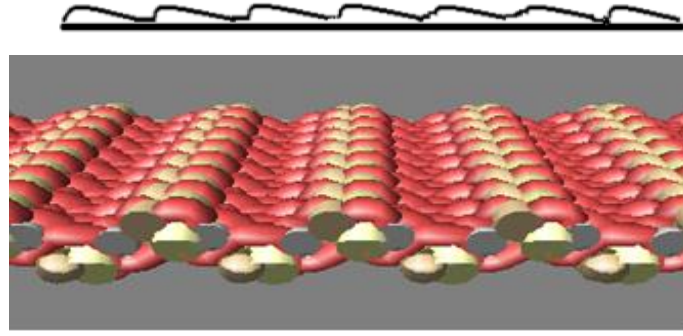
Çizelge 4.1. Farklı enine kesite sahip lifler içeren kumaşların hava geçirgenliği test sonuçları

Numune No	Lif Enine Kesit Şekli	100 Pa (mm/s)	200 Pa (mm/s)	300 Pa (mm/s)	400 Pa (mm/s)	500 Pa (mm/s)	Ortalama (mm/s)
1	Octolobal	20	42	64	84	104	62,8
2	Hollow	15	34	56	74	91	54,0
3	Trilobal	16	30	48	65	72	46,2
4	Kanallı	26	58	84	114	140	84,4
5	Gama	17	38	57	75	93	56,0
6	W	23	49	74	100	123	73,8
7	Round	14	38	57	77	95	56,2

4.2. Geliştirilen Yelken Kumaş Yapıları ve 3 Boyutlu Bilgisayar Simülasyonları

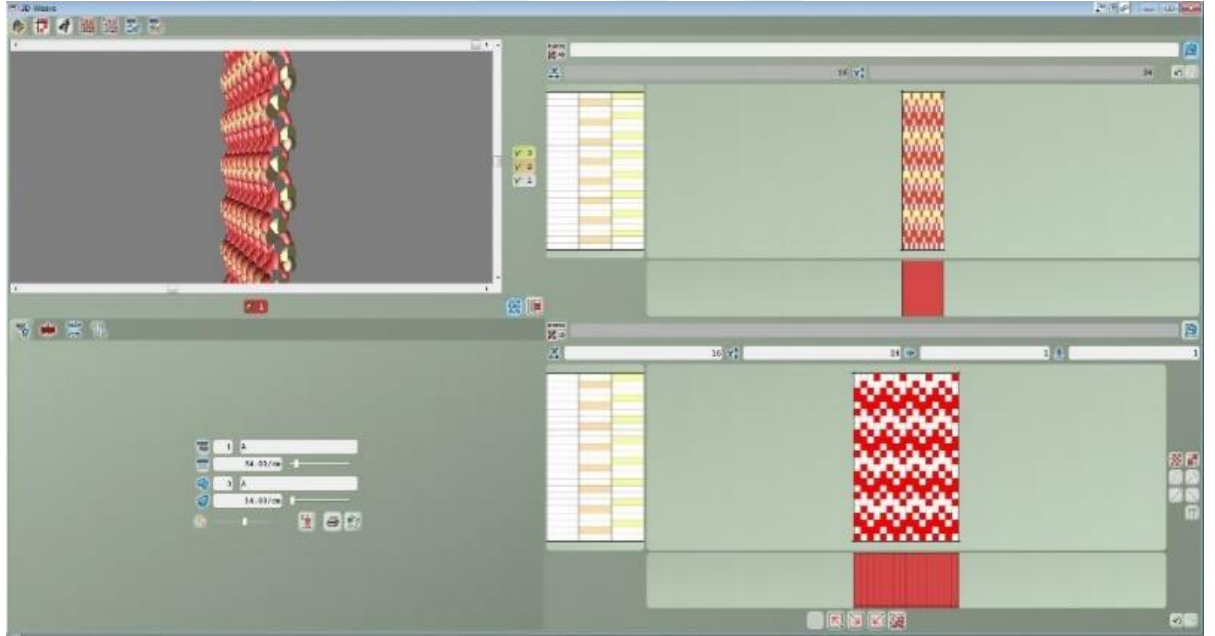
Tarihten günümüze genellikle yelkenli teknelerin gelişimi, teknenin en önemli parçası olan yelkenlerin gelişimiyle sınırlanmıştır. Malzeme bilimi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte yelkenlerin şekli, yapısı ve malzemesi ciddi değişikliklere uğramıştır. Yelken kumaşlarının hangi dinamik etkiler altında ve koşullarda rüzgâr enerjisini yelkenliye aktararak harekete katkı sağladıkları ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında, biyomimetik yaklaşımla yelkenin aerodinamik performansını arttırmak için kambur balina yüzgecinden esinlenilmiştir. “Tüberkül” olarak nitelendirilen, kambur balina yüzgecindeki dalgalı yapının kumaş yüzeyine uyarlanabilmesi amacıyla öncelikle 10 adet desen tasarlanmıştır. Tasarım aşamasında EAT desen tasarım programı kullanılmıştır. Bu program tasarlanan yapıların 3 boyutlu simülasyonuna da imkân vermektedir. Bu programla oluşturulan 3 boyutlu kumaş modelleri üretim öncesinde kumaşların yüzey yapıları hakkında fikir vermiş olup, kanallı yapılar daha kolay algılanabilmiştir. Kumaşlarda bazı kanal yapılar çapraz, bazıları ise düz şekildedir. Bazılarında ise kanal hareketi atkı veya çözgü iplikleri ile kesintiye uğramaktadır. Bu durum geliştirilen kumaş yapılarında farklı yüzey tasarımlarının sonuca etkilerini inceleme olanağı sağlamıştır. Tasarlanan konstrüksiyonlar Bölüm 3.1’de belirtilen parametrelere göre dokunmuştur. T927 numaralı test numunesi kumaş henüz ham kumaş halinde iken kumaş özelliğini koruyamayıp, aşırı gevşek yapı nedeniyle iplikler sürekli birbiri üzerinden sıyrıldığı için test işlemlerinden çıkarılmış ve 9 adet desen değerlendirilmiştir.

Çalışmada hedeflenen tüberkül yüzey yapısının şematik gösterimi ve enine kesit yapısına örnek Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Dalgali yüzey kesit görünümü ve 3D görüntüsü

Geliştirilen konstrüksiyonların görüntüleri ise Şekil 4.3 ile 4.12 arasında gösterilmiştir.



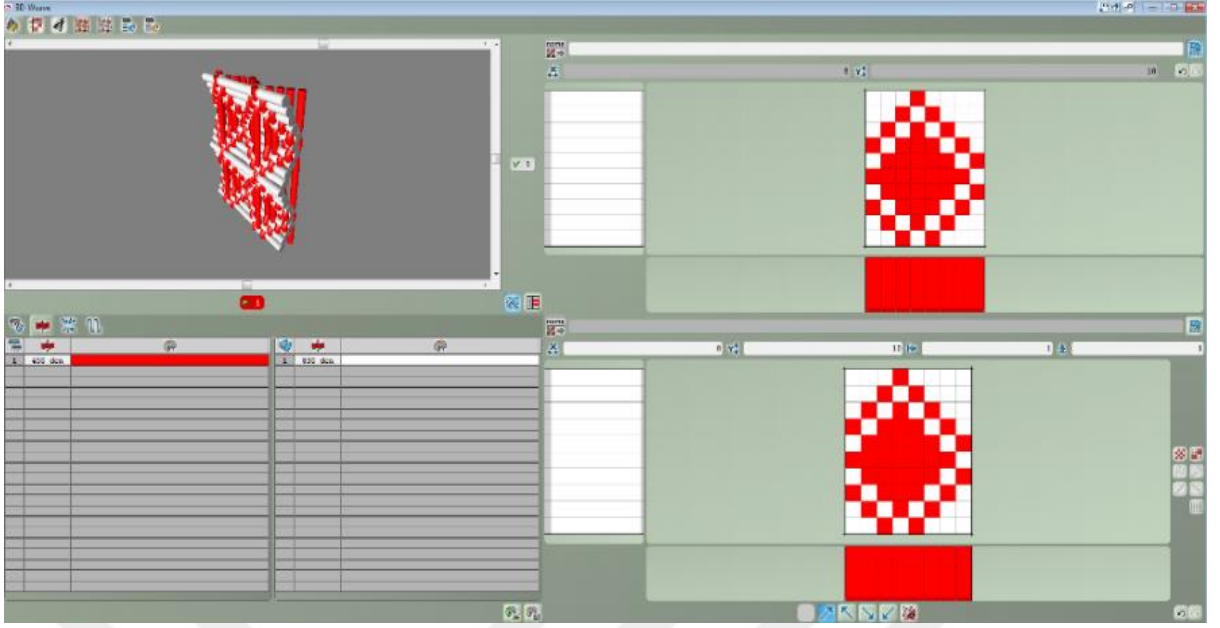
Şekil 4.3. T920 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



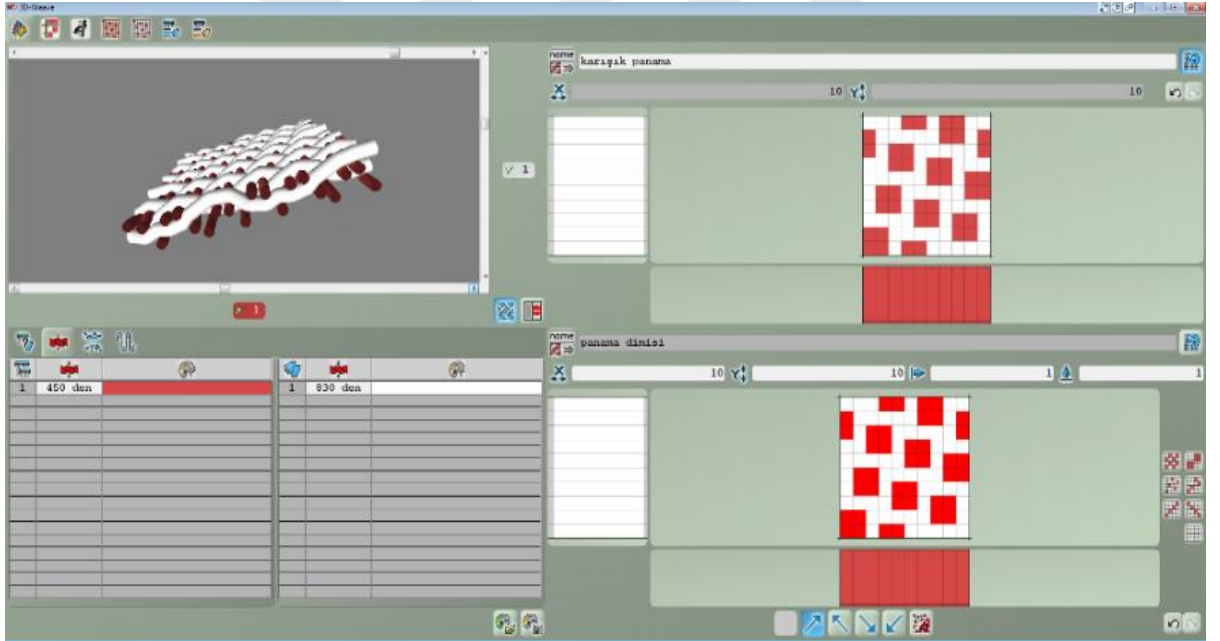
Şekil 4.4. T921 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



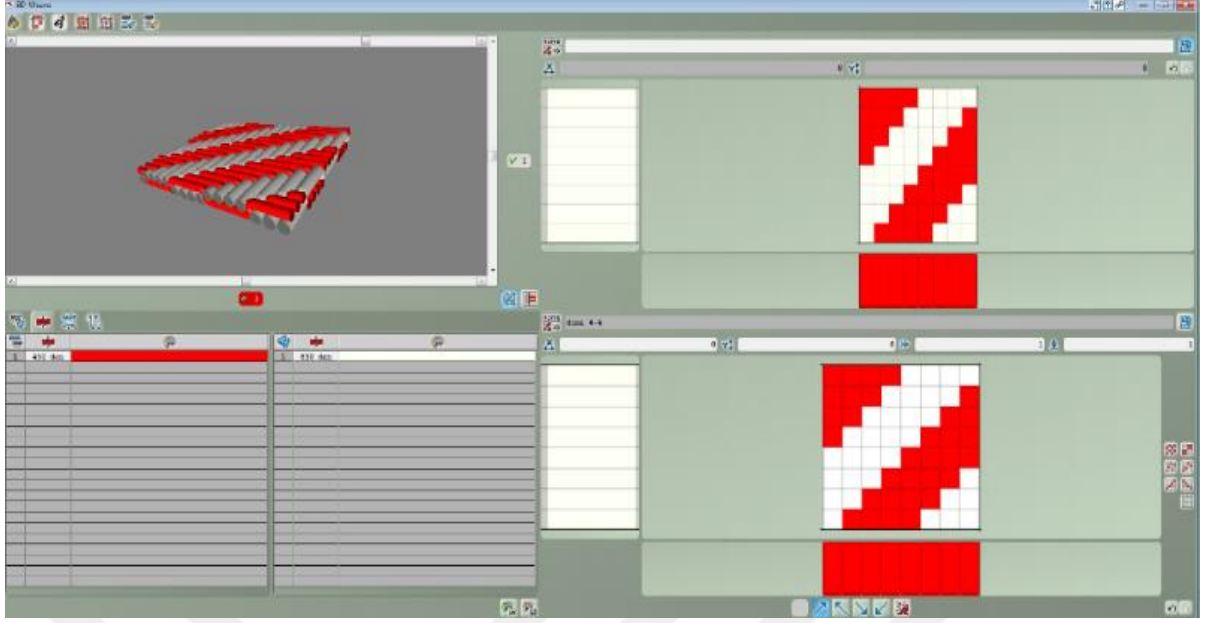
Şekil 4.5. T922 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



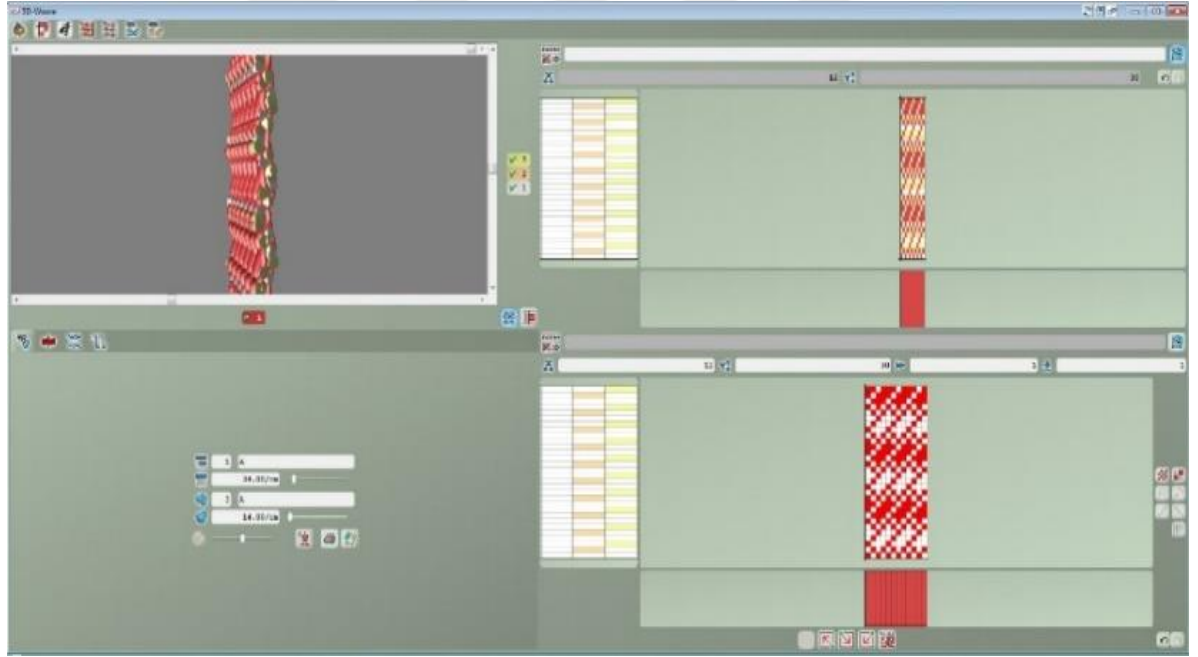
Şekil 4.6. T923 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



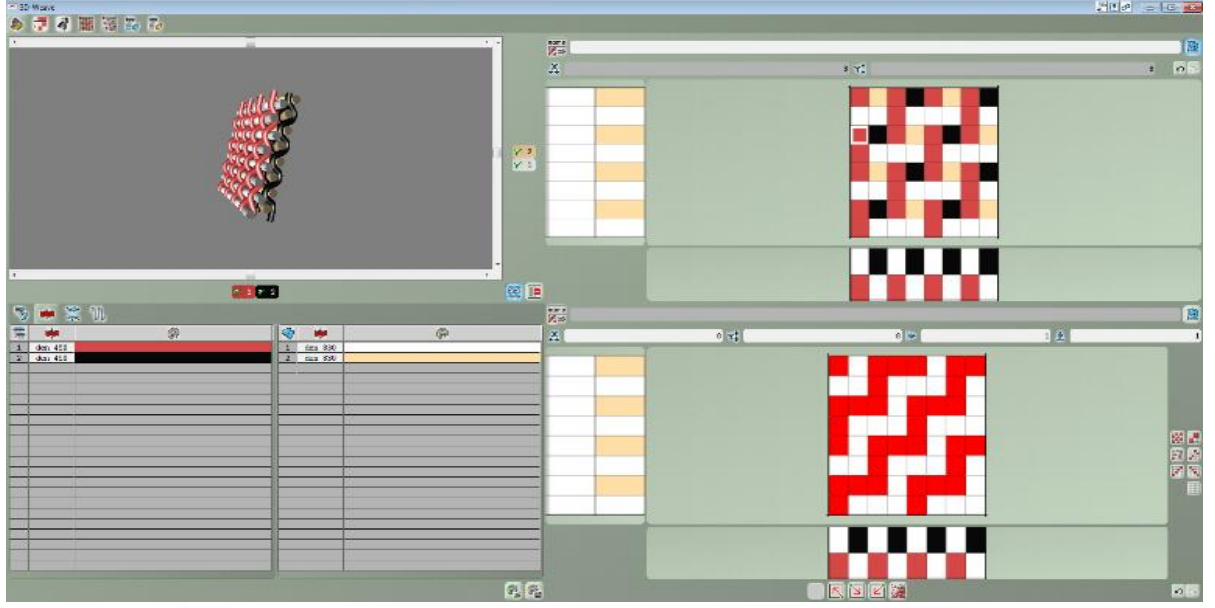
Şekil 4.7. T924 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



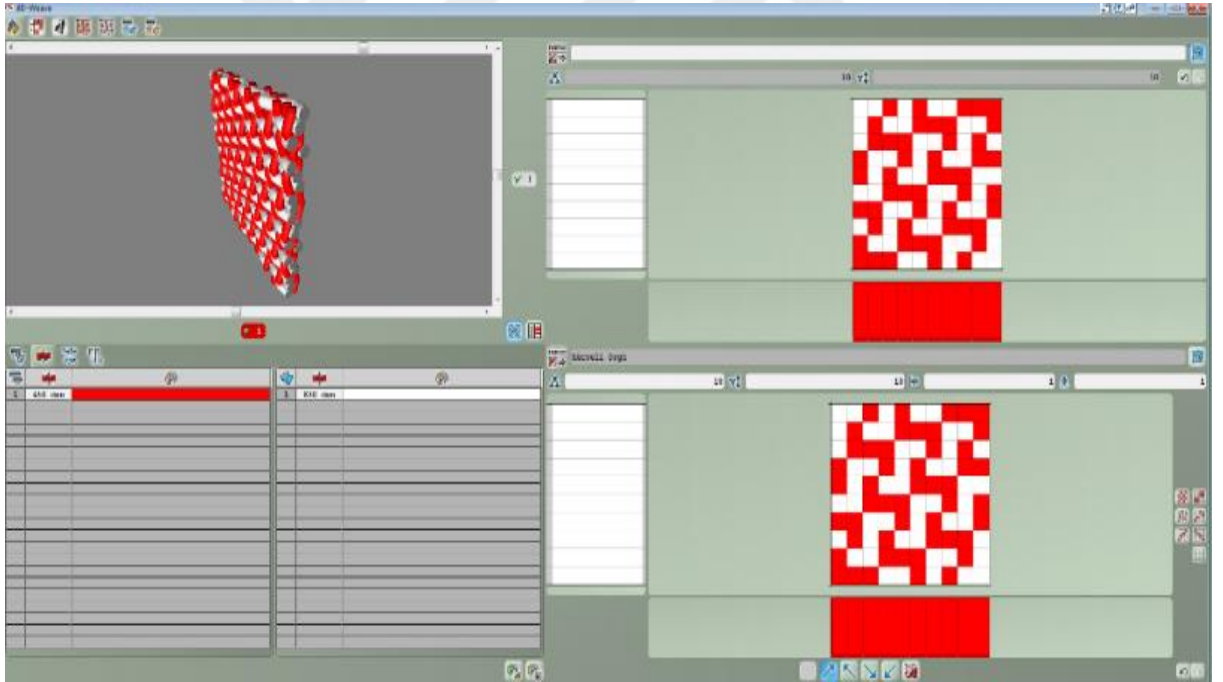
Şekil 4.8. T925 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



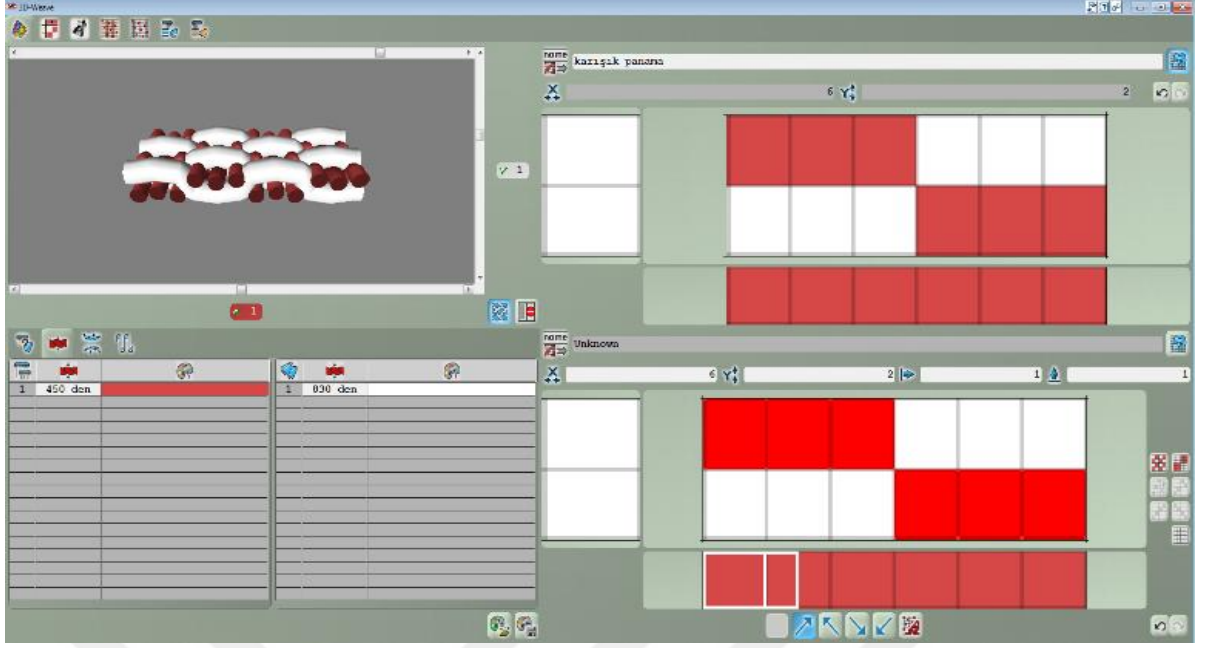
Şekil 4.9. T926 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



Şekil 4.10. T927 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



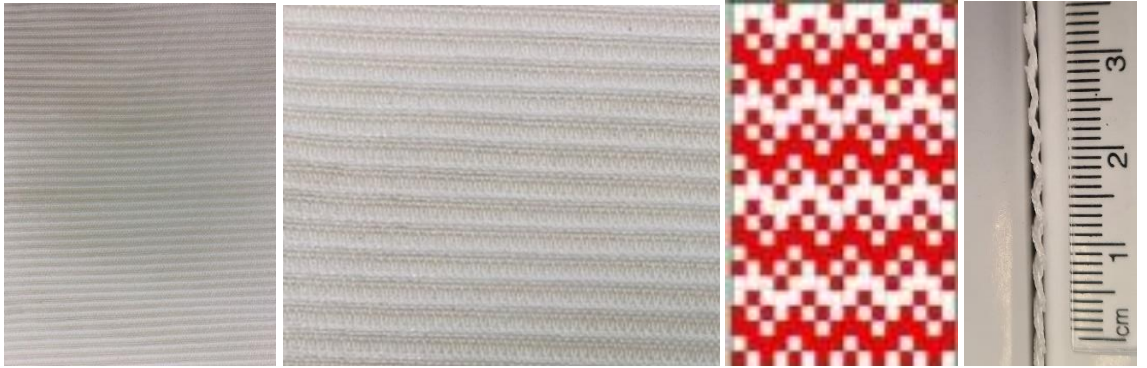
Şekil 4.11. T928 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü



Şekil 4.12. T929 kodlu kumaş desen yapısı ve 3D görünümü

4.3. Üretilen Yelken Kumaşlarına Ait Görseller

Dokunan kumaşların yüzey görünüşleri ise Şekil 4.13 ile Şekil 4.23 arasında yer almaktadır. İlgili şekillerde yer alan detay görsellerde kumaşlarda oluşturulmak istenen kanallı yapılar kolaylıkla görülebilmektedir.



(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 4.13. (a) T920 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



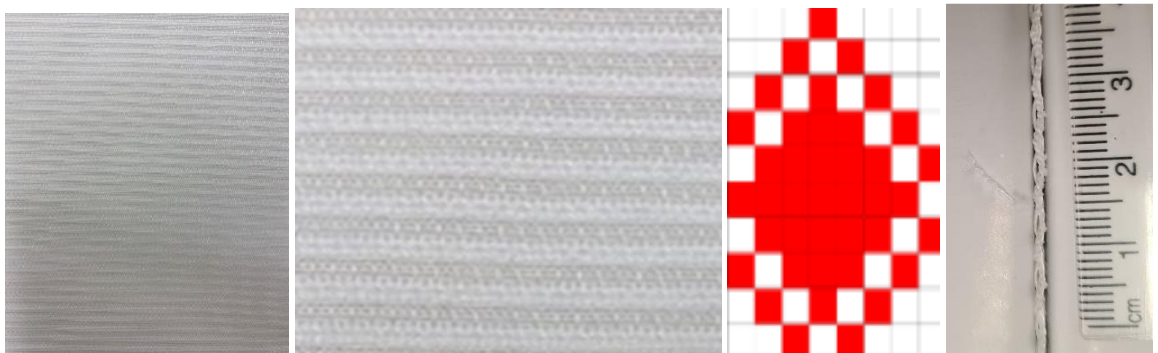
(a) (b) (c) (d)

Şekil 4.14. (a) T921 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



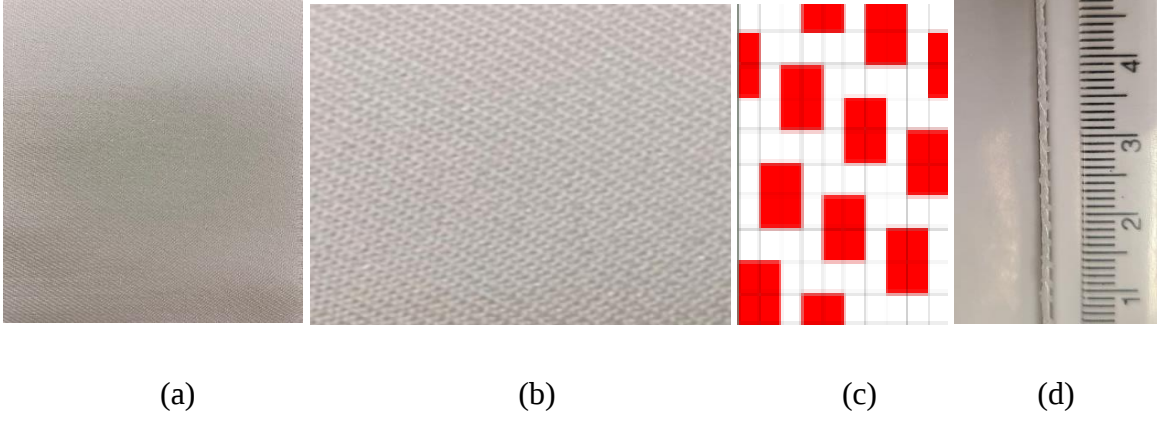
(a) (b) (c) (d)

Şekil 4.15. (a) T922 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit

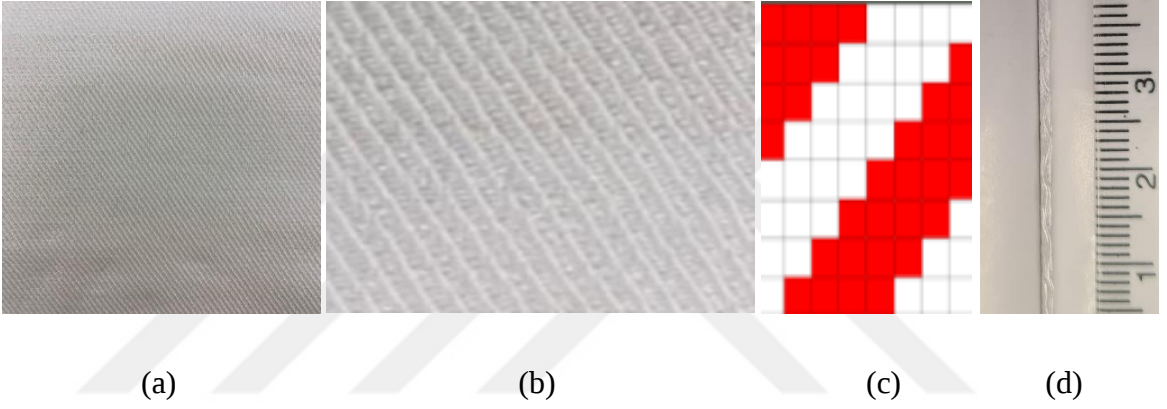


(a) (b) (c) (d)

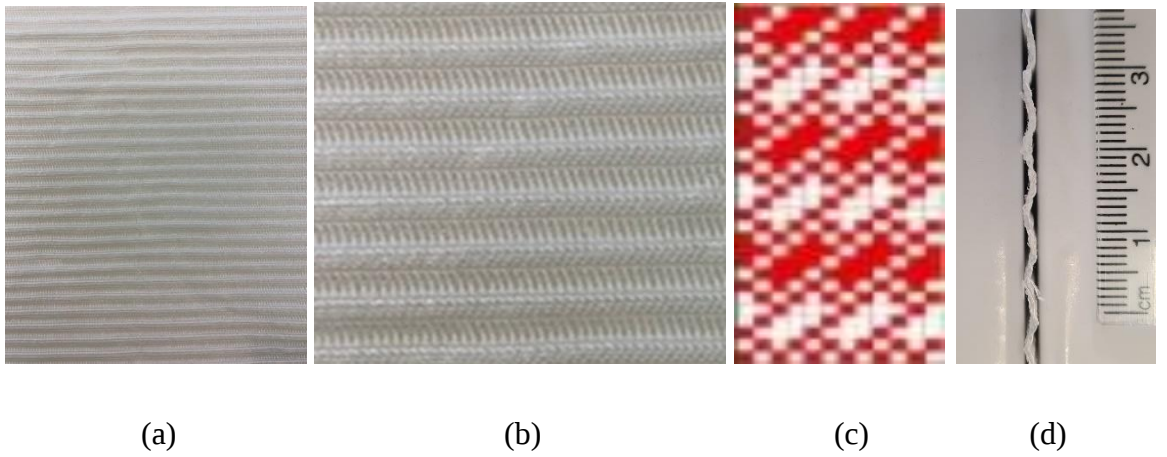
Şekil 4.16. (a) T923 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



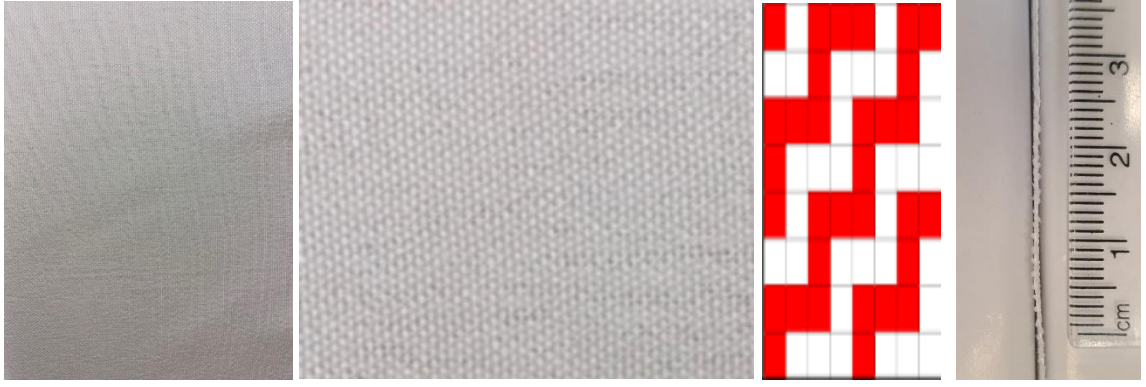
Şekil 4.17. (a) T924 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



Şekil 4.18. (a) T925 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



Şekil 4.19. (a) T926 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



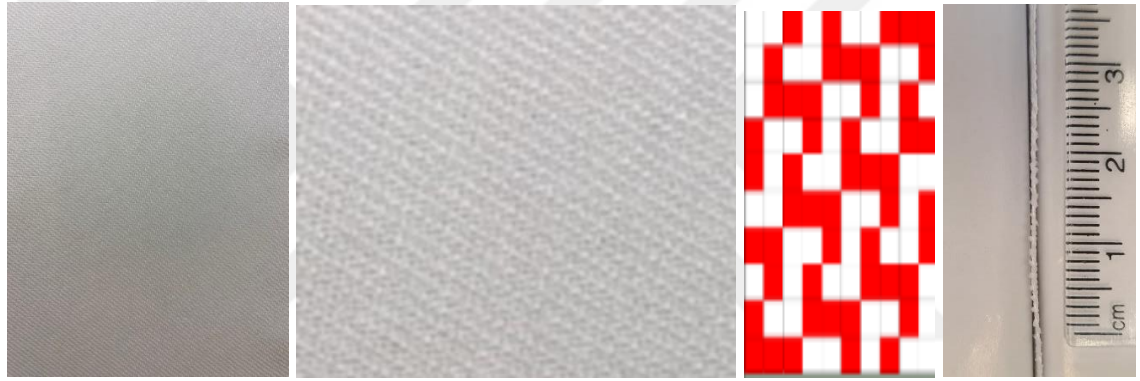
(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 4.20. (a) T927 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



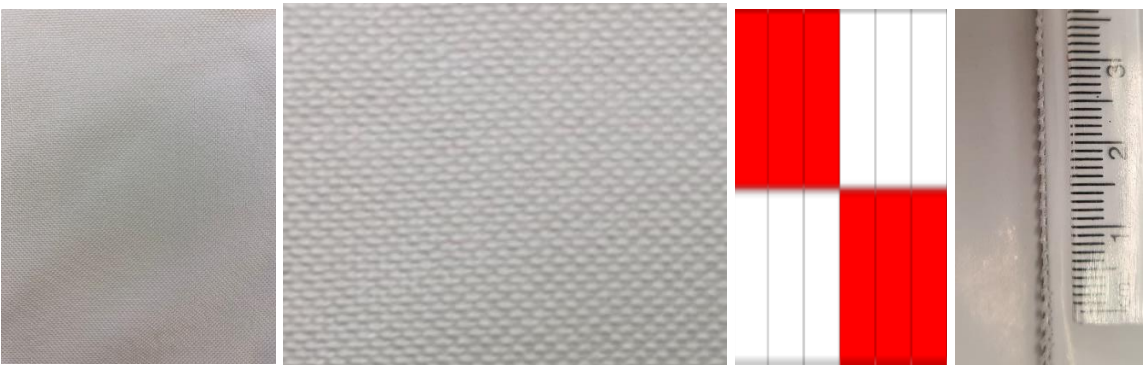
(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 4.21. (a) T928 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



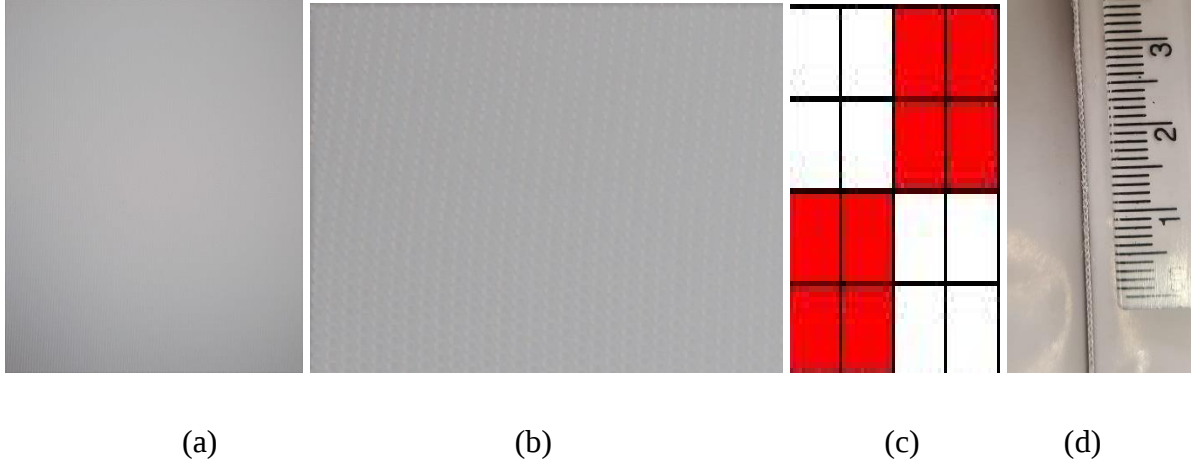
(a)

(b)

(c)

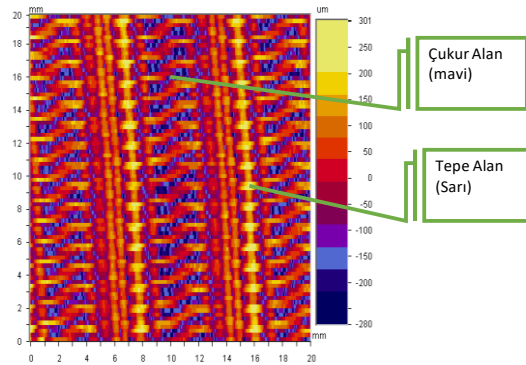
(d)

Şekil 4.22. (a) T929 Kodlu Kumaş, (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit



Şekil 4.23. (a) Standart Yelken Kumaşı (SYK) (b) Detay Görüntü (c) Örgü Yapısı, (d) Kesit

Dokunan kumaşlar tüberkül yapılarına göre değerlendirildiğinde, T926, T921 T920 ve T923 kodlu kumaşlar en belirgin tüberkül (kanallı) yüzey yapısına sahip kumaşlar olarak görülmektedir. Bu konstrüksiyonların tüberkül yapıları incelendiğinde, tepe ve çukur noktalar arası mesafe en yüksek, kanal genişliği en yüksek ancak kanal tekrar sayısı birim uzunlukta (20 mm) en düşüktür. T928 no'lu kumaş tüberkül yüzey yapısına sahip, tepe ve çukur noktalar arası mesafe düşük ve kanal tekrar sayısı en fazla olan kumaş yapısına sahiptir. Tepe ve çukur noktalar arası mesafe tayini için profilometre ile yapılan ölçümlerden faydalanılmıştır (Şekil 4.24). Profilometre tepe-çukur nokta ölçüm frekansı $\pm 350 \mu\text{m}$ 'dir. Yani $700 \mu\text{m}$ 'lik bir yükseklik farkı ölçülebilmektedir ki bizim kumaşlarımız için yeterlidir. Yükseklik farkı hesaplamalarında görsel olarak renklerin karşılık geldiği nanometre değerleri okunarak tepe ve çukur nokta yerleri belirlenmiştir. Bu hesaplama 2 farklı kişi ve 2 tekrarlı olarak yapılmış, ortalama değerler kullanılmıştır. Ham kumaşlar üzerinden lup (büyüteç) kullanılarak yapılan sıklık sayımları ise Çizelge 4.12'de gösterilmiştir. Fiili sıklıklarla beraber, atkı ve çözgü örtme faktörü ve kumaş toplam örtme faktörü de aynı çizelgede gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Profilometre yüzey tepe ve çukur yerlerin gösterimi

T920 no'lu kumaşın örgüsü etamin örgüye dayanan armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 16 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı %14,2 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde belirgin bir şekilde kanallı yapının oluştuğu gözlenmektedir. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 8 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 300 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde tam bir kanallı (tüberkül) yapı oluşmuştur.

T921 no'lu kumaşın örgüsü panama örgüden türetilmiş armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 17 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı %21,4 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde belirgin bir şekilde kanallı yapının oluştuğu gözlenmektedir. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 6 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 350 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde tam bir kanallı yapı oluşmuştur.

T922 no'lu kumaşın örgüsü panama örgüye dayanan armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 14 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı gerçekleşmemiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde kanallı yapının görülmekle beraber, orta seviye tepe-çukur nokta farkı mevcuttur. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 8 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 200 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde arzu edilen kanallı yapı oluşmamıştır.

T923 no'lu kumaşın örgüsü etamin örgüden türetilmiş armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 13 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 12 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı % 8,3 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde belirgin bir şekilde kanallı yapının oluştuğu gözlenmektedir. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 6 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 250 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde arzu edilen kanallı yapı oluşmamıştır.

T924 no'lu kumaşın örgüsü dimi örgüye dayanan armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 14 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı gerçekleşmemiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde

kanallı yapının görülmekle beraber, düşük seviye tepe-çukur nokta farkı mevcuttur. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 12 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 100 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde arzu edilen kanallı yapı oluşmamıştır.

T925 no'lu kumaşın örgüsü dimi örgüye dayanan D 4/4 örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 15 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı % 7,1 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde kanallı yapının görülmekle beraber, orta seviye tepe-çukur nokta farkı mevcuttur. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 8 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 150 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde arzu edilen kanallı yapı oluşmamıştır.

T926 no'lu kumaşın örgüsü balıksırtı örgüden türetilmiş armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 17 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı %21,4 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde belirgin bir şekilde kanallı yapının oluştuğu gözlenmektedir. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 6 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 400 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde tam bir kanallı yapı oluşmuştur.

T928 no'lu kumaşın örgüsü dimi örgüye dayanan armürlü örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 15 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 14 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı % 7,1 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde kanallı yapının görülmekle beraber, düşük seviye tepe-çukur nokta farkı mevcuttur. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 32 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafe 75 µm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde arzu edilen kanallı yapı oluşmamıştır.

T929 no'lu kumaşın örgüsü ribs örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 11 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 10 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı % 10 olarak gerçekleşmiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde kanallı yapı görülmemektedir, çok düşük seviye tepe-çukur nokta farkı mevcuttur. Birim uzunluktaki (20 mm) kanal sayısı 40 olarak sayılmıştır. Her bir kanalın tepe ve çukur noktaları arasındaki

mesafe 50 μm olarak hesaplanmıştır. Üstten görüntü ve kesit görüntüsü incelendiğinde arzu edilen kanallı yapı oluşmamıştır.

SYK standart yelken kumaşının örgüsü panama örgüdür. Ham kumaş atkı sıklığı 15 atkı/cm olarak ölçülmüştür. Konstrüksiyon 15 atkı/cm sıklıkta dokunmuş olup, ham kumaşta atkı sıklığı artışı gerçekleşmemiştir. Ham kumaş yüzey görüntüsü incelendiğinde kanallı yapı görülmemektedir. Tepe-çukur noktaları arası fark yoktur. Tüm kumaşlara ait veriler çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tüberkül yapının sayısal ve görsel değerlendirmesi

Kumaş Kodu	Kanal Derinliği (μm)	Tekrar Sayısı	Kanal Derinliği Tekrar Sayısı	Tüberkül Belirginliği Görsel Değerlendirme	Konstrüksiyon (Teorik)				Ham Kumaş (Fiili)				ΣC_R	Yİ
					Örgü Tipi	Çözü Sıklığı	Atkı Sıklığı	Örtme Faktörü	Çözü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Örtme Faktörü	Atkı Sıklığı % değişim		
T-920	275	8	2200	80	Etamin	30	14	24,36	31	16	25,15	14,29%	20,2	1,190
T-921	375	6	2250	90	Panama	30	14	24,36	31	17	25,36	21,43%	20,8	1,199
T-922	200	8	1600	70	Panama	30	14	24,36	31	14	24,72	0,00%	19,8	1,166
T-923	225	6	1350	70	Etamin	30	12	23,88	31	13	24,51	8,33%	18,4	1,179
T-924	100	12	1200	50	Dimi	30	14	24,36	31	14	24,72	0,00%	17,8	1,159
T-925	150	8	1200	40	Dimi	30	14	24,36	31	15	24,94	7,14%	14,8	1,122
T-926	400	6	2400	100	Balıksırtı	30	14	24,36	31	17	25,36	21,43%	21,4	1,193
T-928	60	32	1920	70	Dimi	30	14	24,36	31	15	24,94	7,14%	20,0	1,189
T-929	40	40	1600	50	Ribs	30	10	23,41	31	11	24,09	10,00%	20,8	1,177

Fiili örtme faktörleri yüksek olan kumaşların (T926, T921 T920, T923ve T928 kodlu kumaşlar) ΣC_R değerleri de yüksektir. Kanal derinliği ve tekrar sayısı çarpım sonucu ile ΣC_R arasındaki korelasyon sonucu 0,814’dür. Aynı şekilde görsel değerlendirme sonuçları ile ΣC_R arasındaki korelasyon sonucu 0,735’dur.

Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere kanallı yüzey yapılarının oluşturulması ile birim alandaki yüzey alanına bağlı olarak yüzey indeksi (Yİ) artmaktadır. Kanal derinliği ve tekrar sayısı çarpımı ile elde edilen çarpım sonucu değerinin yüzey indeksi ile arasındaki korelasyon 0,801 çıkmıştır. Görsel değerlendirme, kumaş kesit ve yüzey görüntüleri referans alınarak 2 farklı kişi ve 2 farklı zamanda tüberkül yapının gözle değerlendirmesidir. 100’lük skala ve 10’arlı basamaklandırma kullanılarak en belirgin tüberkül yapının 0 (en düşük) ile 100 (en yüksek) arasında değerlendirilmesi ile uygulanmıştır. Kişi bazlı elde edilen sonuçların ortalaması kullanılmıştır. Tüberkül yapının görsel değerlendirmesi ile yüzey indeksi arasındaki korelasyon çalışmasında, korelasyon değeri olarak 0,816 değeri elde edilmiştir. Böylelikle yapılan değerlendirme yöntemlerinin kabul edilebilir sonuçlar oluşturduğu görülmektedir.

Yüzey indeksi ile dokuma çekmesi sonucu oluşan ham kumaş atkı sıklığının yüzdesel artışı ile arasındaki korelasyon 0,60'dır. Ham kumaşta dokuma çekmesi, kumaş yüzeyinde kanallı yapı oluşumunu kısmen desteklemektedir. Nitekim en fazla atkı sıklığı artışı T920, T921 ve T926 kodlu kumaşlarda gerçekleşmiş ve bu kumaşların gözle yapılan kontrollerinde en belirgin kanallı yapıya sahip oldukları görülmüştür.

Yüzey indeks değeri kumaş yüzeyindeki kanalların derinliği ve tekrar sıklığı ile ilişkili olup, tüberkül yapıyı gösteren sayısal bir veridir. Yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar, kumaş yüzeyi ve kesit görüntüleri, yüzey indeksi sonuçları ile örtüşmektedir.

4.4. Yelken Kumaşlarının Rutin Performans Test Sonuçları

Bu tez çalışmasında geliştirilen yelken kumaşlarına terbiye işlemlerinden sonra öncelikle rutin performans testleri uygulanmış ve test sonuçları Çizelge 4.2 ve 4.3'de verilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere kumaşların tamamı standart olarak sahip olması gereken minimum test sonuçlarının oldukça üzerinde performansla sahiptir. Kumaşlara ayrıca patlama mukavemeti testi de uygulanmış olup, kumaşların hiçbiri patlamamıştır. Çizelge 4.3'de Test süresi sonunda elde edilen basınç değerleri verilmiştir. Benzer şekilde kopma mukavemeti testi sırasında kumaşlarda kopma gözlenmemiştir. Öte yandan T926 ve SYK kodlu kumaşların hava geçirmediği ve bu parametreye göre en iyi değerlere sahip oldukları gözlenmiştir.

Çizelge 4.3. Rutin performans testlerine ait sonuçlar

Kumaş Kodu	Gramaj (g/m ²)	Hava Geçirgenliği (mm/s)	Kopma Mukavemeti (N)	Patlama Mukavemeti (kPa)	Dikiş Açma Kuvveti (N)	Su İticilik	Yıkama Haslığı	Boyutsal Sabitlik (%)	Deniz Suyuna Karşı Haslık
T920	381	19	>2000	2.275	365	90	4-5	0,2	4-5
T921	370	22	>2000	2.335	280	90	4-5	0,1	4-5
T922	357	15	>2000	2.225	400	90	4-5	0,2	4-5
T923	358	14	>2000	2.698	347	90	4-5	0,1	4-5
T924	369	18	>2000	2.719	423	90	4-5	0,2	4-5
T925	370	8	>2000	2.360	412	90	4-5	0,2	4-5
T926	374	0	>2000	2.944	398	90	4-5	0,2	4-5
T928	365	6	>2000	2.786	387	90	4-5	0,1	4-5
T929	365	15	>2000	2.879	379	90	4-5	0,1	4-5
SYK	369	0	>2000	2.632	369	90	4-5	0,1	4-5

Çizelge 4.4'te ise yapılan UV yaşlandırma testi ve sonrasında uygulanan mukavemet ve renk değişimi testlerine ait sonuçlar görülmektedir. Spektrofotometre ile yapılan Berger indeks beyazlık ölçümlerinde, uygulanan yaşlandırma testi sonucunda kumaşlarda herhangi bir

sararma gözlenmemiştir. Ayrıca test sonuçlarından görüleceği üzere herhangi bir mukavemet düşüşü de meydana gelmemiştir. Testler sonucunda kumaşların maksimum ölçüm sınırlarının çok üzerinde mukavemet değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Geliştirilen kumaşların standart SYK kodlu kumaşa göre olan renk farklılığı için aynı zamanda ΔE ölçümü de yapılmıştır. Bu ölçüme göre en yüksek Berger değeri yani en yüksek beyazlık düzeyi sırasıyla T926, T928 ve T929 kodlu numunelere aittir. Bu kumaşların aynı zamanda ΔE ölçümleri de Standart SYK numunesine göre yapılmıştır. SYK kumaşının örgüsü panamadır. Genel olarak kumaş numunelerinin kendi aralarında hem Berger indeks sonuçları hem de renk farkı sonuçları arasında fark görülmemektedir.

Çizelge 4.4. UV yaşlandırma işlemi sonucu renk ve mukavemet değişiminin test sonuçları

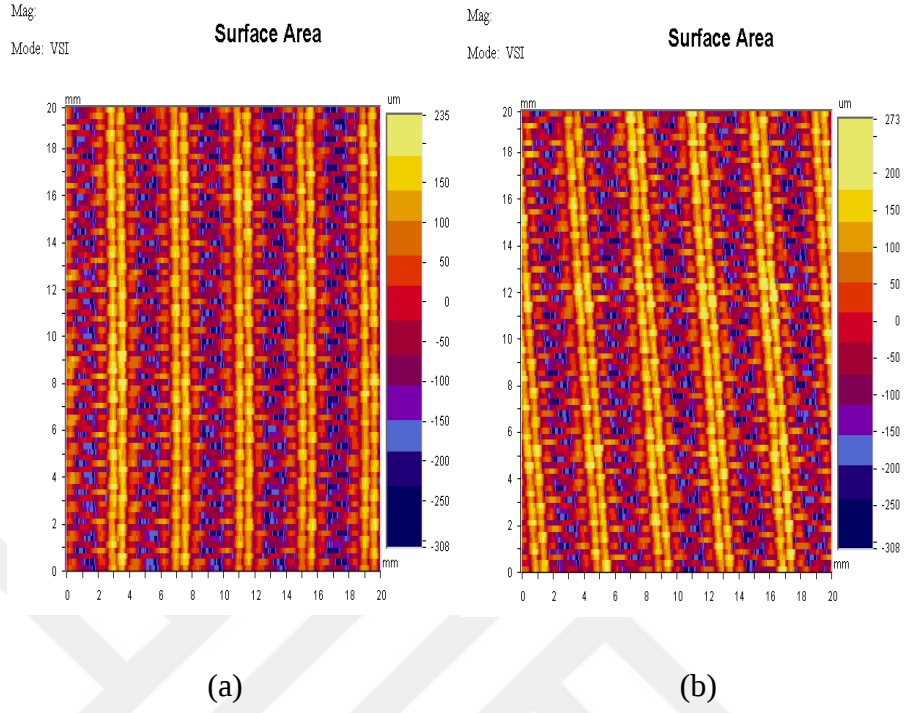
Kumaş Kodu	Beyazlık Derecesi (Berger)	ΔE	Kopma Mukavemeti (N)
T920	63	1,70	>2000
T921	63	1,71	>2000
T922	63	1,75	>2000
T923	64	1,86	>2000
T924	64	1,87	>2000
T925	64	1,88	>2000
T926	65	1,89	>2000
T928	65	1,89	>2000
T929	65	1,89	>2000
SYK	60	-	>2000

Yapılan rutin testler, geliştirilen yelken kumaşlarının gerçek koşullarda kullanıma uygun olduğunu göstermiş olup, aerodinamik performans ile ilişkili kumaş parametrelerine ait test ve analizler ile ilgili sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

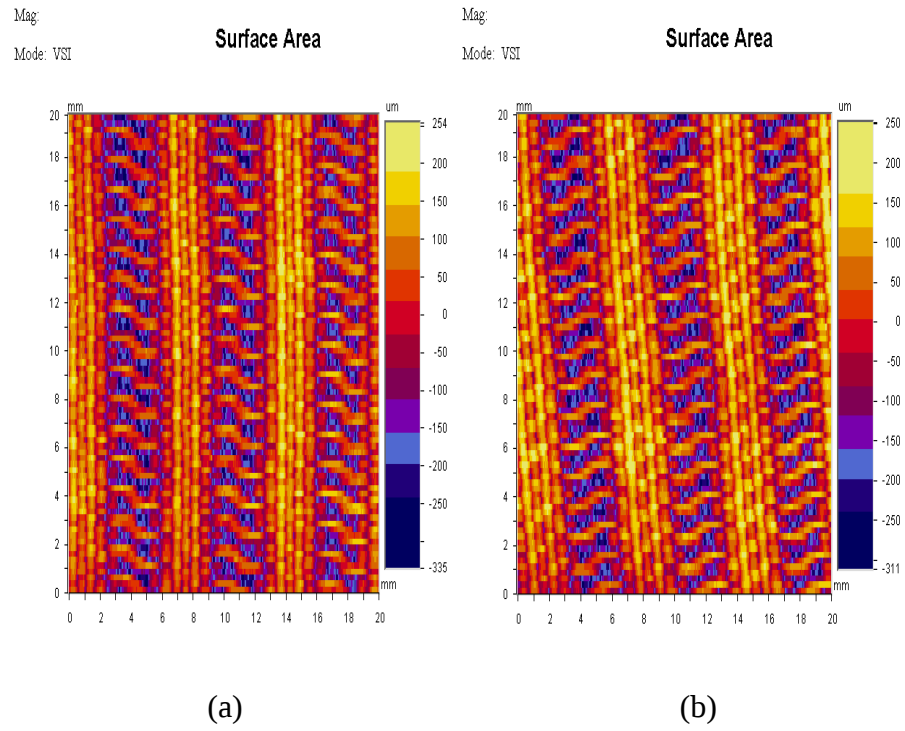
4.5. Kumaş Yüzey Alanı Ölçümü Sonuçları

Üretilen kumaşların kumaş yüzey alanları Bölüm 3.6’da belirtilen şekilde Profilometre cihazı ile ölçülmüş olup, elde edilen yüzey görüntüleri Şekil 4.25 - 4.34 arasında yer almaktadır. Dokunan standart yelken kumaşına (SYK) ait yüzey görüntüsü ise Şekil 4.34’te gösterilmiştir. Profilometre cihazından elde edilen yüzey görüntülerindeki renkler, kumaş yüzeyinde bulunan çukur alanları ya da tepe alanları göstermekte olup, sarı alanlar tepeleri, mavi alanlar ise çukurları temsil etmektedir. Kumaş ön ve arka yüzüne ait kumaş yüzey alanı ölçüm sonuçları Çizelge 4.5 ve Şekil 4.36’da toplu halde sunulmaktadır. Testlerde referans alınan düzlemsel alan (lateral area) 395,017 mm² olup, tüm numuneler için sabit bir değerdir. Profilometre ölçüm

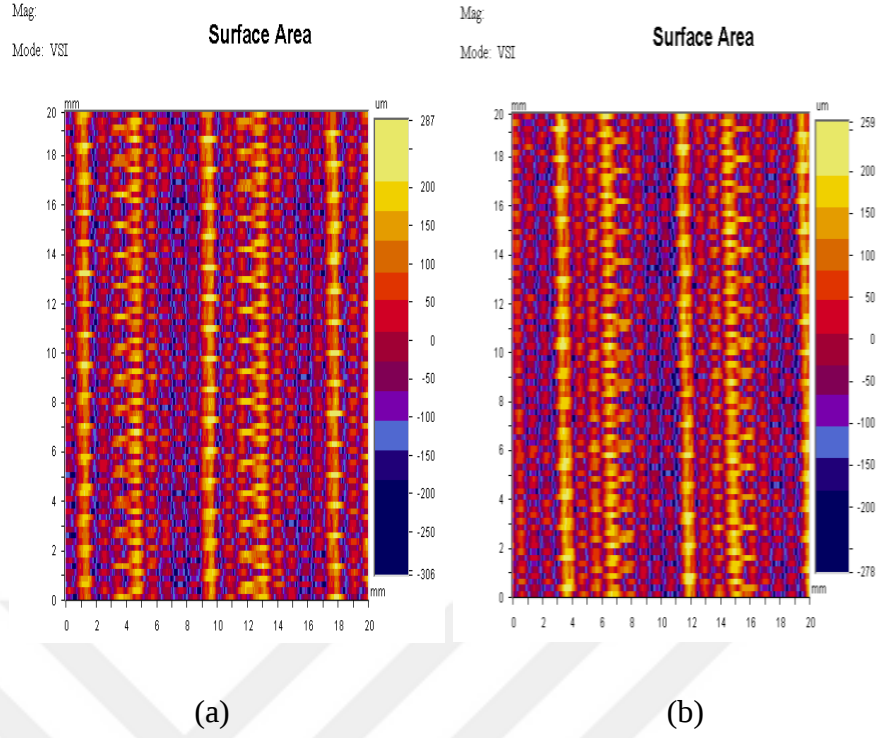
sonucunda elde edilen Yüzey İndeksi (Yİ) değeri Bölüm 3.6’da tanımlandığı gibi kumaş yüzey alanının numunelerin düzlemsel yüzey alanına oranını ifade etmektedir.



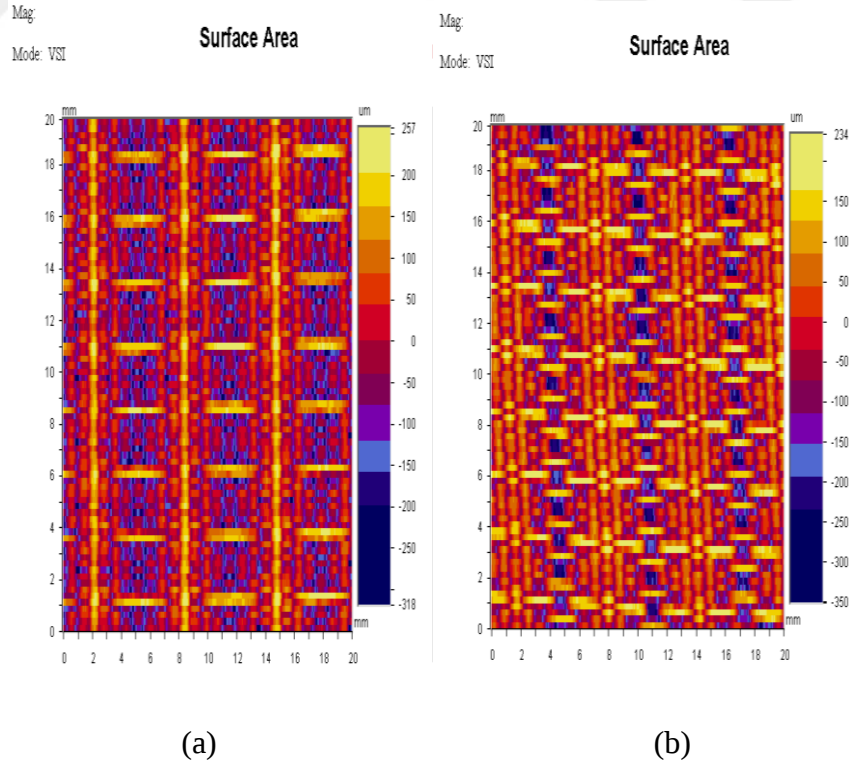
Şekil 4.25. T920 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



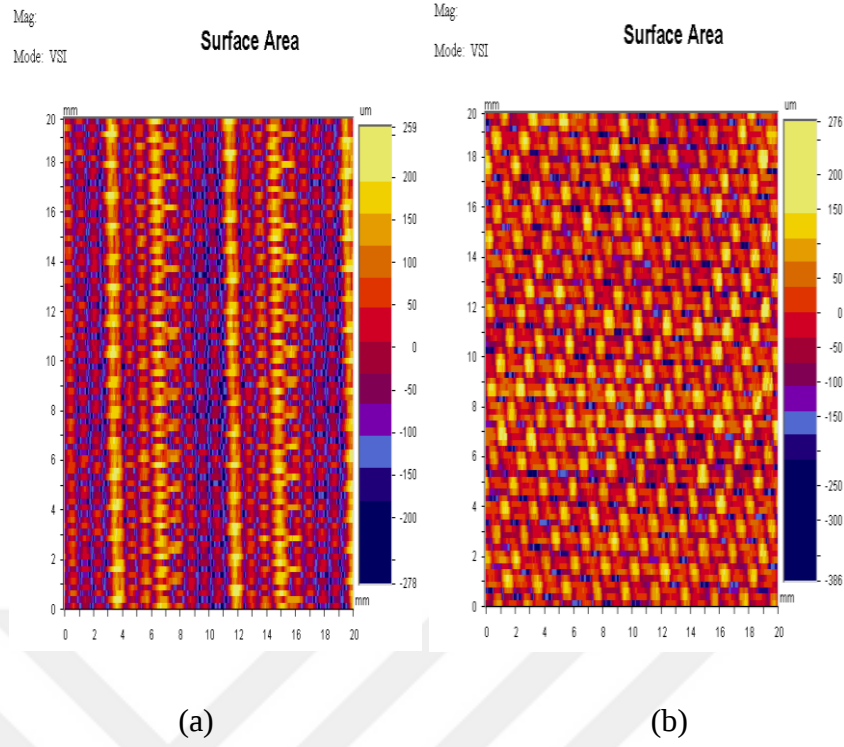
Şekil 4.26. T921 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



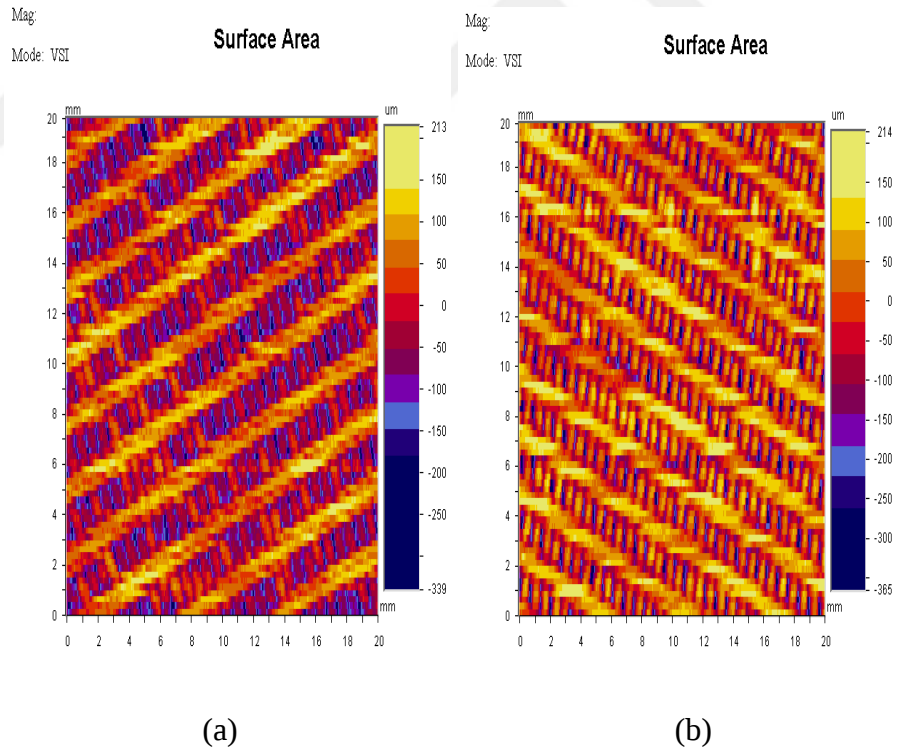
Şekil 4.27. T922 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



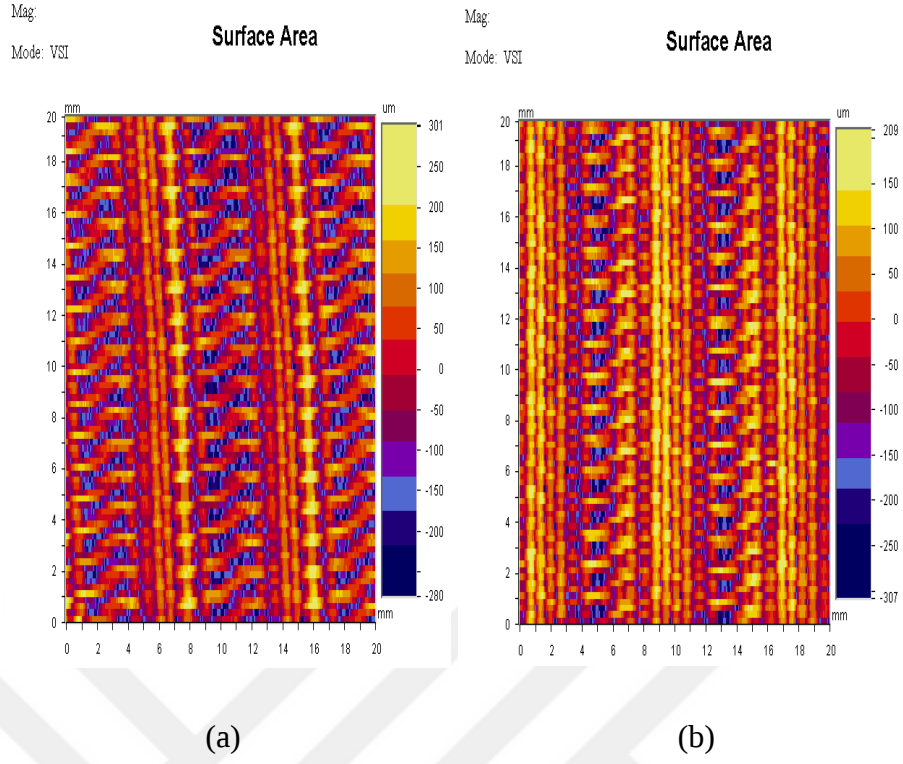
Şekil 4.28. T923 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



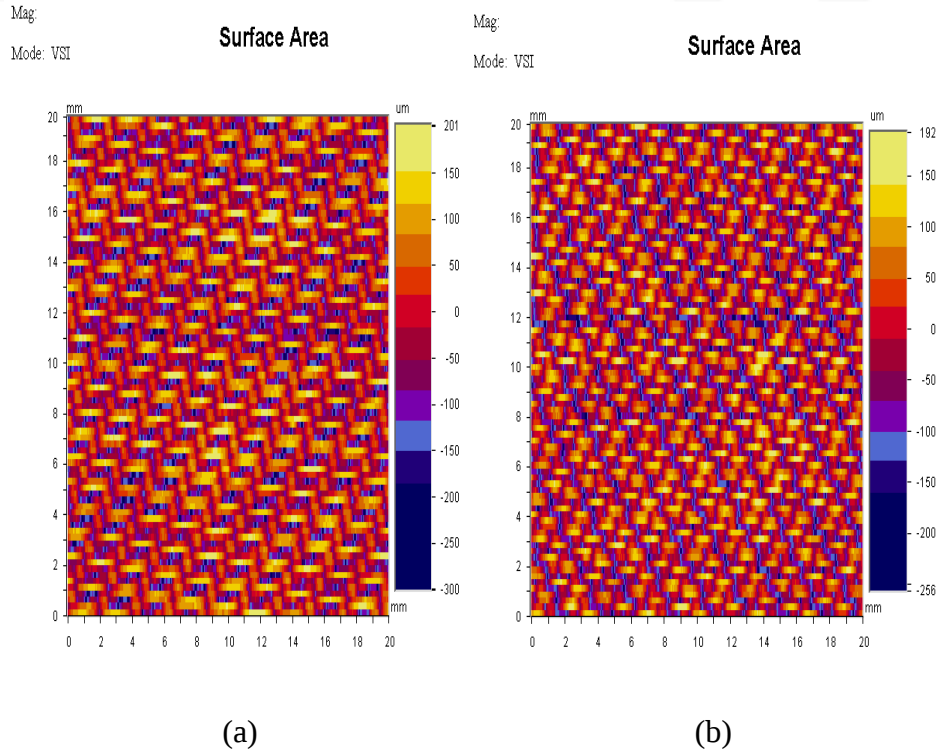
Şekil 4.29. T924 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



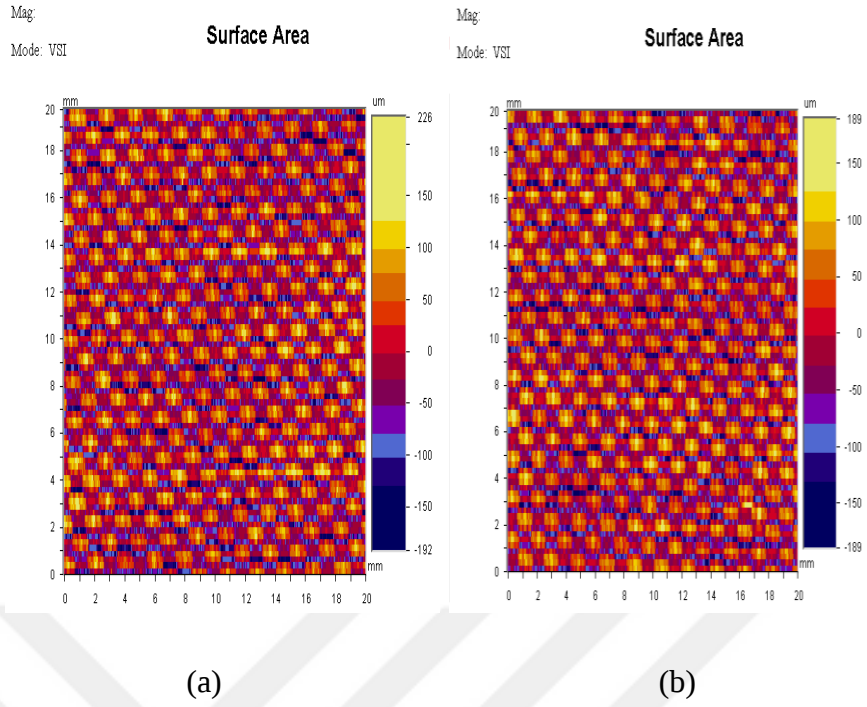
Şekil 4.30. T925 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



Şekil 4.31. T926 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü

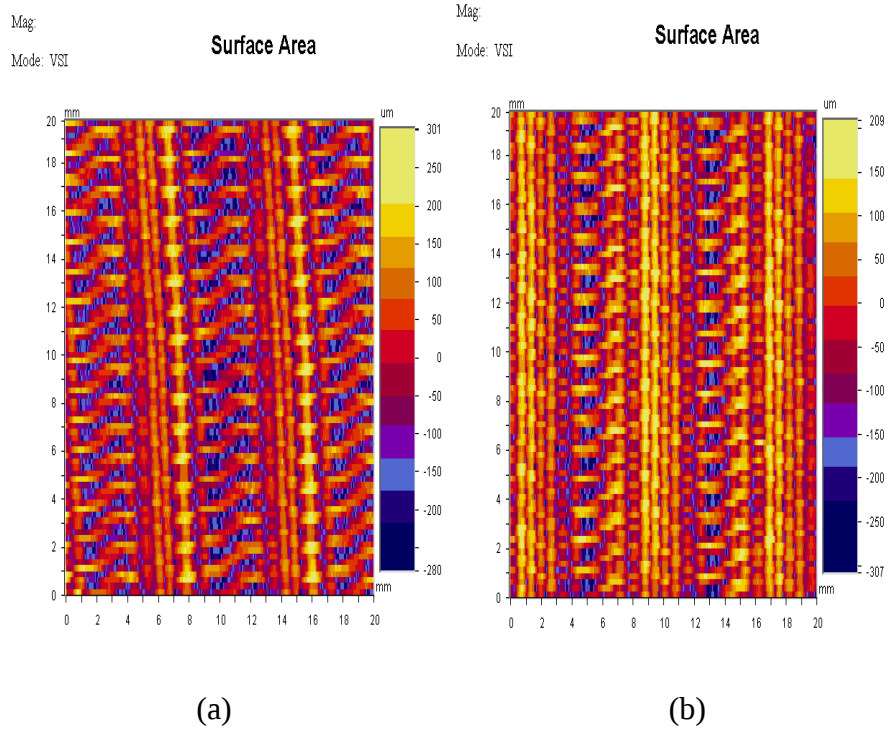


Şekil 4.32. T928 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü



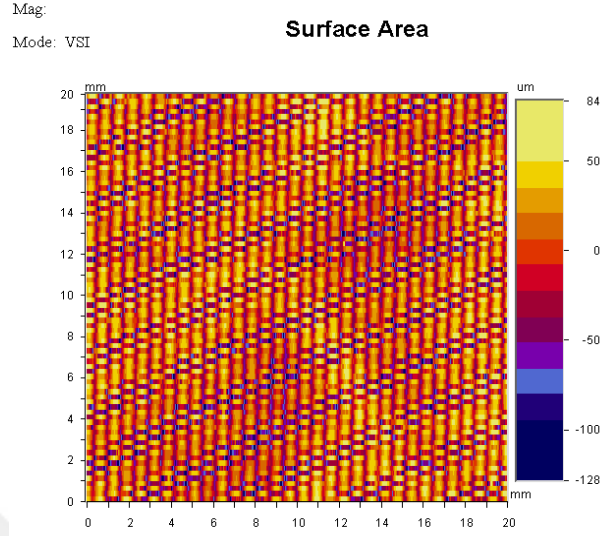
Şekil 4.33. T929 kodlu numune (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü

Şekil 4.34’de mikro lif içeren T-926M kodlu numunenin yüzey alan bilgileri verilmiş olup; mikro lif içeren kumaşın yüzey alanı ölçüm sonucu, aynı konstrüksiyona sahip T926 kodlu numuneye göre farklılık göstermemektedir.



Şekil 4.34. T-926M kodlu numunenin (a) ön yüzey ve (b) arka yüzey alanı görüntüsü

Şekil 4.35’de ise standart yelken kumaşına (SYK) ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 4.35. Standart yelken kumaş (SYK) yüzey alanı görüntüsü

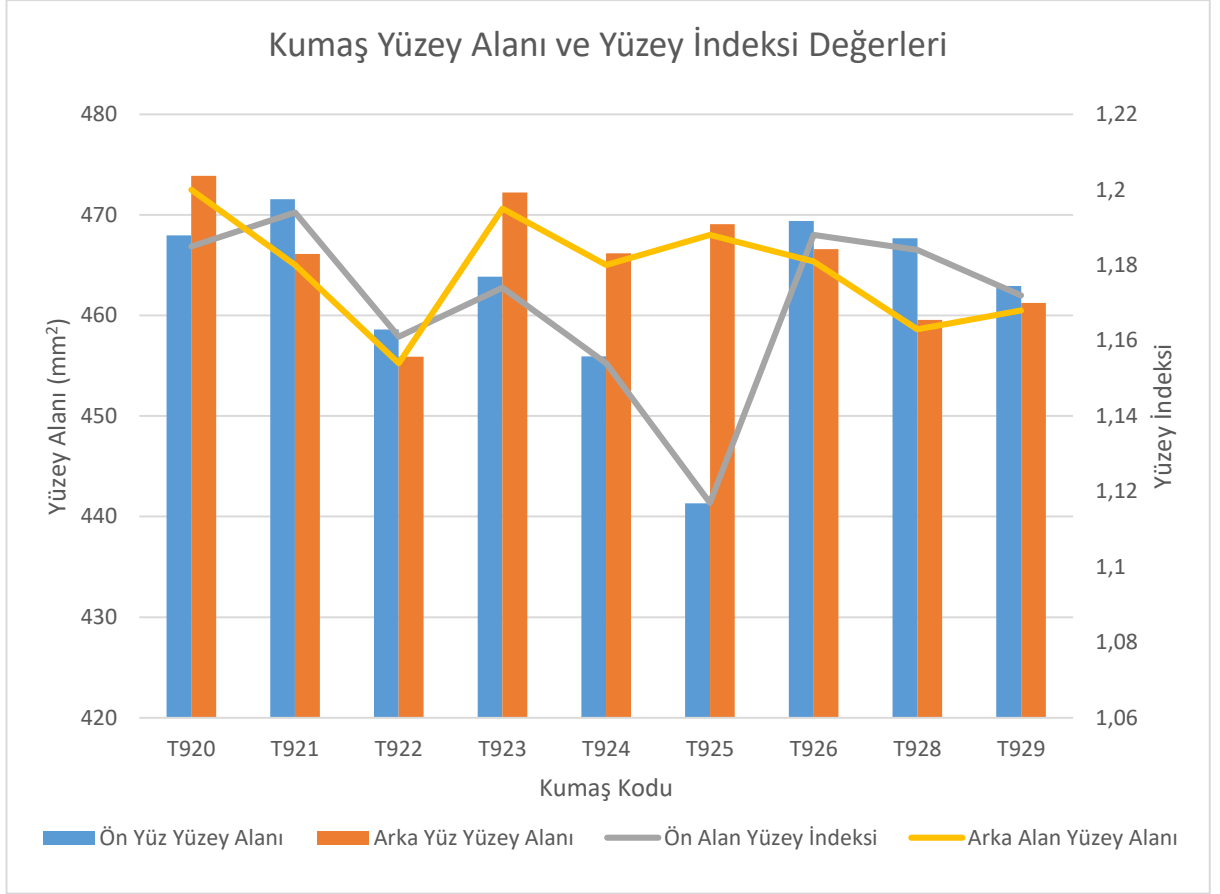
Çizelge 4.5’de yer alan ölçüm sonuçları incelendiğinde kumaş ön yüzünde yüzey alan büyüklüklerine göre T921 kodlu numunenin alanı en büyük, T925 kodlu numunenin alanı en küçüktür. T921 kodlu numuneden sonra ön yüzde en büyük yüzey alanına T926 kodlu kumaş sahiptir. Çizelge 4.5’den görüleceği üzere en büyük Yüzey İndeks değerine sahip kumaşların sırasıyla; T921, T926, T920 ve T928 no’lu numuneler olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.5. Profilometre ile ölçülen kumaş yüzey alanları ölçüm sonuçları

Kumaş Kodu	Ön Yüz Yüzey Alanı (mm ²)	Arka Yüz Yüzey Alanı (mm ²)	Ön Alan Referans Alana Göre % Fark	Ön Alan Yüzey İndeksi	Arka Alan Referans Alana Göre % Fark	Arka Alan Yüzey İndeksi
T920	467,957	473,882	19,0	1,190	20,0	1,200
T921	471,544	466,099	19,9	1,199	18,0	1,180
T922	458,612	455,900	16,6	1,166	15,4	1,154
T923	463,862	472,222	17,9	1,179	19,5	1,195
T924	455,92	466,181	15,9	1,159	18,0	1,180
T925	441,318	469,063	12,2	1,122	18,8	1,188
T926	469,394	466,599	19,3	1,193	18,1	1,181
T928	467,686	459,564	18,9	1,189	16,3	1,163
T929	462,916	461,234	17,7	1,177	16,8	1,168

Şekil 4.36’da gösterilen grafikte ön ve arka alanların birbirine göre olan durumları gösterilmiştir. Bazı desenlerin ön yüz yüzey alanları, bazılarının ise arka yüz yüzey alanlarının

daha büyük olduğu görülmektedir. Bazı desenlerin ön ve arka yüz alanları arasında ise fark yok denecek kadar azdır. T925 ve T924 de bu fark en fazla, T926 ve T929 da ise en azdır. Bu durum dokuma kumaşların örgülerinin ön ve arka yüzeyde oluşturdıkları tepe ve çukur alanların birim alandaki sayısı ve derinliği ile ilgilidir.



Şekil 4.36. Yelken kumaşı ön/arka yüz yüzey alanları ve ön/arka yüz yüzey indeksi

Çalışmada kumaşların yüzey alanlarıyla aerodinamik performansları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde, kullanım esnasında rüzgâra göre etkin konumda olan yüz olması nedeniyle kumaş ön yüzüne ait değerler esas alınmıştır. Benzer nedenle, hesaplamalarda da ön yüz Yüzey İndeks (Yİ) değerleri kullanılmıştır.

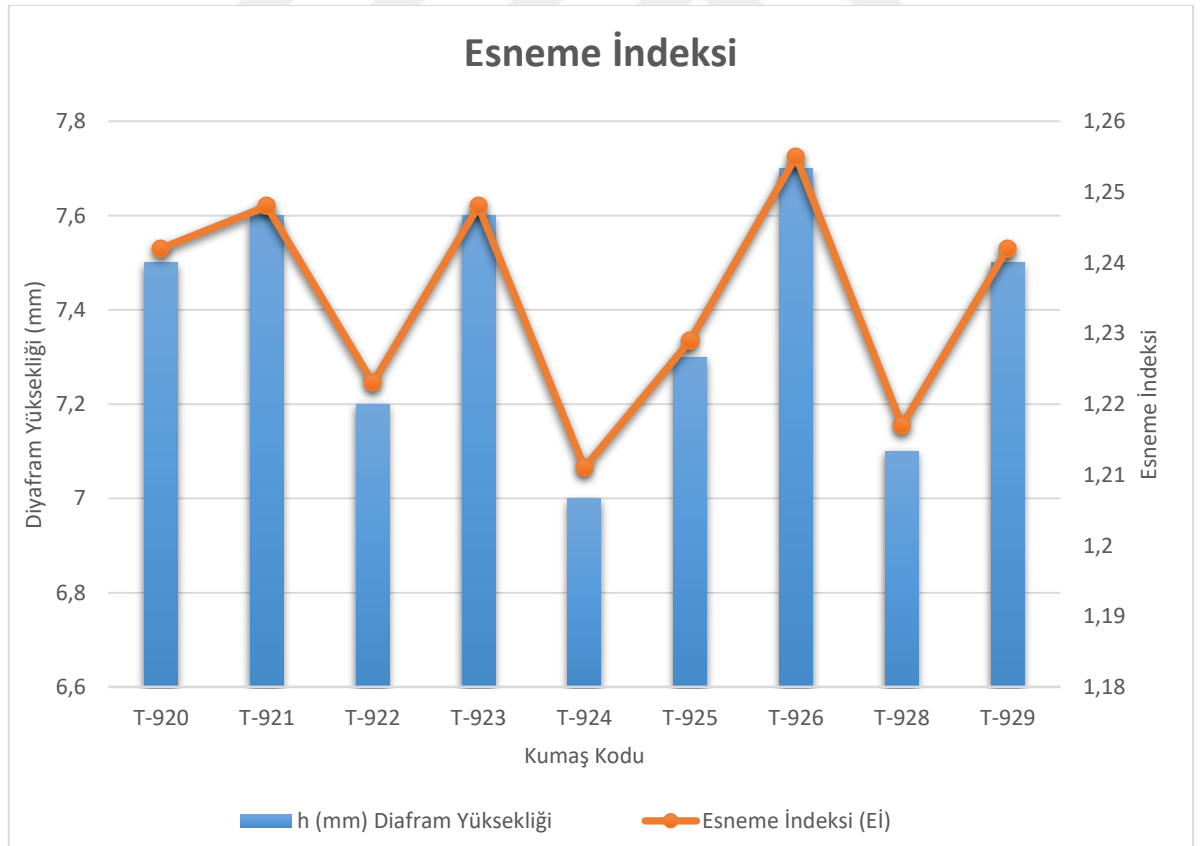
4.6. Kumaşlara Ait Esneme İndeksi (Eİ) Ölçüm Sonuçları

Bu çalışmada geliştirilen yelken kumaşlarının Esneme İndeksi (Eİ) değerlerini belirlemek için sabit basınçta diyafram yüksekliği ölçümleri, Bölüm 3.8’de belirtildiği şekilde patlama mukavemeti test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test sonuçları ve hesaplanan Esneme İndeksi (Eİ) değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Bu ölçümlere göre en yüksek sabit basınçta

diyafram yüksekliği test sonucu 7,7 mm ve esneme indeksi değeri 1,255 ile T 926, diyafram yüksekliği test sonucu 7,6 mm ve esneme indeksi 1,248 ile T 921 ve T 923 kodlu numunelere aittir.

Çizelge 4.6. Patlama mukavemet testinde elde edilen diyafram yüksekliği yardımıyla hesaplanan Esneme İndeksi değerleri

Kumaş Kodu	Basınç Değeri (kPa)	h (mm)	a (mm)	A (mm ²)	A _R (mm ²)	Alan Artışı (%)	Esneme İndeksi
T-920	2035	7,5	15,25	907,3	730,6	24,2	1,242
T-921	2006	7,6	15,25	912,0	730,6	24,8	1,248
T-922	2006	7,2	15,25	893,5	730,6	22,3	1,223
T-923	2006	7,6	15,25	912,0	730,6	24,8	1,248
T-924	2004	7,0	15,25	884,5	730,6	21,1	1,211
T-925	2006	7,3	15,25	898,0	730,6	22,9	1,229
T-926	2003	7,7	15,25	916,9	730,6	25,5	1,255
T-928	2007	7,1	15,25	889,0	730,6	21,7	1,217
T-929	2005	7,5	15,25	907,3	730,6	24,2	1,242



Şekil 4.37. Kumaşlara ait diyafram yüksekliği ve esneme indeksi (Eİ) değerleri

Şekil 4.37’de kumaşlara ait diyafram yüksekliği ve Esneme İndeksi (EI) değerleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde en yüksek esneme indeksi değerine sahip kumaşların sırasıyla T926, T921 ve T923 kodlu numuneler olduğu görülmektedir.

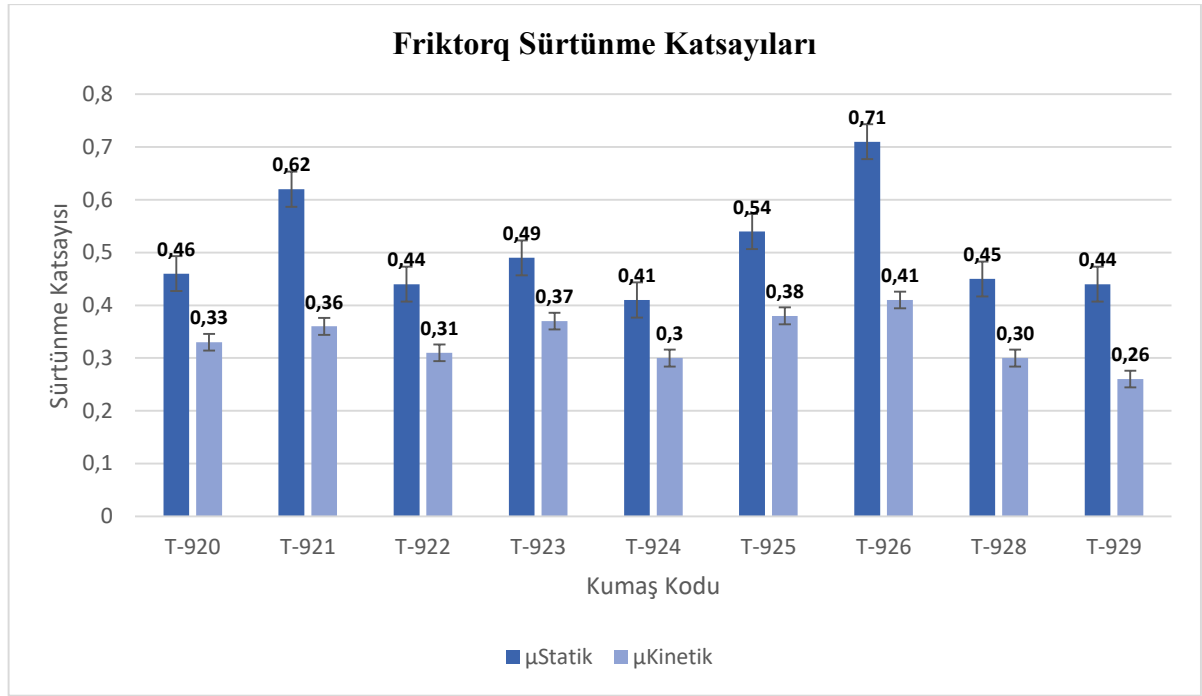
4.7. Kumaşlara Ait Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı Ölçüm Sonuçları

Geliştirilen kumaş yapılarına ait statik ve kinetik sürtünme katsayısı test sonuçları Çizelge 4.7 ve Şekil 4.38’de verilmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre statik sürtünme katsayısı en yüksek çıkan tasarımlar T926 ve T921 kodlu numunelerdir. Kinetik sürtünme katsayıları dikkate alındığında benzer şekilde T926 ve T921 kodlu numunelerin en yüksek değerlere sahip oldukları görülmektedir.

Çizelge 4.7. Kumaşlara ait ortalama statik ve kinetik sürtünme katsayıları

Kumaş Kodu	Sürtünme Katsayısı	
	μ_{statik}	μ_{kinetik}
T-920	0,46	0,33
T-921	0,62	0,40
T-922	0,44	0,31
T-923	0,49	0,37
T-924	0,41	0,30
T-925	0,54	0,38
T-926	0,71	0,41
T-928	0,45	0,30
T-929	0,44	0,26

Şekil 4.38’de verilen grafikte görüleceği üzere statik sürtünme katsayısı arttıkça kinetik sürtünme katsayısı da artmaktadır. Ancak kinetik sürtünme katsayısının değerleri belirgin şekilde daha düşüktür. Statik ve kinetik sürtünme katsayılarının arasındaki korelasyon 0,83 düzeyinde olup, bu değer aralarında kuvvetli bir korelasyonun olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.38. Kumaşlara ait statik ve kinetik sürtünme katsayıları

Statik sürtünme katsayısı hareket başlayıncaya kadar maksimum düzeyde rüzgâr yakalanmasına yardımcı olmaktadır. Maksimum düzeyde rüzgâr yakalamak maksimum düzeyde başlangıç hızını getirecektir. Yani başka bir ifade ile V_0 hızı yüksek olacaktır. Kinetik sürtünme katsayısının yüksek olması ise hareketin devamlılığını sağlaması açısından önemlidir.

4.8. Rüzgâr Tüneli Testlerinden Elde Edilen Sonuçlar

4.8.1. Yelken Kumaşlarına Ait Aerodinamik Sürtünme Katsayısı Sonuçları

Aerodinamik sürtünme katsayısı ölçümleri için kapalı devre ses altı rüzgâr tüneli kullanılarak ölçülen C_D sürüklenme katsayıları ve C_L taşıma katsayıları sonuçları Çizelge 4.8 ile Çizelge 4.24 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.8. T920 kodlu numunenin hızı ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T920)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,090	0,086	0,099	0,083	0,091
0	0,0771	0,0746	0,0922	0,0784	0,0808
5	0,0807	0,0762	0,0892	0,0732	0,0714
10	0,1030	0,0977	0,1053	0,0936	0,0903
15	0,1373	0,1335	0,1439	0,1177	0,1184
20	0,1867	0,1782	0,1949	0,1734	0,1710
30	0,2267	0,2057	0,2509	0,2134	0,2116
40	0,3151	0,2986	0,3318	0,2899	0,3039
50	0,3808	0,3887	0,4121	0,3832	0,3659
60	0,4530	0,4717	0,4917	0,4737	0,4504
70	0,5343	0,5094	0,5442	0,5181	0,5155
80	0,5800	0,5567	0,5920	0,5827	0,5633
90	0,5858	0,5857	0,6018	0,5996	0,5796

Çizelge 4.9. T920 kodlu numunenin hızı ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L-(Numune - T920)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,146	-0,141	-0,162	-0,153	-0,185
0	-0,0200	-0,0365	-0,0684	-0,0784	-0,1002
5	0,0624	0,0483	0,0483	0,0255	0,0141
10	0,3020	0,2918	0,3087	0,2748	0,2844
15	0,5444	0,5063	0,5380	0,5136	0,5688
20	0,6586	0,6432	0,7607	0,7782	0,7980
30	0,9004	0,9175	1,0148	0,9941	1,0092
40	0,7472	0,7316	0,9087	0,8421	0,8834
50	0,6471	0,6191	0,7627	0,7007	0,7093
60	0,5420	0,5261	0,6100	0,5392	0,5373
70	0,3481	0,3288	0,3858	0,3205	0,3357
80	0,1616	0,1644	0,1715	0,1602	0,1924
90	-0,0794	-0,1040	-0,1555	-0,1458	-0,0989

Çizelge 4.10. T921 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T921)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,092	0,099	0,107	0,095	0,227
0	0,1041	0,0923	0,1094	0,0984	0,0984
5	0,0926	0,0939	0,1066	0,0910	0,0893
10	0,1127	0,1148	0,1222	0,1108	0,1076
15	0,1436	0,1495	0,1595	0,1341	0,1349
20	0,1880	0,1929	0,2091	0,1882	0,1859
30	0,2240	0,2195	0,2633	0,2270	0,2253
40	0,3036	0,3096	0,3419	0,3012	0,3148
50	0,3627	0,3970	0,4197	0,3917	0,3749
60	0,5279	0,4775	0,4970	0,4795	0,4569
70	0,5868	0,5142	0,5479	0,5226	0,5200
80	0,5993	0,6130	0,5943	0,5852	0,5664
90	0,6081	0,6171	0,6038	0,6016	0,5822

Çizelge 4.11. T921 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L-(Numune - T921)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,053	-0,076	-0,102	-0,104	-0,147
0	-0,0280	-0,0435	-0,0754	-0,0844	-0,1042
5	0,0544	0,0413	0,0413	0,0195	0,0101
10	0,2940	0,2848	0,3217	0,2688	0,2804
15	0,5364	0,4993	0,5310	0,5076	0,5648
20	0,6506	0,6362	0,7537	0,7722	0,7940
30	0,8596	0,9017	1,0011	0,9100	0,9296
40	0,8122	0,8441	0,8994	0,9024	0,9157
50	0,6658	0,7009	0,9051	0,8088	0,7960
60	0,4759	0,5223	0,6250	0,6300	0,5959
70	0,2793	0,2257	0,2900	0,2999	0,2672
80	0,1133	0,0535	0,0309	0,0226	0,0266
90	-0,0040	-0,0636	-0,1379	-0,1190	-0,1140

Çizelge 4.12. T922 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T922)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,114	0,102	0,118	0,102	0,109
0	0,0754	0,0733	0,0799	0,0665	0,0739
5	0,0807	0,0694	0,0833	0,0677	0,0669
10	0,0889	0,0943	0,1168	0,0962	0,0950
15	0,1164	0,1171	0,1434	0,1133	0,1220
20	0,1663	0,1535	0,1925	0,1545	0,1654
30	0,2257	0,2017	0,2473	0,2043	0,2094
40	0,3069	0,2919	0,3127	0,2822	0,2706
50	0,4063	0,4127	0,4304	0,3884	0,3905
60	0,4667	0,4963	0,5004	0,4667	0,4614
70	0,5669	0,5654	0,5830	0,5481	0,5496
80	0,6079	0,6092	0,6224	0,6128	0,6029
90	0,6332	0,6159	0,6437	0,6229	0,6092

Çizelge 4.13. T922 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T922)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,184	-0,206	-0,280	-0,251	-0,265
0	-0,0455	0,0458	0,0388	0,0083	-0,0202
5	0,0393	0,4022	0,4212	0,3038	0,2770
10	0,2828	0,5623	0,6470	0,5908	0,6094
15	0,4973	0,6963	0,7782	0,7617	0,7608
20	0,6342	0,7292	0,8308	0,7701	0,8074
30	0,7335	0,7181	0,8131	0,7755	0,8372
40	0,7134	0,6828	0,7374	0,7424	0,7465
50	0,6276	0,6232	0,6628	0,6365	0,6709
60	0,5079	0,5010	0,5410	0,5241	0,5386
70	0,3854	0,3653	0,4115	0,3702	0,3759
80	0,1616	0,1827	0,2058	0,1879	0,2014
90	-0,0993	-0,0912	-0,0745	-0,0773	-0,0836

Çizelge 4.14. T923 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T923)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,091	0,079	0,096	0,086	0,095
0	0,0806	0,0690	0,0811	0,0711	0,0687
5	0,0925	0,0798	0,0971	0,0783	0,0752
10	0,1374	0,1170	0,1433	0,1200	0,1160
15	0,1706	0,1447	0,1769	0,1466	0,1393
20	0,2040	0,1833	0,2135	0,1763	0,1749
30	0,2638	0,2230	0,2697	0,2339	0,2314
40	0,3364	0,3164	0,3507	0,2851	0,2935
50	0,3920	0,3479	0,4157	0,3598	0,3495
60	0,4522	0,4225	0,4717	0,4299	0,4598
70	0,5042	0,5056	0,5119	0,4894	0,4944
80	0,5476	0,5297	0,5487	0,5203	0,5312
90	0,5932	0,5791	0,5946	0,5549	0,5670

Çizelge 4.15. T923 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T923)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,071	-0,074	-0,105	-0,121	-0,165
0	0,1256	0,1410	0,1257	0,1234	0,1195
5	0,3138	0,2974	0,3543	0,3022	0,3079
10	0,5185	0,4498	0,5846	0,4645	0,4852
15	0,5757	0,5995	0,6340	0,5930	0,5764
20	0,6795	0,6895	0,7247	0,6897	0,6716
30	0,7634	0,7353	0,7892	0,7321	0,7672
40	0,7272	0,6796	0,7400	0,7143	0,7259
50	0,5311	0,5600	0,6033	0,5346	0,5559
60	0,4599	0,4383	0,4794	0,4475	0,4763
70	0,2859	0,2740	0,3001	0,2873	0,2730
80	0,1368	0,1461	0,1886	0,1437	0,1701
90	-0,0960	-0,0340	-0,0658	-0,0703	-0,0775

Çizelge 4.16. T924 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T924)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,084	0,065	0,091	0,071	0,078
0	0,0788	0,0664	0,0817	0,0666	0,0660
5	0,1022	0,0837	0,1024	0,0838	0,0805
10	0,1115	0,1027	0,1132	0,1010	0,0968
15	0,1326	0,1307	0,1529	0,1404	0,1307
20	0,1884	0,1570	0,1834	0,1595	0,1587
30	0,2481	0,2114	0,2580	0,2180	0,2217
40	0,3489	0,3049	0,3583	0,2932	0,2974
50	0,4220	0,3587	0,4281	0,3754	0,3605
60	0,4556	0,4241	0,4805	0,4216	0,4247
70	0,5539	0,5224	0,5855	0,5375	0,5240
80	0,6099	0,5710	0,6250	0,5892	0,5633
90	0,6316	0,6209	0,6722	0,6436	0,5783

Çizelge 4.17. T924 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T924)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,111	-0,093	-0,152	-0,130	-0,152
0	0,0809	0,0632	0,0721	0,0525	0,0446
5	0,2799	0,2264	0,2683	0,2166	0,2027
10	0,3611	0,2933	0,4109	0,3609	0,3298
15	0,4899	0,4401	0,5194	0,4408	0,4787
20	0,6704	0,5607	0,6607	0,5531	0,5934
30	0,7892	0,7074	0,8188	0,7159	0,7400
40	0,7109	0,7043	0,7836	0,7365	0,7658
50	0,6473	0,6012	0,7007	0,6513	0,6870
60	0,4863	0,4285	0,4553	0,4581	0,4507
70	0,2859	0,2740	0,3001	0,2873	0,2730
80	0,1368	0,1461	0,1886	0,1437	0,1701
90	-0,0186	-0,0539	-0,0278	-0,0547	-0,0199

Çizelge 4.18. T925 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T925)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,083	0,072	0,084	0,070	0,070
0	0,0748	0,0575	0,0735	0,0614	0,0612
5	0,0841	0,0689	0,0871	0,0657	0,0681
10	0,1226	0,1044	0,1301	0,1110	0,1052
15	0,1630	0,1370	0,1596	0,1383	0,1246
20	0,1895	0,1574	0,1954	0,1585	0,1538
30	0,2618	0,2355	0,2727	0,2336	0,2231
40	0,3301	0,3095	0,3389	0,2946	0,2995
50	0,4170	0,3891	0,4318	0,3819	0,3617
60	0,4781	0,4678	0,4959	0,4360	0,4331
70	0,5154	0,4946	0,5307	0,4712	0,4768
80	0,5531	0,5307	0,5664	0,5027	0,4988
90	0,5400	0,5567	0,5783	0,5146	0,5315

Çizelge 4.19. T925 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T925)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,177	-0,144	-0,149	-0,111	-0,108
0	-0,0288	-0,0383	-0,0651	-0,0567	-0,0589
5	0,1243	0,0989	0,1235	0,0896	0,0848
10	0,2722	0,2600	0,3109	0,2814	0,2570
15	0,3818	0,3679	0,4283	0,3482	0,3496
20	0,4795	0,4576	0,5179	0,4679	0,4599
30	0,5848	0,5706	0,6302	0,5347	0,5374
40	0,6459	0,6051	0,6728	0,6075	0,6419
50	0,5913	0,5618	0,6152	0,5581	0,5871
60	0,4470	0,4106	0,4396	0,4141	0,4212
70	0,2859	0,2740	0,3001	0,2873	0,2730
80	0,1368	0,1461	0,1886	0,1437	0,1701
90	-0,0027	-0,0374	-0,0419	-0,0171	-0,0269

Çizelge 4.20. T926 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T926)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,096	0,082	0,097	0,079	0,080
0	0,0791	0,0591	0,0769	0,0630	0,0669
5	0,0904	0,0745	0,0912	0,0686	0,0702
10	0,1294	0,1089	0,1349	0,1082	0,0985
15	0,1801	0,1503	0,1876	0,1534	0,1507
20	0,2005	0,1686	0,2106	0,1709	0,1661
30	0,2763	0,2429	0,2752	0,2143	0,2161
40	0,3186	0,3010	0,3315	0,2733	0,2782
50	0,4098	0,3671	0,4261	0,3603	0,3604
60	0,4883	0,4598	0,5087	0,4393	0,4315
70	0,5154	0,4946	0,5307	0,4712	0,4768
80	0,5657	0,5399	0,5751	0,5083	0,5102
90	0,5854	0,5618	0,6143	0,5550	0,5501

Çizelge 4.21. T926 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T926)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,093	-0,093	-0,133	-0,121	-0,139
0	0,0978	0,0763	0,0906	0,0603	0,0413
5	0,2380	0,1930	0,2166	0,1552	0,1530
10	0,4783	0,4023	0,5146	0,4898	0,5210
15	0,7380	0,6257	0,6782	0,6475	0,7268
20	0,7278	0,7888	0,8434	0,7730	0,7803
30	0,8478	0,8123	0,9424	0,8315	0,8720
40	0,8508	0,7467	0,8994	0,7705	0,8202
50	0,7140	0,6607	0,8346	0,7781	0,7989
60	0,5486	0,5096	0,6102	0,5845	0,6441
70	0,3357	0,3653	0,3858	0,3426	0,3670
80	0,1368	0,1461	0,1886	0,1437	0,1701
90	-0,0502	-0,0649	-0,1359	-0,1111	-0,1293

Çizelge 4.22. T928 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T928)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,092	0,070	0,088	0,082	0,081
0	0,0744	0,0629	0,0780	0,0597	0,0632
5	0,0858	0,0650	0,0811	0,0715	0,0684
10	0,1157	0,0975	0,1120	0,0973	0,0938
15	0,1431	0,1176	0,1411	0,1095	0,1036
20	0,2003	0,1671	0,2075	0,1705	0,1561
30	0,2563	0,2301	0,2658	0,2206	0,2110
40	0,3126	0,2609	0,3216	0,2597	0,2689
50	0,4004	0,3408	0,4195	0,3518	0,3608
60	0,4669	0,4514	0,4933	0,4384	0,4259
70	0,5154	0,4946	0,5307	0,4712	0,4768
80	0,5657	0,5399	0,5751	0,5083	0,5102
90	0,5768	0,5623	0,6074	0,5346	0,5379

Çizelge 4.23. T928 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T928)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,089	-0,077	-0,132	-0,163	-0,115
0	0,0776	0,0590	0,0524	0,0302	0,0130
5	0,1981	0,1515	0,1806	0,1515	0,1378
10	0,3718	0,3479	0,3701	0,3699	0,4106
15	0,5457	0,5036	0,6164	0,5965	0,6342
20	0,6500	0,6242	0,7421	0,6766	0,7533
30	0,7928	0,7311	0,9118	0,8039	0,8779
40	0,7834	0,8045	0,8590	0,7615	0,8094
50	0,7394	0,6733	0,7238	0,7138	0,7466
60	0,5604	0,5762	0,6270	0,5917	0,6143
70	0,3357	0,3653	0,3858	0,3426	0,3670
80	0,1368	0,1461	0,1886	0,1437	0,1701
90	-0,1247	-0,0272	-0,1095	-0,0552	-0,1257

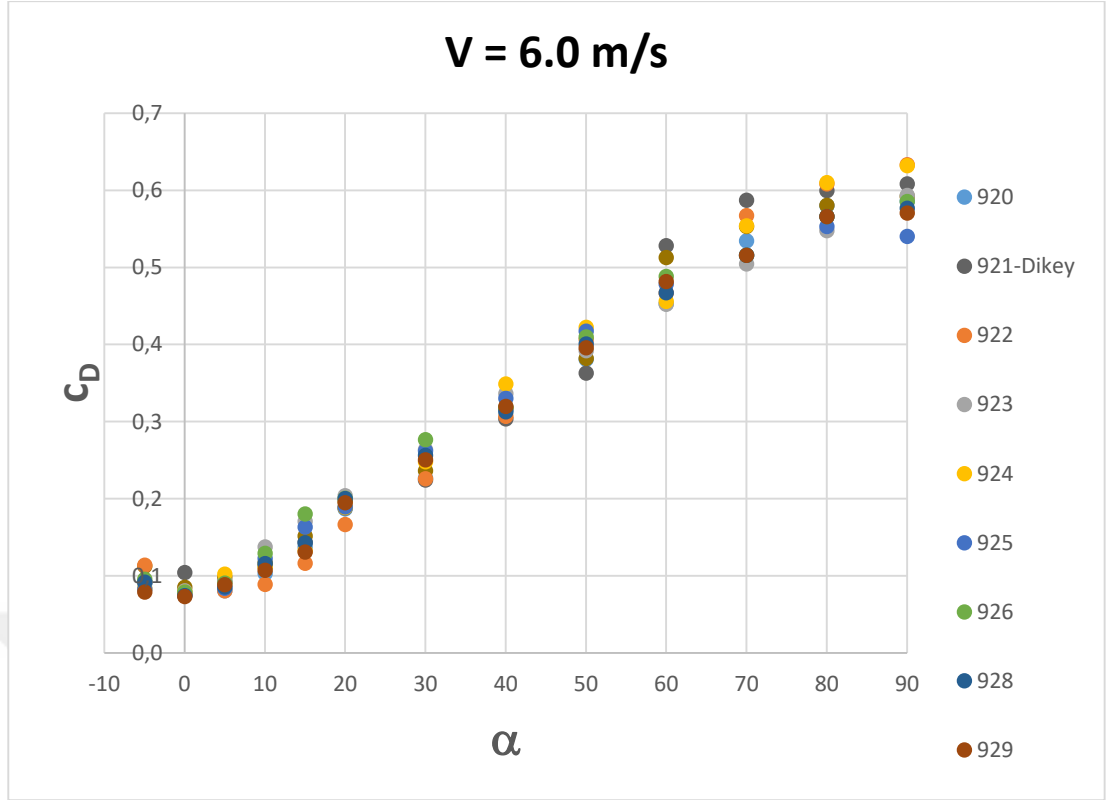
Çizelge 4.24. T929 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_D aerodinamik katsayısının değişimi

C_D -(Numune - T929)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	0,079	0,080	0,084	0,078	0,081
0	0,0730	0,0607	0,0755	0,0578	0,0618
5	0,0887	0,0679	0,0868	0,0698	0,0720
10	0,1071	0,0903	0,1022	0,0830	0,0805
15	0,1310	0,1040	0,1491	0,1274	0,1165
20	0,1947	0,1642	0,1906	0,1634	0,1597
30	0,2504	0,2020	0,2498	0,2010	0,2052
40	0,3197	0,3064	0,3405	0,2816	0,2801
50	0,3955	0,3633	0,4268	0,3699	0,3685
60	0,4817	0,4701	0,5038	0,4374	0,4438
70	0,5154	0,4946	0,5307	0,4712	0,4768
80	0,5657	0,5399	0,5751	0,5083	0,5102
90	0,5703	0,5585	0,5897	0,5157	0,5250

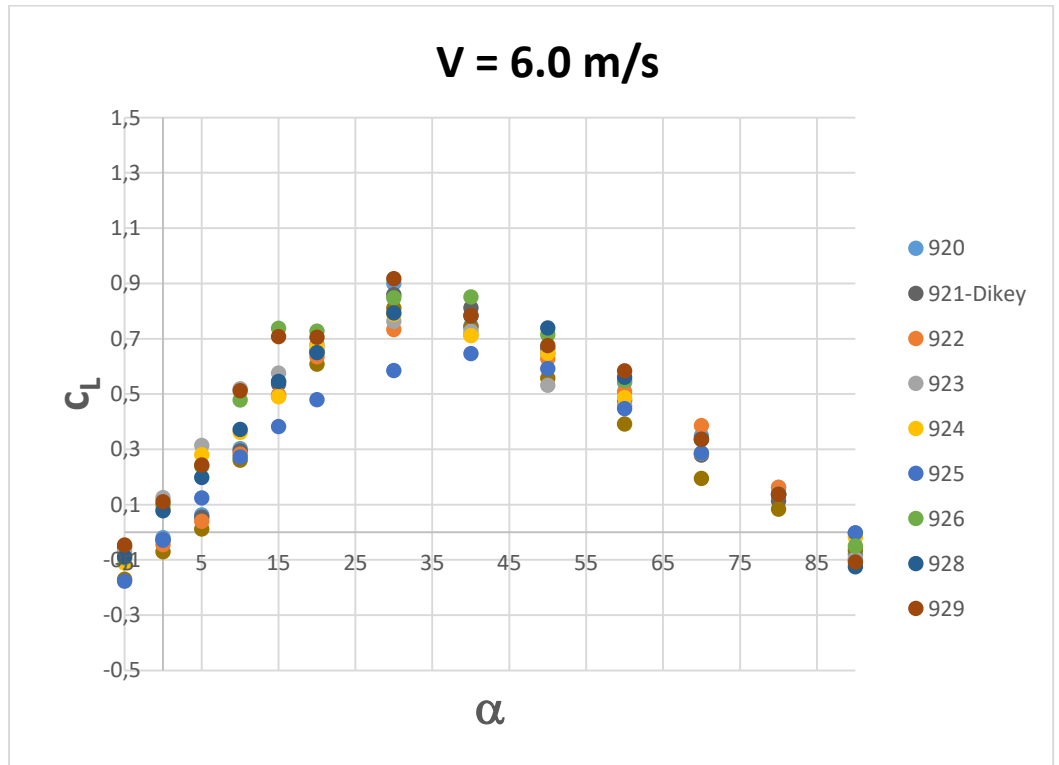
Çizelge 4.25. T929 kodlu numunenin hıza ve α açısına göre C_L aerodinamik katsayısının değişimi

C_L -(Numune - T929)					
α - V m/s	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
-5	-0,047	-0,067	-0,080	-0,107	-0,136
0	0,1095	0,0902	0,1017	0,0666	0,0558
5	0,2427	0,2636	0,3411	0,3086	0,3077
10	0,5117	0,4469	0,5145	0,4406	0,4622
15	0,7071	0,6381	0,7291	0,6469	0,6782
20	0,7055	0,7056	0,7987	0,7200	0,7278
30	0,9167	0,9043	0,8969	0,8141	0,8141
40	0,7845	0,7434	0,8119	0,7689	0,8064
50	0,6752	0,7321	0,7175	0,6757	0,7264
60	0,5838	0,5709	0,6175	0,5940	0,6005
70	0,3357	0,3653	0,3858	0,3426	0,3670
80	0,1368	0,1461	0,1886	0,1437	0,1701
90	-0,1074	-0,1015	-0,1209	-0,1111	-0,1349

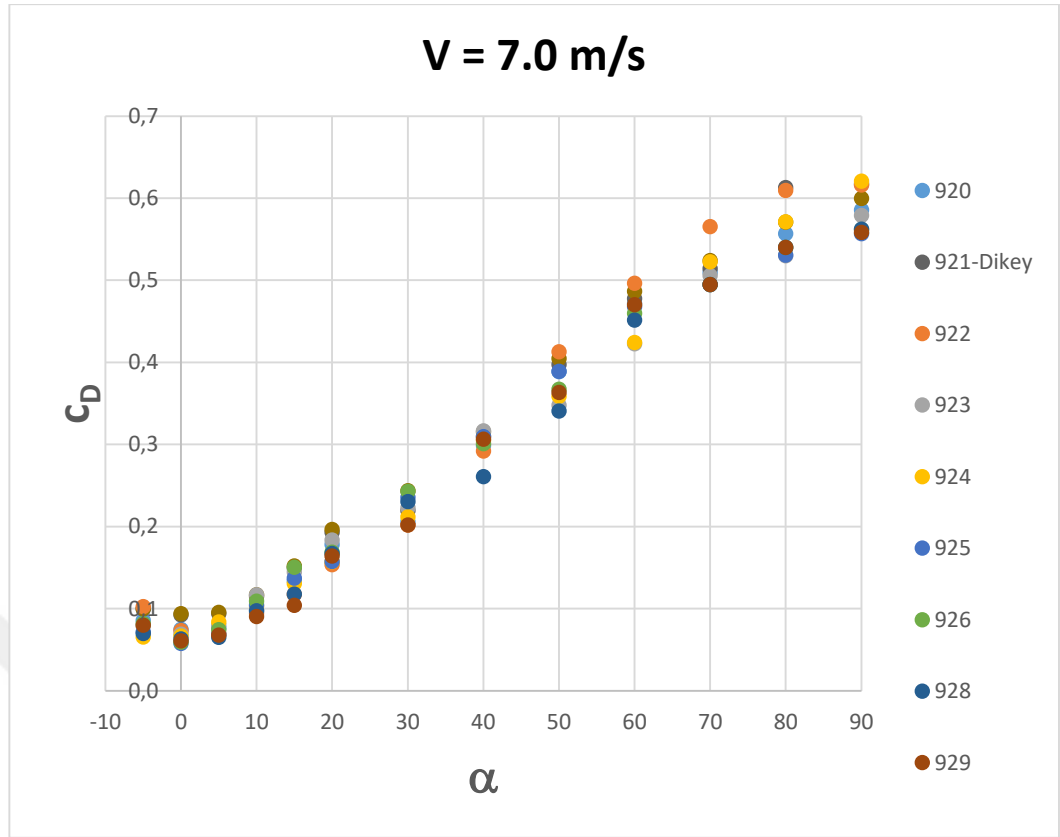
Geliştirilen yelken kumaşlarının her bir hız değeri için α açısı ile C_D sürüklenme ve C_L taşıma aerodinamik katsayılarının değişimlerini gösteren grafikler Şekil 4.39 ile 4.48 arasında verilmiştir.



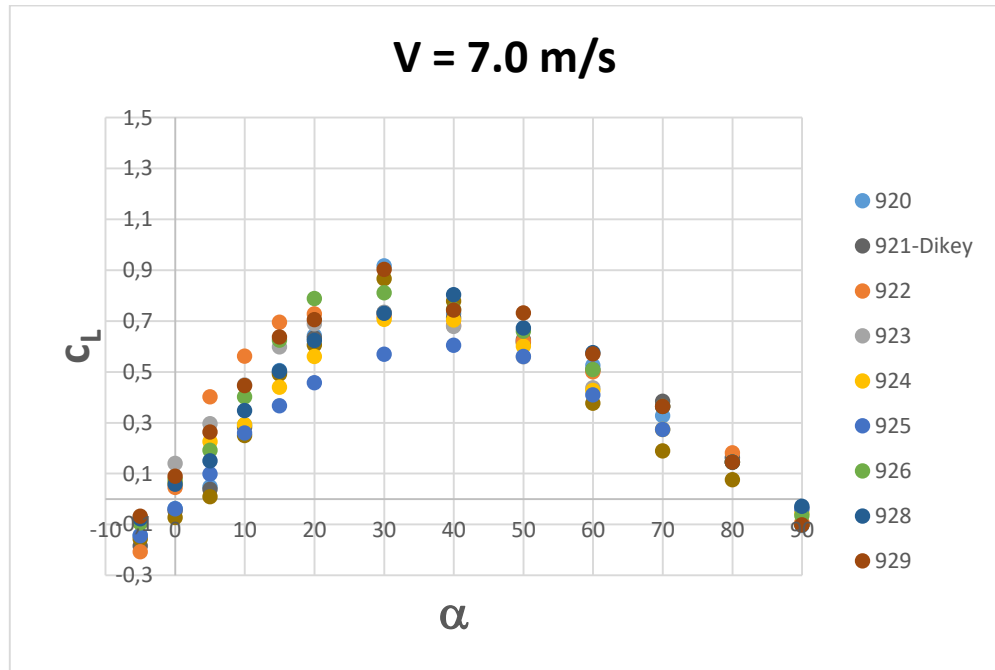
Şekil 4.39. 6 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları



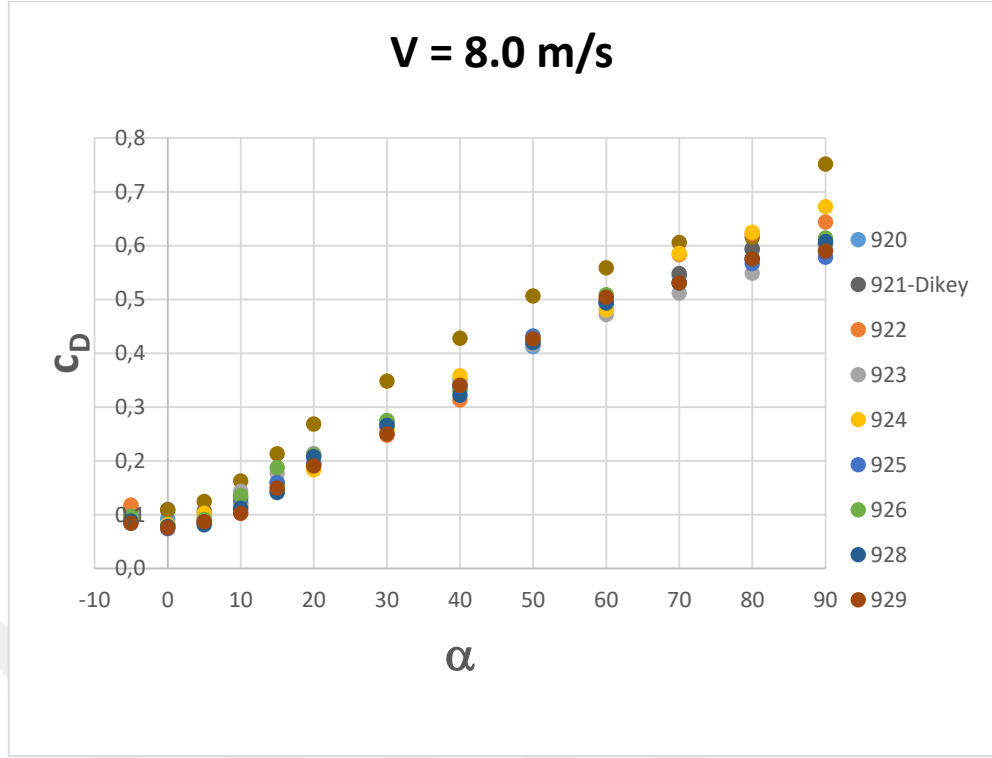
Şekil 4.40. 6 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları



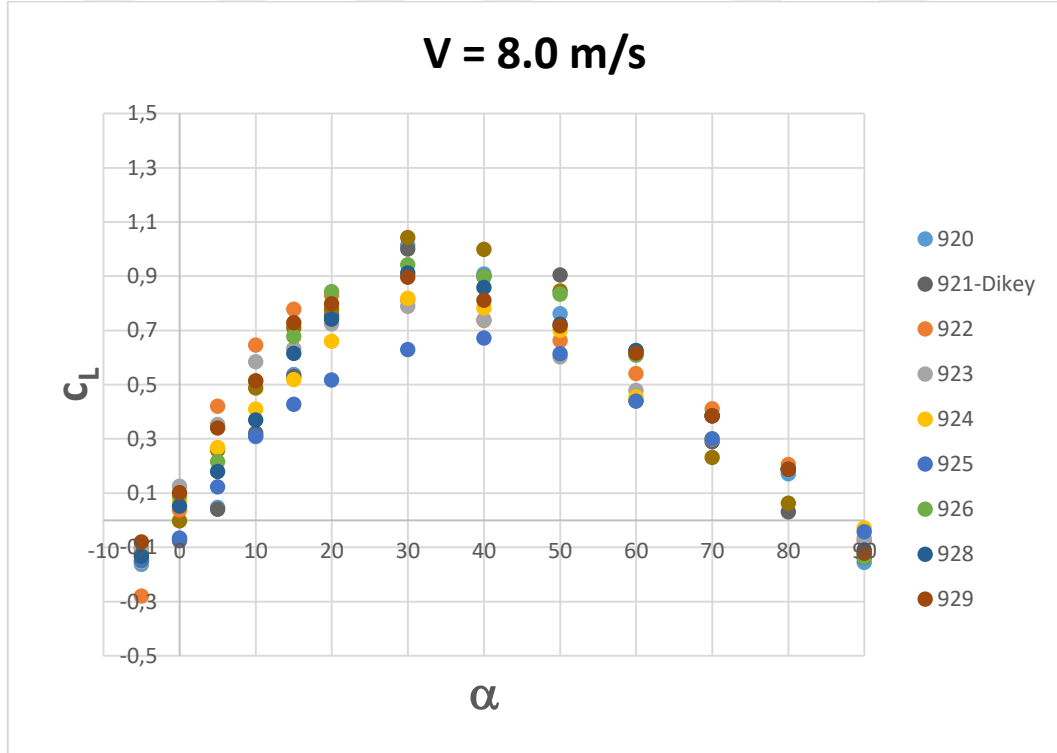
Şekil 4.41. 7 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları



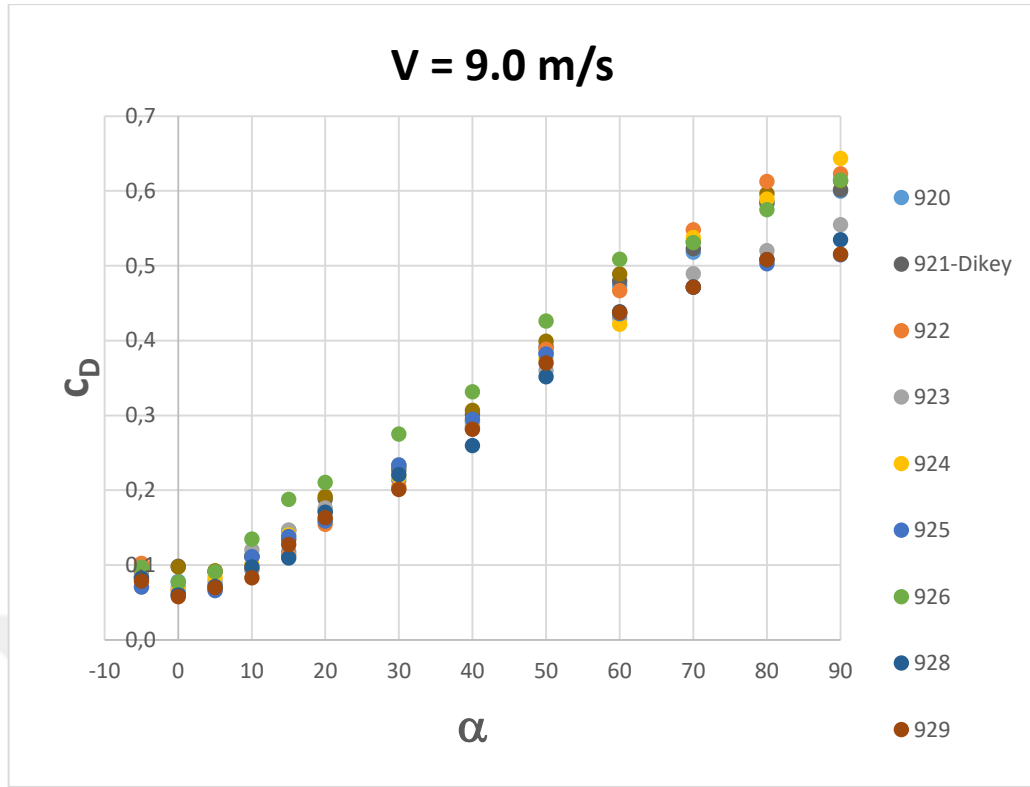
Şekil 4.42. 7 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları



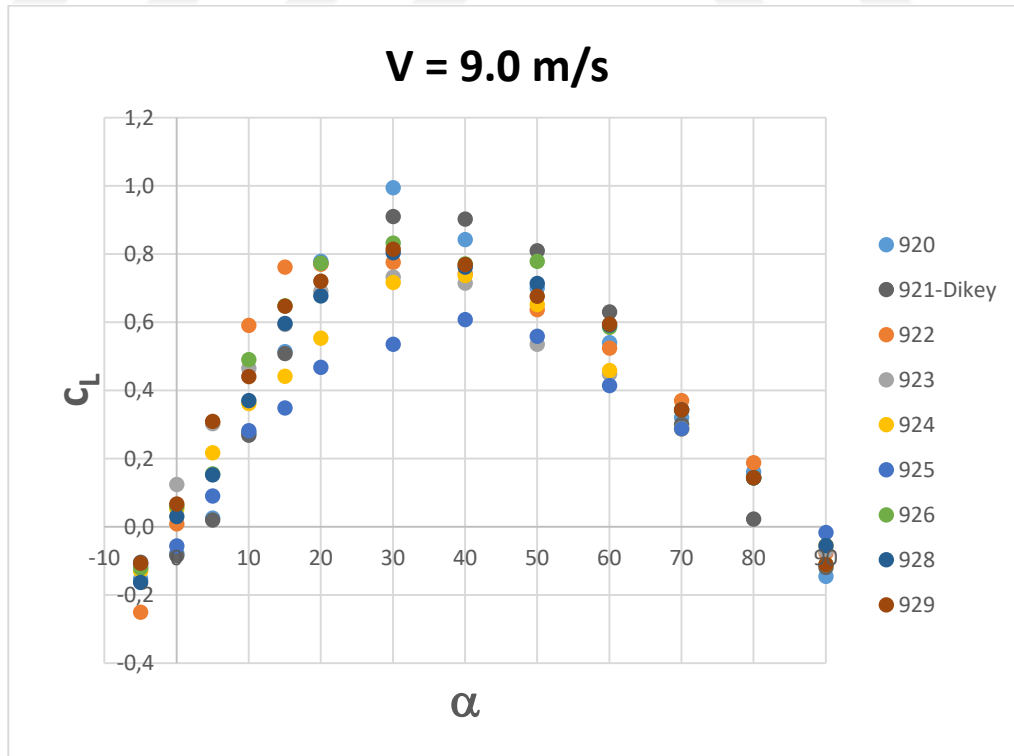
Şekil 4.43. 8 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları



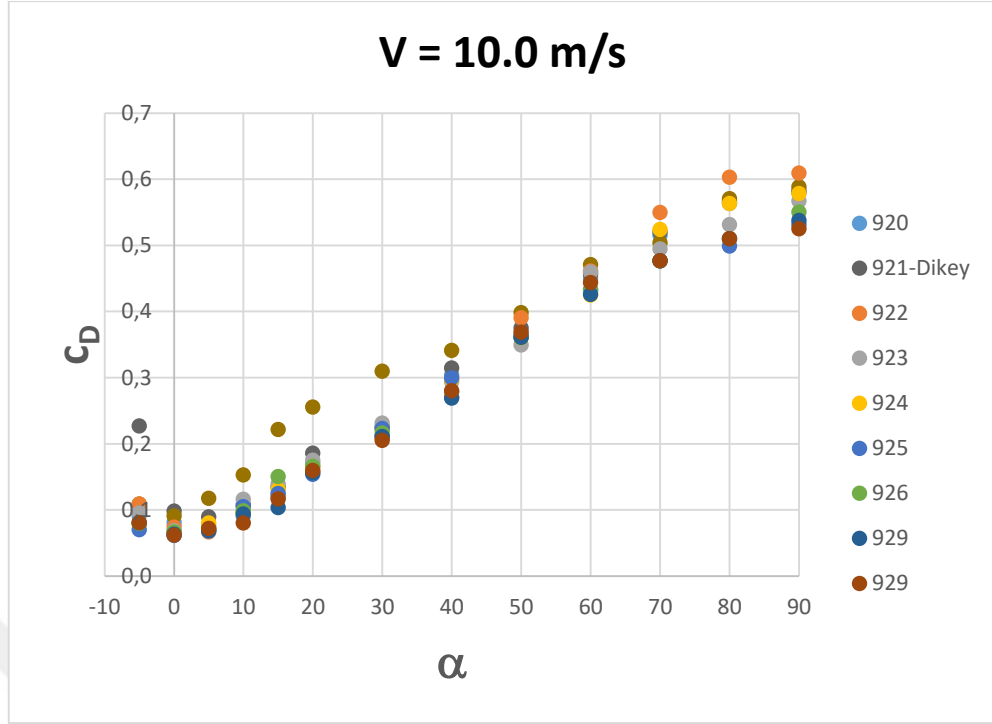
Şekil 4.44. 8 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları



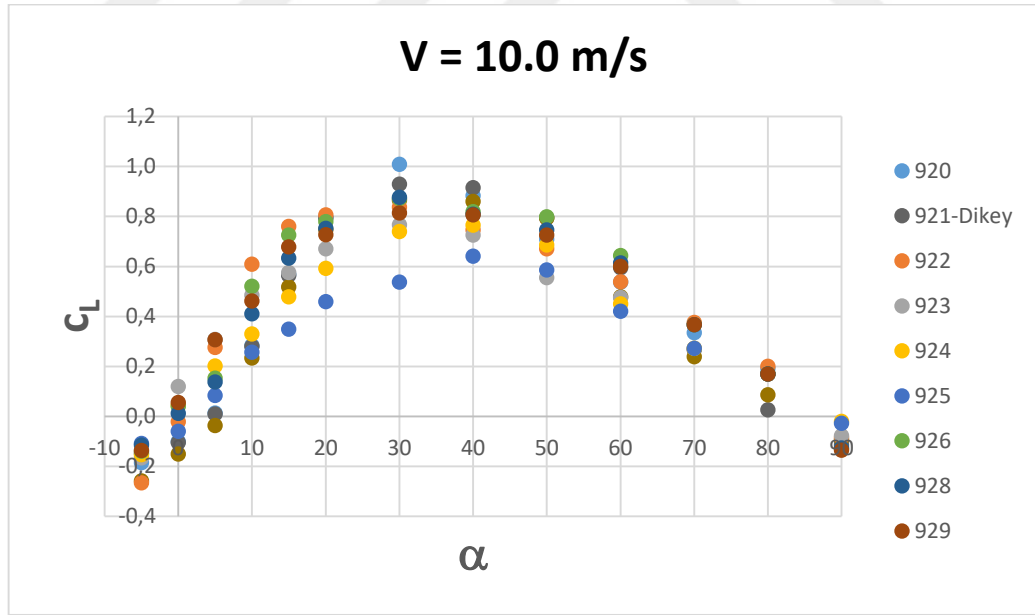
Şekil 4.45. 9 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları



Şekil 4.46. 9 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları



Şekil 4.47. 10 m/s hızda hücum açısına göre C_D aerodinamik sürtünme katsayıları



Şekil 4.48. 10 m/s hızda hücum açısına göre C_L aerodinamik sürtünme katsayıları

Yukarda verilen grafikler değerlendirildiğinde, hücum açısı olan α 'ya göre aerodinamik sürtünme katsayıları C_D ve C_L 'nin değişimleri şöyledir;

- Hıza bağılı olmaksızın tüm grafiklerde benzer trendler mevcuttur.
- Bütün kumaş kaliteleri için eğimleri farklı olmakla beraber aynı grafik trendi elde edilmiştir.
- Tüm grafiklerde α açısı arttıkça C_D sürüklenme katsayısı artmaktadır.
- Tüm grafiklerde α açısı arttıkça C_L taşıma katsayısı yaklaşık 30° 'ye kadar artmakta sonrasında radikal bir biçimde düşmektedir.

Hız arttıkça C_D sürüklenme katsayısının değişmediği ancak açı arttıkça C_D sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. C_L taşıma sürtünme katsayısı ise yaklaşık 30° 'ye kadar artmakta sonrasında kuvvet düşüşüne bağlı olarak oluşan türbülansa bağlı olarak radikal bir şekilde düşmektedir. Kuvvetin düşmeye başladığı bu noktaya akım ayrılması açısı da denmektedir. Ayrıca rüzgâr tüneli deneylerinde tekne hareket yönü ile rüzgâr arasındaki (β) açısına göre C_R değerleri de ölçülmüş olup sonuçlar Ek-A'da verilmiştir.

4.8.2. C_R Aerodinamik Sürtünme Katsayısının Değerlendirmesi

C_R , yelkenin hareketi doğrultusundaki kuvvet kaynaklı sürtünme katsayısı olup, yelkenin aerodinamik performansının belirlenmesinde bu değer esas alınmıştır. C_R sürtünme katsayısı, ölçülen C_D ve C_L sürtünme katsayılarını kullanarak Bölüm 3.4'de açıklandığı gibi Eşitlik 1.5'te verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır. Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.25 arasında verilen C_D ve C_L değerlerini kullanarak hesaplanan C_R sürtünme katsayıları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Performans karşılaştırması için $\beta=90^\circ$ durumunda hareket yönü kuvvet katsayıları dikkate alınmıştır. Hücum açısı 60° 'den sonra elde edilen değerler arasında fark olmamasından dolayı 60° 'den sonraki değerler hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Çizelge 4.26. Belirli rüzgâr hızlarında ve α açılarında C_R sürtünme katsayısı sonuçları

		V=6 m/s						V=7 m/s					
		C_R						C_R					
N o	Kumaş Kodu	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
1	920	0.302	0.659	0.900	0.747	0.647	0.542	0.292	0.643	0.918	0.732	0.619	0.526
2	921	0.294	0.651	0.860	0.812	0.666	0.476	0.285	0.636	0.902	0.844	0.701	0.522
3	922	0.283	0.634	0.733	0.713	0.628	0.508	0.562	0.729	0.718	0.683	0.623	0.501
4	923	0.519	0.679	0.763	0.727	0.531	0.460	0.450	0.690	0.735	0.680	0.560	0.438
5	924	0.361	0.670	0.789	0.711	0.647	0.486	0.293	0.561	0.707	0.704	0.601	0.428
6	925	0.272	0.480	0.585	0.646	0.591	0.447	0.260	0.458	0.571	0.605	0.562	0.411
7	926	0.478	0.728	0.848	0.851	0.714	0.549	0.402	0.789	0.812	0.747	0.661	0.510
8	928	0.372	0.650	0.793	0.783	0.739	0.560	0.348	0.624	0.731	0.805	0.673	0.576
9	929	0.512	0.705	0.917	0.784	0.675	0.584	0.447	0.706	0.904	0.743	0.732	0.571

		V=8 m/s						V=9 m/s					
		C_R						C_R					
N o	Kumaş Kodu	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
1	920	0.309	0.761	1.015	0.909	0.763	0.610	0.275	0.778	0.994	0.842	0.701	0.539
2	921	0.322	0.754	1.001	0.899	0.905	0.625	0.269	0.772	0.910	0.902	0.809	0.630
3	922	0.647	0.831	0.813	0.737	0.663	0.541	0.591	0.770	0.775	0.742	0.637	0.524
4	923	0.585	0.725	0.789	0.740	0.603	0.479	0.465	0.690	0.732	0.714	0.535	0.448
5	924	0.441	0.661	0.819	0.784	0.701	0.455	0.361	0.553	0.716	0.737	0.651	0.458
6	925	0.311	0.518	0.630	0.673	0.615	0.440	0.281	0.468	0.535	0.607	0.558	0.414
7	926	0.515	0.843	0.942	0.899	0.835	0.610	0.490	0.773	0.831	0.770	0.778	0.585
8	928	0.370	0.742	0.912	0.859	0.724	0.627	0.370	0.677	0.804	0.762	0.714	0.592
9	929	0.515	0.799	0.897	0.812	0.717	0.617	0.441	0.720	0.814	0.769	0.676	0.594

		V=10 m/s					
		C_R					
N o	Kumaş Kodu	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$
1	920	0.284	0.798	1.009	0.883	0.709	0.537
2	921	0.280	0.794	0.930	0.916	0.796	0.596
3	922	0.609	0.807	0.837	0.746	0.671	0.539
4	923	0.485	0.672	0.767	0.726	0.556	0.476
5	924	0.330	0.593	0.740	0.766	0.687	0.451
6	925	0.257	0.460	0.537	0.642	0.587	0.421
7	926	0.521	0.780	0.872	0.820	0.799	0.644
8	928	0.441	0.753	0.878	0.809	0.747	0.614
9	929	0.462	0.728	0.814	0.806	0.726	0.601

Geliştirilen yelken kumaşlarının aerodinamik performanslarının değerlendirilmesinde her bir numune için farklı hücum açıları ve hızları için hesaplanan C_R değerlerinin toplamı esas alınmıştır. Bu amaçla elde edilen deney verileri baz alınarak her bir numune için hesaplanan hareket yönüne paralel sürtünme katsayıları (C_R) ayrı ayrı toplanmıştır ve sonuçları çizelge 4.27’de aktarılmıştır. Tüm deney şartlarında en iyi performansa sahip yelken kumaşı seçimi için toplamda en fazla hareket yönü sürtünme katsayısı sağlayan numune tercih edilmiştir.

Çizelge 4.27. Rüzgâr tüneli deney sonuçlarına göre yelken kumaşı numunelerinin C_R hareket yönü sürtünme katsayıları sıralaması

Kumaş Kodu	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	Toplam	Sıralama
T920	3,797	3,729	4,336	4,129	4,221	20,243	4
T921	3,758	3,890	4,506	4,292	4,312	20,758	3
T922	3,499	3,817	4,232	4,039	4,210	19,798	6
T923	3,680	3,553	3,921	3,583	3,682	18,418	7
T924	3,665	3,295	3,830	3,476	3,567	17,833	8
T925	3,021	2,866	3,187	2,864	2,905	14,841	9
T926	4,167	3,920	4,645	4,227	4,437	21,396	1
T928	3,898	3,757	4,234	3,917	4,212	20,018	5
T929	4,177	4,103	4,357	4,013	4,137	20,778	2

Çizelge 4.27 incelendiğinde T926 numaralı kumaş konstrüksiyonunun en yüksek aerodinamik performansa sahip kumaş yapısı olduğu görülmektedir. Bu tabloda ayrıca T929 ve T921 nolu kumaşların en iyi performansa sahip ikinci ve üçüncü numuneler olduğu gözlenmektedir ve T926 numaralı kumaş ile değerleri birbirine çok yakındır. En düşük performansa sahip T925 nolu numunenin değerleri ise belirgin bir şekilde en düşük olandır ve her bir hız bazında yapılan değerlendirmelerde de en düşük değerlere sahiptir.

Geliştirilen dokuma konstrüksiyonları rüzgar hızları bazında değerlendirildiğinde ise T920 kodlu numune, 9 m/s ve 10 m/s hızlarda ilk üç numune arasında yer almıştır. T921 kodlu numune 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s ve 10 m/s rüzgar hızlarında ilk üç numune arasında yer almıştır. T926 kodlu numune ise 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s ve 10 m/s de yani bütün hızlarda en yüksek performansa sahip ilk üç numune arasında yer almıştır. T928 kodlu numunenin sadece 6 m/s hız değerinde ilk üç arasına girdiği görülmektedir. T929 kodlu numune ise 6 m/s, 7 m/s ve 8 m/s de en iyi performans sergileyen üç kumaştan biri olmuştur. Hız bazında performanslar analiz edildiğinde tüm kumaşlar için en yüksek değer istisnasız 8 m/s rüzgâr hızında elde edildiği görülmektedir.

Rüzgâr tüneli deney sonuçları, kumaş yüzey yapısının aerodinamik performans üzerine etkisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. Zira en yüksek performansa sahip T926 kodlu kumaş, geliştirilen tasarımlar içinde en belirgin tüberkül (kanallı) yapıya sahip olan yelken kumaşıdır. Bu durum gerek Çizelge 4.2' de verilen kanal derinliği ve tekrar sayısı

ölçümlerinden elde edilen sayısal verilerde, gerekse tasarım programının simülasyonları ve kumaşların yüzey fotoğraflarında açık bir şekilde görülmektedir.

4.9. Yelken Kumaş Parametreleri ve Aerodinamik Performans Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi

Sunulan tez çalışmasında yelkenli kumaşların aerodinamik performansının değerlendirilmesinde, kumaşlarda ölçülen dört parametre esas alınmıştır. Bunlar, statik ve kinetik sürtünme katsayısı, esneklik kaynaklı alan artışı (Esne İndeksi) ve konstrüksiyondan kaynaklanan alan artışıdır (Yüzey İndeksi). Bu parametreler ile geliştirilen yüzeylerin aerodinamik performansları arasındaki korelasyon irdelenmiş ve söz konusu parametreleri kullanarak regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Böylece geliştirilecek yelken kumaş tasarımlarının aerodinamik performanslarının, rüzgâr tüneli deneyleri yapılmadan tahmin edilmesine imkân verecek pratik ve uygulanabilir bir modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada geliştirilen yelken kumaşı yapılarının aerodinamik performansı (C_R) ve bu kumaşların patlama mukavemeti test cihazında ölçülen diyafram yüksekliği kullanılarak hesaplanan Esne İndeksi ($Eİ$), friktorq cihazıyla ölçülen statik (SSK) ve kinetik sürtünme katsayısı (KSK) ve profilometre cihazı ile ölçülen kumaş Yüzey indeksi (Yİ) değerleri Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Aerodinamik sürtünme katsayısı toplamı, yüzey indeksi, statik ve kinetik sürtünme katsayıları ve esne indeksi değerleri

Kumaş Kodu	ΣC_R	Yİ	Eİ	SSK	KSK
T-920	20,24	1,190	1,242	0,46	0,33
T-921	20,76	1,199	1,248	0,62	0,40
T-922	19,80	1,166	1,223	0,44	0,31
T-923	18,42	1,179	1,248	0,49	0,37
T-924	17,83	1,159	1,211	0,41	0,30
T-925	14,84	1,122	1,229	0,54	0,38
T-926	21,40	1,193	1,255	0,71	0,41
T-928	20,02	1,189	1,217	0,45	0,30
T-929	20,78	1,177	1,242	0,44	0,26

Regresyon analizleri 2 veya daha fazla değişken arasındaki ilişkileri ölçmek için kullanılır. Yapılan regresyon analizi sonucunda aerodinamik performansın rüzgâr tüneli testi yapılmadan tahmin edilebileceği görülmüştür. Regresyon analizinde çizelge 4.28 referans

olarak alınmış olup, hesaplama ve grafiklerde bu çizelgede yer alan yüzey indeksi (Yİ), esneme indeksi (Eİ), statik sürtünme katsayısı (SSK) ve kinetik sürtünme katsayısı (KSK) girdi parametrelerini, ΣC_R ise çıktı parametresini oluşturmaktadır. Regresyon analizi bu 2 grup arasında yapılmıştır.

Çizelge 4.29. Rüzgâr tüneli sonuçları ile yüzey indeksi, esneme indeksi, statik sürtünme katsayısı ve kinetik sürtünme katsayısının regresyon analizi

$R^2 = 94,6\%$		$R^2(\text{adj}) = 89,3\%$		$S = 0,666957$	
$\Sigma C_R = 66,3 Y\dot{I} + 9,0 E\dot{I} + 12,4 SSK - 28,2 KSK - 66,2$					
Bağımsız Değişken	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Sabit	-66,26	25,03	-2,65	0,057	
Yİ	66,57	12,11	5,47	0,005	1,48
Eİ	8,95	23,29	0,38	0,720	2,33
SSK	12,388	5,44	2,28	0,085	5,27
KSK	-28,208	9,65	-2,92	0,043	4,52

Varyans Analizi

Kaynak	DF	SS	MS	F	P
Regresyon	4	31,37	7,83	17,63	0,008
Kalıcı Hata	4	1,78	0,45		
Toplam	8	33,15			

Durbin-Watson İstatistiği = 2,21

Çizelge 4.29’da sonuçları verilen 4 değişkenin (yüzey indeksi, esneme indeksi, statik sürtünme katsayısı ve kinetik sürtünme katsayısı) etkisinin araştırıldığı regresyon analizinde R^2 % 94,6 olarak elde edilmiştir. Bu durum bağımsız değişken olan Yİ yüzey indeksi, Eİ esneme indeksi, SSK statik sürtünme katsayısı, KSK kinetik sürtünme katsayısı bağımlı değişken olan ΣC_R ’yi % 94,6 oranında açıkladığını göstermektedir. Buradan elde edilen yüksek regresyon (R^2 %94,6) değeri yelken kumaşlara ait 4 parametrenin rüzgâr tüneli test sonucunu tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermektedir. $R(\text{adj})^2$ değeri % 89,2’tür. Bu değer, değişkenlerin hangilerinin modele dâhil edilmesi ile ilgilidir. Sonuçtan görüldüğü üzere %89,2 oranında tüm değişkenlerin modele dâhil edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Rüzgâr tüneli sonuçları ile olan etkileşimi veren fonksiyon ise;

$$\Sigma C_R = 66,3 \times Yİ + 9,0 \times Eİ + 12,4 \times SSK - 28,2 \times KSK - 66,2 \quad (4.1)$$

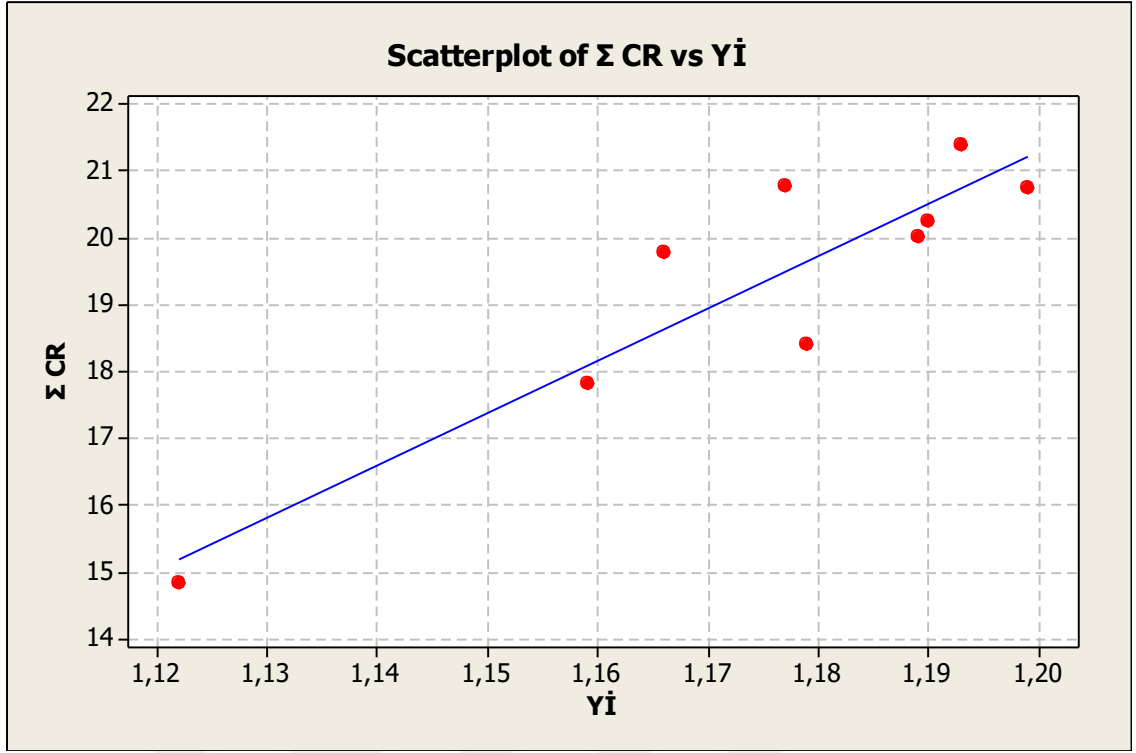
olarak elde edilmiştir (Eşitlik 4.1). Regresyon analizinde p değeri 0,008 çıkarak 0,05'ten küçük olduğu görülmüştür. Dolayısı ile H0 hipotezi reddedilir, H1 hipotezi kabul edilir. H0 hipotezi: Örneklemden elde edilen değer ile ana kütlenin bilinen değeri arasında bir fark yoktur. H1 Hipotezi: Örneklemden elde edilen değer ile ana kütlenin bilinen değeri arasında anlamlı bir fark vardır. Elde edilen regresyon modelini oluşturan her bir bağımsız değişkenin çoklu bağlantı (VIF) değeri 10 dan küçüktür. Dolayısı ile çoklu bağlantı problemi yoktur. 1,5 ile 2,5 arasında olması beklenen Durbin-Watson değeri ise 2,21 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç oto-korelasyonun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.30. Girdiler arası etkileşim ve girdi parametrelerinin tekli, ikili ve üçlü çıktı parametresini etkileme seviyesi

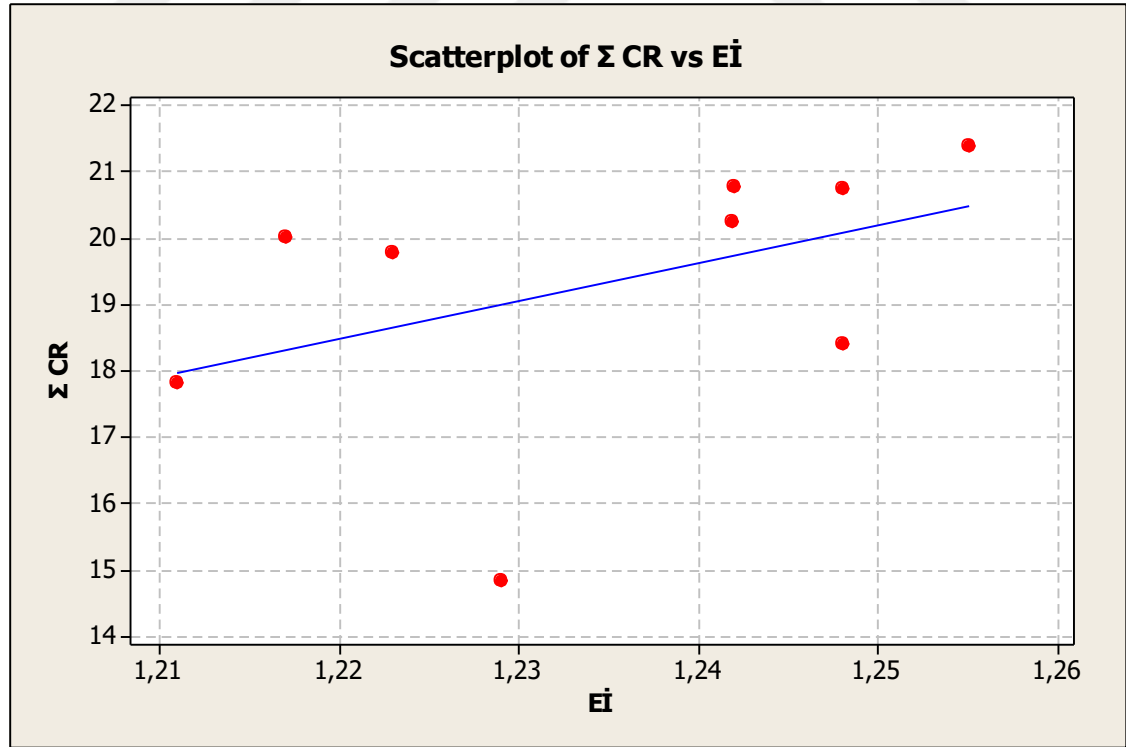
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	Mallows Cp	S K			
				Y	E	S	S
				S	İ	İ	K K
1	83,2	80,7	7,6	0,89317	X		
1	18,8	7,2	55,5	1,9607		X	
2	86,0	81,3	7,5	0,88082	X		X
2	83,2	77,6	9,5	0,96450	X	X	
3	87,7	80,3	8,2	0,90382	X	X	X
4	94,6	89,3	5,0	0,66696	X	X	X X

Çizelge 4.30'da verilen 4 farklı girdi kriterinin (Yİ, Eİ, SSK, KSK) tekli, ikili ve üçlü olarak çıktı kriteri ΣC_R üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere, Eİ'nin tek başına kullanılmasının dışında, tüm komponentlerin birlikte etkileri en az %83,2 çıkmıştır. En yüksek etkileşim %94,4 ile KSK, SSK, Yİ ve Eİ kombinasyonudur. 4 girdi parametresinin her birinin regresyon analizine dâhil edilmesi en yüksek R^2 değerini sağlamaktadır.

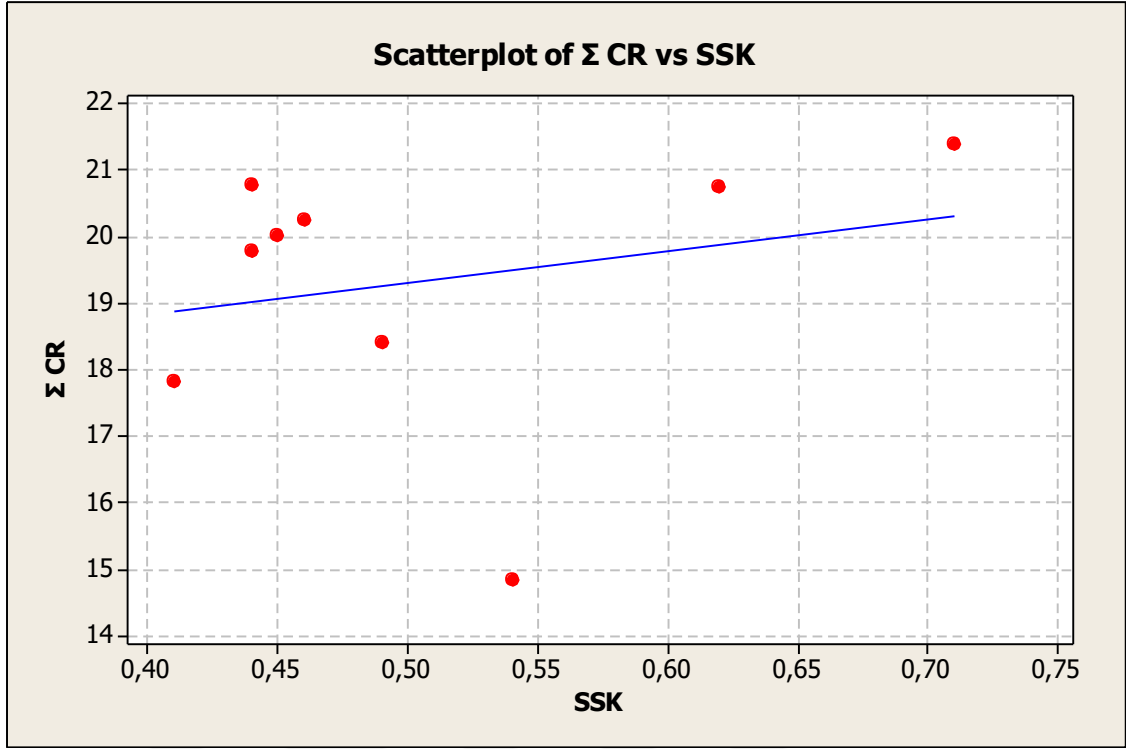
Bu tez çalışmasında ayrıca her bir girdi parametresi ile ΣC_R arasındaki ikili etkileşimleri de incelenmiş ve trend eğrileri çizilmiştir. Şekil 4.49 ve Şekil 4.52 arasında verilen grafiklerde Yİ, Eİ ve SSK etkileşimi pozitif, KSK etkileşimi negatif trende sahiptir. Bu durum eşitlik 4.1'de de görülmektedir. Aerodinamik performans üzerindeki etkisi en yüksek olan parametre Şekil 4.49'da gösterilen (Yİ) yüzey indeksidir.



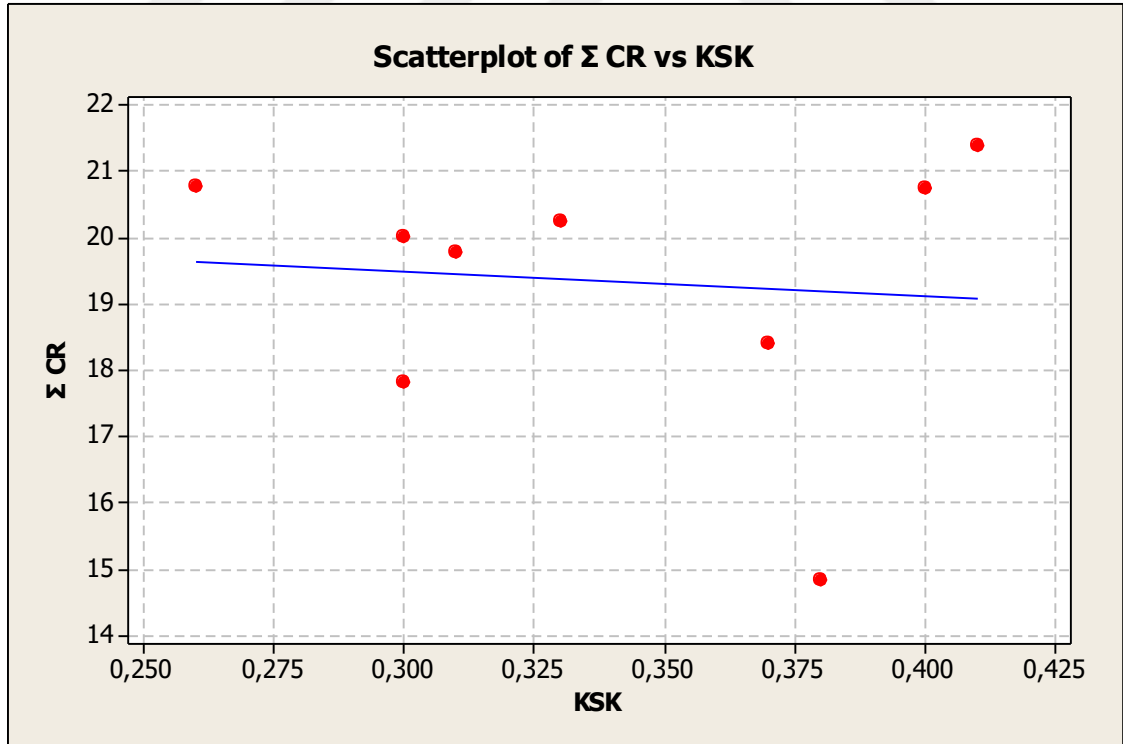
Şekil 4.49. ΣC_R ile Yüzey İndeksi arasındaki ilişki



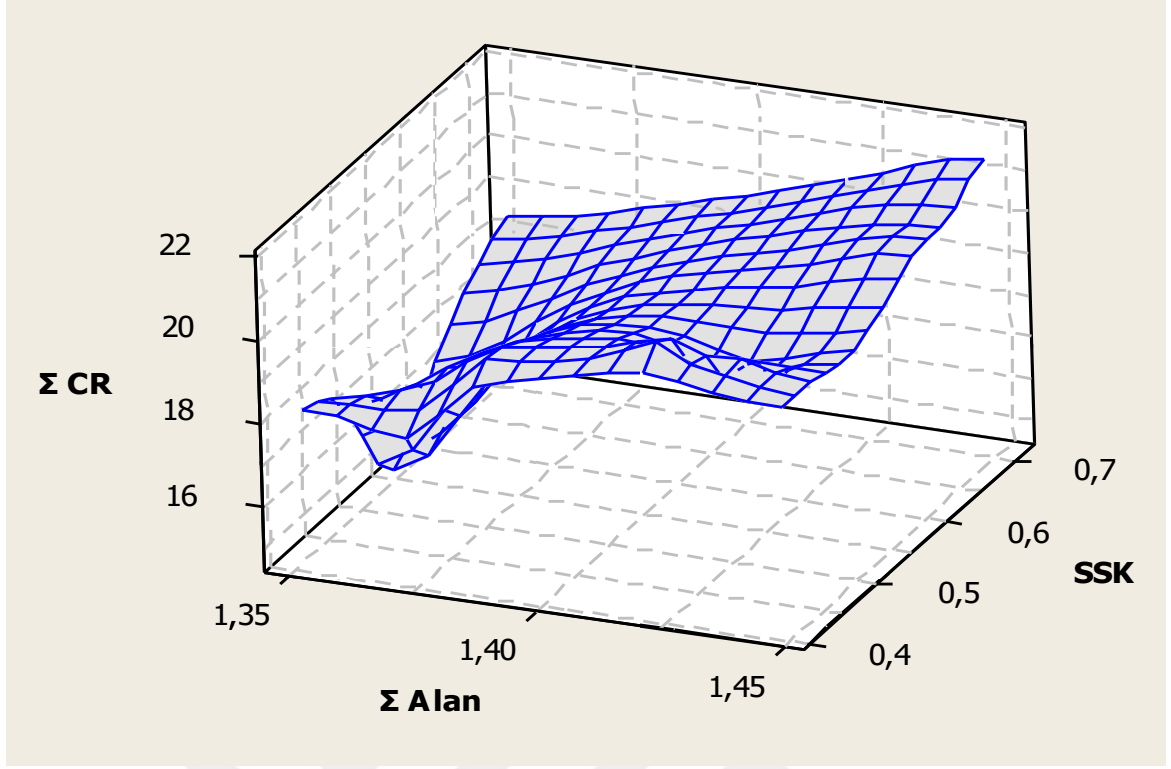
Şekil 4.50. ΣC_R ile Esneme İndeksi arasındaki ilişki



Şekil 4.51. ΣC_R ile Statik Sürtünme Katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.52. ΣC_R ile Kinetik Sürtünme Katsayısı arasındaki ilişki



Şekil 4.53. ΣC_R ile toplam alan indeksi ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki

Geliştirilen yelken kumaşlarında, toplam alansal artış, statik sürtünme katsayısı ve ΣC_R arasındaki ilişkiyi gösteren 3 boyutlu grafik Şekil 4.53'te gösterilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere toplam alan indeksi ve statik sürtünme katsayısı arttıkça toplam aerodinamik sürtünme katsayısı artmaktadır. Bu durum statik sürtünme katsayısının ve yüzey alanının en uygun konstrüksiyonun seçilmesinde büyük oranda etken olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.31. Ölçülen ve hesaplanan toplam C_R verileri ve aralarındaki ilişki

Kumaş Kodu	Ölçülen C_R	Yİ	Eİ	SSK	KSK	Hesaplanan C_R	Fark	%Fark	RESI1	SRES1
T-920	20,24	1,190	1,242	0,46	0,33	20,15	-0,10	-0,48	0,13	0,25
T-921	20,76	1,199	1,248	0,62	0,40	20,81	0,05	0,23	-0,01	-0,02
T-922	19,80	1,166	1,223	0,44	0,31	18,70	-1,10	-5,53	1,13	1,89
T-923	18,42	1,179	1,248	0,49	0,37	18,72	0,30	1,61	-0,26	-0,63
T-924	17,83	1,159	1,211	0,41	0,30	18,04	0,21	1,17	-0,17	-0,34
T-925	14,84	1,122	1,229	0,54	0,38	15,11	0,27	1,79	-0,23	-0,91
T-926	21,40	1,193	1,255	0,71	0,41	21,30	-0,09	-0,43	0,13	0,37
T-928	20,02	1,189	1,217	0,45	0,30	20,58	0,56	2,80	-0,52	-1,14
T-929	20,78	1,177	1,242	0,44	0,26	21,01	0,23	1,12	-0,20	-1,05

Rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilen sonuçlar ile Eşitlik 4.1 de verilen regresyon modeli ile hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.31’de karşılaştırılmıştır. Bu çizelgede regresyon modeli sonuçlarının rüzgâr tüneli deneyleri ile ölçülen ΣC_R ’ye ne kadar yaklaşabildiğini görmek için hesaplanan ΣC_R değerleri ile ölçülen ΣC_R sütunu arasındaki sayısal fark bulunmuş ve çizelgede yüzde (% fark) olarak da ifade edilmiştir. En düşük fark T921 kodlu numuneye aittir ve % 0,2 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek sayısal fark ise T922 numunesinde % 5,5 olarak görülmektedir. Kumaş kesit görüntü incelendiğinde T922 kodlu kumaşta arzulanan kesit yapısının oluşmadığı görülmektedir. Standartlaştırılmış artık (SRES1) T922 no’lu numune için 1,89 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer $\pm 1 \sigma$ ’nın (3,29) içerisinde ve $\pm 1,96$ değerinin de altında kaldığı için artık değer olarak değerlendirilmemiş ve model uyumunu etkilemeyeceği kararı verilmiştir.

Yapılan rüzgâr tüneli deneyleri sonuçları değerlendirildiğinde T926 kodlu numunenin en yüksek aerodinamik performansa sahip kumaş olduğu görülmüş ve istatistik analizler aerodinamik performans ile kumaş sürtünme katsayısı arasında yüksek korelasyonu ortaya koymuştur. Bu bulgular ışığında, geliştirilen yelken kumaşı konstrüksiyonunun aerodinamik performansını daha da iyileştirmek için mevcut kumaş parametreleri arasında sürtünme katsayısının arttırılabileceği değerlendirilmiştir.

4.10. 45° Beta (β) Açısı ile Oluşturulan Regresyon Modeli Doğrulaması

Bu tez çalışmasında yelkenlinin hareket doğrultusu ile rüzgâr arasındaki açı β 90° için hareket yönü doğrultusundaki sürtünme katsayısı ΣC_R hesaplanarak regresyon modeli oluşturulmuştur. Seyir yelkenciliğinde yelkenliler rüzgârdan en çok faydalanacağı açı 30 ile 60° arasında seyir yapmaktadır. Bu durumu simüle etmek amacı ile bu çalışma farklı bir açı için de (β 45°) tekrarlanarak oluşturulan regresyon modelinin doğruluğu sorgulanmış ve sonuçları paylaşılmıştır. Yeni hesaplamalar β 45° için yapılmış ve ΣC_{R45} sonuçları Ek B’de paylaşılmıştır. Ek B’de verilen tablolar kullanılarak her bir hız için ΣC_{R45} sonuçları hesaplanmış, ayrıca her bir hız için grafikler oluşturulmuş ve grafikler Ek C’de verilmiştir. Elde edilen ΣC_{R45} sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir. β 90° ile β 45° ΣC_R değerleri arasında yapılan korelasyon testinde elde edilen korelasyon değeri 0,985 ‘dir. Bu sonuç oluşturulan regresyon modelinin tüm β açıları için kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca hız bazında çizilen grafikler ve Çizelge 4.32’de verilen hız bazlı β 45° ile 90° C_R değerlerinin birbiri ile örtüştüğü görülmektedir. EK C’de bulunan grafiklerden ve Çizelge 4.32’de verilen çizelgeden görüleceği üzere hız bazlı kumaş kodlarının ΣC_R karşılaştırmaları ve değerleri birbirine çok yakındır.

Çizelge 4.32. $\beta 45^\circ$ için hız bazında ΣC_R sonuçları ve ΣC_{R90} değerleri ile mukayese

Kumaş Kodu	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	ΣC_{R45}	ΣC_{R90}
T-920	2,5	2,5	3,0	2,9	3,1	14,0	20,24
T-921	2,4	2,5	3,0	3,0	3,1	14,0	20,76
T-922	2,2	2,7	3,1	3,1	3,3	14,4	19,80
T-923	2,3	2,4	2,5	2,4	2,5	12,1	18,42
T-924	2,2	2,0	2,4	2,2	2,4	11,2	17,83
T-925	1,4	1,4	1,6	1,5	1,6	7,5	14,84
T-926	2,9	2,7	3,2	3,2	3,5	15,5	21,40
T-928	2,5	2,6	2,9	2,9	3,2	14,1	20,02
T-929	3,0	3,0	3,1	3,0	3,2	15,3	20,78

4.11. Geliştirilen Yelken Kumaşı Aerodinamik Performansının İyileştirilmesi ve Regresyon Modelinin Doğrulanması

Yapılan rüzgâr tüneli deneyleri sonuçları değerlendirildiğinde T926 kodlu numunenin en yüksek aerodinamik performansa sahip kumaş olduğu görülmüş ve istatistik analizler aerodinamik performans ile kumaş sürtünme katsayısı arasında yüksek korelasyonu ortaya koymuştur. Bu bulgular ışığında, geliştirilen yelken kumaşı konstrüksiyonunun aerodinamik performansını daha da iyileştirmek için mevcut kumaş parametreleri arasında sürtünme katsayısının arttırılabileceği değerlendirilmiştir. Geliştirilen kumaşların aerodinamik performansını daha da iyileştirebilmek için en yüksek C_R değerine sahip konstrüksiyonda sürtünme katsayısı arttırmak için yöntem düşünülmüş ve aynı kumaşın mikro lif ipliklerle dokunmasına karar verilmiştir. Mikro lifler konvansiyonel liflere göre daha yüksek spesifik alana sahiptirler ve bundan dolayı kullanıldıkları kumaşta konvansiyonel liflere göre daha yüksek sürtünme katsayısı oluşturması beklenmektedir. Bu amaçla en yüksek aerodinamik performansa sahip (T926) kumaş, mikro lif iplikle üretilmiş (T926M) ve friktörq cihazıyla kinetik (KSK) ve statik (SSK) sürtünme katsayısı, profilometre cihazı ile yüzey indeksi (Yİ) ve sabit basınçta patlama mukavemeti testlerine tabi tutularak esneme indeksi (Eİ) değerleri elde edilmiştir. Aynı testler standart yelken kumaşı (SYK) için de yapılmış ve T926 numaralı kumaş ile karşılaştırılmıştır. Bu testlerden sonra bu iki kumaş (T926M ve SYK) rüzgâr tüneli testlerine tabi tutularak her bir kumaş için ΣC_R hesaplanmış ve aerodinamik performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca geliştirilen regresyon modelinin doğrulamasını yapabilmek için SYK ve 926M kodlu kumaşların ΣC_R değerleri bu modele göre hesaplanmış ve rüzgâr tüneli ölçüm sonuçları ile kıyaslanmıştır. Geliştirilen kumaşların aerodinamik performansını

iyileştirmek ve regresyon modelini doğrulamak için yapılan çalışmalar müteakip bölümlerde açıklanmıştır.

4.11.1. Mikro Lifli Kumaş (T926M), Std. Yelken Kumaşı (SYK) ve T926 Kodlu Kumaş Alansal Esneklik, Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayısı ve Yüzey Alan Ölçüm Sonuçları

Bu bölümde, önceki bölümlerde yapılan ölçümler ve analizler değerlendirildikten sonra dokunan T926M mikro lifli kumaşın SYK ve T926 kodlu numuneler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma için her 3 numunenin yüzey indeksi, kinetik ve statik sürtünme katsayıları ve esneme indeksi değerleri kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.33’de verilmiştir. Kumaş alan değerleri incelendiğinde T926M ve T926 kodlu numuneler arasında fark olmadığı ve SYK’nın en düşük değerde olduğu görülmektedir. Standart yelken kumaşı (SYK) düz bir yüzey yapısına sahip olduğu için diğer tüm kumaşlardan bariz şekilde daha düşük yüzey indeksi değerine (1,095) sahiptir. Aynı kumaş konstrüksiyonuna sahip iki kumaşın (T926 ve T926M) aynı yüzey indeksi (1,193) değerlerine sahip beklenen bir durum olmakla birlikte, daha hassas uçlu bir profilometre kullanımı ya da optik profilometre kullanımı ile mikro elyaftan kaynaklanan yüzey alanı artışının ölçülebileceği ve mikro elyaftan üretilmiş kumaşın yüzey alanının daha yüksek çıkacağı öngörülmektedir. Sürtünme katsayıları incelendiğinde hem statik hem de kinetik sürtünme katsayıları açısından en yüksek değer T926M, sonrasında T926 ve en düşük değer SYK kumaş numunesine ait olduğu gözlenmiştir. Mikro liflerin kullanımı ile beklendiği gibi statik ve kinetik sürtünme katsayısı değerlerinin arttığı görülmüştür. Esneme İndeksi değerleri karşılaştırıldığında benzer şekilde en yüksek ölçüm sonucunun 1,560 ile T926M, sonrasında 1,255 ile T926 ve en düşük Eİ değerinin 1,185 ile SYK kodlu kumaşa ait olduğu görülmektedir. T926M kodlu kumaş tez çalışması kapsamında geliştirilen kumaşların tamamından daha yüksek sürtünme katsayısı ve esneme indeksi değerlerine sahiptir.

Çizelge 4.33. Mikro lifli kumaş, standart yelken kumaşı ve T926 kodlu numune esneme indeksi, sürtünme katsayıları, yüzey alan ve yüzey indeksi değerleri

Kumaş Kodu	Ön alan (mm ²)	Yİ	μ_{statik}	μ_{kinetik}	Basınç Değeri (kPa)	Diyafram Yüksekliği (mm)	Eİ
T-926	469,4	1,193	0,71	0,41	2003	7,7	1,255
T-926M	469,4	1,193	0,77	0,42	2030	8,8	1,560
SYK	430,3	1,095	0,57	0,18	2030	6,7	1,185

Bu sonuçlar doğrultusunda, geliştirilen mikro lifli yelken kumaşın (T926M) diğer tüm kumaşlardan daha yüksek bir aerodinamik performansa sahip olması öngörülmektedir.

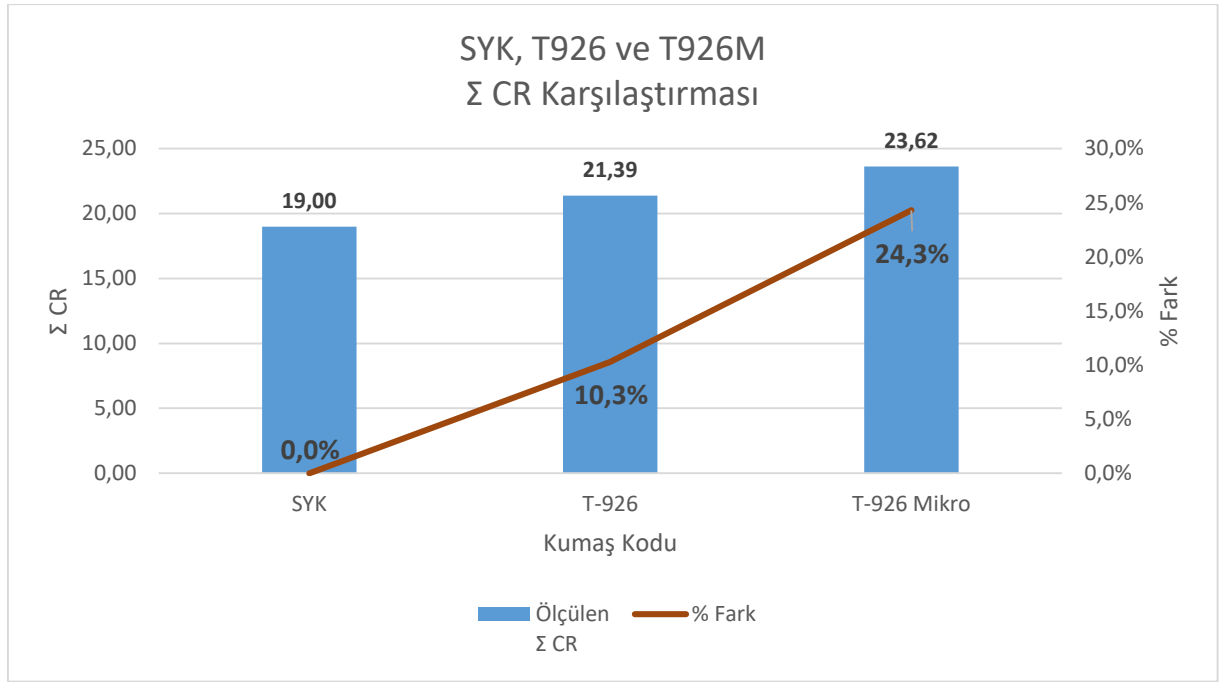
4.11.2. Std. Yelken Kumaşı, T926 ve T926M Mikro Kumaş Rüzgâr Tüneli Doğrulama Testleri Ölçüm Sonuçları

T926M kodlu mikro lif içeren yelken kumaşının daha yüksek bir aerodinamik performansa sahip olduğu öngörüsünü doğrulamak ve geliştirilen regresyon modelinin doğruluğunu test etmek standart yelken kumaşı SYK ve T926M kodlu numune ve numuneler rüzgâr tüneline aerodinamik testlere tabi tutulmuştur. Rüzgâr tüneli deneyleri diğer kumaşlara uygulandığı gibi 6, 7, 8, 9 ve 10 m/s rüzgâr hızlarında yapılmıştır. Test sonuçları çizelge 4.32’de gösterilmiştir. Çizelge 4.33 incelendiğinde T926M kodlu numunenin her hücum açısı ve hız için diğer numunelere göre belirgin bir biçimde daha büyük C_R değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca genel trende uygun olarak rüzgâr hızı arttıkça C_R katsayısında artış gözlenmektedir. Aynı zamanda α açısı arttıkça 30 dereceye kadar C_L katsayısı büyümekte, 30 dereceden sonra C_L katsayısında düşme görülmektedir.

Çizelge 4.34. Standart yelken kumaşı ile T926 kodlu yelken kumaşı ve T926 mikro yelken kumaşı rüzgâr tüneli toplam C_R sonuçları

V = 6 m/s							
Numune	C_R						Σ
	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	
SYK	0,300	0,645	0,879	0,743	0,623	0,512	3,702
T926	0,478	0,728	0,848	0,848	0,714	0,549	4,164
T-926 M	0,483	0,804	0,882	0,927	0,785	0,642	4,523
V = 7 m/s							
Numune	C_R						Σ
	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	
SYK	0,361	0,670	0,689	0,611	0,547	0,586	3,464
T926	0,402	0,789	0,812	0,747	0,661	0,510	3,920
T-926 M	0,420	0,842	0,873	0,794	0,695	0,825	4,449
V = 8 m/s							
Numune	C_R						Σ
	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	
SYK	0,411	0,618	0,730	0,673	0,715	0,640	3,787
T926	0,515	0,843	0,942	0,899	0,835	0,610	4,645
T-926 M	0,511	0,855	0,963	0,909	0,834	0,938	5,010
V = 9 m/s							
Numune	C_R						Σ
	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	
SYK	0,417	0,864	0,839	0,681	0,650	0,595	4,046
T926	0,490	0,773	0,832	0,771	0,778	0,585	4,227
T-926 M	0,502	0,808	0,821	0,803	0,802	0,651	4,387
V = 10 m/s							
Numune	C_R						Σ
	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	
SYK	0,430	0,693	0,740	0,766	0,716	0,655	4,000
T926	0,521	0,780	0,872	0,820	0,799	0,644	4,437
T-926 M	0,650	1,002	1,127	0,984	0,799	0,684	5,245

Çizelge 4.34'te verilen C_R değerleri toplandığında elde edilen sıralamaya göre T926M kumaşının toplam C_R değeri 23,61 T926 kodlu kumaşın toplam C_R değeri 21,39 ve standart yelken kumaşının (SYK) toplam C_R değeri ise 19,00 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar tüberkül yapıya sahip mikro lifli yelken kumaşının aynı konstrüksiyona sahip yelken kumaşına göre %10,3 ve düz bir standart yelken kumaşına göre %24,3 oranında daha fazla aerodinamik performansa sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. SYK, T926 ve T926M aerodinamik performans karşılaştırması

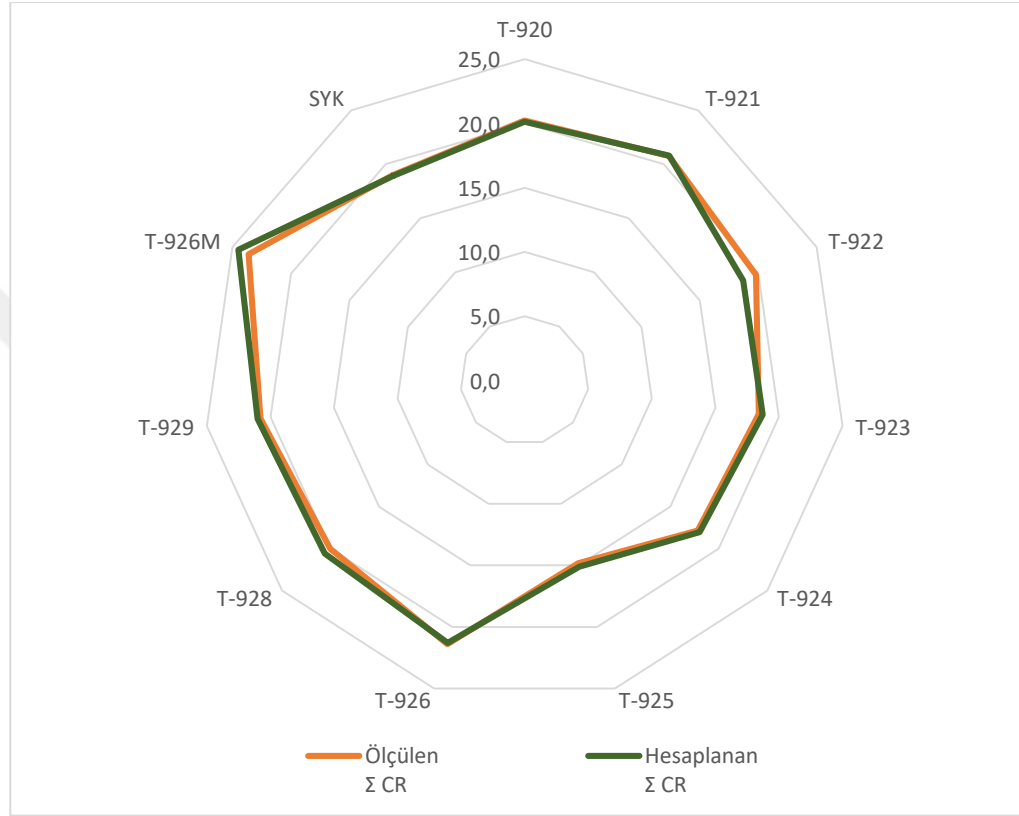
Çizelge 4.35’de T926M, T926 ve SYK kumaşlarının rüzgâr tüneli testlerinde aldığı değerler ve ayrıca regresyon analizi sonunda elde edilen eşitlik (regresyon modeli) kullanılarak hesaplanan toplam C_R değerleri verilmiştir. Ölçülen ve modelden hesaplanan değerler arasındaki farklar irdelendiğinde T926M kodlu kumaşın ölçülen ve hesaplanan aerodinamik performansları arasında %3,7 fark, SYK kodlu kumaşın ölçülen ve hesaplanan aerodinamik performansları arasında %0,3 fark bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 4.35. Ölçülen ve hesaplanan toplam C_R değerlerinin karşılaştırılması

Kumaş Kodu	Ölçülen ΣC_R	Yİ	Eİ	SSK	KSK	Hesaplanan ΣC_R	Fark	%Fark
T-926	21,39	1,193	1,255	0,71	0,41	21,30	-0,09	-0,4
T-926 M	23,62	1,193	1,560	0,77	0,42	24,49	0,87	3,7
SYK	19,00	1,095	1,185	0,57	0,18	18,94	-0,06	-0,3

Bu değerler, geliştirilen regresyon modeli ile tüberkül yapıya sahip mikro lif içerikli bir kumaş ve düz yüzeyli standart bir kumaş gibi birbirinden çok farklı konstrüksiyona sahip kumaşların aerodinamik performanslarını %4’ün altında bir doğrulukla hesaplanabildiğini göstermektedir. Tez kapsamında üretilen yelken kumaşı yapılarına ait ölçülen ve hesaplanan toplam C_R değerleri Şekil 4.55’de verilen radar grafiğinde üst üste gelecek şekilde gösterilerek her iki değer grubunun birbirine göre sapmaları ve en yüksekte en düşüğe doğru sıralamaları

yapılmıştır. Buna göre ölçülen ve hesaplanan toplam C_R değerlerinin birbiri ile örtüştüğü görülmektedir. Elde edilen sonuçlar bu tez kapsamında geliştirilen dokuz yelken kumaşından elde edilen regresyon modelinin, kumaşların aerodinamik performanslarının rüzgâr tüneli deneyi yapmadan öngörülebilmesi için kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.55. Ölçülen ve hesaplanan toplam C_R değerlerinin radar grafiğinde gösterimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tarihten günümüze genellikle yelkenli teknelerin gelişimi, teknenin en önemli parçası olan yelkenlerin gelişimiyle sınırlanmıştır. Malzeme bilimi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte yelkenlerin şekli, yapısı ve malzemesi ciddi değişikliklere uğramıştır. Yelken kumaşlarının hangi dinamik etkiler altında ve koşullarda rüzgâr enerjisini yelkenliye aktarıp harekete katkı sağladıkları ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmış olup, halen bu konudaki çalışmalar devam etmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, kambur balina yüzgecinden esinlenen ve biyomimetik bir yaklaşımla tasarlanan kanallı (tüberkül) kumaş konstrüksiyonları ile seyir yelkenlerinde kullanılmak üzere aynı rüzgâr şiddetinde ve aynı şartlar altında daha yüksek hızlara ulaşabilecek bir yelken kumaşı geliştirmektir. Çalışma kapsamında; kambur balina yüzgecine benzer yapıya sahip dokuma kumaş tasarımları geliştirilmiş, geliştirilen tasarımların dokuma makinelerinde üretimi gerçekleştirilmiştir. Dokunan kumaşların aerodinamik performansları rüzgâr tüneli deneyleri ile ölçülmüş, ölçüm sonuçları analiz edilerek kumaş parametreleri ve aerodinamik performans arasındaki ilişkiler açıklanmış ve bu kumaş parametreleri kullanılarak, rüzgâr tüneli deneyleri yapmadan aerodinamik performansı öngörebilecek matematik bir model geliştirilmiştir.

Dokuma kumaş tasarımından önce kullanılacak iplik tipi seçilmiştir. Bu amaçla farklı lif kesit biçimlerine sahip iplikler ile dokunmuş kumaşlara hava geçirgenliği testi yapılmış ve trilobal kesite sahip liflerden yapılan ipliklerden dokunan kumaşların en az hava geçirgenliğine sahip olduğu saptanarak, geliştirilecek tasarımlarda bu ipliklerin kullanılmasına karar verilmiştir. Kumaş tasarımlarında biyomimetik yaklaşım benimsenerek kambur balina yüzgecinden esinlenilmiştir. EAT desen tasarım programında, kambur balina yüzgecindeki “Tüberkül” olarak nitelendirilen dalgalı yapının kumaş yüzeyine uyarlandığı 10 adet desen tasarlanmıştır. Kullanılan program tasarlanan kumaşların 3 boyutlu simülasyonuna imkân vermektedir. Bu programla oluşturulan 3 boyutlu kumaş modelleri, kumaşların yüzey yapıları hakkında fikir vermiş ve kumaşlarda oluşan tüberkül (kanallı) yüzey yapısı dokuma işleminden önce algılanabilmiştir. Geliştirilen kumaşlarda bazı kanal yapılarının çapraz, bazılarının ise düz şekilde uzandığı görülmüştür. Bazı tasarımlarda ise kanal hareketi atkı veya çözgü iplikleri ile kesintiye uğramaktadır. Bu durum geliştirilen kumaş yapılarında farklı yüzey tasarımlarının aerodinamik performansa etkilerini inceleme olanağı sağlamıştır.

Tasarım aşamasından sonra belirlenen iplikler ile dokuma işlemi gerçekleştirilmiş ve dokunan kumaşlara terbiye işlemleri uygulanmıştır. Üretilen kumaşlara öncelikle yelken bezi

olarak kullanıma uygunluklarını görmek için gerekli rutin performans testleri uygulanmış ve bütünlüğünü koruyamayan bir konstrüksiyon dışındaki tüm tasarımlar, testlerin tamamından geçer sonuç almıştır.

Tasarlanan ve dokunan 9 adet yelken kumaşı, rutin performans testlerinden sonra, aerodinamik performanslarını ölçmek için rüzgar tüneli deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan rüzgâr tüneli deneylerinde, geliştirilen yelken kumaşlarının 5 farklı rüzgâr hızında (6 m/s, 7 m/s, 8 m/s ve 9 m/s ve 10 m/s) ve 0-90° arasında değişen farklı α hücum açılarında sürtünme katsayısı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden sonra C_R sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Geliştirilen yelken kumaşlarının aerodinamik performanslarının değerlendirilmesinde her bir numune için farklı hücum açıları ve rüzgar hızları için hesaplanan C_R değerlerinin toplamı esas alınmıştır. Bu amaçla elde edilen deney verileri baz alınarak her bir numune için hesaplanan hareket yönüne paralel sürtünme katsayıları (C_R) ayrı ayrı toplanmıştır. Tüm deney şartlarında, en yüksek toplam C_R değerine sahip olan T926 kodlu kumaş, en iyi aerodinamik performansa sahip yelken kumaşı olarak belirlenmiştir. Bu sonuç tüberkül yapının aerodinamik performansa etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Zira gerek kanal derinliği ve tekrar sayısı ölçümlerinden, gerekse kumaş kesit fotoğraflarından geliştirilen 9 kumaş tasarımı içerisinde en net tüberkül yüzey yapısına sahip olan konstrüksiyonun T926 kodlu kumaş olduğu görülmektedir.

Rüzgâr tüneli deney sonuçlarının analizinde aerodinamik kuvvet hesabı prensibinden yararlanılmıştır. Aerodinamik direnç kuvveti (W_a), yüzey (kumaş) aerodinamik katsayısı (C_w), kumaş yüzey alanı (A) ve hareket hızı (V) ile doğru orantılı olup, taşıtlarda enerji sarfiyatını düşürmek için aerodinamik direnç kuvvetinin, dolayısıyla hava akımı ile temas yüzeyinin ve aerodinamik katsayının az olması istenir. Bu çalışmada ise tersi bir yaklaşımla (rüzgâr direnci ne kadar fazla ise, rüzgârdan faydalanma o kadar fazla olacağı hipotezi ile) aerodinamik direnci arttırarak en yüksek aerodinamik dirence sahip kumaşın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yaklaşımın doğruluğunu görmek için geliştirilen kumaş yapılarının yüzey alanı ve sürtünme katsayıları ile rüzgâr tüneli deneylerinden elde edilen aerodinamik performansları arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Bu amaçla kumaşların statik ve kinetik sürtünme katsayıları Friktorq cihazı ile, kumaşın tüberkül yapısından kaynaklanan alan artışının ifade eden Yüzey İndeks (Yİ) değerleri Profilometre ile ölçülmüştür. Yelken kumaşının rüzgâr basıncı nedeniyle esnemesi sonucu oluşan alan artışının ölçülebilmesi için patlama mukavemeti testinden

yararlanarak yeni bir yöntem geliştirilmiş ve yeni bir kavram olarak Esneme İndeksi (EI) değeri tanımlanmıştır.

Kumaşların aerodinamik performanslarının değerlendirilmesinde rüzgâr tüneli deneyleri sonucunda elde edilen, yelkenlinin hareketi yönündeki sürtünme katsayısı değeri (C_R) ile ölçülen bu dört kumaş parametresi; statik (SSK) ve kinetik sürtünme katsayısı (KSK), Yüzey İndeksi (Yİ) ve Esneme İndeksi (EI) arasındaki ilişki esas alınmıştır. Her bir kumaş tasarımı için bu parametreler ve toplam C_R değerleri arasındaki korelasyon irdelenmiş ve aerodinamik performansa en çok Yüzey İndeks (Yİ) değerinin etki ettiği görülmüştür. Bu, biyomimetik yaklaşımla geliştirilen yelken kumaşlarında tüberkül yüzey yapısının etkisini açıkça ortaya koymuştur. Esas alınan dört kumaş parametresinin (SSK, KSK, Yİ ve EI) aerodinamik performans (ΣC_R) üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapılan regresyon analizinde R^2 % 94,6 olarak elde edilmiştir. Bu yüksek değer, bağımsız değişken olan Yİ yüzey indeksi, EI esneme indeksi, SSK statik sürtünme katsayısı, KSK kinetik sürtünme katsayısı ile bağımlı değişken olan ΣC_R arasındaki güçlü ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Regresyon analizi sonucu elde edilen modelin geçerliliğini test etmek ve geliştirilen kumaş yapısının aerodinamik performansını daha da iyileştirmek için ilave deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla düz yüzeyli standart bir yelken kumaşı (SYK) ve en iyi aerodinamik performansa sahip T926 kodlu kumaş mikro lif içerikli iplik kullanılarak dokunmuş (T926M) ve tüm çalışma bu iki yeni yapı için tekrarlanmıştır. Yapılan rüzgâr tüneli deneyleri T926 kodlu tüberkül yapıya sahip kumaşın standart yelken kumaşına (SYK) göre %10,3 ve T926M kodlu tüberkül yapıya sahip ve mikro lif içeren iplikler ile dokunmuş kumaşın standart yelken kumaşına göre %24,3 daha yüksek aerodinamik performansa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuç tüberkül yapının ve mikro lif kullanımının aerodinamik performansa etkisini açıkça göstermektedir. Mikro lifin konvansiyonel liflere göre daha yüksek spesifik yüzey alanına sahip olmasının ve buna bağlı olarak kumaş sürtünme katsayısında meydana gelen artışın aerodinamik performansı büyük ölçüde artırdığı değerlendirilmiştir.

T926M ve SYK yapılarının aerodinamik performansları geliştirilen regresyon modeli ile hesaplanmış ve rüzgâr tüneli deneylerinde ölçülen değerler ile SYK için % 0,3 fark, T926M için %3,7 fark görülmüştür. Bu durum geliştirilen regresyon modelinin kumaşların aerodinamik performansını, büyük bir doğrulukla, öngörebilmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Böylece, tez çalışması kapsamında kumaşların aerodinamik performanslarını belirlemek için erişimi zor ve maliyetli olan rüzgâr tüneli testlerine alternatif kolay ve pratikte uygulanabilir

yeni bir yöntem geliştirilmiş olmaktadır. Bu yöntem ile yelken kumaşı vb. tekstil yapılarının aerodinamik performansları, sürtünme katsayıları, yüzey indeksi ve esneme indeksi değerleri kullanılarak tahmin edilebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, geliştirilen yelken kumaşlarının gerçek koşullarda, yelkenli teknelere takılarak denenmesi önerilir. Rüzgâr tüneli test sonuçları ve tez çalışmasında geliştirilen modelden hesaplanan performans değerleri, yelken kumaşlarının fiziki ortamda göstereceği performans ile karşılaştırılmalı ve aralarındaki ilişki irdelenmelidir.



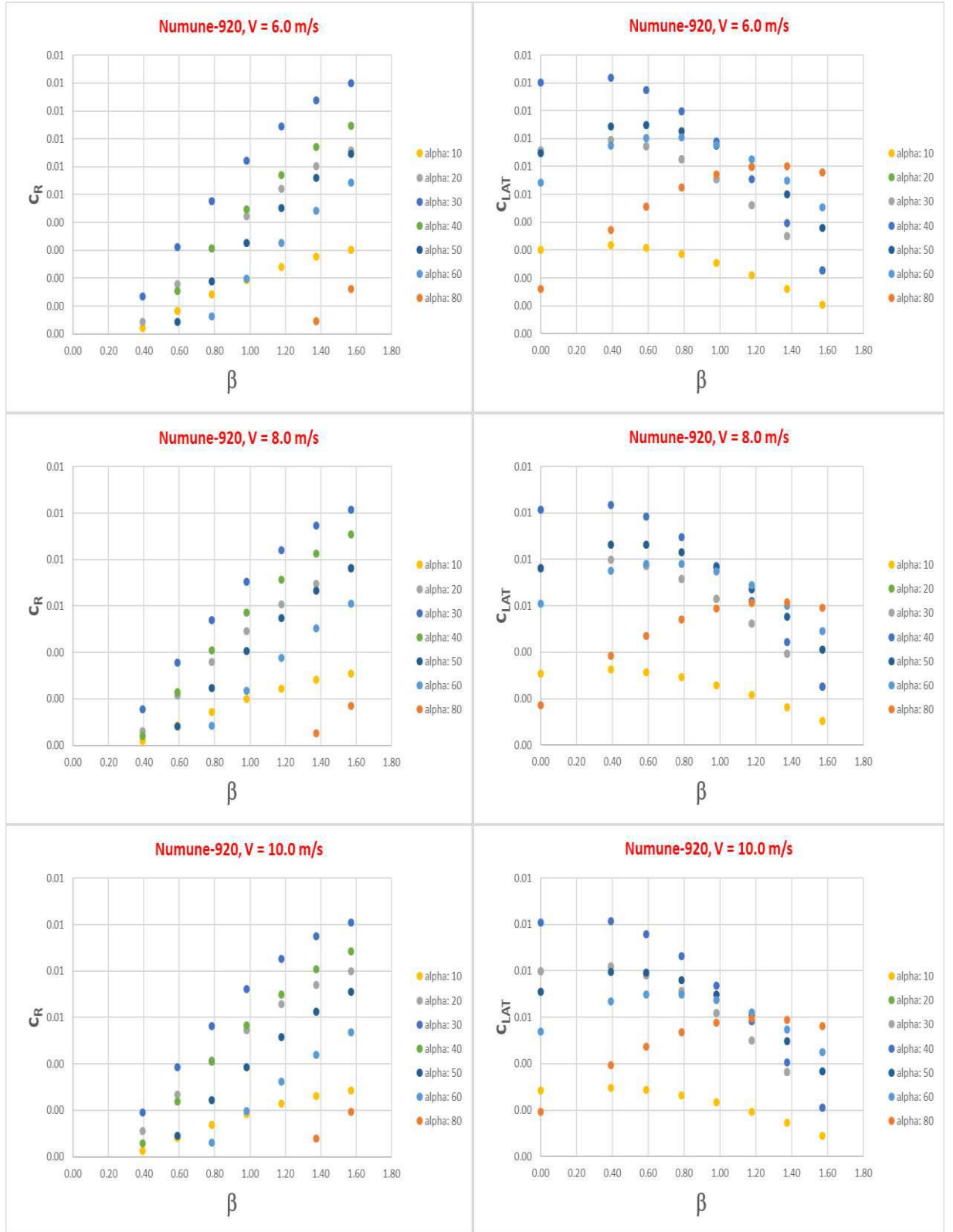
KAYNAKLAR

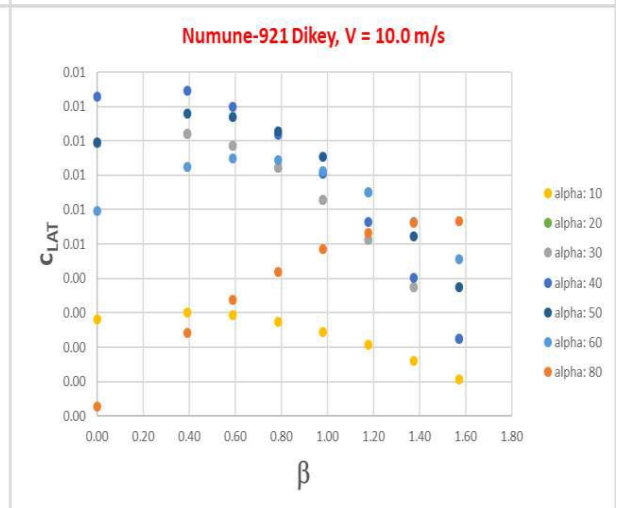
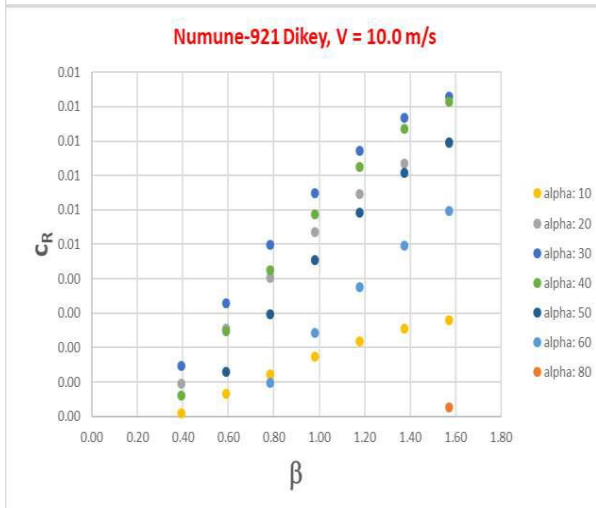
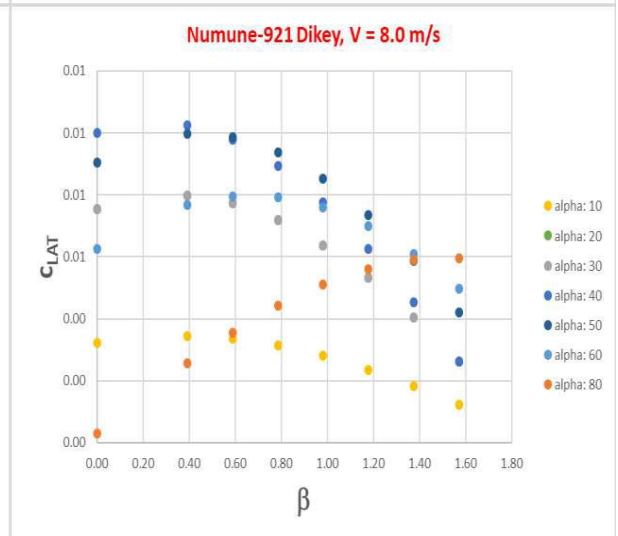
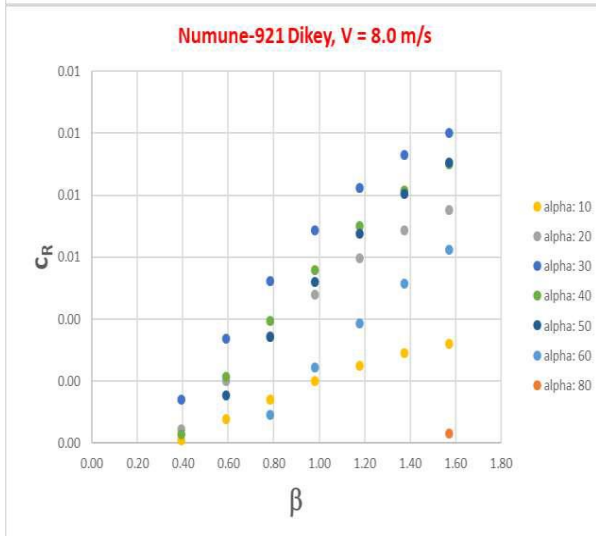
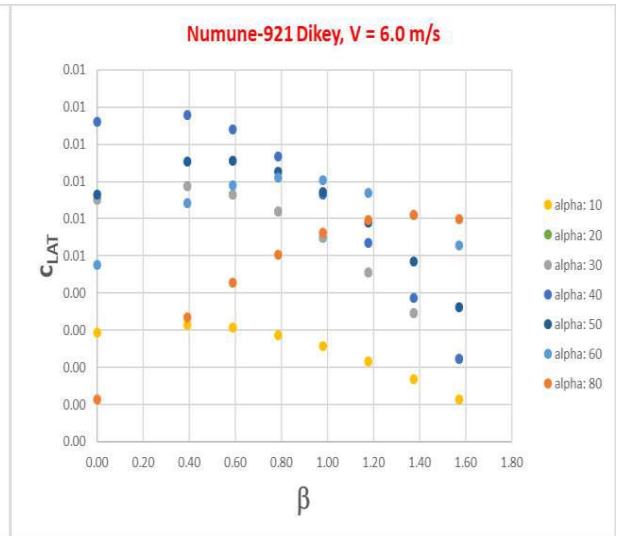
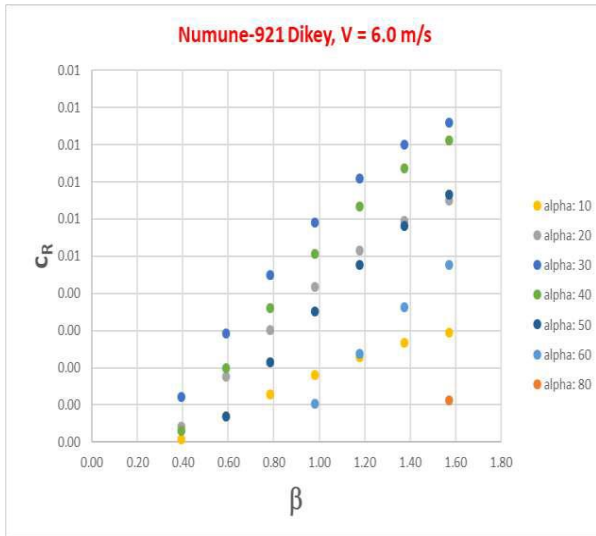
Airfoil Erişim adresi; <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Fluids/airfoil.html>

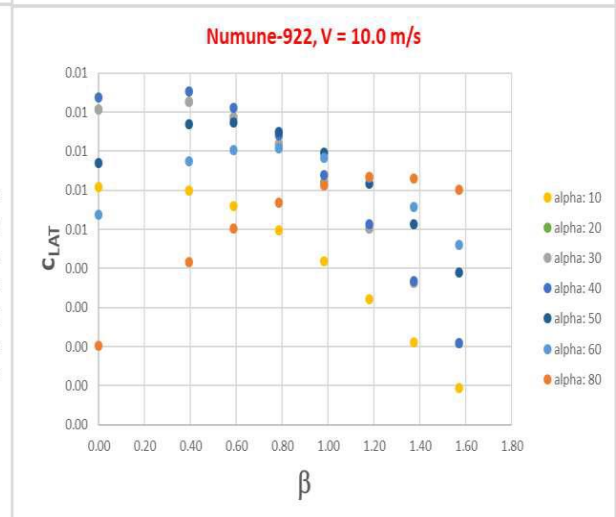
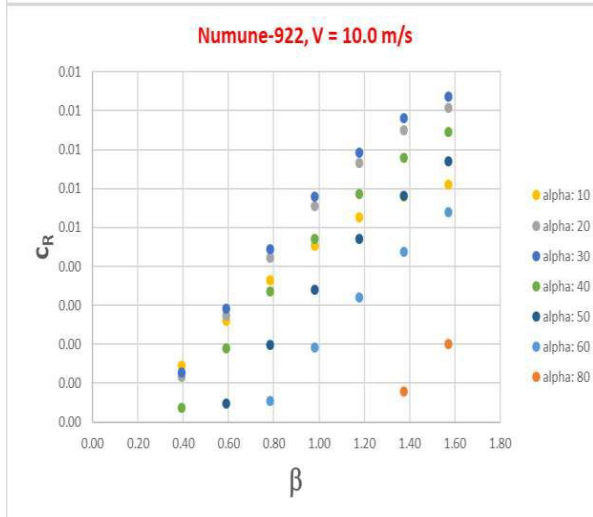
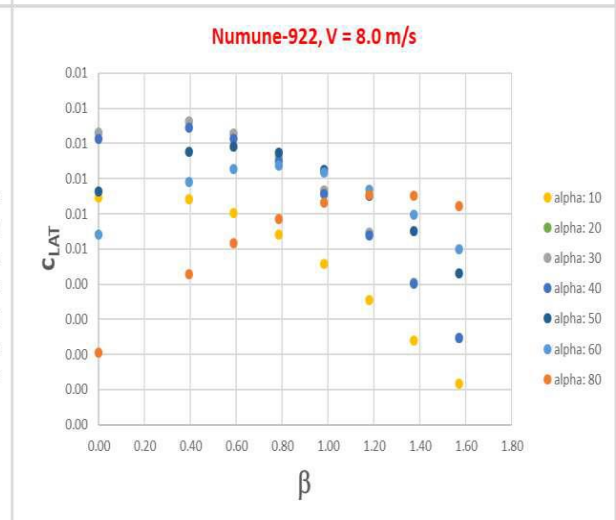
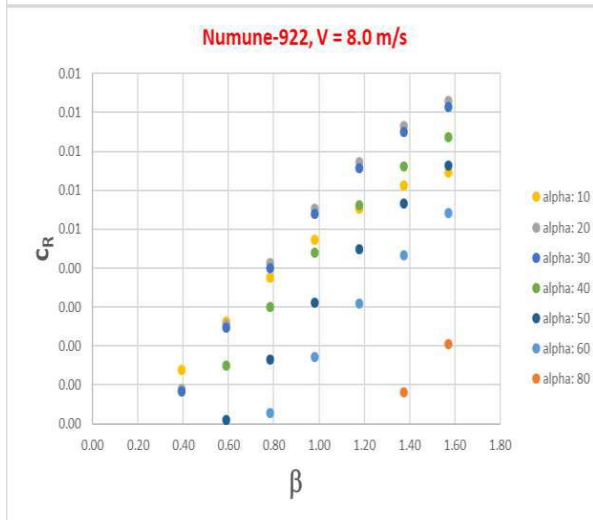
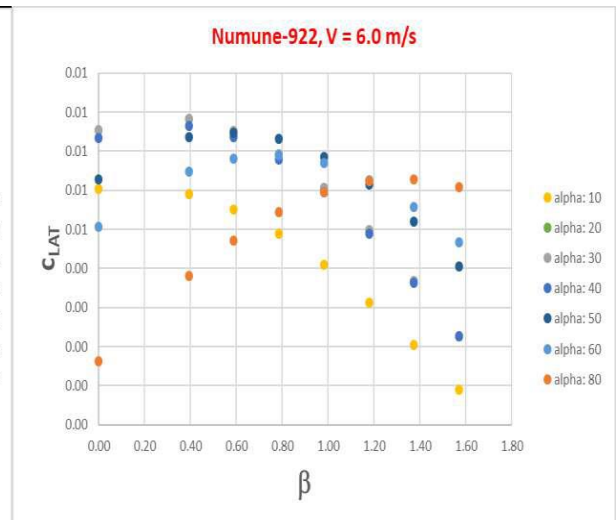
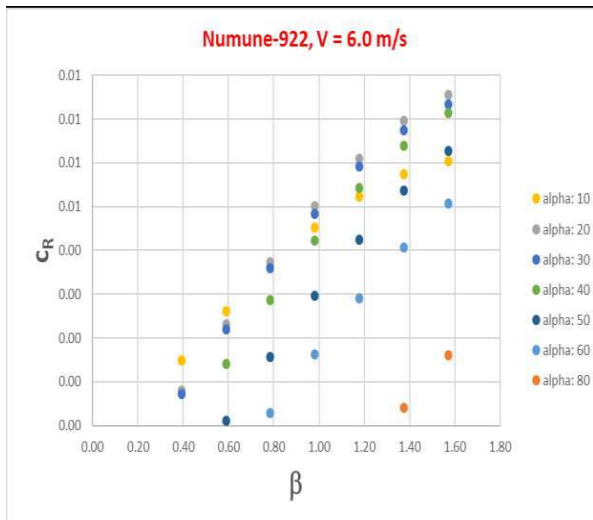
- Banks J, Webb A, Spenkuch T, Turnock S.R, (2010), *Measurement Of Dynamic Forces Experienced By An Asymmetric Yacht During A Gybe, For Use Within Sail Simulation Software*, Yelken Temel Hareket Prensibi, Procedia Engineering 2, (2010) 2511–2516
- Bayati I, Muggiasca S, Vandone A, (2019), *Experimental And Numerical Wind Tunnel Investigation Of The Aerodynamics Of Upwind Soft Sails*, Ocean Engineering 182, 395–411
- Bardal L.M, Oggiano L, Troynikov O, Konopov I, (2013), *Influence of Fabric Structural Attributes on Their Aerodynamic Behavior*, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 8, Issue 3
- Bot P, Viola I. M, Flay R, Brett JS, (2014), *Wind-Tunnel Pressure Measurements On Model-Scale Rigid Downwind Sails*, Ocean Engineering, 90, 84–92
- Balcı, G., Sölar, V. ,2013, *İpliklerde Sürtünme Özelliği: Önemi Ve Ölçüm Yöntemleri*, Tekstil ve Mühendis, 16(74): 6-15
- Bardal L.M. Reid R, 2012, *Testing of Fabrics for Use in Alpine Ski Competition Suits*, Science Direct, Procedia Engineering 34, 44-49
- Beer P.F. and Johnston. R. 1983. *Mühendisler için Mekanik Statik*, 382s. Birsen Kitapevi İstanbul
- Calı M, Salvatore O. M, Cella U, Martorelli M, Gloria A, Speranza D, (2018) *Mechanical Characterization And Modeling Of Downwind Sailcloth In Fluidstructure Interaction Analysis*, Ocean Engineering, 165, 488–504
- Can Y., Kırtay E., 2010, *Dokuma Kumaşların Sürtünme Davranışları Hakkında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi*, Tekstil ve Mühendis, yıl 12, sayı 59-60, 22-28
- Gölmez T, *Yüzey Metrolojisi Ders Notları*,8, Sayfa 6, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Howell, H. G., Mieszkis, K. W. Tabor, D. (1959). *Friction in Textiles*. Butterworths Scientific Publications, London.
- İncetan K, <http://sailing.test.boun.edu.tr/wp-content/uploads/Yelken-Kuma%C5%9F%C4%B1-Malzemesi-Ka%C4%9Fan-%C4%B0ncetan.pdf>, 2016
- Konoporov I, Oggiano L., Chinga-Carrasco G., Troynikov O., Satran L. , Alam F, *Aerodynamic and Comfort Characteristics of A Double Layer Knitted Fabric Assembly for High Speed Winter Sport*, 2010, Science direct, Procedia Engineering 2, 2837–2843
- Kern, W.F.; Bland, J.R. (1938). *Solid Mensuration with Proofs*. Sayfa 95–97.
- Kan C, Zhou C, (2019), *Marine Textiles and Composites, High Performance Technical Textiles*, First Edition, John Wiley & Sons Ltd.

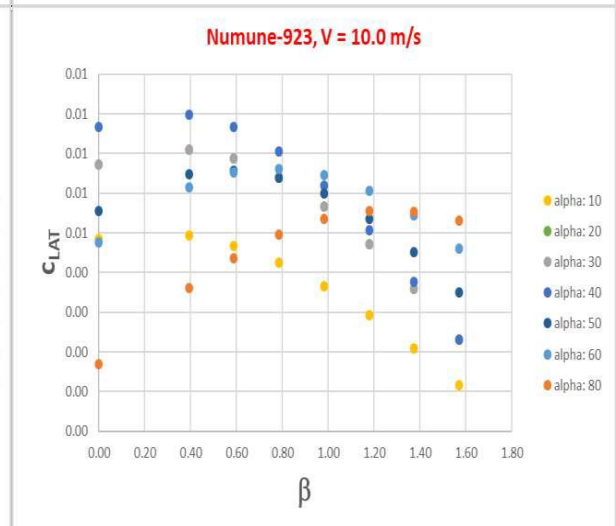
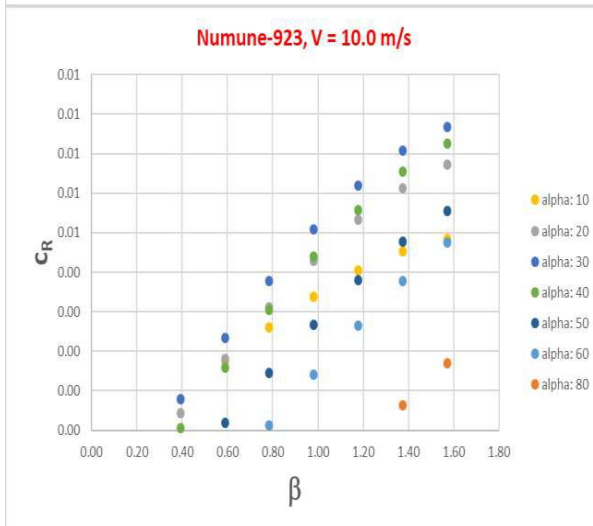
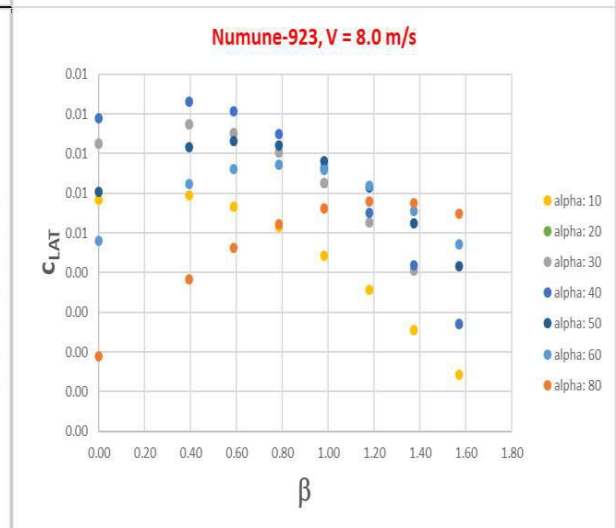
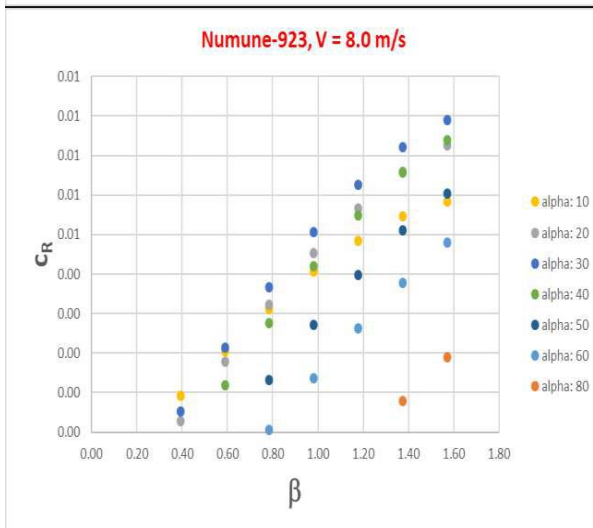
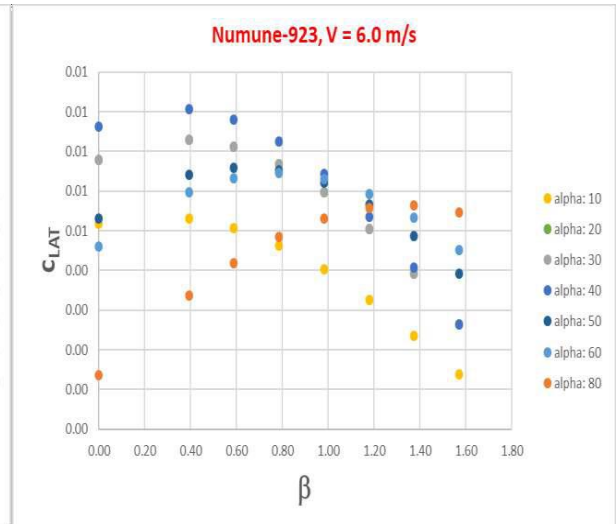
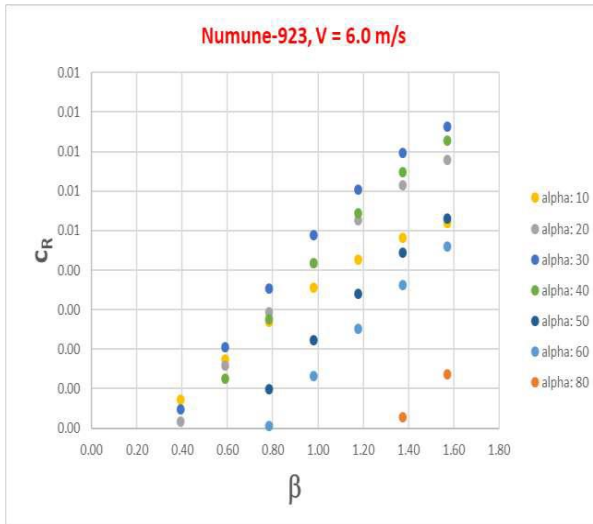
- Kara, Ş. 2011. *Farklı Enine Kesit Şekillerinde Üretilen Kimyasal Liflerin Yapısal Davranışları Ve Kullanım Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Köseoğlu, Y.M. 2018. *10 Metre Boyunda Yarış/Gezi Sınıfı Yelkenli Yatların Formunun Prizmatik katsayıya Göre Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi ve Deniz Teknolojileri Anabilim Dalı, İstanbul
- Moria H, Chowdhury H, Aldawi F, Alam F, (2013), *A Cylindrical Methodology For The Study Of Fabric Aerodynamics*, Procedia Engineering 56, 297 – 302
- Najafzadeh D, Shaikhzadeh Najar S, Khedmati M. R, (2019), *Experimental and theoretical analysis of air-inflated circular woven fabric deformation*, The Journal of The Textile Institute, 110:8, 1169-1178
- Paul R, (2019), *High Performance Technical Textiles: An Overview*, High Performance Technical Textiles, First Edition, John Wiley & Sons Ltd.
- Polat A, Kurban M, (2012). *Kambur Balina Yüzgecinden Esinlenerek Tasarlanan Rüzgâr Türbin Kanatlarının Karşılaştırmalı Analizi*. Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik
- Turan B. R, (2012). *Kumaşların Geçirgenlik Özellikleri ile Yapısal ve Geometrik Özellikleri Arasındaki İlişkiler*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir
- Yan Y., Nie Y., Wu J, Jin Z and Tao J., (2017), *Study On Aerodynamic Frictional Drag On The Surface Of Flexible Fabric*, Esnek Kumaşlarda Aerodinamik Sürtünme Parametreleri Üzerine Çalışma, Textile Research Journal, 2017, Vol. 87(11) 1326–1334
- Yelken Fiziği Erişim adresi; <https://www.kalyeta.com/?pnum=126&pt=Yelken+Fizi%C4%9Fi>

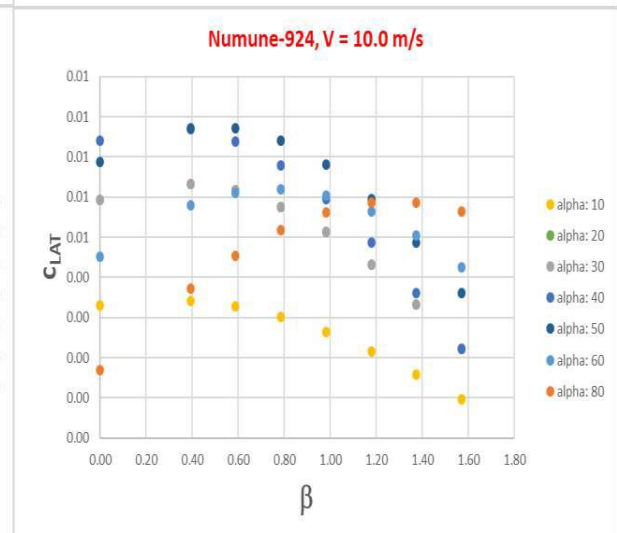
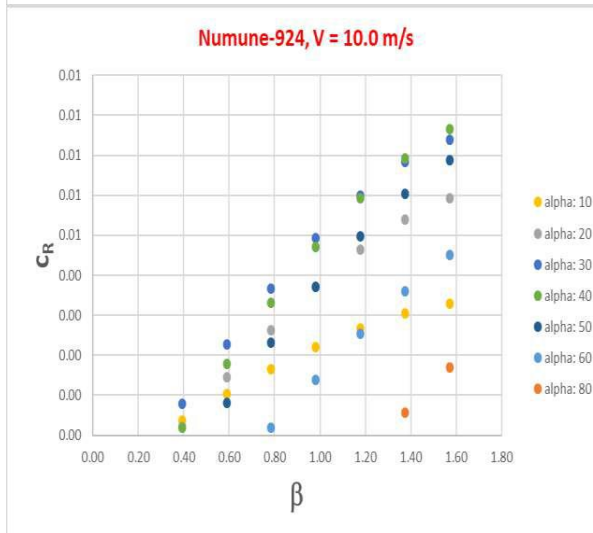
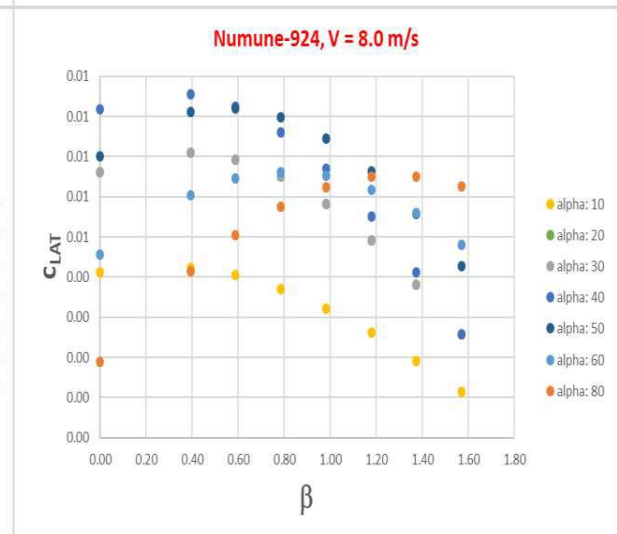
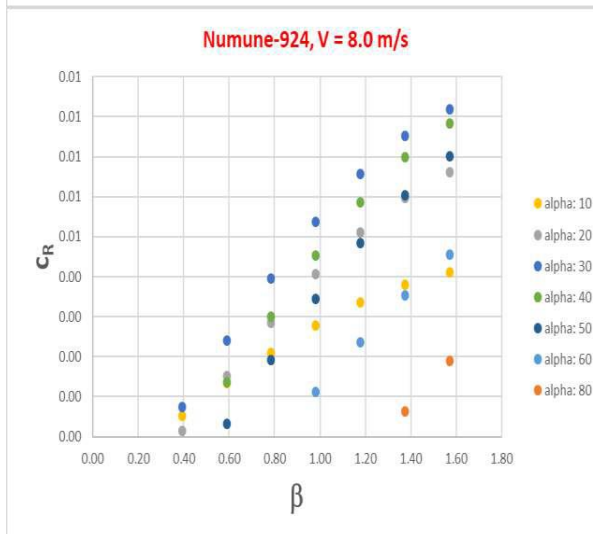
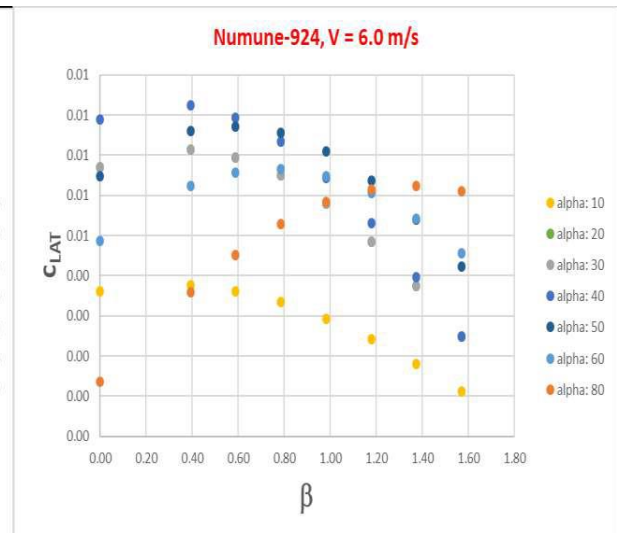
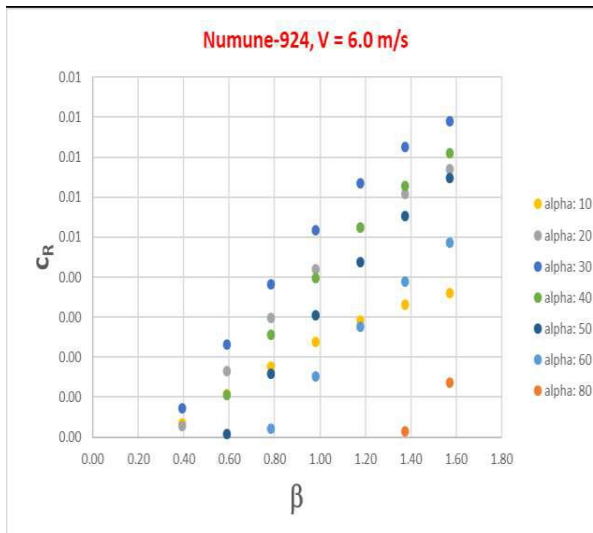
EK-A. Tekne hareket yönü ile rüzgâr arasındaki (β) açısına göre C_R ve C_{LAT} Ölçüm Sonuçları

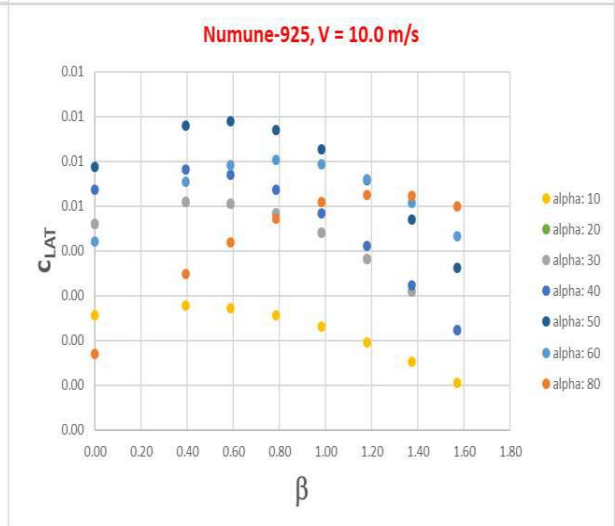
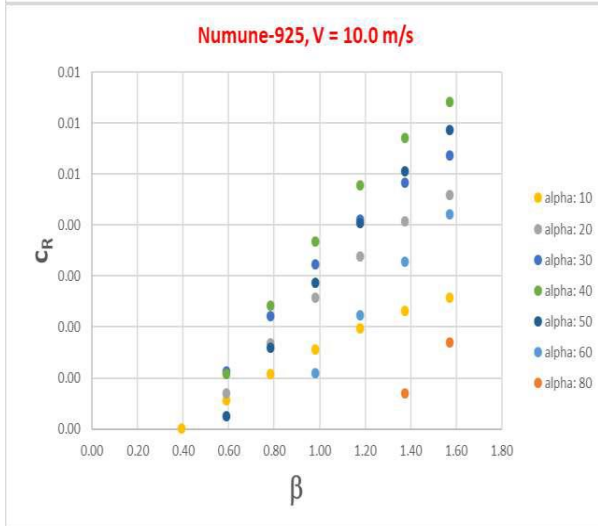
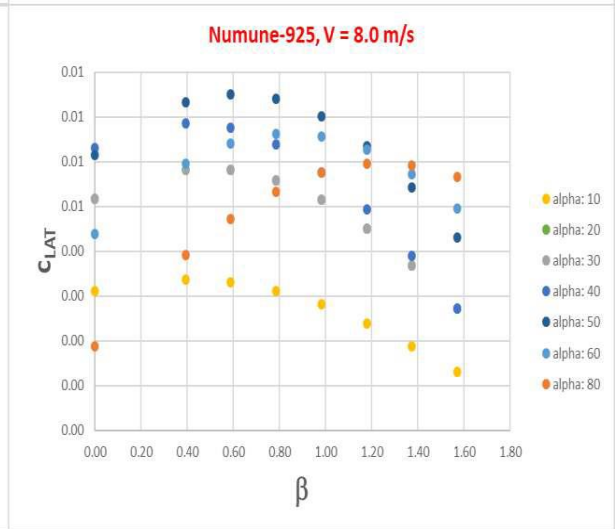
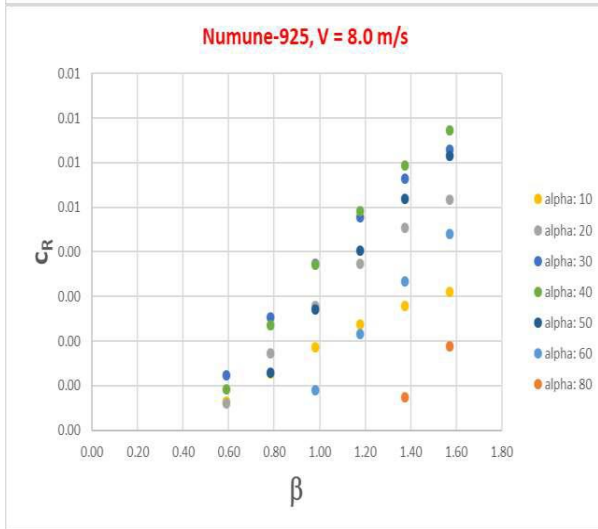
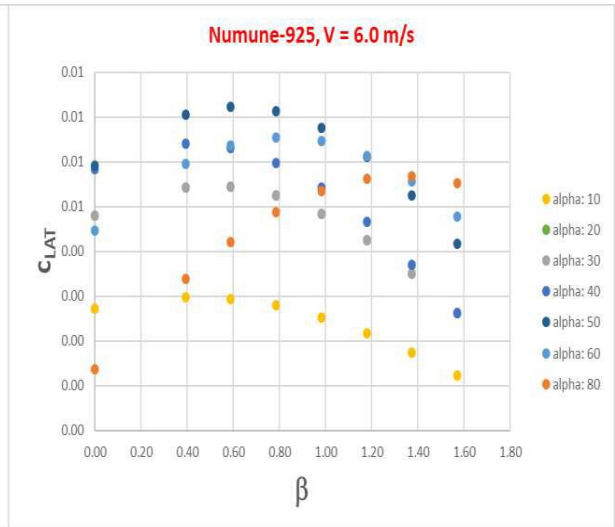
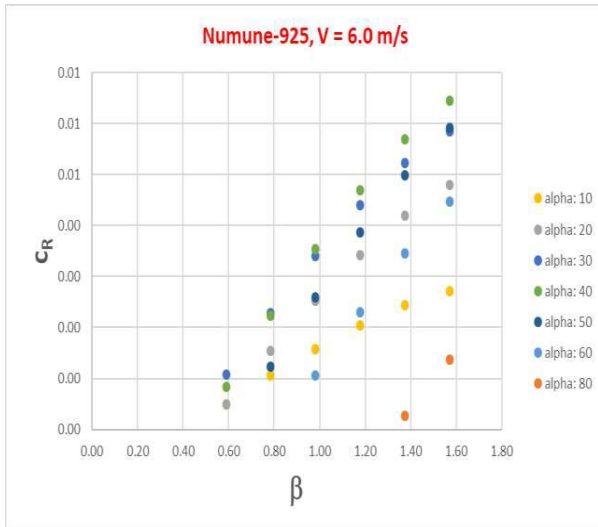


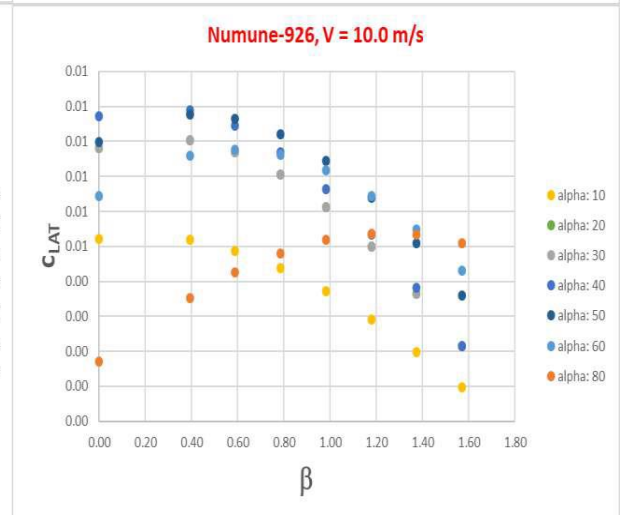
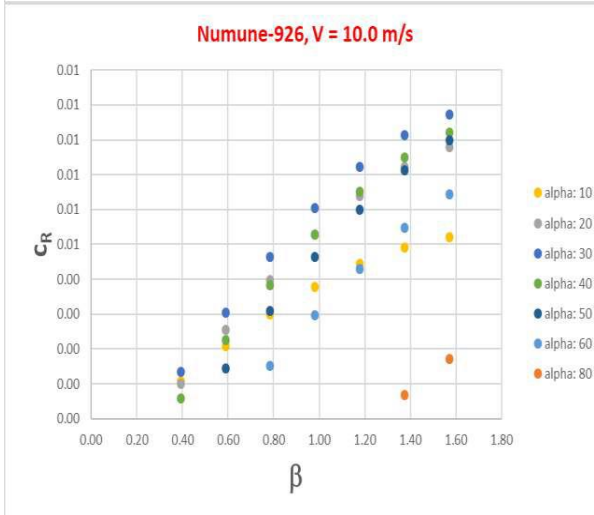
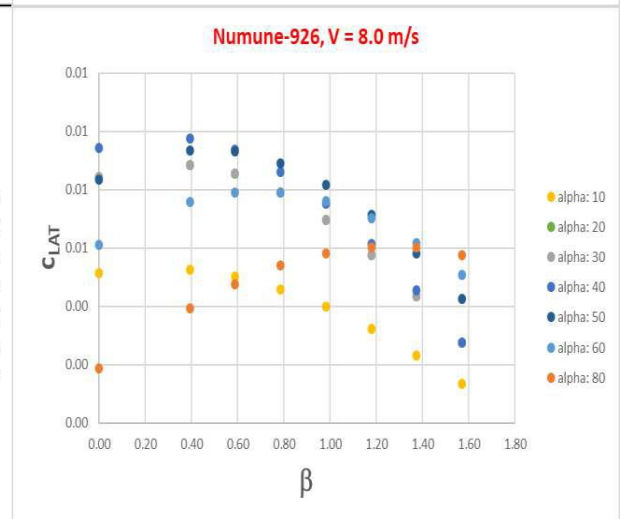
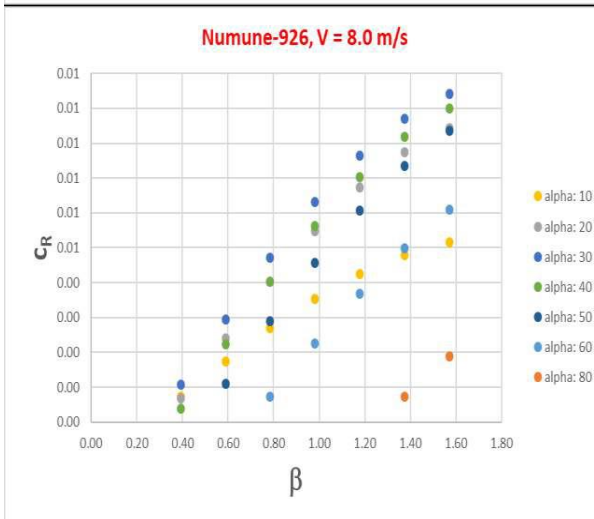
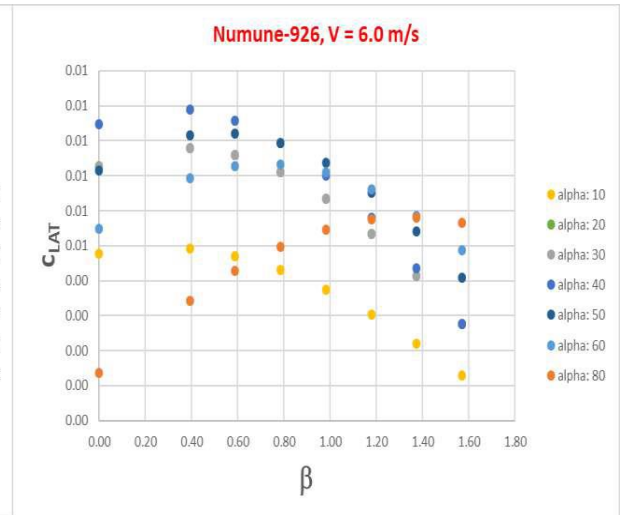
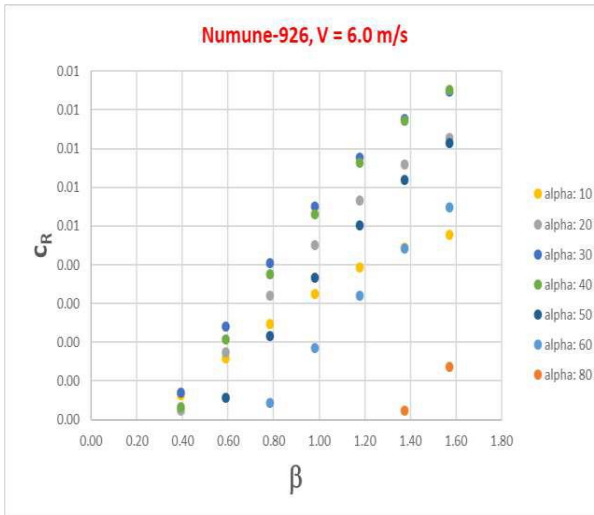


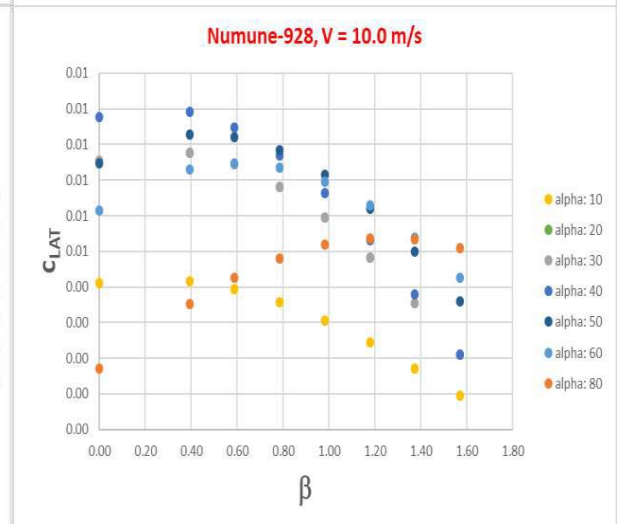
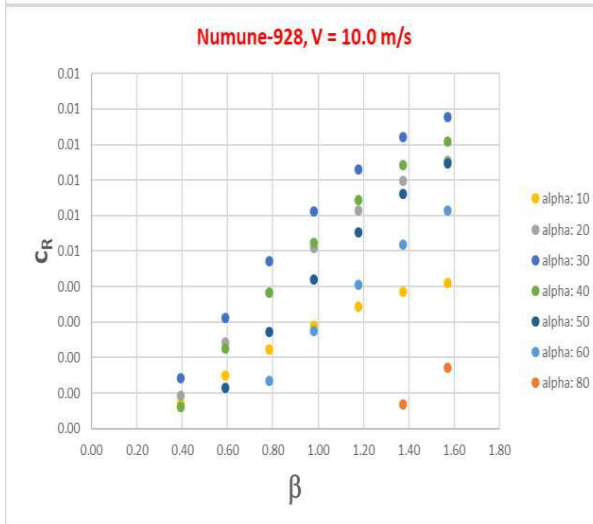
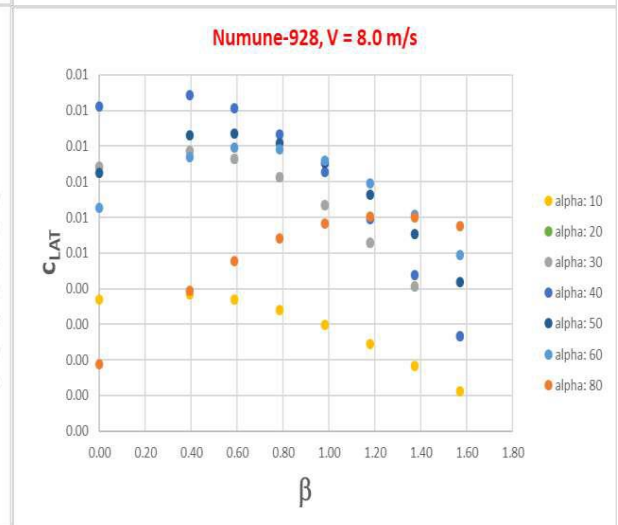
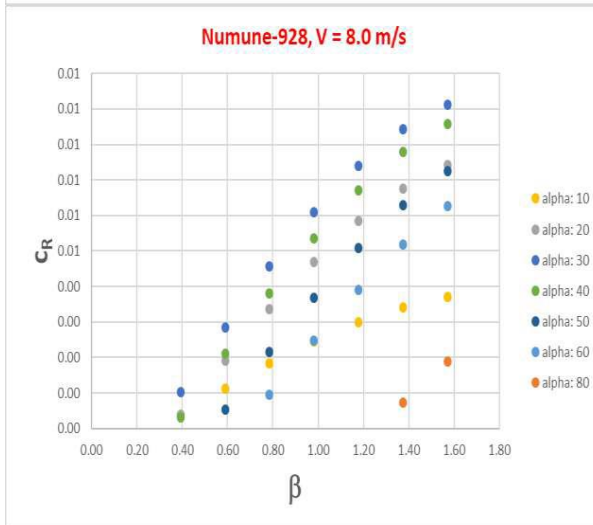
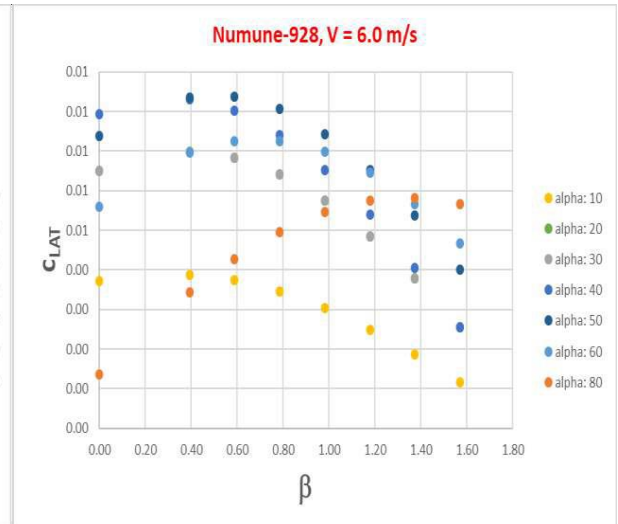
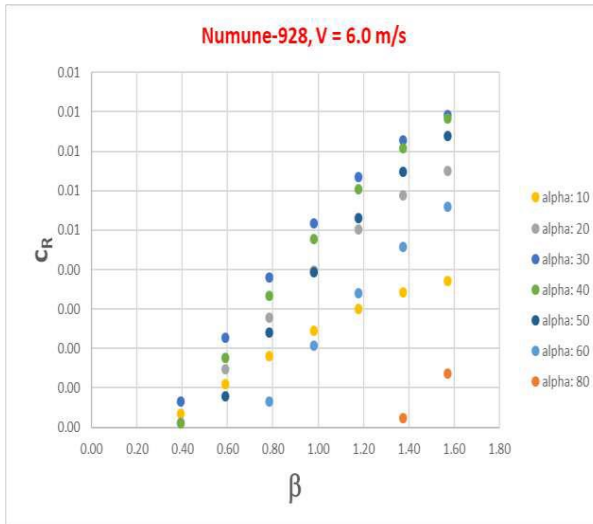


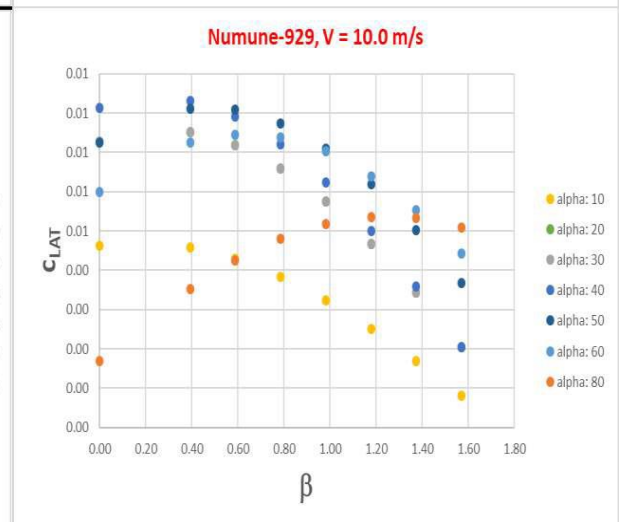
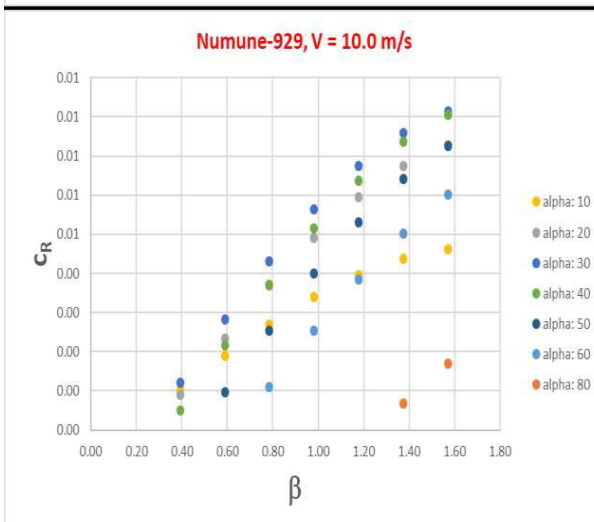
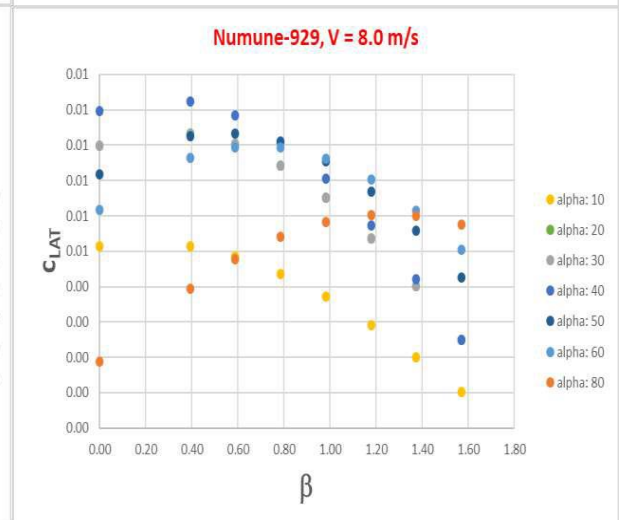
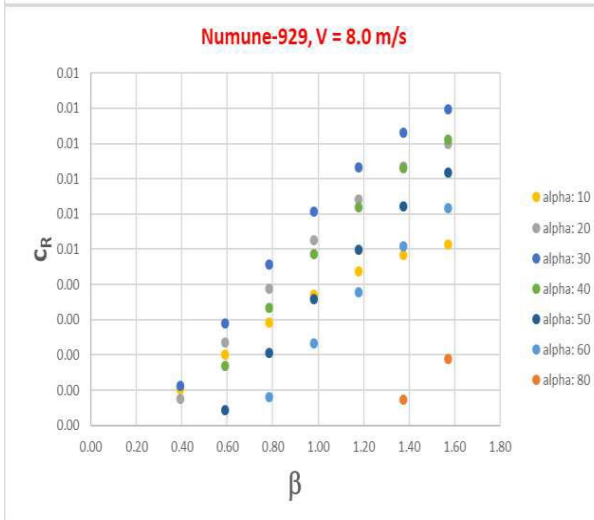
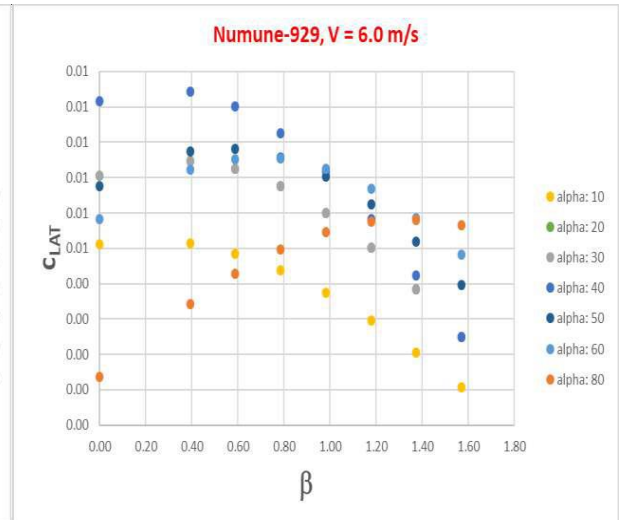
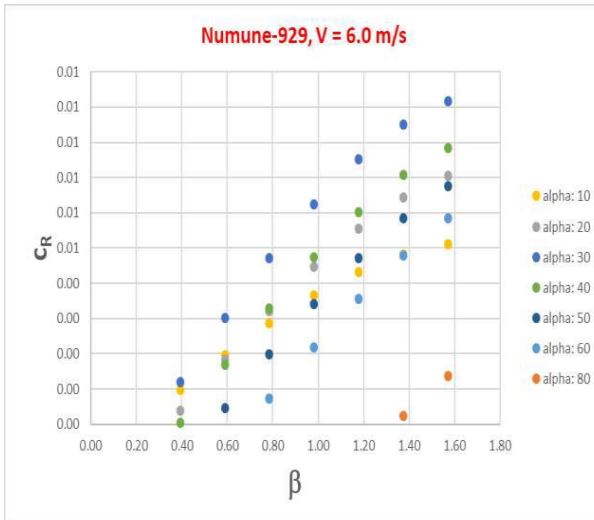












EK-B. β 45° İçin 6-10 m/s Hızlarda ΣC_{R45} Ölçüm Sonuçları

6 m/s									
α	920	921	922	923	924	925	926	928	929
-5	-0,236	-0,145	-0,297	-0,162	-0,194	-0,260	-0,189	-0,181	-0,126
0	-0,097	-0,132	-0,121	0,045	0,002	-0,104	0,019	0,003	0,036
5	-0,018	-0,038	-0,041	0,221	0,178	0,040	0,148	0,112	0,154
10	0,199	0,181	0,194	0,381	0,250	0,150	0,349	0,256	0,405
15	0,407	0,393	0,381	0,405	0,357	0,219	0,558	0,403	0,576
20	0,472	0,463	0,468	0,475	0,482	0,290	0,527	0,450	0,511
30	0,674	0,636	0,508	0,500	0,541	0,323	0,571	0,537	0,666
40	0,432	0,509	0,407	0,391	0,362	0,316	0,532	0,471	0,465
50	0,266	0,303	0,221	0,139	0,225	0,174	0,304	0,339	0,280
60	0,089	-0,052	0,041	0,008	0,031	-0,031	0,060	0,094	0,102
70	-0,186	-0,307	-0,182	-0,218	-0,268	-0,229	-0,180	-0,180	-0,180
80	-0,418	-0,486	-0,446	-0,411	-0,473	-0,416	-0,429	-0,429	-0,429
90	-0,665	-0,612	-0,732	-0,689	-0,650	-0,543	-0,636	-0,702	-0,678

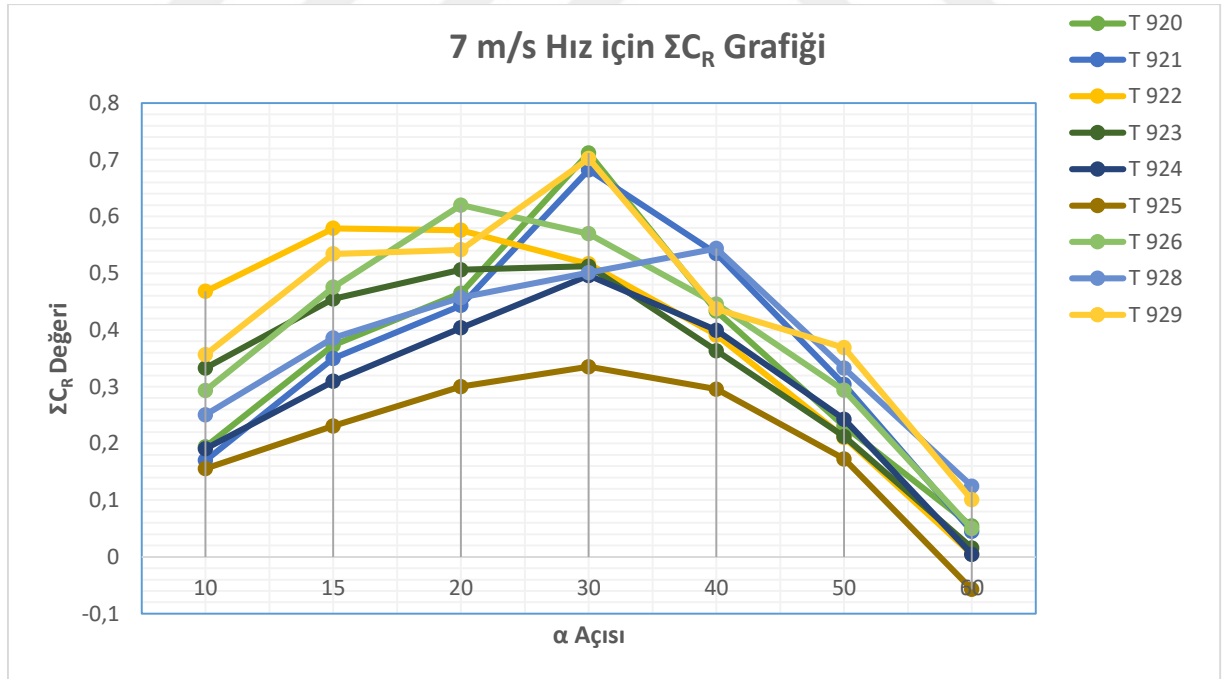
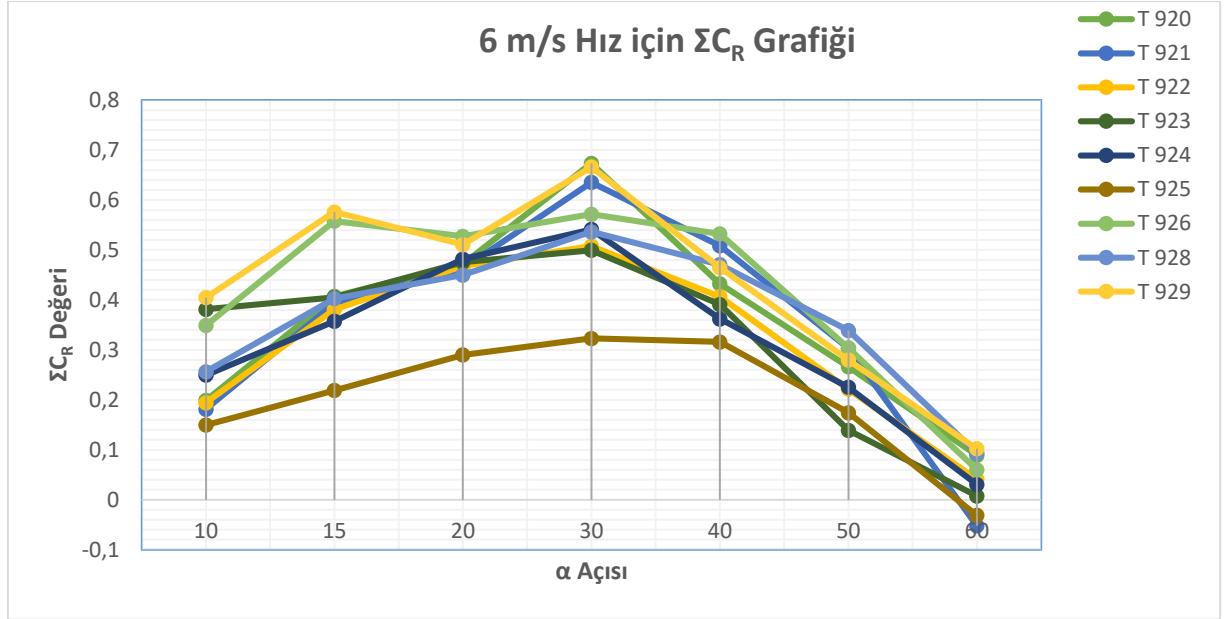
7 m/s									
α	920	921	922	923	924	925	926	928	929
-5	-0,227	-0,175	-0,309	-0,152	-0,158	-0,215	-0,175	-0,147	-0,147
0	-0,111	-0,136	-0,027	0,072	-0,003	-0,096	0,017	-0,004	0,030
5	-0,028	-0,053	0,333	0,218	0,143	0,030	0,118	0,086	0,196
10	0,194	0,170	0,468	0,333	0,191	0,156	0,293	0,250	0,357
15	0,373	0,350	0,579	0,455	0,309	0,231	0,475	0,386	0,534
20	0,465	0,443	0,576	0,506	0,404	0,300	0,620	0,457	0,541
30	0,712	0,682	0,516	0,512	0,496	0,335	0,569	0,501	0,702
40	0,433	0,535	0,391	0,363	0,399	0,296	0,446	0,544	0,437
50	0,230	0,304	0,210	0,212	0,243	0,173	0,294	0,332	0,369
60	0,054	0,045	0,005	0,016	0,004	-0,057	0,050	0,125	0,101
70	-0,181	-0,288	-0,200	-0,232	-0,248	-0,221	-0,129	-0,129	-0,129
80	-0,392	-0,560	-0,427	-0,384	-0,425	-0,385	-0,394	-0,394	-0,394
90	-0,690	-0,681	-0,707	-0,613	-0,675	-0,594	-0,627	-0,590	-0,660

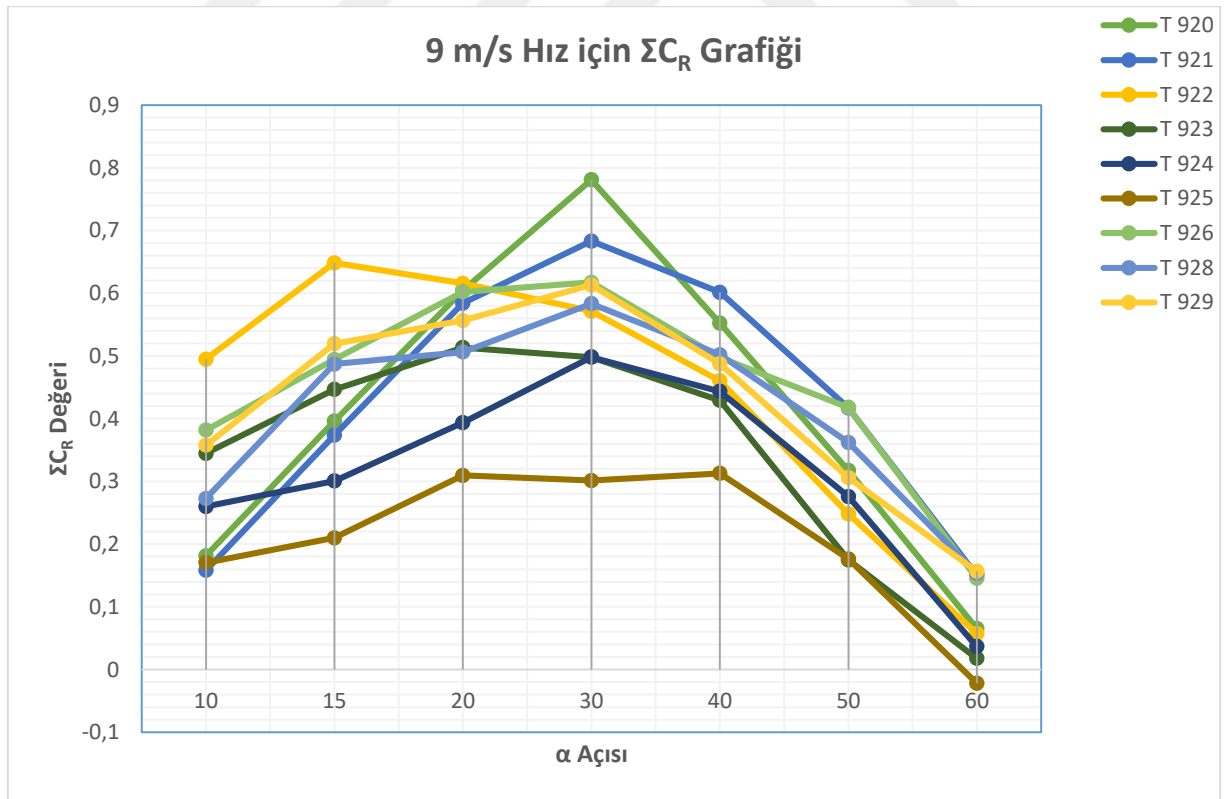
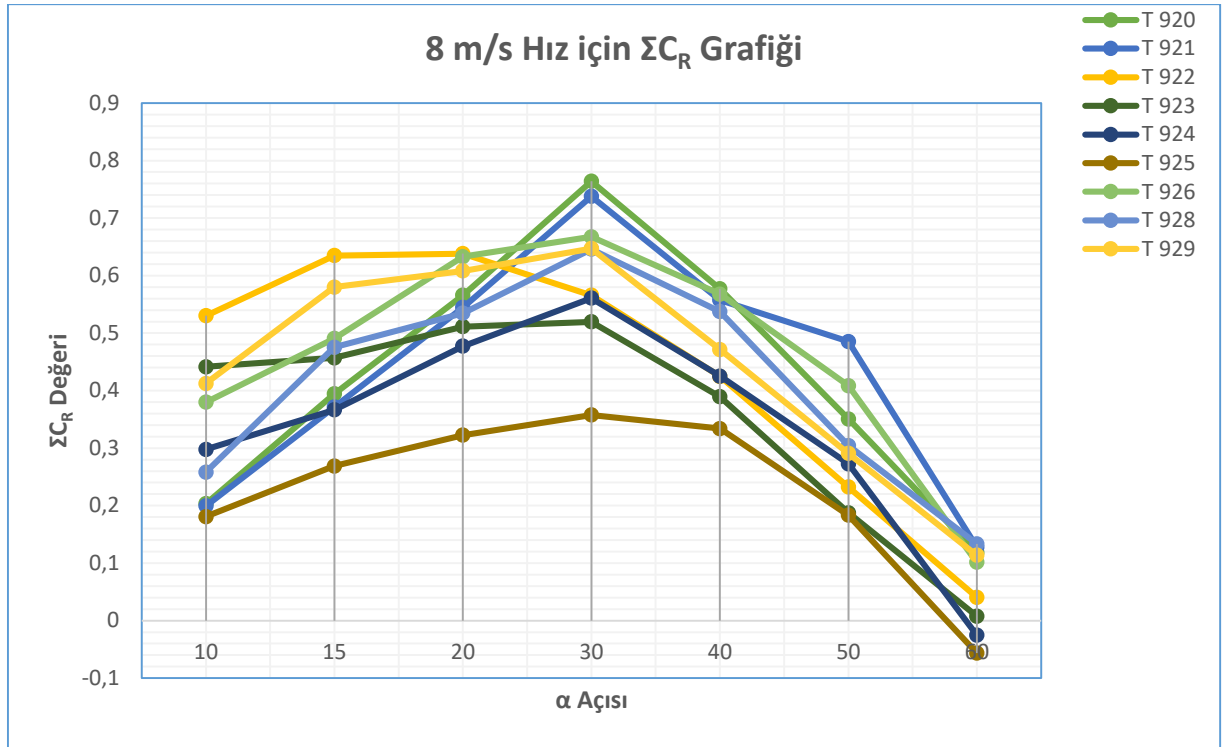
8 m/s									
α	920	921	922	923	924	925	926	928	929
-5	-0,262	-0,209	-0,397	-0,201	-0,243	-0,233	-0,230	-0,220	-0,164
0	-0,161	-0,185	-0,041	0,045	-0,010	-0,139	0,014	-0,026	0,026
5	-0,041	-0,065	0,338	0,257	0,166	0,036	0,125	0,100	0,254
10	0,203	0,200	0,530	0,441	0,298	0,181	0,380	0,258	0,412
15	0,394	0,372	0,635	0,457	0,366	0,269	0,491	0,475	0,580
20	0,566	0,545	0,638	0,511	0,477	0,322	0,633	0,535	0,608
30	0,764	0,738	0,566	0,520	0,561	0,358	0,667	0,646	0,647
40	0,577	0,557	0,425	0,389	0,425	0,334	0,568	0,537	0,471
50	0,351	0,485	0,232	0,188	0,273	0,183	0,409	0,304	0,291
60	0,118	0,128	0,041	0,008	-0,025	-0,056	0,101	0,134	0,114
70	-0,158	-0,258	-0,171	-0,212	-0,285	-0,231	-0,145	-0,145	-0,145
80	-0,421	-0,563	-0,417	-0,360	-0,436	-0,378	-0,386	-0,386	-0,386
90	-0,757	-0,742	-0,718	-0,660	-0,700	-0,620	-0,750	-0,717	-0,711

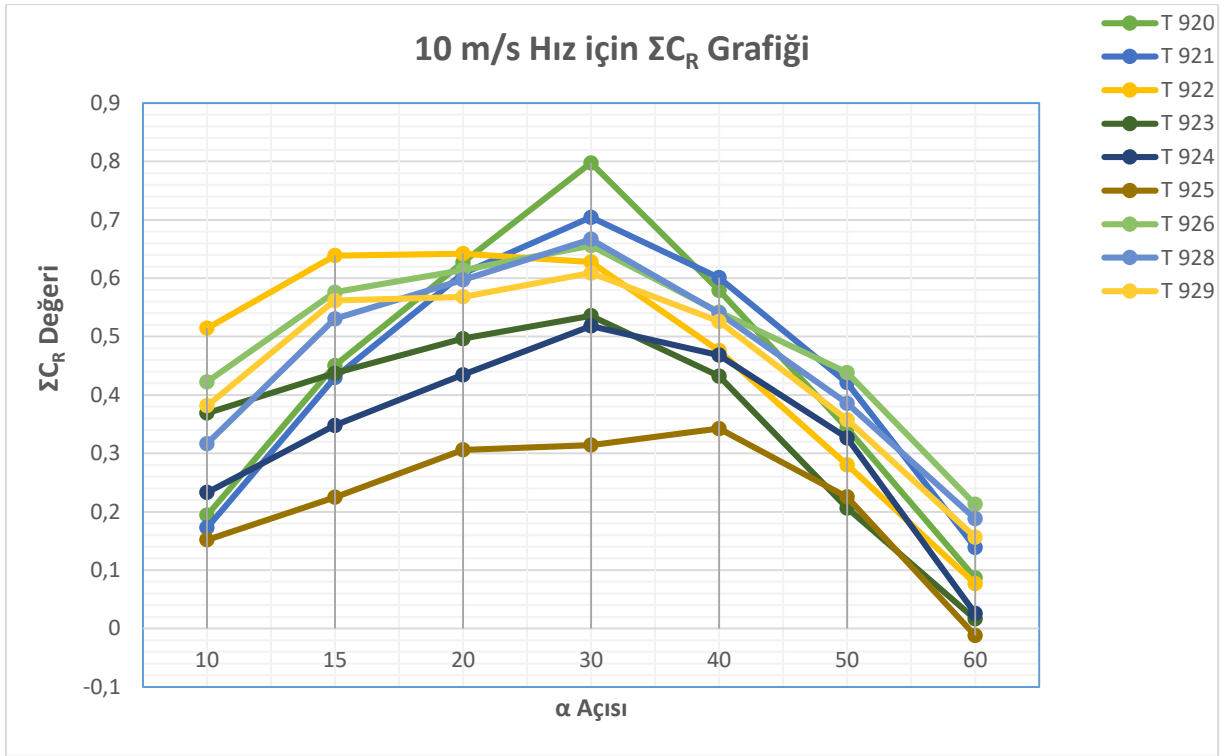
9 m/s									
α	920	921	922	923	924	925	926	928	929
-5	-0,236	-0,199	-0,353	-0,207	-0,201	-0,181	-0,200	-0,246	-0,185
0	-0,157	-0,183	-0,058	0,052	-0,014	-0,118	-0,003	-0,029	0,009
5	-0,048	-0,071	0,236	0,224	0,133	0,024	0,087	0,080	0,239
10	0,181	0,158	0,495	0,345	0,260	0,170	0,382	0,273	0,358
15	0,396	0,373	0,648	0,446	0,300	0,210	0,494	0,487	0,520
20	0,605	0,584	0,616	0,513	0,394	0,309	0,602	0,506	0,557
30	0,781	0,683	0,571	0,498	0,498	0,301	0,617	0,583	0,613
40	0,552	0,601	0,460	0,429	0,443	0,313	0,497	0,502	0,487
50	0,317	0,417	0,248	0,175	0,276	0,176	0,418	0,362	0,306
60	0,066	0,150	0,057	0,018	0,037	-0,022	0,145	0,153	0,157
70	-0,198	-0,223	-0,178	-0,202	-0,250	-0,184	-0,129	-0,129	-0,129
80	-0,422	-0,563	-0,425	-0,377	-0,446	-0,359	-0,365	-0,365	-0,365
90	-0,745	-0,721	-0,700	-0,625	-0,698	-0,532	-0,666	-0,590	-0,627

10 m/s									
α	920	921	922	923	924	925	926	928	929
-5	-0,277	-0,374	-0,374	-0,261	-0,230	-0,178	-0,219	-0,196	-0,217
0	-0,181	-0,203	-0,094	0,051	-0,021	-0,120	-0,026	-0,050	-0,006
5	-0,057	-0,079	0,210	0,233	0,122	0,017	0,083	0,069	0,236
10	0,194	0,173	0,514	0,369	0,233	0,152	0,423	0,317	0,382
15	0,450	0,430	0,639	0,437	0,348	0,225	0,576	0,531	0,562
20	0,627	0,608	0,642	0,497	0,435	0,306	0,614	0,597	0,568
30	0,798	0,704	0,628	0,536	0,518	0,314	0,656	0,667	0,609
40	0,579	0,601	0,476	0,432	0,468	0,342	0,542	0,540	0,526
50	0,343	0,421	0,280	0,206	0,327	0,225	0,438	0,386	0,358
60	0,087	0,139	0,077	0,016	0,026	-0,012	0,213	0,188	0,157
70	-0,180	-0,253	-0,174	-0,221	-0,251	-0,204	-0,110	-0,110	-0,110
80	-0,371	-0,540	-0,401	-0,361	-0,393	-0,329	-0,340	-0,340	-0,340
90	-0,678	-0,696	-0,693	-0,644	-0,598	-0,558	-0,679	-0,664	-0,660

EK-C. β 45° İçin 6-10 m/s Hızlarda ΣC_{R45} Grafikleri







TEZDEN ÜRETİLMİŞ ESERLER

A. Ulusal Hakemli Makaleler

Yüksek Performanslı Yelken Kumaşı Geliştirilmesi

