
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN RADOM GEOMETRİLERİNİN AERODİNAMİK PERFORMANSININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Bilal AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Bilal AYDIN

10/07/2025

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANILAN RADOM GEOMETRİLERİNİN AERODİNAMİK PERFORMANSININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Bilal AYDIN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2025

ÖZET

Bu tez çalışması, insansız hava araçlarında (İHA) kullanılan farklı radom geometrilerinin aerodinamik performanslarını değerlendirerek, daha az sürükleme kuvveti üreten geometrilerin tespitini sayısal analizler aracılığıyla gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Tezin odak noktası, anten koruma yapısı olarak görev yapan radomların serbest akışa karşı oluşturduğu aerodinamik direnç ve bu direncin tasarımsal iyileştirmeler yoluyla nasıl minimize edilebileceğidir. Bu kapsamda, öncelikle radom analizinde kullanılacak sınır şartları ve giriş koşulları, literatürde yer alan 155 mm M107 obüs mermisine ait sürükleme katsayısı (C_d) deneysel sonuçları ile doğrulanmıştır. Radom sayısal analizlerinde, k-ω SST türbülans modeli kullanılarak eksenel simetrik iki ve üç boyutlu modelleri oluşturulmuş ve çözüm ağı bağımsızlık analizi yapılmıştır. Ardından, ilgili radom geometrisinin hem 2 boyutlu hem de 3 boyutlu analizleri gerçekleştirilmiş, bu analizlerin sonuçları karşılaştırılarak, analizlerin 2 boyutlu olarak sürdürülmesinin yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. 2 boyutlu analizlerde, altı farklı parametrenin sürükleme kuvveti üzerindeki etkileri parametrik optimizasyon yaklaşımıyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı Mach sayıları için yüzey kayma gerilmesi, akım çizgileri, basınç konturları, mach konturları, türbülans kinetik enerj konturları cinsinden değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu	:	91411
Anahtar Kelimeler	:	Radom, Aerodinamik performans, Sürükleme katsayısı, Parametrik optimizasyon, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
Sayfa Adedi	:	75
Danışman	:	Doç. Dr. Fatih AKTAŞ

NUMERICAL INVESTIGATION OF AERODYNAMIC PERFORMANCE OF RADOM GEOMETRIES USED IN UNMANNED AERIAL VEHICLES

(M. Sc. Thesis)

Bilal AYDIN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2025

ABSTRACT

This thesis aims to evaluate the aerodynamic performance of different radome geometries used in unmanned aerial vehicles (UAVs) to identify geometries that produce lower drag forces through numerical analyses. The focus of the thesis is on minimizing the aerodynamic resistance caused by radomes, which serve as antenna protection structures, by means of design optimizations. In this context, the boundary conditions and inlet parameters for radome analysis were first validated against experimental drag coefficient (Cd) results from the 155 mm M107 artillery shell available in the literature. For the numerical radome analyses, two- and three-dimensional axisymmetric models were created using the k-ω SST turbulence model, and a mesh independence study was conducted. Subsequently, both 2D and 3 dimensional analyses of the radome geometry were performed, and the comparison of these analyses indicated that continuing with two-dimensional analyses would be sufficient. In the 2 dimensional analyses, the effects of six different parameters on drag force were investigated using a parametric optimization approach. The obtained results were evaluated in terms of surface shear stress, streamlines, pressure contours, Mach contours, and turbulence kinetic energy contours for different Mach numbers.

Science Code	:	91411
Key Words	:	Radome, Aerodynamic performance, Drag coefficient, Parametric optimization, Computational fluid dynamics (CFD)
Page Number	:	75
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Fatih AKTAŞ

TEŞEKKÜR

Değerli tez hocam Doç. Dr. Fatih AKTAŞ'a, tezime katkılarından dolayı Diren Deniz ÇİÇEK'e, canım evlatlarım Ömer ve Hamza'ya ve son olarak bu yolu birlikte yürüdüğüm, her koşulda bana destek olan sevgili eşim Elmas'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. RADOM YAPILARI VE SINIFLANDIRILMASI 5

2.1. Radom Çeşitleri 5

2.2. Tasarım Parametrelerine Göre Radomların Sınıflandırılması 6

2.2.1. Çalışma ortamına göre sınıflandırma (MIL-R-7705B Sınıf I-III) 7

2.2.2. Frekans aralığına göre sınıflandırma (Tip I-VI) 7

2.2.3. Dielektrik duvar yapısına göre sınıflandırma (Stil a-f) 8

2.3. Radom Performans Sınıfları 9

2.4. Radom Yapı Stilleri 10

2.5. Radomun İşlevsel Kategorileri 11

2.6. Kullanım Şekline Göre Sınıflandırma 12

2.7. Radom Duvar Yapıları 13

2.8. Radomların Anten Performansı Üzerindeki Elektromanyetik Etkileri 14

2.9. Radom Üretiminde Kullanılan Malzemeler 16

2.10. Radom Malzemelerinde Olması Gereken Özellikler 17

2.11. Radomların Geometrik Sınıflandırılması 18

Sayfa

2.11.1. Küresel ve yarımküresel radomlar 18

2.11.2. Konik ve eliptik radomlar 19

2.11.3. Ogival ve von karman radomlar 19

2.11.4. Haack serileri ve burun konisi optimizasyonları 19

2.11.5. Silindirik radomlar 19

2.11.6. Segmental ve jeodezik kubbeler 20

2.11.7. Damla (droplet) şekilli radomlar 20

2.11.8. Harmanlanmış ve hibrit geometriler 20

3. RADOM ÜZERİNE ETKİYEN SÜRÜKLEME KATSAYISININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ 23

3.1. Korunum Denklemleri 23

3.2. Problemin Tanımı 26

3.3. Ağ Yapısından Bağımsızlaştırma Çalışması 28

3.4. Türbülans Modellenmesi ve Duvar Yakınındaki Ağ Çözünürlüğü 31

3.5. Eksenel Simetrik 2-Boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Modelinin Literatürle Doğrulanması 32

3.6. Radom Geometrisi Üzerinde Parametrik Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri 40

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 53

4.1. Sonuçlar 53

4.2. Öneriler 54

KAYNAKLAR 55

EKLER 57

EK-1. Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti tablosu 58

ÖZGEÇMİŞ 75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Farklı radom geometrilerinin sınıflandırılması..... 21

Çizelge 3.1. Parametrik çalışma için radom geometri alt-üst sınır değerleri..... 41

Çizelge 3.2. 8 farklı Mach sayısı için 713 analizden seçilmiş sürükleme kuvveti sonuçları..... 42

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Örnek bir radom geometrisi gösterimi 1

Şekil 3.1. Anten ve antene uyarlanan radom geometrisi 27

Şekil 3.2. Radom geometrisi parametleri 27

Şekil 3.3. Radom geometrisinin iki boyutlu modeli ve sınır şartları 28

Şekil 3.4. Radom geometrisinin iki boyutlu ağ yapısı 29

Şekil 3.5. Radom geometrisinin üç boyutlu ağ yapısı 30

Şekil 3.6. Radom geometrisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu hücre sayısından bağımsızlaştırma grafikleri 30

Şekil 3.7. Radom geometrisinin Mach 0,12 değerinde 3 boyutlu ve 2 boyutlu duvar kayma gerilmesi ve basınç konturları karşılaştırılması 31

Şekil 3.8. Doğrulama yapılan M107 mermisinin 2 boyutlu hücre yapısı 33

Şekil 3.9. Mermi duvarı üzerindeki y+ değer dağılımı 34

Şekil 3.10. Mermi duvarı ve kesit üzerindeki basınç dağılımı 35

Şekil 3.11. Mermi duvarı ve kesit üzerindeki hız dağılımı 36

Şekil 3.12. Mermi duvarı ve kesit üzerindeki Mach sayısı konturu (Giriş 0.3 Mach için) 37

Şekil 3.13. Kuyruk kısmında hız vektör dağılımları 37

Şekil 3.14. Duvar boyunca statik basınç değişimi 38

Şekil 3.15. Burun konisinin duvarı boyunca yüzey kayma gerilimi değişimi 39

Şekil 3.16. M107 mermisinin literatürden alınan deneysel sonuçları ile HAD sonuçlarının karşılaştırılması 40

Şekil 3.17. Mach 0,1 için yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu 43

Şekil 3.18. Mach 0,1 için statik basınç konturu 43

Şekil 3.19. Mach 0,1 için Mach sayısı konturu 44

Şekil 3.20. Mach 0,1 için türbülans kinetik enerji konturu 45

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.21. Mach 0,1 için radom yüzeyi basınç konturu 45

Şekil 3.22. Mach 0,1 için radom yüzey kayma gerilimi konturu 46

Şekil 3.23. Mach 0,8 için yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu 47

Şekil 3.24. Mach 0,8 için Mach sayısı dağılımı konturu 48

Şekil 3.25. Mach 0,8 için statik basınç konturu 48

Şekil 3.26. Mach 0,8 için türbülans kinetik enerji konturu 49

Şekil 3.27. Mach 0,8 için radom yüzeyi basınç konturu 50

Şekil 3.28. Mach 0,8 için radom yüzey kayma gerilimi konturu 51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

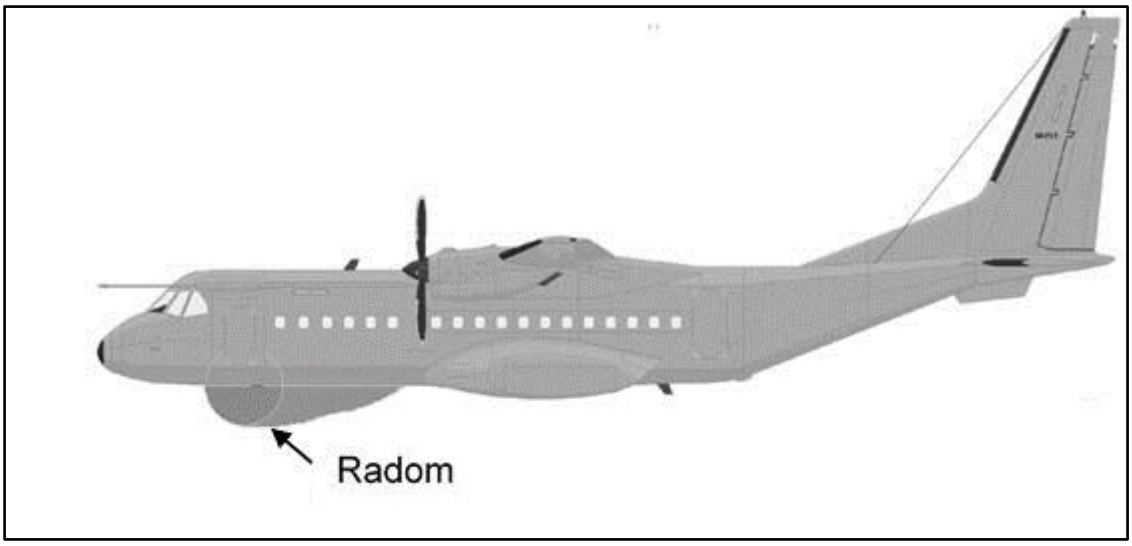
Simgeler	Açıklamalar
λ	Dalga Boyu (m)
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
µm	Mikrometre
ν	Poisson oranı
Å	Angstrom
ΔG	Gibbs Serbest Enerji
ΔH	Entalpi
Al	Alüminyum
B	Bulk Modülü
B	Bor
CS	Entropi
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
V	Vanadyum
Zr	Zirkonyum

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
BCT	Hacim Merkezli Tetragonal
BSE	Geri Saçılan Elektronlar
CALPHAD	Faz Diyagramı Hesaplama Programı
CASTEP	Cambridge Sıralı Toplam Enerji Paketi
DFT	Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi

Kısaltmalar	Açıklamalar
EBSD	Elektron Gerisaçılım Difraksiyonu
E_{coh}	Kohesif enerji
EDS	Enerji Yayılımlı X-Işını Spektroskopisi
FCT	Yüzey Merkezli Tetragonal
GGA	Genelleştirilmiş Gradyan Yaklaşımı
GE	General Electric
HCP	Hegzagonal Sıkı Paket
IC	İntermetalik Bileşik
HMK	Hacim Merkezli Kübik
HV	Vickers Sertliği

1. GİRİŞ

Radomlar, antenleri ve diğer elektronik bileşenleri kapatarak dış çevresel etkilerden koruyan ve işlevselliklerinde en az kesintiyi sağlamak için tasarlanan temel koruyucu yapılardır [1]. Şekil 1'de örnek olarak gösterilen bu muhafazalar, hassas ekipmanları, rüzgâr, yağmur, dolu, kar, kuş çarpması, şimşek, buz ve yüksek hızlı hava akışı gibi çevresel tehlikelerden korumak için havacılık, savunma ve telekomünikasyon endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır. İyi tasarlanmış bir radom, yapısal bütünlük, elektromanyetik şeffaflık ve aerodinamik verimlilik arasında optimum bir denge sağlamalıdır.



Şekil 1.1. Örnek bir radom geometrisi gösterimi [1]

Bir radomun birincil işlevi, elektromanyetik sinyallerin engelsiz iletimi ve alımına izin verirken kapalı bir anten için kalkan görevi görmektir. Radomlar, radyo frekansı (RF) dalgalarının en az zayıflama ve yansıma ile geçmesine izin veren düşük dielektrikli malzemeler kullanılarak tasarlanır [2]. Ayrıca, radomların aerodinamik özellikleri, aşırı sürükleme veya akış ayrımının uçak performansını olumsuz etkileyebileceği yüksek hızlı uygulamalarda kritik bir rol oynar. Kapladıkları antenlerin performansını etkilememeleri ve aynı zamanda yapısal ve aerodinamik gereksinimleri karşılamaları kritik öneme sahiptir [3]. Yapısal olarak, sürükleme kuvvetlerini en aza indirmek için aerodinamik bir şekli korurken harici aerodinamik yüklere dayanmalıdırlar.

Radomlar, her biri belirli performans özelliklerini optimize etmek için tasarlanmış küresel, jeodezik, ogival ve düzlemsel yapılandırmalar dahil olmak üzere çeşitli şekillerde tasarlanır. Radom geometrisinin seçimi, uçuş koşulları, anten çalışma frekansı ve yapısal gereksinimler gibi faktörlerden etkilenir. Yüksek hızlı havacılık uygulamalarında, radomlar, hem radomun hem de uçak sisteminin genel performansını düşürebilecek şok dalgası oluşumunu ve türbülanslı hava akışı modellerini önlemek için optimize edilmelidir.

Radom tasarımındaki son gelişmeler aerodinamik verimliliği artırmaya, ağırlığı azaltmaya ve elektromanyetik şeffaflığı optimize etmeye odaklanmıştır. Hesaplamalı araçlar modern radom geliştirmede önemli bir rol oynamıştır. Optimizasyon algoritmalarıyla birleştirilen Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonları araştırmacıların aerodinamik kuvvetlere ve akış özelliklerine dayalı tasarımların daha hassas olmasını sağlamıştır. HAD, havacılık mühendisliğinde güçlü bir araçtır ve akışkan akışının, basınç dağılımının ve aerodinamik kuvvetlerin ayrıntılı analizine olanak tanır. Navier-Stokes denklemlerini sayısal olarak çözerek, HAD karmaşık akış fenomenlerine ilişkin yaklaşımlar sağlayarak mühendislerin maliyetli deneysel testler yapmadan tasarımları iyileştirmesini sağlar. HAD, özellikle sürükleme azaltma ve hava akışı düzgünlüğü gibi faktörlerin kritik olduğu radom gibi bileşenlerde aerodinamik verimliliğin değerlendirilmesi ve optimize edilmesinde tasarım sürecinde önemli bir rol oynar. Radom tasarımında, HAD hava akışı özelliklerini, basınç dağılımını ve performansı etkileyebilecek potansiyel akış ayrımlarını tahmin etmek için kullanılır. Geleneksel radomlar genellikle istenmeyen aerodinamik etkilere maruz kalırlar ve bu da artan sürüklemeye ve azalan kararlılığa yol açar. HAD simülasyonlarını kullanarak, tasarımcılar bu olumsuz etkileri en aza indirmek için farklı geometrik yapılandırmaları değerlendirebilirler. K-ε ve SST gibi türbülans modellerinin kullanımı, tahmin doğruluğunu artırarak güvenilir aerodinamik değerlendirmeler sağlar.

Optimizasyon teknikleri, performans parametrelerini sistematik olarak iyileştirmek için mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılır. Radom optimizasyonunda, birincil hedefler arasında sürüklemeyi azaltmak, hava akışı düzgünlüğünü iyileştirmek ve akış ayrımını en aza indirmek yer alır. Genetik Algoritmalar (GA) ve Gradient-Based Methods gibi hesaplamalı optimizasyon yöntemleri, radom geometrilerini yinelemeli olarak iyileştirmeye yardımcı olur ve aerodinamik olarak en verimli yapılandırmaya doğru yakınsar. HAD'ı optimizasyonla entegre etmek, tasarım değişikliklerinin ölçülebilir performans iyileştirmelerine yardımcı olur.

Birçok çalışma, farklı radom geometrilerinin aerodinamik performans üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Örneğin, Girgosian ve diğerleri, radom şekli ve konumunun sürüklemeye olan etkisini inceleyen bir çalışma yürütmüş ve uzunluk-yükseklik oranının aerodinamik performansı önemli ölçüde etkilediğini bulmuştur [4]. Russo ve diğerleri, radom performansında malzeme seçimi ve yapısal bütünlüğün önemini vurgulayarak, elektriksel ve mekanik tasarım yönlerini dikkate alan çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı önermiştir [5]. Srinivasulu ve diğerleri, malzeme seçiminin performans üzerindeki etkisini araştırmış ve ayrıca ANSYS kullanarak bir modal analiz gerçekleştirmişlerdir [6]. Shanka ve diğerleri, yapısal ve aerodinamik performans açısından çok disiplinli bir çalışma yürütmüştür [7]. Kim, HAD kullanarak bir aerodinamik şekil optimizasyon çalışması gerçekleştirmiş ve birkaç verimli tasarım metodolojisini açıklamıştır [8]. Majumdar ve Rajani, bir radom yapısı etrafındaki akışı keşfetmede kullanılacak sonlu hacimli bir algoritma sunmuşlardır. Algoritmalarının önemli akış olaylarını yakalayabildiğini göstermişlerdir [9]. Xu ve diğerleri, Akışkan-Yapı Etkileşimini araştırarak bir radom üzerinde sayısal bir çalışma gerçekleştirdiler. HAD analizlerinden sıcaklık, hız ve basınç gibi geçici aerodinamik verileri topladılar ve yapısal analizler için girdi olarak kullandılar [10]. Toivanen ve diğerleri, kanat profillerindeki sürükleme katsayısını ve geri saçılan radyasyonu en aza indirmek için çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı uyguladılar ve tasarım optimizasyonunda aerodinamik ve elektromanyetiği entegre etmenin etkinliğini gösterdiler [11]. Dahası, Mendoza, radom şekillerinin süperkritik kanat profillerine uyumunun etkilerini araştırdı ve bu tür tasarımların aerodinamik yüklerde önemli azalmalara yol açabileceğini ortaya koydu [12].

Bu gelişmelere rağmen, aerodinamik ve işlevsel performans arasında optimum dengeyi sağlamada zorluklar devam etmektedir. Mevcut çalışma, HAD odaklı optimizasyon yoluyla radom geometrisini iyileştirerek ve yapısal uygulanabilirliği koruyarak aerodinamik verimliliği iyileştirmek için sistematik bir yaklaşım sağlamaktadır.

2. RADOM YAPILARI VE SINIFLANDIRILMASI

Radomlar, "radar" ve "kubbe" kelimelerinin birleşiminden türetilmiş olup, anten sistemlerini çevresel etkilerden korurken elektromanyetik dalgaların etkili bir şekilde iletilmesini ve alınmasını sağlayan koruyucu elektromanyetik geçirgen yapılardır. Özellikle havacılık, deniz, kara konuşlu ve füze platformları gibi zorlu çalışma ortamlarda radar, iletişim ve gözetleme sistemlerinde önemli bir rol oynarlar [13]. Bir radomun tasarımı, elektromanyetik, malzeme bilimi, termomekanik mühendislik ve aerodinamikte uzmanlık gerektiren disiplinler arası bir mühendislik çalışmasını kapsar. Bir radomun birincil amacı, mekanik streslere, termal gradyanlara, nem girişine ve aerodinamik yüklere karşı yapısal dayanıklılık sağlarken kapalı anten sisteminin yapısal bütünlüğünü korumaktır [14].

Radom yapıları uygulamaya özgüdür ve çalışma frekans aralığına, anten ışıma açısına, polarizasyon gereksinimlerine, yapısal kısıtlamalara ve çevre koşullarına dikkat edilerek optimize edilmelidir. Radom teknolojisindeki ilk gelişmeler, II. Dünya Savaşı sırasında askeri ihtiyaçlar tarafından yönlendirilmiş ve devam eden ilerlemeler radar ve füze teknolojisindeki gelişmelerle paralellik göstermiştir. Günümüz radom sistemleri artık yalnızca koruyucu kabuklar olmaktan çıkmış; çok bantlı iletim yetenekleri, düşük görünürlük (stealth) özellikleri ve özel olarak tasarlanmış dielektrik ve termal özelliklere sahip gelişmiş malzemeler içermektedir [15].

Radomların sınıflandırılması, tasarım, optimizasyon ve standardizasyonlarında temel bir adım görevi görür. Bu bölümde, tipolojik ayrımlar (sabit, döner, takip edici, açılır, uçuş halindeyken kullanılan), performansa dayalı dereceler (işletme ortamı, frekans uyumluluğu, dielektrik duvar yapısı), duvar yapısı yapılandırmaları (monolitik, sandviç, çok katmanlı), işlevsel stiller, malzemeler ve geometrik yapılandırmalar dahil olmak üzere radom sınıflandırmalarının kapsamlı bir genel görünümünü sunulmuştur.

2.1. Radom Çeşitleri

Radomlar, işlevsel dağıtımlarına göre beş ana türe ayrılabilir: sabit, döner, hedef izleyici (tracking), açılır (deployable) ve uçuş halindeki yapılar. Her tür, ana anten sisteminin hareket özelliklerine ve çevresel gereksinimlerine göre uyarlanmıştır [13].

Sabit radomlar, sabit veya düşük hızda dönen antenleri korumak için kullanılır. Bunlar genellikle yer tabanlı radar istasyonlarında ve hava durumu izleme tesislerinde kullanılır. Tasarımları, dinamik tepkisellikten ziyade mekanik sağlamlığı ve çevresel direnci vurgular [15].

Döner radomlar, sürekli olarak yatay düzlemde (azimut) dönen antenleri kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlar, tam tarama açısı boyunca izotropik dielektrik özellikler sağlamak için genellikle küresel veya kubbe şeklindedir. Bu radomlar, dönüş hızına bakılmaksızın minimum sinyal kaybı (insertion loss) ve eksen kayması (boresight shift) sağlamaktadır [14]. Takip edici (tracking) radomlar, antenin hareket eden bir hedefi takip etmek için azimutta ve yükseklikte dinamik olarak ayarlandığı uygulamalarda kullanılır. Bu yapılar, tam açısal aralıkta düzgün dielektrik özellikler ve hareket sırasında minimum sinyal kırılma bozulması gerektirir [13].

Açılır (deployable) radomlar, geçici veya taşınabilir kurulumlar için optimize edilmiştir. Genellikle tekstil bazlı kompozitlerden veya şişirilebilir malzemelerden yapılırlar ve bu da onları taktik veya acil durum operasyonlarında saha dağıtımı için uygun hale getirir. Elektromanyetik geçirgenlikleri kısa süreli kullanım durumları için kabul edilebilirdir ancak aşırı koşullar altında bozulabilir [16].

Uçuş sırasında kullanılan radomlar, uçak ve füze gövdelerine entegre edilir ve yüksek hızlı hava akımı, basınç farkları ve termal yükler gibi zorlu koşullara karşı dayanıklı olmalıdır. Aynı zamanda sinyal bütünlüğünü de korumalıdır. Aerodinamik sürükleme ile elektromanyetik performans arasında denge kurmak için ogival, eliptik ve Von Kármán gibi şekiller yaygın olarak kullanılır [15].

2.2. Tasarım Parametrelerine Göre Radomların Sınıflandırılması

Radomlar, çalışma ortamı, frekans aralığı ve dielektrik duvar yapısı gibi tasarım kriterlerine göre sistematik olarak sınıflandırılır. Bu etki, radomun gen yapısının, yapısal görünümünü ve taşıyıcı platformlarla bütünleşmesini birlikte etkiler [15].

2.2.1. Çalışma ortamına göre sınıflandırma (MIL-R-7705B Sınıf I-III)

MIL-R-7705B standardına, kullanım ortamına göre radomları üç sınıfa ayırır:

Sınıf I radomlar, savaş uçakları, füzeler ve insansız hava araçları gibi hava platformlarında kullanılır. Sinyal geçirgenliğini korurken yüksek aerodinamik yüklere, termal gradyanlara ve titreşime dayanmalıdırlar. Bu radomlar genellikle kuvars veya seramik matris kompozitler gibi hafif, yüksek mukavemetli malzemeler kullanır [13].

Sınıf II radomlar, mobil kara veya deniz platformlarına monte edilir. Yapısal dayanıklılık ve elektromanyetik verimliliğe ek olarak darbe dayanımı ve kırılma koşulları da önemlidir. Bu tasarımlarda genellikle cam veya aramid lifleriyle takviye edilmiş kompozit kabuklar tercih edilir [14].

Sınıf III radomlar, hava durumu veya seyrüsefer radar sistemleri gibi yer tabanlı sabit uygulamalarda kullanılır. Aerodinamik talepler asgari düzeyde olsa da, uzun süreli dayanıklılık, modüler montaj kolaylığı ve teknik özellikler esastır [17].

2.2.2. Frekans aralığına göre sınıflandırma (Tip I-VI)

Radomlar, çalışma frekans bant genişliğine göre altı türe ayrılır:

Tip I: 2 GHz altı frekanslar için kullanılan L-bandı ve S-bandı sistemlere ait radomlardır. Bu yapılar genellikle daha kalın olabilmekte ve malzeme hassasiyetinde tolerans tanıyabilmektedir.

Tip II: Yönlendirme (guidance) amaçlı radomlardır. Özellikle hassas güdümlü mühimmatlarda kullanılır ve hüzme yönlendirme (beamforming) hassasiyetinin kritik olduğu sistemlere optimize edilmiştir.

Tip III: %10'dan az göreli bant genişliğini destekleyen dar bantlı radomlardır. Genellikle belirli bir frekansta düşük saçılma ve düşük kayıp sağlamak için tasarlanır [15].

Tip IV: Çok bantlı sistemler için uygun olan multiband radomlardır. Bu tür yapılarda dikkatli malzeme katmanlaması veya fonksiyonel derecelendirme gerekir [14].

Tip V: 0.1 ila 0.667 GHz arasında geniş bant aralığını kapsayan radomlardır. Elektromanyetik optimizasyon, geniş bir dielektrik spektrumu boyunca sağlanmalıdır.

Tip VI: 0.667 GHz üzerindeki bant genişliklerini kapsayan ultra geniş bant radomlardır. Bu tür radomlar, yüksek çeviklik ve minimum grup gecikmesi bozulması gerektiren sistemlerde kullanılır [13].

2.2.3. Dielektrik duvar yapısına göre sınıflandırma (Stil a-f)

Duvar yapım stili, radomun hem elektromanyetik hem de yapısal özelliklerini etkiler. Altı yaygın stil belirlenmiştir:

Stil a: Duvar kalınlığı dalga boyunun yarısının tam katı olan monolitik (tek katmanlı) radomlardır. Faz uyumunun gerekli olduğu dar bantlı uygulamalara uygundur.

Stil b: İnce monolitik duvarlara ($\leq 0.1\lambda$) sahip radomlardır. Düşük frekanslı uygulamalarda sinyal bozulmasını azaltır. Üretimi kolaydır ancak mekanik olarak zayıftır.

Stil c: A-sandviç yapısı, yüksek yoğunluklu dış yüzeyler ile düşük yoğunluklu bir çekirdekten oluşur. Yapısal sağlamlık ile elektromanyetik geçirgenlik arasında denge sağlar.

Stil d: Belirli frekans bantlarına ayarlanmış çok katmanlı (≥ 5) dielektrik yapılardır. Geçirgenlik katsayıları üzerinde ileri düzey kontrol sunar.

Stil e: Düşük yoğunluklu dış katmanlar ve daha yoğun bir çekirdekten oluşan B-sandviç yapılar. Dielektrik performanstan çok yapısal sertliğe öncelik verilmiştir.

Stil f: Yüksek ve düşük dielektrik katmanların dönüşümlü olarak yerleştirildiği C-sandviç yapılar. Geniş bantlı veya çok bantlı uygulamalarda kullanılır.

Uygun sınıflandırma kombinasyonunun seçilmesi, radomun tüm görev-kritik yapısal ve sinyal gereksinimlerini karşılamasını sağlar [15].

2.3. Radom Performans Sınıfları

Radom performans sınıfları, farklı operasyonel bağlamlarda elektromanyetik geçirgenliği, mekanik bütünlüğü ve çevresel dayanıklılığı nicelendirmek için standartlaştırılmış bir çerçeve sunar. Bu sınıflandırmalar, MIL-R-7705B ve RTCA DO-213 gibi askeri ve havacılık standartlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

Sınıf A radomlar, en yüksek performans seviyesini temsil eder. Genellikle füze güdümü, ileri düzey savaş uçakları ve uydu iletişimi gibi alanlarda kullanılır. Bu radomlar 0.5 dB'nin altında yerleştirme kaybı (insertion loss), ±0.1° altında boresight hatası ve ±2°'den düşük faz değişimi sağlar. Yüksek kaliteli kuvars fiber kompozitleri veya seramik matris sistemleri kullanılarak, sıkı kontrollü otoklav veya VARTM (Vakumla Yardımlı Reçine Transferi Kalıplama) koşullarında üretilirler [15].

Sınıf B radomlar, elektromanyetik açıdan orta düzey performans sunarken maliyet verimliliğini korur. Ticari uçaklar, kara konuşlu gözetleme sistemleri ve denizcilik uygulamaları için uygundur. Bu sınıftaki tasarımlar 1 dB'ye kadar yerleştirme kaybı (insertion loss) ve ±0.3° boresight hatasına tolerans gösterir. Malzeme sistemleri genellikle cam fiber kompozitleri ve A-sandviç yapıları içerir [14].

Sınıf C radomlar, kritik olmayan sistemler veya kısa süreli görevler için tasarlanmıştır. Bunlar arasında eğitim radar setleri, mobil saha üniteleri veya iletişim muhafazaları yer alabilir. 1 dB üzerindeki kayıplar ve gevşek dielektrik toleransları kabul edilebilirdir. Termoplastikler, köpük kompozitler ve termoform gibi basitleştirilmiş üretim yöntemleri sıklıkla tercih edilir [17].

Elektromanyetik özelliklerin yanı sıra, performans sınıfları aynı zamanda termal ve çevresel dayanıklılığı da yansıtır. Sınıf A radomlar genellikle –55 °C ile +200 °C aralığında çalışır ve UV, buzlanma ve yüksek irtifa koşullarına karşı mükemmel dayanım sergiler. Sınıf B yapılar –40 °C ila +120 °C aralığını tolere edebilirken, Sınıf C tasarımlar daha ılıman iklimler ve seyrek termal çevrimler için uygundur [13].

Performans sınıflandırması hem teknik hem de lojistik işlevler görür. Tasarım kararlarını yönlendirir, uygunluk testlerini kolaylaştırır ve platformlar ile üreticiler arasında görev uyumluluğunu sağlar.

2.4. Radom Yapı Stilleri

Radom stilleri, elektromanyetik ve yapısal performans hedeflerini gerçekleştirmek için kullanılan fiziksel yapı ve montaj yöntemlerini tanımlar. Bu stiller, malzemelerin nasıl düzenleneceğini, muhafazanın geometrisini ve radomun platform ile anten sistemine nasıl entegre olacağını belirler [13].

Monolitik radomlar, tek bir dielektrik katmandan ve homojen kalınlıktan oluşur. Bu stil, dar bantlı uygulamalarda kolay üretim ve maliyet verimliliği sağlar. Ancak katmanlı yapının olmayışı bant genişliği ve yapısal sönümleme kapasitesini sınırlar [14].

Sandviç radomlar, özellikle A-sandviç tipi, düşük yoğunluklu bir çekirdeğe bağlanmış yüksek yoğunluklu dış yüzeylerden oluşur. Bu yapı, sertlik-ağırlık oranının optimize edilmesi ve dengeli elektromanyetik geçirgenlik nedeniyle havacılık ve mobil radar uygulamalarında yaygındır. Çekirdekler için PMI veya PVC köpük gibi malzemeler, dış katmanlar için ise cam veya kuvars fiber kompozitler kullanılır.

Çok katmanlı radomlar, her biri özel olarak ayarlanmış geçirgenlik ve kalınlığa sahip üç veya daha fazla dielektrik katman içerir. Bu tür radomlar, geniş bantlı veya çok frekanslı sistemlerde, yansımanın azaltılması ve faz kararlılığının tarama açıları boyunca korunması için kullanılır [15].

Panelize jeodezik stiller, bir çerçeve üzerine monte edilmiş çokgen segmentlerden (üçgen veya altıgen) oluşur. Genellikle büyük ölçekli yer sistemlerinde görülür ve yüksek modülerlik ile bakım kolaylığı sağlar. Ancak, kenar birleşimlerinde kırınıma bağlı sinyal bozulmasını önlemek için dikkatli olunmalıdır.

Şişirilebilir ve membran radomlar, açılır sistemlerde kullanılır. Bu radomlar polimer kaplı kumaşlar veya film lamine malzemelerden üretilir ve hafif taşınabilirlik sunar. Mekanik dayanımları düşük olsa da geçici saha operasyonları için yeterlidir [17].

Hibrit radomlar, birden fazla yapısal stili birleştirir; örneğin çok katmanlı bir burun konisi ile silindirik monolitik arka kısmın entegre edilmesi gibi. Bu tür yapılandırmalar, yerel elektromanyetik performansı sağlarken platform geometrisi ve yapısal sınırlamalara da uyum sağlar [14].

Her yapısal stil, üretim yöntemini etkiler ve sonuç olarak radomun termal davranışı, elektromanyetik kayıp profili ve aerodinamik özellikleri üzerinde etkili olur.

2.5. Radomun İşlevsel Kategorileri

Radomlar, radar veya iletişim sistemleri içindeki operasyonel rolleri ve entegrasyon bağlamlarına göre işlevsel olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma yalnızca elektromanyetik gereklilikleri değil, aynı zamanda platform kısıtlarını, konuşlandırma senaryolarını ve görev süresince dayanıklılık beklentilerini de yansıtır [13].

Kategori I radomlar, sadece çevresel koruma sağlamak üzere tasarlanmıştır ve genellikle hafif çalışma koşullarında görev yapar. Yayın kuleleri veya sabit uydu terminalleri gibi sivil uygulamalarda görülür. Bu tür uygulamalarda elektromanyetik performans gereksinimleri düşük olduğundan, ağır yapısal yüklemelere dayanım aranmamaktadır [14].

Kategori II radomlar, mobil ve taktiksel sistemlerde kullanılır; örneğin deniz radarları ve kara araçları platformları. Bu radomların değişken dinamik yükleme altında sağlamlık, ağırlık ve dielektrik geçirgenlik arasında denge sağlaması gerekir. Genellikle kompozit laminatlar ve sandviç yapılar tercih edilir [15].

Kategori III radomlar, yüksek performanslı hava, uzay ve süpersonik platformlarda kullanılır. Bu uygulamalarda boresight hatası, faz değişimi ve kazanç kaybı gibi parametreler üzerinde sıkı kontrol gereklidir. Kuvars kompozitler veya düşük termal genleşme katsayılı seramikler gibi düşük dielektrik kayıplı malzemeler tercih edilir. Konfigürasyonlar ciddi termal ve titreşimsel gerilimlere dayanmalıdır [15].

Kategori IV radomlar, açılır veya geçici radar sistemlerini destekler. Bu radomlar, hızlı kurulum ve söküm için optimize edilmiştir. Genellikle tekstil laminatlar, şişirilebilir dış

katmanlar veya modüler paneller kullanılır. Bu sistemler, hassasiyetten ödün vererek taşınabilirlik ve lojistik kolaylığı ön plana alır [18].

Kategori V radomlar, düşük radar kesit alanı (RCS), yüksek elektromanyetik geçirgenlik ve radar soğurucu malzemelerle (RAM) entegre edilebilme gibi özelliklerle, gizlilik ve çok işlevlilik için tasarlanmıştır. Bu tür radomlar genellikle uçak veya füze gövdelerinde gömülü antenlerle birlikte kullanılır. Bu sistemlerde, ileri düzey hibrit yapılar ve yüzeye uyumlu (conformal) şekillendirme tercih edilir [18].

İşlevsel kategorilendirme, tasarım ve doğrulama çalışmalarının operasyonel beklentilerle uyumlu olmasını sağlar. Çoğu zaman sistemler birden fazla kategoriyle örtüşür ve bu da yapısal, termal ve elektromanyetik (EM) gereklilikleri bir araya getiren hibrit çözümleri gerekli kılar.

2.6. Kullanım Şekline Göre Sınıflandırma

Radomlar, içerdikleri antenin çalışma moduna göre de sınıflandırılabilir. Bu yaklaşım, anten sistemi ile radomun elektromanyetik performansı arasındaki dinamik etkileşimi ve açısal alanlardaki davranışı vurgular [13].

Statik kullanım için radomlar, sabit yönelimli antenler için tasarlanmıştır. Genellikle (global navigation satellite system) GNSS, yayın sistemleri veya düşük karmaşıklıktaki gözetleme sistemlerinde kullanılan yönlü ya da çok yönlü antenleri kaplar. Çevresel dayanıklılık, dielektrik kararlılık ve statik yükler altında uzun süreli güvenilirlik ön plandadır [14].

Döner radomlar, azimut ekseni etrafında 360° dönen antenleri barındırır. Bu tür radomlar, antenin tarama hareketi sırasında sinyalin tutarlı bir şekilde yayılmasını sağlamak için izotropik (yönsüz) dielektrik özellikler gerektirir. Yaygın uygulamalar arasında hava trafik kontrolü ve deniz radar sistemleri yer alır. Genellikle küresel veya silindirik geometrilere ve homojen duvar özelliklerine sahip yapılar kullanılır [15].

Takip edici (tracking) radomlar, hem azimut hem de yükseklik ekseninde hareket eden antenleri kapsar. Bu sistemlerde tüm açısal izleme zarfı boyunca boresight kayması ve

hüzme bozulmasının minimumda tutulması gereklidir. Füze güdüm sistemleri, uydu izleme terminalleri ve taktiksel gözetleme birimlerinde yaygın olarak kullanılır [18].

Açılır (deployable) radomlar, mobil veya geçici uygulamalarda kullanılan hafif, modüler veya şişirilebilir yapılardır. Bu tür radomlar kolay kurulum, küçük istif hacmi ve saha bakımına yönelik optimize edilmiştir. Mekanik esneklik ve çevresel değişimlere rağmen dielektrik özelliklerini korumalıdır [15].

Uçuş sırasında kullanılan radomlar, uçak, insansız hava aracı (İHA) veya mühimmatın aerodinamik yüzeylerine entegre edilir. Bu radomlar, aerodinamik şekil, termal direnç, yapısal titreşim ve farklı Mach rejimlerinde elektromanyetik geçirgenlik arasında denge kurmalıdır. Uçuş esnası radomlarında genellikle ogival ya da Von Kármán tipi aerodinamik şekiller ve kompozit ya da seramik duvar yapıları kullanılır.

Kullanım şekline göre yapılan sınıflandırma, anten sistemi ile radom geometrisinin birlikte tasarlanmasını destekler ve fiziksel hareket ile elektromanyetik performans kriterleri arasında uyum sağlar.

2.7. Radom Duvar Yapıları

Radom duvar yapıları, elektromanyetik ve mekanik performans gereklerini birlikte karşılayacak şekilde tasarlanır. Seçilen yapı, sinyal geçirgenliği, yerleştirme kaybı (insertion loss), faz bozulması, mekanik bütünlük, termal direnç ve üretilebilirlik üzerinde doğrudan etkilidir [13].

Monolitik duvar yapıları, homojen bileşim ve kalınlığa sahip tek bir dielektrik katmandan oluşur. Bu yapılar genellikle tasarım basitliği, maliyet etkinliği ve homojenliğin öncelikli olduğu dar bantlı uygulamalarda kullanılır. Monolitik radomların performansı, yansımanın azaltılması için işletim frekansındaki dalga boyunun yarısı ($\lambda/2$) ile uyumlu kalınlık seçimine büyük ölçüde bağlıdır [14].

Sandviç duvar yapıları, düşük yoğunluklu dielektrik bir çekirdeğe bağlanmış iki dış yüzey tabakasından oluşur. A-sandviç konfigürasyonlarında, yüksek yoğunluklu kompozit yüzeyler (örn. epoksi reçine içinde cam veya kuvars lifleri), PMI veya PVC köpük

çekirdekleri sarar. Bu yapılar, elektromanyetik geçirgenlik sağlarken, arttırılmış eğilme sertliği, azaltılmış ağırlık ve geliştirilmiş ısıl yalıtım sunar [15].

Çok katmanlı duvar yapıları (örn. C-sandviç ya da Style d–f), farklı geçirgenlik ve kalınlıklara sahip üç veya daha fazla dielektrik katman içerir. Bu konfigürasyon, birden fazla frekans bandında iletim katsayısı ve faz gecikmesi üzerinde hassas kontrol sağlar. Geniş bantlı radar sistemleri ve geniş açılı tarama yapan AESA platformları için idealdir [15].

Hava boşluklu duvar yapıları, dielektrikler arasında fiziksel bir boşluk veya içi boş katman içeren daha az yaygın bir tasarımdır. Bu yapı, empedans uyumu sağlar, hafiflik ve yüksek termal direnç sunar; ancak basınç farkı ve mekanik yükler altında yapısal kararlılığı korumak zordur [18].

Duvar mimarisi, üretim yöntemini de etkiler: Monolitik duvarlar genellikle sıkıştırmalı kalıplama ile üretilirken, sandviç ve çok katmanlı tipler vakum infüzyonu, otoklav kürleme veya birlikte kürlenen laminasyon teknikleri gerektirir. Ayrıca, bu yapılar birleşim yerleri, panel kenarları ve eğri geçişlerinde oluşabilecek dielektrik süreksizlikleri belirler. Bu alanlar dikkatle yönetilmezse hüzme bozulmasına veya iç yansımalara neden olabilir.

Bu nedenle, uygun duvar yapısının seçimi; bant genişliği, yapısal yükleme, radar kesit alanı (RCS) ve montaj kolaylığı gibi kriterler arasında gerekli dengeleri sağlayabilmek açısından kritik öneme sahiptir.

2.8. Radomların Anten Performansı Üzerindeki Elektromanyetik Etkileri

Bir anten sistemine radom eklenmesi, tasarım ve test aşamalarında dikkate alınması gereken çeşitli elektromanyetik etkilere yol açar. Bu etkiler arasında sinyal zayıflaması, faz bozulması, boresight (nişan) hatası, hüzme bulanıklığı ve polarizasyon dönüşümü yer alır. Bu parametreler özellikle faz dizili sistemlerde, yüksek kazançlı izleme antenlerinde ve geniş bantlı radar platformlarında oldukça hassastır [13].

Yerleştirme kaybı (insertion loss), sinyalin radomdan geçerken yaşadığı güç azalmasını ifade eder. Bu kayıp esas olarak dielektrik emilim ve yansımadan kaynaklanır ve kullanılan malzeme, duvar kalınlığı ve frekansa bağlıdır. Yüksek kayıplı (loss tangent) malzemeler

veya uyumsuz duvar geometrileri 1 dB'yi aşan kayıplara neden olabilir ve sistem duyarlılığını azaltır [14].

Boresight hatası, elektromanyetik dalgaların radom içinde kırılması sonucu hüzme yönünün hedeflenen doğrultudan sapmasıyla oluşur. Bu durum özellikle açısal hassasiyetin kritik olduğu izleme sistemleri ve faz dizili antenlerde önemlidir. Duvar kalınlığındaki tutarsızlıklar, geometrik asimetriler veya anizotropik malzemeler bu sorunu şiddetlendirebilir [15].

Faz bozulması, dalga cephesi radom duvarından geçerken oluşan farklı gecikmeler nedeniyle ortaya çıkar. Bu, ana lobda bulanıklık ve yan loblarda artışa neden olur; özellikle eğik açılarda çalışan tarama sistemlerinde etkisi daha belirgindir. Geniş bantlı sistemlerde ise bu bozulma, hüzme kayması (beam squint) veya dispersiyona yol açabilir [18].

Polarizasyon bozulması, doğrusal veya dairesel polarizasyon kullanan sistemlerde, dik bileşenler arasında faz farklılığı oluşmasına neden olarak sistem performansını etkiler. Çok katmanlı yapılar ve homojen olmayan malzemeler, tüm tarama açıları boyunca polarizasyon saflığını koruyacak şekilde tasarlanmalıdır [15].

Bu elektromanyetik etkiler, genellikle yankısız odalarda veya kompakt menzillerde yapılan testlerde yansıma kaybı (S11), iletim katsayısı (S21), grup gecikmesi, aksiyel oran ve boresight sapması gibi parametrelerle ölçülür.

Radomun anten sistemi ile entegrasyonu, olumsuz etkileri azaltmak için yinelemeli optimizasyon gerektirir. Tasarım stratejileri arasında dielektrik uyum katmanları, eğrilik optimizasyonu, çok katmanlı derecelendirme ve gömülü metamalzeme yapıları yer alır. Görev açısından kritik uygulamalarda, radomun neden olduğu elektromanyetik hatalar, gerçek zamanlı sinyal işleme veya uyarlanabilir hüzme düzeltme algoritmaları ile telafi edilmelidir.

Sonuç olarak, bir radom hem yapısal hem de çevresel koruma sağlarken elektromanyetik olarak "görünmez" davranmalıdır. Bu dengeyi kurmak, yüksek performanslı radar ve haberleşme sistemlerinin tasarımındaki temel zorluklardan biridir.

2.9. Radom Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Radom üretimi için malzeme seçimi, elektromanyetik geçirgenlik, ısıl performans, yapısal bütünlük ve uzun vadeli çevresel dayanıklılık üzerinde belirleyici olan kritik bir tasarım kararıdır. Malzemeler yalnızca dielektrik özellikleri açısından değil; aynı zamanda üretim teknikleriyle uyumluluk, mukavemet-ağırlık oranı ve görev koşullarında dayanıklılık yönünden de değerlendirilmelidir.

Radom yapılarında en yaygın kullanılan malzemeler, elyaf takviyeli kompozitlerdir. Bunlar arasında cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP), uygun fiyatları, orta seviyede dielektrik sabitleri ($\varepsilon r \approx 4.0–5.0$) ve otoklav veya reçine transfer kalıplama (RTM) yöntemleriyle uyumlulukları sayesinde yaygın olarak tercih edilir. Yüksek performanslı sistemler için kuvars elyaflı kompozitler, daha düşük dielektrik sabitleri ($\varepsilon r \approx 3.7$) ve son derece düşük kayıp tanjantları ($\tan \delta < 0.0015$) sayesinde tercih edilir ve yüksek frekanslı, hassas güdümlü platformlar için uygundur [14].

Aramid elyaflar (örneğin Kevlar) ve karbon elyaflar, darbe dayanımı veya yüksek çekme mukavemeti gereken durumlarda kullanılabilir. Ancak, karbon elyaflar yüksek elektriksel iletkenliklerinden ötürü RF (radyo frekansı) geçirgen katmanlarda nadiren kullanılır; daha çok gömülü toprak düzlemleri veya radar soğurucu malzeme (RAM) katmanları olarak kullanılırlar [15].

Sandviç yapılarda çekirdek malzeme olarak genellikle kapalı hücreli köpükler kullanılır; örneğin PMI (Polimetakrilimid), PVC (Polivinil klorür) ve PU (Poliüretan). Bu malzemeler, yoğunluk, ısıl iletkenlik ve dış tabakalarla uyum gibi kriterlere göre seçilir. PMI köpüğü, yüksek basma dayanımı nedeniyle A-sandviç ve C-sandviç yapılarında havacılık uygulamalarında sıkça tercih edilir [15].

Termoplastik polimerler (örneğin PTFE, polikarbonat, ABS), monolitik ya da ince duvarlı radomlarda düşük maliyetli veya dar bantlı sistemler için kullanılır. Yüksek işlenebilirliğe ve düşük nem emilimine sahiptirler; ancak yapısal rijitlikleri genellikle sınırlıdır [18].

Aşırı çalışma koşullarına sahip uygulamalarda – örneğin hipersonik araçlar veya yeniden giriş sistemleri – seramik esaslı malzemeler tercih edilir. Bunlar arasında alümina, füzyon

silika ve silisyum nitrür (Si_3N_4) gibi malzemeler yer alır. Bu malzemeler yüksek sıcaklık dayanımı, mekanik sertlik ve 1000 °C üzerindeki kararlılıkları sayesinde öne çıkar; ancak kırılgan yapıları ve işlenme zorlukları nedeniyle sadece özel uygulamalarda tercih edilir.

Son olarak, kaplama malzemeleri de radomun dış yüzeyine uygulanarak hava koşullarına dayanıklılığı artırmak ve radar izi (RCS) azaltmak için kullanılır. Bunlar arasında floropolimer bazlı hidrofobik kaplamalar, buzlanma önleyici ajanlar ve kızılötesi (IR) yansıtıcı boyalar yer alır. Malzeme seçiminde, geçirgenlik (εr), kayıp tanjantı ($\tan \delta$), ısıl genleşme katsayısı (CTE), su emme oranı ve yorulma davranışı gibi özelliklerin detaylı karakterizasyonu şarttır. Bu özellikler genellikle ASTM D2520 ve IEC 60250 gibi standartlara uygun testlerle ölçülür.

2.10. Radom Malzemelerinde Olması Gereken Özellikler

Radom üretiminde kullanılan malzemeler, geniş bir operasyonel senaryo yelpazesinde optimum elektromanyetik, mekanik ve çevresel performansı sağlayabilmek için bazı gereklilikleri karşılamak zorundadır. Bu özellikler yalnızca sinyal bütünlüğünü değil; aynı zamanda sistemin güvenilirliğini, üretilebilirliğini ve saha kullanımındaki ömrünü de etkiler. Dielektrik özellikler, radom malzemelerinin performansı açısından temel teşkil eder. İdeal bir radom malzemesi, düşük bir dielektrik sabitine ($\varepsilon r = 2$ ila 4 arası) sahip olmalı ve bu sayede yansıma ve kırılmaları minimumda tutmalıdır. Aynı zamanda, yerleştirme kaybını sınırlamak için düşük bir kayıp tanjantına ($\tan \delta < 0.002$) sahip olmalıdır. Bu parametreler, sıcaklık, frekans ve nem değişimlerine karşı kararlı kalmalıdır [14].

Mekanik özellikler, özellikle aerodinamik yükler, titreşim ve darbe dayanım açısından önemlidir. Yüksek çekme dayanımı, elastikiyet modülü ve yorulma direnci gereklidir. Hava ve yüksek hızlı uygulamalarda, malzemelerin hem yüksek eğilme sertliğine sahip hem de hafif olması gerekir [15].

Termal performans, özellikle havacılık ve süpersonik ortamlarda kritik rol oynar. Malzemeler, ısı yalıtımı sağlamak için düşük ısıl iletkenliğe sahip olmalı ve diğer yapısal bileşenlerle uyumlu bir ısıl genleşme katsayısına (CTE) sahip olmalıdır; aksi halde, ısıl çevrim sırasında ayrılmalar veya çatlamalar meydana gelebilir. Sınıf A radomlar için sıcaklık dayanımı en az –55 °C ila +200 °C aralığında olmalıdır [15].

Nem direnci, başka bir önemli özelliktir çünkü emilen su, malzemenin dielektrik özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir ve sinyal performansını bozabilir. İdeal malzemeler, ASTM D570 standardına göre 24 saatlik daldırma testinden sonra ağırlıkça %1'in altında su emme oranına sahip olmalıdır [18].

Son olarak, üretimle uyumluluk, yani malzemelerin standart havacılık ve savunma üretim teknikleriyle işlenebilirliği önemlidir. Bu teknikler arasında VARTM, otoklav kürleme, termoformlama ve 3B baskı yer alır. Ayrıca, laminasyon ve yüzey işlemlerinde kullanılan radar geçirgen yapıştırıcı ve kaplamalar, elektromanyetik geçirgenliği olumsuz etkilememelidir. Tüm bu özellikler, ASTM D3039 (çekme dayanımı), ASTM D4065 (ısıl analiz) ve ASTM D2520 veya IEC 60250 (dielektrik performansı) gibi standart test yöntemleriyle doğrulanmalı ve havacılık-savunma kalite güvence çerçevelerine uygunluğu sağlanmalıdır.

2.11. Radomların Geometrik Sınıflandırılması

Bir radomun geometrik konfigürasyonu, hem aerodinamik davranışı hem de elektromanyetik performansı üzerinde belirleyici rol oynar. Farklı geometrik biçimler, görev özelinde belirlenen Mach sayısı, anten tarama açısı, bant genişliği, termal yük ve radar kesit alanı (RCS) gibi kriterlere göre seçilir. Her şeklin faz düzgünlüğü, yerleştirme kaybı, boresight sapması ve sürükleme karakteristiği üzerinde farklı etkileri vardır [13, 14].

2.11.1. Küresel ve yarımküresel radomlar

Küresel ve yarımküresel radomlar, simetrik geometrileri sayesinde sabit kara konuşlu radar sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu simetri, tüm azimut açıları boyunca izotropik elektromanyetik yayılım sağlar ve mekanik olarak dönen antenler için idealdir. Aynı zamanda jeodezik panel tasarımı sayesinde yapısal imalatı da kolaylaştırır. Ancak yüksek aerodinamik sürükleme yarattıkları için hava veya füze platformlarında tercih edilmezler [18].

2.11.2. Konik ve eliptik radomlar

Konik radomlar, düz eğimli geometrileri ile genellikle hava araçlarında kullanılır; çünkü üretimi kolaydır. Eliptik şekiller ise yumuşak eğrilik geçişleri sayesinde aerodinamik sürüklemeyi azaltır ve boresight hatasını konik şekillere göre daha düşük tutar. Her iki şekil de süpersonik uçaklar ve güdümlü mühimmatlarda yaygındır ve genellikle orta açılı anten taramaları için faz bozulması açısından optimize edilir [1, 14].

2.11.3. Ogival ve von karman radomlar

Ogival radomlar, sivri bir tepeye ve sürekli düzgün bir eğriye sahip olmaları nedeniyle yüksek hızlı aerodinamik uygulamalarda idealdir. Şok dalgası ayrışmasını azaltır, sürüklemeyi düşürür ve merkez eksen boyunca elektromanyetik bütünlüğü korur. Von Kármán şekli ise, tangensiyel ogivelerin modifikasyonuyla türetilmiş ve transonik–süpersonik uçuşlar için aerodinamik olarak daha da verimli hale getirilmiş bir varyanttır. Bu geometriler taktik füzelerde ve İHA'larda kullanılır [15].

2.11.4. Haack serileri ve burun konisi optimizasyonları

Haack serisi (özellikle LV-Haack ve Sears-Haack profilleri), belirli bir hacim ve uzunluk için dalga sürüklemesini minimize etmek amacıyla analitik olarak türetilmiştir. Bu şekiller, yüksek Mach sayılarında çalışan balistik füze radomları ve yeniden giriş araçlarında idealdir. Kademeli daralan profilleri, faz cephesi düzgünlüğünü iyileştirirken, aerodinamik ısıtma ve dalga sürüklemesini azaltır. Ancak bu şekillerin üretimi ve iç hacim planlaması daha zordur [16].

2.11.5. Silindirik radomlar

Silindirik radomlar, esas olarak sadece azimut ekseninde dönen antenlerin bulunduğu sistemlerde, örneğin; deniz gözetleme radarları veya kara tabanlı hava trafik kontrol radarlarında kullanılır. Yatay düzlemde sabit kesit sağladıkları için anten dönerken kararlı hüzme yayılımı sağlar. Ancak, yüksek irtifa açılarında tarama yapılırken dielektrik asimetri nedeniyle elektromanyetik bozulma artar [13].

2.11.6. Segmental ve jeodezik kubbeler

Segmental radomlar, çokgen panellerin küresel veya jeodezik düzende bir araya getirilmesiyle oluşur. Bu tür yapılar, büyük yer radar kurulumlarında modüler montaj ve bakım kolaylığı sağladığı için tercih edilir. Panel birleşimlerinde dikiş yalıtımı, RF conta tasarımı ve kırınım kontrolü, elektromanyetik sürekliliğin korunması açısından kritik önemdedir. Jeodezik kubbeler yapısal verimlilik ve ölçeklenebilirlik sağlarken, yüksek frekanslarda yerleştirme kaybı ve faz dalgalanması ile ilgili zorluklar doğurabilir [15].

2.11.7. Damla (droplet) şekilli radomlar

Damlacık şeklindeki radome, su damlasına benzer bir şekilde tasarlanmış bir radom anlamına gelir. Bu tasarım, özellikle insansız hava araçları (İHA'lar) olmak üzere uçaklardaki aerodinamik sürtünmeyi azaltmak için kullanılır. Damlacık şekli, uçak havada hareket ederken direnci en aza indiren aerodinamik verimliliği için seçilir. Radarın gereksinimlerine dayalı geometrik kısıtlamalar kullanılarak oluşturulur, genellikle hızlı ve hassas tasarım için kanat profili ve kübik eğri modellemesi kullanılır. Damlacık şeklindeki radom, akış çizgisi-nacelle şekli gibi diğer şekillere kıyasla daha az sürtünme üretir. Damlacık şeklindeki bir radom kullanmak, bir İHA'nın seyir kaldırma-sürükleme oranını artırabilir ve bu da daha iyi yakıt verimliliği ve uçuş performansına yol açabilir. Örneğin, bir çalışmada, damlacık şeklindeki bir radom ile seyir kaldırma-sürükleme oranında başka bir yapılandırmaya kıyasla %2,3'lük bir artış bulunmuştur [19]. Damlacık şeklindeki radomlar, özellikle sürüklemeyi en aza indirmenin ve aerodinamik verimliliği en üst düzeye çıkarmanın performans ve dayanıklılık açısından kritik öneme sahip olduğu İHA'lar ve diğer uçaklar için faydalıdır. Özetle, damlacık şeklindeki bir radom, özellikle İHA'lar olmak üzere uçakların sürüklemesini azaltmak ve genel verimliliğini artırmak için tasarlanmış radar sistemleri için aerodinamik olarak optimize edilmiş bir muhafazadır [19].

2.11.8. Harmanlanmış ve hibrit geometriler

Modern havacılık sistemlerinde, ogival, konik ve eliptik formlar arasında geçiş sağlayan harmanlanmış burun konisi geometrileri yaygındır. Bu hibrit şekiller, hem aerodinamik hem de elektromanyetik sınırlamalara uyum sağlamak için bölgesel optimizasyona imkân tanır. Örneğin, burun ucunda termal direnç maksimuma çıkarılırken, arka bölgede geniş açılı

tarama uygunluğu korunur. Bu profiller genellikle HAD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) ve elektromanyetik çözücülerle entegre çalışan çok disiplinli optimizasyon (MDO) çerçevelerinde geliştirilir [1].

Çizelge 2.1. Farklı radom geometrilerinin sınıflandırılması

Geometri	Elektromanyetik Performans	Aerodinamik Sürükleme	Tipik Kullanım Alanı
Küresel	Yüksek	Yüksek	Yer Radarı Sistemleri
Konik	Orta	Orta	Hava Platformları
Eliptik	Yüksek	Düşük	Füze Sistemleri
Ogival	Yüksek	Düşük	Yüksek Hızlı Füzeler
Von Kármán	Yüksek	Çok Düşük	Balistik Füzeler
Haack Serisi	Yüksek	Minimum	Yeniden Giriş Araçları
Silindirik	Orta	Yüksek	Döner Anten Sistemleri
Segmental	Orta	Yüksek	Büyük Yer Tabanlı Kurulumlar
Damla	Yüksek	Çok Düşük	Hipersonik Füze ve İHA Sistemleri

3. RADOM ÜZERİNE ETKİYEN SÜRÜKLEME KATSAYISININ SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Bu bölümde, radom geometrisine etki eden kuvvetlerin nümerik olarak hesaplanmasına yönelik gerekli bağıntılar detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu bağlamda, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yönteminde kullanılan temel yönetici denklemler ele alınarak, söz konusu kuvvetlerin belirlenmesindeki önemi açıklanmıştır.

3.1. Korunum Denklemleri

Temel yönetici denklemlerin başında süreklilik denklemi gelmektedir. Daimi ve sıkıştırılabilir akış için süreklilik denklemi Eş. 3.1'deki gibidir.

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \tag{3.1}$$

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde diğer bir yönetici denklem ise, Navier-Stokes denklemleridir. Navier-Stokes denklemleri türbülans modellemesinden faydalanıldığında direkt olarak çözülmez. Bunun yerine, zaman ortalaması alınmış büyüklüklerde açığa çıkan ilave büyüklükler modellenir. Daimi akış için 3-Boyutlu kartezyen koordinat sisteminde sıkıştırılabilir akış için Navier-Stokes denklemleri Eş. 3.2, 3.3 ve 3.4'te sunulduğu gibidir.

$$\left(\frac{\partial \rho uu}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} + \frac{\partial \rho uw}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right) \tag{3.2}$$

$$\left(\frac{\partial \rho vu}{\partial x} + \frac{\partial \rho vv}{\partial y} + \frac{\partial \rho vw}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}\right) \tag{3.3}$$

$$\left(\frac{\partial \rho wu}{\partial x} + \frac{\partial \rho wv}{\partial y} + \frac{\partial \rho ww}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z}\right) \tag{3.4}$$

Navier-Stokes denklemlerinde bulunan hız, basınç vb. büyüklüklerin zaman ortalaması ortalama değer ve çalkantılı değerden meydana gelmektedir. Bu büyüklüklerin zaman ortalamasının alınışı Eş. 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de sunulduğu gibidir.

$$u = \bar{u} + \acute{u} \tag{3.5}$$

$$v = \bar{v} + \acute{v} \tag{3.6}$$

$$w = \bar{w} + \acute{w} \tag{3.7}$$

$$p = \bar{p} + \acute{p} \tag{3.8}$$

Zaman ortalaması alınmış büyüklükler, Navier-Stokes denklemlerinde yerine koyulduğunda ortaya viskoz kayma gerilmeleri ve Reynolds gerilmeleri açığa çıkmaktadır. Bu kapsamda türbülans etkilerini dikkate alan Navier-Stokes denklemi Eş. 3.9'daki gibidir.

$$\frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial (\tau_{ij} + {\tau_{ij}}^R)}{\partial x_j} \tag{3.9}$$

Viskoz kayma gerilmelerinin bulunuşu Eş. 3.10'daki gibidir.

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \tag{3.10}$$

Reynolds gerilmeleri içerisinde Kronocker Delta fonksiyonunu ve türbülanslı Eddy viskozitesini içermektedir. Kronocker delta fonksiyonu i=j olması durumunda 1'e, diğer durumlarda ise 0'a eşittir. Reynolds gerilmelerini veren ifade, Eş. 3.11'deki gibidir ve bu yaklaşım Boussinesq yaklaşımı olarak bilinir.

$${\tau_{ij}}^R = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \tag{3.11}$$

Yapılan çalışma boyunca türbülans modeli olarak k-ω SST modelinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda, türbülanslı kinetik enerjinin transportu ve türbülansın frekansını içeren transport denklemleri sırasıyla Eş. 3.12 ve Eş. 3.13'de sunulduğu gibidir. Tez boyunca faydalanılan k-ω SST türbülans modeli ile ilgili detaylı bilgiye [20] ilgili referanstan ulaşılabilir.

$$\frac{\partial \rho k u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right)}{\partial x_j} + \widetilde{G_k} - Y_k + S_k \tag{3.12}$$

$$\frac{\partial \rho \omega u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right)}{\partial x_j} + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \tag{3.13}$$

Sıkıştırılabilir akışın çözülebilmesi için, ideal gaz denkleminden faydalanılmıştır. Bu kapsamda ısı transferi için gerekli yönetici denklemler Eş. 3.14'te verilmiştir.

$$\rho C_p \overline{u_\iota} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} = \frac{\partial\left(k\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho C_p \overline{\acute{u_\iota}\acute{T}}\right)}{\partial x_i} \tag{3.14}$$

Bu denklemde türbülanslı ısı akısı, Eş. 3.15'te verildiliği gibi Eddy viskozitesine bağlı olarak elde edilebilir.

$$\overline{\acute{u_\iota}\acute{T}} = \frac{\mu_t}{\rho \sigma_k}\frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} \tag{3.15}$$

Sınır tabaka içerisinde meydana gelen momentum aktarımı ve kayma gerilmelerinin seçilen türbülans modeli vasıtasıyla doğru bir şekilde çözülebilmesi için y+ değerinin belirli bir aralık içerisinde olması gerekmektedir. Bu kapsamda y+ değerinin bulunuşu sayısal ağ içerisindeki akışkan-duvar sınır tabakasındaki ilk hücrenin kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir ve Eş. 3.16 ve 3.17'de verdiliği gibi hesaplanır.

$$y^+ = \frac{\rho U_T y}{\mu} \tag{3.16}$$

$$U_T = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \tag{3.17}$$

Bu denklemlere ilave olarak havanın yoğunluğunu basınç ve sıcaklığa bağlı olarak modellemek için Eş. 3.18'de verilen ideal gaz yasasından faydalanılmıştır.

$$p = \rho R T \tag{3.18}$$

Mach sayısı, akışkan hızının bulunduğu ortamdaki sesin hızına oranı olup Eş. 19'da verdildiği gibi hesaplanmıştır.

$$M = \frac{u}{\sqrt{\gamma R T}} \tag{3.19}$$

Sürükleme kuvveti, sürükleme katsayı ile doğru orantılıdır ve Eş. 3.20'de verildiği gibi hesaplanabilir.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho u^2 A_{ref} \tag{3.20}$$

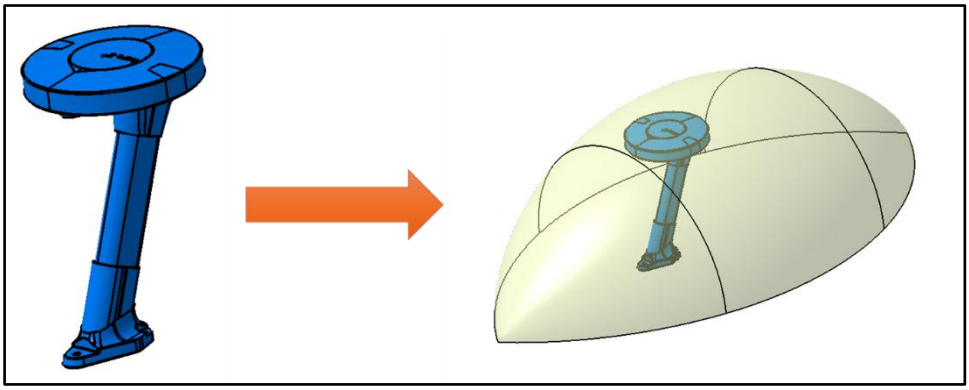
3.2. Problemin Tanımı

Bu bölümde problemin tanımından bahsedilmiştir. Radom geometrisine duyulan ihtiyaç esasında insansız hava araçlarında kullanılan antenlerin oluşturduğu olumsuz etkileri önlemek içindir. Bir insansız hava aracında anten yapısının açıkta olmasının bazı dezavantajları mevcuttur. Aşırı sürükleme kuvveti, dış etkenlerin radom geometrisine zarar vermesi, türbülanslı rejimde meydana gelen ve antenin üzerine etkiyen rastgele titreşim kuvvetleri vb. örnekler radom kullanılmayan bir insansız hava aracında meydana gelebilecek bazı olumsuz durumları içermektedir. Bu kapsamda insansız hava araçlarında radom kullanılması kaçınılmazdır.

Radom geometrisi mekanik olarak anteni koruyor olsa bile, bazen fazla yüzey alanından dolayı yüksek sürükleme kuvvetine neden olabilir. Bunun önüne geçebilmek için radom geometrisi tasarlanırken aerodinamik etkiler hesaba katılmalıdır. Bir radom geometrisinin aerodinamik olarak minimum sürükleme sağlayacak şekilde tasarlanmasını kısıtlayan bazı unsurlar vardır. Bunlardan en önemlisi hava aracındaki yerleşim planında izin verilen maksimum boyutlardır.

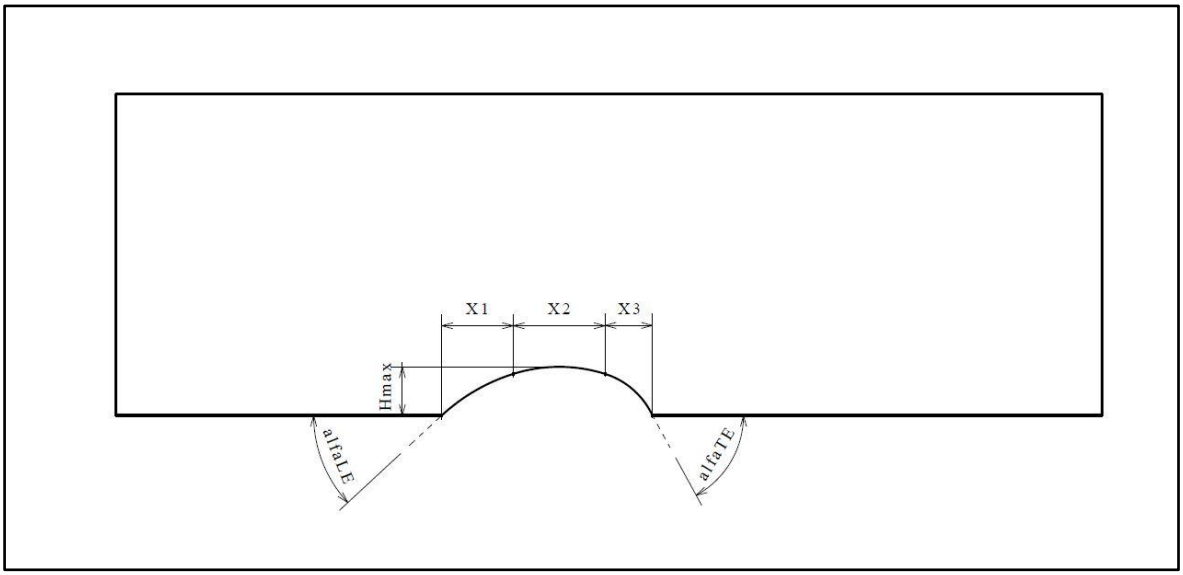
Tez kapsamında 77 mm x 68 mm x 112 mm'lik zarf boyutlarına sığan bir insansız hava aracı anteni için radom geometrisi aerodinamik olarak optimize edilmiş ve sürükleme kuvveti minimuma indrilmiştir. Bu kapsamda farklı geometrik ve Mach sayısı senaryolarında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği analizleri gerçekleştirilmiştir.

İncelenecek olan anten ve radom geometrisi Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekilde gösterildiği üzere radom geometrisi 3 adet birbirine teğet olarak ilerleyen yay geometrisinin eksenel simetrik olarak döndürülmesi ile elde edilmiştir.



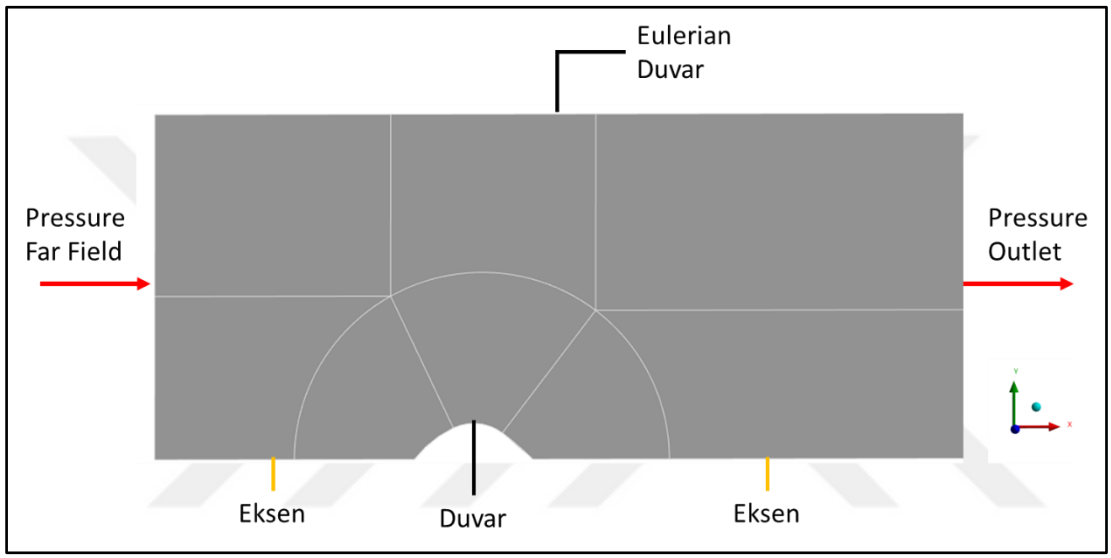
Şekil 3.1. Anten ve antene uyarlanan radom geometrisi

Parametrik çalışmalar için oluşturulan radom geometrisinin parametrik ölçüleri Şekil 3.2'de verilmiştir. Burada X1, X2, X3 radomun yatay doğrultudaki segment uzunluklarıdır. Genellikle: X1: Ön burun kısmının yükselme bölgesi, X2: Tepe (gövdeden en uzak) bölge – maksimum kalınlık bölgesi, X3: Arka kısım – eğimle gövdeye bağlandığı bölgedir. Hmax: Radomun gövdeden itibaren maksimum yüksekliği. Bu, aerodinamik açıdan en önemli boyuttur. Yüzey sürtünmesi ve basınç farklarıyla ilişkili direnç doğrudan Hmax'la ilgilidir. α_{LE} (Leading Edge Açısı): Akış yönüne bakan ön kısımdaki açıdır. Eğer bu açı büyükse akış ayrılması daha erken olabilir. Küçükse, akış daha düzgün sarılabilir. α_{TE} (Trailing Edge Açısı): Akıştan çıkış yapan kısmın eğimidir. Eğer çok dik olursa, akış ayrılması yaşanabilir ve arka sürükleme (form drag) artar.



Şekil 3.2. Radom geometrisi parametleri

Probleme ait sınır şartları Şekil 3.3'te verilmiştir. Girişte Pressure Far Field sınır şartı kullanılmıştır. Bu sayede giriş hızı Mach sayısına bağlı olarak simüle edilmiştir. Radom yüzeyi duvar olarak tanımlanmıştır. Eksenel simetrik olarak modellenen geometri için eksen simetrisi Şekil 3.3 üzerinde gösterildiği zemin olarak tanımlanmıştır. Serbest akış bölgesinde, radom duvarından uzak bölgede sınır tabakanın gelişmemesi için Eulerian Duvar sınır şartından faydalanılmıştır. Çıkış kouşulları için (aşağı akımda) ise Pressure Outlet sınır şartı olarak tanımlanmıştır.

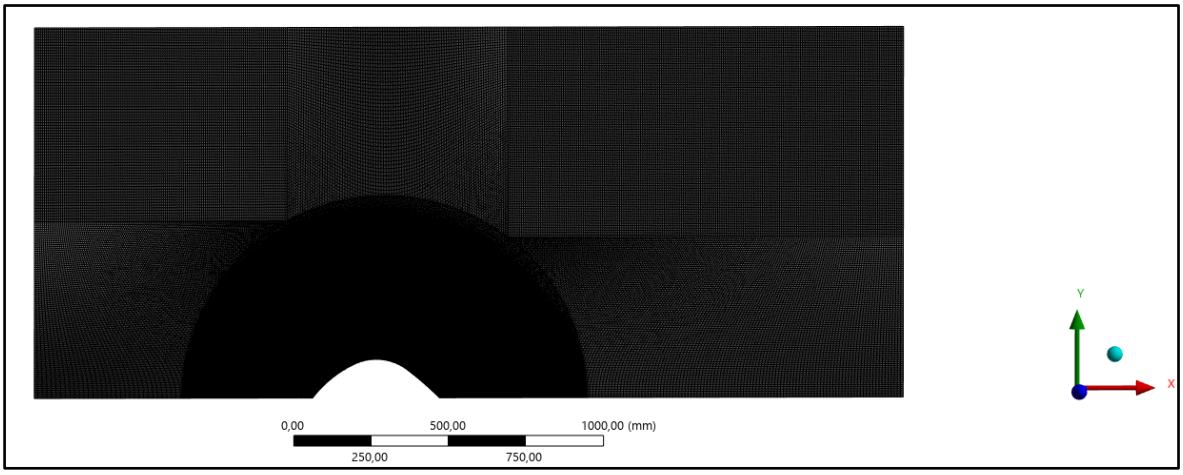


Şekil 3.3. Radom geometrisinin iki boyutlu modeli ve sınır şartları

3.3. Ağ Yapısından Bağımsızlaştırma Çalışması

Bu bölümde, problem ağ yapısından bağımsızlaştırılma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İncelenen radom geometrisi hem eksenel-simetrik 2-Boyutlu hem de 3-Boyutlu olarak incelenmiştir. Bu sayede çözüm zamanını kısaltmak için gerekli basitleştirmenin uygunluğu değerlendirilmiştir.

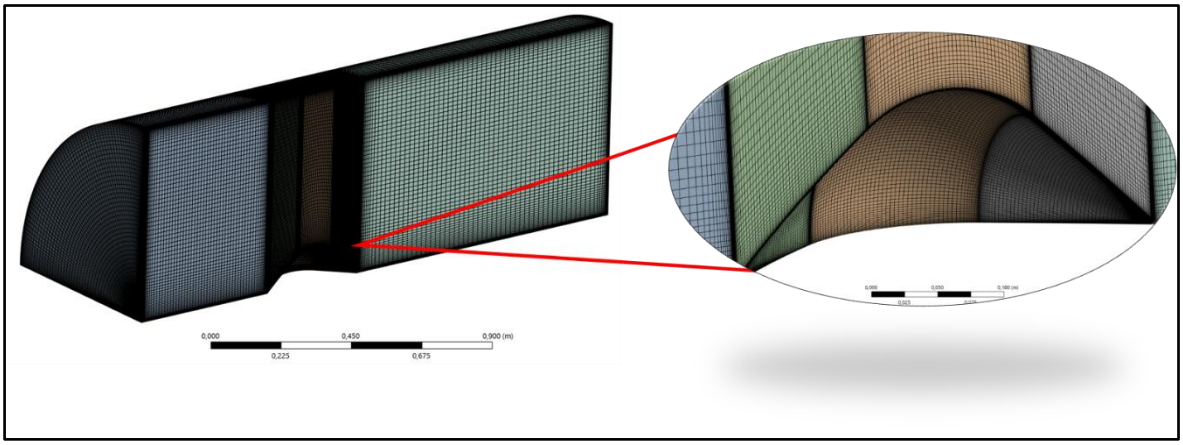
2-Boyutlu eksenel-simetrik ağ yapısına ait görsel Şekil 3.4'te verilmiştir. Ele alınan geometriye yapısal ağ yapısı oluşturulabilmesi için geometri parçalara bölünmüştür ve bu sayede quad elemanlardan oluşan ağ yapısı oluşturulabilmiştir.



Şekil 3.4. Radom geometrisinin iki boyutlu ağ yapısı

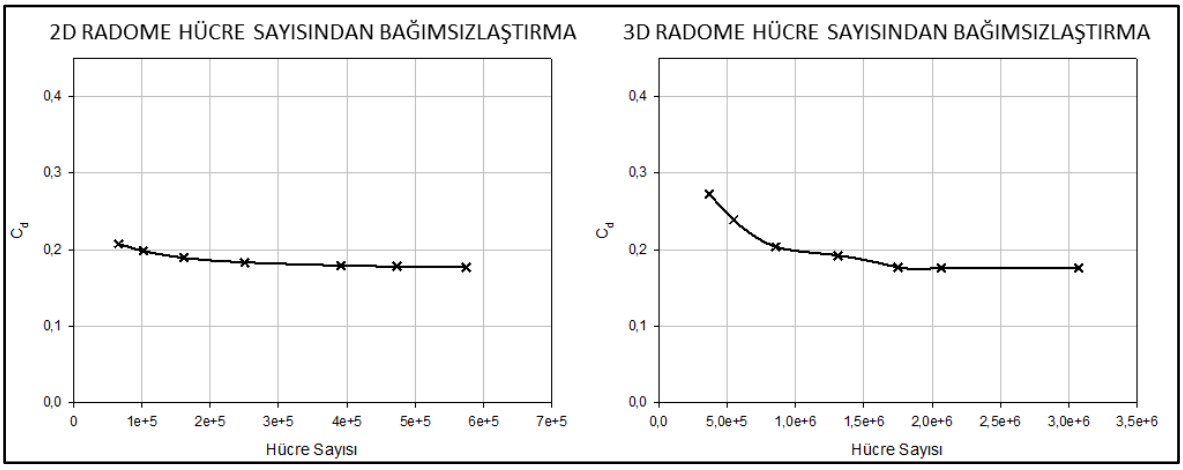
Benzer şekilde, aynı geometri 3 boyutta eksenel olarak döndürülmüştür ve simetri sınır şartından faydalanarak Şekil 3.5'te gösterildiği üzere yarım model oluşturulmuştur. HEX ağ yapısı oluşturabilmek için geometri alt bölgelere bölünmüştür ve sonrasında bu bölgeler Share Topology komutu kullanılarak birleştirilmiştir. Yapının ağ çözünürlüğünden bağımsız olduğunu doğrulamak için bir ağ bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Radom etrafındaki akış, gittikçe incelen daha yoğun ağ yapıları üzerinde simüle edilmiş ve elde edilen sürükleme katsayısı (C_D) ile yüzey basınç dağılımları takip edilmiştir. Yapılan analizlerde, belirli bir ağ yoğunluğunun ötesinde, ağın daha da inceltilmesinin C_D değerinde ihmal edilebilir düzeyde değişikliklere (yaklaşık %1 veya daha az) neden olduğu görülmüştür. Pratikte, yeterli ağ yapısı, bir sonraki ağ seviyesine göre C_D değerinde %1'den daha az fark olması durumunda belirlenmiştir. Bu durum, çözümün uzaysal ayrıklaştırmaya (spatial discretization) göre etkin şekilde yakınsadığını göstermektedir.

Yeterince ince bir ağ yapısı kullanılarak, ağın kaba olmasından kaynaklanan sayısal hatalar en aza indirilmiştir. Bu da, parametrik çalışmada gösterilen akış ayrılma bölgeleri, basınç değerleri ve sürükleme kuvvetlerinin, gerçekte fiziksel olarak doğru şekilde modellenmiş olduğuna ve yetersiz ağ çözünürlüğü nedeniyle ortaya çıkan hatalardan kaynaklanmadığına dair güveni artırmaktadır. Sonuç olarak, ağ bağımsızlık doğrulaması, seçilen ağ yapısının tüm ilgili akış olaylarını yeterli hassasiyetle yakaladığını ve sayısal yayılma (numerical diffusion) veya önemli ayrıntıların kaybı gibi sorunlara yol açmadığını garanti ederek HAD sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaktadır.



Şekil 3.5. Radom geometrisinin üç boyutlu ağ yapısı

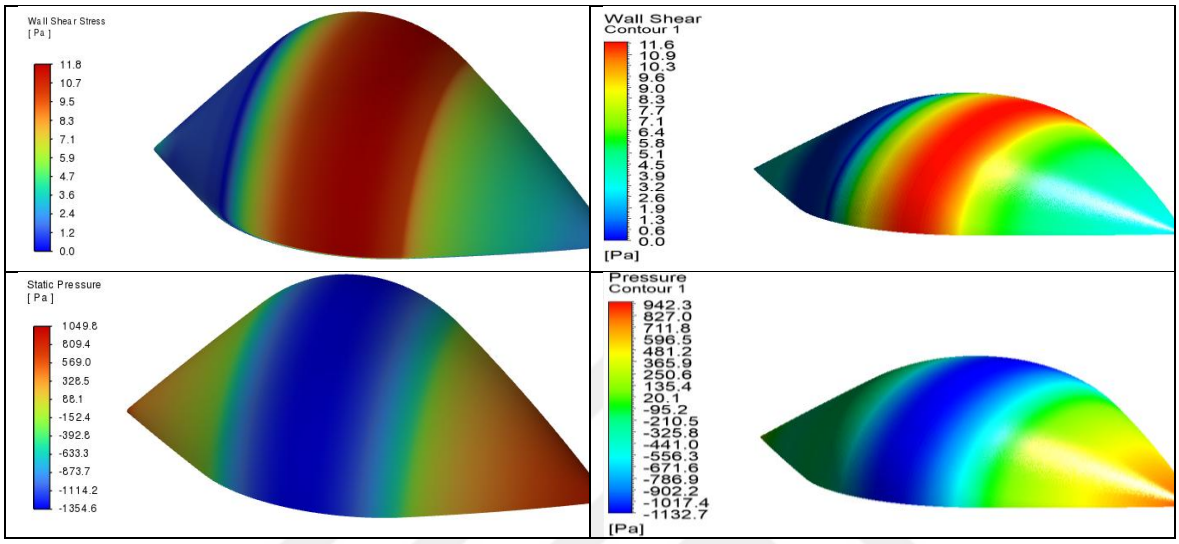
Aynı sınır şartları ve geometrinin kullanıldığı 2 ve 3 boyutlu geometriler içini ağ yapısından bağımsızlaştırma çalışmasına ait sonuçlar Şekil 3.6'da verilmiştir. Grafiklerde gösterildiği üzere sürükleme katsayısının hücre sayısına bağlı değişimi ele alınmıştır. Elde edilen bulgulara göre belirli bir hücre sayısından sonra sonuçlar önemli ölçüde değişmemektedir ve hücre sayısının artışı sürükleme katsayısını değiştirmemektedir. Ayrıca hem 2-Boyutlu çözümde, hem de 3-Boyutlu çözümde sürükleme katsayısı yaklaşık olarak 0,17 olarak bulunmuştur. Buradan da görüldüğü üzere problem 3-Boyutlu modelden 2-Boyutlu modele indirgenebilir ve bu sayede çözüm süresinden önemli ölçüde kazanç sağlanabilir.



Şekil 3.6. Radom geometrisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu hücre sayısından bağımsızlaştırma grafikleri

Şekil 3.7'de ise Mach 0,12 değerinde 3 boyutlu ve 2 boyutlu çözümlemelerden elde edilen yüzey kayma gerilmesi ve statik basınç konturları verilmiştir. Hem elde edilen maksimum

ve minumum değerler hem de gradyan geçişleri beraber değerlendirildiğinde 3 boyutlu analizler yerine 2 boyutlu analizlerle devam edilmesi uygun görülmektedir. Özetle, 2 ve 3 boyutlu analizlerin sonuçlarının birbirlerine çok yakın olmasından dolayı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modelinin 2-Boyuta indirgenebileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.7. Radom geometrisinin Mach 0,12 değerinde 3 boyutlu ve 2 boyutlu duvar kayma gerilmesi ve basınç konturları karşılaştırılması

3.4. Türbülans Modellenmesi ve Duvar Yakınındaki Ağ Çözünürlüğü

Radomun aerodinamiğinin doğru bir şekilde simüle edilebilmesi için, türbülans modeli seçimi ve duvar yakınındaki akış bölgesinin çözünürlüğü oldukça önemlidir. Akış ayrılması bu çalışmada temel bir odak noktası olduğundan, tüm simülasyonlarda Shear Stress Transport (SST) k–ω türbülans modeli kullanılmıştır. SST k–ω modeli, ters basınç gradyanları altında akış ayrılmasının öngörülmesinde diğer RANS (Reynolds Averaged Navier–Stokes) modellerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu model, duvar yakınlarında k–ω formülasyonunun (viskoz alt tabakanın hassas çözümü için) ve serbest akım bölgelerinde k–ε formülasyonunun avantajlarını birleştirerek, ayrılmış akış davranışı ve basınç kaynaklı sürüklemeyi güvenilir bir şekilde tahmin edebilmektedir.

SST modelinin avantajlarından tam anlamıyla yararlanabilmek için, duvar yakınındaki ağ yapısına özel önem verilmiştir. Radom yüzeyine bitişik ilk hücre yüksekliği, boyutsuz duvar mesafesi $y+ \approx 1$ olacak şekilde belirlenmiş ve radomun tüm yüzeyinde y+ değerleri yaklaşık olarak 5'in altında tutulmuştur. Bu durum, sınır tabakanın viskoz alt tabakasının doğrudan

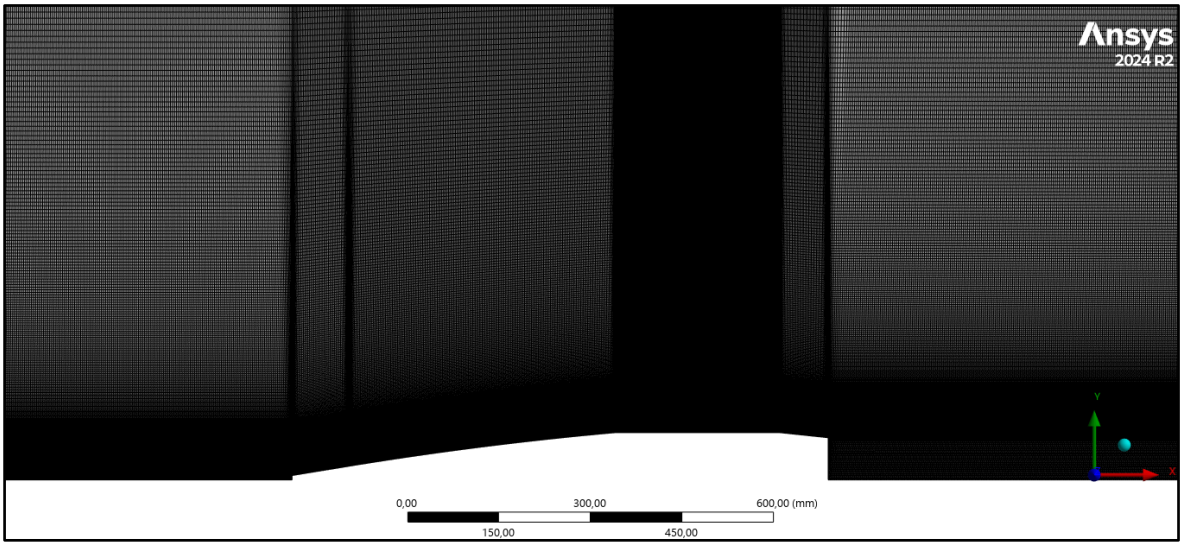
ağ tarafından çözümlenmesini sağlar ve duvar fonksiyonu (wall function) yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaz. Y+ değerinin tek haneli düşük aralıkta tutulması, yüksek hassasiyetli HAD analizlerinde duvar kayma gerilmesinin ve akış ayrılma noktalarının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için önemlidir. Bu yaklaşım sayesinde SST k–ω modeli, düşük Reynolds sayılarındaki modunda çalıştırılabilmiş; sınır tabakanın gelişimi (laminerden türbülansa geçiş, türbülans üretimi ve potansiyel ayrılmalar) yüksek doğrulukla yakalanabilmiştir. Ayrıca, hem uzayda hem de zamanda ikinci mertebeden ayrıklaştırma (second-order discretization) şemalarının kullanılması sayesinde, ince sınır tabaka yapıları ve geri döngü (resirkülasyon) bölgeleri yapay şekilde yayılmadan (smearing) doğru biçimde çözümlenmiştir.

Özetle, SST k–ω modelinin hassas duvar ağ yapısıyla birlikte kullanıldığı bu türbülans modelleme stratejisi, akışın fiziksel olarak doğru ve güvenilir bir temsilini sağlamıştır. Elde edilen akış ayrılması ve basınç dağılımı sonuçlarının gerçekçi olduğu yönünde önemli bir güven sağlamaktadır. Özellikle belirtmek gerekir ki, SST k–ω modeli hava kanatları ve eksenel simetrik cisimler üzerindeki akışlar gibi benzer uygulamalarda literatürde yaygın olarak doğrulanmış ve yoğun akış ayrılmalarının söz konusu olduğu durumlar için önerilmektedir.

3.5. Eksenel Simetrik 2-Boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Modelinin Literatürle Doğrulanması

Bu bölümde 2-Boyutlu eksenel simetrik Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği modeline ait sınır şartlarının güvenilirliğini arttırmak için literatürde deneysel verileri bulunan M107 obüs mermisi ile doğrulama çalışması gerçekleştirilmiştir.

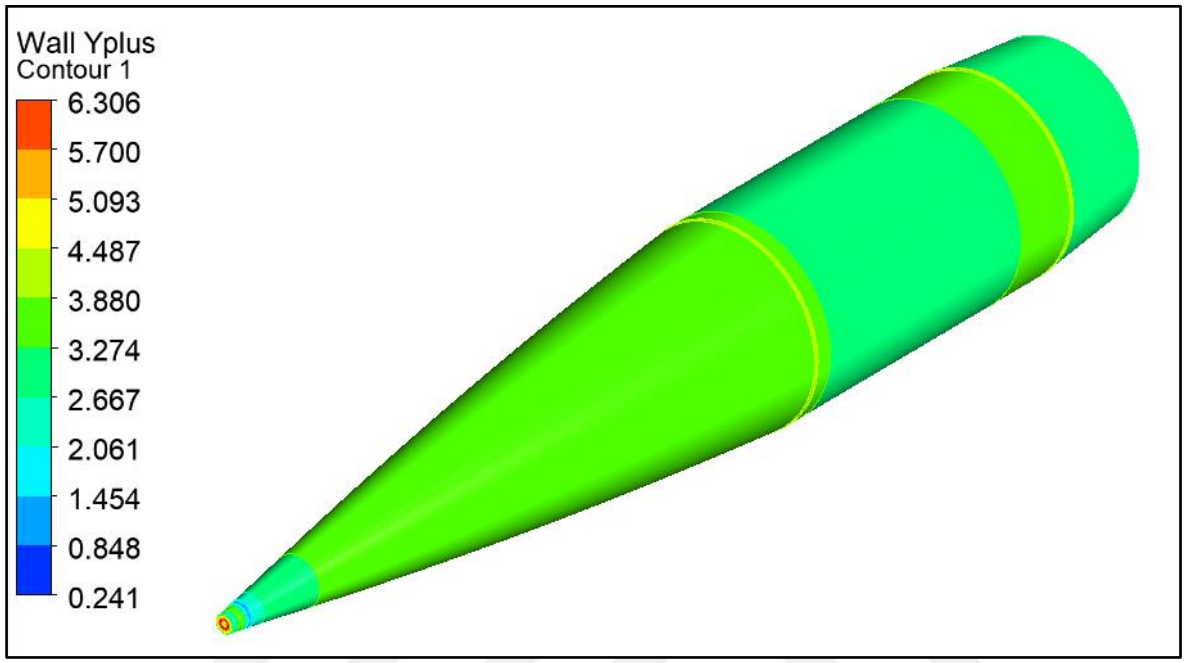
Şekil 3.8’de doğrulama için kullanılan 155 mm M107 obüs mermisinin akış hacimine uygulanan iki-boyutlu sayısal ağ yapısı ve sınır tabaka hücre yapısı görülmektedir.



Şekil 3.8. Doğrulama yapılan M107 mermisinin 2 boyutlu hücre yapısı

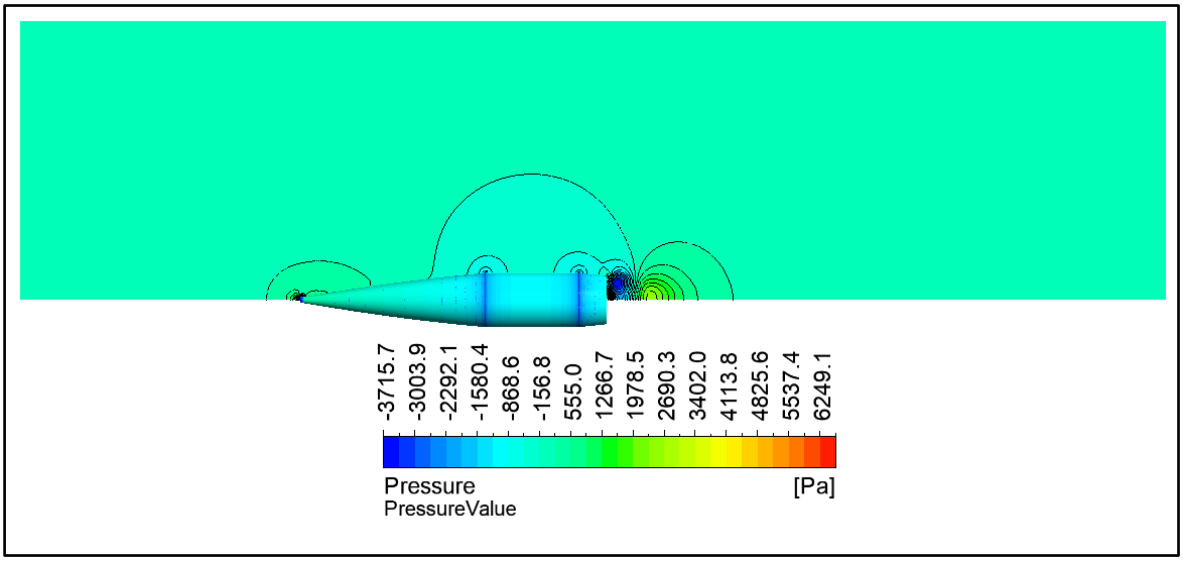
Türbülanslı akışlarda y+ değeri, uygun hücre yapılandırması ve türbülans modellerinin seçilmesinde kritik öneme sahiptir. Türbülanslı akışlarda viskozite, kaldırma kuvveti ve sürtünme etkilerinin doğru tahmin edilebilmesi için önemli olan yakın duvar bölgesinin doğru bir şekilde çözülmesine yardımcı olur. Düşük y+ değerleri, düşük Reynolds sayılı türbülans modelleri için uygundur ve viskoz alt katmanın düzgün bir şekilde çözülmesini sağlar. Kullanılan y+ değerleri türbülans modellerinin doğruluğunu etkiler [21]. Örneğin, k-ω modelinin 5'ten küçük y+ değerleri için, özellikle düşük Reynolds sayısı durumlarında daha doğru olduğu bulunurken, k-ε modeli türbülans kinetik enerjisini olduğundan fazla tahmin etme eğilimindedir ve bu da yanlış sonuçlara yol açar [22]. Yapılan çalışmada da y+ değeri Şekil 3.9'da görüldüğü gibi 5 ve altı olacak şekilde uygun hücre yapıları kullanılarak farklı türbülans modelleri için sunulmuştur. Çalışma sonucunda SST k-ω türbülans modeli için y+ değerleri gövdede 4-5 arasında değiştiği ve 5 değerinin altında kaldığı için türbülans modelinde de uygun olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Kontur üzerinde yapılan bölgesel incelemede; mermi burnunda (ogive) y^+ değerleri 0.2–1.0, ana gövde bölgesinde ise 2–5 aralığında değişmektedir. Bu durum, duvar yakınında yeterli çözünürlüğe sahip bir ağ yapısının elde edildiğini ve laminerden türbülansa geçiş ile sınır tabaka kalınlaşmasının olduğu bölgelerde çözüm kararlılığının sağlandığını göstermektedir. Bu bağlamda, sınır tabaka çözüm hassasiyetinin yüksek olması sayesinde, kaldırma kuvveti, yüzey kayma gerilmesi ve sürtünme direnci gibi aerodinamik parametrelerin daha güvenilir biçimde tahmin edilmesi mümkün olacaktır. Sonuç olarak, kullanılan ağ yapısının duvar çözüm hassasiyeti yüksek bir konfigürasyona sahip olduğu, seçilen türbülans modeliyle tam uyumlu

olduğu ve bu sayede sınır tabaka çözüm doğruluğunun artırıldığı söylenebilir. Bu yapı, özellikle düşük Mach sayılarında yapılan harici aerodinamik analizlerde kritik öneme sahiptir. Sınır şartları ilgili referansta verilmiştir [23].



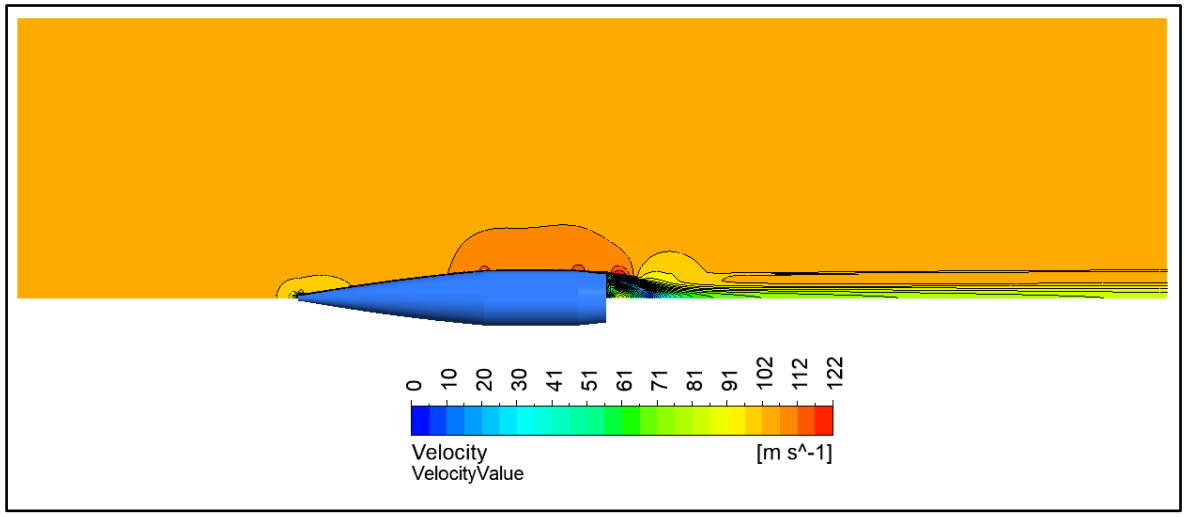
Şekil 3.9. Mermi duvarı üzerindeki y+ değer dağılımı

Şekil 3.10'da ise basınç konturu görülmektedir. Burun bölgesinde beklenildiği üzere durma basınç noktasında maksimum basınç gözlenmiştir ve yaklaşık 6250 Pa civarında basınç değerlerine ulaşılmıştır. Bu yüksek basınç oluşumu da cismin harekete karşı oluşturduğu ön direnç bileşenine katkı sağlamıştır. Gövde boyunca ise azalarak negatif değerlere geçmektedir bu da hızdaki artışı açıklamaktadır. Gövde üzerinde ise basınç hızla düşerek -800 ila -3000 Pa aralığında negatif değerlere ulaşmakta ve anlık şok dalgasının oluşmasına sebep olan anlık negatif basınçtaki artışı büyük ve yayılı bir şekilde görülmektedir. Kuyruk bölgesinde akış ayrılması meydana gelmiş ve maksimum vakum basıncı 3715 Pa olarak gözlenmiştir. Wake (iz) bölgesi ise negatif basınç sonrası pozitif basınç sergileyerek iki bölgeye ayrılmıştır. Wake bölgesi içerisindeki bu salınımlar, basınç kaynaklı türbülansın ve dolayısıyla sürtünme direncinin artmasına sebep olmuştur.



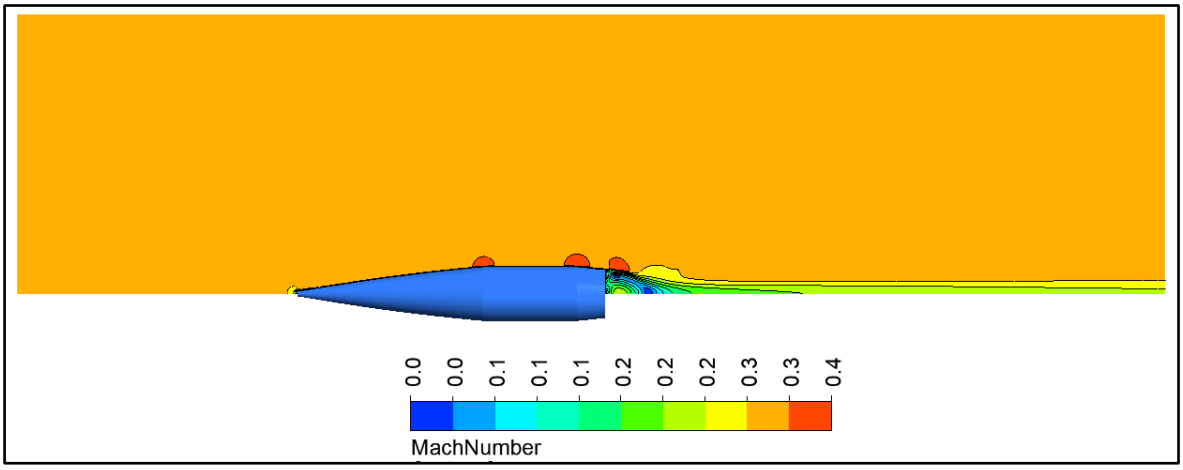
Şekil 3.10. Mermi duvarı ve kesit üzerindeki basınç dağılımı

Şekil 3.11'de hız konturu görülmektedir. Merminin burun ucunda (ogive kısmı), akış hızı sıfıra düşmekte, bu da durma noktası etkisinin göstergesidir. Bu bölgede kinetik enerji statik basınca dönüşerek basınç direncine katkı sağlar. Benzer şekilde duvar sınır şartlarında kaymama sınır şartından dolayı da beklenildiği üzere hızın sıfır olduğu gözlenmiştir. Sonrasında ise negatif basınç bölgesindeki harekete uygun olarak azalan basınçla beraber hız artmış ve keskin köşelerde ise ani basınç düşüşlerine bağlı olarak ani hız artışları gözlenmiştir. Kuyruk çıkışında görülen hız düşümü ve girdap izleri, iz bölgesi oluşumuna ve akış ayrılmasını göstermektedir. Ayrıca hız konturlarındaki yoğun izobarik çizgiler ve düşük hız cepleri, türbülanslı iz bölgesi yapısını göstermektedir. Bu alan, basınç farkına dayalı form sürüklemesinin en yoğun olduğu bölgedir.



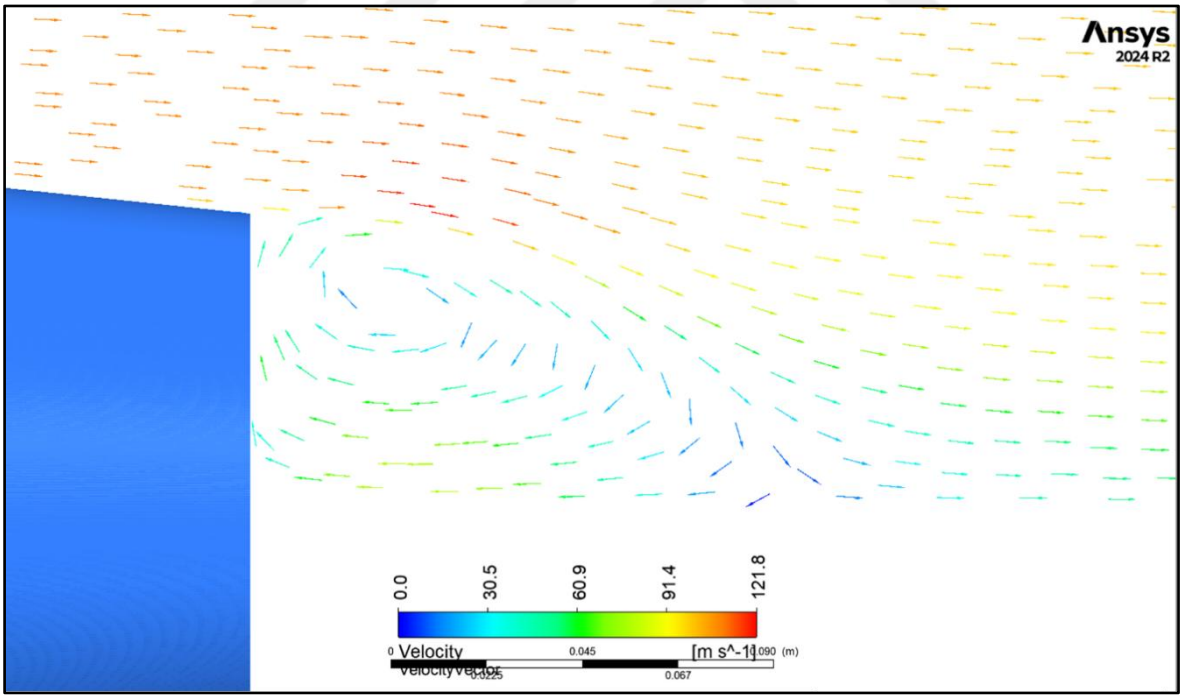
Şekil 3.11. Mermi duvarı ve kesit üzerindeki hız dağılımı

Mach sayısı konturları her ne kadar sıkıştırılabilir akışkanlar için önem arz etse de sıkıştırılamaz bölge için de yol gösterici olabilmektedir. Yapılan kontur incelemeleri sayesinde akışkanın genel davranışı hakkında geniş bilgi sahibi olunabilmektedir. Örneğin, sürekli değişken Mach sayılı nozulların tasarımında, nozul çıkışında homojen akışı ve minimum sapmayı sağlamak için kullanılabilmektedir [24]. Şekil 3.12'de SST k-ω türbülans modeli için elde edilen çalışmalardan örnek bir vaka olan 0.3 Mach sayısı giriş değeri için mach konturu verilmiştir. Şekil incelendiğinde merminin burun kısmında akışın düzgün olduğu ve hızla beraber Mach sayısının arttığı görülmektedir. Ayrıca akışın burun yüzeyine yapışık olmasından dolayı burun geometrisinin akışa uygun tasarlandığı görülmektedir. Burun kısmından gövde kısmına geçiş sırasında düşen anlık basınca bağlı olarak hızda artma, bu artış da konturlarda görüleceği üzere Mach sayısında ani artışla beraber az miktarda şok oluşuma sebep olmuştur. Kuyruk bölgesinde ise benzer ayrılma karakteristikleri göstermişlerdir.



Şekil 3.12. Mermi duvarı ve kesit üzerindeki Mach sayısı konturu (Giriş 0.3 Mach için)

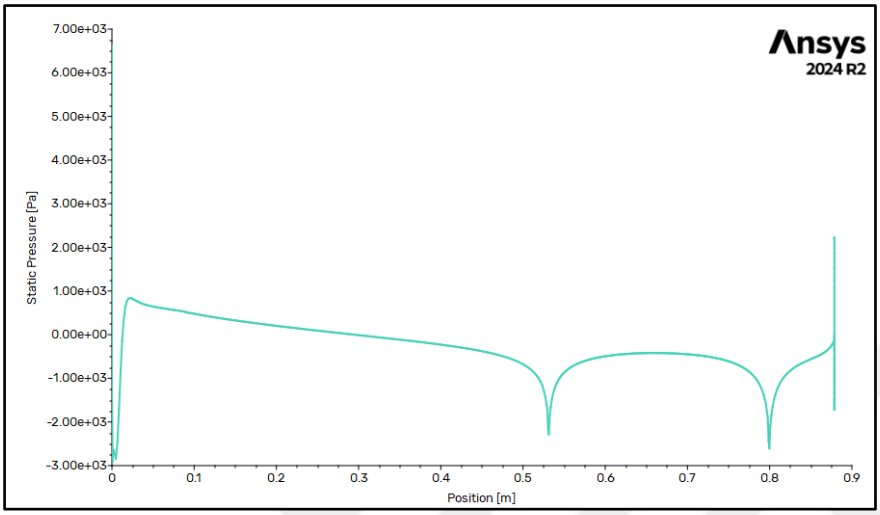
Şekil 3.13'de SST k-ω türbülans modeli için kuyruk sonrası hız vektör dağılımları verilmiştir. İz büyüklüğünün kısa ve kompakt yapıda olduğu görülmektedir. Bu da kullanılan türbülans modelinde daha kararlı ayrılma olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 3.13. Kuyruk kısmında hız vektör dağılımları

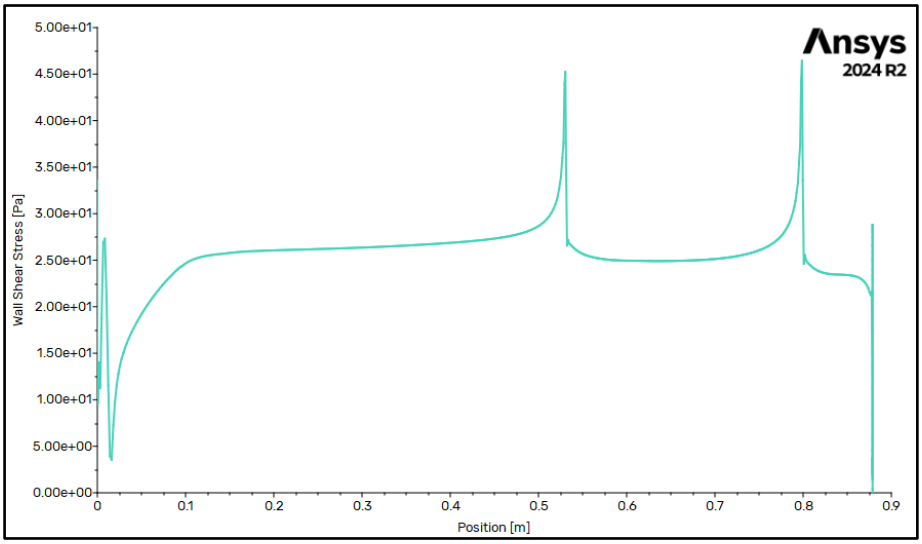
Şekil 3.14'de mermi duvarı boyunca statik basınç dağılımı grafiği verilmiştir. x = 0 m'de keskin bir basınç düşüşünün hemen ardından hızlı bir artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi mermi burun ucunda akışın durma noktasına gelmesi (stagnation) ve ardından hızlanması ile

ilgilidir. Sonrasında x=0.5 m, 0.75 m ve 0.85 m civarında ani basınç düşüşleri gözlenmiştir. Shoulder, boattail ve base (taper) geçişleri olarak yorumlanabilir. Yani geometrik değişime bağlı olarak ayrılma gerçekleşmiş ve taban bölgesinde düşük basınç, toplam form drag üzerinde önemli bir etki yapmıştır.



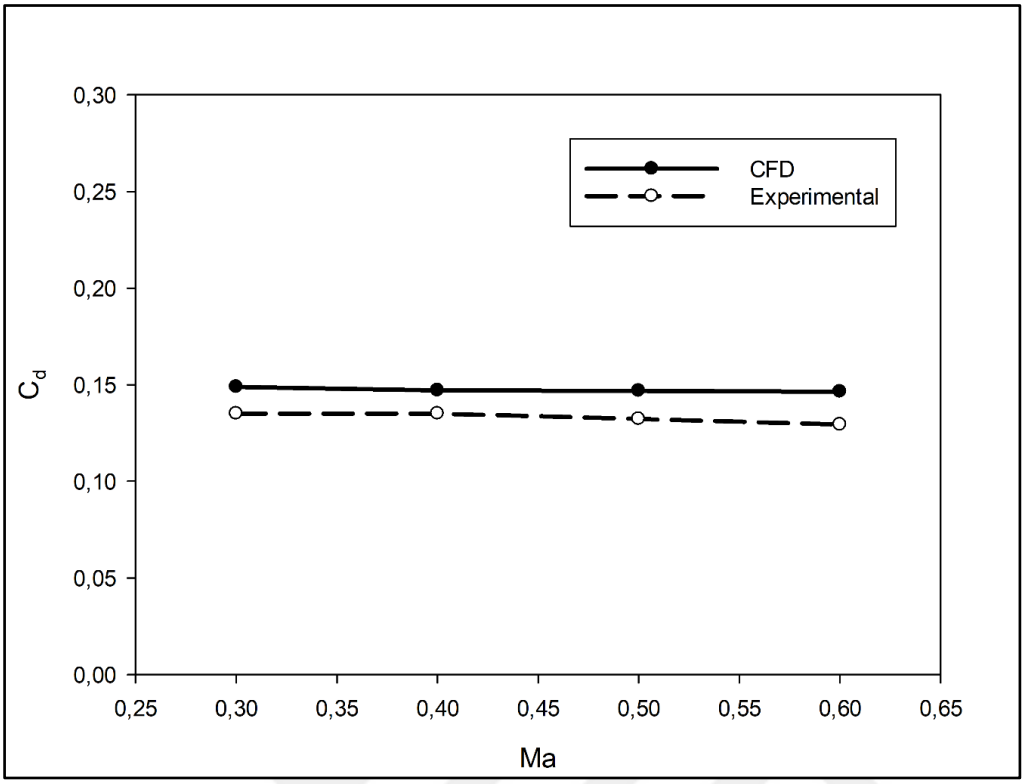
Şekil 3.14. Duvar boyunca statik basınç değişimi

Şekil 3.15'te mermi duvarı boyunca yüzey kayma gerilmesi grafiği verilmiştir. x = 0 m'de ani dalgalanma ve burun ucundaki durma bölgesi nedeniyle minimuma yakın değer elde edilmiştir. x = 0.1–0.5 m arasında artan ve kararlı hale gelen kayma gerilmesi ile sınır tabakanın geliştiği laminer/türbülans geçiş bölgesi olarak yorumlanabilir. x = 0.5 m ve 0.75 m civarında yine ani sıçramalar ise akış ayrılması veya yeniden yapışma (reattachment) bölgeleri olarak yorumlanabilir. Son olarak x = 0.9 m sonunda sıfıra yakın değer elde edilmesi ise iz bölgesi veya taban bölgesini temsil eder.



Şekil 3.15. Burun konisinin duvarı boyunca yüzey kayma gerilimi değişimi

Şekil 3.16'da M107 mermisinin literatürden alınan deneysel sonuçları ile HAD sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Şekilde, HAD sonuçlarının Mach 0.3–0.6 aralığında yaklaşık %10–12 oranında sistematik olarak yüksek tahminlerde bulunduğunu göstermektedir. Bu sapma, iz (wake) modellemesindeki sınırlamalara, türbülans modeli varsayımlarına ve HAD kurulumundaki olası geometrik sadeleştirmelere bağlanabilir. Buna rağmen, genel eğilim uyumlu olup, HAD yaklaşımının subsonik koşullarda merminin baskın aerodinamik davranışını doğru şekilde yakaladığını doğrulamaktadır.



Şekil 3.16. M107 mermisinin literatürden alınan deneysel sonuçları ile HAD sonuçlarının karşılaştırılması

3.6. Radom Geometrisi Üzerinde Parametrik Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri

Radomun aerodinamik performansı sistematik olarak geometrik parametrelerinin, özellikle ön kenar açısı (α_{LE}) ve arka kenar açısının (α_{TE}) bir fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Bu açılar sırasıyla burun kısmının keskinliğini ve kuyruğun daralmasını tanımlar. α_{LE} ve α_{TE} açıları değiştirilerek sınır tabaka gelişimi, akış ayrılması ve basınç dağılımı gibi akış davranışları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Her konfigürasyon için ortaya çıkan sürükleme kuvveti kaydedilmiştir. Çalışma ayrıca, Çizelge 3.1'de verilen gövde uzunluğu koordinatları (X1, X2, X3) ve serbest akım Mach sayısı (Ma) gibi diğer şekil belirleyici değişkenlerin etkilerini de kapsamıştır. Tüm bu parametreler, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonları ve Deney Tasarımı (DOE) yöntemi kullanılarak oluşturulan konturlar ve tablolar aracılığıyla incelenmiştir.

Çizelge 3.1. Parametrik çalışma için radom geometri alt-üst sınır değerleri

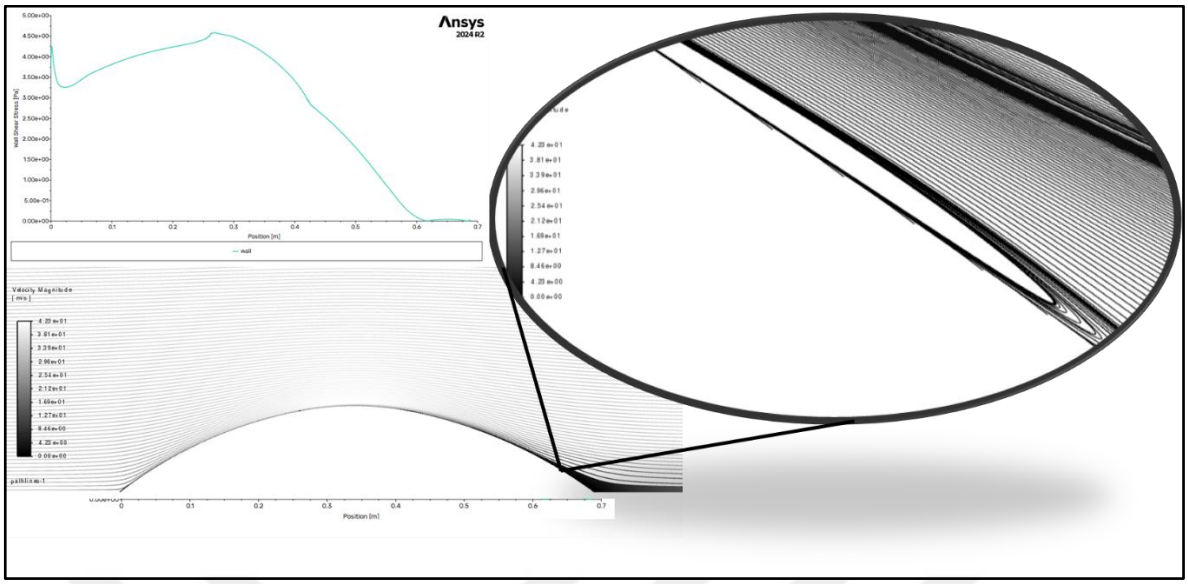
Parametre	Alt Sınır	Üst Sınır	Birim
P1 - alfaTE	25	50	Derece
P2 - alfaLE	25	50	Derece
P3 - X3	250	275	mm
P4 - X2	100	250	mm
P5 - X1	250	275	mm
P6 - Ma	0,1	0,8	mm
P8 - H	125	125	mm

Yapılan Deney Tasarımı (DOE) yöntemi sonucundan elde edilen 713 farklı analiz sonucunda elde edilen analizlerden Mach 0.1'den 0.8'e kadar sürükleme kuvveti değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgede Case# analiz numaralarını, P1 trailing edge, P2 alfa leading edge, P3 X3 uzunluğunu, P4 X2 uzunluğunu, P5 X1 uzunluğunu temsil ederken P6 Mach sayısını ifade etmektedir. Çözüm boyunca düşeyde radom boyu uzunluğu anten boyutuna eşit kabul edilmiştir. Çizelge 3.2'de en iyi beşer durum için parametreler ve sürükleme kuvvet değerleri örnek olarak verilmiştir. Tüm analiz sonuçları ise EK-1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 8 farklı Mach sayısı için 713 analizden seçilmiş sürükleme kuvveti sonuçları

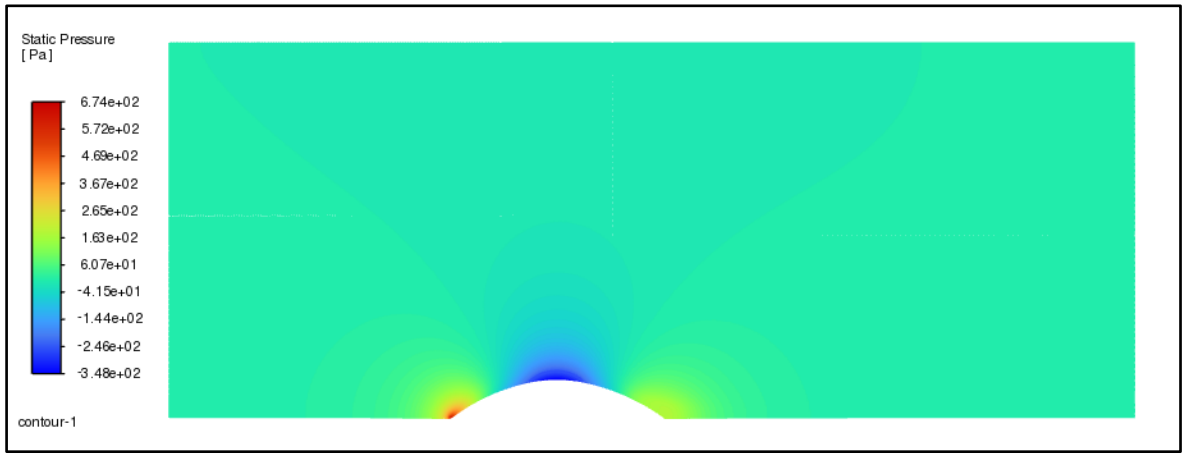
MACH	CASE #	P1 - alfaTE (degree)	P2 - alfaLE (degree)	P3 - X3 (mm)	P4 - X2 (mm)	P5 - X1 (mm)	P6 - Ma	P7 - Fd (N)
	616	36,22	37,69	264,53	161,35	261,24	0,10	1,55
	963	31,19	29,33	260,06	188,65	266,61	0,10	1,58
0,1	1028	33,89	36,04	265,66	116,15	267,84	0,10	1,62
	1109	38,94	30,41	271,41	160,45	262,43	0,10	1,65
	85	44,64	30,93	260,68	139,75	260,88	0,10	1,67
	1100	32,64	42,61	267,71	113,65	271,24	0,20	4,88
	256	29,21	26,81	264,26	218,85	258,81	0,20	5,07
0,2	991	28,67	34,39	273,14	167,85	270,03	0,21	5,37
	1200	25,49	33,09	256,49	171,15	268,44	0,21	5,38
	894	31,34	30,86	255,19	237,15	267,98	0,2	5,39
	670	28,24	25,29	265,93	158,25	261,98	0,30	10,26
	907	30,51	39,91	257,53	130,75	250,33	0,30	10,28
0,3	367	28,46	38,83	255,14	159,45	274,21	0,30	10,58
	1172	42,18	25,41	272,31	151,15	262,88	0,30	11,14
	401	40,81	32,43	252,56	157,85	250,83	0,30	11,19
	1456	31,49	37,26	254,19	105,05	270,53	0,40	17,79
	557	25,18	39,94	272,03	151,25	260,79	0,40	18,07
0,4	805	26,21	32,84	252,17	165,15	254,09	0,40	18,63
	870	37,18	39,43	261,46	109,25	274,51	0,40	18,80
	560	33,48	26,31	268,54	241,55	261,16	0,40	19,22
	1303	29,81	27,36	267,23	129,75	271,89	0,50	26,95
	487	26,08	34,99	265,16	222,75	252,59	0,50	27,58
0,5	1388	30,29	35,63	274,03	235,65	267,58	0,50	28,48
	150	43,44	28,51	269,59	117,05	253,78	0,50	29,56
	66	45,56	37,31	256,91	110,75	272,64	0,50	30,82
	341	29,29	33,01	251,56	152,55	271,31	0,60	39,25
	209	31,46	30,74	258,83	243,35	271,73	0,60	40,47
0,6	774	38,34	44,74	251,52	112,25	259,91	0,60	41,11
	645	25,21	38,27	269,01	212,75	269,44	0,61	41,15
	498	45,21	29,68	259,09	104,65	258,78	0,60	44,87
	747	31,83	26,54	270,84	208,55	263,94	0,70	54,27
	510	37,77	25,58	258,61	193,25	270,18	0,70	55,44
0,7	1104	35,86	42,98	264,11	103,75	269,64	0,70	55,58
	1001	31,16	34,72	274,23	162,95	257,04	0,70	55,59
	262	26,98	40,89	255,08	123,35	264,88	0,70	57,49
	1056	39,21	35,18	260,83	171,35	263,09	0,80	86,72
	1500	39,66	36,77	268,86	123,55	264,93	0,80	121,29
0,8	1121	30,41	34,97	264,99	174,15	258,03	0,80	167,11
	127	37,66	31,79	253,61	142,35	267,28	0,80	192,94
	1265	36,43	32,24	268,48	146,15	255,49	0,80	243,98

Şekil 3.17'de Mach 0,1 için yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu verilmiştir. Yapılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizinde, Mach 0,1 rejiminde mevcut radom geometrisi etrafında gelişen akış alanı incelendiğinde, yüzey kayma gerilimi dağılımı ve akım çizgisi konturları, arka eğimde akış ayrılması meydana geldiğini göstermektedir. Özellikle kayma gerilmesi grafiğinde yaklaşık $x \approx 0.618$ m konumunda yüzey kayma geriliminin sıfıra yaklaşarak negatif değerlere doğru yönelmesi, bu noktada akışın yüzeyden ayrıldığını işaret etmektedir. Akım çizgileri konturlarında ise, ayrılma noktasında akım çizgilerinin yüzeyden saparak ayrıldığı ve radom arka eğim bölgesinde belirgin bir dolaşım bölgesi (recirculation zone) oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, mevcut arka eğim açısının yüksekliği nedeniyle, akışın yüzeye yapışıklığını kaybettiğini ve basınç kaynaklı form direncinin artmasına yol açtığını ortaya koymaktadır.



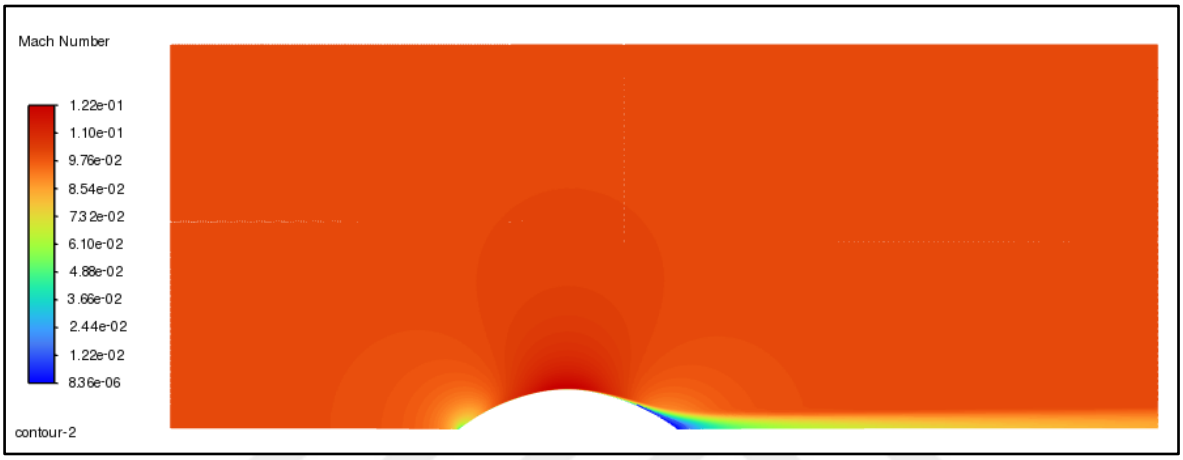
Şekil 3.17. Mach 0,1 için yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu

Şekil 3.18'de Mach 0,1 için statik basınç konturu verilmiştir. Konturda, radom geometrisi etrafında Mach 0,1 koşulunda gelişen akışta burun bölgesinde beklenen maksimum basınç oluşumu (durma noktası) ve sonrasında akış ivmelenmesine bağlı olarak radom üst yüzeyinde basınç düşüşü görülmektedir. Özellikle arka eğimde genişleyen düşük basınç bölgesi, ayrılma sonrası oluşan iz (wake) bölgesini işaret etmekte ve akış yapışıklığının kaybolduğunu göstermektedir. Bu düşük basınçlı alan, ayrılma nedeniyle form direncinin artmasına yol açmıştır.



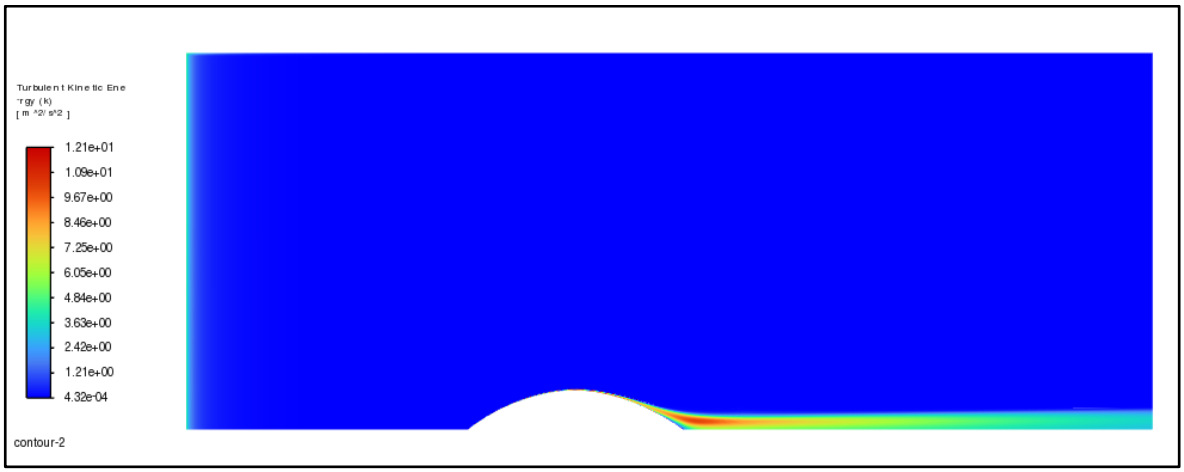
Şekil 3.18. Mach 0,1 için statik basınç konturu

Şekil 3.19'da Mach 0,1 için Mach sayısı konturu verilmiştir. Mach 0,1 koşulunda elde edilen Mach sayısı konturu, radom geometrisi etrafında akışın beklenen şekilde burun bölgesinde yavaşlayarak basınç artışına, ardından tepeye doğru hızlanarak basınç azalmasına sebep olmuştur. Ancak radomun arka eğim bölgesinde, akışın ayrılmasıyla birlikte iz (wake) bölgesinde Mach sayısının serbest akış değerinden önemli ölçüde düşmesi, akışın yüzeyden koparak türbülanslı düşük hızlı alan oluşturduğunu işaret etmektedir.



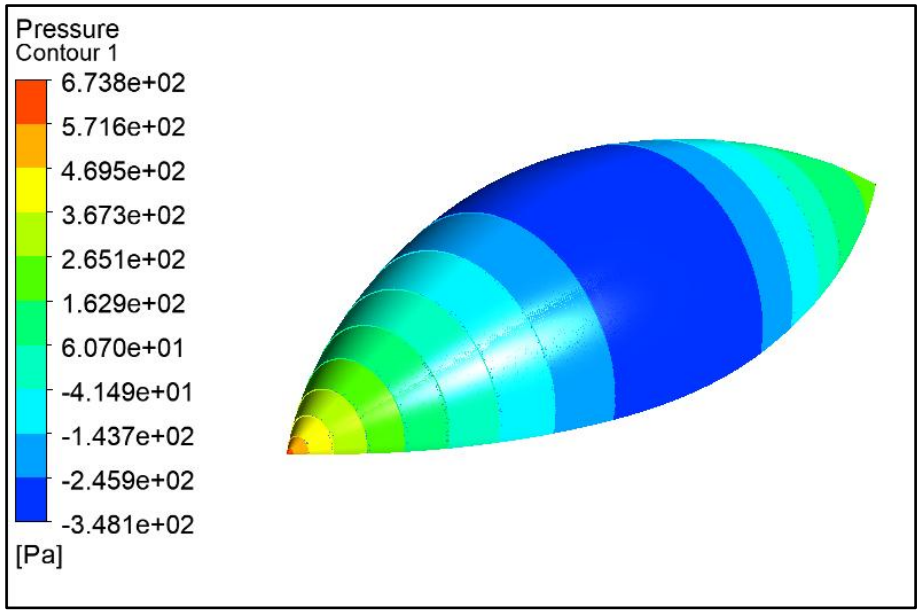
Şekil 3.19. Mach 0,1 için Mach sayısı konturu

Şekil 3.20'de Mach 0,1 için türbülans kinetik enerji konturu verilmiştir. Radom geometrisi etrafında Mach 0,1 akış koşulunda elde edilen TKE konturu, akışın burun ve tepe bölgelerinde düşük türbülans seviyeleriyle düzenli ve yapışık şekilde aktığını, ancak radomun arka eğim bölgesinde belirgin şekilde artan TKE değerleriyle ayrılma sonrası iz bölgesi oluştuğunu net şekilde göstermektedir. Bu yüksek TKE bölgeleri, ayrılmanın enerji kayıplarına ve form direncinin artışına neden olan temel etkenlerinden biridir. Görselde iz bölgesinin tersakım yönüne doğru sürüklenerek yayıldığı ve türbülanslı yapılarla enerji taşınımına yol açtığı görülmektedir.



Şekil 3.20. Mach 0,1 için türbülans kinetik enerji konturu

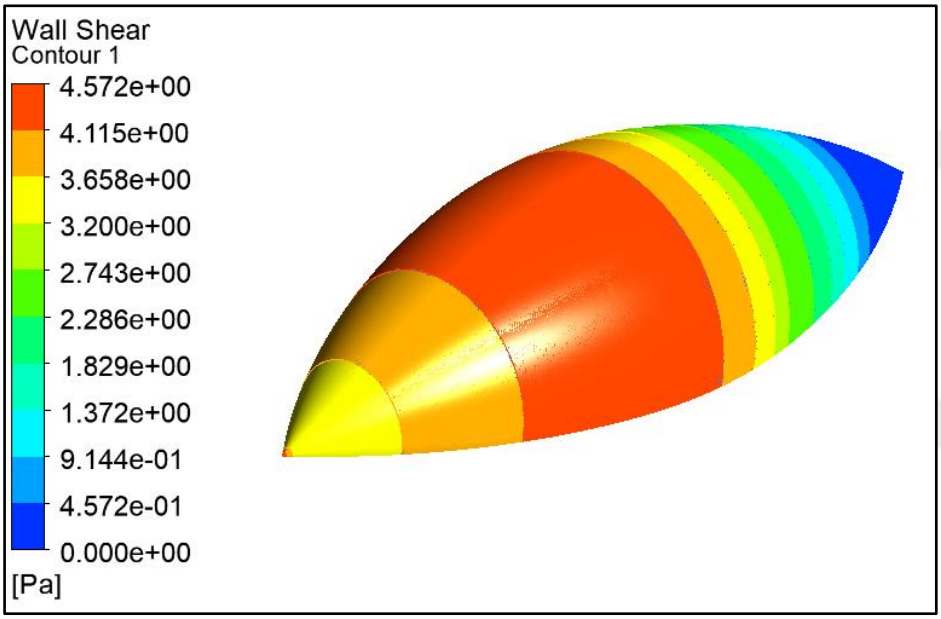
Şekil 3.21'de, Mach 0,1 rejiminde elde edilen basınç konturu, burun bölgesinde akışın durarak yüksek basınç oluşturduğunu ve akışın profil boyunca hızlanarak basınç kaybettiği görülmektedir. Özellikle radomun arka eğim bölgesinde geniş düşük basınç alanı ve yüksek basınç gradyentleri oluşması, akışın ayrılmaya meyilli olduğunu ve iz bölgesinde türbülanslı düşük basınçlı alanların geliştiğini işaret etmektedir. Radom arka eğiminde yüksek basınç gradyenti, akışın yüzeyden ayrılarak form direncini artırmasına neden olur.



Şekil 3.21. Mach 0,1 için radom yüzeyi basınç konturu

Şekil 3.22'de Mach 0,1 için radom yüzey kayma gerilimi konturunda, duvar kayma gerilmelerinin sıfıra eşit olduğu bölgelerde akış ayrılması söz konusu olacağından radom

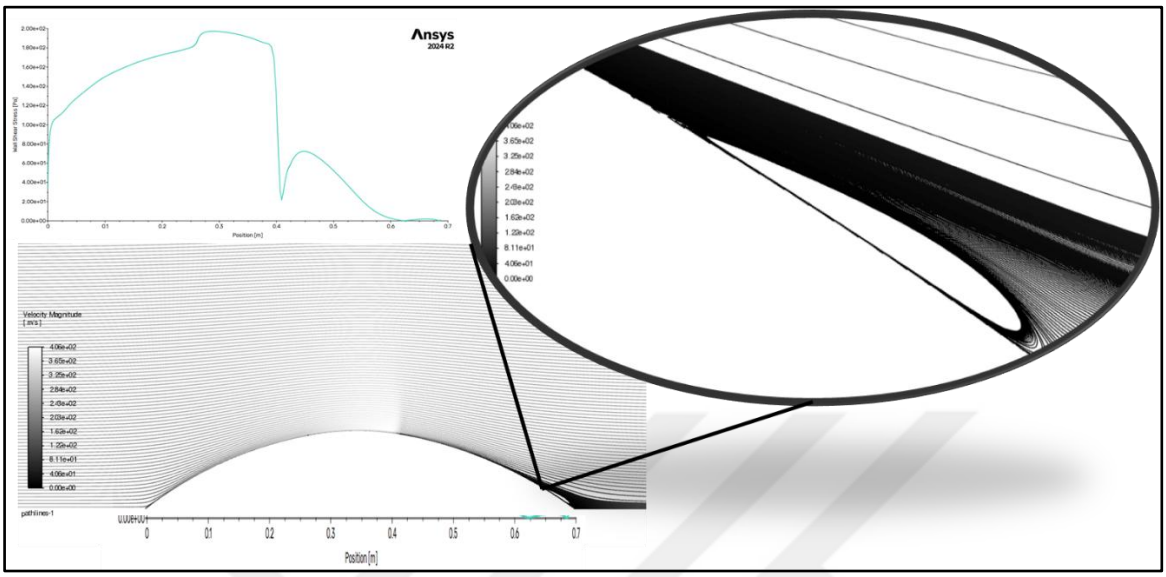
üzerinde kuyruk bölgesinde akış ayrılmaları olması beklenmektedir. Ancak, akış ayrılmaları dış akış problemlerinde beklenilen bir durum olacağından, akış ayrılmasının konumu önem kazanmaktadır. Eğer, akış ayrılmaları kuyruk bölgesinin bitimine yakın olur ise sürükleme kuvveti azalacaktır. Tasarım noktası analizlerinde, akış ayrılmasının bulunduğu bölge (Bkz. Şekil 3.16 (Wall Shear)) kuyruk kısmına oldukça yakın olduğundan dolayı, sürükleme açısından anlamlı bir radom tasarımı meydana gelmiştir. Duvar kayma gerilmesi grafiğinden anlaşılacağı üzere, x≈0,618 m'de akış ayrılmasının başladığı görülmektedir.



Şekil 3.22. Mach 0,1 için radom yüzey kayma gerilimi konturu

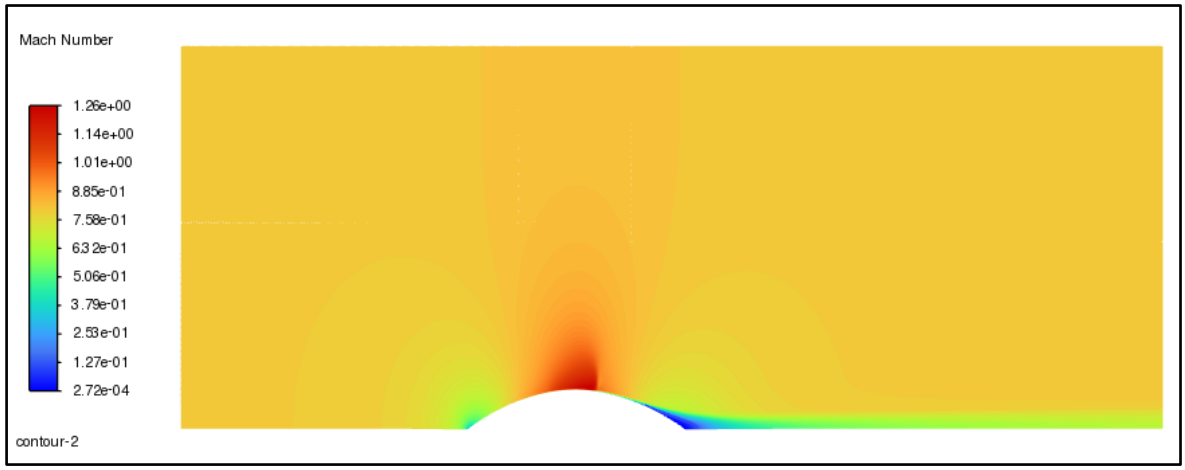
Şekil 3.23'te Mach 0,8 için yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu verilmiştir. Mach 0,8 koşulunda elde edilen yüzey kayma gerilmesi grafiği incelendiğinde, akışın arka eğim bölgesinde iki aşamalı ayrılma davranışı sergilediği görülmektedir. Özellikle x ≈ 0,42 m civarında kayma geriliminin ani şekilde minimuma inerek neredeyse sıfıra yaklaşması, akışın ilk ayrılma girişimini göstermektedir. Ancak, bu noktadan sonra yüzey kayma geriliminde yeniden artış gözlenmesi, akışın geçici olarak yüzeye yeniden yapıştığını göstermektedir. Akışın bu yeniden yapışma eğilimi, x≈0,6 m sonrasında yüzey kayma geriliminin tekrar hızlı şekilde sıfıra inmesiyle kalıcı bir ayrılmaya dönüşmekte ve iz bölgesinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu çift davranışlı ayrılma-yapışma-ayrılma davranışı, yüksek arka eğim açısı ve artan Mach sayısı nedeniyle basınç gradyentinin kritik seviyelere ulaştığını, akışın stabilitesini kaybederek türbülanslı bir ayrılma bölgesi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek hızlı akışlarda arka eğimde meydana gelen bu

tür ayrılma davranışları, form direncini önemli ölçüde artırarak aerodinamik performansı olumsuz yönde etkilemektedir.



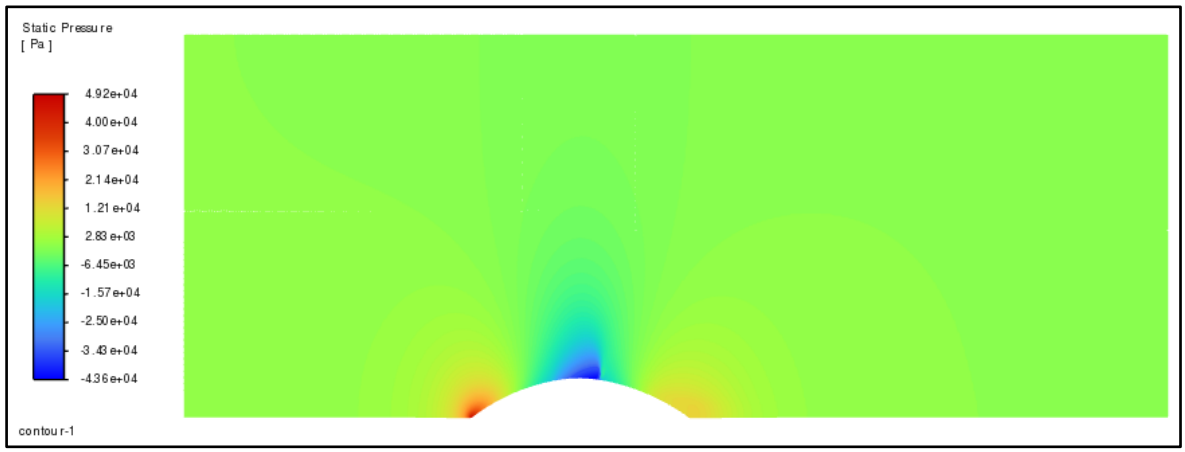
Şekil 3.23. Mach 0,8 için yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu

Şekil 3.24'de Mach 0,8 için Mach sayısı dağılımı konturu verilmiştir. Konturda, radom geometrisi etrafında Mach 0,8 koşulunda gelişen akışta burun bölgesinde akış durarak Mach sayısının minimum seviyeye indiği, bunu takiben akışın radom üst yüzeyine doğru ivmelenmesiyle Mach sayısının hızla arttığı ve yerel Mach 1,2'ye çıkarak supersonik bölgeler oluştuğu gözlemlenmektedir. Radom üst yüzeyinde Mach sayısı yüksek seviyelerde (0,8–1,2 arası) kalırken, arka eğime doğru akış hızında ani düşüşler ve Mach sayısında düzensizlikler gözlenmekte ve bu da ayrılma sonrası iz bölgesinin geliştiğini işaret etmektedir. Özellikle arka eğim bölgesinin hemen arkasında hızın tekrar düşük Mach değerlerine indiği geniş alan, akışın yüzeyden ayrıldığını ve türbülanslı iz bölgesinin oluştuğunu açıkça göstermektedir. Bu durum, yüksek Mach sayısının etkisiyle basınç gradyentinin kuvvetlenerek akış ayrılmasını öne çektiğini, form direncini artırarak aerodinamik performansı olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır.



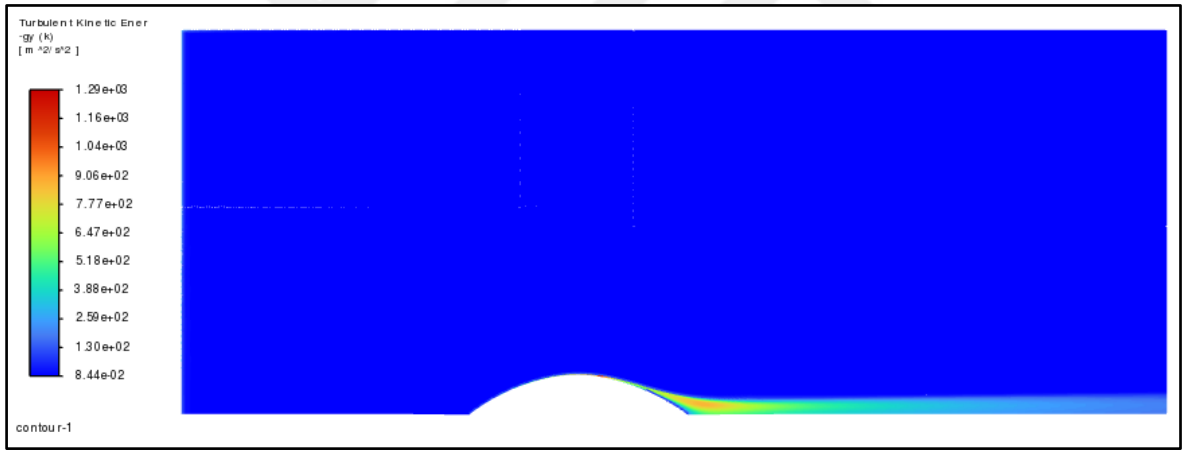
Şekil 3.24. Mach 0,8 için Mach sayısı dağılımı konturu

Şekil 3.25'te Mach 0,8 için statik basınç konturu verilmiştir. Konturda, radom geometrisi etrafında Mach 0,8 koşulunda gelişen akışta burun bölgesinde çok daha belirgin şekilde yükselen maksimum basınç oluşumu (durma noktası) gözlemlenmekte; bu noktada basınç seviyeleri Mach 0,1'e kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Radom üst yüzeyinde, burundan sonraki akış ivmelenmesine bağlı olarak basınç değerlerinde hızlı bir düşüş meydana gelmiş ve geniş bir vakum basınç alanı oluşmuştur. Özellikle arka eğim bölgesinde genişleyen düşük basınç bölgesi, akışın yüzeyden koparak ayrıldığını ve türbülanslı iz bölgesinin geliştiğini göstermektedir. Bu düşük basınçlı alanın radom etrafında Mach 0,1'e göre çok daha belirgin ve yüksek gradyente sahip olması, yüksek Mach sayısında basınç gradyentinin şiddetlenerek ayrılmayı öne çektiğini ve iz bölgesinin büyümesine neden olduğunu göstermektedir. Bu durum, form direncinin belirgin şekilde artmasına yol açarak, aerodinamik performansı önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir.



Şekil 3.25. Mach 0,8 için statik basınç konturu

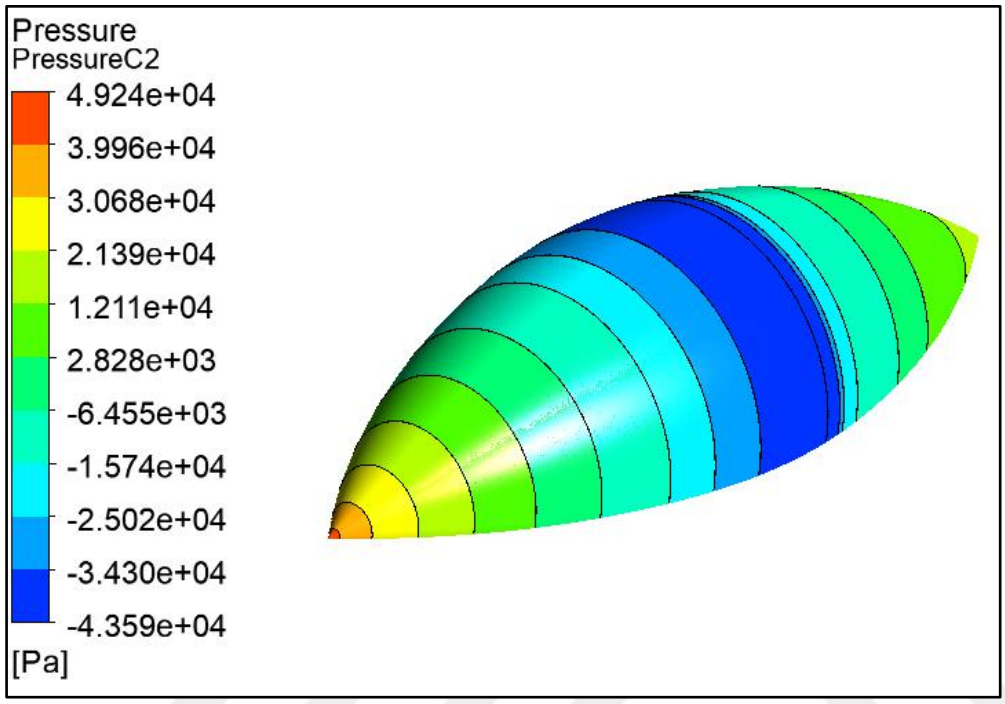
Şekil 3.26'da Mach 0,8 için türbülans kinetik enerji (TKE) konturu verilmiştir. Konturda, radom geometrisi etrafında Mach 0,8 akış koşulunda elde edilen TKE dağılımı, burun ve gövde bölgelerinde düşük türbülans seviyeleriyle akışın düzenli şekilde yüzeye yapışık aktığını, ancak arka eğim bölgesinde belirgin şekilde artan TKE değerleriyle akışın yüzeyden koparak ayrıldığını ve türbülanslı iz bölgesi oluşturduğu görülmektedir. Mach 0,8'de özellikle iz bölgesinde TKE değerlerinin Mach 0,1'e kıyasla daha yüksek seviyelere ulaştığı görülmekte; bu durum, artan hızın basınç gradyentini güçlendirerek ayrılmayı erkene çektiğini ve iz bölgesinde enerji yoğun türbülans yapılarına yol açtığını ortaya koymaktadır. Bu yüksek TKE bölgeleri, ayrılmanın neden olduğu türbülanslı karışım ve enerji kayıplarının, akış stabilitesini bozarak form direncini önemli ölçüde artırdığına işaret etmektedir. Ayrıca iz bölgesinin arka akıma doğru genişleyerek yayıldığı ve türbülanslı yapılarla enerji taşınımına sebep olduğu gözlemlenmekte, bu durum aerodinamik performans üzerindeki olumsuz etkiyi daha da arttırmaktadır.



Şekil 3.26. Mach 0,8 için türbülans kinetik enerji konturu

Şekil 3.27'de Mach 0,8 için basınç konturu verilmiştir. Konturda, radom geometrisi etrafında Mach 0,8 akış koşulunda burun bölgesinde basınç değerlerinin Mach 0,1'e kıyasla artarak yaklaşık 50 000 Pa seviyelerine ulaştığı ve durma noktasında çok yüksek basınç oluştuğu gözlemlenmektedir. Radom üst yüzeyinde akışın burundan ayrılarak hızlanmasıyla birlikte basınçta hızlı bir düşüş yaşanmakta, kontur çizgileri daha sık ve basınç gradyentleri çok daha keskin hale gelmektedir; bu durum, akışın yüksek basınç gradyenti nedeniyle ayrılmaya çok daha erken meyilli hale geldiğini ortaya koymaktadır. Arka eğim bölgesinde genişleyen ve mavi tonlara doğru inen düşük basınç alanları, kalıcı ayrılma sonrası iz bölgesinin geliştiğini ve basınç merkezinin radomun arka kısmına doğru daha erkenden

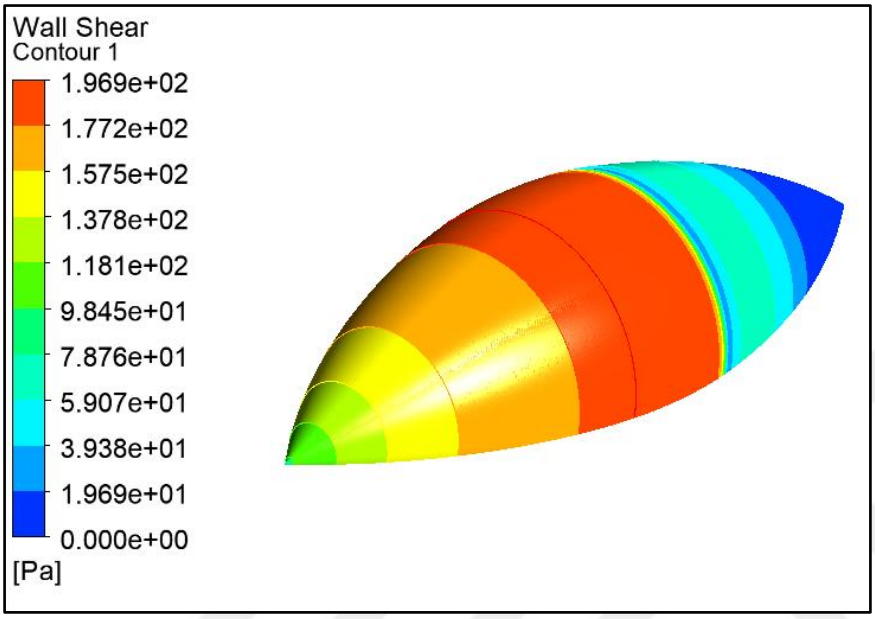
kaydığını göstermektedir. Bu yoğun basınç değişimleri, artan Mach sayısının etkisiyle basınç gradyentini kuvvetlendirmekte, akışın stabilitesini bozmakta ve form direncini belirgin şekilde artırarak aerodinamik performansı olumsuz etkilemektedir.



Şekil 3.27. Mach 0,8 için radom yüzeyi basınç konturu

Şekil 3.28'de Mach 0,8 için radom yüzey kayma gerilimi konturu ile yüzey kayma gerilmesi grafiği ve akım çizgileri konturu birlikte değerlendirilmiştir. Mach 0,8 koşulunda elde edilen çözümde, burun ve orta gövde bölgelerinde kayma gerilimi değerlerinin Mach 0,1'e kıyasla belirgin şekilde arttığı ve yaklaşık 200 Pa seviyelerine kadar ulaştığı gözlemlenmiş, bu durum yüksek hızın yüzey sürtünmesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Akışın arka eğim bölgesinde ise iki aşamalı ayrılma davranışı dikkat çekmektedir; özellikle $x \approx 0{,}42$ m civarında kayma geriliminin ani şekilde minimuma inip neredeyse sıfıra yaklaşması, akışın ilk ayrılma girişimini işaret etmektedir. Ancak bu noktadan sonra yüzey kayma geriliminde yeniden artış gözlenerek akışın geçici olarak yüzeye yapıştığı, fakat $x \approx 0{,}6$ m'den itibaren kayma geriliminin tekrar hızlı şekilde sıfıra inmesiyle kalıcı ayrılmanın gerçekleştiği ve iz bölgesinin oluştuğu anlaşılmaktadır. Konturda bu geniş düşük kayma gerilimi bölgesi, kalıcı ayrılmanın arka eğimde geliştiğini net şekilde göstermekte; ayrıca kayma gerilimi gradyentlerinin keskinleşmesi ve kontur çizgilerinin dar bölgelerde yoğunlaşması, akışın stabilitesini kaybederek türbülanslı yapılar oluşturduğunu ortaya

koymaktadır. Bu çift davranışlı ayrılma-yapışma-ayrılma süreci, yüksek arka eğim açısı ve artan Mach sayısı nedeniyle basınç gradyentinin kritik seviyelere ulaştığını ve bunun sonucunda form direncinin önemli ölçüde artarak radomun aerodinamik performansını olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 3.28. Mach 0,8 için radom yüzey kayma gerilimi konturu

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında, insansız hava araçlarında kullanılan radom geometrilerinin aerodinamik performansı, Mach 0,1 ve Mach 0,8 koşullarında hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleriyle parametrik olarak olarak incelenmiştir. Yapılan analizlerde, radomun burun ve kuyruk açıları, ve farklı uzunlukları arasındaki ilişkinin Mach sayısı arasındaki etkileşim, akış ayrılması, iz oluşumu ve sürükleme kuvveti üzerine etkileri ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, radom geometrisinin akış yapışıklığını ve form direncini doğrudan etkilediğini; doğru optimize edilmiş burun ve kuyruk açılarıyla sürüklemenin minimize edilerek aerodinamik performansın artırılabileceğini göstermektedir. Çalışmada elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

1. 2B eksenel simetrik modeller ile elde edilen sonuçlar, 3B simülasyonlar ile yüksek oranda uyum göstermiş; bu durum, tasarım sürecinde hesaplama maliyetini düşürmek adına 2 boyutlu çözümlerin yeterli olabileceğini göstermiştir.

2. Mach 0,1 rejiminde, akışın burun ve gövde bölgelerinde yüzeye yapışık kaldığı, ancak kuyruk kısmına yakın bölgelerde kayma geriliminin sıfıra inerek akış ayrılmasının başladığı ve bu ayrılmanın sürükleme performansını doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir.

3. Mach 0,8 rejiminde, artan hızın etkisiyle basınç gradyentinin şiddetlendiği, ayrılmanın MAch 0,1'e göre daha erkene kaydığı ve iz bölgesinin daha geniş hale gelerek radom etrafında basınç merkezinin geriye kaymasına neden olduğu ortaya konmuştur.

4. Türbülans kinetik enerji konturlarında, Mach 0,8 koşulunda Mach 0,1'e göre çok daha yüksek TKE değerleri ölçülmüş; ayrılma bölgelerinde enerji yoğun türbülans yapılarının oluştuğu ve bu yapıların akış kararlılığını bozarak form direncini artırdığı belirlenmiştir.

5. Statik basınç konturlarında, burun bölgesinde yüksek basınç (durma noktası) ve profil boyunca akış ivmelenmesine bağlı basınç düşüşü net şekilde gözlenmiş; arka eğimde genişleyen düşük basınç alanlarının kalıcı iz oluşumuna işaret ettiği ve ayrılma sonrası

basınç merkezinin geriye kayarak aerodinamik performansı olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

6. Parametrik analizler sonucunda, α_{LE} ve α_{TE} açıları optimize edildiğinde akışın neredeyse kuyruk bitimine kadar yüzeye yapışık kalması sağlanmış ve sürükleme katsayısında önemli düşüşler elde edilmiştir; bu da tasarlanan radom geometrisinin aerodinamik verimliliğinin artırılabileceğini ortaya koymuştur.

4.2. Öneriler

İlerleyen çalışmalarda, optimum radom geometrisi için elde edilen sayısal sonuçlar rüzgâr tüneli deneyleri ile doğrulanarak analizlerin deneysel olarak desteklenmesi önerilmektedir. Ayrıca, farklı frekans bantlarında çalışan radar sistemlerine uyumlu elektromanyetik geçirgenlik analizi gerçekleştirilerek radom geometrisinin elektromanyetik performans ile aerodinamik performans arasındaki optimizasyon potansiyeli araştırılabilir. Yüksek Mach sayılarında (Mach >0.8) ve transonik-süpersonik rejimlerde radom geometrisinin şok dalgası oluşumuna etkisi de detaylı olarak incelenebilir. Son olarak, modern metamalzeme tabanlı dielektrik katmanlar kullanılarak hem mekanik dayanım hem de düşük elektromanyetik kayıplı radom tasarımlarının geliştirilmesi, İHA'larda hem radar performansı hem de aerodinamik verimlilik açısından ileri düzey kazanımlar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

1. Shankar, M.R., Niranjanappa, A.C., and Dattaguru, B. (2020). Aerodynamic Optimization of Airborne Radome for Maritime Patrol Radar. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(3), 956–962.

2. Whalen, E., Gampala, G., Hunter, K., Mishra, S., and Reddy, C.J. (2018). Aircraft Radome Characterization via Multiphysics Simulation. *AMTA Proceedings*, 1–4.

3. Chandra, M.P., Ayaz, M.A., Goud, P.N., and Sateesh, N. (2022). Modelling and analysis of aircraft radome using different materials. *Materials Today: Proceedings*, 62, 4492–4497.

4. İnternet: Giragosian, P., and Loos, S.L. (1990). *Aerodynamic design considerations for aircraft radomes*, URL: https://api.semanticscholar.org/CorpusID:112930936. Son Erişim Tarihi: 20.06.2025.

5. Russo, R.M.O., Colasante, A., Bellaveglia, G., Maggio, F., Marcellini, L., Scialino, L., Rolo, L., and Angevain, J.C. (2012). *State-of-the-art materials for KU and KA band mobile satellite antenna radomes*. in Telecommunications Ground Segments Workshop, 3-5 October, Noordwijk, Netherlands.

6. Sandeep, C.S., Prasad, U.S., Suresh, R., Rathan, A., Sravanthi, G., and Govardhan, D. (2017). Design and analysis of submarine radome. *AIP Conference Proceedings*, 1859, 020025.

7. Shankar, M.R., Niranjanappa, A.C., and Dattaguru, B. (2021). Aerodynamic and Structural Optimisation of Maritime Patrol Radar System Radome using Evolutionary Algorithms. *Defence Science Journal,* 71(4), 421-428.

8. Kim, C. (2010). Computational Elements for High-fidelity Aerodynamic Analysis and Design Optimisation. *Defence Science Journal.*, 60, 628–638.

9. Launder, B. E., and Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269–289.

10. Xu, K,M., Hu, Y., and Tang, Y.E. (2011). Numerical simulation of radome with fluid-structure interaction. *Engineering Plasticity and Its Applications*, 66–70.

11. Mäkinen, R.A.E., Periaux, J., and Toivanen, J. (1999). Multidisciplinary shape optimization in aerodynamics and electromagnetics using genetic algorithms. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 30(2), 149–159.

12. Mendoza, A.S. and Hale, R. (2020). *Effects of Radome Design on Antenna Performance in Transonic Flight Conditions*. in AIAA Scitech 2020 Forum, 6-10 January, Orlando, USA.

13. Liu, J., Li, L., Zuo, Y., Chen, H., and Ni, S. (2019). Analysis of performance degradation introduced by radome for high-precision GNSS antenna. *International Journal of Antennas and Propagation,* 1, 1529656.

14. Heydari, M.S., Ghezavati, J., Abbasgholipour, M., and Alasti, B.M. (2017). Various types of ceramics used in radome: A review. *Scientia Iranica.*, 24(3), 1136–1147.

15. Nag, A., Rao, R.R., and Panda, P.K. (2021). High temperature ceramic radomes (HTCR) – A review. *Ceramics International*, 47(15), 20793–20806.

16. Uzun, A., and Malik, M.R. (2019). Wall-resolved large-eddy simulations of transonic shock-induced flow separation. *AIAA Journal*, 57(5), 1955-1972.

17. Vitale, J.A. (1964). Large Radomes. In Hansen R.C. (Ed.), *Microwave Scanning Antennas*. New York: Academic Press, 339-417.

18. Skolnik, M.I. (2008). *Radar Handbook* (Third Edition). New York: McGraw-Hill Education, 41-87.

19. Gan, W., Xiang, J., Zhang, Q., and Bie, D. (2017). *Low drag design of radome for unmanned aerial vehicle*. In IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), 27-29 October, Beijing, China.

20. Ansys. (2021). *Ansys Fluent User's Guide*. Canonsburg: PA.

21. Lodh, B.K., Das, A.K., and Singh, N. (2017). Investigation of Turbulence for Wind Flow over a Surface Mounted Cube using Wall Y+ Approach. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(8), 1–11.

22. Davidson, A.A., and Salim, S.M. (2020). CFD Modelling of Rotating Annular Flow Using Wally+, *Transactions on Engineering Technologies*, 318–330.

23. Ko, A., Chang, K., Sheen, D.J., Lee, C.H., Park, Y., and Park, S.W. (2020). Prediction and Analysis of the Aerodynamic Characteristics of a Spinning Projectile Based on Computational Fluid Dynamics. *International Journal of Aerospace Engineering*, 2020(1), 6043721.

24. Guo, S., Wang, Z., and Zhao, Y. (2015). Design of a continuously variable Mach-number nozzle. *Journal of Central South University*, 22(2), 522–528.

EKLER

EK-1. Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti tablosu

#	P1 - alfaTE (degree)	P2 - alfaLE (degree)	P3 - X3 (mm)	P4 - X2 (mm)	P5 - X1 (mm)	P6 - Ma	P7 - Fd (N)
616	36,23	37,69	264,53	161,35	261,24	0,1	1,55
85	44,64	30,93	260,68	139,75	260,88	0,1	1,67
826	37,06	30,84	254,01	193,95	259,71	0,1	1,58
904	39,58	31,29	261,01	162,35	253,34	0,1	1,63
963	31,19	29,33	260,06	188,65	266,61	0,1	1,58
1109	38,94	30,41	271,41	160,45	262,43	0,1	1,65
709	33,26	34,09	255,73	162,75	270,94	0,1	1,62
961	36,41	35,86	255,91	121,85	266,34	0,11	1,63
1028	33,89	36,04	265,66	116,15	267,84	0,11	1,62
534	27,33	39,49	259,44	170,95	262,69	0,11	1,64
998	27,61	32,91	265,43	188,95	258,98	0,11	1,65
1171	36,28	32,03	262,33	236,95	262,54	0,11	1,82
495	36,21	39,19	273,01	168,45	266,58	0,11	1,81
2	36,84	32,56	269,78	198,15	254,68	0,11	1,82
220	29,88	35,81	261,08	187,85	253,86	0,11	1,78
1488	41,83	29,51	258,16	182,75	269,81	0,11	1,96
340	34,81	30,29	260,74	214,55	254,51	0,11	1,88
366	35,78	44,04	257,39	117,85	265,21	0,11	1,88
1030	27,54	40,29	267,34	206,65	259,44	0,11	1,9
108	35,93	38,01	252,74	213,35	257,93	0,11	1,99
1048	40,34	38,89	268,29	114,35	262,66	0,12	2,01
972	34,66	37,94	258,84	155,15	251,74	0,12	1,95
221	32,66	27,58	268,58	177,95	258,31	0,12	2
13	30,44	45,36	264,43	137,75	257,89	0,12	2,01
347	38,31	36,38	258,53	119,25	254,79	0,12	2,1
253	31,36	29,93	267,61	175,05	270,04	0,12	2,1
1404	29,09	38,48	253,89	199,75	262,73	0,12	2,16
96	42,29	27,71	266,53	138,85	265,58	0,12	2,31
906	42,41	27,14	256,78	178,15	261,34	0,12	2,36
159	26,63	33,93	262,41	147,85	266,28	0,13	2,19
336	32,68	39,88	254,86	117,35	259,19	0,13	2,22
847	37,98	34,69	261,58	180,15	274,06	0,13	2,4
563	40,96	37,54	265,68	145,55	251,63	0,13	2,43
186	37,14	29,13	262,49	139,55	271,28	0,13	2,33
1462	30,43	40,74	261,71	112,15	262,84	0,13	2,29
493	39,03	40,63	262,04	112,75	270,34	0,13	2,46
357	35,84	36,49	251,86	213,45	266,36	0,13	2,54
1385	32,74	37,41	267,83	114,65	255,41	0,13	2,36
892	30,94	34,26	256,99	235,15	260,26	0,13	2,53
358	32,16	32,11	268,43	114,15	262,18	0,13	2,43

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti tablosu

1069	33,69	41,01	272,23	157,75	254,81	0,14	2,56
827	33,24	38,38	270,51	197,55	272,36	0,14	2,68
289	34,96	31,63	270,93	142,65	270,81	0,14	2,6
623	32,79	26,34	260,84	161,95	257,81	0,14	2,59
553	30,69	40,39	267,74	191,25	252,11	0,14	2,71
95	28,83	32,36	253,43	152,35	261,93	0,14	2,63
724	28,44	41,66	260,18	173,15	271,86	0,14	2,73
1119	35,89	28,91	264,71	122,45	255,71	0,14	2,69
657	35,09	32,31	272,61	140,95	256,46	0,14	2,73
39	33,14	36,73	261,29	244,95	267,08	0,14	2,95
176	34,61	33,04	259,63	104,75	260,33	0,14	2,74
396	28,38	40,19	270,24	135,35	265,86	0,14	2,79
1252	34,13	35,36	256,81	215,45	272,94	0,15	3
797	38,58	39,93	252,38	173,25	253,36	0,15	3,02
142	33,13	34,19	266,79	241,15	257,06	0,15	3,08
1266	44,86	36,34	257,94	110,65	262,49	0,15	3,22
886	26,28	40,88	268,24	158,35	258,96	0,15	2,93
431	31,01	40,94	253,93	187,25	271,68	0,15	3,06
1041	29,76	31,43	257,09	149,45	253,63	0,15	2,94
139	29,24	28,96	260,43	128,55	262,34	0,15	2,95
272	44,53	31,16	261,44	121,35	269,39	0,15	3,29
243	27,89	35,09	269,14	223,45	265,74	0,15	3,12
75	26,91	45,24	264,09	144,85	266,51	0,15	3,04
962	34,19	38,24	250,56	162,85	265,49	0,15	3,13
356	34,26	26,29	266,09	209,35	266,94	0,15	3,2
745	31,78	34,81	274,38	175,65	259,53	0,15	3,21
155	38,83	25,49	264,46	197,35	257,69	0,16	3,4
54	40,24	37,11	251,29	139,15	257,51	0,16	3,4
845	37,29	25,36	260,98	166,35	265,23	0,16	3,41
543	41,11	28,19	253,76	130,85	262,11	0,16	3,56
6	43,13	34,23	251,73	134,25	265,88	0,16	3,71
426	36,54	26,41	262,44	120,55	263,39	0,16	3,47
267	43,11	29,54	254,34	171,55	253,79	0,16	3,8
1130	33,21	27,81	252,78	183,85	265,51	0,16	3,56
348	34,89	44,21	259,73	126,05	252,04	0,17	3,6
1163	26,96	37,24	264,38	148,55	253,24	0,17	3,55
1024	34,73	38,19	264,13	146,95	274,84	0,17	3,77
682	26,09	40,04	261,84	225,05	265,24	0,17	3,86
255	27,41	42,64	253,49	151,95	260,16	0,17	3,74
551	36,89	33,43	256,41	191,75	250,56	0,17	3,92
182	26,61	33,89	260,13	216,95	268,69	0,17	3,86
1218	32,43	30,51	266,03	172,65	251,29	0,17	3,82
1420	35,31	25,78	257,73	221,45	262,76	0,17	4,03

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1489	25,98	37,09	257,98	138,55	257,44	0,17	3,85
32	41,16	33,11	273,78	149,95	268,28	0,18	4,29
161	29,78	28,86	253,51	192,45	257,76	0,18	4,01
1318	33,34	44,71	251,99	155,95	255,26	0,18	4,13
1255	30,79	28,54	272,73	183,45	264,54	0,18	4,14
466	30,74	41,93	259,59	120,05	271,66	0,18	4,19
141	32,84	35,53	273,24	227,35	262,09	0,18	4,49
762	33,59	34,03	250,49	167,15	257,09	0,18	4,3
833	25,96	31,01	265,96	142,25	259,06	0,18	4,21
1026	25,61	37,89	259,79	213,75	257,23	0,18	4,37
605	39,59	27,16	268,84	172,55	271,59	0,18	4,59
878	28,93	34,18	257,24	123,45	270,74	0,19	4,37
1359	32,33	34,34	265,04	211,95	274,38	0,19	4,66
613	37,83	30,79	253,24	118,75	256,73	0,19	4,49
1037	38,93	25,39	267,64	151,35	257,64	0,19	4,61
915	38,08	30,21	252,06	187,15	271,03	0,19	4,79
815	27,86	39,06	266,33	150,05	272,91	0,19	4,6
232	28,28	40,34	255,01	179,85	252,41	0,19	4,65
1338	37,04	27,08	259,39	217,85	271,26	0,19	4,96
874	36,11	38,31	273,51	115,35	261,14	0,19	4,81
1100	32,64	42,61	267,71	113,65	271,24	0,2	4,88
225	36,38	29,36	271,78	232,55	266,38	0,2	5,27
999	39,11	34,13	271,11	160,05	250,78	0,2	5,15
463	35,98	26,94	267,49	234,35	259,86	0,2	5,26
256	29,21	26,81	264,26	218,85	258,81	0,2	5,07
18	35,73	27,13	253,91	164,85	254,46	0,2	5,12
593	29,86	31,19	263,84	139,65	273,56	0,2	5,09
894	31,34	30,86	255,19	237,15	267,98	0,2	5,39
566	41,98	29,53	273,79	182,05	256,44	0,21	5,8
991	28,68	34,39	273,14	167,85	270,03	0,21	5,37
1421	26,86	39,09	253,88	138,65	267,51	0,21	5,35
1200	25,49	33,09	256,49	171,15	268,44	0,21	5,38
409	30,01	29,83	258,31	186,75	273,64	0,21	5,51
639	42,81	31,26	260,71	118,55	252,31	0,21	5,79
1015	42,08	36,21	264,84	125,55	274,33	0,21	5,97
864	32,94	27,78	254,56	137,15	270,09	0,21	5,59
555	42,68	40,81	260,39	100,15	256,93	0,21	5,99
1391	41,26	33,48	267,13	102,55	256,29	0,21	5,88
72	27,91	45,63	258,23	149,55	253,74	0,22	5,73
148	35,11	42,88	265,49	101,75	256,58	0,22	5,76
925	39,71	32,26	266,26	100,05	264,49	0,22	5,91
1098	33,81	40,08	252,86	134,65	272,74	0,22	5,9
849	45,03	28,69	263,61	108,65	260,83	0,22	6,32

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1478	25,69	29,73	266,13	189,75	263,88	0,22	5,89
114	38,03	33,76	256,93	132,25	274,43	0,22	6,1
318	34,33	31,08	272,98	205,55	271,61	0,22	6,26
696	42,44	39,86	255,81	108,45	271,01	0,22	6,4
354	27,51	29,06	265,71	220,45	269,18	0,22	6,11
211	25,43	45,23	258,06	163,75	264,56	0,22	6,14
1136	30,63	35,39	253,08	208,65	252,56	0,22	6,25
297	27,24	26,11	258,11	172,05	261,63	0,22	6,11
632	33,71	37,34	274,81	140,75	268,23	0,22	6,3
1487	29,66	33,23	250,93	197,25	267,63	0,23	6,36
619	25,36	34,43	255,23	181,45	257,96	0,23	6,27
1088	38,54	26,48	252,53	151,65	267,29	0,23	6,51
363	30,23	26,83	269,26	133,45	266,86	0,23	6,29
799	34,24	29,79	264,56	245,85	267,93	0,23	6,88
299	36,73	29,58	257,13	106,45	268,14	0,23	6,45
153	34,39	33,28	250,19	127,45	263,03	0,23	6,47
135	26,14	35,91	263,48	112,85	263,51	0,23	6,43
275	36,83	30,63	266,58	107,85	271,34	0,23	6,63
647	32,44	36,98	251,31	129,55	254,63	0,23	6,6
294	39,18	41,54	251,88	108,75	261,78	0,24	7,12
1430	28,94	25,98	260,56	148,65	268,26	0,24	6,87
859	26,88	33,41	271,71	130,35	264,13	0,24	6,86
128	29,34	28,59	256,74	228,95	256,51	0,24	7,14
1350	27,46	40,99	272,14	126,15	258,99	0,24	6,96
744	31,23	28,29	273,38	143,25	260,84	0,24	7,03
10	34,94	35,16	272,71	235,85	254,58	0,24	7,77
1107	28,78	38,76	267,26	235,75	253,71	0,25	7,64
1363	29,48	30,13	254,89	116,55	257,21	0,25	7,25
1354	35,51	29,38	258,93	134,05	250,84	0,25	7,39
648	32,08	29,28	268,81	217,05	252,08	0,25	7,66
1417	28,71	29,66	272,56	209,25	258,36	0,25	7,61
322	34,43	34,88	265,24	127,85	250,14	0,25	7,5
913	25,24	43,09	270,61	168,35	266,01	0,25	7,64
862	36,58	38,99	251,41	190,75	273,39	0,25	8,11
810	25,48	33,99	271,76	172,95	258,71	0,25	7,59
332	26,56	40,46	254,33	224,05	266,79	0,25	8
1299	38,88	26,99	254,71	216,85	254,19	0,25	8,25
1133	32,01	44,84	254,59	113,75	255,94	0,26	7,79
224	27,56	33,73	264,34	244,65	260,38	0,26	8,19
26	37,99	26,44	258,48	177,15	273,69	0,26	8,35
36	27,93	31,41	269,08	140,05	252,73	0,26	7,91
1211	25,93	29,64	257,61	213,25	263,13	0,26	8,15
430	32,89	37,64	261,91	211,05	250,11	0,26	8,46

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

136	30,54	35,11	259,93	246,65	253,83	0,26	8,56
1448	28,29	37,43	262,61	105,25	256,03	0,26	8,05
213	42,09	28,06	250,43	180,75	259,04	0,26	8,8
750	37,79	28,68	273,39	122,55	265,91	0,26	8,31
132	26,26	31,31	264,29	205,65	253,41	0,26	8,33
1302	36,13	43,13	266,66	133,05	250,19	0,26	8,53
285	30,14	30,09	263,91	108,55	254,36	0,27	8,28
1356	43,76	28,81	256,39	109,55	257,48	0,27	8,95
1032	37,76	26,23	263,14	183,05	251,09	0,27	8,84
1129	28,51	29,01	258,73	189,05	251,56	0,27	8,57
638	32,86	36,16	273,58	135,45	252,68	0,27	8,61
522	38,23	36,33	250,46	127,55	269,83	0,27	8,98
395	25,89	43,56	261,68	186,05	253,01	0,27	8,88
1111	30,81	33,34	273,23	179,75	252,16	0,27	8,91
1467	34,41	31,54	251,74	231,15	255,61	0,27	9,34
1258	33,23	25,24	254,66	136,05	261,79	0,27	8,89
1249	28,84	36,31	254,51	105,65	262,86	0,28	8,92
1446	43,18	31,69	254,44	111,75	270,14	0,28	9,6
97	27,76	37,04	253,53	236,25	258,89	0,28	9,42
607	25,56	43,81	263,68	124,15	257,18	0,28	9
1228	36,46	34,54	272,43	171,05	274,58	0,28	9,64
842	39,98	26,38	267,98	226,75	254,84	0,28	9,99
1475	34,04	36,48	270,54	102,25	268,66	0,28	9,17
1374	27,06	37,68	259,51	196,35	274,03	0,28	9,51
1003	30,38	32,38	250,28	151,45	268,91	0,28	9,3
1382	40,38	25,09	259,03	145,45	254,93	0,28	9,74
1178	39,39	43,54	254,78	118,05	252,21	0,28	9,85
883	44,26	26,61	268,44	133,35	255,11	0,29	10,34
205	41,66	31,71	274,24	126,35	256,81	0,29	10,12
477	39,34	38,58	270,88	109,75	253,18	0,29	9,91
119	27,38	45,76	269,09	115,65	262,96	0,29	9,64
462	33,96	28,93	265,83	176,55	274,79	0,29	9,96
235	40,14	25,74	252,33	209,15	264,89	0,29	10,56
872	40,08	25,83	259,41	134,35	272,06	0,29	10,37
1220	30,66	28,61	263,56	106,75	268,94	0,29	9,98
1202	32,13	43,39	252,58	110,85	267,44	0,29	10,14
5	28,56	26,78	262,03	147,05	253,03	0,29	10,02
907	30,51	39,91	257,53	130,75	250,33	0,3	10,28
670	28,24	25,29	265,93	158,25	261,98	0,3	10,26
982	27,88	41,33	271,19	157,45	252,14	0,3	10,43
1172	42,18	25,41	272,31	151,15	262,88	0,3	11,14
367	28,46	38,83	255,14	159,45	274,21	0,3	10,58
325	27,43	37,28	266,76	109,85	270,06	0,3	10,39

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1331	35,74	25,14	271,09	195,55	265,61	0,3	10,9
401	40,81	32,43	252,56	157,85	250,83	0,3	11,19
197	35,04	30,91	271,56	103,05	259,63	0,3	10,58
223	25,71	37,01	268,49	200,15	272,01	0,3	11
1275	33,56	25,59	269,11	131,15	256,16	0,3	10,69
801	36,19	30,06	274,34	229,75	259,88	0,31	11,76
1149	36,94	27,26	272,16	174,55	252,58	0,31	11,3
868	25,76	36,61	267,63	186,85	252,23	0,31	11,1
1459	36,33	27,84	258,79	105,15	256,74	0,31	11,11
1442	34,11	29,23	261,63	231,55	251,24	0,31	11,72
1416	43,56	31,36	270,83	107,95	269,34	0,31	12,05
44	27,66	43,83	262,46	105,35	266,53	0,31	11,25
1451	27,74	36,63	274,53	191,85	264,69	0,31	11,7
286	31,93	26,53	253,26	223,65	263,23	0,31	11,8
353	32,21	34,01	250,11	225,35	263,16	0,32	12,11
1005	45,73	38,04	258,39	117,55	251,54	0,32	12,98
1464	37,23	36,71	257,88	100,35	263,24	0,32	11,88
756	39,69	25,01	267,33	130,95	269,03	0,32	12,14
1438	32,96	36,08	274,21	223,05	270,79	0,32	12,76
388	36,53	37,58	259,14	101,25	251,99	0,32	11,93
204	29,36	30,48	255,11	108,05	267,03	0,32	11,97
330	28,18	31,68	270,73	238,95	265,11	0,32	12,49
686	41,29	38,09	274,94	124,55	267,71	0,33	13,09
587	26,04	42,83	254,99	120,75	262,74	0,33	12,33
1019	30,13	38,53	252,24	217,75	272,41	0,33	13,07
250	27,39	26,59	264,58	177,45	271,19	0,33	12,48
1491	28,61	35,58	271,16	109,05	257,61	0,33	12,41
994	33,19	25,18	260,94	206,05	256,38	0,33	12,88
192	28,34	28,23	271,96	184,35	269,96	0,33	12,72
400	43,49	30,59	263,46	112,35	273,28	0,33	13,7
772	29,91	25,79	257,36	203,15	270,29	0,33	12,99
369	27,23	38,11	250,34	157,95	262,68	0,33	12,91
71	37,41	28,16	274,61	172,25	260,56	0,34	13,6
1288	29,19	41,46	267,76	116,95	252,01	0,34	12,99
717	32,26	29,34	273,41	138,45	270,68	0,34	13,18
1444	28,88	26,74	269,61	170,75	254,01	0,34	13,33
327	26,48	27,69	254,04	163,85	266,91	0,34	13,53
1401	25,19	31,28	265,58	133,95	268,61	0,35	13,58
86	28,36	37,83	274,13	131,45	268,96	0,35	13,61
808	43,43	30,69	266,99	147,55	250,03	0,35	14,86
957	30,28	32,78	254,64	136,85	251,19	0,35	13,69
642	29,11	30,99	267,91	229,35	272,86	0,35	14,42
298	28,43	32,94	268,69	148,75	274,53	0,35	14,03

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1465	44,13	30,18	250,31	140,45	265,03	0,35	15,33
706	30,56	29,89	259,94	238,05	272,23	0,35	14,78
1481	43,74	40,14	250,63	119,45	257,63	0,35	15,44
766	30,26	28,53	261,89	101,45	261,49	0,35	14,21
1297	29,79	25,96	261,59	233,95	264,39	0,35	14,65
147	31,14	29,98	255,88	150,25	274,56	0,36	14,39
668	29,53	37,13	273,96	222,25	255,53	0,36	15,06
203	26,66	41,58	258,66	123,85	272,39	0,36	14,44
861	40,49	38,74	269,38	107,45	273,48	0,36	15,27
664	31,51	35,21	260,79	110,55	273,86	0,36	14,45
1353	38,99	27,79	271,61	202,15	273,14	0,36	15,74
684	28,04	26,14	269,46	211,55	263,96	0,36	14,81
763	30,96	26,01	253,11	157,15	255,84	0,36	14,68
902	40,63	33,64	252,89	110,95	253,81	0,36	15,45
77	33,79	29,11	252,34	201,65	273,03	0,36	15,51
508	35,14	43,04	250,18	139,25	254,11	0,37	15,48
1161	25,46	29,63	259,49	132,35	257,98	0,37	15,28
653	27,09	37,03	257,91	192,25	250,59	0,37	15,41
926	42,49	25,04	254,36	164,05	263,71	0,37	16,39
661	34,78	38,91	274,98	179,65	253,68	0,37	16,11
314	40,11	30,53	270,04	208,35	250,26	0,37	16,8
1262	35,38	36,86	251,68	171,45	250,46	0,37	15,91
12	27,78	44,56	271,01	128,85	270,11	0,37	15,61
1260	39,49	30,39	251,98	156,15	273,68	0,37	16,46
441	31,24	48,11	261,76	121,05	253,31	0,38	15,96
1070	47,44	36,43	262,79	100,55	258,38	0,38	18,27
1429	40,51	30,71	274,39	152,75	271,91	0,38	17,15
1108	25,59	35,29	260,73	147,65	251,89	0,38	16,03
1369	28,53	29,88	251,44	130,15	261,26	0,38	16,19
276	37,56	30,98	269,33	106,05	252,79	0,38	16,27
703	27,98	37,36	254,13	110,35	255,83	0,38	16,25
694	45,69	28,03	269,21	110,25	261,71	0,38	18,03
241	33,01	41,89	274,33	118,45	256,01	0,38	16,53
1063	32,56	28,44	253,31	199,45	251,98	0,38	16,81
121	35,96	28,73	269,56	243,65	270,59	0,38	18,04
1099	25,33	34,78	261,36	160,25	272,68	0,39	16,78
1434	38,04	27,23	258,91	247,35	258,93	0,39	18,29
636	36,09	31,06	250,06	180,05	264,33	0,39	17,44
629	25,28	33,13	255,24	210,95	269,76	0,39	17,39
1384	44,09	26,19	261,38	160,95	273,29	0,39	18,92
1196	26,81	27,63	268,51	126,95	259,64	0,39	17,11
288	39,68	25,68	265,36	111,95	258,83	0,39	17,79
733	34,56	26,21	273,13	201,75	257,14	0,39	18

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

51	26,53	35,44	263,23	246,35	266,43	0,4	18,42
987	26,01	41,13	252,71	158,85	255,31	0,4	17,8
1456	31,49	37,26	254,19	105,05	270,53	0,4	17,79
557	25,18	39,94	272,03	151,25	260,79	0,4	18,07
15	27,69	29,94	267,41	237,25	256,41	0,4	18,62
911	28,21	29,69	250,69	197,95	260,03	0,4	18,32
560	33,48	26,31	268,54	241,55	261,16	0,4	19,22
870	37,18	39,43	261,46	109,25	274,51	0,4	18,8
986	25,86	41,31	251,83	186,15	268,41	0,41	18,77
1251	35,61	26,84	266,23	141,25	250,69	0,41	18,55
1257	36,26	25,23	265,09	208,05	272,78	0,41	19,42
805	26,21	32,84	252,18	165,15	254,09	0,41	18,63
1170	34,88	32,76	268,06	117,65	274,73	0,41	18,75
1072	34,64	25,28	267,31	156,95	271,81	0,41	18,91
685	33,41	41,69	252,29	103,95	260,28	0,41	18,83
1002	25,23	46,69	261,39	140,65	264,71	0,41	18,92
918	36,39	40,18	272,74	143,95	274,93	0,41	19,89
305	25,53	38,41	251,91	205,05	259,68	0,41	19,41
898	46,14	27,34	255,09	131,25	270,21	0,41	21,41
547	40,01	26,09	254,38	115,95	259,83	0,41	19,77
949	48,01	27,94	261,83	114,75	258,14	0,42	22,06
500	40,56	27,88	256,96	191,45	250,44	0,42	20,56
1292	26,36	35,79	271,34	235,05	260,21	0,42	20,12
1139	38,76	40,61	254,61	100,85	270,43	0,42	20,09
1040	36,99	37,19	274,28	105,85	260,18	0,42	19,8
425	39,29	26,76	250,89	152,25	256,98	0,42	20,29
67	33,91	26,93	267,68	104,85	263,69	0,42	19,59
1415	30,98	34,89	269,28	218,35	250,28	0,42	20,45
50	26,18	26,03	264,44	190,55	258,06	0,42	19,76
156	27,11	33,16	254,94	224,45	253,38	0,42	20,26
812	25,44	27,98	256,94	178,65	257,73	0,42	19,93
1409	28,54	33,91	251,58	174,35	272,66	0,42	20,2
413	36,63	31,98	251,43	103,15	262,93	0,42	20,3
1066	32,88	25,34	258,99	123,75	269,94	0,43	20,09
1105	31,26	47,13	265,84	104,15	259,24	0,43	20,19
641	37,73	45,68	261,31	108,85	251,76	0,43	20,84
1383	28,99	40,49	268,31	155,05	274,99	0,43	20,6
323	44,59	34,14	252,84	102,05	264,29	0,43	22,13
1128	34,93	35,23	251,19	132,95	273,38	0,43	20,77
479	31,68	29,99	273,71	132,45	254,49	0,43	20,33
28	39,79	26,71	258,18	103,35	265,96	0,43	21,32
889	39,23	28,48	255,13	141,55	250,43	0,43	21,37
905	43,51	27,44	272,24	164,65	252,96	0,43	22,84

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1176	34,58	31,44	250,38	127,25	254,96	0,43	21,06
992	38,71	25,56	263,79	241,45	265,28	0,44	22,86
169	29,94	26,39	273,33	169,05	263,06	0,44	20,98
437	39,56	31,48	256,76	111,55	273,51	0,44	21,87
1305	35,36	30,03	265,18	249,75	254,71	0,44	22,76
1332	39,14	32,96	274,43	148,05	251,88	0,44	22,19
447	35,99	32,48	272,66	232,95	252,61	0,44	23,05
143	28,63	32,08	255,54	247,75	265,33	0,44	22,42
1243	43,33	30,88	260,44	116,75	251,01	0,44	23,11
1046	26,46	44,26	256,19	124,25	254,64	0,44	21,73
761	26,16	31,33	256,63	130,25	270,98	0,44	21,98
1486	25,66	45,01	261,66	154,25	253,16	0,44	21,88
1213	31,08	41,56	272,83	106,35	263,66	0,45	21,8
903	37,01	25,03	253,34	201,95	258,43	0,45	22,78
1216	25,34	41,51	261,49	213,95	252,91	0,45	22,56
372	26,59	30,96	262,28	201,05	273,74	0,45	22,43
1253	30,48	38,08	250,73	207,95	252,83	0,45	22,98
1078	28,73	38,98	262,39	107,15	252,69	0,45	22,37
532	44,79	26,73	263,63	111,35	267,01	0,45	24,61
612	27,14	36,44	261,28	100,65	266,66	0,45	22,79
1138	33,31	33,74	256,43	227,55	274,66	0,45	24,08
1174	31,98	30,01	256,34	103,45	254,86	0,45	23,04
1320	27,48	28,94	258,81	239,45	258,09	0,45	23,36
469	30,18	31,93	274,49	122,85	264,24	0,46	22,65
494	39,73	39,59	269,98	119,55	250,34	0,46	23,97
711	36,56	28,33	256,84	247,85	267,91	0,46	24,81
692	35,03	25,84	252,14	143,85	268,49	0,46	23,41
1151	25,16	37,61	271,73	165,85	268,74	0,46	23,29
1094	29,64	27,76	259,43	168,65	250,81	0,46	23,32
183	27,59	32,39	272,69	204,35	271,16	0,46	23,93
595	26,13	33,08	269,71	163,55	252,26	0,46	23,43
342	35,49	32,71	262,96	110,45	250,68	0,46	23,72
215	25,03	31,09	270,96	198,65	260,96	0,46	23,9
814	38,43	25,63	273,28	155,75	267,16	0,47	24,65
239	25,41	42,04	260,04	164,15	273,26	0,47	24,33
1231	44,36	41,63	262,93	105,55	251,86	0,47	26,75
1	29,41	39,54	264,88	166,65	250,04	0,47	24,47
313	32,14	39,18	274,01	189,95	273,63	0,47	25,8
178	43,21	34,21	272,09	101,15	260,99	0,47	26,54
1022	34,68	25,13	253,46	194,85	268,13	0,47	25,35
1418	42,53	44,36	254,73	105,75	254,66	0,47	26,7
1184	46,73	35,56	254,26	108,15	256,11	0,48	28,18
1267	26,34	44,46	253,58	141,45	269,16	0,48	25,14

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1009	32,51	30,04	252,73	241,85	257,68	0,48	26,09
465	36,16	25,51	264,76	191,35	251,79	0,48	25,85
1168	37,68	27,51	274,08	125,75	261,81	0,48	25,63
885	35,44	26,24	259,34	167,95	274,36	0,48	25,79
254	27,68	31,76	266,54	119,35	252,54	0,48	25,42
439	39,83	27,04	257,86	218,15	273,73	0,48	27,71
1286	27,58	26,96	257,81	120,25	263,31	0,48	26,23
408	46,71	27,48	254,18	129,35	256,63	0,48	29,14
528	25,01	40,36	255,46	228,65	264,98	0,48	26,68
973	39,26	39,38	253,63	129,65	250,64	0,49	26,87
151	26,94	35,73	251,51	124,85	266,26	0,49	26,25
1120	26,06	38,59	273,76	193,15	258,91	0,49	26,35
1112	25,14	31,78	271,49	152,15	262,33	0,49	26,04
1183	29,84	26,86	261,96	220,65	252,49	0,49	26,91
615	25,99	34,53	267,44	106,95	261,03	0,49	27,08
1123	41,81	29,08	266,24	133,65	274,68	0,49	28,6
719	39,74	42,73	272,21	104,25	268,59	0,5	28,32
1388	30,29	35,63	274,03	235,65	267,58	0,5	28,48
1303	29,81	27,36	267,23	129,75	271,89	0,5	26,95
487	26,08	34,99	265,16	222,75	252,59	0,5	27,58
568	25,74	40,78	260,21	106,55	260,44	0,5	27,56
11	28,86	25,06	258,71	175,55	266,09	0,5	27,29
816	25,38	27,96	257,28	211,85	263,61	0,5	27,53
66	45,56	37,31	256,91	110,75	272,64	0,5	30,82
1433	43,94	25,54	262,31	137,95	253,19	0,5	29,81
150	43,44	28,51	269,59	117,05	253,78	0,5	29,56
435	25,31	27,19	265,63	176,35	266,03	0,5	27,52
402	35,28	35,48	274,48	117,15	269,43	0,5	27,81
1373	30,46	27,18	250,96	161,65	262,89	0,5	27,91
312	28,74	27,73	270,74	199,35	253,56	0,51	28,07
497	25,04	33,94	254,41	136,95	259,99	0,51	28,57
1473	27,28	36,96	273,86	142,45	255,91	0,51	28,25
56	32,39	40,41	269,18	102,45	271,83	0,51	28,61
567	36,71	34,94	250,53	186,25	273,53	0,51	30,12
271	43,93	32,79	250,94	125,25	270,36	0,51	31,44
540	42,06	34,84	250,16	174,95	252,78	0,51	31,31
484	31,13	40,28	252,51	162,65	250,49	0,51	29,21
1038	41,19	25,99	253,73	175,15	271,63	0,52	31,04
452	38,89	41,79	263,38	101,05	261,31	0,52	30,17
1445	28,49	32,59	273,11	150,95	271,93	0,52	29,86
1057	40,21	38,56	251,03	106,25	263,59	0,52	31,39
236	40,94	33,33	269,99	102,35	270,63	0,52	31,53
94	31,11	27,09	270,39	227,45	268,39	0,52	30,97

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

757	26,49	36,76	259,56	230,25	271,58	0,53	31,16
527	28,19	38,86	259,19	247,15	255,76	0,53	31,61
438	31,69	41,96	250,59	130,45	270,49	0,53	30,61
1261	31,54	32,66	268,18	221,55	274,54	0,53	31,67
1077	36,76	26,69	270,16	115,85	269,29	0,53	30,86
105	26,29	28,58	265,26	117,95	265,94	0,53	31,43
59	32,98	37,56	250,24	119,05	256,39	0,53	30,98
581	48,48	31,74	258,98	108,95	266,23	0,53	36,45
976	34,54	25,48	262,14	114,25	257,01	0,53	31,28
552	45,61	29,09	273,19	124,95	265,99	0,53	35,21
207	35,68	31,34	274,18	199,55	272,51	0,54	32,96
965	26,11	37,74	266,04	125,05	272,04	0,54	31,57
410	25,64	34,24	251,66	184,65	264,64	0,54	31,85
922	29,38	36,56	250,66	216,55	270,33	0,54	32,59
663	25,81	28,39	264,93	221,75	266,76	0,54	32,03
1232	34,76	28,98	262,59	100,25	269,38	0,54	32,48
37	33,03	32,54	273,73	180,65	251,11	0,54	32,51
1440	31,99	42,41	269,79	116,35	251,84	0,54	32,15
659	25,06	31,04	263,43	182,65	254,29	0,54	32,34
167	31,59	29,39	273,56	231,05	259,84	0,54	33,48
269	28,13	39,69	272,54	192,65	252,13	0,55	32,89
283	32,28	36,24	271,98	143,45	250,54	0,55	32,6
450	25,29	34,51	260,61	236,85	261,76	0,55	33,4
865	26,43	44,89	266,19	115,45	265,63	0,55	32,74
455	35,29	29,21	250,76	226,35	266,18	0,55	34,35
655	37,08	28,63	250,91	185,35	253,46	0,55	33,96
1378	32,24	25,33	262,34	219,85	270,58	0,55	33,79
716	40,84	26,13	268,79	179,95	272,84	0,55	35,67
1280	29,93	32,89	269,66	103,65	268,36	0,55	33,61
371	37,21	26,58	257,11	232,25	253,98	0,56	35,43
456	29,31	29,31	252,96	216,35	270,51	0,56	34,24
959	35,53	33,36	254,09	220,05	250,53	0,56	35,47
296	36,69	25,89	259,68	154,45	251,38	0,56	35,08
290	36,44	30,66	272,19	151,55	274,14	0,56	35,37
525	28,31	27,43	259,53	132,85	254,04	0,56	35,4
1144	27,64	40,58	268,01	103,85	259,08	0,56	34,77
174	32,53	43,03	256,03	115,75	251,83	0,56	34,81
1219	32,06	30,26	271,86	105,95	258,34	0,56	34,97
1153	36,74	27,56	274,76	196,15	263,64	0,57	36,35
768	29,68	29,61	259,86	144,15	274,29	0,57	35,13
259	33,38	29,74	254,76	111,15	270,84	0,57	35,82
675	25,91	33,54	259,98	111,65	257,74	0,57	37,08
238	33,86	27,29	268,59	224,15	252,71	0,57	36,26

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

370	44,73	32,09	250,08	140,55	259,61	0,57	39,53
1091	33,33	25,31	254,49	147,75	256,06	0,57	36,14
263	39,43	25,19	264,48	229,05	259,38	0,57	38,39
1376	27,31	46,36	268,61	131,65	255,01	0,57	35,63
589	45,86	33,49	255,99	137,65	250,89	0,57	40,93
1317	32,03	26,66	271,89	182,85	270,44	0,58	36,67
63	33,49	39,03	250,04	170,15	266,39	0,58	37,28
714	26,99	40,16	273,03	127,35	264,78	0,58	36,54
1466	32,59	28,28	253,38	113,95	261,23	0,58	38,14
1198	38,53	37,46	274,73	164,35	272,08	0,58	39,31
38	44,99	25,69	267,06	126,25	260,41	0,58	41,32
603	28,89	26,98	264,89	181,95	272,76	0,58	37,08
1223	31,66	26,36	266,78	149,65	252,33	0,58	37,12
270	32,29	26,18	272,58	149,35	257,58	0,58	37,07
349	25,58	36,54	255,58	197,15	254,38	0,58	37,38
1269	38,48	30,23	250,01	143,75	268,29	0,58	38,69
227	40,76	27,66	274,06	147,35	256,83	0,59	39,6
929	30,99	28,83	263,78	248,25	262,64	0,59	38,81
634	33,29	33,84	259,54	249,35	253,66	0,59	39,53
778	39,94	35,01	262,66	103,55	273,08	0,59	39,46
106	31,44	34,33	269,88	249,45	263,84	0,59	39,8
584	46,99	32,93	266,08	114,45	253,26	0,59	44,38
1065	26,23	40,86	251,28	156,55	262,63	0,59	38,4
975	28,41	25,08	263,64	148,85	260,93	0,59	38,76
344	36,29	41,03	263,41	109,65	250,91	0,59	38,85
315	26,38	28,64	256,33	173,35	270,56	0,59	38,73
746	30,58	35,13	250,26	166,75	256,13	0,59	38,74
307	39,63	29,86	274,36	211,45	256,08	0,59	41,61
418	30,36	37,59	254,83	188,45	274,89	0,59	39,28
459	31,38	35,84	262,36	113,15	273,89	0,59	38,93
341	29,29	33,01	251,56	152,55	271,31	0,6	39,25
109	29,01	35,34	256,68	136,25	250,66	0,6	39,36
209	31,46	30,74	258,83	243,35	271,73	0,6	40,47
201	30,24	31,14	253,68	184,75	251,44	0,6	39,47
687	29,06	26,26	256,38	199,85	255,09	0,6	39,5
131	26,39	38,44	256,44	134,95	272,44	0,6	39,93
774	38,34	44,74	251,53	112,25	259,91	0,6	41,11
498	45,21	29,68	259,09	104,65	258,78	0,6	44,87
1225	32,76	25,38	258,36	228,15	261,88	0,6	40,8
199	29,18	29,44	274,19	183,35	259,14	0,61	39,92
1083	42,16	34,31	273,93	122,95	254,99	0,61	43,28
645	25,21	38,28	269,01	212,75	269,44	0,61	41,15
30	29,71	39,58	254,28	102,85	260,31	0,61	42,22

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

219	35,34	32,44	253,86	133,85	250,94	0,61	41,79
1247	37,13	44,93	252,88	113,35	268,86	0,61	42,53
1158	35,48	33,61	265,31	101,35	256,96	0,61	42,29
386	33,39	35,88	252,36	245,05	264,09	0,62	43,67
1207	44,43	26,91	254,23	125,45	265,06	0,62	46,73
293	27,18	28,41	266,69	121,65	257,28	0,62	44,09
1142	39,89	29,49	256,61	111,85	253,28	0,62	44,33
978	34,01	38,84	255,61	107,55	272,38	0,62	42,59
630	33,06	36,41	258,14	101,55	253,76	0,62	43,23
937	27,73	31,83	252,26	221,95	261,91	0,62	42,52
411	30,73	25,94	270,86	142,85	265,01	0,62	42,4
843	35,06	26,49	251,38	196,75	260,94	0,62	43,17
1036	39,28	29,78	268,98	161,25	250,06	0,62	44,17
782	27,29	40,33	262,98	127,95	251,81	0,62	42,73
718	38,41	26,08	259,11	140,15	272,61	0,62	44,08
578	33,88	35,69	251,18	108,25	265,89	0,62	43,94
1188	30,39	39,63	273,68	147,45	272,26	0,62	42,82
1259	27,81	32,53	264,66	155,65	250,93	0,63	43,17
974	37,54	28,43	266,48	242,75	270,48	0,63	46,19
436	39,06	27,21	261,34	102,65	262,53	0,63	46,09
1067	28,03	35,93	268,66	183,95	274,09	0,63	43,68
942	29,33	37,93	252,11	230,85	256,48	0,63	44,52
1498	25,51	43,41	270,09	168,75	268,76	0,63	43,67
855	28,14	42,54	258,38	170,35	250,51	0,63	43,76
27	40,06	25,91	270,56	216,15	267,66	0,63	47,36
328	42,93	36,89	260,01	102,15	253,43	0,63	48,05
375	39,13	33,71	267,16	120,65	250,21	0,63	45,77
1366	32,93	35,78	264,49	219,15	250,01	0,63	45,32
700	25,08	42,68	262,06	184,05	261,51	0,64	44,63
1304	28,11	31,13	268,91	232,85	256,24	0,64	45,05
730	38,96	40,98	259,91	131,55	274,86	0,64	47,01
1324	36,24	26,06	271,39	185,15	254,41	0,64	45,79
1054	43,58	40,31	268,76	121,45	251,39	0,64	49,98
19	25,78	46,16	260,66	133,75	259,74	0,64	45,13
1062	25,63	34,59	262,53	164,45	272,56	0,64	45,49
707	39,76	29,56	269,68	103,25	263,76	0,64	47,72
173	43,98	39,14	268,93	101,65	258,56	0,64	50,52
1256	27,08	32,13	272,64	205,85	267,11	0,64	45,49
853	27,49	42,18	253,04	137,55	255,73	0,64	46,19
194	32,58	46,73	256,48	107,05	262,28	0,65	46,39
1455	41,64	25,26	256,98	146,65	259,48	0,65	49,92
49	28,01	26,04	255,28	168,55	261,38	0,65	47,66
399	36,18	38,71	272,18	101,95	261,08	0,65	47,23

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1471	38,59	36,91	253,16	104,95	257,39	0,65	49,39
1405	26,03	32,21	259,89	218,25	254,59	0,65	47,09
935	42,31	28,14	265,51	111,25	269,59	0,65	51,37
1396	36,14	35,28	253,29	146,35	274,16	0,65	48,39
1177	34,49	30,19	265,48	136,65	274,59	0,66	48,15
900	44,89	27,01	263,36	154,35	272,28	0,66	54,21
602	27,83	38,61	274,59	179,55	264,58	0,66	47,47
1180	38,91	30,89	274,58	134,55	266,81	0,66	49,55
1248	29,96	26,64	260,38	124,65	267,41	0,66	51,73
248	33,78	30,08	255,53	197,75	274,11	0,66	49,31
433	37,53	27,31	269,34	122,25	255,44	0,66	50,35
760	26,71	29,71	268,96	155,55	269,93	0,66	49,37
61	25,13	37,49	264,08	143,15	265,19	0,66	49,75
1349	36,36	29,24	268,21	246,55	259,13	0,67	51,92
89	26,79	43,51	267,09	165,65	253,23	0,67	49,02
398	27,26	31,89	254,96	123,15	264,99	0,67	55,14
1458	25,39	27,99	262,43	183,75	260,14	0,67	50,67
338	38,74	29,26	253,83	111,45	263,68	0,67	53,98
8	36,81	38,93	273,59	125,95	254,13	0,67	51,05
890	27,79	35,04	260,96	107,65	267,83	0,67	55,11
726	41,88	30,14	257,71	112,65	270,93	0,67	55,2
302	33,53	25,71	254,74	146,25	266,83	0,67	52,44
1334	37,26	36,19	252,21	176,85	251,04	0,68	52,39
620	28,69	34,56	261,53	204,45	273,96	0,68	51,2
917	41,13	28,18	256,46	195,75	251,66	0,68	55,14
952	25,54	35,14	255,51	153,45	256,14	0,68	53,4
679	29,83	30,24	252,76	137,05	255,58	0,68	55,18
697	29,03	44,31	261,04	113,45	269,04	0,68	51,98
765	35,63	28,21	265,86	194,25	273,91	0,68	52,98
101	26,33	35,59	269,64	192,75	253,96	0,68	51,48
727	41,63	36,93	254,08	114,05	271,46	0,68	56,38
195	38,61	27,38	259,04	235,95	268,51	0,68	55,37
591	31,41	32,61	274,71	156,85	265,98	0,68	52
351	37,84	29,29	250,54	149,85	259,21	0,69	54,87
1244	25,26	39,83	257,14	171,65	267,89	0,69	52,55
731	41,56	30,43	254,46	159,15	273,79	0,69	56,97
575	31,03	34,49	270,23	115,55	254,18	0,69	54,64
374	29,49	39,51	251,93	222,65	267,06	0,69	53,36
635	37,19	44,23	253,41	129,85	253,61	0,69	54,36
202	25,84	32,58	257,08	203,35	267,88	0,69	53,17
1013	30,84	25,61	265,39	204,05	258,26	0,69	53,16
510	37,78	25,58	258,61	193,25	270,18	0,69	55,44
55	32,18	30,76	253,21	226,95	256,78	0,69	53,99

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

947	37,81	29,96	255,34	245,95	262,03	0,69	56,77
989	29,26	41,68	271,83	128,35	256,33	0,69	53,64
83	32,78	28,49	260,58	178,25	250,96	0,69	54,5
649	32,48	37,23	273,09	218,95	269,89	0,7	55,36
747	31,83	26,54	270,84	208,55	263,94	0,7	54,27
752	46,21	32,23	270,26	113,05	260,43	0,7	64,45
1279	30,78	45,29	263,89	108,35	258,01	0,7	54,82
1104	35,86	42,98	264,11	103,75	269,64	0,7	55,58
262	26,98	40,89	255,08	123,35	264,88	0,7	57,49
287	32,83	40,79	265,91	135,55	274,39	0,7	55,37
1106	29,98	31,23	251,06	170,85	266,11	0,7	56,82
1390	26,58	39,48	263,53	204,95	253,08	0,71	55,36
1001	31,16	34,73	274,23	162,95	257,04	0,71	55,59
1277	38,78	29,03	250,64	183,55	266,54	0,71	58,8
1145	40,44	26,88	262,09	137,35	253,59	0,71	61,03
1274	33,66	36,39	269,51	105,45	267,24	0,71	59,25
158	41,58	34,66	251,76	135,95	254,76	0,71	62,14
58	27,36	34,61	270,58	124,45	264,53	0,71	63,36
1327	27,63	33,69	264,91	236,75	266,78	0,71	56,97
785	32,49	31,73	262,83	123,05	251,91	0,71	69,14
449	32,81	28,31	261,11	230,35	254,74	0,72	58,22
594	33,51	34,48	272,44	219,25	254,16	0,72	58,64
654	33,54	40,09	274,89	143,65	261,39	0,72	58,05
1474	38,21	25,43	269,03	162,25	260,19	0,72	60,88
47	39,88	45,31	258,09	106,15	263,58	0,72	61,84
1361	42,71	35,96	261,54	100,75	264,94	0,72	65,86
1271	30,71	30,46	268,41	217,15	271,06	0,72	58,68
1285	30,76	37,48	255,29	207,15	251,94	0,72	58,71
320	37,59	36,69	271,31	163,35	251,06	0,72	60,63
943	39,24	25,21	263,49	141,85	265,48	0,72	63,85
1053	33,28	27,28	265,29	117,75	261,96	0,72	109,61
210	41,41	33,44	261,69	173,75	250,18	0,72	64,42
78	28,91	34,58	272,88	214,65	260,71	0,73	59,22
1017	30,31	28,36	260,08	226,45	267,64	0,73	59,8
1394	35,54	35,31	270,71	129,95	272,58	0,73	61,39
626	29,16	41,88	254,58	185,85	271,88	0,73	60,1
470	42,73	43,11	259,08	121,55	253,09	0,73	67,24
334	30,59	30,94	256,01	144,45	271,74	0,73	69,48
739	34,59	30,49	267,53	196,05	251,49	0,73	61,4
940	27,03	31,21	270,14	148,35	260,01	0,73	74,44
725	31,39	41,28	272,76	177,25	254,28	0,73	60,69
914	28,64	29,18	268,33	175,85	255,06	0,74	63,97
1093	44,06	34,83	253,79	116,05	262,44	0,74	72,1

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

887	42,96	26,56	256,53	160,15	267,56	0,74	70,16
25	43,69	28,46	269,36	158,95	254,69	0,74	70,94
1204	41,51	33,19	274,44	154,75	260,48	0,74	68,17
990	28,81	36,26	251,89	192,15	260,46	0,74	62,96
1342	34,29	33,46	259,23	104,35	263,98	0,74	258,97
1137	38,86	33,83	251,36	216,05	257,66	0,74	66,98
851	32,69	25,86	264,94	172,45	267,18	0,75	68,39
345	30,04	35,74	257,64	239,35	261,18	0,75	63,68
966	28,08	30,31	261,16	128,95	258,68	0,75	406,48
1187	26,93	37,16	266,68	139,85	255,36	0,75	94,9
1431	32,91	27,54	254,53	202,85	265,09	0,75	65,63
981	37,93	38,14	253,23	188,15	272,99	0,75	67,44
1042	33,98	38,81	263,66	161,15	250,73	0,75	65,55
1159	38,09	28,13	270,01	154,65	270,19	0,75	69,32
818	36,48	30,54	273,46	187,35	267,13	0,75	66,72
1096	31,94	29,41	267,73	125,65	268,56	0,75	151,11
1209	29,73	42,23	269,31	131,75	268,71	0,75	67,26
740	27,21	29,81	266,86	188,55	264,76	0,75	70,11
628	31,06	38,43	259,46	153,15	273,59	0,75	66,83
1233	35,24	29,04	257,44	118,25	257,91	0,76	198,86
130	34,14	34,79	267,38	171,75	274,01	0,76	66,57
1226	42,13	25,88	261,86	193,05	263,49	0,76	73,63
1365	35,83	37,98	250,36	178,75	259,58	0,76	68,08
230	34,53	28,84	254,14	181,75	255,63	0,76	74,09
968	34,31	33,56	252,66	214,75	268,54	0,76	67,93
216	28,79	38,03	259,13	116,85	257,94	0,76	393,77
1092	44,21	28,26	269,91	157,55	263,78	0,76	78,87
1392	33,99	25,76	260,59	162,55	259,56	0,76	114,83
1224	30,93	35,06	264,61	232,15	255,69	0,76	67,59
1175	36,93	34,44	258,69	211,35	251,61	0,77	70,11
1358	42,04	28,56	254,16	192,85	259,69	0,77	76,03
1411	42,34	28,74	263,81	120,85	259,79	0,77	123,24
1371	35,18	31,88	272,46	128,75	261,13	0,77	135,74
229	39,51	33,59	260,49	167,55	274,13	0,77	73,22
200	27,04	31,39	262,18	150,35	266,56	0,77	312,12
895	42,03	28,76	255,94	156,65	255,54	0,77	86,56
117	29,99	44,41	258,89	143,05	255,28	0,77	76,82
3	31,89	38,46	252,04	155,45	268,43	0,77	79,47
1254	33,61	39,33	253,39	145,75	254,44	0,77	90,89
281	26,51	42,09	265,94	147,25	261,11	0,77	92,38
333	34,51	44,38	252,39	142,05	263,38	0,77	71,83
110	39,64	27,74	263,03	191,65	255,21	0,77	76,16
385	35,58	40,96	266,28	119,95	254,34	0,77	107,65

EK-1. (devam) Tüm tasarım noktaları ve elde edilen sürükleme kuvveti

1230	31,48	39,04	265,28	110,15	262,21	0,78	244,64
1059	28,98	29,76	259,28	215,15	260,53	0,78	76,76
273	32,11	35,26	252,93	136,75	261,09	0,78	347,84
244	39,16	39,29	252,79	127,75	265,26	0,78	91,16
1347	35,41	31,58	261,09	124,05	270,54	0,78	387,05
821	37,96	39,84	258,88	107,75	259,03	0,78	159,64
1049	27,44	41,34	256,83	177,65	258,04	0,78	79,85
453	33,46	33,81	268,73	234,25	264,19	0,78	72,25
1126	38,19	35,33	258,63	135,15	252,53	0,78	139,24
995	36,06	32,98	272,99	190,85	259,49	0,78	74,44
1192	29,08	36,18	269,39	166,55	268,79	0,78	95,52
103	26,54	37,38	263,06	197,05	262,71	0,79	81,51
278	27,71	31,94	257,03	166,05	261,53	0,79	262,96
1095	29,54	37,44	258,46	216,45	269,24	0,79	73,05
1140	35,88	34,36	261,61	216,75	272,31	0,79	75,24
997	30,61	34,46	258,49	170,05	252,88	0,79	159,26
1301	41,71	36,13	264,98	115,05	256,54	0,79	147,79
1156	36,34	27,91	266,18	208,95	262,81	0,79	81,23
1500	39,66	36,78	268,86	123,55	264,93	0,79	121,29
127	37,66	31,79	253,61	142,35	267,28	0,79	192,94
548	40,48	39,36	261,19	125,85	270,64	0,79	97,61
360	32,41	39,39	258,29	121,95	267,99	0,79	309,32
1056	39,21	35,18	260,83	171,35	263,09	0,8	86,72
1265	36,43	32,24	268,48	146,15	255,49	0,8	243,98
208	32,99	30,64	259,58	180,25	269,31	0,8	148,31
1476	43,34	32,18	264,14	140,85	269,63	0,8	116,15
1121	30,41	34,98	264,99	174,15	258,03	0,8	167,11



Gazili olmak ayrıcalıktır