

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği İçin Türbülans Modelleri

YAZARLAR

Prof. Dr. M. Salih KIRKGÖZ

Prof. Dr. M. Sami AKÖZ

Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
ADANA



© Copyright 2024

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ye 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.

ISBN

978-625-399-886-8

Kitap Adı

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İçin Türbülans Modelleri

Yazarlar

Mehmet Salih KIRKGÖZ
ORCID iD: 0000-0002-5183-1379

Mevlüt Sami AKÖZ
ORCID iD: 0000-0003-0282-0574

Yayın Koordinatörü

Yasin DİLMEN

Sayfa ve Kapak Tasarımı

Akademisyen Dizgi Ünitesi

Yayıncı Sertifika No

47518

Baskı ve Cilt

Vadi Matbaacılık

Bisac Code

TEC009020

DOI

10.37609/akya.3163

Kütüphane Kimlik Kartı

Kırkgöz, Mehmet Salih. Aköz, Mevlüt Sami.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İçin Türbülans Modelleri / Mehmet Salih Kırkgöz,
Mevlüt Sami Aköz.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2024.

460 s. : tablo, şekil. ; 160x235 mm.

Kaynakça ve Dizin var.

ISBN 9786253998868

1. Teknoloji--Mühendislik.

GENEL DAĞITIM

Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Türbülanslı akışkan akımı, anlaşılabilirlik ve analiz bakımından son derece karmaşık bir doğa olayıdır. Bu nedenle, *türbülanslı akım* çalışmalarında, *teorik analiz*in yanı sıra, *istatistiksel* ve *deneysel yöntemlere* de başvurulması gerekmektedir. Özellikle, başta *havacılık* olmak üzere *endüstride* ve *inşaat, çevre, makine* ve *kimya mühendisliğinde* karşılaşılan *akışkan akımları* çoğunlukla *türbülanslı* olup, *ısı* ve *kütle transferi* gibi oluşumlar bu tür akışkan hareketleriyle yakından ilişkilidir. *Türbülanslı akımların* yapısı üzerinde günümüze dek yapılmış olan birçok deneysel çalışmaya rağmen, türbülans olayının temel mekanizmaları tümüyle aydınlatılabilmemiş değildir ve konu ile ilgili olarak çok sayıda problem halen cevap beklemektedir.

Akışkanlar mekaniği kapsamındaki oluşumlar, aslında öyle bir *güçlülük*le çevrelenmiştir ki, bu bağlamda, araştırmacıların, *akımı idare eden denklemleri* kurmadaki yeteneği bunları çözmedeki becerisinin çok önünde gitmektedir. Bu *güçlük* türbülanslı akımların analizinde büyük bir handikap oluşturmaktadır. *Akımı idare eden denklemlerin kesin* olduğu ve bunların *en küçük türbülans çevrelerine* de uygulanabileceği düşünülebilir. Ancak, *türbülanslı akımın bir-boyutlu* akımda bile daima *üç-boyutlu* davranış göstermesinden dolayı, *akımı idare eden temel denklemler; üç-boyutlu, değişken, nonlinear kısmi diferansiyel denklem* niteliğindedir.

Doğal bir fenomen olan *türbülansın* araştırılması, *geleneksel temel kavramlara* dayanmaktadır. *Akışkan türbülansı* çalışmalarında başlıca iki yol söz konusudur; bunlar, *kesin bilim yöntemi* ve *model yöntemi*dir. *Kesin bilim yöntemi*, *deneysel verilerle* desteklenen ve çözüm için *matematiğin* kullanıldığı *temel fizik kanunlarına* ve *prensiplerine* dayanmaktadır. Diğer taraftan, *modelleme yaklaşımı*, ağırlıklı olarak *deneyselciliğe* (*ampirisizme*) dayanmaktadır. Türbülanslı akımın analizinde, *kesin bilim yöntemi* ve *model yöntemi* bir dereceye kadar birbirinin tamamlayıcısı durumundadır.

Bir *türbülans modeli*, *türbülanslı akım* olgusunu tanımlayan *model denklemlerinin* bir kompozisyonudur. Bu tanımlama, belki, gerçek *türbülansı* tam olarak yansıtmayabilir, fakat ona yeterince yakın olabilecek şekilde *türbülansın faydalı ve basitleştirilmiş* bir doğal tasvirini temsil edebilir. *Modelin doğruluk derecesi* ve türbülanslı akım karakteristiklerini temsil etmedeki yeteneği, *model denklemlerinin* formüle edilmesinde yararlanılan *olayın fiziği* hakkındaki mevcut bilgi birikimine doğrudan bağlıdır.

Aslında, bir **türbülans modeli**, *akışkan türbülansı* hakkındaki mevcut bilgilerin *nitelik ve nicelik* yönünden bir özetini oluşturmaktadır. Buna göre, *deneySEL bulgular* veya *nümerik (sayısal) simülasyonlar* veya *teorik yaklaşımlarda* kaydedilen gelişmelerden beslenen, **yeni kavramlar**la zenginleştirilmiş **türbülanslı akım** ile ilişkilendirilen **matematiksel modeller** sürekli iyileştirme sürecine açık bulunmaktadır.

Günümüzde, **gerçek-akışkan akımının analizi** konusu, **geleneksel matematiksel yaklaşımlardan dijital-bilgisayar simülasyonlarına** doğru evrilen zorlu bir geçiş süreci yaşamaktadır. Deneysel verilerle desteklenen **geleneksel matematiksel sınır-akımı analizi**, bazı yaklaşıklıklar ve basit geometriler ile sınırlı olsa da **viskoz akımlar** hakkında iyi bir ayrıntı verebilmektedir. Diğer taraftan, **bilgisayar modellemesi**, özellikle **sınır-tabakası-olmayan** problemlere de başarı ile uygulanabilmekte, fakat **daha az vukuf** vermekte ve başarı düzeyi **grid-depolaması** ve **kesme-hassasiyeti** ile sınırlı kalmaktadır. Üstelik, **hesaplamalı türbülans modellemesi** belirgin **fiziksel ve geometrik** limitasyonlara sahiptir.

Süper-bilgisayarların gelişimi ile birlikte, **araştırmacılar** ve **uygulamacı mühendisler**, **tamamen teorik olan yaklaşımları pratiğe dönük tahmin yöntemlerine** ulaştıramaması nedeniyle, **detaylı analitik yöntem çalışmalarını** terk etme eğilimine girmişlerdir. Dolayısıyla, türbülanslı akım çalışmaları ile ilgili olan mevcut **teoriler ve modeller** arasında, **nümerik tahminler**, **pratikte giderek artan önemi** nedeniyle, daha fazla tercih edilmektedir.

Bu kitapta, **türbülanslı akımın temel teorisi** ve **Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)** uygulamaları için geliştirilmiş olan **türbülans kapatma modelleri** hakkında bilgi sunulmaktadır. Kitabın son bölümünde; **Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü**'nde son yıllarda yapılmış olan bazı tipik **HAD** çalışmalarından örnekler verilmektedir. Kitapta, **türbülans kapatma modellerinin** adlandırılması dışında, konu ile ilgili deyimlerin mümkün olduğunca **Türkçe** olarak kullanımına gayret edilmiştir.

İçerik itibarıyla, bir **lisansüstü HAD dersi** ve **pratikteki mühendisler için kaynak** niteliğinde olabilecek bu kitabın, konu ile ilgilenen **akademisyenler**, **öğrenciler** ve **uygulamacı mühendisler** için faydalı olmasını diliyoruz.

Haziran, 2024
Adana

Prof. Dr. M. Salih KIRKGÖZ
Prof. Dr. M. Sami AKÖZ

skirkgoz@cukurova.edu.tr
msa@cukurova.edu.tr

SİMGELER

A	Yüzey alanı
a_i	Tansör notasyonu ile ivme
a_{ij}, b_{ij}	Reynolds-gerilmesi anizotropi tansörü
b.z.	Birim zaman
C_n	Courant sayısı
C_μ	Model sabiti
C_{ij}	Çapraz-terim gerilmeleri
c	Madde konsantrasyonu
c_f	Lokal yüzey sürtünme katsayısı
D	Difüzyon katsayısı (Kütle difüzyon katsayısı, Moleküler difüzyon katsayısı)
D_t	Türbülanslı difüzyon katsayısı (Türbülanslı kütle difüzyon katsayısı)
DNS	Direkt nümerik simülasyon (<i>Direct numerical simulation</i>)
E	Depolanmış enerji
$E(\kappa), E(f)$	Her bir dalga için türbülans kinetik enerji
F	Hacim fraksiyonu
F_{kleb}	Klebanoff aralıklılık (<i>intermittency</i>) fonksiyonu
F_{ij}	Sistem rotasyon terimi
F_1, F_2	Karıştırma (<i>Blending</i>) fonksiyonu
Fr	Froude sayısı
FVM	Finite volume method (Sonlu hacimler yöntemi)
f	Frekans, Damping fonksiyonu
f_i	Kütle difüzyon akısı, Birim kütle için kütle kuvvet
f_μ	C_μ için damping fonksiyonu
G	Şekil faktörü
Gr	Grashof sayısı
G_{ij}	Kaldırıcı üretim terimi
GCI	Grid convergence index (Grid yakınsama indeksi)
g	Yerçekimi ivmesi
$H(x)$	Rampa fonksiyonu
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
h	Akım derinliği
I	Türbülans şiddeti
K	Ortalama kinetik enerji
KBH	Karışma-boyu hipotezi

k	Termal kondüktivite, Türbülans kinetik enerji
k_l	Laminer kinetik enerji
k_s	Nikuradse eşdeğer kum pürüzlülüğü
k_{sgs}	SGS kinetik enerji
L	Karakteristik uzunluk ölçeği
L_{int}	İntegral uzunluk ölçeği
L_{ij}	Leonard gerilmeleri
LES	Large eddy (Büyük çevri) simülasyonu
ℓ	Türbülans uzunluk ölçeği
ℓ_m	Karışma-boyu
ℓ_o	Büyük çevri (<i>Large eddy</i>) uzunluk ölçeği
ℓ_n	Küçük çevri (<i>Small eddy</i>) uzunluk ölçeği
$\ell_\mu, \ell_\varepsilon$	Türbülans uzunluk ölçekleri
Le	Lewis sayısı
OKH	Ortalama karesel hata
P_k	TKE üretim terimi
Pr	Prandtl sayısı
p	Anlık basınç, Hassasiyet mertebesi
\bar{p}	Ortalama basınç
p_e	Sınır tabakası dış kenarında basınç
p'	Basınç sapıncı
Q	Isı, Akım debisi
R	Boru yarıçapı
Ra	Rayleigh sayısı
Ri	Richardson sayısı
R_{ij}	Korelasyon katsayısı, Reynolds gerilmesi tansörü
R_{nat}	Natürel geçiş üretim terimi
Re	Reynolds sayısı
Re_ℓ	Lokal türbülanslı Reynolds sayısı
Re_t	Türbülanslı Reynolds sayısı
RANS	Reynolds-averajlı Navier-Stokes denklemi
RGTD	Re-gerilmesi transport denklemi
r	Grid inceltme faktörü
Sc	Schmidt sayısı
S_r	Ayarlama (<i>Tuning</i>) parametresi
S_{ij}	Ortalama deformasyon-hızı tansörü,
SGS	Subgrid-scale (Gridaltı-ölçeği)
s_{ij}	Salınımlı deformasyon (şekil değiştirme)-hızı tansörü

T	Süre, Çevrilerin periyodu
T_m	Moleküler difüzyonun zaman ölçeği
T_t	Türbülanslı difüzyonun karakteristik zaman ölçeği
TKE	Türbülans kinetik enerji
t	Zaman
\hat{U}	Dahili enerji
\hat{u}	Birim kütle için dahili enerji
u, v, w	Anlık hız bileşenleri
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	Ortalama hız bileşenleri
u', v', w'	Hız sapınçları
u_i	Tansör notasyonu ile anlık hız
\bar{u}_i	Tansör notasyonu ile ortalama hız
\bar{u}_m	Serbest-akım (Kayma-tabakası sınırı) ortalama hızı
u'_i	Tansör notasyonu ile hız sapıncı
u_*	Sürtünme (Kayma) hızı
u'_{kok}	Hız sapıncı kareler ortalamasının karekökü (u'_{rms})
u^+	Boyutsuz hız
x, y, z	Kartezyen koordinatlar
x_i	Tansör notasyonu ile pozisyon
V	Anlık bileşke hız
\bar{V}	Ortalama bileşke hız
V'	Bileşke hız sapıncı
VOF	Volume of fluid
\forall	Hacim
W	İş
w	Kuyruk (<i>Wake</i>) fonksiyonu
Y	Yap uzunluk ölçeği düzeltmesi
y^+	Boyutsuz duvar mesafesi
α	Termal difüzivite
β	Clauser denge parametresi
Γ	Genelleştirilmiş difüzyon katsayısı
γ	Aralıklılık (<i>Intermittency</i>) faktörü, Akışkan birim hacim ağırlığı
δ	Sınır tabakası kalınlığı
δ^*	Sınır tabakası deplasman kalınlığı
Δ	Defolu kalınlık (<i>Defect thickness</i>)

VIII

Δt	Zaman adımı
ε	Türbülans kinetik enerji kayıp hızı
ζ_{ij}	Vortisite tansörü
θ	Sıcaklık
κ	Dalga sayısı, Karman sabiti
λ_f	Yersel Taylor mikroölçeği
λ_ε	Karıştırma (<i>Blending</i>) fonksiyonu
μ	Dinamik (moleküler) viskozite
μ_{ef}	Efektif dinamik viskozite
μ_t	Dinamik eddy viskozitesi (Dinamik türbülanslı viskozite)
ν	Kinematik (moleküler) viskozite
ν_t	Kinematik eddy viskozitesi (Kinematik türbülanslı viskozite)
Π	Profil parametresi
Π_{ij}	Basınç-deformasyon hızı tansörü
ρ	Akışkan yoğunluğu
$\bar{\rho}$	Akışkan ortalama yoğunluğu
ρ'	Akışkan yoğunluk sapıncı
σ	Standart sapma, Prandtl-Schmidt sayısı
σ_k	k için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ε	ε için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ω	ω için türbülanslı Prandtl sayısı
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	x-, y- ve z-doğrultusunda normal gerilmeler
τ	Türbülans zaman ölçeği, Kayma gerilmesi
τ_o	Türbülans zaman büyük-ölçeği, Katı sınır kayma gerilmesi
τ_η	Türbülans zaman küçük-ölçeği
τ_{ij}	Gerilme tansörü, SGS gerilme tansörü
τ'_{ij}	Reynolds gerilmeleri
τ'_m	Maksimum Reynolds kayma gerilmesi
u	Karakteristik hız (Türbülans hız ölçeği)
u_o	Türbülans hız büyük-ölçeği
u_η	Türbülans hız küçük-ölçeği
Ω_{ij}	Rotasyon hızı tansörü, Vortisite tansörü
ϕ	Birim kütle için keyfi skaler büyüklük
ϕ'	Birim kütle için keyfi skaler büyüklük sapıncı
ω	TKE'nin spesifik kayıp hızı

İÇİNDEKİLER

Önsöz	III
Simgeler	V
1 Akışkan Akımında Temel Kavramlar	1
1.1 Giriş	1
1.1.1 ‘Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği’ nin Tanımı	1
1.1.2 HAD Kod Yapısı	2
1.2 Akım Alanının Tanımı	5
1.3 Bir Noktadaki Gerilme Durumu	6
1.4 Akışkanın Yersel Hareketi: Deformasyon-Hızı, Rotasyon-Hızı ve Vortisite	6
1.5 Gerilme-Deformasyon Hızı İlişkileri: Bünye Denklemleri	14
1.6 Bir Akışkanın Transport (Taşınım) Özellikleri	15
1.7 Kütle Transferi – <i>Difüzyon katsayısı</i> (D)	16
1.8 Momentum Transferi – <i>Viskozite katsayısı</i> (μ)	17
1.9 Isı Transferi – <i>Termal iletkenlik katsayısı</i> (k)	18
2 Laminer Akımı İdare Eden Denklemler	21
2.1 Korunum Kanunları: Transport Denklemleri	21
2.1.1 Kütlelerin Korunumu: <i>SÜREKLİLİK DENKLEMİ</i>	22
2.1.2 Momentumun Korunumu: <i>HAREKET DENKLEMİ</i>	25
2.1.3 Enerjinin Korunumu	36
2.2 Akışkan Akımı Fiziksel Davranışının Sınıflandırılması	42
2.2.1 Denge Problemleri	43
2.2.2 Yayılan Problemler	43
2.3 Akım İçin Kısmi Diferansiyel Denklemler	45
2.3.1 Kısmi Diferansiyel Denklemler (KDD) İçin Sınıflandırma	45
2.3.2 Akışkan Akımı Denklemlerinin Sınıflandırılması	46
2.3.3 Visköz Akışkan Akımı Denklemleri İçin Başlangıç ve Sınır Şartları	47
3 Akışkan Akımında Türbülans	49
3.1 Giriş	49
3.2 Türbülanslı Akımın Genel Özellikleri	50
3.2.1 Türbülansın Karakteristik Özellikleri	50
3.2.2 Türbülansın Rastgele Doğası	53

3.2.3	Türbülansın Yayılmalığı (Difüzivitesi)	54
3.2.4	Türbülanslı Akımlarda Uzunluk Ölçekleri	56
3.2.5	Türbülanslı Akımın Analiz Yöntemleri	59
3.3	Türbülansın İstatistiksel Betimlenmesi	60
3.3.1	İhtimal Yoğunluk Fonksiyonu	60
3.3.2	Hız Sapınçları Çarpımının Ortalaması	67
3.3.3	Türbülans Korelasyonlarının Analizi	72
3.3.4	Türbülans Ölçekleri ve <i>RICHARDSON ENERJİ KASKATI</i>	85
3.3.5	Türbülans Enerji Spektrumu	88
3.3.6	Vortisiteden Doğan Kaskat Prosesi: <i>Vorteks Sünmesi ve Vorteks Eğilmesi</i>	103
3.4	Hız Profilleri: Sınır Tabakası Akımlarının Viskoz İç, Logaritmik Çakışma ve Dış Tabakaları	106
3.5	Bazı Tipik Türbülanslı Akımlar	113
3.5.1	Kompleks Kayma-Güdümlü Türbülanslı Akımlar	113
3.5.2	Kaldırma-Güdümlü Türbülanslı Akımlar	114
4	Türbülanslı Akımı İdare Eden Denklemler	117
4.1	Giriş	117
4.1.1	Türbülanslı Akımda Bir Bağımlı Değişkenin Zaman Ortalaması	117
4.1.2	Türbülanslı Akımda Gerilme, Deformasyon-Hızı ve Enerji	118
4.2	Kütlenin Korunumu: <i>SÜREKLİLİK DENKLEMİ</i>	119
4.3	Momentumun Korunumu: <i>HAREKET DENKLEMLERİ</i> – RANS	120
4.3.1	RANS İçin Momentum Transport Denklemleri	126
4.4	Türbülanslı Akım İçin Genel Transport Denklemi	127
4.4.1	Skaler Büyüklüklerin Türbülanslı Transportu	128
4.4.2	Lineer Bünye Denklemi – <i>Boussinesq Yaklaşıklığı</i>	133
4.4.3	Karışma-Boyu Hipotezleri	135
4.5	Türbülanslı Akım İçin Vortisite Denklemi	142
4.6	Türbülanslı Akım İçin Enerjinin Korunumu	146
4.6.1	Ortalama Akımın Kinetik Enerjisi	146
4.6.2	Zaman-Ortalama Toplam Kinetik Enerji	147
4.6.3	Türbülans Kinetik Enerji	149
4.6.4	Ortalama Akım Kinetik Enerjisinin Yeniden Düzenlenmesi	151
4.6.5	Türbülans Kinetik Enerjinin Yeniden Düzenlenmesi	154
4.6.6	(4.66) ve (4.68) Denklemlerinin İntegrasyonu	155
4.7	Kinetik Enerji İçin Transport Denklemleri	157
4.7.1	Kesin k-Transport Denklemi	157
4.7.2	Modellenmiş k-Transport Denklemi	165
4.7.3	Kesin ve Modellenmiş ϵ -Transport Denklemi	168
4.7.4	Kesin K-Transport Denklemi	169
4.8	Reynolds Gerilmeleri İçin Kesin Transport Denklemleri	172

5	Türbülans Modellemesi	181
5.1	Giriş	181
5.2	Türbülans Kapatma Modelleri	183
5.2.1	RANS-Tabanlı Türbülans Modelleri (Klasik Modeller)	185
5.2.1-1	Lineer Eddy Viskozitesi Modelleri (LEVM)	186
5.2.1-1.1	Sıfır-Denklem Modelleri	186
5.2.1-1.2	Bir-Denklem Modelleri	195
5.2.1-1.3	İki-Denklem Modelleri	201
5.2.1-1.3.1	$k-\varepsilon$ Modelleri	209
5.2.1-1.3.2	$k-\tau$ Modelleri	243
5.2.1-1.3.3	$k-\omega$ Modelleri	243
5.2.1-1.3.4	Menter $k-\omega$ Modelleri	250
5.2.1-1.3.5	Transition (Geçiş) $k-\omega$ Modelleri	257
5.2.1-2	Nonlinear Eddy Viskozitesi Modelleri (NEVM)	263
5.2.1-2.1	Nonlinear Bünye Denklemi Modelleri	263
5.2.1-2.1.1	Nonlinear $k-\varepsilon$ Modelleri	264
5.2.1-2.1.1.1	Kuadratik Gerilme-Def. Denklemi Modelleri	265
5.2.1-2.1.1.2	Kübik Gerilme-Def. Denklemi Modelleri	272
5.2.1-2.1.2	Algebraic Stress (Cebirsel Gerilme) Modelleri (ASM)	273
5.2.1-2.1.2.1	Implicit Algebraic Stress Modelleri (IASM)	274
5.2.1-2.1.2.2	Explicit Algebraic Stress Modelleri (EASM)	276
5.2.1-2.2	v'^2-f Modelleri	281
5.2.1-3	Reynolds Stress (Gerilmesi) Modelleri (RSM)	285
5.2.2	Direkt Nümerik Simülasyon (DNS)	309
5.2.3	Large Eddy (Büyük Çevri) Simülasyonu (LES)	313
5.2.3-1	Subgrid-Scale (Gridaltı-Ölçek) Modelleri (SGS)	321
5.2.4	Detached Eddy (Ayrık Çevri) Simülasyonu (DES)	329
6	HAD Modellemesinde Hatalar ve Belirsizlikler: VERİFİKASYON ve VALİDASYON	335
6.1	Hatalar ve Belirsizlikler	335
6.1.1	Nümerik Hatalar	336
6.1.2	Girdi Belirsizlikleri	341
6.1.3	Fiziksel Model Belirsizlikleri	343
6.2	Verifikasyon ve Validasyon	344
6.2.1	HAD Modellemesinde Verifikasyon Prosesi	344
6.2.2	HAD Modellemesinde Validasyon Prosesi	349
6.3	Çözüm Bölgesinin Ayrıklaştırılması: <i>GRİD TASARIMI</i>	351
6.3.1	Giriş	351
6.3.2	Grid Tipleri: Kontrol Hacmi Seçenekleri	352
6.3.3	Grid Kalitesi	356
6.4	HAD Simülasyonlarında Girdilerin ve Bulguların Raporlandırılması	359

7 HAD Simülasyonu İçin Mühendislik Uygulamaları	363
7.1 Uygulamalar İçin Temel Bilgiler	363
7.1.1 Serbest-Yüzeyin Modellenmesi İçin ‘Akışkan Hacimleri Yöntemi’	363
7.1.2 Nümerik Çözüm	366
7.2 Mühendislik Uygulamaları	367
7.2.1 Geniş-Başlıklı Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Modellenmesi	367
7.2.2 Kapak-Kontrollü Geniş-Başlıklı Savak Akımının Deneysel ve Sayısal Modellenmesi	372
7.2.3 Ani Bir Düşüdeki B-Tipi Hidrolik Sıçramanın Sayısal Modellenmesi	376
7.2.4 Düşey Bir Kapak Mansabında Batmış Hidrolik Sıçramanın Nümerik Modellenmesi	385
7.2.5 Yarım-Silindir Savak Üzerindeki Akımın Nümerik Simülasyonu	393
7.2.6 Kapak-Kontrollü Yarım-Silindir Savak Üzerindeki Akımın Deneysel ve Nümerik Modellenmesi	403
7.2.7 Eğrisel Geniş-Başlıklı Savak Üzerindeki Akımın Nümerik Simülasyonu	408
7.2.8 Tambur Kapak Mansabında Oluşan Batmış Hidrolik Sıçramanın Nümerik Modellenmesi	417
7.2.9 Şüt Dolusavak Akımının Deneysel ve Nümerik Modellenmesi	422
7.2.10 Trapez Savak Akımının RANS-Tabanlı Modeller, LES ve DES Modelleri İle Nümerik Modellenmesi	427
Kaynaklar	435
Dizin	445

KAYNAKLAR

- Absi, R. (2006). *A roughness and time dependent mixing length equation*. Journal of Hydraulic, Coastal and Environmental Eng., Japan Society of Civil Engineers, 62(4), 437-446.
- AIAA (1998). *Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Guide G-077-1998.
- Aköz, M. S., Gümüş, V. ve Kırkgöz, M.S. (2014). *Numerical simulation of flow over a semicylinder weir*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, ISSN 0733-9437/04014016(11).
- Ansys Inc. (2011). *ANSYS FLUENT Theory Guide*, Release 14.0.
- Ashgriz, N., Barbat, T. ve Wang, G. (2004). *A computational Lagrangian-Eulerian advection remap for free surface flows*. Int. Journal for Numerical Methods in Fluids, 44(1), 1-32.
- Bal, H., Kırkgöz, M. S. ve Gümüş, V. (2011). *Geniş başlıklı savak akımının deneysel ve sayısal modellenmesi*. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), 33-44.
- Balaras, E. ve Benocci, C. (1994). *Subgrid-scale models in finite-difference simulations of complex wall bounded flows*. AGARD CP 551, pp. 2.1-2.5, Neuilly-Sur-Seine, France: AGARD.
- Baldwin, B. S. ve Barth, T. J. (1990). *Thin-layer approximation and algebraic model for separated turbulent flow*. AIAA Paper 78-257.
- Baldwin, B. S. ve Lomax, H. (1978). *A One-Equation Turbulence Transport Model for High Reynolds Number Wall-Bounded Flows*. NASA TM-102847.
- Boussinesq, J. (1877). *Théorie de l'écoulement tourbillant*. Mém. Prés. Acad. XXIII, 46, Paris.
- Bradshaw, P. (1973). *Effect of Streamline Curvature on Turbulent Flow*. Agardograph Progress No. 169, AGARD.
- Cebeci, T. ve Smith, A. M. O. (1974). *Analysis of Turbulent Boundary Layers*. Academic Press, Inc., New York.
- Celik, I. B., Ghia, U., Roache, P. J., Freitas, C. J., Coleman H. ve Raad, P. R. (2008). *Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications*. J. Fluids Engineering, ASME, 130-078001, 1-4.
- Chau, P. Y. (1945). *On the velocity correlations and the solution of the equations of turbulent fluctuation*. Quart. Appl. Math., 3, 38-54.
- Chen, H. C. ve Patel, V. C. (1988). *Near wall turbulence models for complex flows including separation*. AIAA Journal., 26(6), 641-656.
- Chien, K. (1982). *Predictions of channel and boundary layer flows with a low Reynolds number turbulence model*. AIAA Journal, 20, 33-38.
- Clauser, F. H. (1954). *Turbulent boundary layers in adverse pressure gradients*. J. Aeronautical Sciences, 21(2), 91-108.

- Clauser, F. H. (1956). *The Turbulent Boundary Layer*. Advances in Applied Mechanics, 4, 1-51, Academic Press, New York, NY.
- Coleman, H. W. ve Stern, F. (1997). *Uncertainties and CFD code validation*. J. Fluids Eng., Trans. ASME, 199, 795-803.
- Coles, D. (1956). *The law of the wake in the turbulent boundary layer*. J. Fluid Mech., 1(2), 191-226.
- Coles, D. ve Hirst, E. A. (1968). *Computation of turbulent boundary layers*. 1968 AFOSR-IFP Stanford Conference, Vol. II, Stanford University, CA.
- Comte-Bellot, G. (1963). *Contribution a l'Etude de la Turbulence de Conduite*. PhD Thesis, University of Grenoble, France.
- Craft, T. J., Launder, B. E. ve Suga, K. (1993). *Extending the applicability of eddy viscosity models through the use of deformation invariants and nonlinear elements*. 5th IAHR Conf. on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, Presse Ponts et Chaussées, 125-132, Paris.
- Craft, T. J., Launder, B. E. ve Suga, K. (1996). *Development and application of a cubic eddy-viscosity model of turbulence*. Int. Journal of Heat and Fluid Flow, 17(2), 108-115.
- Daly, B. J. ve Harlow, F. H. (1970). *Transport equations in turbulence*. Phys. of Fluids, 13, 2634-2649.
- Davidson, L. (2010). *Fluid Mechanics, Turbulent Flow and Turbulence Modeling*. Dept. Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Degani, D. ve Schiff, L. B. (1986). *Computation of turbulent supersonic flows around pointed bodies having crossflow separation*. Journal of Computational Physics, 66(1), 173-196.
- Demuren, A. O. ve Rodi, W. (1984). *Calculation of turbulence-driven secondary motion in non-circular ducts*. J. Fluid Mech., 140, 189-220.
- Demuren, A. O. (1991). *Calculation of turbulence-driven secondary motion in ducts with arbitrary cross section*. AIAA Journal, 29(4), 531-537.
- Donaldson, C. du P. (1972). *Construction of a Dynamic Model of the Production of Atmospheric Turbulence and the Dispersal of Atmospheric Pollutants*. ARAP Report 175, Aeronautical Research Associates of Princeton, Princeton, NJ.
- Durbin, P. A. (1991). *Near wall turbulence modeling without damping function*. J. Theor. and Comput. Fluid Dynamics, 3, 1-13.
- Emmons, H. W. (1954). *Shear flow turbulence*. Proc. of the 2nd U. S. Congress of Applied Mechanics, ASME.
- Escudier, M. P. (1966). *The distribution of mixing-length in turbulent flows near walls*. Imp. Coll. Heat Transfer Section Rep. TWF/TN/1.
- Favre, A., Kovasznay, L. S. G., Dumas, R., Gaviglio, J. ve Coantic, M. (1976). *La Turbulence En Mécanique Des Fluides. Bases Théoriques Et Expérimentales*. Gauthier-Villars, Paris.
- Fletcher, C. A. J. (1991). *Computational Techniques for Fluid Dynamics*. Vols. I and II, Springer-Verlag, Berlin.
- Gatski, T. B. ve Speziale, C. G. (1993). *On explicit algebraic stress models for complex turbulent flows*. Journal of Fluid Mechanics, 254, 47-83.
- Germano, M., Piomelli, U., Moin, P. ve Cabot, W. (1990). *A Dynamic subgrid-scale eddy viscosity model*. Proc. 1990 Summer Program, Center for Turbulence Research, Stanford Univ., CA.

- Germano, M., Piomelli, U., Moin, P. ve Cabot, W. (1991). *A Dynamic subgrid-scale eddy viscosity model*. Physics of Fluids A, 3(7), 1760-1765.
- Gibson, M. M. ve Launder, B. E. (1978). *Ground effects on pressure fluctuations in the atmospheric boundary layer*. J. Fluid Mechanics, 86(3), 491-511.
- Girimaji, S. S. (1996). *Fully-explicit and self-consistent algebraic Reynolds stress model*. Theoretical and Computational Fluid Dynamics, 8(6), 387-402.
- Glushko, G. (1965). *Turbulent boundary layer on a flat plate in an incompressible fluid*. Izvestia Akademiya Nauk SSSR, Mekh., No. 4, p. 13.
- Gümüş, V., Şimşek, O., Soydan, N. G., Aköz, M. S. ve Kırkgöz, M. S. (2012). *Tambur kapak mansabında oluşan batmış hidrolik sıçramanın sayısal analizi*. International Construction Congress 2012, ICONC2012-SDÜ, Isparta, 226-238.
- Gümüş V., Aköz, M. S. ve Kırkgöz, M. S. (2013). *Experimental and numerical modeling of submerged hydraulic jump downstream of a sluice gate*. İMO Teknik Dergi, Yazı 399, 6379-6397.
- Gümüş, V., Soydan, N. G., Şimşek, O., Kırkgöz, M. S. ve Aköz, M. S. (2015). *Experimental and numerical modeling of flow over a spillway*. Proc. of the 2nd Int. Conf. on Advances in Civil, Structural and Construction Eng. CSCE 2015, 55-59.
- Gümüş, V., Şimşek, O., Soydan, N. G., Aköz, M. S. ve Kırkgöz, M. S. (2015). *Numerical modeling of submerged hydraulic jump from a sluice gate*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, ISSN 0733-9437/04015037(11).
- Güzel, H. (1991). *Investigation of Energy Loss in a Dam Spillway Channel*. MSc Thesis (in Turkish), Çukurova University, Adana, Turkey.
- Hanjalic, K. (2005). *Will RANS survive LES? A view of perspectives*. J. Fluids Eng. 127, 831-839.
- Hanjalic, K. ve Launder, B. E. (1972). *A Reynolds stress model of turbulence and its application to thin shear flow*. J. Fluid Mech., 52(4), 609-625.
- Hanjalic, K. ve Launder, B. E. (1976). *Contribution towards a Reynolds stress closure for low Reynolds number turbulence*. J. Fluid Mech., 74, 593-610.
- Hanjalic, K., Popovac, M. ve Hadziabdic, M. (2004). *A robust near-wall elliptic relaxation eddy-viscosity turbulence model for CFD*. Int. J. Heat and Fluid Flow, 25, 1047-1051.
- Hinze, J. O. (1975). *Turbulence*. 2nd ed., McGraw-Hill, New York, NY.
- Hirt, C. V. ve Nichols, B. D. (1981). *Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries*. Journal of Computational Physics, 39(1), 201-225.
- Horiuti, K. (1990). *Higher-order terms in the anisotropic representation of Reynolds stresses*. Physics of Fluids A: Fluid Dynamics, 2, 1708.
- Issa, R. I. (1986). *Solution of the implicitly discretized fluid flow equations by operator-splitting*. J. Comput. Phys., 62, 40-65.
- Jones, W. P. ve Launder, B. E. (1972). *The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence*. Int. Journal of Heat and Mass Transfer, 15, 301-314.
- Jongen, T. (1992). *Simulation and Modeling of Turbulent Incompressible Flows*. PhD thesis, EPF Lausanne, Lausanne, Switzerland.
- Kato, M. ve Launder, B. E. (1993). *The modeling of turbulent flow around a stationary and vibrating square cylinder*. Proc. 9th Symp. on Turbulent Shear Flows, Kyoto, Japan, Vol. 9, pp. 10.4/1-10.4/6.
- Kırkgöz, M. S. (1989). *Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow*. J. Hyd. Eng., ASCE, 115(11), 1543-1561.

- Kırkgöz, M. S. ve Ardiçlioğlu, M. (1997). *Velocity profiles of developing and developed open channel flow*. J. Hyd. Eng., ASCE, 123(12), 1099-1105.
- Kırkgöz, M. S., Aköz, M. S. ve Öner, A. A. (2009). *Numerical modeling of flow over a chute spillway*. Journal of Hydraulic Research, 47(6), 790-797.
- Kırkgöz, M. S., Aköz, M. S., Gümüş, V. ve Öner, A. A. (2011). *Kapak-kontrollü geniş-başlıklı savak akımının deneysel ve sayısal modellenmesi*. 5. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 12-16 Eylül, İstanbul, 611-624.
- Kırkgöz, M. S., Gümüş, V., Soydan, N. G., Şimşek, O. ve Aköz, M. S. (2012). *Experimental and numerical modeling of flow over a gate-controlled semicylinder weir*. 10th Int. Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 October, METU, Ankara, 0184, 1-10.
- Kim, J., Moin, P. ve Moser, R. (1987). *Turbulence statistics in fully developed channel flow at low Reynolds number*. J. Fluid Mech., 177, 133-166.
- Kim, W. W. ve Menon, S. (1994). *A new dynamic one equation subgrid scale model for large eddy simulations*. AIAA Paper No. 95-0356.
- Klebanoff, P. S. (1954). *Characteristics of turbulence in a boundary layer with zero pressure gradient*. NACA Report 3178, Washington, DC.
- Klebanoff, P. S. (1955). *Characteristics of turbulence in a boundary layer with zero pressure gradient*. NACA Report 1247, Washington, DC.
- Kline, S. J., Morkovin, M. V., Sovran, G. ve Cockrell, D. J. (1969). *Computation of turbulent boundary layers*. 1968 AFOSR-IFP Stanford Conference, Vol. I, Stanford University, CA.
- Kok, J. C., Dol, H. S., Oskam, B. ve van der Ven, H. (2004). *Extra-large eddy simulation of massively separated flows*. AIAA paper 2004-264, Reno, NV.
- Kolmogorov, A. N. (1941). *Local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds number*. Doklady Akademiya Nauk SSSR, 30, 299-303.
- Kolmogorov, A. N. (1942). *Equations of turbulent motion of an incompressible fluid*. Izvestia Academy of Sciences, USSR; Physics, 6 (1 and 2), 56-58.
- Kraichnan, R. H. (1991). *Turbulent cascade and intermittency growth*. Proc. Royal Society of London, Mathematical and Physical Sciences, A434 (1890), 65-78.
- Lam, C. K. G. ve Bremhorst, K. (1981). *A modified form of the k-ε model for predicting wall turbulence*. J. of Fluid Engng., 103(3), 456-460.
- Landahl, M. T. ve Mollo-Christensen, E. (1992). *Turbulence and Random Processes in Fluid Mechanics*. Second Ed., Cambridge University Press, New York, NY.
- Langtry, R. B. ve Menter, F. R. (2009). *Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes*. AIAA Journal, 47(12), 2894-2906.
- Laufer, J. (1951). *Investigation of Turbulent Flow in a Two-Dimensional Channel*. NACA Report 1053.
- Launder, B. E. ve Jones, W. P. (1969). *A note on Bradshaw's hypothesis for laminarization*. ASME Paper 69-HT-12.
- Launder, B. E. ve Spalding, D. B. (1972). *Mathematical Models of Turbulence*. Academic Press, London.
- Launder, B. E. ve Sharma, B. I. (1974). *Application of the energy dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc*. Letters in Heat and Mass Transfer, 1(2), 131-138.

- Lauder, B. E. ve Spalding, D. B. (1974). *The numerical computation of turbulent flows*. Computer Methods in Applied Mechanics and Energy, 3, 269-289.
- Lauder, B. E., Reece, G. J. ve Rodi, W. (1975). *Progress in the development of a Reynolds stress turbulence closure*. J. Fluid Mech., 68(3), 537-566.
- Lauder, B. E. (1989). *Second moment closure: present and future*. Int. J. Heat and Fluid Flow, 10(4), 282-300.
- Lauder, B. E. ve Shima, N. (1989). *Second moment closure for the near wall sublayer: development and application*. AIAA Journal, 27(10), 1319-1325.
- Lauder, B. E. (1993). *Modelling convective heat transfer in complex turbulent flows*. Proc. of the 2nd Int. Symp. on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Florence, Italy, 3-22.
- Leonard, A. (1974). *Energy cascade in large-eddy simulations of turbulent fluid flows*. Advances in Geophysics, 18A, 237-248.
- Libby, P. A. (1996). *Introduction to Turbulence*. Taylor and Francis, Bristol, PA.
- Lien, F. S. ve Leschziner, M. A. (1994). *Assessment of turbulence-transport models including non-Linear RNG eddy-viscosity formulation and second-moment closure for flow over a backward-facing step*. Computers and Fluids, 23, 983-1004.
- Lien, F. S., Chen, W. L. ve Leschziner, M. A. (1996). *Low-Reynolds number eddy-viscosity modelling based on non-linear stress-strain/vorticity relations*. Proc. 3rd Symp. on Engineering Turbulence Modelling and Measurements, Crete, Greece.
- Lilly, D. K. (1966). *On the Application of the Eddy Viscosity Concept in the Inertial Subrange of Turbulence*. NCAR Manuscript 123.
- Lilly, D. K. (1992). *A proposed modification of the Germano subgrid scale closure model*. Phys. of Fluids A, 4(3), 633-635.
- Lindgren, E. R. (1965). *Experimental study on turbulent pipe flows of distilled water*. Civil Eng. Dept., Oklahoma State University, Rept. IAD621071.
- Lumley, J. L. (1970). *Toward a turbulent constitutive equation*. Journal of Fluid Mechanics, 41, 413-434.
- Lumley, J. L. ve Newman, G. R. (1977). *The return to isotropy of homogeneous turbulence*. J. Fluid Mech., 82(1), 161-178.
- Lumley, J. L. (1978). *Computational modeling of turbulent flows*. Adv. Appl. Mech., 18, 123-176.
- Mellor, G. L. ve Gibson, D. M. (1966). *Equilibrium turbulent boundary layers*. J. Fluid Mechanics, 24, Part 2, 225-253.
- Mellor, G. L. ve Herring, H. J. (1973). *A survey of mean turbulent field closure models*. AIAA Journal, 11(5), 590-599.
- Menter, F. R. (1994). *Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications*. AIAA Journal, 32(8), 1598-1605.
- Menter, F. R., Kuntz, M. ve Langtry, R. (2003). *Ten years of industrial experience of the SST turbulence model*. In: Hanjalic, K., Nagano, Y. and Tummers, M. J. (Eds.), Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, 624-632, New York, Wallingford (UK).
- Menter, F. R., Langtry, R. B., Likki, S. R., Suzen, Y. B., Huang, P. G. ve Volker, S. (2004). *A Correlation Based Transition Model Using Local Variables, Part 1 - Model Formulation*. ASME-GT2004-53452.
- Moser, R. D. ve Moin, P. (1984). *Direct Numerical Simulation of Curved Turbulent Channel Flow*. NASA TM-85974.

- Naot, D. ve Rodi, W. (1982). *Numerical simulations of secondary currents in channel flow*. J. Hyd. Div., ASCE, 108(HY8), 948-968.
- Nezu, I. ve Nakagawa, H. (1993). *Turbulence in Open-Channel Flows*. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.
- Nicoud, F. ve Ducros, F. (1999). *Subgrid-scale stress modelling based on the square of the velocity gradient tensor*. Flow, Turbulence and Combustion, 62(3), 183-200.
- Nikuradse, J. (1933). *Stromungsgesetze in rauhen Röhren*. VDI-Forschungsheft, 361.
- Oberkampf, W. L. ve Trucano, T. G. (2002). *Verification and validation in computational fluid dynamics*. Prog. Aerosp. Sci., 38, 209-272.
- Oner, A. A., Aköz, M. S., Kırkgöz, M. S. ve Gümüş, V. (2012). *Experimental validation of volume of fluid method for a sluice gate flow*. Advances in Mechanical Engineering, Article ID 461708.
- Park, T. S. ve Sung, H. J. (1997). *A new low-Reynolds number k- ϵ - f_w model for predictions involving multiple surfaces*. Fluid Dynamics Research, 20, 97-113.
- Patankar, S. V. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Hemisphere Publishing Corp., Taylor & Francis Group, New York.
- Patankar, S. V. ve Spalding, D. B. (1970). *Heat and Mass Transfer in Boundary Layers, A General Calculation Procedure*. Intertext Books, London.
- Patankar, S. V. ve Spalding, D. B. (1972). *A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in three-dimensional parabolic flows*. Int. J. Heat Mass Transfer, 15(10), 1787-1806.
- Patel, V. C., Rodi, W. ve Scheuerer, G. (1985). *Turbulence models for near-wall and low Reynolds number flows: A review*. AIAA Journal, 23(9), 1308-1319.
- Patel, V. C. (1988). *Perspective: flow at high Reynolds number and over rough surfaces-achilles heel of CFD*. J. Fluids Engng., 120(3), 434-444.
- Prandtl, L. (1904). *Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr Kleiner Reibung*. Proc. Third Internat. Math. Cong. Heidelberg.
- Prandtl, L. (1925). *Über die ausgebildete Turbulenz*. ZAMM 5, 136-139.
- Prandtl, L. (1933). *Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung*. Z. VDI 77, 105-114.
- Prandtl, L. (1945). *Über ein neues Formelsystem für die ausgebildete Turbulenz*. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math-Phys. Kl. II., 6-19.
- Raudkivi, A. J. ve Callander, R. A. (1975). *Advanced Fluid Mechanics*. Edward Arnold Publishers Ltd., London.
- Reynolds, O. (1883). *An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the laws of resistance in parallel channels*. Phil. Trans. Royal Society of London, A174, 935-982.
- Reynolds, O. (1895). *On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, 186, 123-164.
- Reynolds, W. C. (1987). *Fundamentals of Turbulence for Turbulence Modeling and Simulation*. In: Lecture Notes for von Karman Institute, AGARD Lecture Series No. 86, 1-66, New York: NATO.
- Richardson, L. F. (1910). *The approximate arithmetical solution by finite differences of physical problems involving differential equations, with an application to the stresses in a masonry dam*. Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. A, 210, 307-357.

- Richardson, L. F. ve Gaunt, J. A. (1927). *The deferred approach to the limit*. Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. A, 226, 299-361.
- Rodi, W. (1976). *A new algebraic relation for calculating the Reynolds stresses*. ZAMM, 56, 219-221.
- Rodi, W. (1980). *Turbulence models and their application in hydraulics*. Conf. IARH-Section on Fundamentals of Division II. Exp. and Math. Fluid Dynamics, Delft.
- Roache, P. J. (1997). *Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics*. Annual Review of Fluid Mechanics, 29, 123-160.
- Roache, P. J. (1998). *Verification of codes and calculations*. AIAA Journal, 36(5), 696-702.
- Rotta, J. C. (1951). *Statistische Theorie nichthomogener Turbulenz*. Zeitschrift für Physik, 129, 547-572.
- Rotta, J. C. (1956). *Experimenteller Beitrag zur Entstehung turbulenter Stromungen im Rohr*. Ing.-Arch., 24, 258-281.
- Rotta, J. C. (1968). *Über eine Methode zur Berechnung turbulenter Scherströmungen*. Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen, Rep. 69 A 14.
- Rubinstein, R. ve Barton, J. M. (1990). *Nonlinear Reynolds stress models and renormalization group*. Physics of Fluids, A2(8), 1472-1476.
- Saffinan, P. G. (1976). *Development of a complete model for the calculation of turbulent shear flows*. Symposium on Turbulence and Dynamical Systems, Duke Univ., Durham, NC.
- Schiestel, R. (2008). *Modeling and Simulation of Turbulent Flows*. ISTE Ltd. and John Wiley & Sons, Inc., London.
- Schlichting, H. (1933). *Laminare Strahlenausbreitung*. Z. Angew Math. Mech., 13, 260-263.
- Schumann, U. (1977). *Realizability of Reynolds-stress turbulence models*. The Physics of Fluids, 20(5), 721-725.
- Shaanan, S., Ferziger, J. H. ve Reynolds, W. C. (1975). *Numerical Simulation of Turbulence in the Presence of Shear*. Report No. TF-6, Dept. of Mech. Eng., Stanford University, CA.
- Shih, T. H. ve Lumley, J. L. (1993). *Critical comparison of second order closures with direct numerical simulations of homogeneous turbulence*. AIAA Journal, 31(4), 663-670.
- Shih, T. H., Zhu, J. ve Lumley, J. L. (1994). *A New Reynolds Stress Algebraic Equation Model*. NASA Technical Memorandum 106644.
- Shih, T. H., Zhu, J. ve Lumley, J. L. (1995). *A new Reynolds stress algebraic equation model*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engng., 125(1-4), 287-302.
- Shih, T. H., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z. ve Zhu, J. (1995). *A new k-ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows*. Computers and Fluids, 24(3), 227-238.
- Smagorinsky, J. (1963). *General circulation experiments with the primitive equations. I. The basic experiment*. Mon. Weather Rev., 91, 99-164.
- Smith, A. M. O. ve Cebeci, T. (1967). *Numerical Solution of the Turbulent Boundary-Layer Equations*. Douglas Aircraft Division Report DAC 33735.
- So, R. M. C., Lai, Y. G., Zhang, H. S. ve Hwang, B. C. (1991). *Second-order near-wall turbulence closures: a review*. AIAA Journal, 29(11), 1819-1835.

- Soydan-Oksal, N. G., Aköz, M. S. ve Şimşek, O. (2020). *Numerical modeling of trapezoidal weir flow with RANS, LES and DES models*. *Sadhana*, 45:91, Indian Academy of Sciences.
- Spalart, P. R. ve Allmaras, S. R. (1992). *A one-equation turbulence model for aerodynamic flows*. AIAA Paper 92-439, Reno, NV.
- Spalart, P. R., Jou, W. H., Strelets, M. ve Allmaras, S. R. (1997). *Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach*. Proc. 1st AFOSR Int. Conf. on DNS and LES, Louisiana Tech., Greyden Press, Columbus, OH.
- Spalding, D. B. (1961). *A single formula for the law of the wall*. *J. Appl. Mech.*, E28, 455-458.
- Spalding, D. B. (1969). *The calculation of the Length Scale of Turbulence in Some Shear Flows Remote from Walls*. Progress in Heat and Mass Transfer, Vol. 2, Pergamon Press London.
- Speziale, C. G. (1987). *On non-linear k-l and k-ε models of turbulence*. *J. Fluid Mech.*, 178, 459-475.
- Speziale, C. G., Abid, R. ve Anderson, E. C. (1990). *A critical evaluation of two-equation models for near wall turbulence*. AIAA Paper 90-1481, Seattle, WA.
- Speziale, C. G. (1991). *Analytical methods for the development of Reynolds stress closures in turbulence*. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 23, 107-157.
- Speziale, C. G., Sarkar, S. ve Gatski, T. B. (1991). *Modeling the pressure-strain correlation of turbulence: An invariant dynamic system approach*. *J. Fluid Mech.*, 227, 245-272.
- Speziale, C. G., Gatski, T. B. ve Sarkar, S. (1992). *On testing models for the pressure-strain correlation of turbulence using direct simulations*. *Phys. of Fluids A*, 4(12), 2887-2899.
- Sümer, B. M. (2007). *Lecture Notes on Turbulence*. Technical University of Denmark, MEK, Coastal, Maritime & Structural Engineering Section, Lyngby, Denmark.
- Şimşek, O., Soydan, N. G., Gümüş, V., Aköz, M. S. ve Kırkgöz, M. S. (2015). *Ani bir düşüdeki B-tipi hidrolik sıçramanın sayısal modellenmesi*. *İMO Teknik Dergi*, Yazı 441, 7215-7240.
- Şimşek, O., Aköz, M. S. ve Soydan, N. G. (2016). *Numerical validation of open channel flow over a curvilinear broad-crested weir*. *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 16(6), 364-378.
- Taylor, G. I. (1935). *Statistical theory of turbulence*. Proc. Royal Society of London, A151, 421-435.
- Taylor, G. I. (1938). *The spectrum of turbulence*. Proc. Royal Society of London, Mathematical and Physical Sciences, A164, 476-490.
- Tennekes, H. ve Lumley, J. L. (1972). *A First Course in Turbulence*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Tessicini, F., Li, N. ve Leschziner, M. A. (2005). *Zonal LES/RAN modelling of separated flow around a three-dimensional hill*. ERCOFTAC Workshop Direct and Large-Eddy Simulation 6, Poitiers.
- Thompson, B. ve Whitelaw, J. (1985). *Characteristics of a trailing-edge flow with turbulent boundary-layer separation*. *J. Fluid Mech.*, 157, 305-326.
- Tollmien, W. (1931). *Grenzschichttheorie*. In: *Handbuch der Experimentalphysik IV*, 1, Leipzig, 239-287.

- Travin, A. K., Shur, M., Strelets, M. ve Spalart P. R. (2002). *Physical and numerical upgrades in the detached-eddy simulations of complex turbulent flows*. In: Friederich, R. and Rodi, W. (Eds.), *Fluid Mechanics and its Applications, Advances in LES of Complex Flows*, 239-254, Academic Publishers, Dordrecht.
- van Doormal, J. P. ve Raithby, G. D. (1984). *Enhancements of the SIMPLE method for predicting incompressible fluid flows*. *Numerical Heat Transfer*, 7, 147-163.
- van Driest, E. R. (1956). *On turbulent flow near a wall*. *J. Aero. Sci.*, 23, 1007-1011.
- Versteeg, H. K. ve Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Pearson Education Ltd., London.
- von Karman, T. (1930). *Mechanische Ahnlichkeit und Turbulenz*. *Nah. Ges. Wiss. Göttingen, Math. Phys. Klasse*, 58.
- von Karman, T. (1934). *Turbulence and skin friction*. *J. Aeronautical Sciences*, 1(1), 1-20.
- von Karman, T. ve Howarth, L. (1938). *On the statistical theory of isotropic turbulence*. *Proc. Royal Society of London, Mathematical and Physical Sciences*, A164 (917), 192-215.
- Walters, D. K. ve Cokljat, D. (2008). *A three-equation eddy-viscosity model for Reynolds-averaged Navier-Stokes simulations of transitional flows*. *Journal of Fluids Engineering*, 130.
- White, F. M. (1991). *Viscous Fluid Flow*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Wilcox, D. C. (1988a). *Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models*. *AIAA Journal*, 26(11), 1299-1311.
- Wilcox, D. C. (1988b). *Multiscale model for turbulent flows*. *AIAA Journal*, 26(11), 1311-1320.
- Wilcox, D. C. (1994). *Simulation of transition with a two-equation turbulence model*. *AIAA Journal*, 32(2), 247-255.
- Wilcox, D. C. (1998). *Turbulence Modeling for CFD*. DCW Industries, Inc., La Canada, California.
- Wilcox, D. C. (2000). *Turbulence Modeling for CFD*. KNI, Inc., Anaheim, California.
- Wolfshtein, M. (1967). *Convection Processes in Turbulent Impinging Jets*. Imperial College, Heat Transfer Section Report SF/R/2, London.
- Wolfshtein, M. (1969). *The velocity and temperature distribution in one-dimensional flow with turbulence augmentation and pressure gradient*. *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 12, 301-318.
- Yakhot, V. ve Orszag, S. A. (1986). *Renormalization group analysis of turbulence: I. Basic theory*. *Journal of Scientific Computing*, 1, 3-51.
- Yakhot, V., Orszag, S. A. ve Panda, R. (1989). *Computational test of renormalization group theory of turbulence*. C. C. Chau et al. (eds.), *Recent Advances in Computational Fluid Dynamics*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B. ve Speziale, C. G. (1992). *Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique*. *Physics of Fluids A*, 4, 1510-1520.
- Yan, J., Mocket, C. ve Thiele, F. (2005). *Investigation of alternative length scale substitutions in detached-eddy simulation*. *Flow, Turbulence and Combustion*, 74, 85-102.

- Yap, C. (1987). *Turbulent Heat and Momentum Transfer in Recirculating and Impinging Flows*. PhD Thesis, University of Manchester and UMIST, Dept. of Mech. Eng. Report TFD/87/1.
- Zeierman, S. ve Wolfshtein, M. (1986). *Turbulent time scale for turbulent flow calculations*. AIAA Journal, 24(10), 1606-1610.