

Roelof Vos • Saeed Farokhi

# Süpersonik Aerodinamiğe Giriş

**Çeviri Editörü**

Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR

 Springer



© Copyright 2022

*Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.*

**Orijinal ISBN** 978-94-017-9746-7  
**ISBN** 978-625-8155-97-6

**Orijinal Adı** Introduction to Transonic Aerodynamics  
**Kitap Adı** Süpersonik Aerodinamiğe Giriş

**Editörler** Roelof VOS  
Saeed FAROKHI  
**Çeviri Editörü** Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR  
ORCID iD: 0000-0002-9467-2005

**Yayın Koordinatörü** Yasin DİLMEN  
**Sayfa ve Kapak Tasarımı** Akademisyen Dizgi Ünitesi

**Yayıncı Sertifika No** 47518  
**Baskı ve Cilt** Vadi Matbaacılık

**Orijinal DOI** 10.1007 / 978-94-017-9747-4  
**Bisac Code** SCI055000

**DOI** 10.37609/akya.1853

**GENEL DAĞITIM**  
**Akademisyen Kitabevi A.Ş.**

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara  
Tel: 0312 431 16 33  
siparis@akademisyen.com

[www.akademisyen.com](http://www.akademisyen.com)

# Akışkanlar Mekaniği ve Uygulamaları

## Seri editörü

André Thess, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi, Mühendislik Enstitüsü  
Termodinamik, Stuttgart, Almanya

## Kurucu Editör

René Moreau, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble,  
Saint Martin d'Hères Cedex, Fransa

## Çeviri Editörü

Doç. Dr. Hacı SOĞUKPINAR  
Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü

*Bu kitap ilk olarak İngilizce dilinde Roelof Vos ve Saeed Farokhi'nin editörlüğünde Introduction to Transonic Aerodynamics (Edition: 1) başlığı ile yayınlanmıştır. Copyright © Springer Science+Business Media Dordrecht, 2015  
Bu edisyon Springer Nature B.V. lisansı altında tercüme edilmiş ve yayınlanmıştır.  
Springer Nature B.V. çeviri ile ilgili herhangi bir sorumluluk üstlenmez ve çeviri hatalarından sorumlu tutulamaz.*

## **Dizinin Amaçları ve Kapsamı**

Bu serinin amacı, akışkanlar mekaniğinin temel bir rol oynadığı konulara odaklanmaktır. Havacılık, hidrolik, ısı ve kütle transferinin daha geleneksel uygulamalarının yanı sıra, türbülans, süspansiyonlar ve çok fazlı sıvılar, süper ve hipersonik akışlar gibi şu anda hızlı gelişme halinde olan konuları sayısal modelleme teknikleri kullanarak ele alan kitapları yayınlamaktır. Bilimsel olarak yoğun ilgi görecektir olanların, disiplinler arası konular olduğu ve onları teknolojik ilerlemenin ön saflarına taşıdığı yaygın bir görüştür. Akışkanlar, madde ve özelliklerini taşıma ve kuvvet iletme yeteneğine sahiptir, bu nedenle akışkanlar mekaniği, diğer bilim ve mühendislik disiplinleri ile çapraz beslemeye özellikle açık bir konudur. Akışkanlar mekaniği konusu, kimya, metalürji, biyolojik ve ekolojik mühendislik gibi alanlarla oldukça alakalı olacaktır. Bu seri, özellikle bu tür yeni multidisipliner alanlara açıktır. Orta seviye sunum düzeyi, birinci sınıf yüksek lisans öğrencisi içindir. Bazı metinler, bir alanın mevcut durumunu tanımlayan monograflardır (tek bir konuyu inceleyen yazı); diğerleri son sınıf öğrencileri için uygun olup, esas vurgu olarak konuların açık ve net bir şekilde anlatılmış olmasıdır. Bu seri hakkında daha fazla bilgi için <http://www.springer.com/series/5980>

*Bu kitap eşlerimiz  
Carola ve Meriam'a adanmıştır.*

# Önsöz

Aerodinamik içinde, transonik Mach aralığı, endüstriyel ve akademik kurumlar arasında çok çalışılan bir konudur. Bugünün uçaklarının çoğu hem ses altı hem de ses üstü akışın mevcut olduğu Mach aralığında seyretmektedir. Direnç sapması, sarsıntı ve transonik daldırma gibi terimlerin tümü, transonik akış koşulları ile ilişkilidir. Transonik aerodinamik, son 60 yıldır yüksek hızlı ses altı uçan uçakların dış tasarımına büyük ölçüde hâkim olmuştur. Bununla birlikte, sıkıştırılabilir aerodinamik hakkındaki ders kitapları genellikle süpersonik Mach aralığına odaklanır ve transonik Mach rejimindeki fenomenlere daha az odaklanır. Bu nedenle, transonik aerodinamik üzerine kapsamlı bir ders, havacılık ve uzay mühendisliği müfredatının nadiren bir parçasıdır. Uygulamada transonik aerodinamiğin önemi ile ilgili kapsamlı bir dersin olmaması, genellikle konunun karmaşıklığıyla açıklanmaktadır. Aslında, ilgili tüm aerodinamik fenomenleri içeren ana denklemleri, ince bir kanat teorisine veya bir kaldırma hattı teorisine eşdeğer bir şeye kolayca indirgenemez. Ayrıca, iyi bilinen Prandtl-Glauert sıkıştırılabilirlik düzeltmesi gibi birçok düzeltme faktörü, transonik rejimde geçerli değildir. Bu nedenle, bir kanat veya kanat bölümünün performansını tahmin etmek için, genellikle, başlıca hareket denklemlerinin sayısal bir uygulamasını çözen bilgisayar programlarına güvenilir. Ancak öğrencilere bir yazılım parçasını nasıl çalıştıracaklarını öğretmek, öğrencilere transonik bir yüzey akış koşullarına maruz kaldığında belirli olayların nasıl ve neden meydana geldiğinin fiziğini öğretmekle aynı şey değildir. Bu nedenle, bu ders kitabı öğrencilere transonik akışın doğası ve matematiksel denklemlerde nasıl yakalanabileceği hakkında bilgi vermek için yazılmıştır. Bu ders kitabı, transonik aerodinamik konusuna bir giriş niteliğindedir. Sekiz bölümde, cisimler hakkında iki ve üç boyutlu ses altı, ses üstü ve ses ötesi akışın nicel ve nitel bir değerlendirmesini sunmaktadır. Öğrencilerin konuyla pratik yapmalarına olanak tanıyan ilgili analitik analiz yöntemleri dahil edilmiştir. Kitap çok sayıda örnek içermekte ve her bölüm bir soru listesi ile kapanmaktadır. Bazı konular daha çok sayısal bir perspektiften ele alınır (örneğin, şok ve genişleme teorisi), diğerleri ise daha çok niteliksel bir bakış açısıyla tartışılır (örneğin, şok-sınır-katman etkileşimi). Mümkün olduğunca, her konunun anlaşılmasını geliştirmek için sayısal örnekler ve yöntemler dahil edilmiştir.

Kitap 60 örnek ve 200'den fazla uygulama problemi içermektedir. Bu ders kitabı, öncelikle aerodinamik konusunda önceden bilgi sahibi olan lisans son sınıf öğrencileri veya lisansüstü öğrencilerine yöneliktir. Kitabın başında temel denklemleri ve akış özelliklerini tekrar etmemize rağmen, öğrencinin ses altı aerodinamik üzerine bir ders aldığını ve temellerini bildiğini varsayıyoruz. Transonik aerodinamik bilgisi birçok dahili akış uygulaması için önemli olsa da (örneğin, turbo makineleri, motor girişleri, nozullar, vb.), bu ders kitabı öncelikle iç akışlara sınırlı uygulamalarla harici aerodinamiklere odaklanmaktadır. Örnekler esas olarak, bir transonik akış alanına maruz kalan kanatlara ve gövdelere yöneliktir. Örneklerin çoğu gerçek uçak veya kanat bileşenlerine atıfta bulunmaktadır. Bu nedenle, bu ders kitabının içeriği ile transonik uçak tasarımı konusu arasında güçlü bir bağlantı vardır. Modern yüksek hızlı bir ses altında uçan uçağın neden, olduğu gibi tasarlandığını anlamak, bu ders kitabının konusunu anlamayı gerektirir.

## Teşekkür

Bu kitabı yazmak büyük bir ayrıcalıktı. Doğal olarak, kendi üniversitelerimizin desteği olmasaydı bunu yapamazdık. Bu nedenle, bu kitabı yazmamız için bize zaman ve kaynak sağladıkları için Kansas Üniversitesi'ne ve Delft Teknoloji Üniversitesi'ne teşekkür ederiz. 135 sayfalık bir özete dayanarak, mevcut haliyle genişleteceğimize inanan yayıncıya da teşekkür ederiz. Bu kitaptaki örnekleri desteklemek için çeşitli bölümleri yeniden okuyan ve sayısal hesaplamalardan bazılarını yapan Dr. Luca Guadani ve Dr. Ali Elham'a da teşekkür etmek isteriz. Emekli Prof. Egbert Torenbeek'e çeşitli bölümlerin içeriği hakkında bize titiz geri bildirimler sağladığı için özel bir teşekkür ederiz. Son olarak, birkaç yıl boyunca bu belgenin hazırlanmasına yardımcı olan Atlantığın her iki yakasından aşağıdaki kişilere teşekkür ederiz: Bay Thomas Statsny, Bayan Lisanne van Veen, Bay Maarten Broekhuizen, Bay Kevin Haagen, Bayan Maaïke Weerdesteyn ve Bay Amool Raina.

Delft, Hollanda, 2014

Lawrence, KS, ABD

Roelof VOS

Saeed FAROKHI

## TEŞEKKÜR

Bu kitabın Türkçeye çevrilmesinden yayınlanmasına kadar tüm süreçleri titizlikle takip ederek desteklerini esirgemeyen Adıyaman Üniversitesi Rektörü  
Sayın Prof. Dr. Mehmet TURGUT'a

VE

Kişiliği, duruşu ve eğitime her zaman verdiği destekler ile gelecek nesillere ışık tutan örnek iş insanı, Erdemođlu Holding Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı

Sayın Ali ERDEMOĐLU Beyefendiye,

Kitabın sizlere ulaşması için verdiği maddi veya manevi değerli desteklerinden dolayı şükranlarımızı sunarız.





# İçindekiler

<b>1 Giriş ve Tarihsel Perspektif.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ses Altından Süpersonik Uçuşa .....	1
1.2 Transonik Akış Alanının Tanımı .....	4
1.3 Transonik Rüzgâr Tüneli Deneyleri.....	5
1.4 Kanatlar ve Gövdenin Transonik Aerodinamiği.....	8
1.5 Transonik Akış Hesaplamaları .....	14
1.6 Mevcut Ders Kitabının Özeti .....	16
Kaynaklar .....	18
<b>2 Temel Denklemlerin Gözden Geçirilmesi .....</b>	<b>21</b>
2.1 Giriş .....	21
2.2 Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Gözden Geçirilmesi .....	22
2.2.1 D'Alembert prensibi ile Tek Boyutlu Dalga Denklemi ve Çözümü .....	22
2.2.2 Tek Boyutlu Isı Denklemi ve Fourier Serilerine Göre Çözümü .....	29
2.2.3 PDE'lerin Koruma Formu .....	33
2.2.4 Kısmi Diferansiyel Denklemlerin Sınıflandırılması.....	35
2.3 Vektör Cebirinin Gözden Geçirilmesi .....	38
2.3.1 Vektörler, Vektör Alanları ve Skaler Alanlar .....	38
2.3.2 Skaler Alanın Gradyanı.....	40
2.3.3 Bir Vektör Alanının Diverjansı .....	41
2.3.4 Bir Vektör Alanının Dönmesi .....	42
2.3.5 Hacim, Yüzey, ve Çizgi İntegralleri .....	42
2.4 Termodinamiğin Gözden Geçirilmesi .....	43
2.4.1 Mükemmel Gaz İlişkileri .....	44
2.4.2 Termodinamiğin Birinci Yasası.....	46
2.4.3 Termodinamiğin İkinci Yasası .....	48
2.4.4 İzzantropik İlişkiler .....	50

2.5 Akışkan Hareketi Denklemleri .....	51
2.5.1 Kütleinin Korunması.....	51
2.5.2 Doğrusal Momentumun Korunumu. ....	53
2.5.3 Enerjinin Korunumu.....	56
2.5.4 Navier-Stokes Denklemlerinin Koruma Formu.....	60
2.6 Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes Denklemleri. ....	62
2.6.1 Sıkıştırılamaz Reynolds Ortalamalı Hareket Denklemleri.....	62
2.6.2 Sıkıştırılabilir Reynolds Ortalamalı Hareket Denklemleri.....	65
2.6.3 Türbülans Modellemesi: k-Epsilon Modeli .....	67
2.7 Sürtünmesiz Akışlar için Hareket Denklemleri.....	69
2.7.1 Euler Denklemleri .....	69
2.7.2 Potansiyel Akış Denklemi .....	72
2.8 Özet.....	75
Kaynaklar .....	79
<b>3 Transonik Benzerlik Kanunları.....</b>	<b>81</b>
3.1 Giriş .....	81
3.2 Doğrusallaştırılmış Sıkıştırılabilirlik Düzeltmeleri .....	82
3.2.1 2 Boyutlu Ses Altı Akışı .....	85
3.2.2 Diğer Ses Altı Sıkıştırılabilirlik Düzeltmeleri .....	89
3.2.3 2 Boyutlu Süperpersonik Akış .....	99
3.2.4 Süperpozisyon Prensipleri.....	103
3.2.5 Sesaltı ve Süperpersonik Akışta İnce Devrim Cisimleri - Doğrusal Teori .....	106
3.3 Transonik Küçük Uyartım/Tetikleme Teorisi .....	114
3.4 Transonik Benzerlik Parametreleri.....	117
3.4.1 Diğer Transonik Benzerlik Parametreleri.....	120
3.5 3-B Düzlemsel ve Eksenel Simetrik İnce Gövdeler.....	123
3.6 Hodograf Dönüşümü .....	126
3.7 Ampirik Kurallar.....	127
3.8 Ayrılmış Şokların Yaklaşık Konumu. ....	130
3.9 Özet.....	134
Kaynaklar .....	144
<b>4 Şok Genişleme Teorisi .....</b>	<b>145</b>
4.1 Giriş .....	145
4.2 Kaldırma ve Dalga Direnç .....	169
4.3 Çift Dışbükey Kanat Profili.....	173
4.4 Eksenel Simetrik ve İnce Gövdeler .....	183
4.5 Örnekler ve Uygulamalar.....	188

4.5.1 Bir (Eksen Simetrik) Ogive Burunun Şekli ve Geometrik Parametreleri	188
4.5.2 Transonik Hızlara Genişletme .....	192
4.6 Özet.....	194
Kaynaklar .....	209
<b>5 Karakteristik Yöntem.....</b>	<b>211</b>
5.1 Giriş .....	211
5.2 2-B Döngüsel Olmayan Akışlar .....	212
5.3 2 Boyutlu Süpersonik Minimum Uzunluktaki Bir Nozulun (MLN) Tasarımı .....	222
5.4 Dalga-Alan Yöntemi ile Kafes-Nokta Yaklaşımı .....	232
5.5 Eksenel Simetrik Olmayan Akışlar .....	251
5.6 Örnekler ve Uygulamalar.....	256
5.6.1 Süpersonik Nozul Tasarımı .....	256
5.6.2 Saptırıcı Jet.....	256
5.6.3 Düzgün Olmayan Giriş Durumu: Örnek Kaynak Akışı.....	258
5.6.4 Akış Çizgileri ve Kanallar .....	258
5.6.5 Eğimli Şoklar .....	263
5.7 Özet.....	265
Kaynaklar .....	273
<b>6 Kaldırmayan Cisimlerin Aerodinamiği.....</b>	<b>275</b>
6.1 Giriş .....	275
6.2 Kaldırma Yapmayan Gövdeler Üzerindeki Basınç Dağılımı.....	279
6.2.1 Ses altı düşük veya sıfır viskoziteli akış.....	279
6.2.2 Alt Kritik Sıkıştırılabilirliğin Etkisi .....	284
6.3 Dalga direnci.....	287
6.3.1 Momentum Teorisi Kullanılarak Basınç Direncinin Hesaplanması. ....	291
6.3.2 İnce Eksenli Simetrik Bir Cismin Süpersonik Dalga Direnci.....	294
6.3.3 İnce Bir Gövdesinin Optimum Şekli.....	296
6.3.4 Transonik Alan Kararı Örnekleri. ....	300
6.4 Sınır Tabaka Akışının Temelleri.....	302
6.4.1 Laminer Sınır Katmanı .....	303
6.4.2 Türbülanslı Sınır Katmanı .....	313
6.4.3 Transonik Akışta Şok Dalgası Sınır Tabakası Etkileşimi.....	319
6.5 Sınır Katman Hesaplamaları.....	324
6.5.1 Sürekli Sıkıştırılmaz Akış için Sınır Katman Denklemleri .....	325
6.5.2 Laminer Sınır Katmanı .....	327

6.5.3 Türbülanslı Sınır Tabakası .....	331
6.5.4 Sınır Katmanı Geçişi .....	343
6.6 Girişim direnci .....	349
6.6.1 Ses Altı Koşullarda Parazit direnci .....	350
6.6.2 Transonik Koşullarda Girişim direnci .....	352
6.7 Özet .....	356
Kaynaklar .....	364
<b>7 Kanatlı Aerodinamik .....</b>	<b>367</b>
7.1 Giriş .....	367
7.2 Kanat Profilleri Hakkında Basınç Dağılımı .....	368
7.3 Laminer-Akış Kanat Profilleri .....	372
7.4 Süper Kritik Kanat Profilleri .....	375
7.4.1 Darbesiz Süper Kritik Kanat Profili .....	379
7.4.2 Şoklu Süper Kritik Kanat Profilleri .....	383
7.4.3 Sonik Kanat uç Profilleri .....	390
7.4.4 Fırar kenar Geometrisinin Etkisi .....	390
7.5 Düşük Hızda Stol .....	393
7.5.1 Düşük Hızlı Stol Yeterliliği .....	394
7.5.2 Reynolds'un Maksimum Kaldırma Katsayısı Üzerindeki Etkisi .....	397
7.5.3 Maksimum Kaldırma Katsayısı Üzerindeki Mach Etkisi .....	399
7.5.4 Yüksek Kaldırma Cihazları .....	403
7.6 Yüksek Hızlı Stol .....	405
7.6.1 Şok Ayakta Akış Ayrımı .....	406
7.6.2 Transonik sarsıntı .....	411
7.7 Özet .....	419
Kaynaklar .....	425
<b>8 Süpürülmüş Kanatların Aerodinamiği .....</b>	<b>427</b>
8.1 Giriş .....	427
8.2 Kanat Süpürmenin Avantajları .....	428
8.2.1 Kanat Süpürme Teorisi .....	430
8.2.2 Direnç Sapmasının Mach Sayısı Üzerindeki Etki .....	433
8.2.3 Dalga direnç Katsayısı Üzerindeki Etki .....	441
8.3 Süpürülen Kanatlar Üzerindeki Sürtünmesiz Akış .....	449
8.3.1 Sonsuz Süpürülmüş Kanatlar Üzerindeki Akış .....	450
8.3.2 Sonlu Süpürülmüş Kanatlar Üzerindeki Akış .....	453
8.4 Süpürülen Kanatlar Üzerindeki Viskoz Akış .....	461
8.4.1 Süpürülmüş Kanatlar Üzerindeki Üç Boyutlu Sınır Tabakası .....	461
8.4.2 Geçiş .....	464
8.4.3 Ayırma .....	470

8.5 Süpürülmüş Kanatların Aeroelastisitesi.....	474
8.5.1 Statik Deformasyon.....	476
8.5.2 Azaltılmış Kontrol Yüzeyi Etkinliği.....	481
8.5.3 Yapısal Farklılık.....	490
8.5.4 Yüksek Ses Altı Mach Sayılarında titreme.....	491
8.5.5 Aeroelastik Olayların Tahmini ve Tespiti. ....	496
8.6 Özet.....	499
Kaynaklar .....	509
<b>Ek A: İzantropik Akış Tablosu .....</b>	<b>513</b>
<b>Ek B: Normal Şok Tablosu .....</b>	<b>521</b>
<b>Ek C: Prandtl-Meyer İşlevi .....</b>	<b>527</b>
<b>Seçilmiş Sorunlara Kısmi Cevaplar .....</b>	<b>529</b>
<b>Sözlük .....</b>	<b>545</b>

## Problemler

**1.1** Maksimum kalkış ağırlığı (MTOW) 560 metrik ton olan bir uçak düşünün. Seyir aşamasının başlangıcında bu uçağın bir miktar yakıt yaktığını ve maksimum kalkış ağırlığının %96'sı ağırlığında olduğunu varsayalım. Seyir aşamasının sonunda, uçağın MTOW'unun yalnızca %75'i ağırlığında olduğunu varsayalım.

- (a) 35.000 ft (10.67 km) seyir irtifası için, a,  $-6.5\text{K/km}$ 'lik bir sıcaklık değişim oranı, 288 K'lik bir deniz seviyesi sıcaklığı ve  $287\text{ J/kg/K}$ 'lik bir gaz sabiti kullanarak ses hızını hesaplayın.
- (b) 0,85 seyir Mach sayısı ve  $\text{SFC} = 0,000186\text{ [N/N/s]}$  özel yakıt tüketimi için  $L/D = 16$ ,  $L/D = 19$  ve  $L/D = 22$  olduğunda menzili  $R$ , hesaplayın. Bréguet aralığı formülünü (1.1) kullanın.

**1.2** Bir uçağın maksimum menzili,  $V \times L/D$  ile maksimize edildiğinde elde edilir. Düşük ses altı alanında direnç katsayısı, sıfır kaldırma direnç katsayısı,  $C_{D0}$  ve indüklenen direnç katsayısı  $C_{Di}$ 'nin toplamı yaklaşık olarak tahmin edilebilir,  $C_{Di} = k$ ,  $k$  sabittir. Temiz konfigürasyonda bir iş jeti için  $C_{D0} = 0,021$ ,  $k = 0,038$  ve kanat yükü  $W/S = 3\text{kN/m}^2$ 'dir. Bir elektronik tablo programı kullanmak aşağıdaki soruları çözün:

- (a)  $C_L$  (dikey eksen) ve  $C_D$  (yatay eksen) arasındaki ilişkinin grafiğini çizin.
- (b) Şimdi, 0 ile 1,7 arasında değişen bir kaldırma katsayısı için bu iş jetinin kaldırma-direnç oranını ( $C_L/C_D$ ) hesaplayın. Kaldırma-direnç oranı (dikey eksen) ve kaldırma katsayısı (yatay eksen) arasındaki ilişkiyi grafiğe dökün.
- (c) Grafiğinizden, maksimum  $L/D$ 'yi ve bunun meydana geldiği kaldırma katsayısını tahmin edin.
- (d) Hızı, kanat yükü, yoğunluk ve kaldırma katsayısının bir fonksiyonu olarak ifade edin.
- (e) Şimdi, 0 ile 1,7 arasında değişen bir kaldırma katsayısı için hız ve kaldırma-direnç oranının ( $V \times C_L/C_D$ ) çarpımını hesaplayın. Kaldırma katsayısını yatay eksene koyarak bu ilişkinin grafiğini çizin. Yoğunluk için  $0,3\text{ kg/m}^3$  değerini kullanın.
- (f) Grafiğinizden maksimum  $V \times C_L/C_D$  ve bunun meydana getirdiği kaldırma katsayısını tahmin edin.

## Kaynaklar

- Anderson, J.: Modern Compressible Flow With Historic Perspective, 3rd edn. McGraw Hill, New York (2003)
- Bensberg, W., Cranz, C.: Über eine photographische Methode Zur Messung von Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsverlusten bei Infanteriegeschossen. Artillerische Monatshefte **41**, 333–346 (1910)
- Burgess, E.H.: Concorde inaugurates the supersonic era. In: Proceedings of the 9th Annual Meeting and Technical Display. AIAA-1973-16, Washington, DC (1973)
- Cornelliussen, S.T.: The transonic wind tunnel and the NACA technical culture, Chap. 4. From Engineering Science to Big Science, pp. 91–133. NASA, Washington (1998)

5. Denning, R., Armstrong, J.A., Allen, J.E.: The broad delta airliner. *Aeronaut. J.* **107**(1075), 547–558 (2003)
6. Ferrari, C., Tricomi, F.G.: *Transonic Aerodynamics*. Academic Press, New York (1968)
7. Goethert, B.H.: *Transonic Wind Tunnel Testing*, No. 49 in AGARDograph. Pergamon Press, Oxford (1961)
8. Green, J., Quest, J.: A short history of the European Transonic Wind tunnel ETW. *Prog. Aerosp. Sci.* **47**, 319–368 (2011)
9. Haack, W.: Geschossformen kleinsten Wellenwiderstandes. Bericht 139 der Lilienthal- Gesellschaft, pp. 14–28 (1941)
10. Hayes, W.D.: *Linearized Supersonic Flow*. Ph.D. thesis, California Institute of Technology (1947)
11. Hurley, F.X., Spaid, F.W., Roos, F.W., Stivers, L., Bandettini, A.: Detailed Transonic Flowfield Measurements about a Supercritical Airfoil Section, NASA TMX-3244 (1975)
12. Kuechemann, D.: *The Aerodynamic Design of Aircraft*. Pergamon Press, Oxford (1978)
13. Moulden, T.H.: *Fundamentals of Transonic Flow*. Wiley, New York (1984)
14. Pearcey, H.H.: The aerodynamic design of section shapes for swept wings. *Adv. Aeronaut. Sci.* **3**, 277–322 (1963)
15. Ramm, H.J.: *Fluid Dynamics for The Study of Transonic Flow*. Oxford University Press, New York (1990)
16. Roskam, J.: *Airplane Design, Part 6: Preliminary Calculation of Aerodynamic Thrust and Power Characteristics*. DARcorp, Lawrence (2006)
17. Ruijgrok, G.J.J.: *Elements of Airplane Performance*. Delft University Press, Delft (1989)
18. Scholz, D., Ciornei, S.: Mach number, relative thickness, sweep and lift coefficient of the wing—an empirical investigation of parameters and equations. *DGLR Jahrbuch 2005* (2005)
19. Sears, W.R.: Projectiles of minimum wave drag. *Q. Appl. Math.* **4**(4), 361–366 (1947)
20. Tinoco, E.N.: CFD applications to complex configurations: a survey. In: Henne, P. (ed.) *Applied Computational Aerodynamics*, Chap. 15. AIAA, Washington (1990)
21. Tokaty, G.A.: *Fluid Dynamics*. W & J Mackay & Co Ltd., Chatham (1971)
22. Vidal, R.J.: *Wall Interference Effects in Transonic Flows*. Calspan Corp., Buffalo (1976)
23. Whitcomb, R.T., Clark, L.R.: An Airfoil Shape for Efficient Flight at Supercritical Mach Numbers, NASA TM X-1109. Langley (1965)



2.29 Eşitlik sistemini düşünün. (2.152).

- (a) Basıncın,  $p$ 'nin (2.72) ve (2.76) kullanılarak  $\rho$  ve durum değişkenlerinin ve  $\gamma$  özel ısı oranlarının bir fonksiyonu olarak ifade edilebileceğini gösterin.
- (b) Isı akışının  $q$ , durum değişkeni  $e$  ile ifade edilebileceğini gösterin.  $k$ 'nin sabit olduğunu varsayalım.
- (c) Önceki alıştırmayı tekrarlayın, ancak şimdi  $k$ 'nin değişken olduğunu ve (2.81) ve (2.82) 'ye göre sıcaklıkla ilişkili olduğunu varsayın. Bu korunumlu bir diferansiyel denklem mi?

## Kaynaklar

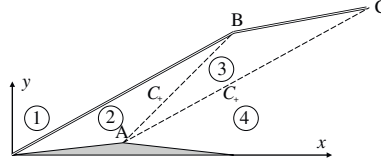
1. Anderson, J.: Computational Fluid Dynamics: The Basics and Applications, 1st edn. McGraw Hill, New York (1995)
2. Anderson, J.: Modern Compressible Flow with Historic Perspective, 3rd edn. McGraw Hill, New York (2003)
3. Anderson, J.: Fundamentals of Aerodynamics, 5th edn. McGraw Hill, New York (2010)
4. Anon.: Direct numerical simulation (DNS) wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_numerical\\_simulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Direct_numerical_simulation) (2012)
5. Blackwell, J.A.: Scale effects on supercritical airfoils. In: Proceedings of ICAS, pp. 370–283 (1978)
6. Cebeci, T.: Analysis of Turbulent Flows. Elsevier, Amsterdam (2004)
7. Cook, P.H., McDonald, M.A., Firmin, M.C.P.: Aerofoil RAE 2822—pressure distributions, and boundary layer and wake measurements. In: AGARD-138 (1979)
8. Drela, M., Giles, M.B.: Viscous-inviscid analysis of transonic and low Reynolds number airfoils. AIAA J. **25**(10), 1347–1355 (1987). doi:10.2514/3.9789
9. Farokhi, S.: Aircraft Propulsion, 2nd edn. Wiley, Chichester, UK (2014)
10. Ferrari, C., Tricomi, F.G.: Transonic Aerodynamics. Academic Press, New York (1968)
11. Keener, J.P.: Principles of Applied Mathematics. Westview Press, Boulder (1999)
12. Launder, B.E., Spalding, D.B.: Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, London (1972)
13. Mohammadi, B., Pironneau, O.: Analysis of the K-epsilon Turbulence Model. Wiley, Chichester, UK (1994)
14. Prandtl, L.: Über die ausgebildete turbulenz. In: Proceedings of the Second International Congress of Applied Mechanics, pp. 62–75. Orell Füssli Verlag, Zurich (1927)
15. Reynolds, O.: On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion. Philos. Trans. R. Soc. Lond. **186**, 123–164 (1895)
16. Ruijgrok, G.J.J.: Elements of Airplane Acoustics. Eburon, Delft (2003)
17. Schlichting, H., Gestern, K.: Boundary Layer Theory, 8th edn. Springer, Berlin (1999)
18. Strauss, W.A.: Partial Differential Equations: An Introduction. Wiley, Chichester (1992)
19. Tannehill, J.C., Anderson, D.A., Pletcher, R.H.: Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, 2nd edn. Taylor & Francis, Philadelphia (1997)
20. Van Muijden, J., Broekhuizen, A.J., Van der Wees, A.J., Van der Vooren, J.: Flow analysis and drag prediction for transonic transport wing/body configurations using a viscous-inviscid interaction type method. In: Proceedings of the 19th ICAS Congress. Anaheim, California (1994)
21. Van Wylen, G., Sonntag, R.: Fundamentals of Classical Thermodynamics. Wiley, Chichester, UK (1973)
22. Wilcox, D.: Turbulence Modeling for CFD, 2nd edn. DCW Industries, Canada (1998)

## Kaynaklar

1. Farokhi, S.: Aircraft Propulsion, 2nd edn. Wiley, Chichester, UK (2014)
2. Ferri, A.: Elements of Aerodynamics of Supersonic Flows. Macmillan Company, New York (1949)
3. Hoak, D.E., Anderson, R., Goss, C.R.: USAF Stability and Control Datcom, Air Force Wright Aeronautical Laboratories. Wright Patterson Air Force Base, Ohio (1978)
4. Laitone, E., Pardee, O.: Location of Detached Shock Wave in Front of a Body Moving at Supersonic Speeds. NACA RM A7B10 (1947)
5. Liepmann, H.W., Roshko, A.: Elements of Gas Dynamics. Wiley, New York (1957)
6. McDevitt, J.B.: A correlation by means of transonic similarity rules of experimentally determined characteristics of a series of symmetrical and cambered wings of rectangular plan form. NACA-TR-1253 (1955)
7. Moeckel, W.E.: Approximate Method for Predicting Form and Location of Detached Shock Waves Ahead of Plane or Axially Symmetric Bodies. NACA TN 1921 (1949)
8. Raymer, D.P.: Aircraft Design: A Conceptual Approach. AIAA, Washington (1989)
9. Shapiro, A.H.: The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow. Ronald Press, New York (1953)
10. Stack, J., Lindsey, W.F., Littell, R.E.: The Compressibility Burble and the Effect of Compressibility on Pressures and Forces Acting on an Airfoil. NACA TR 646 (1939)
11. Stanton, T.E.: A high speed wind channel for tests on aerofoils, Technical Report for the Aeronautical Research Committee for the year 1927–1928, T&M 1130 (1928)
12. Tinoco, E.N.: CFD applications to complex configurations: a survey. In: Henne, P. (ed.) Applied Computational Aerodynamics, Chap. 15. AIAA, Washington (1990)

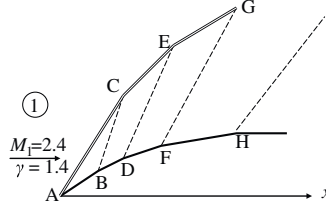
## Kaynaklar

1. Anderson, J.: Modern Compressible Flow with Historic Perspective, 3rd edn. McGraw Hill, New York (2003)
2. Anon.: Equations, Tables, and Charts for Compressible Flow. NACA TM 1135, Moffett Field (1953)
3. Krasnov, N.F.: Aerodynamics of Bodies of Revolution. Elsevier Publication, New York (1970)
4. Liepmann, H.W., Bryson, A.E.: Transonic flow past wedge sections. J. Aeronaut. Sci. 17(12), 745 (1950)
5. Liepmann, H.W., Roshko, A.: Elements of Gas Dynamics. Wiley, New York (1957)
6. Shapiro, A.H.: The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow. Ronald Press, New York (1953)
7. Taylor, G.I., Maccoll, J.W.: The air pressure on a cone moving at high speed. In: Proceedings of Royal Society, vol. 139. London (1933)



5.21 AC, CE ve EG segmentlerinin şok açılarını tahmin etmek için eğimli (dışbükey) bir gövdeye ABDF'ye kafes noktası yöntemini uygulayın. Gövde açılarının şu şekilde olduğu bilinmektedir:

Gövde açısı (der)	A	B	D	F
$\theta$	12	8	6	4



## Kaynaklar

1. Anderson, J.: Modern Compressible Flow with Historic Perspective, 3rd edn. McGraw Hill, New York (2003)
2. Anon: Equations, Tables, and Charts for Compressible Flow. NACA TM 1135, Moffett Field, CA (1953)
3. Ferri, A.: Elements of Aerodynamics of Supersonic Flows. Macmillan Company, New York (1949)
4. Krasnov, N.F.: Aerodynamics of Bodies of Revolution. Elsevier Publication, New York (1970)
5. Liepmann, H.W., Roshko, A.: Elements of Gas Dynamics. Wiley, New York (1957)
6. Prandtl, L., Busemann, A.: Näherungsverfahren zur Zeichnerischen Ermittlung von Ebenen Strömungen mit Überschallgeschwindigkeit. Stodola Festschrift p. 499 (1929)
7. Shapiro, A.H.: The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow. Ronald Press, New York (1953)
8. Shapiro, A.H., Edelman, G.M.: Method of characteristics for two-dimensional supersonic flow graphical and numerical procedure. J. Appl. Mech. 14(2), A-154 (1947)
9. Taylor, G.I., Maccoll, J.W.: The air pressure on a cone moving at high speed. Proc. R. Soc. Lond. 139, 298-311 (1933)

## Kaynaklar

1. Abernathy, F.H.: Fundamentals of boundary layers. In: Illustrated Experiments in Fluid Mechanics. National Committee for Fluid Mechanics Films. Cambridge (1970)
2. Adams, R.A.: Calculus: A Complete Course, 4th edn. AddisonWesley Longman Ltd., Reading (1999)
3. Anderson, J.: Fundamentals of Aerodynamics, 5th edn. McGraw Hill, New York (2010)
4. Ashley, H., Landahl, M.: Aerodynamics of Wings and Bodies. AddisonWesley, Reading (1965)
5. Babinsky, H., Délerly, J.: Transonic shock-wave-boundary-layer interactions. In: Shock-Wave Boundary-Layer Interactions, pp. 87–136. Cambridge University Press, Cambridge (2011)
6. Bauer, A.B., Smith, A.M., Hess, J.L.: Potential flow and boundary layer theory as design tools in aerodynamics. *Can. Aeronaut. Space J.* **16**(2), 53–69 (1970)
7. Braslow, A.: A History of Suction-Type Laminar-flow Control with Emphasis on Flight Research. NASA, Washington (1999)
8. Chan, Y.: An Experimental Study of the Transonic Equivalence Rule with Lift. Aeronautical report LR-609. National Aeronautical Establishment. National Research Council of Canada, Ottawa (1982)
9. Chan, Y.: An Experimental Study of the Transonic Equivalence Rule with Lift, Part II. Aeronautical report LR-614. National Aeronautical Establishment. National Research Council of Canada, Ottawa (1984)
10. Clauser, F.H.: The turbulent boundary layer. *J. Aeronaut. Sci.* **21**, 91–108 (1954)
11. Coles, D.E.: The law of the wake in the turbulent boundary layer. *J. Fluid Mech.* **1**, 191–226 (1956)
12. Coles, D.E., Hirst, E.A.: Computation of turbulent boundary layers. In: Proceedings of the AFOSR-IFP Stanford Conference, vol. 2. Stanford University, Stanford (1968)
13. Corke, T.C., Post, M.L., Orlov, D.M.: SDBD plasma enhanced aerodynamics: concepts, optimization and applications. *Prog. Aerosp. Sci.* **43**(7–8), 193–217 (2007). doi:10.1016/j.paerosci.2007.06.001
14. da Dosta, A.L.: Application of computational aerodynamics methods to the design and analysis of transport aircraft. In: Proceedings of ICAS, vol. 2, pp. 261–269 (1978)
15. Das, D.K.: A simple theory for calculating turbulent boundary layers under arbitrary pressure gradients. *Int. J. Eng. Fluid Mech.* **1**, 83–99 (1988)
16. Delery, J.: Shock-wave boundary-layer interactions. In: Babinsky, H., Harvey, J. (eds.) *Physical Introduction*, Chap. 2, pp. 5–86. Cambridge University Press, New York (2011)
17. Donlan, C.J.: An Assessment of the Airplane Drag Problem at Transonic and Supersonic Speeds. NACA-RM-L54F16, Washington (1954)
18. Drela, M., Giles, M.B.: Viscous-inviscid analysis of transonic and low Reynolds number airfoils. *AIAA J.* **25**(10), 1347–1355 (1987). doi:10.2514/3.9789
19. Felsch, K. O., Geropp, D., Waltz, A.: Method for turbulent boundary layer prediction. In: Proceedings of the Stanford Conference on the Computation of Turbulent Boundary Layers, pp. 170–176 (1968)
20. Ferri, A.: Elements of Aerodynamics of Supersonic Flows. Macmillan Company, New York (1949)
21. Fick, A.: Ueber diffusion. *Annalen der Physik* **170**(1), 59–86 (1855)
22. Gersten, K.: AGARD Report 299: Corner interference effects (1959)
23. Gleyzes, C.J., Cousteix, Bonnet, J.L.: Theoretical and experimental study of low Reynolds number transitional separation bubbles. In: Conference on Low Reynolds Number Airfoil Aerodynamics, pp. 137–152 (1985)
24. Goodmanson, L., Gratzler, L.: Recent advances in aerodynamics for transport aircraft. In: 9th Annual Meeting and Technical Display, Annual Meeting. American Institute of Aeronautics and Astronautics (1973). doi:10.2514/6.1973-9

25. Hicks, R.M., Hopkins, E.J.: Effects of Spanwise Variation of Leading-Edge Sweep on the Lift, Drag, and Pitching Moment of a Wing-Body Combination at Mach Numbers from 0.7 to 2.94, NASA TN D-2236, Moffett Field (1964)
26. Hoerner, S.F.: Fluid Dynamic Drag. Hoerner Fluid Dynamics (1965)
27. Johnson, H.A., Rubesin, M.W.: Aerodynamic heating and convective heat transfer—summary of literature survey. *Trans. ASME* **71**, 447–456 (1949)
28. Kegelman, J.T., Mueller, T.J.: Experimental studies of spontaneous and forced transition on an axisymmetric body. *AIAA J.* **24**(3), 397–403 (1986)
29. Kotsonis, M., Giepmans, R., Hulshoff, S., Veldhuis, L.: Numerical study of the control of Tollmien-Schlichting waves using plasma actuators. *AIAA J.* **51**(10), 2353–2364 (2013). doi:10.2514/1.J051766
30. Kreyszig, E.: *Advanced Engineering Mathematics*. Wiley, New York (1988)
31. Kutney, J.T., Piszkin, S.P.: Reduction of drag rise on the Convair 990 airplane. *J. Aircr.* **1**(1), 8–12 (1964)
32. Kutney Sr, J.: The inside story of the Convair 990 the fastest subsonic airliner in the world. In: *Proceedings of AIAA Joint Propulsion Conference and Exhibit, July*, pp. 1–18. AIAA-2007-5338 (2007)
33. Kuz'min, A.G.: *Boundary-Value Problems for Transonic Flow*. Wiley, Chichester (2002)
34. Laufer, J., Vrebalovich, T.: Stability and transition of a supersonic laminar boundary layer on an insulated flat plate. *J. FluidMech.* **9**(2), 257–299 (1960). doi:10.1017/S0022112060001092
35. Lees, L.: *The Stability of the Laminar Boundary Layer in a Compressible Fluid*. NACA TN 1360. Langley Field, Virginia (1947)
36. Liepmann, H.W.: The interaction between boundary layer and shock waves in transonic flow. *J. Aeronaut. Sci.* **13**(12), 103–138 (1946)
37. Liepmann, H.W., Roshko, A.: *Elements of Gas Dynamics*. Wiley, New York (1957)
38. Little Jr., B.H.: Advantages and problems of large subsonic aircraft. In: *AGARD-LS-37-High Reynolds Number Subsonic Aerodynamics*. AGARD (1970)
39. Lobb, R.K., Winkler, E.M., Persh, J.: Experimental investigation of turbulent boundary layers in hypersonic flow. *J. Aeronaut. Sci.* **22**(1), 1–9 (1955)
40. MacWilkinson, D.G., Blackerby, W.T., Paterson, J.H.: February correlation of full-scale drag predictions with flight measurements of the C141A aircraft—phase II. *Wind Tunnel Test, Analysis, and Prediction Techniques*, NASA CR-2333, Marietta (1974)
41. Moulden, T.H.: *Fundamentals of Transonic Flow*. Wiley, New York (1984)
42. Nikuradse, J.: *Stromungsgesetze in rauhen Röhren*. *Forsch. Arb. Ing.-Wes.*, p. 631 (1933)
43. Obert, E.: *Aerodynamic Design of Transport Aircraft*. IOS Press, Delft (2009)
44. Pfenniger, W.: Laminar flow control—laminarization. In: *Special Course on Concepts for Drag Reduction*, pp. 3.1–3.75. AGARD R-654 (1977)
45. Reynolds, O.: On the experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and the law of resistance in parallel channels. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A* **174**, 935–982 (1883)
46. Rubesin, M.W., Maydew, R.C., Varga, S.A.: *An Analytical and Experimental Investigation of the Skin Friction of the Turbulent Boundary Layer on a Flat Plate at Supersonic Speeds*. NACA TN 2305. Moffett Field, California (1951)
47. Saric, W.S., Reed, H.L., White, E.B.: Stability and transition of three-dimensional boundary layers. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **35**(1), 413–440 (2003). doi:10.1146/annurev.fluid.35.101101.161045
48. Schlichting, H., Gestern, K.: *Boundary Layer Theory*, 8th edn. Springer, Berlin (1999)
49. Schlichting, H., Truckenbrot, E.: *Aerodynamik des Flugzeuges*. Springer, Heidelberg (1960)
50. Shapiro, A.H.: *The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow*. Ronald Press, New York (1953)

51. Shapiro, A.H.: Pressure fields and fluid acceleration. In: Illustrated Experiments in Fluid Mechanics. National Committee for Fluid Mechanics Films. Cambridge (1962)
52. Smith, A., Gamberoni, N.: Transition, Pressure Gradient, and Stability Theory. Douglas Aircraft Company, Rept. ES 26388 (1956)
53. Sommer, S.C., Short, B.J.: Free-Flight Measurements of Turbulent-Boundary-Layer Skin Friction in the Presence of Severe Aerodynamic Heating at Mach Numbers from 2.8 to 7.0. NACA TN 3391, Moffett Field (1955)
54. Spalding, D.B.: A single formula for the law of the wall. *J. Appl. Mech.* **28**, 455–457 (1961)
55. Tannehill, J.C., Anderson, D.A., Pletcher, R.H.: Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, 2nd edn. Taylor & Francis, Philadelphia (1997)
56. Thwaites, B.: Approximate calculation of the laminar boundary layer. *Aeronaut. Q.* **1**, 245–280 (1949)
57. Torenbeek, E., Wittenberg, H.: Generalized maximum specific range performance. *J. Aircr.* **20**(7), 617–622 (1983)
58. Van Driest, E.R.: Turbulent boundary layer in compressible fluids. *J. Aeronaut. Sci.* **18**(3), 145–160 (1951)
59. Van Driest, E.R.: Investigation of Laminar Boundary Layer in Compressible Fluids Using the Crocco Method. NACA TN 2597, Washington (1952)
60. van Ingen, J.L.: A Suggested Semi-Empirical Method for the Calculation of the Boundary-Layer Transition Region. TU Delft, Report VTH-74, Delft (1956)
61. van Ingen, J.L.: The eN method for transition prediction. Historical review of work at TU Delft. In: 38th Fluid Dynamics Conference and Exhibit, pp. 1–49. Seattle (2008)
62. von Kármán, T.: Über laminare und turbulente Reibung. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* **1**(4), 233–252 (1921)
63. Wallace, L.E.: The Whitcomb area rule: NACA aerodynamics research and innovation. In: Mack, P.E. (ed.) From Engineering Science to Big Science, Chap. 5. National Aeronautics and Space Administration, History Office, Washington (1998)
64. Wazzan, A.R., Gazley Jr. C., Smith, A.: H-Rx method for predicting transition. *J. Aircr.* **19**(6), 810–812 (1981)
65. Whitcomb, R.T.: A study of the zero-lift drag-rise characteristics of wing-body combinations near the speed of sound. NACA TR 1273 (1956)
66. White, F.M.: The stability of laminar flows. In: *Viscous Fluid Flow*, 2 edn. New York (1991)
67. Whitfield, D.: Integral Solution of Compressible Turbulent Boundary Layers Using Improved Velocity Profiles, Arnold Engineering Development Center AEDC-TR-78-42. Arnold Air Force Station, Tennessee (1978)
68. Whitford, R.: Chapter 3: fuselage design. In: *Design for Air Combat*, pp. 148–160. Jane's, London (1987)
69. Wickens, R.H.: Aerodynamic design of low-drag fuselages. *Can. Aeronaut. Space J.* **36**(4), 189–201 (1990)

## Kaynaklar

1. Abbott, I.H., von Doenhoff, A.E.: Theory of Wing Sections. Dover Publications, New York (1959)
2. Anderson, J.: Modern Compressible Flow with Historic Perspective, 3rd edn. McGraw Hill, New York (2003)
3. Anderson, J.: Fundamentals of Aerodynamics, 5th edn. McGraw Hill, New York (2010)
4. Anon.: The supercritical airfoil. NASA TF-2004-13 DFRC (2004)
5. Axelson, J.A.: Estimation of transonic aircraft aerodynamics to high angles of attack. AIAA paper 75-996, Los Angeles (1975)
6. van den Berg, B.: Reynolds number and Mach number effects on the maximum lift and the stalling characteristics of wings at low speed. NLR TR 69025 U, Amsterdam (1969)
7. Blackerby, W., Johnson, J.: Application of advanced technologies to improve C-141 cruise performance. In: 17th Aerospace Sciences Meeting. AIAA 79-0066, New Orleans (1979)
8. Boerstoeel, J.W., Uijlenhoet, R.: Lifting aerofoils with supercritical shockless flow. In: Proceedings of ICAS (1970)
9. Carpentieri, G.: An adjoint-based shape-optimization method for aerodynamic design. Ph.D. thesis, Delft University of Technology (2009)
10. Drela, M., Giles, M.B.: Viscous-inviscid analysis of transonic and low Reynolds number airfoils. AIAA J. **25**(10), 1347–1355 (1987). doi:10.2514/3.9789
11. Emmons, H.W.: The theoretical flow of a frictionless, adiabatic, perfect gas inside of a two-dimensional hyperbolic nozzle. NACA TN 1003 (1946)
12. Fischenberg, D., Jategaonkar, R.V.: Identification of aircraft stl behavior from flight test data. In: RTO SCI Symposium on "System Identification for Integrated Aircraft Development and Flight Testing". RTO MP-11, Madrid, Spain (1998)
13. Flaig, A., Hilbig, R.: High-lift design for large civil aircraft. In: AGARD Conference Proceedings CP-515, pp. 31.1–31.12. AGARD (1993)
14. Gibb, J.: The cause and cure of periodic flows at transonic speeds. In: Proceedings of ICAS, pp. 1522–1530. ICAS-88-3.10.1 (1988)
15. Giles, M.B., Drela, M.: Two-dimensional transonic aerodynamic design method. AIAA J. **25**(9), 1199–1206 (1987). doi:10.2514/3.9768
16. Göthert, B.: Widerstandsanstieg bei Profilen im Bereich hoher Unterschallgeschwindigkeiten, Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V. Untersuchungen und Mitteilungen Nr. 1167 (1944)
17. Harris, C.D.: NASA supercritical airfoils; a matrix of family related airfoils. NASA TP2969, Langley (1990)
18. Hemenover, A.D.: Tests of the NACA 64-010 and 64A010 airfoil sections at high subsonic Mach numbers. NACA-RM-A9E31. Moffett Field (1949)
19. Hoak, D.E., Anderson, R., Goss, C.R.: USAF Stability and Control Datcom. Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Wright Patterson Air Force Base, Ohio (1978)
20. Iovnovich, M., Raveh, D.E.: Reynolds-averaged Navier-Stokes study of the shock-buffet instability mechanism. AIAA J. **50**(4), 880–890 (2012). doi:10.2514/1.J051329
21. Jameson, A., Ou, K.: 50 years of transonic aircraft design. Prog. Aerosp. Sci. **47**(5), 308–318 (2011). doi:10.1016/j.paerosci.2011.01.001
22. Johnson, D.A., Spaid, F.W.: Supercritical airfoil boundary-layer and near-wake measurements. J. Aircr. **20**(4), 298–305 (1983)
23. Kacprznski, J., Ohman, L.H., Garabedian, P.R., Korn, D.G.: Analysis of the Flow Past a Shockless Lifting Airfoil in Design and Off-Design Conditions. NRCC LR-554, Ottawa (1971)
24. Laitone, E.: Local supersonic region on a body moving at subsonic speeds. In: Oswatitish, K. (ed.) Symposium Transsonicum, vol. I, pp. 57–70. Springer, Heidelberg (1964)



25. LeBalleur, J.C., Girodroux-Lavigne, P.: Viscous-inviscid strategy and computation of transonic buffet. In: Zierep, J., Oertel, H. (eds.) *Symposium Transsonicum III*. IUTAM, pp. 49–63. Springer, Berlin (1988)
26. Lee, B.: Self-sustained shock oscillations on airfoils at transonic speeds. *Prog. Aerosp. Sci.* **37**(2), 147–196 (2001). doi:10.1016/S0376-0421(01)00003-3
27. Lin, C.C., Rubinov, S.I.: On the flow behind curved shocks. *J. Math. Phys.* **27**(2), 105–129 (1948)
28. Maki, R., Hunton, L.: Investigation at subsonic speeds of several modifications to the leading-edge region of the NACA 64A010 airfoil section designed to increase maximum lift. NACA TN 3871. Moffett Field (1956)
29. Mayer, J.P.: Alimit pressure coefficient and an estimation of limit forces on airfoils at supersonic speeds. NACA RM L8F23, Langley Field (1948)
30. McCullough, G.B., Gault, D.E.: Examples of three representative types of airfoil-section stol at low speed. NACA TN 2502. Moffett Field (1951)
31. McGhee, R., Beasley, W.: Low-speed aerodynamic characteristics of a 17%-thick-airfoil section for general aviation applications. NASA TN-D-7428. Hampton (1973)
32. Nieuwland, G.Y., Spee, B.M.: Transonic airfoils: recent developments in theory, experiment, and design. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **5**, 119–150 (1973)
33. Obert, E.: *Aerodynamic Design of Transport Aircraft*. IOS Press, Delft (2009)
34. Pearcey, H.H.: Some Effects of Shock-induced Separation of Turbulent Boundary Layers in Transonic Flow Past Aerofoils. National Physics Laboratory R&M 3108 (1955)
35. Pearcey, H.H.: The aerodynamic design of section shapes for swept wings. *Adv. Aeronaut. Sci.* **3**, 277–322 (1963)
36. Ringleb, F.: Exakte Loesungen der Differentialgleichungen einer adiabatischen Gasstroemung. *Zeitschrift fur angewandte Mathematik und Mechanik* **20**(4), 185–198 (1940)
37. Roskam, J.: *Airplane Design, Part 6: Preliminary Calculation of Aerodynamic, Thrust and Power Characteristics*. DARcorp, Lawrence (2006)
38. Smith, A.M.O.: High-lift aerodynamics. *J. Aircr.* **12**(6), 501–530 (1975)
39. Sobieczky, H., Seebass, A.R.: Supercritical airfoil and wing design. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **16**, 337–363 (1984)
40. Spreiter, J.R., Steffen, P.J.: Effect of Mach and Reynolds numbers on maximum lift coefficient. NACA TN 1044 (1946)
41. Standish, K.J., van Dam, C.P.: Aerodynamic analysis of blunt trailing edge airfoils. *J. Sol. Energy Eng.* **125**(4), 479 (2003). doi:10.1115/1.1629103
42. Stanewsky, E., Basler, D.: Mechanism and Reynolds Number Dependence of Shock-Induced Buffet on Transonic Airfoils. In: Zierep, J., Oertel, H. (eds.) *Symposium Transsonicum III*. IUTAM. Springer, Berlin (1988)
43. Tijdeman, H., Seebass, A.R.: Transonic flow past oscillating airfoils. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **12**, 181–222 (1980)
44. Torenbeek, E.: *Elements of aerodynamic wing design*. *Advanced Aircraft Design*, Chap. 10. Wiley, Chichester (2013)
45. Viken, J., Wagner, R.D.: Design limits of compressible NLF airfoils. In: 29th Aerospace Sciences Meeting. AIAA-91-0067, Reno (1991). doi:10.2514/6.1991-67
46. Vogelaar, H.: Wind-tunnel investigation on the two-dimensional F-29 model 12-1 airfoil section with various high lift devices at various Mach and Reynolds numbers. NLR TR 83059C (1983)
47. Whitcomb, R.T., Clark, L.R.: An Airfoil Shape for Efficient Flight at Supercritical Mach Numbers. NASA TM X-1109. Langley (1965)

## Kaynaklar

1. Abbott, I.H., von Doenhoff, A.E.: Theory of Wing Sections. Dover Publications, New York (1959)
2. Adler, A.: Effects of Combinations of Aspect Ratio and Sweepback at High Subsonic Mach Numbers. NACA RM L7C24, Langley Field (1947)
3. Aly, S., Ogot, M., Pelz, R., Siclari, M.: Jig-shape static aeroelastic wing design problem: a decoupled approach. *J. Aircr.* **39**(6), 1061–1066 (2002). doi:10.2514/2.3035
4. Anderson, J.: Fundamentals of Aerodynamics, 5th edn. McGraw Hill, New York (2010)
5. Anderson, J.D.: Introduction to Flight. McGraw Hill, New York (2000)
6. Anon.: Transonic data memorandum; method for predicting the pressure distribution on swept wings with subsonic attached flow. ESDU TM 73012, London (1973)
7. Anon.: Airbus Industrie A 310. *L'Aeronautique et L'Astronautique* **6**(91), 15 (1981)
8. Anon.: Fact Sheets: X29. [www.nasa.gov/centers/dryden](http://www.nasa.gov/centers/dryden) (2008)
9. Arnal, D., Casalis, G.: Laminar-turbulent transition prediction in three-dimensional flows. *Prog. Aerosp. Sci.* **36**, 173–191 (2000)
10. Bendiksen, O.O.: Transonic limit cycle flutter of high-aspect-ratio swept wings. *J. Aircr.* **45**(5), 1522–1533 (2008). doi:10.2514/1.29547
11. Bendiksen, O.O.: Influence of shocks on transonic flutter of flexible wings. In: Proceedings of the 50th AIAA/ASME/AHS/ACS Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, AIAA 2009-2313, pp. 1–29. Palm Springs, CA, May 2009. doi:10.2514/6.2009-2313
12. Bergrun, N.R.: An Empirically Derived Basis for Calculating the Area, Rate, and Distribution of Water-Drop Impingement on Airfoils. NACA TR 1107 (1952)
13. Biao, Z., Zhide, Q., Chao, G.: Transonic flutter analysis of an airfoil with approximate boundary method. In: Grant, I. (ed.) Proceedings of the 26th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. ICAS 2008-7.10.5 (2008)
14. Bisplinghof, R.L., Ashley, H., Halfman, R.: Aeroelasticity. Dover Publications, Mineola, New York (1996)
15. Boyne, W.J.: Boeing B-52: A Documentary History. Smithsonian Institution Press, Washington (1981)
16. Broadbent, E.G., Mansfield, O.: Aileron Reversal and Wing Divergence of Swept Wings, ARC Technical Report R&M 2817, London (1954)
17. Chambers, J.R.: Concept to Reality: Contributions of the NASA Langley Research Center to U.S. Civil Aircraft of the 1990s. SP 2003-4529, NASA (2003)
18. Collar, A.R.: The first fifty years of aeroelasticity. *Aerospace* **5**(2), 12–20 (1978)
19. Deyhle, H., Bippes, H.: Disturbance growth in an unstable three-dimensional boundary layer and its dependence on environmental conditions. *J. Fluid Mech.* **316**(1), 73–113 (1996). doi:10.1017/S0022112096000456
20. Dowell, E.H., Hall, K.C., Thomas, J.P., Kielb, R.E., Spiker, M.A., Li, A., Charles, M., Denegri, J.: Reduced order models in unsteady aerodynamic models, aeroelasticity and molecular dynamics. In: Grant, I. (ed.) Proceedings of the 26th International Congress of the Aeronautical Sciences. ICAS 2008-0.1 (2008)
21. Drela, M., Giles, M.B.: Viscous-inviscid analysis of transonic and low Reynolds number airfoils. *AIAA J.* **25**(10), 1347–1355 (1987). doi:10.2514/3.9789
22. Dusto, A.R.: An analytical method for predicting the stability and control characteristics of large elastic airplanes at subsonic and supersonic speeds, part I—analysis. In: *Aeroelastic Effects from a Flight Mechanics Standpoint*, vol. 46. AGARD (1970)
23. Dykins, D.H., Jupp, J.A., McRae, D.M.: Esso energy award lecture, 1987. Application of aerodynamic research and development to civil aircraft wing design. *Proc. R. Soc. Ser. A. Math. Phys. Sci.* **416**(1850), 43–62 (1988)
24. Garrick, I.E., Rubinov, S.I.: Flutter and Oscillating Air-Force Calculations for an Airfoil in a Two-Dimensional Supersonic Flow. NACA Report No. 846, Langley Research Center, Hampton Virginia (1946)

25. Gere, J.M., Timoshenko, S.P.: *Mechanics of Materials*, 4th edn. Stanley Thornes Ltd, Cheltenham (1972)
26. Giles, M.B., Drela, M.: Two-dimensional transonic aerodynamic design method. *AIAA J.* **25**(9), 1199–1206 (1987). doi:10.2514/3.9768
27. Görtler, H.: Über eine dreidimensionale Instabilität laminarer Grenzschichten an konkaven Wänden. *Ges. d. Wiss. Göttingen, Nachr. a. d. Math.* **2**(1) (1940)
28. Hadcock, R.: X-29 composite wing. In: *Presented at the American Institute of Aeronautics and Astronautics Symposium on the Evaluation of Aircraft/Aerospace Structures and Materials*. Air Force Museum, Dayton, Ohio (1985)
29. Hall, M.G.: *Transonic flows*. In: *Proceedings of IMA Conference on Numerical Methods and Problems in Aeronautical Fluid Mechanics*. Academic Press (1975)
30. Harper, C.W., Maki, R.L.: A Review of the Stoll Characteristics of Swept Wings. *NACA TN D-2373* (1964)
31. Hoak, D.E., Anderson, R., Goss, C.R.: *USAF Stability and Control Datcom*. Air Force Wright Aeronautical Laboratories, Wright Patterson Air Force Base, Ohio (1978)
32. Hunton, L.W.: A study of the application of airfoil section data to the estimation of the high-subsonic- speed characteristics of swept wings. *NACA-RM-A55C23* (1955)
33. Jenkinson, L.R., Simpkin, P., Rhodes, D.: *Civil Jet Aircraft Design*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA (1999)
34. Jenks, M.: The Boeing 787 dreamliner programme. In: Grant, I. (ed.) *Proceedings of the 26th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences*. ICAS 2008-0.8 (2008)
35. Johnson, R.: *Minimum Drag Coefficient of Wings*. RAND RM-604, Santa Monica (1951)
36. Kehoe, M.W., Freudinger, L.C.: *Aircraft Ground Vibration Testing at the NASA Dryden Flight Research Facility*. Technical Memorandum 104275, NASA (1993)
37. Kuechemann, D.: The distribution of lift over the surface of swept wings. *Aeronaut. Q.* **4**, 261–278 (1953)
38. Kuechemann, D.: *The Aerodynamic Design of Aircraft*. Pergamon Press, Oxford (1978)
39. Kuechemann, D., Weber, J.: *The Subsonic Flow Past Swept Wings at Zero Lift Without and With Body*. Aeronautical Research Council Reports and Memoranda 2908, London (1956)
40. Kuzmina, S., Karas, O., Ishmuratov, F., Zichenkov, M., Chedrik, V.: Analysis of static and dynamic aeroelastic characteristics of airplane in transonic flow. In: Grant, I. (ed.) *Proceedings of ICAS 2012*, pp. 1–10. Brisbane, Australia (2012)
41. Livne, E.: Future of airplane aeroelasticity. *J. Aircr.* **40**(6), 1066–1092 (2003). doi:10.2514/2.7218
42. Meier, G.E.A.: Unsteady phenomena. In: Zierep, J., Oertel, H. (eds.) *Symposium Transsonicum III*, IUTAM, pp. 441–464. Springer, Berlin (1988)
43. Nelson, H.C., Berman, J.H.: Calculations on the Forces and Moments for an Oscillating Wing-Aileron combination in Two-Dimensional Potential Flow at Sonic Speed. *NACA TN 2590*. Langley Research Center, Hampton (1952)
44. Newberry, C.E.: Consideration of stability augmentation systems for large elastic aircraft. In: *Aeroelastic Effects from a Flight Mechanics Standpoint*, vol. 46. AGARD (1970)
45. Obert, E.: *Aerodynamic Design and Aircraft Operation, Part III. Aerodynamics of Combat Aircraft*. Delft University of Technology, Delft (1996)
46. Obert, E.: *Aerodynamic Design of Transport Aircraft*. IOS Press, Delft (2009)
47. Pfenniger, W.: Laminar flow control - laminarization. In: *Special Course on Concepts for Drag Reduction*, AGARD R-654, pp. 3.1–3.75 (1977)
48. Poll, D.I.A.: On the generation and subsequent development of spiral vortex flow over a swept-back wing. In: *AGARD-CP-342*, pp. 6.1–6.14 (1983)
49. Poll, D.I.A.: Some observations of the transition process on the windward face of a long yawed cylinder. *J. Fluid Mech.* **150**, 329–356 (1985). doi:10.1017/S0022112085000155
50. Reed, H., Saric, W.: Stability of three-dimensional boundary layers. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **21**, 235–284 (1989)

51. Ringleb, F.: Some Aerodynamic Relations for an Airfoil in Oblique Flow. NACA TM 1158 (1947)
52. Roskam, J.: Airplane Design, Part 6: Preliminary Calculation of Aerodynamic, Thrust and Power Characteristics. DARcorporation, Lawrence, KS (2006)
53. Ruijgrok, G.J.J.: Elements of Airplane Performance. Delft University Press, Delft, the Netherlands (1989)
54. Saric, W., Reed, H.: Crossflow instabilities—theory&technology. In: 41st Aerospace Sciences Meeting & Exhibit. AIAA 2003-0771, Reno, NV (2003)
55. Saric, W.S.: Görtler vortices. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **26**, 379–409 (1994)
56. Saric, W.S., Reed, H.L., White, E.B.: Stability and transition of three-dimensional boundary layers. *Annu. Rev. Fluid Mech.* **35**(1), 413–440 (2003). doi:10.1146/annurev.fluid.35.101101.161045
57. Schlichting, H., Truckenbrot, E.: Aerodynamik des Flugzeuges. Springer, Heidelberg (1960)
58. Schoernack, W., Hässler, E.: Theoretical investigation of aeroelastic influences on the lift distribution and the aerodynamic derivatives of swept wings at symmetric and antisymmetric stationary flight conditions. In: *Aeroelastic Effects from a Flight Mechanics Standpoint*, vol. 46. AGARD (1970)
59. Shevell, R.S., Kroo, I.: Compressibility drag: 3D effects and sweep. In: *Aircraft Design: Synthesis and Analysis*. Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, CA (1992)
60. Stack, J., Lindsey, W.: Characteristics of Low Aspect Ratio Wings at Supercritical Mach Numbers. NACA TN 1665. Langley Air Force Base (1948)
61. Strauss, W.A.: *Partial Differential Equations, An Introduction*. Wiley, Chichester, UK (1992)
62. Sturdza, P.: *An Aerodynamic Design Method for Supersonic Natural Laminar Flow Aircraft*. Ph.D. thesis, Stanford University (2003)
63. Tempelmann, D.: *Stability and Receptivity of Three-Dimensional Boundary Layers*. Dissertation, Royal Institute of Technology, Sweden (2009)
64. Tjeldeman, H.: *Investigations of the Transonic Flow Around Oscillating Airfoils*. Ph.D. thesis, Delft University of Technology, the Netherlands (1977)
65. Timmons, L.M.: *Improving Business Jet Performance: The Mark Five Sabreliner*. SAE Paper 790582 (1979)
66. Torenbeek, E.: *Synthesis of Subsonic Airplane Design*. Delft University Press, Delft (1976)
67. Van der Wees, A.: *A Nonlinear Multigrid Method for Three-Dimensional Transonic Potential Flow*. Ph.D. thesis, Delft University of Technology, the Netherlands (1988)
68. Van Muijden, J., Broekhuizen, A.J., Van der Wees, A.J., Van der Vooren, J.: Flow analysis and drag prediction for transonic transport wing/body configurations using a viscous-inviscid interaction type method. In: *Proceedings of the 19th ICAS Congress*. Anaheim, California (1994)
69. Weaver, J.H.: A method of wind tunnel testing through the transonic range. *J. Aeronaut. Sci.* **15**(1) (1948)
70. Weber, J.: *The Calculation of the Pressure Distribution over the Surface of Two-Dimensional and Swept Wings with Symmetrical Aerofoil Sections*. Aeronautical Research Council Reports and Memoranda No. 2918 (1953)
71. Weber, J., Kuechemann, D., Brebner, G.: *2882 Low-Speed Tests on 45-deg Swept-Back Wings*, Aeronautical Research Council Reports and Memoranda No. 2882 (1958)
72. Weisshaar, T.A.: *Aircraft Aeroelastic Design and Analysis*. Purdue University, West Lafayette (2009)
73. Wright, J., Cooper, J.: *Introduction to Aeroelasticity and Loads*. Wiley, Chichester, UK (2007)
74. Yates, E.C.: *765 AGARD Standard Aeroelastic Configurations for Dynamic Response I-Wing 445.6*, AGARD Report 765 (1985)
75. Young, A.D., Booth, T.B.: *The Profile Drag of Yawed Wings of Infinite Span*, Cranfield College of Aeronautics Report No. 38 (1950)