

33698.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

İKİ BOYUTLU BİR OTOMOBİL MODELİ ETRAFINDAKİ AKIŞIN

SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mak. Müh. Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Makina Yüksek Mühendisi"
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.08.1994
Tezin Savunma Tarihi : 01.09.1994

Tezin Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Teoman AYHAN

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Habip ASAN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

Ağustos 1994

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışma otomobil aerodinamiğinin sayısal olarak incelenmesi amacıyla yönelik olup, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü'nde yürütülmüştür. Sayısal hesaplamalar, geliştirilmiş bir bilgisayar programı ile K.T.Ü. Bilgi İşlem Merkezi VAX-3811 sisteminde yapılmıştır. Deneysel çalışma ise, K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince özveri ve değerli yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Burhan Çuhadaroğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Trabzon, Ağustos 1994

Orhan AYDIN

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
SEMBOL LİSTESİ.....	VIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kaynak Araştırması.....	3
1.3. Taşıtlar Etrafındaki Akış.....	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Temel Denklemler.....	6
2.2. Sayısal Çözümleme Yöntemi.....	9
2.3. Ağ Yapısının Oluşturulması ve Sınır Koşulları.....	10
2.3.1. Ağ Oluşturulması.....	10
2.3.2. Sınır Koşulları.....	13
2.4. Kararlılık Analizi.....	15
2.5. Başlangıç Koşulu.....	15
2.6. Basınç Katsayısının Hesaplanması.....	16
2.7. Geliştirilen Bilgisayar Programı.....	17
2.7.1. Programın Tanıtılması.....	17
2.7.2. Ana Program.....	17
2.7.3. Alt Programlar.....	19
2.8. Akış Gözlenmesi Deneyi.....	20
3. BULGULAR.....	21
3.1. Potansiyel Akış Çözümü.....	21
3.2. Akış Gözlenmesi Deney Sonuçları.....	21
3.3. Laminer Akış Çözümü.....	21
3.4. Türbülanslı Akış Çözümü.....	22
4. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME.....	37
5. SONUÇLAR.....	39
6. KAYNAKLAR.....	40
7. EKLER.....	41
8. ÖZGEÇMİŞ.....	63

ÖZET

Bu çalışmada, iki boyutlu bir otomobil modeli etrafındaki akış sayısal olarak çözülmüştür. Çözüm için, akım fonksiyonu-girdap denklemleri ve sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Laminer ve türbülanslı akış çözümünde, potansiyel akış çözümü başlangıç koşulu olarak verilmiştir.

Laminer akışta, Reynolds sayısının değişik değerleri için akış alanının nasıl değiştiği incelenmiştir. Türbülanslı akış için, efektif Reynolds sayısı modeli kullanılmış ve katı sınırlarda kayan akış koşulu öngörülmüştür.

Potansiyel akış durumunda model cidarı boyunca basınç katsayısının değişimi hesaplanmış ve bulunan sonuçlar, J. Wiedemann ve B. Ewald tarafından elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında iyi bir uyum elde edilmiştir.

Akış gözlenmesi deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçların potansiyel akış çözümü ile uygunluk içinde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Otomobil aerodinamiği, taşıt etrafındaki akış, potansiyel akış, laminer ve türbülanslı akış, akım fonksiyonu-girdap denklemleri, sonlu farklar yöntemi, efektif Reynolds sayısı modeli, akış gözlenmesi.

SUMMARY

Numerical Analysis of Fluid Flow around a Two Dimensional Automobile Model

In this study, fluid flow around a two dimensional automobile model has been analyzed numerically by solving stream function-vorticity equations through finite difference method. For the solution of laminar and turbulent flow, the potential flow solution has been taken as an initial condition. Based on the numerical calculations, the variation of flow field with Reynolds number has been investigated. The effective Reynolds number model has been utilized for turbulent flow and the slip condition has been considered at the solid boundaries.

For the case of potential flow, the variation of pressure coefficient around the body has been calculated. It has been observed that the agreement between the results from this study and the experimental data of J. Wiedemann and B. Ewald is very good.

Furthermore, the validity of the potential flow solutions has been verified by conducting a set of flow visualization experiments.

Key words: Aerodynamics, flow around a car, numerical analysis, potential flow, laminar and turbulent flow, vorticity-stream function, finite difference, effective Reynolds number model, flow visualization.

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil adı</u>	<u>Sayfa no</u>
Şekil 1. Bir taşıt modeli etrafındaki akışın şematik görünümü	4
Şekil 2. Cidarda sınır tabakanın yüzeyden ayrılmasının şematik görünümü	5
Şekil 3. Kullanılan taşıt modelinin şematik gösterilişi	11
Şekil 4. Ağ geometrisi ve hesap bölgesi sınırlarının gösterilişi	12
Şekil 5. Köşelerde girdap için kullanılan notasyon.....	14
Şekil 6. Kullanılan bilgisayar programının akış şeması	18
Şekil 7. Akış gözleme deney düzeneği	20
Şekil 8. Model etrafındaki potansiyel akışa ait hız alanı	23
Şekil 9. Model önündeki potansiyel akışın yapısı	24
Şekil 10. Model arkasındaki potansiyel akışın yapısı	24
Şekil 11. Model cidarı boyunca basınç katsayısının değişimi	25
Şekil 12. Akış gözleme deneyinden elde edilen, model etrafındaki akışın görünümü ..	26
Şekil 13. $Re= 10$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı	27
Şekil 14. $Re= 10$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı ...	27
Şekil 15. $Re= 25$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı	28
Şekil 16. $Re= 25$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı ...	28
Şekil 17. $Re= 50$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı	29
Şekil 18. $Re= 50$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı....	29
Şekil 19. $Re= 50$ ve 50000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı ...	30
Şekil 20. $Re= 50$ ve 100000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı .	30
Şekil 21. $Re= 100$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı ...	31
Şekil 22. $Re= 100$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı .	31
Şekil 23. $Re= 100$ ve 50000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı..	32
Şekil 24. $Re= 100$ ve 100000 . iterasyon için model arkasındaki akışın yapısı	32
Şekil 25. $Re= 500$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı.....	33
Şekil 26. $Re= 500$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı...	33
Şekil 27. $Re= 500$ ve 50000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı .	34

Şekil 28. $Re= 500$ ve 100000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı .	34
Şekil 29. Laminer akış durumunda, daimi çözümü veren iterasyon sayısının Reynolds sayısı ile olan değişimi	35
Şekil 30. Laminer akış durumunda, model arkasında oluşan ters akım bölgesi uzunluğunun Reynolds sayısı ile değişimi	35
Şekil 31. Türbülanslı akış için, $Re'= 25$ ve 1000 . iterasyonda model arkasındaki durum .	36
Şekil 32. Türbülanslı akış için, $Re'= 25$ ve 10000 . iterasyonda model arkasındaki durum	36

SEMBOL LİSTESİ

Re	: Reynolds sayısı
U_{∞}	: Serbest akım hızı
H	: Model yüksekliği
μ	: Dinamik viskozite
ν	: Kinematik viskozite
ν_e	: Efektif viskozite
ρ	: Yoğunluk
t	: Zaman
P	: Basınç
ζ	: Girdap
ψ	: Akım fonksiyonu
Re'	: Efektif Reynolds sayısı
$\Delta x, \Delta y$: x ve y yönündeki ağ genişliği
Δt	: Zaman adımı
s_x, s_y	: x ve y yönündeki ağ genişleme oranı
c_x, c_y	: Courant sayısının bileşenleri
d_x, d_y	: x ve y yönündeki yayılım sayıları
C_p	: Basınç katsayısı

Alt indisler

i, j : x ve y yönündeki ağ noktaları

Üst indisler

n : Zaman adımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Bir taşıtın aerodinamik yapısı, taşıtın performansını, kontrolünü ve konforunu önemli şekilde etkiler. Taşıtın aerodinamik yapısının iyileştirilerek direncinin azaltılması, yakıt tüketimini önemli ölçüde azaltır. Yakıt ekonomisi sağlamanın yanında, taşıtın konforu ve kontrolü yönünden şu etkilerin de aerodinamik yapı ile doğrudan ilişkisi vardır: Yan rüzgar etkisi, rüzgar gürültüsü, gövdenin rijitliği, farlar ve camlar, motorun soğutulması, dişli kutusu ve frenler, iç mekanın ısıtılması ve havalandırılması[1].

Günümüzde; taşıt aerodinamiği büyük ölçüde ampirik bir bilim olup, yapılan incelemelerde büyük ölçüde havacılık, gemi tasarımı ve türbomakina gibi bilim dallarından yararlanılmaktadır. Bu nedenle taşıt aerodinamiği konusu, tamamen deneysel ve teorik akışkanlar mekaniği alanı içinde yer almaktadır [1].

Taşıt aerodinamiğinin incelenmesi geniş bir çalışmayı gerektirmektedir. Hareket halinde olan bir taşıt için üç ayrı akış alanı söz konusudur. Bunlar; taşıt etrafındaki akış alanı, taşıt içindeki akış alanı ve motor aksamı içindeki akış alanıdır. Bunlardan ilk ikisi birbirleriyle ilişkilidir. Taşıt üzerinde kuvvet ve moment oluşturan dış akış alanı, taşıtın performans ve stabilitesini büyük ölçüde etkiler [1].

Taşıt endüstrisinde , aerodinamik yapının iyileştirilmesi için rüzgar tüneli ve yol testleri öteden beri kullanılmaktadır. Rüzgar tüneli çalışmalarında taşıt modelleri kullanılarak, taşıta gelen aerodinamik yükler, direnç katsayısı ve basınç katsayısı gibi büyüklükler ölçülmektedir. Tam ölçekli rüzgar tüneli testleri, pahalı modeller gerektirdiğinden oldukça masraflıdır. Taşıtın çalışacağı ortamın en gerçekçi benzeşimi yol testleri ile yapılır. Ancak, değişken çevre koşulları, elde edilen sonuçların genelleştirilmesini belirli ölçüde engeller. Bütün bunlara rağmen hem rüzgar tüneli testleri, hem de yol testleri otomobil aerodinamiğinde önemli bir yer tutmaktadır[1].

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan Hesaplamasal Akışkanlar Dinamiği (CFD), cisimler etrafındaki karmaşık akış alanının hesaplanmasını

kolaylaştırmıştır. Gelişen sayısal yöntemlerin uygulanmasıyla analitik olarak çözümü elde edilemeyen birçok akış problemi sayısal olarak çözülebilmektedir. Sayısal hesaplama yöntemlerinin kullanılmasıyla problemler hem daha ucuza, hem de daha kısa zamanda çözülmektedir. Bunun yanında cisim geometrisindeki küçük değişikliklerin akış alanı üzerindeki etkisi rahatlıkla incelenebilmektedir.

Deneysel Akışkanlar Mekaniği ile kıyaslandığında CFD' nin başlıca avantajları şunlardan oluşmaktadır [2]:

- Tasarım ve geliştirme zamanı önemli ölçüde azalır.
- Deneysel model testlerinde oluşturulamayan akış koşullarının benzeşimi yapılabilir.
- CFD daha detaylı ve kapsamlı bilgi verir.
- Rüzgar tüneli testlerine göre çok daha ucuzdur.
- Daha az enerji tüketimi söz konusudur.

Akış alanının hesaplanmasında kullanılan bütün sayısal yöntemler Navier-Stokes denklemlerinin çözümüne dayalıdır. Bu denklemler, bütün akışkan hareketini ifade eden ikinci dereceden lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerdir. Navier-Stokes denklemleri sonlu elemanlar, sonlu hacim ve sonlu fark yöntemlerinin kullanılmasıyla sayısal olarak çözümler. Bu tekniklerin uygulanmasında akış bölgesi iki yada üç boyutlu ağ bölgesi haline dönüştürülür. Ağın tanımlanmasından sonra denklemler ayrıklaştırılır. Böylece, diferansiyel denklemler, cebirsel denklemlere dönüştürülmüş olur. Bütün sayısal yöntemlerin temelinde, fiziksel denklemlerin cebirsel denklemlere olan bu dönüşümü yatmaktadır. Günümüzde bilgisayarların bellek kapasiteleri ve hızları taşıt etrafındaki akış alanının benzeşimini kurmakta yeterli düzeye ulaşmıştır [1].

Bu çalışmada, J. Wiedemann ve B. Ewald [3] tarafından deneysel olarak ölçümleri yapılmış bir araba modeli etrafındaki akış sayısal olarak hesaplanmıştır. Hesaplarda akım fonksiyonu ve girdap denklemleri sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Akış alanı hem laminer, hem de türbülanslı akış durumu için hesaplanmıştır. Türbülanslı akış alanı hesabında, Efektif Reynolds sayısı yaklaşımı esas alınmış ve katı yüzeylerde kayan akış koşulu öngörülmüştür. Hesapları büyük ölçüde kolaylaştıran bu varsayımların doğruluğu araştırılmıştır.

1.2. Kaynak Araştırması

1920' li yıllardan bu yana otomobil aerodinamiği ile ilgili deneysel çalışmalar sürekli bir gelişme göstermiştir. İlk yıllarda otomobil hızını artırmak amacıyla yapılan bu çalışmalar, sonraki yıllarda otomobile etkiyen direnç kuvvetinin azaltılmasına yönelmiştir. 1920' lerde 0.8 olan direnç katsayısının değeri, 1960' lı ve 1970' li yıllarda 0.45 değerine kadar düşmüştür. Bu gelişme iki aşamada olmuştur. İki dünya savaşı arasındaki döneme rastlayan birinci aşamada, otomobiller daha rijit hale getirilmiş ve gövde yuvarlatılmıştır. Direnç katsayısı 0.55 değerine düşürülürken, otomobil ön yüzey alanı küçültülmüştür. İkinci aşamada direnç daha da azaltılırken, özel otomobil modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerde otomobil dış aksesuarı gövdenin şekline uygun hale getirilmiştir [1].

J. Wiedemann ve B. Ewald [3] tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, iki boyutlu bir araba modeli etrafındaki akış için rüzgar tüneli testleri yapılmıştır. Çalışmada, türbülans şiddeti ve Reynolds sayısının akışın yapısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı durumlar için otomobil modeli etrafındaki basınç katsayısının değişimi ölçülmüştür.

P. Müllenbach ve K. R. Deutenbach [4,5] tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, otomobil modeli üzerindeki basınç ölçümlerine ilişkin yeni bir model önerilmiş ve ayrıca sınır tabaka kontrol sistemlerinin otomobil etrafındaki akış alanı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

B. Fago, H. Lindner ve O. Mahrenholtz [6] tarafından yapılan bir deneysel bir çalışmada da, hareketli ve sabit yer koşullarının, otomobil modeli etrafındaki akış alanına etkisi incelenmiştir.

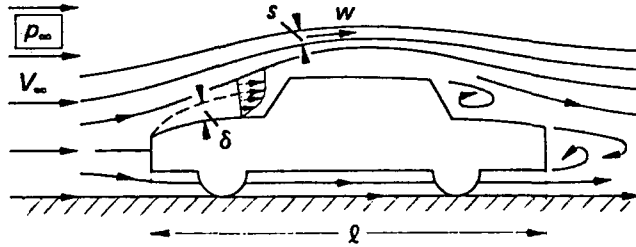
Otomobil aerodinamiği çalışmalarında, yan rüzgar etkilerinin incelenmesi önemli bir yer tutmaktadır. Bunun nedeni, otomobil üzerine gelen yan rüzgar etkilerinin otomobilin doğrusal hareketi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmasıdır. C. Kramer, R. Grundmann ve H. J. Gerhardt [7] tarafından yapılan deneysel bir çalışmada, yan rüzgar etkisinin otomobil hareket mekanizmaları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Deneysel çalışmaların yanısıra, son yıllarda sayısal çalışmalarda da önemli gelişmeler olmuştur. V. Losito ve diğerleri [8] tarafından yapılan sayısal bir çalışmada, potansiyel ve sürtünmeli akışların çözümü hesaplanmış ve deneylerle kıyaslama yapılmıştır.

Bir taşıt etrafındaki sıkıştırılmaz ve homojen akış alanı Navier-Stokes denklemleriyle tanımlanabilir. Ancak taşıtların hareketinde ortaya çıkan akış alanı tamamen türbülanslıdır. Bu nedenle türbülanslı akış için Navier-Stokes denklemlerinin modellenmesi gerekmektedir. Bu tür çalışmalarda karşılaşılan temel problemler, uygun türbülans modeli ve sayısal çözüm yönteminin belirlenebilmesidir. A.O. Demuren ve W. Rodi [9] tarafından yapılan sayısal bir çalışmada, bir taşıt etrafındaki üç boyutlu türbülanslı akış hesaplanmıştır. Çalışmada, k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

1.3. Taşıtlar Etrafındaki Akışın Yapısı

Bir taşıt etrafındaki akış alanı Şekil 1'de görülmektedir. Durgun hava içerisindeki serbest akım hızı U_∞ , taşıtın hızına karşılık gelmektedir. Taşıt etrafındaki akış, sürtünme etkileri nedeniyle, taşıt yüzeyi üzerinde sınır tabaka adı verilen bir bölge oluşturur. Bu tabakanın dışında akış, sürtünmesiz olarak gözönüne alınabilir. Sınır tabaka içerisinde hız yüzeyde sıfır olup, sınır tabakanın üst kenarında serbest akım bölgesindeki hız değerine ulaşır. Bu durum, taşıt yüzeyi



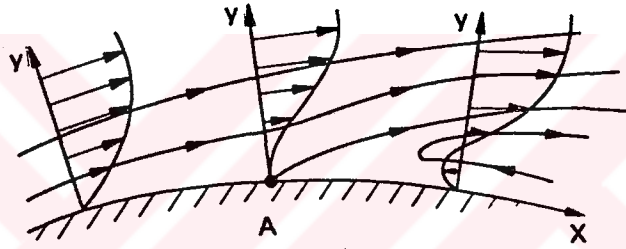
Şekil 1. Bir taşıt modeli etrafındaki akışın şematik olarak görünümü [1].

üzerinde tutunan akış koşulunu verir. Taşıt arkasında akış ayrıldığı zaman, sınır tabaka dağılır ve akış tamamen sürtünme kuvvetlerinin etkisinde kalır. Geometrik olarak benzer cisimler etrafındaki akışlar,

$$Re_l = \frac{U_\infty l}{\nu} \quad (1)$$

olarak tanımlanan Reynolds sayılarının aynı olması durumunda mekanik olarak benzerdir denir. Mekanik benzerlik model testlerinin temelini oluşturur. Bu benzerliğin oluşturulması bazı güçlükler yaratabilir. Örneğin gerçek taşıttan daha küçük olan modeller için, benzerliği sağlamak üzere serbest akım hızı U_∞ ' u artırmak gerekir. Ancak bu yapılırken, ses altı hız bölgesinde kalınması da gerekmektedir. Bu nedenle, rüzgar tüneli testlerinde, küçük boyutlu modellerin kullanılması pek uygun değildir.

Laminer ve türbülanslı sınır tabaka akışları, dış akış içerisindeki basınç dağılımına bağlıdır. Akış doğrultusundaki bir basınç artışı, sınır tabaka akışını etkileyerek, duvar yakınında ters akışların oluşmasına neden olur. Bu durum Şekil 2' de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi,



Şekil 2. Cidarda sınır tabakanın yüzeyden ayrılmasının şematik olarak görünümü.

akış alanı ve ters akış alanı arasında duvardan başlayan bir akım çizgisi bu iki akış alanını birbirinden birbirinden ayırır. Bu olay ayrılma olarak adlandırılır. Ayrılma noktasında,

$$\left(\frac{dU}{dy} \right)_A = 0 \quad (2)$$

koşulu geçerlidir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Temel Denklemler

İki boyutlu sıkıştırılmaz bir akış için Navier-Stokes denklemleri ve süreklilik denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

(3) ve (4) denklemlerinin sol tarafındaki terim atalet kuvvetine, sağ tarafındaki birinci terim basınç kuvvetine, ikinci terim ise sürtünme kuvvetine karşılık gelmektedir.

Deneysel araştırmalara göre türbülanslı bir akıştaki en önemli özellik, akış alanı içerisinde hız ve basıncın zamanla sabit kalmaması ve yüksek frekanslı düzensiz çalkantılar göstermesidir. Matematiksel bir açıdan türbülanslı akış hareketini inceleyebilmek için, bur tür bir hareketi ortalama hareket ve çalkantı (veya girdap) hareketi olarak ikiye ayırmak mümkündür.

(3), (4) ve (5) deklemlerindeki değişkenler yerine türbülanslı akış için zaman ortalamalı ve çalkantılı büyüklükler cinsinden değerleri yazılıp, düzenlemeler yapılırsa,

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + (\mu + \mu_t) \nabla^2 \bar{u} \quad (6)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + (\mu + \mu_t) \nabla^2 \bar{v} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = 0 \quad , \quad \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} = 0 \quad (8)$$

denklemleri elde edilir. Burada üzerinde çizgi bulunan büyüklükler zaman ortalamalıdır. Denklemlerde, μ_t türbülans viskozitesini, μ ise dinamik viskoziteyi göstermektedir. $\mu + \mu_t$

değeri μ' olarak tanımlanırsa,

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu' \nabla^2 \bar{u} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \nu' \nabla^2 \bar{v} \quad (10)$$

denklemleri elde edilir. Burada $\nu' = \mu' / \rho$ efektif türbülans viskozitesi olarak adlandırılır. Efektif türbülans viskozitesi, dinamik viskozite gibi akışkanın bir özeliği olmayıp; akış alanı alanı içerisinde ortalama hıza bağlı olarak değişmektedir [10]. Efektif türbülans viskozitesi ile ilgili yeni denklemlerin oluşturulması deneysel çalışmalar ile yapılır. Momentum denklemlerine ek olarak ortaya çıkan bu denklemlerin oluşturulması türbülans modelleme olarak adlandırılır. Bu çalışmada, efektif türbülans viskozitesinin akış alanı içerisinde sabit kaldığı varsayımı yapılmıştır.

(3) ve (4) denklemlerinde yer alan hız ve basınç hesaplanması yerine akım fonksiyonu ve girdap denklemleri kullanılarak hesaplar daha kısa olarak yapılabilir. Bu yaklaşıma göre, momentum denklemlerindeki hız büyüklükleri yerine girdap ve akım fonksiyonu cinsinden değerleri kullanılır [11].

İki boyutlu kartezyen koordinat sistemi için girdap ifadesi,

$$\zeta = \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Ayrıca akım fonksiyonu,

$$\bar{u} = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad \bar{v} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (12)$$

eşitlikleriyle tanımlanır. Bu yeni bağımlı değişkenler kullanılarak, (9) ve (10) denklemlerinden basıncın yok edilmesiyle,

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} = v' \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right)$$

veya kısa gösterimle,

$$\frac{D\zeta}{Dt} = v' \nabla^2 \zeta \quad (13)$$

deklemini elde edilir. Bu deklemin *girdap transport deklemini* olarak adlandırılır.

Ayrıca (11) denklemindeki hızlar yerine (12) denklemindeki akım fonksiyonu cinsinden değerleri yazılırsa,

$$\frac{\partial^2 \bar{\Psi}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{\Psi}}{\partial y^2} = - \zeta$$

veya kısaca,

$$\nabla^2 \bar{\Psi} = - \zeta \quad (14)$$

denklemini elde edilir. Bu eliptik kısmi diferansiyel denklemin *Poisson deklemini* olarak adlandırılır.

Yapılan bu işlemlerle, süreklilik denklemini ve iki adet momentum denklemini yerine, *girdap transport denklemini* ve *Poisson denklemini* olmak üzere iki adet denklemin çözümü aranır. Bu çalışmada boyutsuz büyüklüklerle işlem yapıldığından, (13) ve (14) denklemlerinin boyutsuz büyüklükler cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir.

Bunun için; H akış alanı içerisindeki araba modelinin karakteristik yüksekliğini, U_∞ araba modelinden yeterince uzaktaki hava hızını göstermek üzere,

$$\begin{aligned} u &= \bar{u} / U_\infty, & v &= \bar{v} / U_\infty, & x &= \bar{x} / H, & y &= \bar{y} / H \\ \zeta &= \bar{\zeta} / (U_\infty / H), & \Psi &= \bar{\Psi} / (U_\infty H), & t &= \bar{t} / (H / U_\infty) \end{aligned} \quad (15)$$

şeklinde tanımlanan boyutsuz büyüklüklerin kullanılmasıyla, (13) ve (14) denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \frac{1}{Re'} \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) \quad (16)$$

$$\nabla^2 \psi = - \zeta \quad (17)$$

Burada Re' ; efektif türbülans viskozitesine bağlı olan efektif Reynolds sayısını göstermektedir ve $Re' = U_{\infty} H / \nu'$ şeklinde tanımlanmıştır.

Pürüzsüz oval cisimler etrafındaki akışta; akış alanı Reynolds sayısına bağlıdır. Keskin kenarlı küt cisimler etrafındaki akış alanı ise, $Re > 10^5$ değeri için Reynolds sayısından bağımsız olmakta ve cismin arkasında ortaya çıkan akış bölgesinin yapısı, Reynolds sayısı ile değişmemektedir. Bu durumda 10^5 değerinden büyük Reynolds sayısına sahip akışlar için sabit bir efektif Reynolds sayısı tanımı yapılabilir [12]. Re' için bu sabit değer; deneysel çalışması yapılan bir akış alanı ile sayısal olarak hesaplanan sonuçların kıyaslanması sonucunda belirlenebilir. Bu çalışmada, $Re' = 25$ değeri ile hesaplar yapılmıştır.

(16) denkleminde Re' yerine Re kullanıldığında laminer bir akış için geçerli olan girdap transport denklemi elde edilir. Ancak bu durumda çözülen problemin sınır koşulları uygun olarak seçilmelidir. Bu durum sınır koşulları bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

2.2. Sayısal Çözüm Yöntemi

Çalışmada sayısal yöntem olarak *Sonlu Farklar Yöntemi* kullanılmıştır. Sonlu farklar yönteminden yararlanarak eliptik ve parabolik diferansiyel denklemler belirli yaklaşımlar altında çözülebilir. Bu yöntemin esası, çözümü aranan diferansiyel denklemdeki her bir ağ noktasında cebirsel bir yaklaşım yapmaktır. Sonlu farklar yöntemi uygulama açısından diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında oldukça kısa ve basittir. Ayrıca bu yöntemde, yaklaşımdaki hatanın mertebesi de belirlenebilmektedir [13].

Kısmi türevli (16) ve (17) denklemleri için sonlu fark şekilleri Taylor serisi açılımından yararlanılarak elde edilebilir [13].

(16) denkleminde zamana göre kısmi türev için ileri fark ve konuma göre kısmi türev için de merkezi fark şekilleri kullanılarak girdap için,

$$\begin{aligned} \frac{\zeta_{ij}^{n+1} - \zeta_{ij}^n}{\Delta t} = & -u \frac{\zeta_{i+1,j} - \zeta_{i-1,j}}{\Delta x_1 + \Delta x_2} - v \frac{\zeta_{i,j+1} - \zeta_{i,j-1}}{\Delta y_1 + \Delta y_2} \\ & + \frac{1}{Re'} \left(\frac{\zeta_{i+1,j} - (1 + Sx) \zeta_{i,j} + Sx \zeta_{i-1,j}}{(Sx^2 + 1)(Sx + 1) \Delta x_1^2} + \frac{\zeta_{i,j+1} - (1 + Sy) \zeta_{i,j} + Sy \zeta_{i,j-1}}{(Sy^2 + 1)(Sy + 1) \Delta y_1^2} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

sonlu fark ifadesi elde edilir. Akım fonksiyonu için ise (17) numaralı Poisson denkleminde,

$$4 \left(\frac{\psi_{i+1,j} - (1 + Sx) \psi_{i,j} + Sx \psi_{i-1,j}}{(Sx^2 + 1)(Sx + 1) \Delta x_1^2} + \frac{\psi_{i,j+1} - (1 + Sy) \psi_{i,j} + Sy \psi_{i,j-1}}{(Sy^2 + 1)(Sy + 1) \Delta y_1^2} \right) = \zeta_{i,j} \quad (19)$$

ifadesi yazılır. Burada,

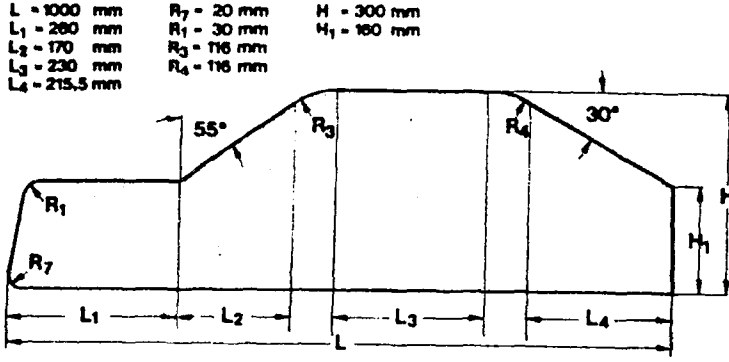
$$\begin{aligned} \Delta x_1 = \Delta x_{i-1,j}, \quad \Delta x_2 = \Delta x_{i,j}, \quad \Delta y_1 = \Delta x_{i,j-1}, \quad \Delta y_2 = \Delta x_{i,j} \\ Sx = \Delta x_1 / \Delta x_2, \quad Sy = \Delta y_1 / \Delta y_2 \end{aligned} \quad (20)$$

olarak denklemlerde kullanılmıştır. Aynı şekilde (12) eşitliği ile verilen hızlar için merkezi fark yaklaşımı yapılmıştır.

2.3. Ağ Yapısının Oluşturulması Ve Sınır Koşulları

2.3.1. Ağ Oluşturulması

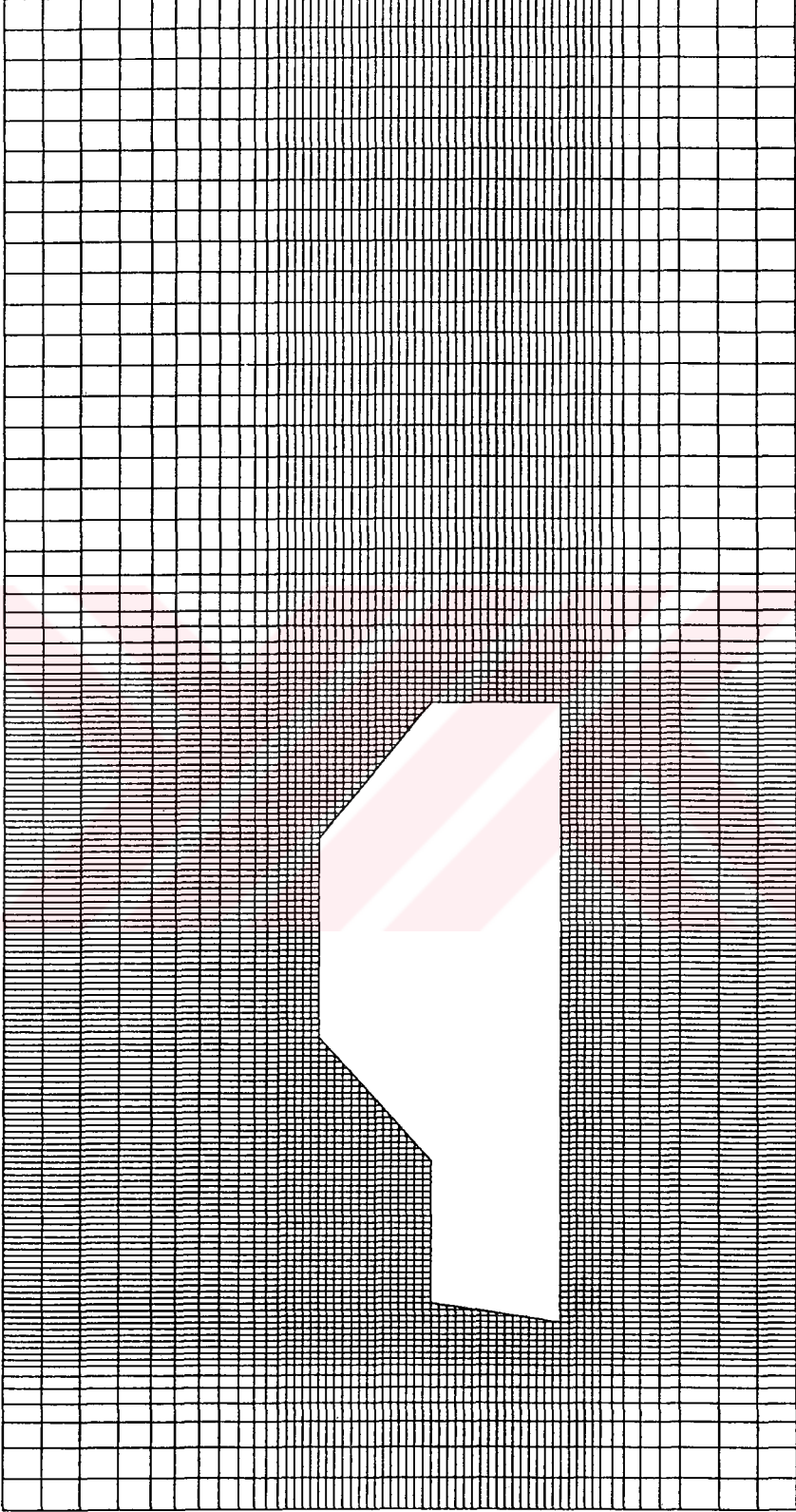
Bu çalışmada, deneysel bir çalışma [3] ile yüzeyinde basınç ve direnç katsayısının değişimi incelenmiş olan bir taşıt modeli etrafındaki hava akışı sayısal olarak incelenmiştir. Denejde kullanılan taşıt modeli Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan taşıt modelinin şematik gösterimi [3].

Oluşturulan ağ geometrisi Şekil 4' de görülmektedir. Model etrafında daha sık olmak üzere dikdörtgen bir ağ geometrisi kullanılmıştır. Şekil 4' den de görüldüğü üzere, x yönünde 145 ve y yönünde ise 60 ağ noktası kullanılmıştır. Böylece tüm bölge boyunca 8700 ağ noktası kullanılmıştır.

Taşıtların karmaşık yapısı nedeniyle ağ oluşturmak oldukça güçtür. Yapılan çalışmalarda çoğu zaman cismin yüzeyinde ve yüzeye yakın bölgelerde basınç ve hız dağılımı aranmaktadır. Bu nedenle cismin yüzeyi ile ağ noktalarının çakışması oldukça önemlidir. Bu yaklaşımla seçilen ağ geometrisinde, ağ noktaları ile cismin yüzey geometrisini karakterize eden noktalar çakıştırılmıştır.



Şekil 4. Ağ geometrisi ve hesap bölgesi sınırlarının gösterilişi.

2.3.2. Sınır Koşulları

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar ile hem laminer hem de türbülanslı akış için çözüm yapılmıştır. Bu nedenle akışın durumuna göre farklı sınır koşulları kullanılmıştır.

Laminer akış için; model cidarındaki sınır koşulları tutunma koşuluna göre; diğer bir deyişle $u = 0$ akış koşuluna göre yazılmıştır. Çalışmada akım fonksiyonu-girdap çözümü yapıldığından laminer akış durumunda girdap için,

$$\zeta = \frac{\partial^2 \psi}{\partial n^2} \quad (21)$$

koşulu kullanılmıştır.

Türbülanslı akış için; model cidarındaki sınır koşulları tutunmasız, diğer bir deyişle kayan akış koşuluna göre yazılmıştır. Cismin yüzeyinde, kayan akış koşulu öngörüldüğünden sınır tabaka etkileri dikkate alınmayacaktır. Bu durumda katı cidarlar kayma gerilmesiz olarak gözönüne alınabilir. Böylece katı cidarlarda,

$$\zeta = 0 \quad (22)$$

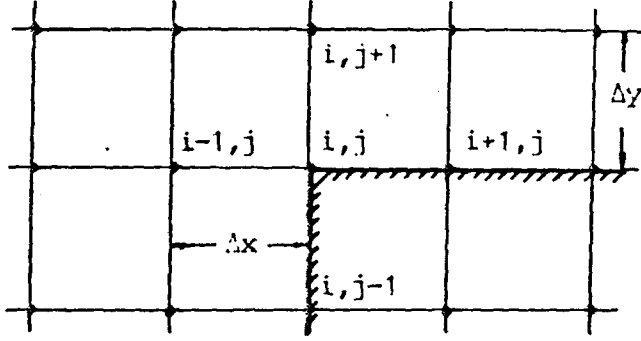
koşulu öngörülmüştür. Bir başka deyişle, teğetsel hızın duvarın normal yönündeki gradyanı sıfır olarak düşünülmüştür. Tutunmasız akış koşulu ile yapılan hesaplar, özellikle cidar yakınlarında çok küçük geri akış hızları ortaya çıkarmaktadır. Bu koşulla hesaplanan hız profilleri ise ortalama türbülans hızları için, ölçülen hız profilleri ile iyi uyum göstermektedir [12].

Türbülanslı akış için, bölgeye giriş akışı ve katı cidarlar girdapsız olduğundan en azından modelin köşelerinde girdap tanımlanmalıdır. Ancak bu şekilde fiziksel anlamı olan çözümler elde edilebilir. Bu durumda girdabın köşelerdeki değerini hesaplama yöntemi tüm akış alanının oluşmasında büyük etkiye sahiptir.

Köşelerde girdap için,

$$\zeta_c = 2 \psi (ic, jc+1) / \Delta y^2 + 2 \psi (ic+1, jc) / \Delta x^2 \quad (23)$$

ifadesi kullanılmıştır [13].



Şekil 5. Köşelerde girdap için kullanılan notasyon.

Giriş sınırında üniform bir hız profili öngörülmüştür. Bu durumda,

$$\psi = y \quad , \quad \zeta = 0 \quad (24)$$

olarak alınmıştır.

Çıkış sınırında ise aşağıdaki koşulların kullanılması hız alanının serbestçe gelişmesine izin vermektedir. Buna göre çıkış sınırında,

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = 0 \quad , \quad \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0 \quad (25)$$

koşulları kullanılmıştır.

Serbest sınırlarda (alt ve üst sınırda) ise,

$$\psi = y \quad , \quad \frac{\partial \zeta}{\partial y} = 0 \quad (26)$$

koşulları kullanılmıştır.

2.4. Kararlılık Analizi

Bu çalışmada *von Neumann kararlılık analizine* uygunluk sağlanmıştır. J. von Neumann tarafından önerilen bu yöntem, bilinen en fazla kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, bir denklemin çözümünün sonlu Fourier serisine açılımı yapılır [13].

Bu analize göre,

$$\begin{aligned} C_x &= U\Delta t / \Delta x \quad , \quad C_y = U\Delta t / \Delta y \quad , \\ dx &= \Delta t / Re' \Delta x^2 \quad , \quad dy = \Delta t / Re' \Delta y^2 \end{aligned} \quad (27)$$

olarak tanımlanırsa, kararlı çözümün elde edilebilmesi için;

$$\begin{aligned} C_x + C_y &\leq 1 \\ dx + dy &\leq 1/2 \end{aligned} \quad (28)$$

koşulları sağlanmalıdır. Bu koşullardan görüleceği gibi sayısal çözümün yakınsaması, zaman artım miktarına, ağ genişliğine ve Re (veya Re') sayısına bağlıdır. Re sayısı ve ağ genişlikleri önceden belirlendiğinden (28) eşitsizliklerindeki koşulları sağlayacak şekilde zaman artırımını belirlenmiştir.

2.5. Başlangıç Koşulu

Herhangi bir akış probleminin çözümü, problemin başlangıç koşullarından bağımsız olmakla beraber; bilgisayarda çözüme ulaşma zamanı başlangıç koşullarının çözüme olan yakınlığına bağlıdır [14]. Birçok sayısal çalışmada başlangıç çözümü olarak, potansiyel akış çözümü kullanılmaktadır. Bu şekilde daha az iterasyonla çözüme ulaşılabileceği bilinmektedir.

Potansiyel akış, girdabın sıfır olduğu ve sürtünmelerin ihmal edildiği akıştır. Bu yaklaşımla (17) denkleminin sağ tarafındaki girdap terimi yerine sıfır yazılarak tüm bölgede akım fonksiyonu ve hız büyüklükleri elde edilmiştir. Elde edilen bu büyüklükler gerek laminar gerekse türbülanslı akış için başlangıç koşulu olarak kullanılmıştır.

2.6. Basınç Katsayısının Hesaplanması

Basınç katsayısı,

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (29)$$

formülüyle hesaplanmaktadır. Burada P_∞ ve U_∞ referans basıncı ve hızına karşılık gelmektedir. Paydada verilen $1/2 \rho U_\infty^2$ değeri ise dinamik basınç değeridir. Bu çalışmada, potansiyel akış çözümünden elde edilen hız dağılımına göre basınç katsayısı değişimi çıkarılmıştır. Kullanılan ağ geometrisinin uygun olmaması nedeniyle gerçek akış çözümünden basınç hesaplaması yapılamamıştır. Potansiyel akış durumunda Bernoulli denklemine göre (29) ifadesi ile tanımlanan basınç katsayısı;

$$C_p = 1 - \left(\frac{u}{U_\infty} \right)^2 \quad (30)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece katı yüzeyler civarındaki hız dağılımından basınç katsayısının değişimi elde edilir.

2.7. Geliştirilen Bilgisayar Programı

2.7.1. Programın Tanıtılması

Programın adı ve program dili: CAR.FOR, Fortran

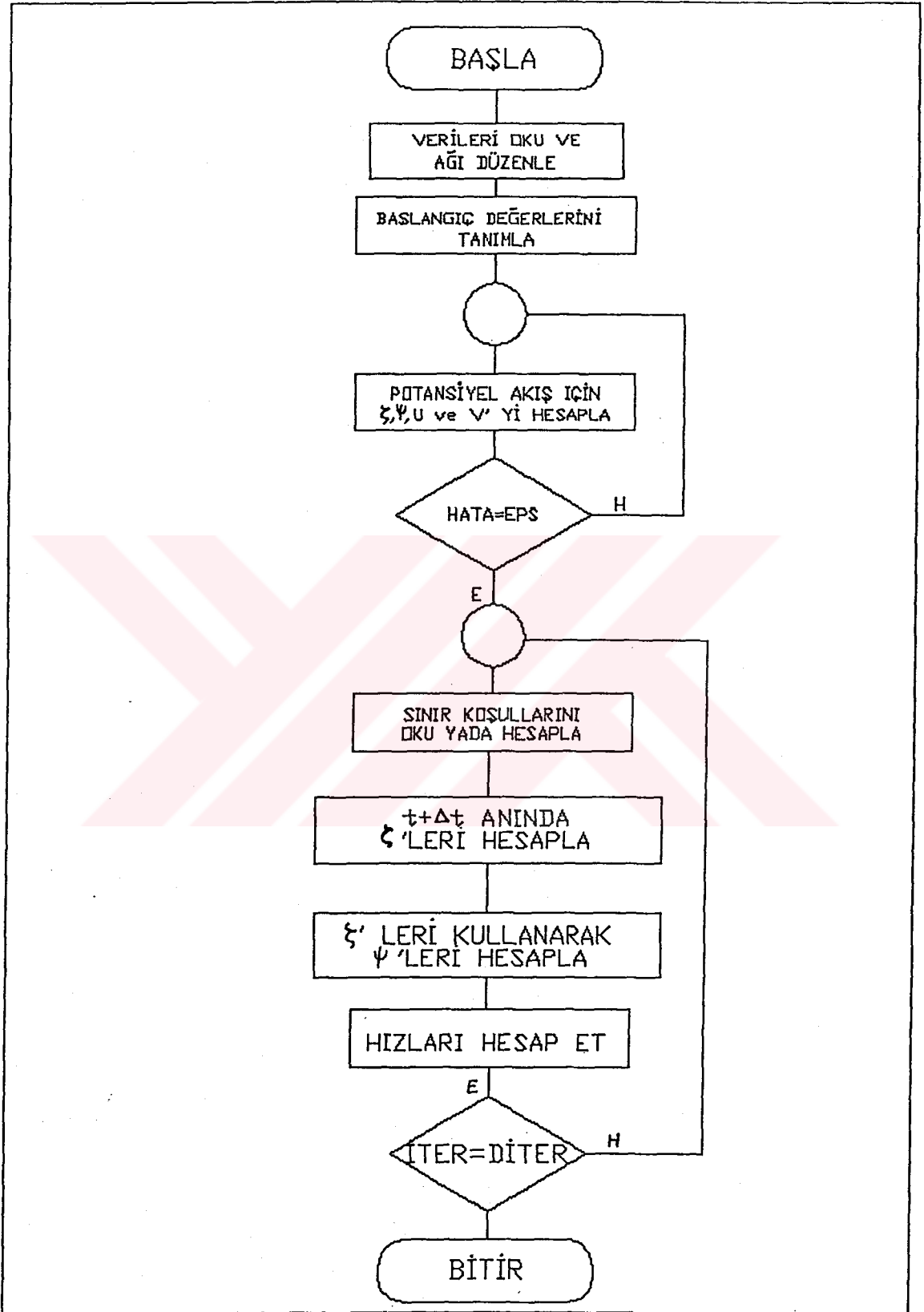
Programın çalıştırılabileceği makinalar: Bu program VAX-3811 bilgisayar sisteminde yazılmıştır. Program istenirse PC'lerde çalıştırılabilir. Ancak bu durumda VAX-3811 sistemine ait çizim programı işlev dışı olacaktır.

Programın kapsamı: Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programı bir ana program ve buna bağlı altı adet alt programdan oluşmaktadır (ÇİZİM, SINIR, GİRDAP, AFONK,HIZLAR, HATA). Programla iki boyutlu bir otomobil modeli etrafındaki laminar ve türbülanslı akış sayısal olarak çözülebilmektedir. Ayrıca potansiyel akış çözümü elde edilmekte ve bu çözüm laminar ve türbülanslı akış çözümü için başlangıç koşunu oluşturmaktadır. Sayısal yöntem olarak sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Türbülanslı akış denklemlerinin çözümünde "Etkin Reynolds sayısı modeli" kullanılmıştır. Programın diğer bir üstünlüğü ağ geometrisi değiştirilebilecek şekilde verilerin okutulmuş olmasıdır. Şekil 6' da programın akış şeması görülmektedir.

Programın çözüm için kullandığı bilgisayar zamanı: Bu programda diğer çözümler için başlangıç teşkil eden potansiyel akış için, 183 cpu (saniye) 'da çözüme ulaşılmaktadır. Sürtünmeli akış çözümünde ise, programın potansiyel akım çözümü elde edildikten sonra 1000 iterasyon yapabilmesi için, 375 cpu' nun geçmesi gerekmektedir.

2.7.2. Ana Program

Programda kullanılacak bütün tek ve iki boyutlu diziler, ağ geometrisi içindeki sınır noktalar ve parametreler BLOCK DATA içerisinde yer almıştır. Diziler (PSI(I,J), Z(I,J), ...) COMMON deyimi ile tanımlanmıştır. Bu tanımlamada birbiri ile ilişkili olan diziler aynı COMMON' larda gruplandırılarak; programın çalışması esnasında minimum bellek kullanılması sağlanmıştır.



Şekil 6. Kullanılan bilgisayar programının akış şeması.

Akış alanı, hesap yapılan ve hesap yapılmayan olmak üzere iki bölgeye ayrılmıştır. Taşıt modeli ve model içindeki bölge hesap yapılmayan bölgedir. Hesaplamalar *line-by-line* yöntemiyle yapılmıştır.

Ana program iki bölümde incelenebilir. Birinci bölümde, sınır koşulları tanımlanır ve akış alanının ilk durumu belirlenir. Deneysel verilerden alındığı üzere, araba üzerinde akımın durduğu noktada akım fonksiyonunun değeri sıfır olacak şekilde tüm bölgede akım fonksiyonu değeri verilmiştir. Bu koşul dikkate alınarak alt sınırdaki akım fonksiyonunun değeri, $y=-1.167$ olarak verilmiştir. Programda ilgili değerler için başlangıç koşulları atandıktan sonra potansiyel akış çözümü yapılır. Elde edilen bu potansiyel akış çözümü, sürtünmeli akış çözümü için başlangıç koşulunu oluşturmaktadır.

2.7.3. Alt Programlar

SINIR alt programında, modelin iç bölgesinde ζ , ψ , u , v değerleri sıfırlanmaktadır. Diğer bir deyişle, bu alt programda akış alanı içerisinde model geometrisi tanımlanmaktadır.

GİRDAP alt programı, tüm akış alanında girdap değerlerini hesaplar. Bunun için laminer akış durumunda tüm model sınırında, türbülanslı akış durumunda ise sadece köşelerde tanımlanan girdap değerleri kullanılır.

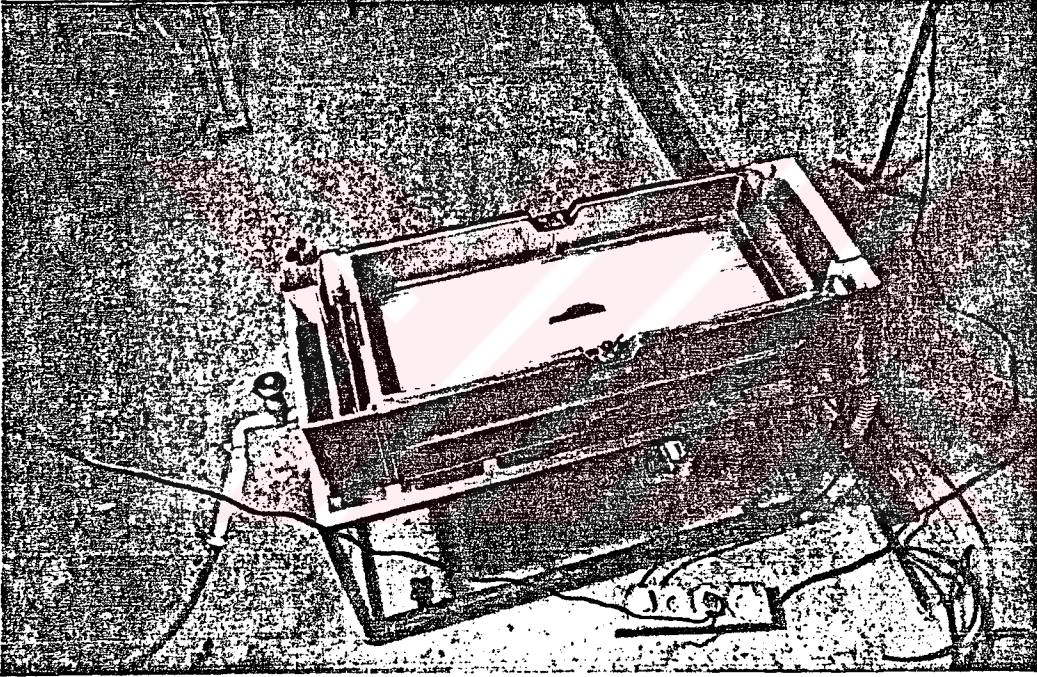
AFONK alt programında, hesaplanan girdap değerleri kullanılarak, tüm akış alanında akım fonksiyonu değerleri hesaplanır.

HIZLAR alt programında, akım fonksiyonu değerleri kullanılarak, u ve v hız bileşenleri hesaplanmaktadır.

ÇİZİM alt programı: Yapılan benzeşimin güvenilirliği açısından elde edilen sonuçların grafik olarak görülebilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Kullanılan VAX-VMS sisteminin sağladığı olanaklar ile GKSS\$ programları kullanılarak sonuçlar grafik olarak alınmıştır.

2.8. Akış Gözlenmesi Deneyi

Akışkanlar Mekaniği'nde yapılan akış gözlenmesi deneyleri, akış alanındaki akım iplikçiklerinin yörüngelerine ilişkin iyi bir fikir verir. Bu çalışmada, Makina Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan akış gözlenmesi deney düzeneğinden yararlanılarak, sac plakadan kesilerek hazırlanan taşıt modeli etrafında akım çizgilerinin oluşumu gözlenmiştir. Deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Akış gözlenmesi deney düzeneği.

3. BULGULAR

3.1. Potansiyel Akış Çözümü

Bu çalışmada, gerek laminer, gerekse türbülanslı akış çözümünde potansiyel akış çözümü başlangıç koşulu olarak verilmiştir. Model etrafındaki potansiyel akış durumu için çözüm elde edilmiş ve bu durumda elde edilen tüm akış alanının yapısı Şekil 8' de gösterilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10' da ise, sırasıyla model ön ve arkasındaki hız alanları görülmektedir.

Ayrıca, potansiyel akış durumu için, model yüzeyindeki basınç katsayısının değişimi hesap edilmiş ve elde edilen sonuçlar J. Wiedemann ve B. Ewald [3] tarafından elde edilmiş deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu değişim Şekil 11' de eğrilerle gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, model arkası hariç hesaplanan sonuçlar deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermektedir.

3.2. Akış Gözlenmesi Deneyi Sonuçları

Akış gözlenmesi sonucunda elde edilen akışın yapısı Şekil 12' de gösterilmiştir.

3.3. Laminer Akış Çözümü

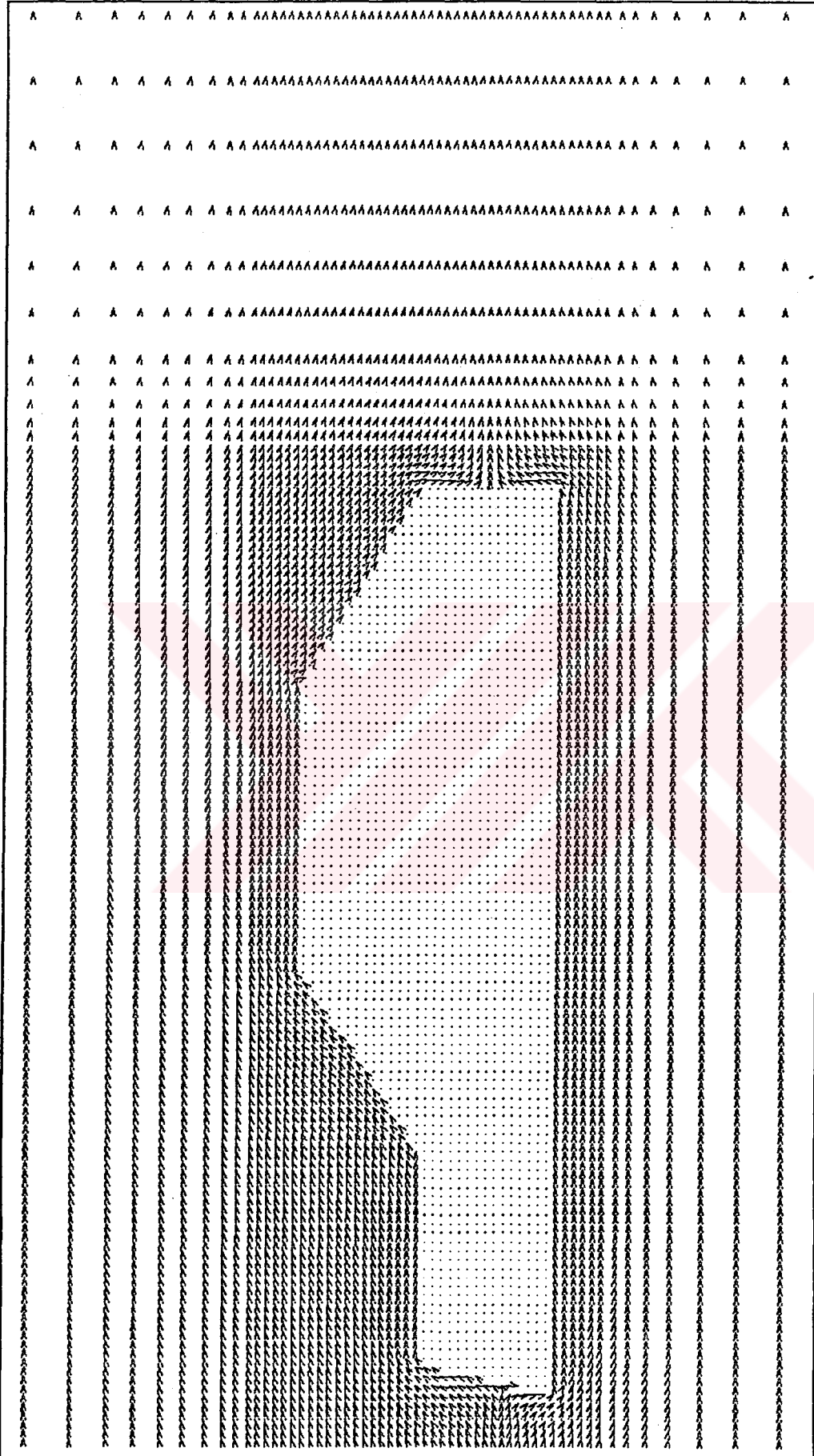
Model etrafındaki laminer akış çözümünde, ilgili başlangıç koşulu ve sınır koşulları kullanılarak, artan Reynolds sayısı ile akışın nasıl değiştiği incelenmiştir. $Re= 10, 25, 50, 100, 500$ olmak üzere Reynolds sayısının değişik değerleri için laminer akış çözümü elde edilmiştir. Herbir Reynolds sayısında akışın iterasyon sayısı ile nasıl değiştiği incelenmiş ve her durum için model arkasındaki hız alanı şekillerle gösterilmiştir. Şekil 13, ... ve 28' de bu değişimler görülmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi Reynolds sayısının $Re= 50$ değerine kadar akış alanı, belli bir iterasyon sayısından sonra değişmemektedir. $Re= 50$ ve daha büyük Reynolds sayısı değerlerinde akış alanı iterasyon sayısı ile belirgin bir şekilde değişmektedir. Bunun yanısıra şekillerden de görüldüğü üzere, model etrafındaki laminer akışta, artan Reynolds sayısı ile akışın yapısı belirgin bir şekilde değişmekte ve daha karmaşık bir hal almaktadır.

Ayrıca, Reynolds sayısı ile iterasyon sayısının değişimi incelenmiş ve Reynolds sayısının hangi değerine kadar daimi çözüme ulaşıldığı görülmüştür. Bu değişim Şekil 29' de gösterilmiştir. Burada N daimi çözüm elde etmek için yapılmış olan iterasyon sayısına karşılık gelmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere Reynolds sayısının $Re=45$ değerine kadar daimi çözüme ulaşılabilir.

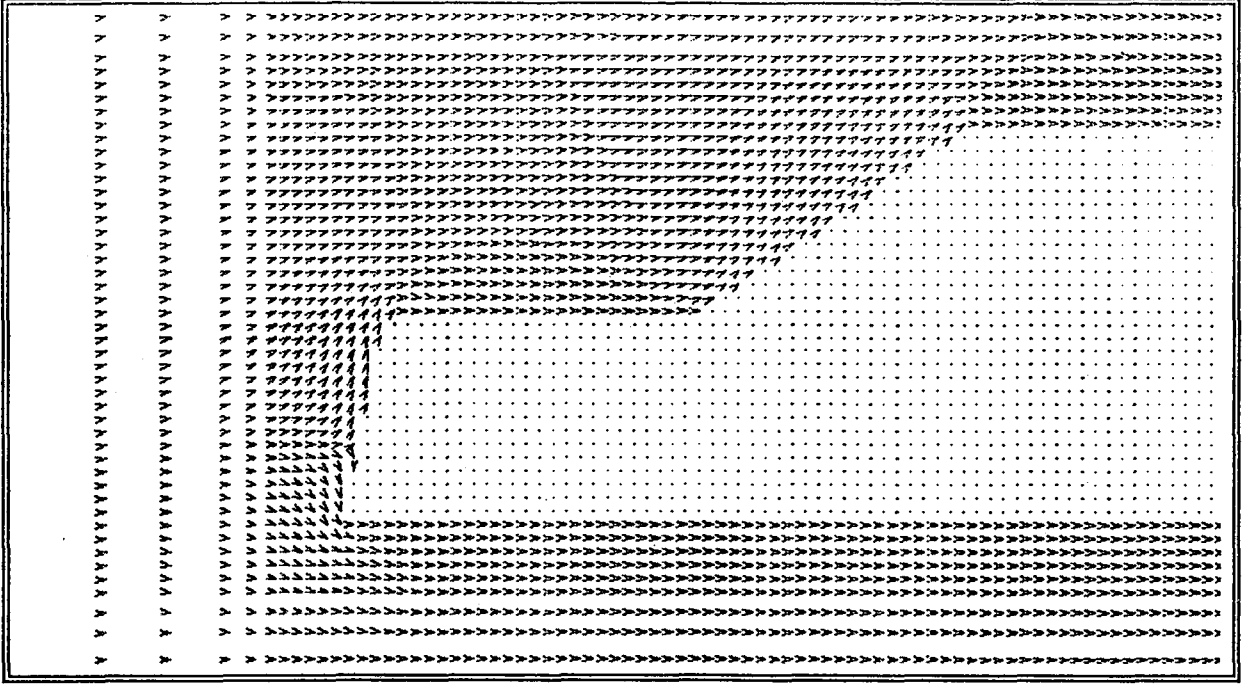
Bunun yanında, model arkasında oluşan ters akım bölgesi uzunluğunun artan Reynolds sayısı ile nasıl değiştiği incelenmiş ve Şekil 30' da grafik olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, Reynolds sayısı arttıkça, $Re=100$ değerine kadar ters akım bölgesi uzunluğu artmakta, Reynolds sayısının bu değerinden sonra pek bir değişim görülmemektedir.

3.4. Türbülanslı Akış Çözümü

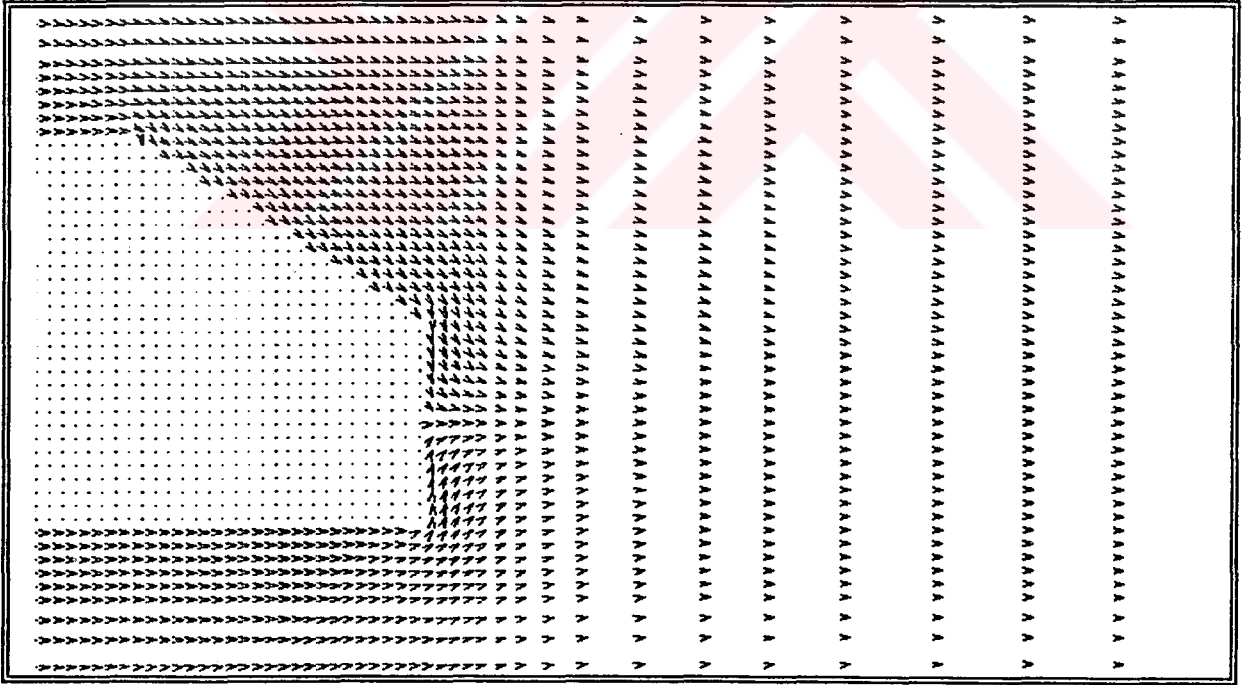
Efektif Reynolds sayısının $Re'=25$ değeri için, türbülanslı akışta model arkasında oluşan akış alanının yapısı incelenmiş ve elde edilen bu akış alanının zamanla değişmediği görülmüştür. Model arkasındaki akış alanının yapısının 1000. ve 10000. iterasyonlardaki durumu Şekil 31 ve Şekil 32' de görülmektedir.



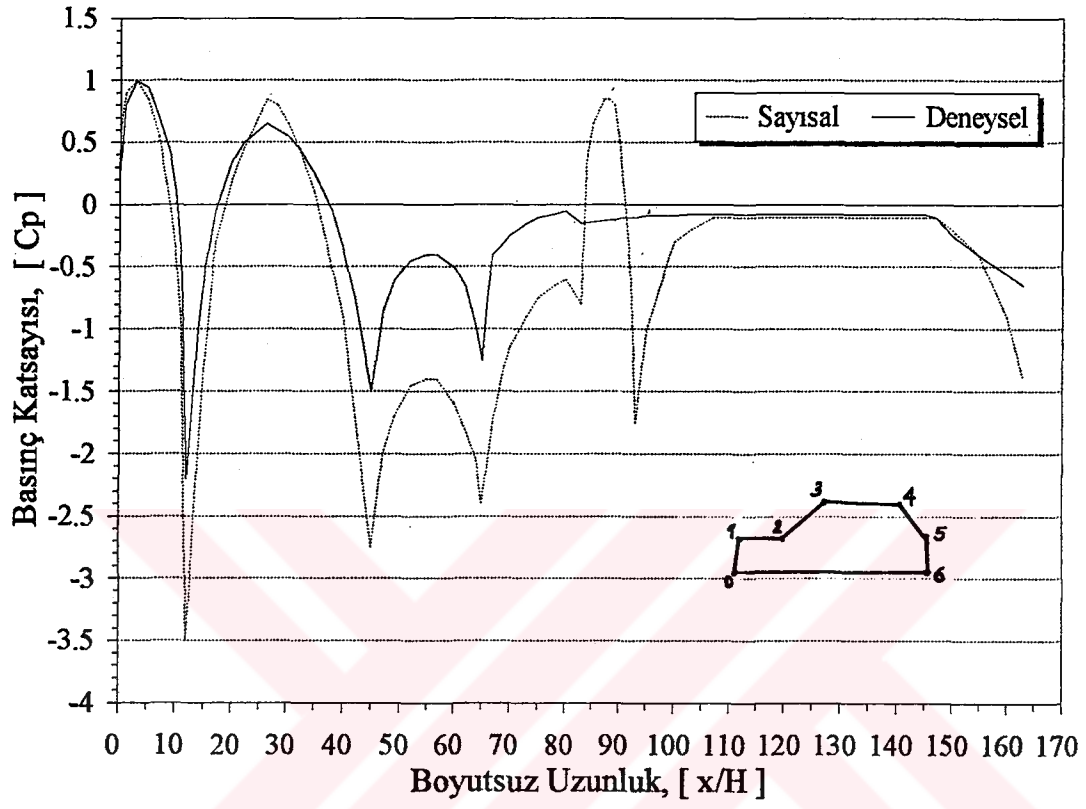
Şekil 8. Model etrafındaki potansiyel akışa ait hız alanı



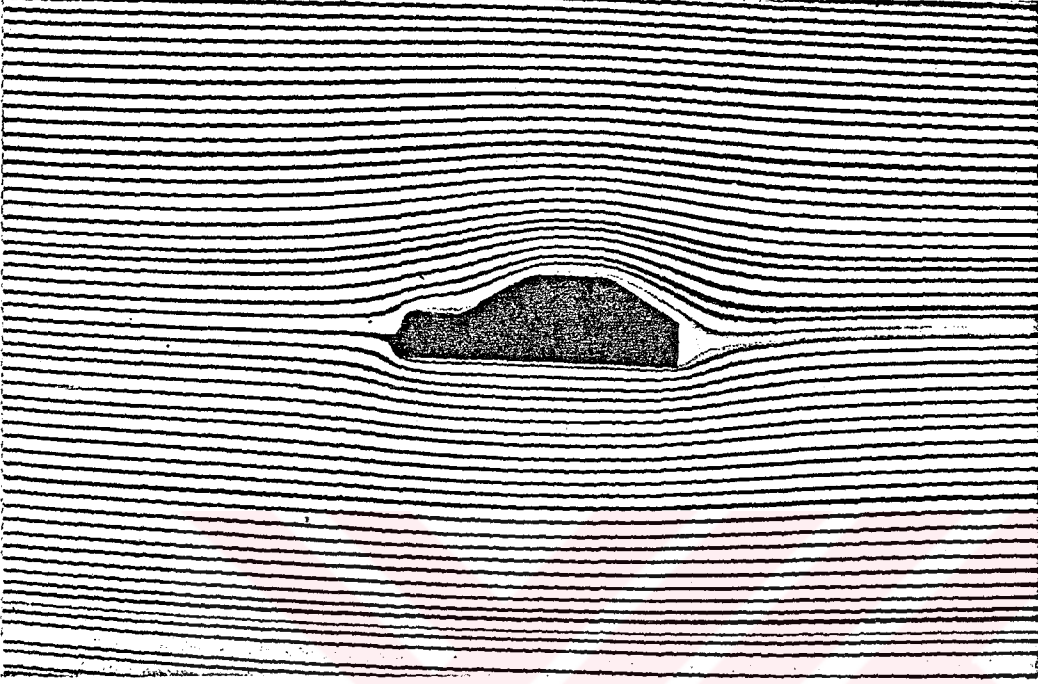
Şekil 9. Model önündeki potansiyel akışın yapısı.



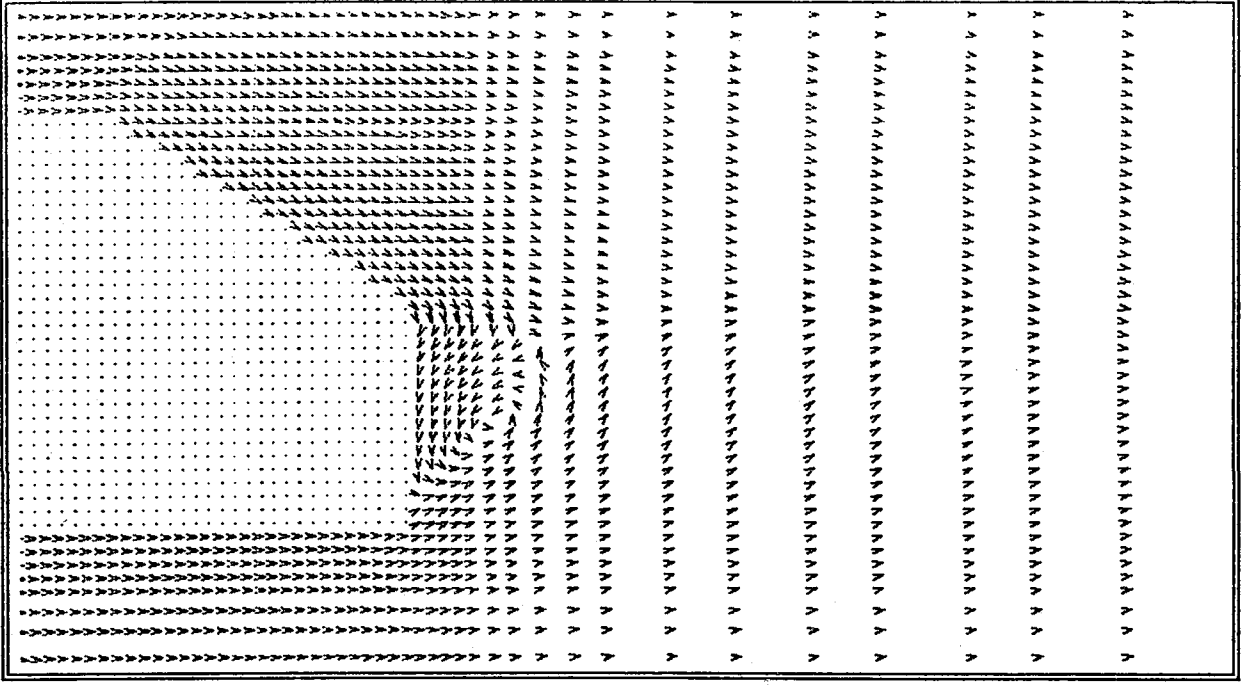
Şekil 10. Model arkasındaki potansiyel akışın yapısı.



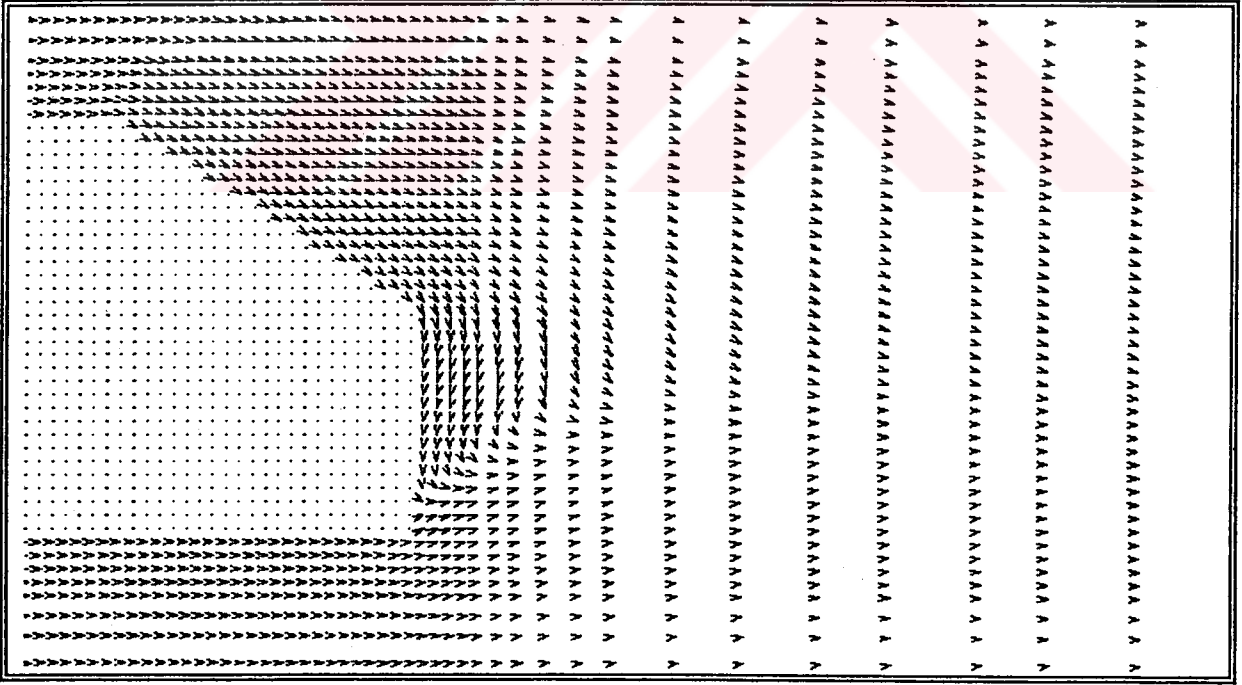
Şekil 11. Model cidarı boyunca basınç katsayısının değışimi



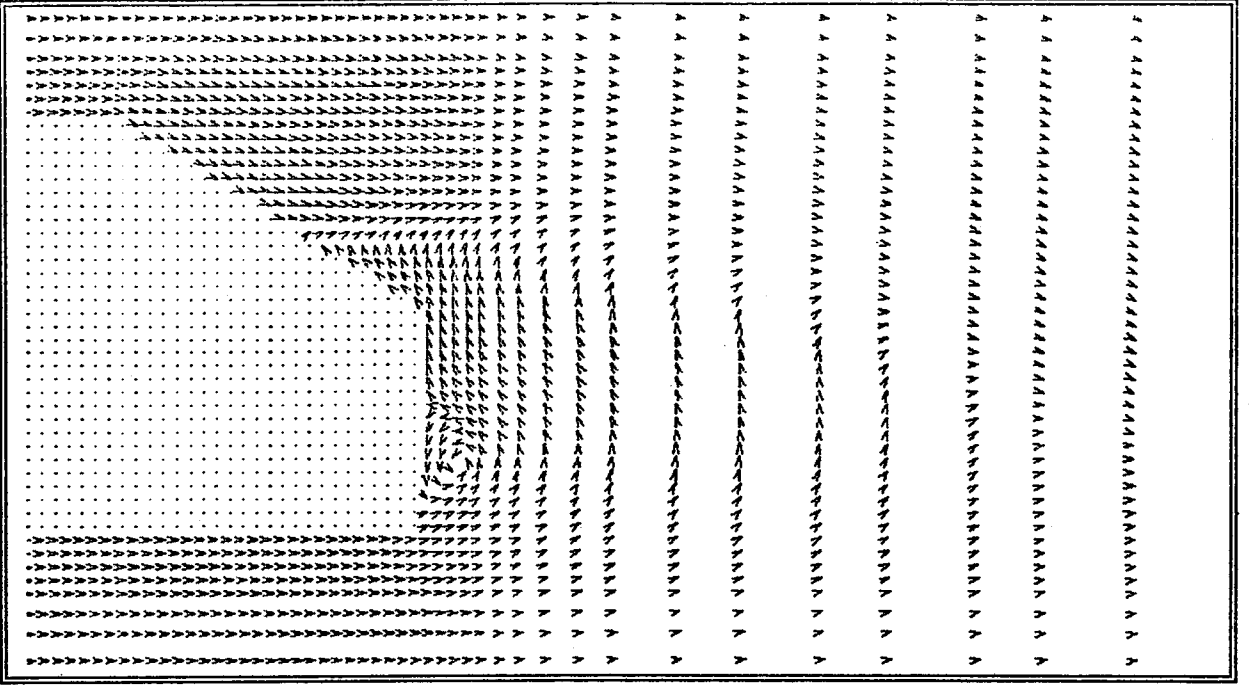
Şekil 12. Akış gözlenmesi deneyinden elde edilen,
model etrafındaki akışın görünümü.



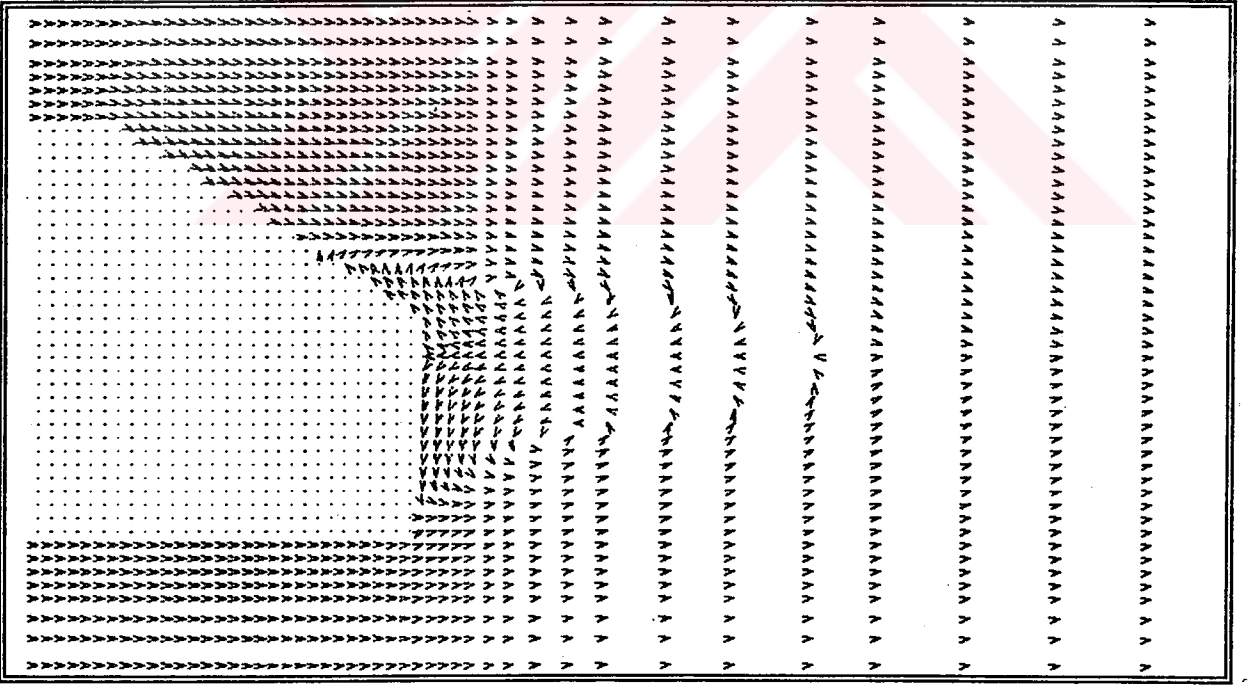
Şekil 13. $Re=10$ ve 1000 . için iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı



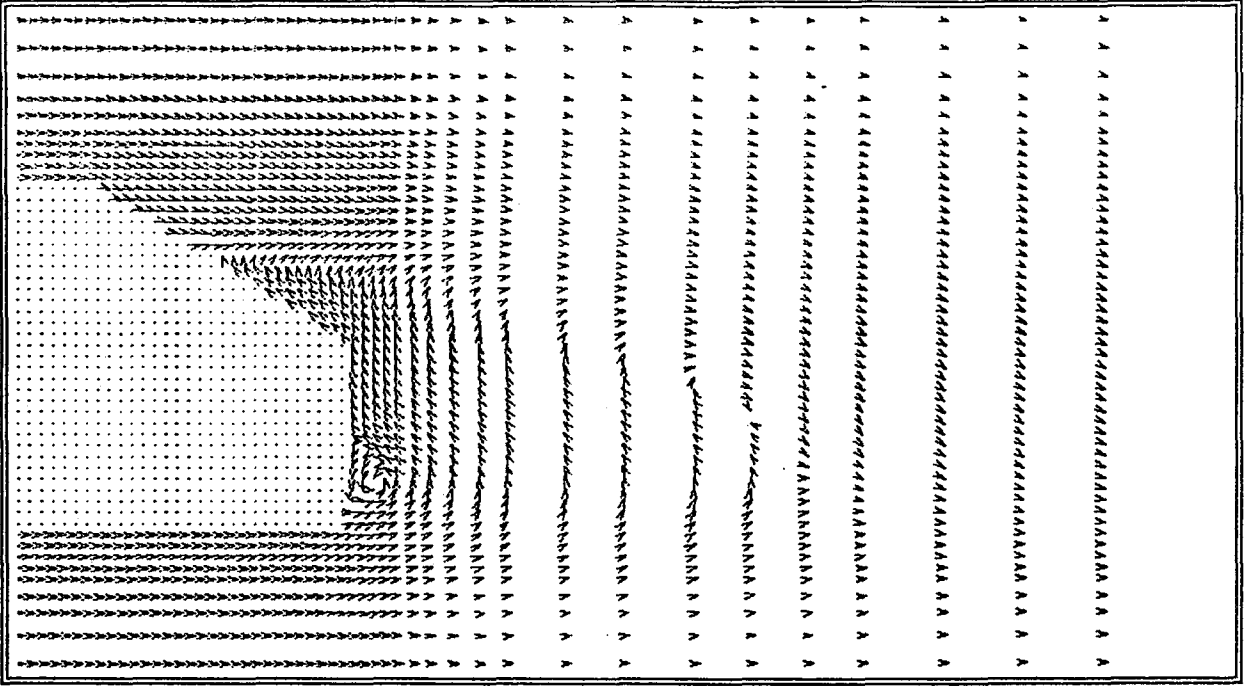
Şekil 14. $Re=10$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



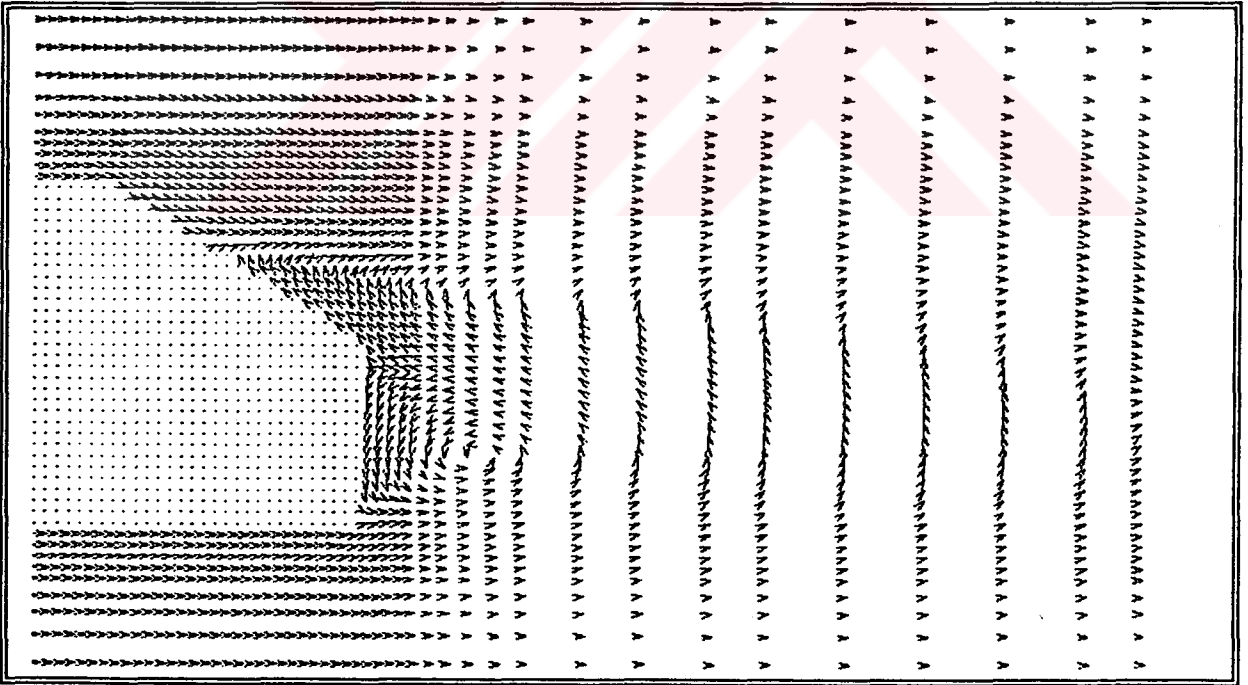
Şekil 15. $Re=25$ ve 1000. iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı



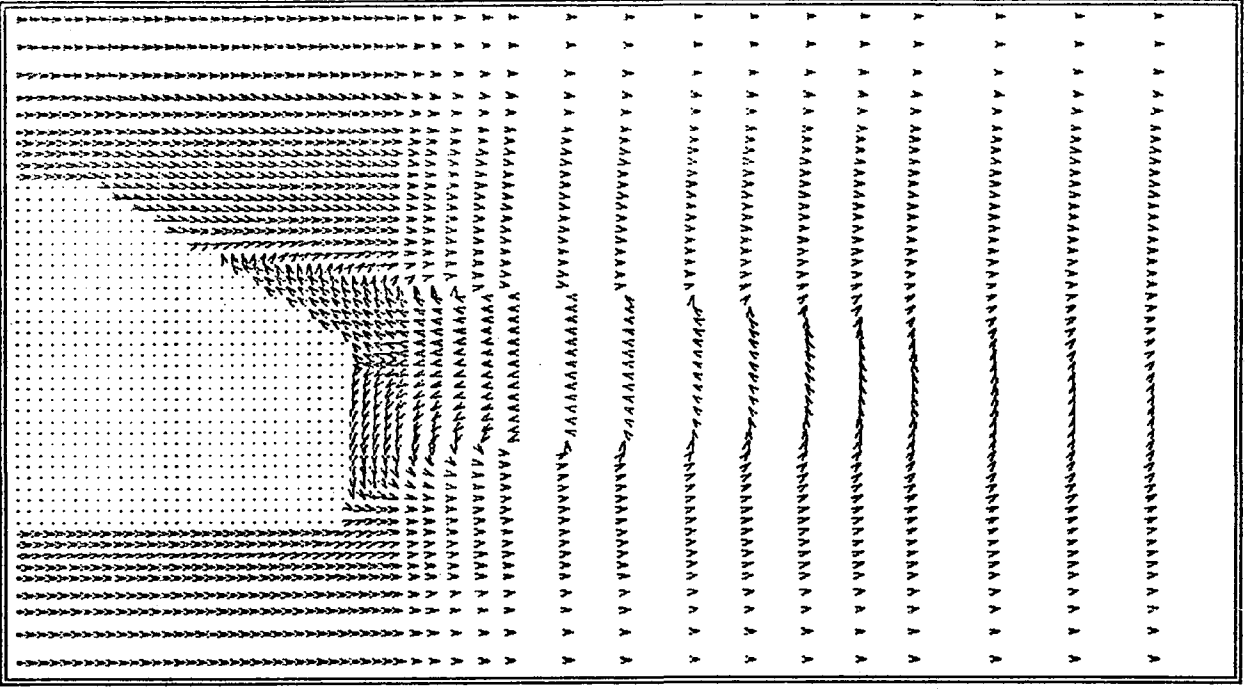
Şekil 16. $Re=25$ ve 10000. iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı.



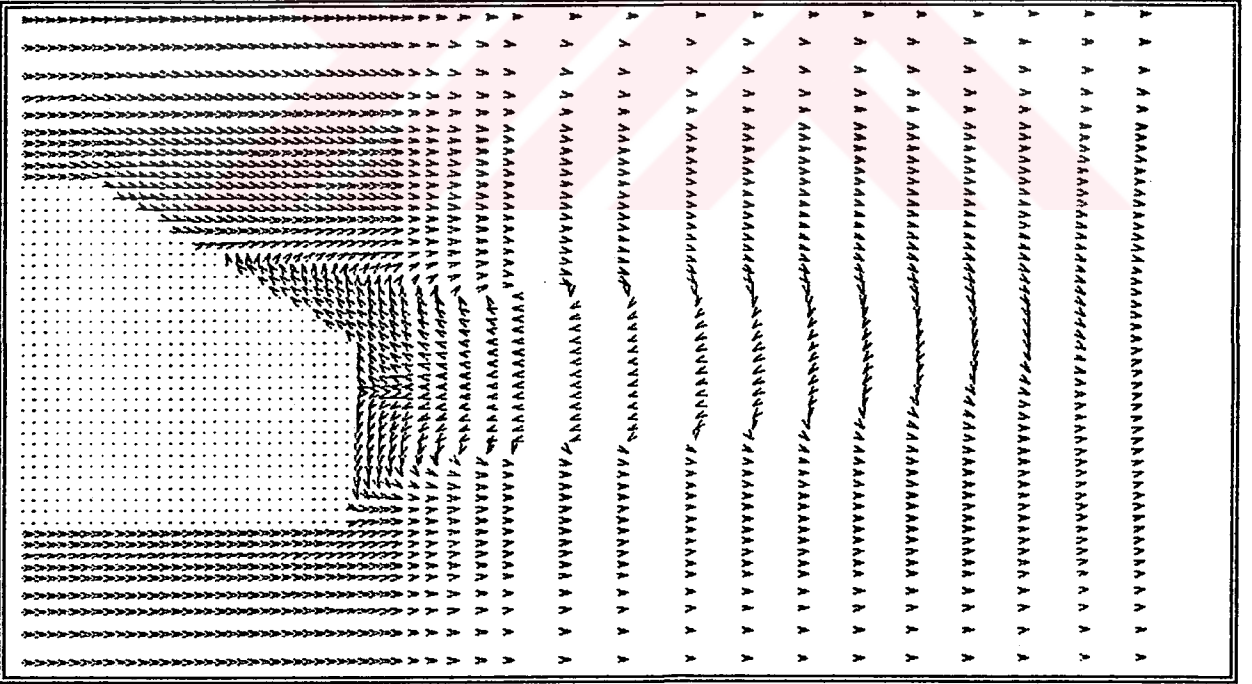
Şekil 17. $Re= 50$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



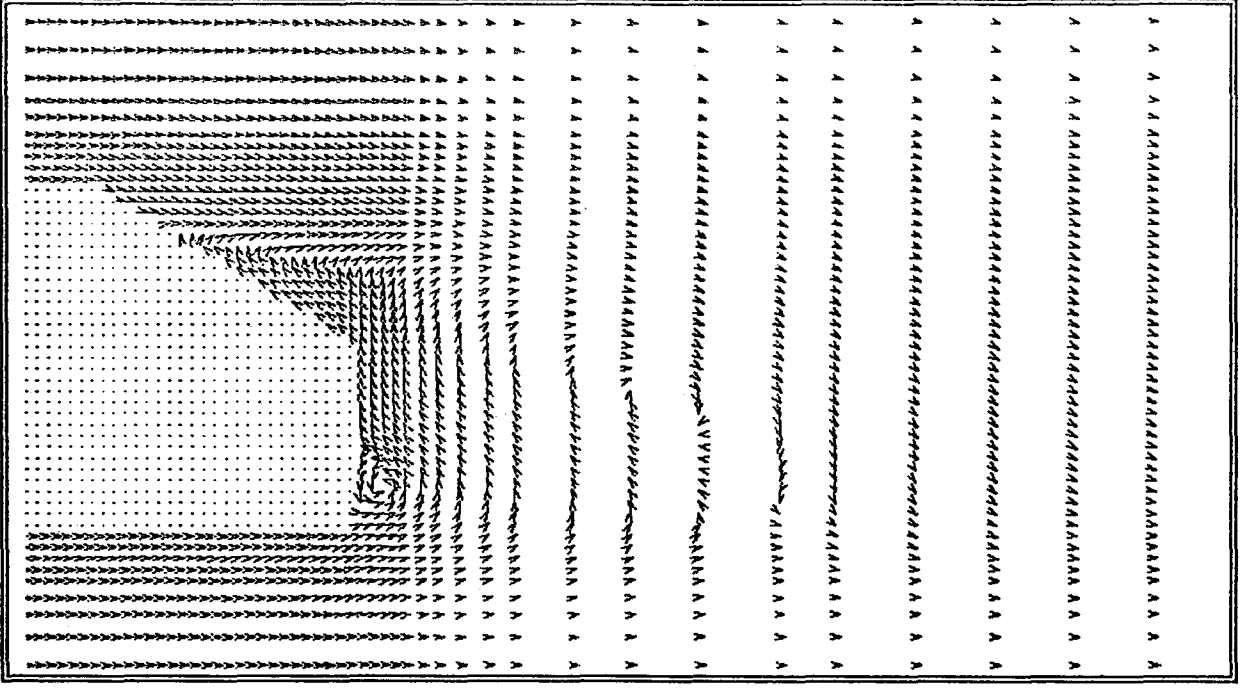
Şekil 18. $Re= 50$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



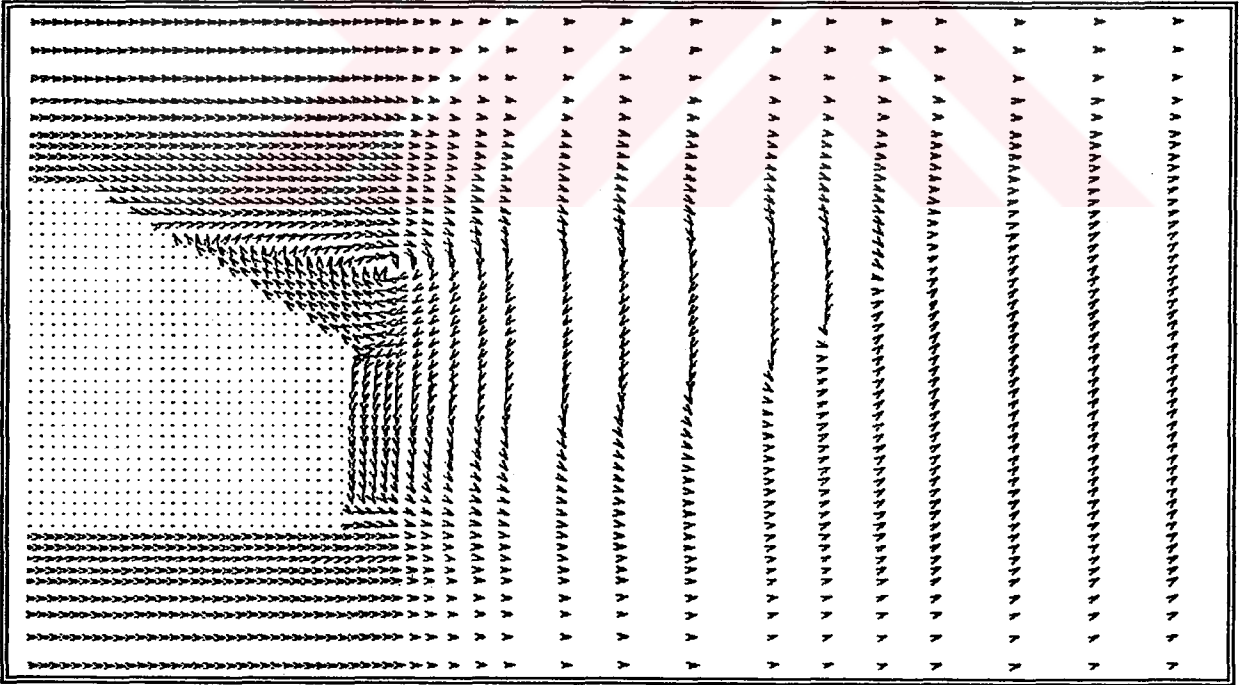
Şekil 19. $Re= 50$ ve 50000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



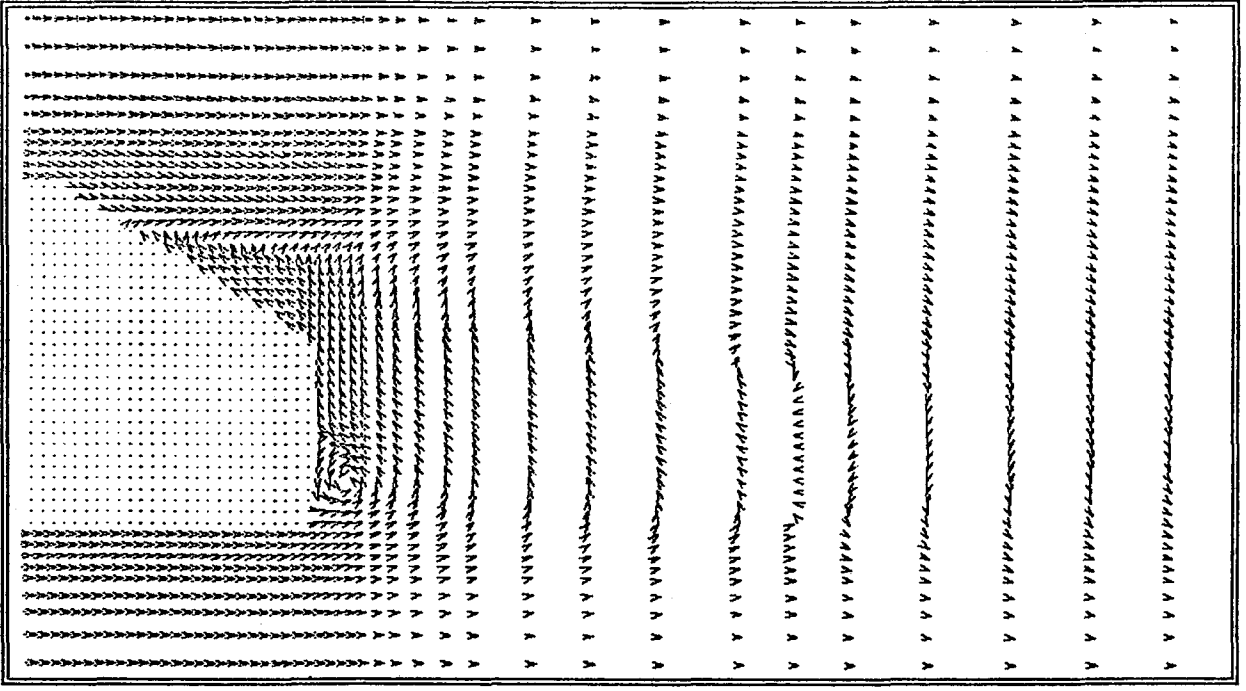
Şekil 20. $Re= 50$ ve 100000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



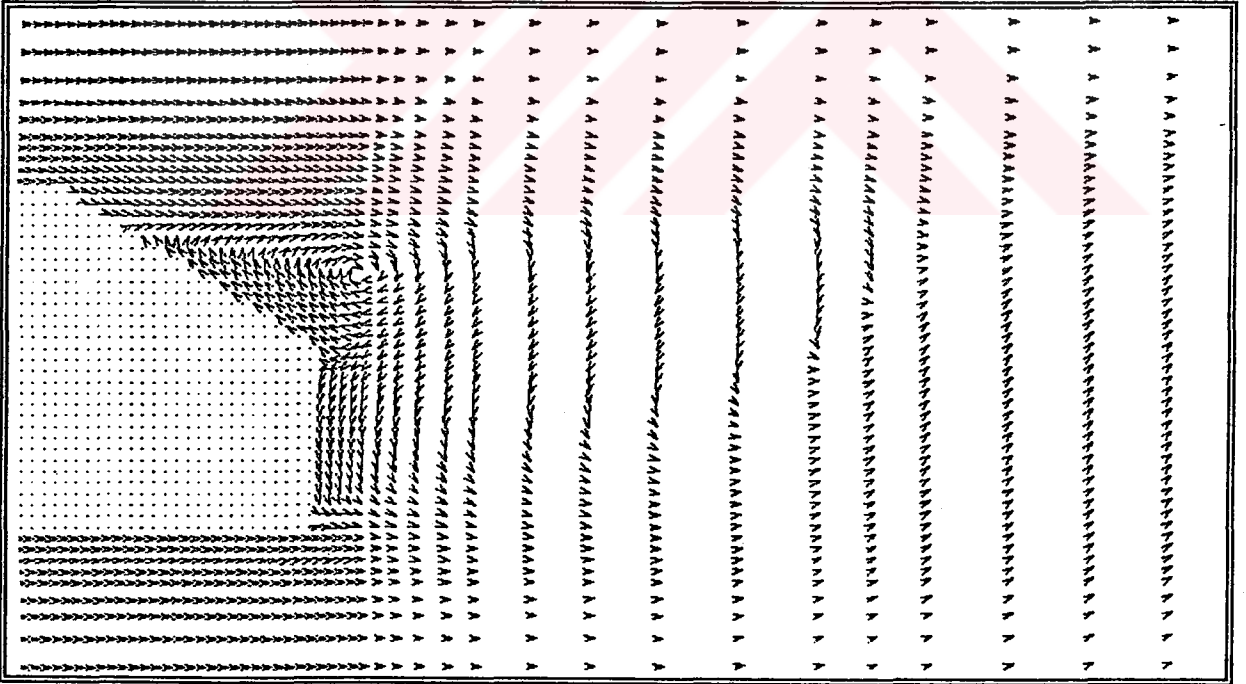
Şekil 21. $Re= 100$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



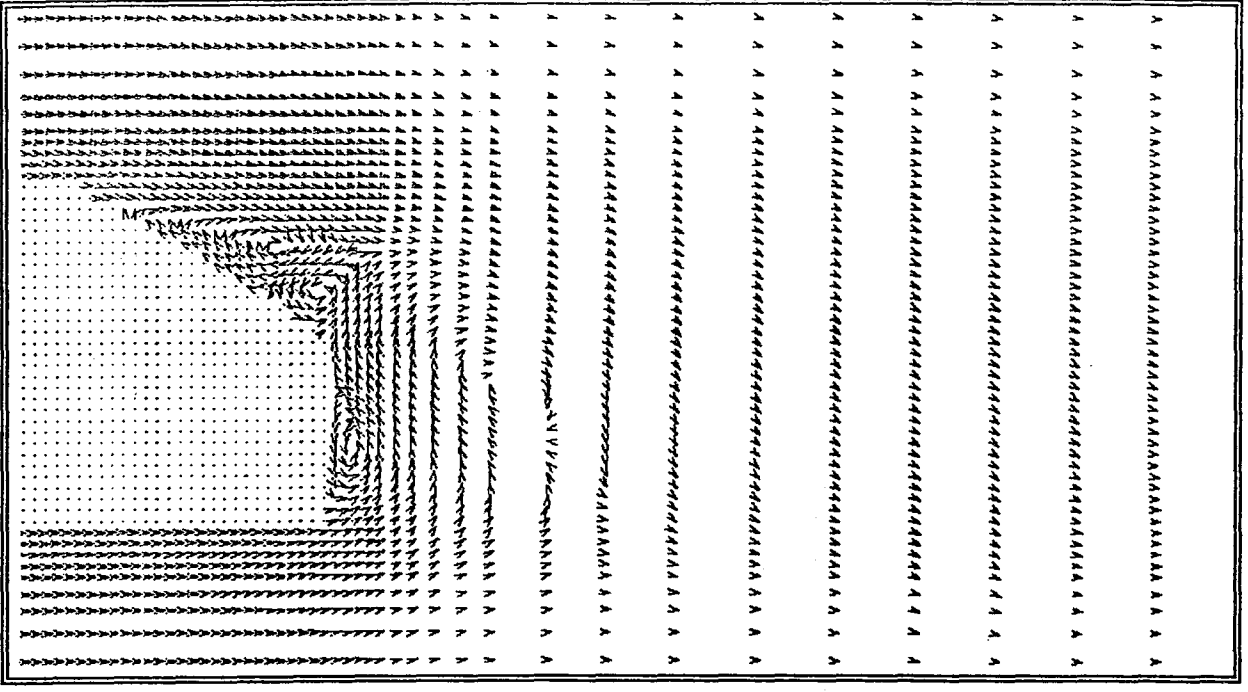
Şekil 22. $Re= 100$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



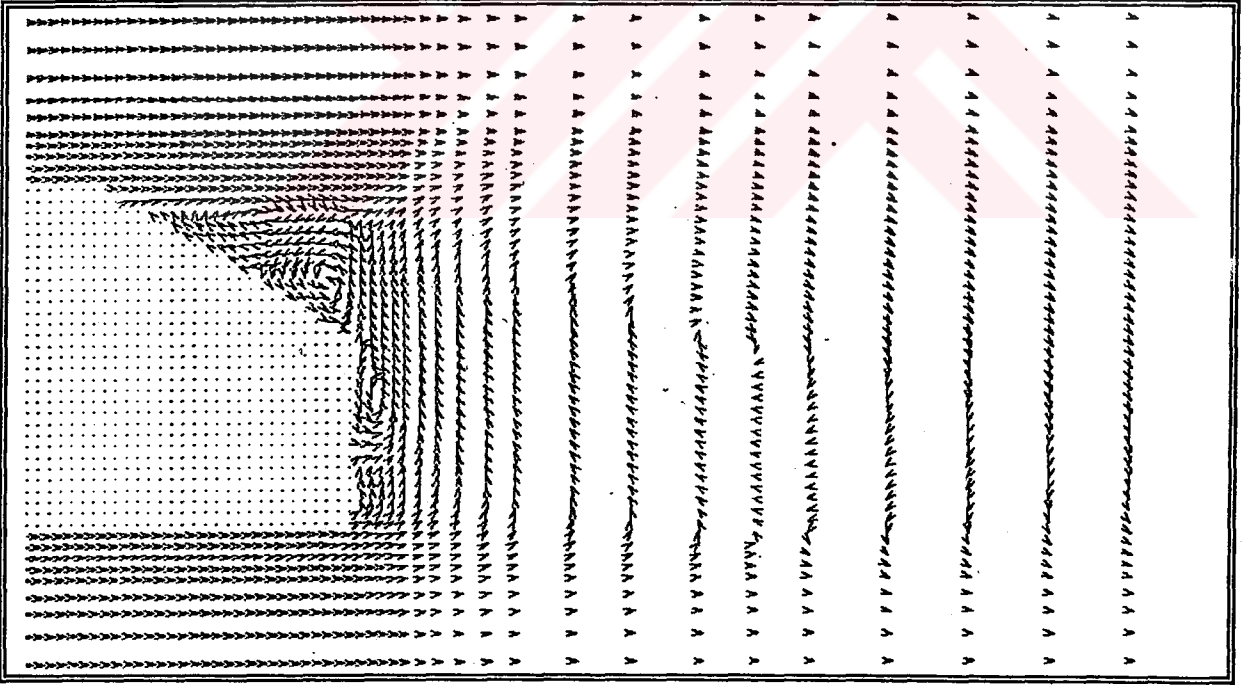
Şekil 23. $Re= 100$ ve 50000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı.



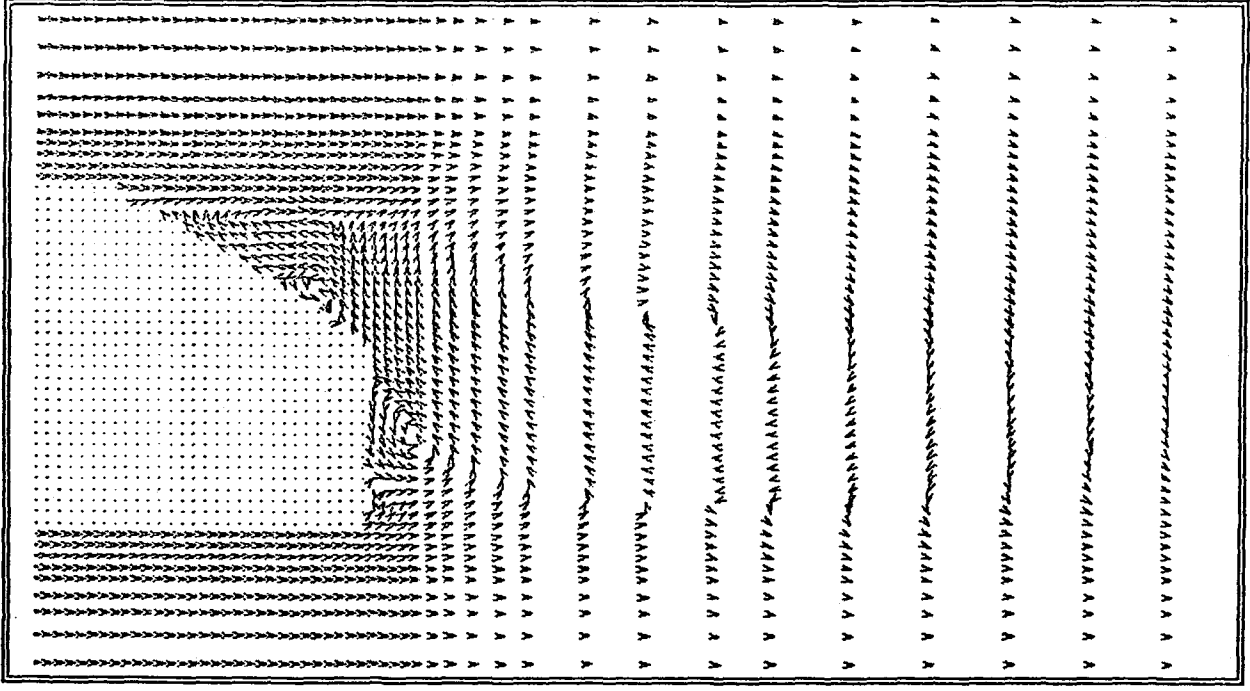
Şekil 24. $Re= 100$ ve 100000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı.



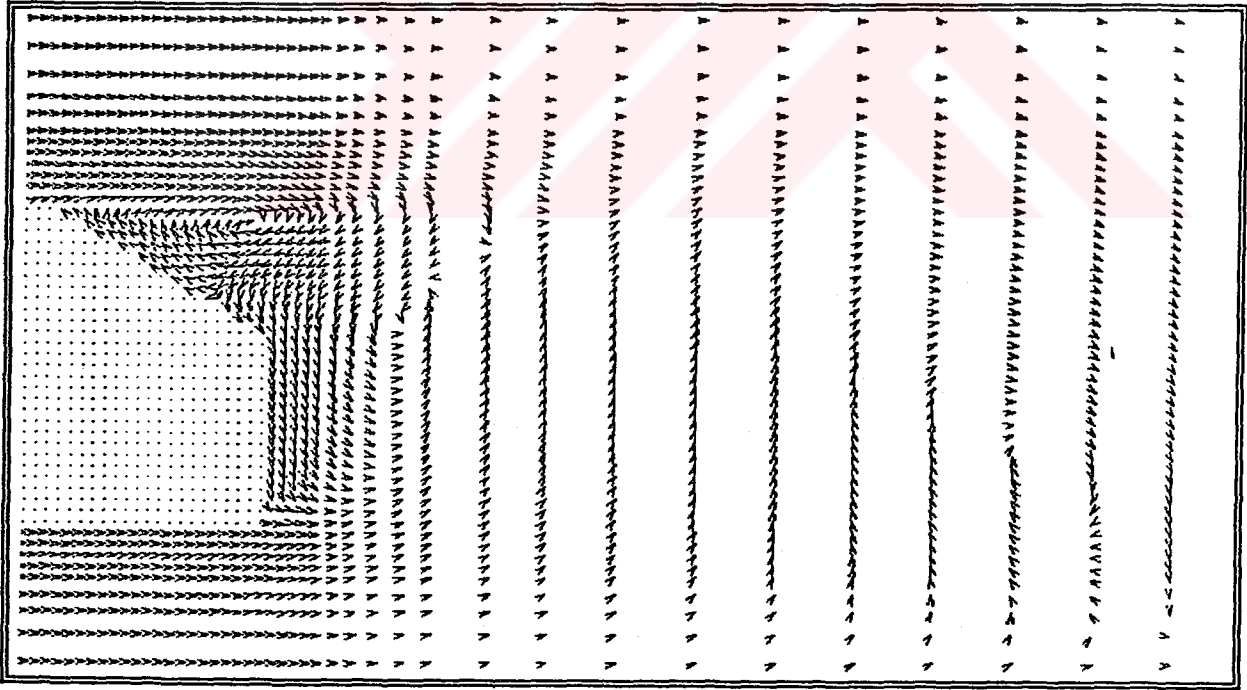
Şekil 25. $Re= 500$ ve 1000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



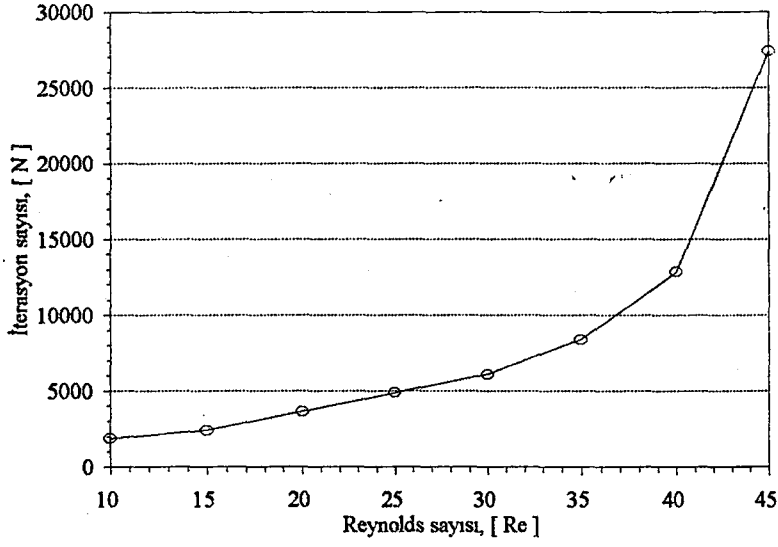
Şekil 26. $Re= 500$ ve 10000 . iterasyon için model arkasındaki laminar akışın yapısı.



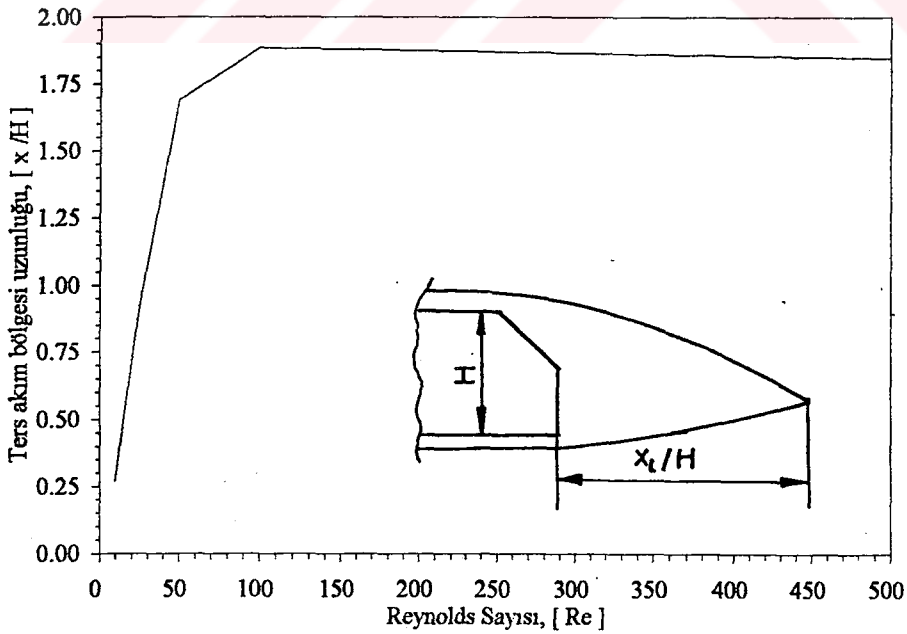
Şekil 27. $Re= 500$ ve 50000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı.



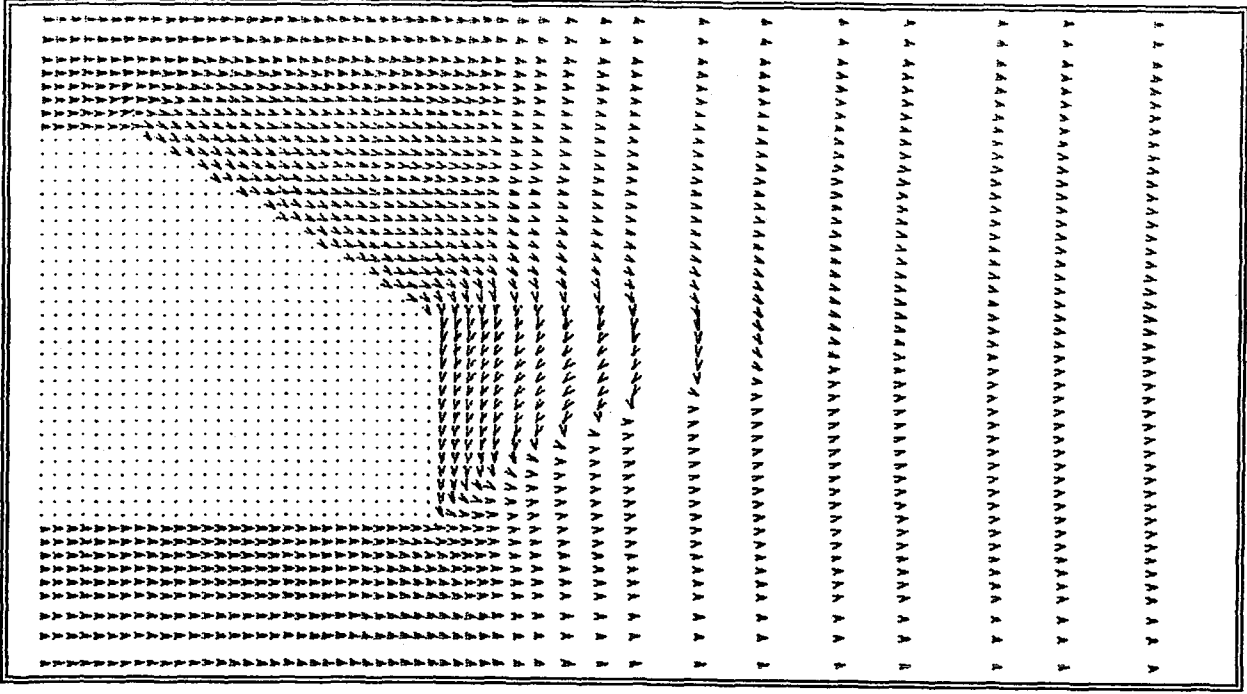
Şekil 28. $Re= 500$ ve 100000 . iterasyon için model arkasındaki laminer akışın yapısı.



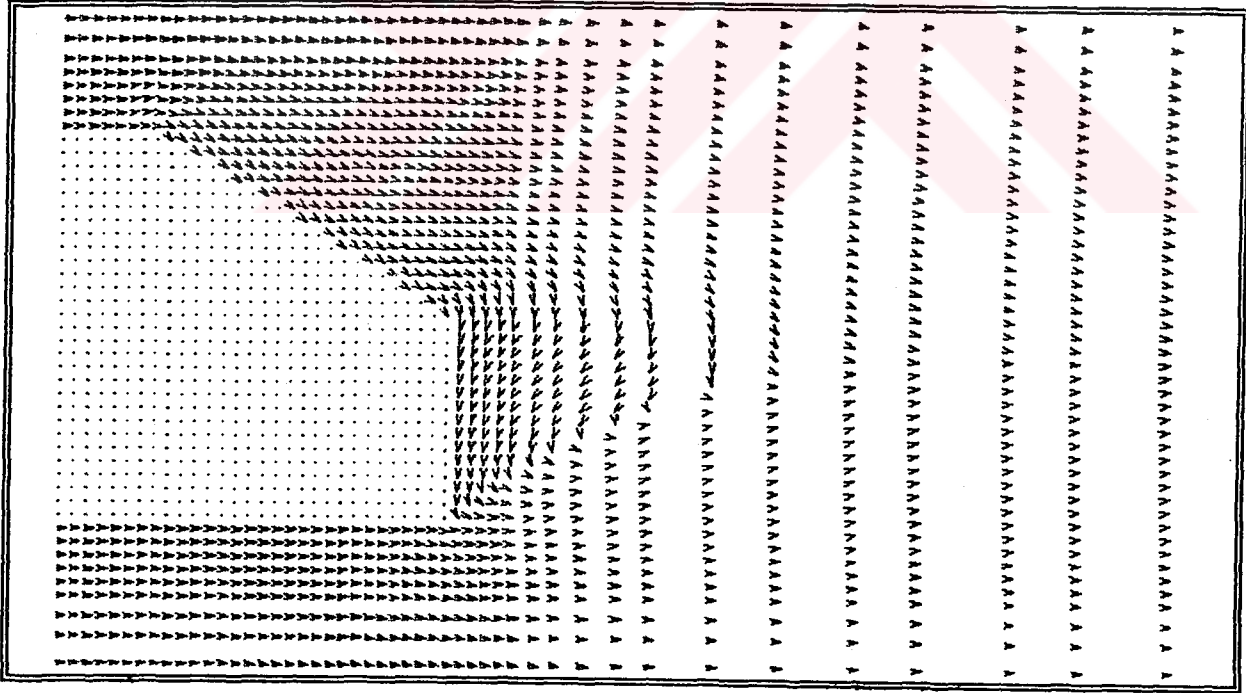
Şekil 30. Laminer akış durumunda, daimi çözümü veren iterasyon sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.



Şekil 31. Laminer akış durumunda, model arkasında oluşan ters akım bölgesi uzunluğunun Reynolds sayısı ile değişimi.



Şekil 31. Türbülanslı akış için, $Re'= 25$ ve 1000. iterasyonda model arkasındaki durum.



Şekil 32. Türbülanslı akış için, $Re'= 25$ ve 10000. iterasyonda model arkasındaki durum.

4. İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, iki boyutlu bir taşıt modeli etrafındaki potansiyel, laminer ve türbülanslı akış için çözümler aranmıştır. Değişik durumlar için elde edilen sonuçlar önceki bölümde verilmişti.

Akış gözlenmesi deneyleri, akış alanının potansiyel teoriye uygun olan kısımları için gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Taşıt modelinin özellikle ön, üst ve alt kısımlarında ortaya çıkan akım çizgileri yüksek Reynolds sayılı akış alanının karakterine uygun olmaktadır. Ancak taşıt modeli arkasındaki akış alanı, yüksek Reynolds sayılarında ayrılmaların ortaya çıktığı, dolayısıyla potansiyel teoriden uzaklaşıldığı bölge olması nedeniyle, bu bölge için akış gözlenmesi deneyleri pek anlamlı değildir.

Elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere, potansiyel akış çözümü ile akış gözlenmesi deney sonuçları ile uygunluk içindedir. Gerçekte, model etrafındaki akış sürtünmelidir. Gerçek akışlarda, diğer etkilerle karşılaştırıldığında sürtünme etkilerinin çok küçük olduğu bölgeler vardır. Bu bölgelerde potansiyel akış teorisi oldukça doğru sonuçlar vermektedir. Potansiyel akış çözümü için elde edilen sonuçlar model arkası hariç gerçek durumla iyi bir uyum içerisindedir. Bu da, bu bölgelerde viskozitenin akış üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, potansiyel akış durumunda model cidarı boyunca basınç katsayısının değişimi incelenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında araba arkası hariç iyi bir uyum elde edilmiştir. Eğriden görüldüğü üzere, modelin ön kısmında basınç katsayısının 1 değerini aldığı bir nokta meydana gelmektedir. Bu nokta akımın durduğu nokta olup, durma noktası olarak adlandırılır. Ayrıca (30) denkleminde görüldüğü üzere, durma noktasında $u = 0$ olacağından, basınç katsayısının değerinin 1 olacağı açıktır. Elde edilen bu basınç dağılımından yararlanarak, motor soğutma ve iç havalandırma sisteminde hava giriş ve çıkışı için uygun konumlar seçilebilir. Soğutma havası girişi yüksek basınç bölgesinde olacak şekilde, çıkışı ise emmenin olduğu bölgede yer alabilir (Emme durumu basınç katsayısının $C_p < 0$ olduğu durumlarda ortaya çıkar).

Laminer akış çözümünden elde edilen sonuçlara göre; artan Reynolds sayısı ile akışın yapısı belirgin bir şekilde değişmektedir. Reynolds sayısının $Re = 45$ değerine kadar akış alanı

daimi bir karakter göstermektedir. Reynolds sayısının daha büyük değerlerinde ise, akış alanı zamanla sürekli değişen bir hal almakta ve daimi olmayan çözümler elde edilmektedir. Reynolds sayısının bu değerlerinde, model arkasında bir girdap dizisi oluşmaktadır. Oluşan bu girdap dizisi modele etkileyen direnci önemli şekilde etkilemekte ve artan Reynolds sayısı ile birlikte oluşan giradapların sayısı da artmaktadır.

Bunun yanında, laminer akışta modelin arkasında oluşan ters akış bölgesinin uzunluğu Reynolds sayısından etkilenmektedir. Reynolds sayısının değeri arttıkça, ters akış bölgesinin uzunluğu da artmakta, ancak Reynolds sayısının belli bir değerinden sonra ($Re=100$) oluşan küçük girdapçıklar ters akış bölgesinin daha fazla uzamasını engellemektedir. Ayrıca, bu tür girdap dizisinin oluştuğu durumlarda Strouhal sayısının değerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu sayı model arkasında ortaya çıkan girdapların frekansı ile ilgilidir. Bunun için bir noktada ortaya çıkan girdabın tekrar aynı noktada ortaya çıkması için gerekli sürenin bilinmesi gerekir. Bunun belirlenebilmesi için akış alanının, program çalışmaktayken sürekli olarak gözlenmesi gerekmektedir. Bu da ancak, kullanmış olduğumuz bilgisayar sisteminden çok daha hızlı bilgisayar sistemleri ve daha da geliştirilmiş bilgisayar programları ile olanaklıdır.

Bu çalışmada model etrafında türbülanslı akış çözümünde uygulanan yöntem oldukça basittir. Bu yöntem büyüklüklerin nitelik olarak önemli olduğu çalışmalarda geçerlidir. Akış alanı ile ilgili gerçek değerlendirmenin yapılmasında bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Burada seçilen efektif Reynolds sayısının gerçek durum için karşılık geldiği Reynolds sayısını belirlemek geniş bir çalışmayı gerektirmektedir. Bunun için deneysel çalışmalar yapılarak, bu yöntemle elde edilen akış alanı ile deneysel çalışmalardan elde edilen akış alanı ile karşılaştırılıp, uyumun elde edildiği efektif Reynolds sayısının belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada $Re'=25$ olarak seçilmiştir. Oysa, seçilen bu efektif Reynolds sayısının doğruluğunu test etmek için, yapılabilecek deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla kıyaslama yapılması gerekirdi. Ancak olanaksızlıklar, bu tür bir çalışmanın yapılmasını olanaksız kılmıştır. Ayrıca, gerçek akışın hangi Reynolds sayısına karşılık geldiğini bulmak yerine, gelişmiş bir türbülans modeli kullanarak çözüm aramak daha kullanışlı ve anlamlı sonuçlar verecektir.

Bu çalışmada sürtünmeli, akış durumu için basınç katsayısının değişimi hesap edilememiştir. Bunun nedeni, kullanılan denklemlerde basıncın bir değişken olarak yer almamasıdır. Ayrıca, kullanılan ağ yapısı nedeniyle, basınç hesaplamaları için yüzeydeki noktaların normalleri alındığında bulunan noktalar, ağ noktaları ile çakışmamaktadır. Bu nedenle, yüzeye uygun bir ağ geometrisi kullanmamız daha geniş ve güvenilir değerlendirmeler yapmamızı sağlayacaktır.

5. SONUÇLAR

1. Sayısal çalışmalar sayesinde, oldukça ekonomik bir şekilde ve daha kısa zamanda araba aerodinamiği ile ilgili kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

2. Navier-Stokes denklemlerinden basıncın yok edilmesiyle çıkarılan akım fonksiyonu-girdap deklemleri iki boyutlu çalışmalarda oldukça kullanışlıdır.

3. Pratikte çoğu zaman cismin yüzeyinde basınç ve hız dağılımı arandığından, taşıtlar gibi karmaşık geometrilere sahip cisimlerde, ağ noktalarının cismin yüzey noktaları ile çakıştırılması, gerek sayısal hesaplama açısından, gerekse pratik açıdan oldukça önemlidir.

4. Sürtünmeli akış çözümünde potansiyel akış çözümünün başlangıç çözümü olarak kullanılması çözümü kolaylaştırmaktadır.

5. Potansiyel akış çözümü, akış gözlenmesi deneyleriyle iyi bir uygunluk göstermektedir. Gerçek akış çözümü ile kıyaslandığında ise, ayrılmanın olduğu bölgeye kadar iyi sonuç verdiği görülür.

6. Potansiyel akış çözümü ile hesaplanan basınç katsayısının değişimi, modelin arka kısmı hariç iyi bir sonuç vermektedir. Elde edilen bu sonuçlar, motor soğutma ve havalandırma sistemlerinin dizaynında kullanılabilir.

7. Laminer akış çözümünde, Reynolds sayısının $Re= 45$ değerine kadar daimi çözümler elde edilebilmektedir. Reynolds sayısının bu değerinden sonra ise, akış alanı zaman bağımlı olmaktadır.

8. Ayrıca laminer akış durumunda model arkasında oluşan ters akış bölgesi uzunluğu, $Re= 100$ değerine kadar artmakta, daha büyük değerlerde ise oluşan girdaplar ters akım bölgesinin uzunluğunu etkilemektedir.

9. Efektif Reynolds sayısı modeli, taşıt modeli etrafındaki akışta sadece nitelik olarak değerlendirme yapabileceğimiz sonuçlar vermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Hucho, W.-H., Aerodynamics of Road Vehicles, First Edition, Butterworth-Heinemann, London, 1987.
2. Fletcher, C.A.J., Computational Techniques for Fluid Dynamics 1, Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
3. Widemann, J. and Ewald B., Turbulence Manipulation to Increase Effective Reynolds Numbers in Vehicle Aerodynamics, AIAA Journal, 27, 6 (1989) 763-769.
4. Müllenbach, P., Deutenbach, K.-R., Determination of dynamic and reference pressure in automobile wind tunnels with open test section, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38, (1991) 11-12.
5. Müllenbach, P., Deutenbach, K.-R., Influence of boundary control systems on the flow field around passenger cars, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38, (1991) 29-45.
6. Fago, B., Lindner, H. and Mahrenholtz, O., The effect of ground simulation on the flow around vehicles in wind tunnel testing, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38, (1991) 47-57.
7. Kramer, C., Grundmann, R. and Gerhardt, H.J., Testing of road vehicles under cross wind conditions, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 38, (1991) 59-69.
8. Losito, V., de Nicola, C., Albertoni, S., Berta, C., Numerical solutions of potential and viscous flow around road vehicles, International Journal of Vehicle Design, SP3, (1983) 429-440.
9. Demuren, A.O., Rodi, W., Calculation of three-dimensional flow around car bodies, International Symposium Vehicle Aerodynamics, June 1982, Wolfsburg, Proceeding of the Symposium, Vol. 1, 178- 187.
10. Schlichting, H., Boundary Layer Theory, Seventh Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1979.
11. Anderson, D.A., Tannehill, J.C., Pletcher, R.H., Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, First Edition, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1984.
12. Mauermayer, R., Numerische Berechnung der Schadstoffausbreitung im Strömungsfeld Scharfkantiger Gebäude, Doktora Tezi, Technische Universität, München, 1977.
13. Roache, P. J., Computational Fluid Dynamics, Second Edition, Hermosa Publisher, New Mexico, 1976.
14. Patankar, S. V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, First Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1980.

7. EKLER

A. Bilgisayar Programı

```

C=====
C== BU PROGRAM İKİ BOYUTLU BİR OTOMOBİL MODELİ ETRAFINDAKİ =====
C==== LAMİNER VE TÜRBÜLANSLI AKIŞ DURUMU İÇİN ÇÖZÜM ARAR. =====
C=== POTANSİYEL AKIŞ ÇÖZÜMÜNÜ DİĞER ÇÖZÜMLER İÇİN =====
C===== BAŞLANGIÇ KOŞULU OLARAK KULLANIR =====
C==== AKIM FONKSİYONU-GİRDAP DENKLEMLERİNİ SONLU FARKLAR =====
C===== YÖNTEMİNDEN YARARLANARAK ÇÖZER =====
C===== GİRDAP (Z), AKIM FONKSİYONU (PSI) DEĞERLERİNİ =====
C==== KULLANARAK TÜM AKIŞ ALANINDA X VE Y DOĞRULTUSUNDAKİ =====
C===== U VE V HIZLARINI, VE DE BİLEŞKE HIZI HESAPLAR =====
C== VERİLEN SINIRLAR VE BOYUTLAR İÇERİSİNDE AKIŞ ALANINDAKİ ====
C===== HIZ VEKTÖRLERİNİ ÇİZER. =====
C=====
C

```

BLOCK DATA

```

PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS),PX(5),PY(5),CP(IS,JS)
COMMON/SAB2/P(IS,JS),PSI1(IS,JS),Z1(IS,JS),AC1(IS,JS),
:HATPSI(IS,JS),HATZ(IS,JS),HIZ(IS,JS)
COMMON/SAB3/R(CD),S(CD),KM(Q),LM(Q)
COMMON W(215)
COMMON ZZ(215)
COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
DATA DT,M,N,H,RE/0.003,145,60,16,25/
DATA Z,PSI/17400*0.000000001/

```

```

C***** AÇ DÜZENLEME *****

```

```

DATA((DX(I,J),J=1,JS),I=1,ID)/
:120*0.167,60*0.133,60*0.1,60*0.083,60*0.067,60*0.05,
:6660*0.033,120*0.05,60*0.067,120*0.083,120*0.1,
:60*0.133,1080*0.167/
DATA((DY(I,J),I=1,IS),J=1,JD)/
:290*0.167,145*0.133,145*0.1167,145*0.083,145*0.067,

```

:290*0.05,5800*0.033,290*0.05,145*0.067,290*0.083,
:290*0.1,145*0.133,435*0.167/

C***** BAŞLANGIÇ NOKTALARI *****

DATA (R(I),I=2,59)/58*2/
DATA (R(I),I=60,76)/17*115/
DATA (R(I),I=77,90)/114,112,111,109,107,106,104,103,
:101,99,98,96,94,93/

C***** BİTİŞ NOKTALARI*****

DATA(S(I),I=2,13)/12*ID/
DATA(S(I),I=14,18)/5*13/
DATA(S(I),I=19,23)/5*14/
DATA(S(I),I=24,28)/5*15/
DATA(S(I),I=29,30)/2*16/
DATA(S(I),I=31,44)/40,42,43,45,46,48,49,51,52,53,55,56,58,59/
DATA(S(I),I=45,90)/46*ID/

C***** ARABA İÇİ KOORDİNATLARI *****

DATA(KM(I),I=1,5)/5*14/
DATA(KM(I),I=6,10)/5*15/
DATA(KM(I),I=11,15)/5*16/
DATA(KM(I),I=16,17)/2*17/
DATA(KM(I),I=18,31)/41,43,44,46,47,49,50,52,53,54,56,57,59,60/
DATA(LM(I),I=1,17)/17*114/
DATA(LM(I),I=18,31)/113,111,110,108,106,105,103,102,100,
:98,97,95,93,92/

C***** SINIR DEĞERLERİ *****

DATA(W(I),I=1,5)/5*14/
DATA(W(I),I=6,10)/5*15/
DATA(W(I),I=11,15)/5*16/
DATA(W(I),I=16,17)/2*17/
DATA(W(I),I=18,99)/18,19,20,21,22,23,24,
:25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,43,44,46,
:47,49,50,52,53,54,56,57,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,
:71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,
:91,92,93,95,97,98,100,102,103,105,106,108,110,111,113/
DATA(W(I),I=100,116)/17*114/
DATA(W(I),I=117,215)/113,112,111,110,109,108,107,106,105,104,
:103,102,101,100,99,98,
:97,96,95,94,93,92,91,90,89,88,87,86,85,84,83,

```

:82,81,80,79,78,77,
:76,75,74,73,72,71,70,69,68,67,66,65,64,63,62,
:61,60,59,58,57,56,
:55,54,53,52,51,50,49,48,47,46,45,44,43,
:42,41,40,39,38,37,36,35,
:34,33,32,31,30,29,28,27,26,25,
:24,23,22,21,20,19,18,17,16,15/

```

C

```

DATA(ZZ(I),I=1,16)/14,15,16,17,18,19,20,21,22,
:23,24,25,26,27,28,29/
DATA(ZZ(I),I=17,40)/24*30/
DATA(ZZ(I),I=41,53)/31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43/
DATA(ZZ(I),I=54,86)/33*44/
DATA(ZZ(I),I=87,115)/43,42,41,
:40,39,38,37,36,35,34,33,32,31,30,29,28,27,26,
:25,24,23,22,21,20,19,18,17,16,15/
DATA(ZZ(I),I=116,215)/100*14/
END

```

```

C=====
C=====ANA PROGRAM=====
C=====

```

```

PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS),PX(5),PY(5),CP(IS,JS)
COMMON/SAB2/P(IS,JS),PSI1(IS,JS),Z1(IS,JS),AC1(IS,JS),
:HATPSI(IS,JS),HATZ(IS,JS),HIZ(IS,JS)
COMMON/SAB3/R(CD),S(CD),KM(Q),LM(Q)
COMMON W(215)
COMMON ZZ(215)
COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
OPEN(UNIT=6,STATUS='OLD',FILE='car.SON')
WRITE(*,*)'OK(0/1) '
READ(*,*)OK
WRITE(*,*)'EKRANDAN GORUNTU '
WRITE(*,*)'(1)RENKLI, (2)MONO '
READ(*,*) EKTRAN
WRITE(*,*)'CIKTILAR '

```

```

WRITE(*,*)'====='
WRITE(*,*)'1- LASER "LTA1020"'
WRITE(*,*)'2- COLOR "LTA1022"'
WRITE(*,*)'3- NORMAL"LTA1032"'
READ(*,*)CIKTI
WRITE(*,*)'X1,X2,Y1,Y2 Degerlerini gir '
READ(*,*)BD1,BD2,FC1,FC2
WRITE(*,*)'X Ekseni ve Y Ekseni Buyultme Orani'
READ(*,*) AR1,AR2
WRITE(*,*)'ITERASYON SAYISINI GIRINIZ '
C** AKIŞIN LAMİNER Mİ YOKSA TÜRBÜLANSLI MI OLDUĞUNA KARAR VERİN *
READ(*,*) SAY
PRINT *, ' LAMİNER(1) MI YOKSA TURBULANSLI(2) MI '
READ(*,*) A
IS1=0
IS2=SAY
EPS=0.01
WRITE(6,10)RE, EPS, DT
10 FORMAT(///'RE (REYNOLDS SAYISI)=' ,F17.2///'EPS (HATA PARAMETRESİ
: F12.10///'DT (ZAMAN ARTIMI)=' ,F11.7///'
:
: '///)
C
DO 30 I=1,IS
Y=-1.1637
DO 30 J=1,JS
PSI(I,J)=Y
Y=Y+DY(I,J)
U(I,J)=1.
30 V(I,J)=0.
DO 50 I=1,IS
DO 50 J=1,JS
50 Z(I,J)=0.
C..... POTANSİYEL AKIŞ ÇÖZÜMÜ .....
IPOT=0.0
J=13
DO 100 PN=1,31
GH=KM(PN)
GG=LM(PN)

```

```

    J=J+1
    CALL SINIR(GH,GG,J)
100 CONTINUE
125 IPOT=IPOT+1
    DO 127 I=1,IS
    DO 127 J=1,JS
127 PSI1(I,J)=PSI(I,J)
C*****GİRDAP DEĞERLERİNİN HESABI *****
    J=1
    DO 130 T=2,59
    RT=R(T)
    ST=S(T)
    J=J+1
    CALL GIRDAP(RT,ST,J)
130 CONTINUE
    J=13
    DO 132 T=60,90
    RT=R(T)
    ST=S(T)
    J=J+1
    CALL GIRDAP(RT,ST,J)
132 CONTINUE

C***** AKIM FONKSİYONU DEĞERLERİNİN HESABI *****
    J=1
    DO 133 T=2,59
    RT=R(T)
    ST=S(T)
    J=J+1
    CALL AFONK(RT,ST,J)
133 CONTINUE
    J=13
    DO 136 T=60,90
    RT=R(T)
    ST=S(T)
    J=J+1
    CALL AFONK(RT,ST,J)
136 CONTINUE

```

```

PSIH=0.0
DO 138 I=1,IS
DO 138 J=1,JS
138 PSIH=PSIH+ABS(PHI(I,J)-PSI1(I,J))
IF (PSIH.GT.EPS) GO TO 125
C***** HIZ DEĞERLERİNİN HESABI *****
J=1
DO 140 T=2,59
RT=R(T)
ST=S(T)
J=J+1
CALL HIZLAR(RT,ST,J)
140 CONTINUE
J=13
DO 145 T=60,90
RT=R(T)
ST=S(T)
J=J+1
CALL HIZLAR(RT,ST,J)
145 CONTINUE
C=====
C===== SÜRTÜNMELİ AKIŞ ÇÖZÜMÜ=====
C=====
ITER=IS1
150 ITER=ITER+1
IF(ITER.EQ.IS2) GO TO 1350
ZADIMI=ITER*DT
DO 160 I=1,IS
DO 160 J=1,JS
z1(i,j)=z(i,j)
160 PSI1(I,J)=PSI(I,J)
C
C.....GIRIS SINIRI ICIN ZETA DEGERI.....
DO 170 J=1,JS
170 Z(1,J)=Z(2,J)
C.....SERBEST SINIRLAR.....
DO 190 I=2,ID
190 Z(I,JS)=Z(I,JD)

```

```

DO 200 J=1,JS
SX=DX(ID,J)/DX(143,J)
PSI(IS,J)=(1+SX)*(PSI(ID,J))-(SX*PSI(143,J))
200 Z(IS,J)=Z(ID,J)
DO 195 i=2,ID
195 z(i,1)=z(i,2)
IF(A.EQ.2) GOTO 67

```

C

C..... KÖŞELERDEKİ GİRDAP DEĞERLERİNİ HESAPLATIN

C

C..... LAMİNER AKIŞ İÇİN MODEL SINIRINDA GİRDAP DEĞERLERİ

C

66 DO 68 K=1,215

I=W(K)

J=ZZ(K)

SX=DX(I,J)/DX(I-1,J)

SY=DY(I,J)/DY(I,J-1)

DX1=DX(I-1,J)

DX2=DX(I,J)

DY1=DY(I,J-1)

DY2=DY(I,J)

A1=(-1*U(I,J)*(Z(I+1,J)-Z(I-1,J)))/(DX1+DX2)

B1=(-1*V(I,J)*(Z(I,J+1)-Z(I,J-1)))/(DY1+DY2)

C1=(DX1*DX1)*SX*(SX+1)

D1=(DY1*DY1)*SY*(SY+1)

A=PSI(I+1,J)+SX*PSI(I-1,J)-(1+SX)*PSI(I,J)

B=PSI(I,J+1)+SY*PSI(I,J-1)-(1+SY)*PSI(I,J)

C=(SX*SX+1)*(SX+1)*DX1

D=(SY*SY+1)*(SY+1)*DY1

68 Z(I,J)=4.*(A/C+B/D)

IF(A.EQ.1) GOTO 69

C..... TÜRBÜLANSLI AKIŞ İÇİN KÖŞELERDE GİRDAP DEĞERLERİ.....

C..... ALT BURUN

67 Z(14,14)=2.*(PSI(14,13)/DY(14,13)**2+PSI(13,14)/DX(13,14)**2)

C..... BURUN.....

Z(17,30)=2.*(PSI(17,31)/DY(17,30)**2+PSI(16,30)/DX(16,30)**2)

C..... ÖN CAM USTU.....

Z(60,44)=2.*(PSI(60,45)/DY(60,44)**2+PSI(59,44)/DX(59,44)**2)

```

C..... ARKA CAM ÜSTÜ .....
      Z(92,44)=2.*(PSI(92,45)/DY(92,44)**2+PSI(93,44)/DX(92,44)**2)
C..... ARKA CAM ALTI .....
      Z(114,30)=2.*(PSI(114,31)/DY(114,30)**2+PSI(115,30)/DX(114,30)*
C..... ARKA ALT KÖŞE.....
      Z(114,14)=2.*(PSI(114,13)/DY(114,13)**2+PSI(115,14)/DX(114,14)*
C
C.....PSI, Z, U VE V DEĞERLERİNİ HESAPLANMASI .....
69  J=1
      DO 201 T=2,59
          RT=R(T)
          ST=S(T)
          J=J+1
          CALL GIRDAP(RT,ST,J)
201 CONTINUE
      J=13
      DO 202 T=60,90
          RT=R(T)
          ST=S(T)
          J=J+1
          CALL GIRDAP(RT,ST,J)
202 CONTINUE
      J=1
      DO 203 T=2,59
          RT=R(T)
          ST=S(T)
          J=J+1
          CALL AFONK(RT,ST,J)
203 CONTINUE
      J=13
      DO 206 T=60,90
          RT=R(T)
          ST=S(T)
          J=J+1
          CALL AFONK(RT,ST,J)
206 CONTINUE
      J=1
      DO 207 T=2,59

```



```

RT=R(T)
ST=S(T)
J=J+1
CALL HIZLAR(RT,ST,J)
207 CONTINUE
J=13
DO 208 T=60,90
RT=R(T)
ST=S(T)
J=J+1
CALL HIZLAR(RT,ST,J)
208 CONTINUE
C
C*****
C=====
C=== TOPLAM VE MAXIMUM HATALARI HESAPLATIN,KONTROLÜ YAPIN =====
HATZE=0
HATPE=0
DO 1330 I=1,IS
DO 1330 J=1,JS
HATZE=HATZE+ABS(Z(I,J)-Z1(I,J))
HATPE=HATPE+ABS(PSI(I,J)-PSI1(I,J))
HATZ(I,J)=ABS(Z(I,J)-Z1(I,J))
1330 HATPSI(I,J)=ABS(PSI(I,J)-PSI1(I,J))
HZE=0.
CALL HATA(HATZ,IS,JS,HZE)
HPS=0.
WRITE(*,*)HZE
CALL HATA(HATPSI,IS,JS,HPS)
EY=0.001
IF(HZE.LE.EY) GOTO 1350
IF(ITER.LT.IS2) GO TO 150
C.....
C..... MODEL YÜZEYİ ÜZERİNDE BASINÇ KATSAYISI .....
C..... DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI .....
C..... ARABA ÖNÜ .....
1350 WRITE(*,*)'ITERASYON SAYISI=',ITER
WRITE(6,*)'ITERASYON SAYISI=',ITER

```

```

i=14
DO 560 j=14,18
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)
560 continue
c
i=15
do 561 j=19,23
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)
561 continue
c
i=16
do 562 j=24,28
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)
562 continue
c
i=17
j=29
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)
C.....ÖN KAPUT.....
J=30
DO 563 I=17,40
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)
563 CONTINUE
C.....ÖN CAM.....
c
J=31
i=41
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)

```

```
CP(I,J)=1-UV**2  
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

C

```
  J=32  
  i=43  
  UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)  
  CP(I,J)=1-UV**2  
  WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

C

```
  J=33  
  i=44  
  UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)  
  CP(I,J)=1-UV**2  
  WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

C

```
  J=34  
  i=46  
  UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)  
  CP(I,J)=1-UV**2  
  WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

C

```
  J=35  
  i=47  
  UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)  
  CP(I,J)=1-UV**2  
  WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

C

```
  J=36  
  i=49  
  UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)  
  CP(I,J)=1-UV**2  
  WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

C

```
  J=37  
  i=50  
  UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)  
  CP(I,J)=1-UV**2  
  WRITE(6,*)'CP(' ,I, ' , ' ,J, ' )=' ,CP(I,J)
```

c

```

J=38
i=52
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)

```

c

```

J=39
i=53
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)

```

c

```

J=40
i=54
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)

```

c

```

J=41
i=56
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)

```

c

```

J=42
i=57
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)

```

c

```

J=43
i=59
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I, ', ',J, ')=' ,CP(I,J)

```

c

C..... TAVAN.....

```

J=44
DO 564 I=60,92
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

564 CONTINUE

C..... ARKA CAM

C

```

i=93
J=43
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

```

i=95
J=42
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

```

i=97
J=41
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

```

i=98
J=40
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

```

i=100
J=39
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

```
i=102
J=38
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)
```

c

```
i=103
J=37
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)
```

c

```
i=105
J=36
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)
```

c

```
i=106
J=35
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)
```

c

```
i=108
J=34
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)
```

c

```
i=110
J=33
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)
```

c

```
i=111
```

```

J=32
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

```

i=113
J=31
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

C

C..... ARABA ARKASI

```

I=114
DO 565 J=30,14,-1
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

565 CONTINUE

C.....ARABA TABANI

```

J=14
DO 566 I=114,14,-1
UV=SQRT(U(I,J)**2+V(I,J)**2)
CP(I,J)=1-UV**2
WRITE(6,*)'CP(' ,I,',' ,J,')=' ,CP(I,J)

```

566 CONTINUE

C.....AKIŞ ALANININ ÇİZDİRİLMESİ

```

CLOSE(6)
CALL CIZIM(CIKTI,EKRAN,OK,BD1,BD2,FC1,FC2,AR1,AR2)
WRITE(*,*)'DEVAM ICIN"1" SON ICIN"0"'
READ(*,*)PRO
IF(PRO.GT.0) THEN
WRITE(*,*)'OK(0/1) '
READ(*,*)OK
WRITE(*,*)'EKRANDAN GORUNTU '
WRITE(*,*)'(1)RENKLI, (2)MONO '
READ(*,*) EKRAN
WRITE(*,*)'CIKTI LAR '
WRITE(*,*)'===== '

```

```

WRITE(*,*) '1- LASER "LTA1020"'
WRITE(*,*) '2- COLOR "LTA1022"'
WRITE(*,*) '3- NORMAL"LTA1032"'
READ(*,*)CIKTI
WRITE(*,*) 'X1,X2,Y1,Y2 Degerlerini gir '
READ(*,*)BD1,BD2,FC1,FC2
WRITE(*,*) 'X Ekseni ve Y Ekseni Buyultme Orani'
READ(*,*) AR1,AR2
WRITE(*,*) 'ITERASYON SAYISINI GIRINIZ '
READ(*,*) SAY
IS2=SAY

```

```

1300 print*, 'SIFRENIZI GIRINIZ'
read(*,*)k
if(k.eq.1) goto 1350
if(k.eq.2) GOTO 150
goto 1300
ENDIF
STOP
END

```

```

C=====
C=====ALT PROGRAMLAR=====
C=====

```

```

SUBROUTINE CIZIM(CIKTI,EKRAN,OK,BD1,BD2,FC1,FC2,AR1,AR2)
INCLUDE 'SYS$LIBRARY:GKSDEFS.FOR'
PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS),PX(5),PY(5)
REAL ESTAT,METERS,MAX_DC_X,MAX_DC_Y,MAX_RASTER_X,
:MAX_RASTER_Y,ASPECT_RATIO
REAL*4 KAT,A,ALFA,X2,Y2

```

```

C***** CIZIM BASLANGICI *****

```

```

PRINT*,EKRAN,CIKTI,OK,BD1,BD2,FC1,FC2,AR1,AR2
WS_PRINTER=1
WS_SCREEN=2
NM=5
TX=0
TY=0
BLUE=3

```



```

CALL GKS$OPEN_GKS( 'SYS$ERROR:' )
IF(EKRAN.EQ.1) THEN
  CALL GKS$OPEN_WS(WS_SCREEN, 'TT:', GKS$K_VT340)
ENDIF
IF(EKRAN.EQ.2) THEN
  CALL GKS$OPEN_WS(WS_SCREEN, 'TT:', GKS$K_VT330)
ENDIF
IF(EKRAN.GT.0) THEN
  CALL GKS$ACTIVATE_WS(WS_SCREEN)
ENDIF
IF (CIKTI.EQ.1) THEN
  CALL GKS$OPEN_WS(WS_PRINTER, GKS$K_CONID_DEFAULT, GKS$K_LN03_PLU)
ENDIF
IF (CIKTI.EQ.2) THEN
  CALL GKS$OPEN_WS(WS_PRINTER, GKS$K_CONID_DEFAULT, GKS$K_LJ250)
ENDIF
IF (CIKTI.EQ.3) THEN
  CALL GKS$OPEN_WS(WS_PRINTER, GKS$K_CONID_DEFAULT, GKS$K_LA75)
ENDIF
IF (CIKTI.GT.0) THEN
  CALL GKS$ACTIVATE_WS(WS_PRINTER)
ENDIF

```

C

```

IF(EKRAN.EQ.1) THEN
  CALL GKS$INQ_MAX_DS_SIZE(GKS$K_VT340, ESTAT, METERS,
+MAX_DC_X, MAX_DC_Y, MAX_RASTER_X, MAX_RASTER_Y)
ENDIF
IF(EKRAN.EQ.2) THEN
  CALL GKS$INQ_MAX_DS_SIZE(GKS$K_VT330, ESTAT, METERS,
+MAX_DC_X, MAX_DC_Y, MAX_RASTER_X, MAX_RASTER_Y)
ENDIF
IF(EKRAN.GT.0) THEN
  CALL GKS$SET_WS_VIEWPORT(WS_SCREEN, 0.0, MAX_DC_X, 0.0, MAX_DC_Y)
  ASPECT_RATIO = MAX_DC_Y / MAX_DC_X
  CALL GKS$SET_WS_WINDOW( WS_SCREEN, 0.0, 1.0, 0.0, ASPECT_RATIO )
ENDIF
IF (CIKTI.EQ.1) THEN
  CALL GKS$INQ_MAX_DS_SIZE(GKS$K_LN03_PLUS, ESTAT, METERS,

```

```

+MAX_DC_X,MAX_DC_Y,MAX_RASTER_X,MAX_RASTER_Y)
  ENDIF
  IF (CIKTI.EQ.2) THEN
    CALL GKS$INQ_MAX_DS_SIZE(GKS$K_LJ250,ESTAT,METERS,
+MAX_DC_X,MAX_DC_Y,MAX_RASTER_X,MAX_RASTER_Y)
  ENDIF
  IF (CIKTI.EQ.3) THEN
    CALL GKS$INQ_MAX_DS_SIZE(GKS$K_LA75,ESTAT,METERS,
+MAX_DC_X,MAX_DC_Y,MAX_RASTER_X,MAX_RASTER_Y)
  ENDIF
  IF (CIKTI.GT.0) THEN
    CALL GKS$SET_WS_VIEWPORT(WS_PRINTER,0.0,MAX_DC_X,0.0,MAX_DC_
  ENDIF
  ASPECT_RATIO = MAX_DC_Y / MAX_DC_X
  CALL GKS$SET_WS_WINDOW( WS_PRINTER,0.0,1.0,0.0,ASPECT_RATIO )
  CALL GKS$SET_PLINE_COLOR_INDEX(20)
  TX=0
  DO 889 I=BD1,BD2
  TY=0
  DO 888 J=FC1,FC2
  u(i,j)=u(i,j)/40
  v(i,j)=v(i,j)/40
  PX(1)=TX/AR1
  PY(1)=TY/AR2
  PX(2)=PX(1)+U(I,J)/(1.*AR1)
  PY(2)=PY(1)+V(I,J)/(1.*AR2)

```

C

```

A=0.005
KAT=ATAN(1.0)/45.0
IF (U(I,J).EQ.0) THEN
  NM=2
  GO TO 887
ENDIF
IF (OK.EQ.0) THEN
  NM=2
ELSE
  NM=5
ENDIF

```

```

ALFA=ATAN(V(I,J)/U(I,J))
KISS=1
IF(U(I,J).LT.0) THEN
    KISS=-1
ELSE
    KISS=1
ENDIF
PY(3)=PY(1)+V(I,J)/AR2-KISS*A*SIN(195.0*KAT-ALFA)
PX(3)=PX(1)+U(I,J)/AR1+KISS*A*COS(195.0*KAT-ALFA)
PX(4)=PX(2)
PY(4)=PY(2)
PY(5)=PY(1)+V(I,J)/AR2-KISS*A*SIN(165.0*KAT-ALFA)
PX(5)=PX(1)+U(I,J)/AR1+KISS*A*COS(165.0*KAT-ALFA)

```

C

```

887   TY=TY+DY(I,J)
      CALL GKS$POLYLINE(NM,PX,PY)
888   CONTINUE
      TX=TX+DX(I,J)
889   CONTINUE
      IF (CIKTI.GT.0) THEN
      CALL GKS$DEACTIVATE_WS(WS_PRINTER)
      CALL GKS$CLOSE_WS(WS_PRINTER)
      ENDIF
      IF(EKRAN.GT.0) THEN
      CALL GKS$DEACTIVATE_WS(WS_SCREEN)
      CALL GKS$CLOSE_WS(WS_SCREEN)
      ENDIF
      CALL GKS$CLOSE_GKS
      RETURN
      END

```

C*****

```

SUBROUTINE SINIR(GH,GG,J)
PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS)
COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
DO 3 I=GH,GG

```

```

U(I,J)=0.0
V(I,J)=0.0
PSI(I,J)=0.0
3 Z(I,J)=0.0
RETURN
END

```

```

C=====
SUBROUTINE GIRDAP(RT,ST,J)
PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS)
COMMON/SAB3/R(CD),S(CD),KM(Q),LM(Q)
COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
DO 2 I=RT,ST
SX=DX(I,J)/DX(I-1,J)
SY=DY(I,J)/DY(I,J-1)
DX1=DX(I-1,J)
DX2=DX(I,J)
DY1=DY(I,J-1)
DY2=DY(I,J)
C..... GIRDAP DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI .....
A1=(-1*U(I,J)*(Z(I+1,J)-Z(I-1,J)))/(DX1+DX2)
B1=(-1*V(I,J)*(Z(I,J+1)-Z(I,J-1)))/(DY1+DY2)
C1=(DX1*DX1)*SX*(SX+1)
D1=(DY1*DY1)*SY*(SY+1)
E1=Z(I+1,J)-(1+SX)*Z(I,J)+SX*Z(I-1,J)
F1=Z(I,J+1)-(1+SY)*Z(I,J)+SY*Z(I,J-1)
G1=(2/RE)*((E1/C1)+(F1/D1))
2 Z(I,J)=DT*(A1+B1+G1)+Z(I,J)
RETURN
END
C..... PSI DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI .....
SUBROUTINE AFONK(RT,ST,J)
PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31,Y=215)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS)
COMMON/SAB3/R(CD),S(CD),KM(Q),LM(Q)

```

```

COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
DO 2 I=RT,ST
SX=DX(I,J)/DX(I-1,J)
SY=DY(I,J)/DY(I,J-1)
DX1=DX(I-1,J)
DX2=DX(I,J)
DY1=DY(I,J-1)
DY2=DY(I,J)

```

C

```

B=(DX1*DX1)*SX*(SX+1)
A=(DY1*DY1)*SY*(SY+1)
C=(PSI(I+1,J)+SX*PSI(I-1,J))
D=(PSI(I,J+1)+SY*PSI(I,J-1))
E=0.5*Z(I,J)*A*B
F=A*(1+SX)+B*(1+SY)
2 PSI(I,J)=(A*C+B*D-E)/F
RETURN
END

```

C=====

```

SUBROUTINE HIZLAR(RT,ST,J)
PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31,Y=215)
COMMON/SAB1/H,DT,RE,DX(IS,JS),DY(IS,JS),PSI(IS,JS),Z(IS,JS),
:U(IS,JS),V(IS,JS)
COMMON/SAB3/R(CD),S(CD),KM(Q),LM(Q)
COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
DO 6 I=RT,ST
DX1=DX(I-1,J)
DX2=DX(I,J)
DY1=DY(I,J-1)
DY2=DY(I,J)
U(I,J)=(PSI(I,J+1)-PSI(I,J-1))/(DY1+DY2)
6 V(I,J)=- (PSI(I+1,J)-PSI(I-1,J))/(DX1+DX2)
RETURN
END

```

C=====

```

SUBROUTINE HATA(HZP,MZ,NZ,HAT)

```

```
PARAMETER (IS=145,JS=60,ID=144,JD=59,CD=90,Q=31,Y=215)
COMMON/SAB2/P(IS,JS),PSI1(IS,JS),Z1(IS,JS),AC1(IS,JS),
:HATPSI(IS,JS),HATZ(IS,JS),HIZ(IS,JS)
COMMON/SAB/M
COMMON/SAB/N
KG=1
LG=1
DO 2 I=1,MZ
DO 2 J=1,NZ
IF(HATZ(KG,LG).LT.HATZ(I,J)) GO TO 1
GO TO 2
1 KG=I
  LG=J
2 CONTINUE
  HAT=HATZ(KG,LG)
  write(*,*)hat
RETURN
END
```

8. ÖZGEÇMİŞ

Orhan Aydın; 1972 yılında Trabzon'da doğdu. 1987 yılında Samsun Çarşamba Lisesi' ni bitirerek, K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü' nü kazandı. 1991 yılında makina mühendisi ünvanı ile K.T.Ü.' den mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı' nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 1993 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü' ne araştırma görevlisi olarak atandı. Uluslararası bir sempozyuma sunulmuş bildirisi vardır. İngilizce bilmektedir. Halen K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü' nde araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir.

