

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUTİL MAKİNASININ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI
YARDIMIYLA ANALİZİ

Makina. Müh. Oğuzhan KUKUL

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Zehra YUMURTACI

Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Tamer YILMAZ

Yrd. Doç. Dr. Sabiha YILDIZ

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	sayfa
SEMBOL LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. AKIŞKANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	2
2.1 Giriş	2
2.2 Akışkanların Moleküler Yapıları.....	2
2.3 Sürekli Ortam, Akışkan	2
2.4 Özgül Kütle	3
2.5 Özgül Ağırlık.....	3
2.6 Viskozite	3
2.7 Basınç.....	4
2.8 Akışkan Akımını İnceleme Yöntemleri.....	4
2.9 Laminer ve Türbülanslı Akım	6
2.10 Bir Boyutlu, İki Boyutlu ve Üç Boyutlu Akım	7
2.11 Akışkan Elemanlarının Hareketleri	8
2.11.1 Ötelenme	8
2.11.2 Lineer Deformasyon	8
2.11.3 Açısal Deformasyon	9
2.12 Akışkanların Dinamiği.....	9
2.13 Akışkanların Dinamiğinde Kullanılan Temel İlkeler	9
2.13.1 Süreklilik Denklemi.....	10
2.13.2 Enerji Denklemi.....	11
2.13.3 Impuls-Momentum Teoremi	13
2.14 Navier Stokes Denklemleri	13
3. HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİ ANALİZİ.....	15
3.1 Günlük Yaşantıda Akışkan Akımı.....	16
3.2 HAD Analizinin Uygulama Alanları.....	16
3.3 Güvenilirlik ve Hassasiyet	18
3.4 HAD Analizi Adımları.....	18
3.5 Belirsizlik ve Hata	19
3.6 HAD Ayrıklaştırma Yöntemleri.....	19
3.6.1 Sonlu Farklar Yöntemi.....	19
3.6.2 Sonlu Hacimler Yöntemi	20

3.6.3	Sonlu Elemanlar Yöntemi	21
3.7	Fluent Programı Kullanılarak Yapılan Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizi ..	22
3.7.1	Problem Çözme Adımları	22
3.7.2	Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizinin Planlanması.....	23
3.7.3	Model Geometrisinin Oluşturulması ve Mesh Örülmesi	24
3.7.4	Fiziksel Modelin Kurulması ve Solver (Çözücü) Ayarı	25
4.	BUTİL MALZEMESİ AKIM YOLU MODELİNİN AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN FLUENT PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLENMESİ.....	26
4.1	Problemin Tanımı	26
4.2	Butil Malzemesinin Özellikleri	26
4.3	Butil Makinasının Özellikleri	27
4.4	Düşük Çalışma Basıncı	28
4.5	Butil Akış Yolu İçin Birinci Tasarım	29
4.6	Butil Akış Yolu İçin İkinci Tasarım	30
5.	SİSTEMİN FLUENT PROGRAMI İLE ÇÖZÜMÜ	31
5.1	Sistemin Hazırlanması	31
5.2	Gambit'te Mesh (Ağ) Tanımlama	33
5.3	FLUENT Programı ile Butil Macununun Akış Analizi	41
6.	SONUÇLAR	49
6.1	Birinci Tasarımın Analiz Sonuçları	49
6.2	İkinci Tasarımın Analiz Sonuçları.....	52
	KAYNAKLAR.....	55
	ÖZGEÇMİŞ.....	56

SEMBOL LİSTESİ

θ	:Açısal deformasyon [rad]
t	:Zaman [s]
ρ	:Özgül kütle [kg/m ³]
m	:Kütle [kg]
Δm	:Elemantar kütle [kg]
ΔV	:Elemantar hacim [m ³]
W	:Ağırlık [N]
ΔW	:Elemantar hacmin ağırlığı [N]
γ	:Özgül ağırlık [N/m ³]
g	:Yerçekimi ivmesi [m/s ²]
p	:Basınç [N/m ²]
K	:Sıkışabilirlik
τ	:Kayma gerilmesi [N/mm ²]
μ	:Dinamik viskozite [N s/m ²]
ν	:Kinematik viskozite [m ² /s]
F	:Kuvvet [N]
σ	:Açı [rad]
h	:Yükseklik [m]
V	:Hız [m/s]
Re	:Reynolds sayısı
E	:Enerji [Nm]
A	:Alan [m ²]
Q	:Debi [m ³ /s]
∇	:Diverjans
k	:İletkenlik katsayısı [kcal/h m C]

ŞEKİL LİSTESİ

sayfa

Şekil 2.1. Kuvvet uyguladıktan sonra sıvının A ve B molekülleri pozisyonlarını değiştirirler	2
Şekil 2.2 Akışkanların sınıflandırılması	4
Şekil 2.3 Bir akışkan partikülünün hareketinde Lagrangian yaklaşım	5
Şekil 2.4. Bir akışkan partikülünün hareketinde Eulerian yaklaşım	6
Şekil 2.5 Reynolds deneyi	7
Şekil 2.6 Akım borusuna etkili kuvvetler	11
Şekil 2.7 Bernoulli denkleminin grafik izahı	12
Şekil 2.8 Sonsuz küçük kübik bir hacmin yüzeyinde gerilme bileşenleri	13
Şekil 3.1 Bir akışkan akımının gerçek ve simülasyon görüntüsü	15
Şekil 3.2 Araçlarda ve uçaklarda HAD'nin aerodinamik amaçlı uygulanması	16
Şekil 3.3 Bağdat'ta gerçekleşen petrol yangınında dumanlar ve bilgisayar simülasyonu	17
Şekil 3.4 Askeri birimlerde kullanılan bir HAD uygulaması	17
Şekil 3.5 Roketlerde HAD analizi uygulaması	18
Şekil 3.6 Sonlu farklar yöntemi	20
Şekil 3.7 Sonlu hacim yöntemi	21
Şekil 3.8 Sonlu elemanlar yöntemi	22
Şekil 3.9 Gambit programında mesh oluşturma işlemi	23
Şekil 4.1 Yatay butil makinası	27
Şekil 4.2 Butil malzemesi akış yolu için yapılan birinci tasarım	29
Şekil 4.3 Butil malzemesi akış yolu için yapılan ikinci tasarım	30
Şekil 5.1 Modelin sisteme import edilmesi	32
Şekil 5.2 Modelin ekranda görüntülenmesi	32
Şekil 5.3 Volume mesh menüsü	33
Şekil 5.4 Akış yolu hacminin tanımlanması	34
Şekil 5.5 Eleman çeşitleri	35
Şekil 5.6 Üzerine mesh atılmış model	36
Şekil 5.7 Mesh kalitesinin kontrol edilmesi	36
Şekil 5.8 Examine mesh komutu ile mesh elemanlarının yakından kontrolü	37
Şekil 5.9 Model üzerinde sınır şartların tanımlanması	38
Şekil 5.10 Giriş alanının değerinin ve uygulama noktasının tanımlanması	39
Şekil 5.11 Akışkan çeşidinin belirtilmesi	40
Şekil 5.12 Modelin Gambit programından export edilmesi	41
Şekil 5.13 Grid kontrol (Grid>Check)	42
Şekil 5.14 Akış alanının yeniden düzenlenmesi (Reorder> Domain)	43
Şekil 5.15 Çözücü ayarlarının yapılması (Define>Models>Solver)	44
Şekil 5.16 Çalışma şartlarının sisteme girilmesi(Define>Operating>Conditions)	44
Şekil 5.17 Sınır Şartların Tanımlanması (Define >Boundary Conditions>Pressure Outlet >Set	45
Şekil 5.18 Giriş basıncının sisteme girilmesi (Define>Boundary Conditions>Pressure Inlet>Set)	46
Şekil 5.19 Çözümün kontrolü (Solve>Solution Controls)	46
Şekil 5.20 Başlangıç değerlerinin atanması (Solve > Initialize)	47
Şekil 5.21 İterasyon	48
Şekil 6.1 Statik basınç için kartezyen koordinatlarda pascal cinsinden sonuçlar	49
Şekil 6.2 Statik basınç için Pascal cinsinden sonuçlar	50
Şekil 6.3 Model üzerindeki hız vektörlerinin m/s cinsinden gösterimi	50
Şekil 6.4 Model üzerinde sıcaklık dağılımının Kelvin cinsinden gösterimi	51
Şekil 6.5 İterasyon sonuçları	52
Şekil 6.6 İkinci tasarıma ait basınç dağılımı	53
Şekil 6.7 Nozul bölgesinde basınç dağılım grafiği	53

KISALTMALAR

HAD :Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizi

SEY :Sonlu Elemanlar Yöntemi

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren değerli hocam Yrd.Doç.Dr.Zehra Yumurtacı'ya, maddi manevi desteğini esirgemeyen işverenim Mehmet Şardan'a, Fluent programını öğrenmemde yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Seyfettin Bayraktar'a; yazım aşamasında her an yanımda olan Mak.Yük.Mühendisi Beyhan Uzunoglu' na sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

ÖZET

Günden güne artan enerji tüketimi beraberinde enerji kaynaklarının azalması, çevre kirliliği, ozon tabakasının delinmesi, yüksek enerji üretim ve tüketim maliyetlerini de beraberinde getirmiştir. Bu sebepten dolayı günümüzde enerjinin kullanıldığı her alanda verim yükseltilmeye çalışılarak sarfiyat azaltılmaya çalışılmaktadır. Enerjinin evsel kullanımında karşımıza çıkan en büyük problem ısınma için harcanan enerjinin birçoğunu yapılarıdaki izolasyon yetersizliğinden dolayı kaybedilmesidir. 80'li yılların başından itibaren kullanılmaya başlanan alüminyum ve PVC doğrama ekipmanları ile ısı yalıtımlı çift cam üretimine başlanmış ve tüm dünyada inşaat sektörü ile paralel büyüyen bir sektör haline gelmiştir.

Bu çalışmada ısı yalıtımlı çift cam üretiminde kullanılan butil makinasının tasarımına bağlı olarak akış değerlerinin ne şekilde değiştiği incelendi. Tasarımdaki değişikliklerin olumlu yönde değişmesi makinanın verimini dolayısı ile üretkenliğini artıracaktır. Ayrıca makinanın daha az yükte çalışmasından dolayı faydalı kullanım ömrü artacaktır.

Bu tezde incelen çalışmalar Best Cam İşleme Makinaları İmalat San.Tic.Ltd.Şti'nin üretmiş olduğu butil makinalarının farklı serilerdeki akış yollarına aittir.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizi, Fluent, Butil Macunu

ABSTRACT

Growing of energy consumption in the world has brought some problems such as pollution, damaging of ozone layer, growing cost of energy production and consumption, and finishing the energy sources. As a result of these, it is aimed to increase efficiency and decrease consumption in every area where energy used. The biggest problem domestic usage of energy is heat loss caused by lack of isolation. From the beginning of 1980's, PVC and aluminum window and door frames have been used in constructions and constructors begun to manufacture insulating glass. It became a large sector growing with construction industry at the same time

In this thesis, flow changes are searched in butyl extruders caused by design differences. Positive changes in the flow values will directly affect the efficiency of the extruder. So the productivity will be raised.

The designs in this thesis belong to Best Cam İşleme Makinaları İmalat San.Tic.Ltd Şti. ,and they are used in different manufacturing series.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Fluent, butyl

1. GİRİŞ

Bu tezde ısı yalıtımlı çift cam imalatında kullanılan ilk makine olan butil makinasının verimini artırmaya yönelik tasarım değişiklikleri hesaplamalı akışkanlar mekaniği yardımıyla incelendi.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) bilgisayar teknolojisindeki gelişimlere ve matematik hesaplarındaki ilerlemelere bağlı olarak gittikçe daha fazla bir biçimde akademik ve endüstriyel çalışmalarda kendini göstermeye başlamıştır. İlk zamanlarda deneysel akışkanlar dinamiğinin yanında sınırlı olarak kullanılırken sonraları (geçerliliği ve doğruluğu kanıtlanmak üzere) tasarım iyileştirmelerinde daha fazla kullanılır olmuştur. Geometrinin kolayca oluşturulup analiz edilmesine imkan vermesinin yanında deneysel çalışmalara oranla oldukça da ucuz olması HAD'nin yerini sağlamlaştırmıştır. Günümüzde enstitü ve üniversitelerin çoğunda akademik amaçlı ve endüstride ise yaygın olarak HAD'den yararlanılmaktadır. Buna örnek olarak ticari uçak pazarının lideri olan BOEING firmasında yılda ortalama 20000 HAD çalışmasının yürütülmesi gösterilebilir (Forrester, T.J., Edward, N.T., Jong, J.).

Günümüzde pek çok genel-amaçlı HAD paket programı mevcut olup bunlar ticari ve akademik amaçlar için rahatlıkla kullanılabilir. Bu programların günümüzdeki son durumlarına ulaşmaları pek çok insanın binlerce saatlik çalışmalarının sonuçları olması karşılık herhangi bir problemin çözümlerini kullanılan mevcut bilgisayar/bilgisayarların konfigürasyonlarına bağlı olarak birkaç saatte veya günde de çözebilmektedir. Bu genel amaçlı HAD programları laminer, sıkıştırılmaz ve potansiyel akışlar gibi nispeten daha basit problemlerden iki fazlı akışlara, kimyasal reaksiyonlardan parçacık izlemesine kadar karmaşık her türlü akışların simülasyonlarına imkân verecek şekilde ileri özelliklerle donatılmışlardır (Robert, N.M.).

Genel geçer akışkanların yanı sıra (su, benzin, yağ vs) doğada birçok doğal ve sentez akışkanın bulunduğu bilinmektedir. Tezde konu edilen butil macunu oda koşulları içerisinde katı görünümlü iken 100°Clik sıcaklık artışı ile sıvı faza geçer ve uygulanan basınç ile akmaya başlar.

Akışkanların hareketini etkileyen belli başlı parametreler vardır. Bunların en çok bilinen akışı doğrudan etkileyenleri sıvının özgül ağırlığı ve viskozitesidir. Bu tezde, klasik akışkanlar mekaniğinde uygulanan süreklilik ve enerji denklemlerini bilgisayarın ne şekilde kullanıp bizlere nasıl sonuçlar vereceğine dair bilgilerde verilmiştir.

2. AKIŞKANLARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

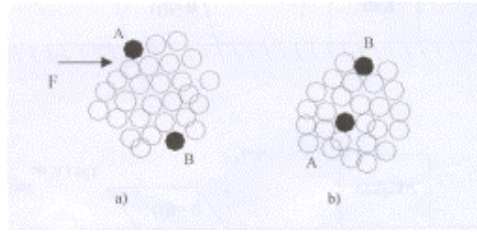
2.1 Giriş

Akışkanlar en küçük kayma gerilmesinin etkisi altında bile direnç göstermedikleri için akışkan parçacıkları sürekli olarak birbirilerine göre pozisyonlarını değiştirirler. Fakat katılar, akışa karşı direnç gösterirler. Katılarda deformasyon küçüktür ve açısız deformasyon (Θ) zamana bağlı değildir. Akışkanda ise deformasyon büyüktür ve Θ zamana bağlıdır.

Akışkanlar gazlar ve sıvılar olmak üzere ikiye ayrılır, sıvılar sıkıştırılmaz; ancak gazlar sıkıştırılabilir. Aynı zamanda sıvılar sıcaklık değişimlerinden gazlar kadar etkilenmezler.

2.2 Akışkanların Moleküler Yapıları

Katılarda moleküller birbirilerine çok yakın olduğu halde, akışkanlarda bu yapı daha gevşektir; sıvılarda moleküller gazlara göre nispeten yakındır. Sıvılarda, moleküler çekim kuvveti sadece sıvı kesin şeklini aldığı anda (içine konulan kabın şekli ve durağan halde) molekülleri bir arada tutacak kuvvete sahip olur. Dış kuvvet uygulandığında moleküller dış kuvvet kalkana kadar sürekli yer değiştirirler ve daha sonra eski hallerine geri dönmezler (Şekil 2.1). Sıvılarda molekül yörüngeleri eğriseldir.



Şekil 2.1. Kuvvet uyguladıktan sonra sıvının A ve B molekülleri pozisyonlarını değiştirirler(YÜKSEL, Y.,2000)

2.3 Sürekli Ortam, Akışkan

Tüm akışkanlar birbirilerinden belirli uzaklıkta moleküllerden meydana gelmişlerdir. Moleküller arasındaki boşluklar bulunduğundan ve herhangi bir kütleli ortamın mevcut olmayışından dolayı akışkan özellikleri tarif edilemez. Bu nedenle, eğer akışkan moleküller halinde tek tek analiz edilirse, çok güçlükle karşılaşılır. Bu yüzden akışkanın sürekli ortam

olduğu kabul edilir. Sürekli ortam kabulünden dolayı yoğunluk, sıcaklık, hız vs gibi akışkan özellikleri akışkanın her noktası için geçerlidir (YÜKSEL, Y. , 2000).

2.4 Özgül Kütle

Bir sıvının özgül kütlesi birim hacminin kütlesidir. Akışkan içindeki bir noktada özgül kütle;

$$\rho_0 = \lim_{\Delta V (x) \rightarrow \Delta V_{\min}} \Delta m / \Delta V \quad (2.1)$$

ifadesi ile verilir; burada Δm elemanter hacim kütlesi ve ΔV örnek elemanter hacimdir.

Ortalama özgül kütle, verilen akışkan kütlesinin hacmine bölünmesiyle bulunur.

$$\rho = \Delta m / \Delta V \quad (2.2)$$

Bir akışkanın özgül kütlesi bunun moleküler yapısına yani boyutlarına, moleküllerin ağırlığına ve molekülleri bir arada tutan mekanizmalarına bağlıdır. Moleküllerin çekim mekanizması sıcaklık ve basınçla değişir, bu nedenden dolayı akışkanın özgül kütlesi basınç ve sıcaklıkla değişmektedir (YALÇIN, K. , 2001).

2.5 Özgül Ağırlık

Bir akışkanın özgül ağırlığı, birim hacminin ağırlığıdır.

$$\gamma = \Delta W / \Delta V \quad (2.3)$$

burada ΔW ; ΔV elemanter hacmin ağırlığıdır.

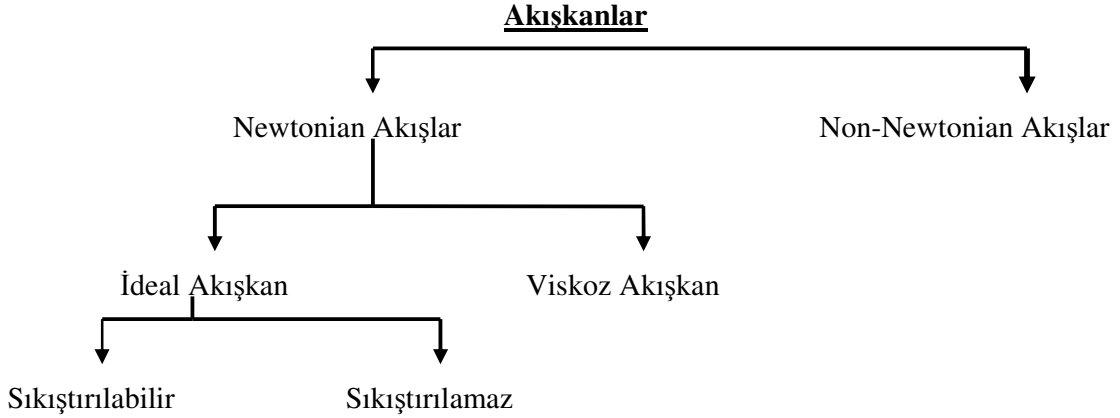
$$\Delta W = \Delta m g \quad (2.4)$$

$$\gamma = \Delta W / \Delta V = \Delta m g / \Delta V = \rho g \quad (2.5)$$

dir.

2.6 Viskozite

Durağan bir akışkana tek bir noktadan kuvvet uygulanırsa bu akışkanın deforme olmasına sebep olur. Deformasyon, akışkanın içinde birbirine komşu akışkan tabakalarının, birbirileri üzerinde farklı hızlarda kaymasıdır. Akışkanların birbirleri üzerinde akmaya karşı gösterdikleri dirence akışkan viskozitesi olarak denir (YÜKSEL, Y. , 2000). Bunun için viskozite akışkanın iç direncinin ölçümü olan bir akışkan özelliğidir. Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda akışkanları Şekil 2.2'deki gibi sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 2 .2 Akışkanların sınıflandırılması

2.7 Basınç

Birim alana etkiyen dik kuvvete basınç denir ve “p” ile gösterilir.

$$p = F/A \quad (2.6)$$

Basınç bir noktadan diğerine değişebilir. δA alanına etkiyen δF dik kuvveti dikkate alınırsa, bir noktadaki basınç $\delta A \rightarrow 0$ limit halinde bulunur ancak sürekli ortam sınırlaması nedeniyle olan δA_{\min} çok küçük alanı limit değeri olarak alınmalıdır. O halde, bir noktaya etkiyecek basınç,

$$p = \lim_{\delta A \rightarrow \delta A_{\min}} \delta F / \delta A = dF / dA \quad (2.7)$$

dir. Kuvvet ve alan vektörel büyüklükler olduğundan bunların oranı olan basınç skalerdir. Basınç, sıcaklık, yoğunluk gibi akışkanın bir noktasındaki özelliğidir. Birimi SI sisteminde N/m^2 , Pascal olarak bilinmektedir. 100 kPa ($10^5 N/m^2$) ise bar olarak isimlendirilir (YALÇIN, K.,2000)

2.8 Akışkan Akımını İnceleme Yöntemleri

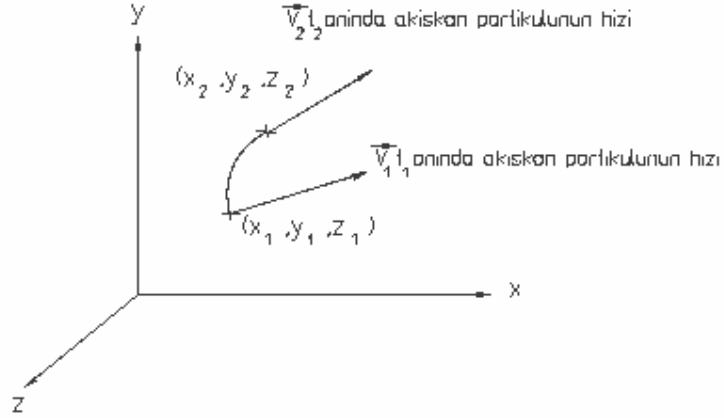
Bir akışkanın hareketi iki yöntem kullanılarak tarif edilebilir. Birincisi akışkan akımı içindeki bir akışkan parçacığının hareketini esas alan Lagrangian yöntem, ikincisi ise akışkan akımı içinde sabit bir noktayı esas alarak bu noktadan geçen farklı hızlara sahip akışkan partiküllerini inceleyen Eulerian yöntemdir.

Lagrangian Yöntemi; Belirli bir anda belirli bir konumda olan akışkan parçacıklarının zamanla olan hareketlerini inceler, yani akışkan partikülü, akım alanı içinde değişik

konumlarında bulunur (YÜKSEL, Y. , 2000). t_1 anında (x_1, y_1, z_1) noktasında V_1 hızına t_2 anında (x_2, y_2, z_2) noktasında V_2 hızına sahiptir, matematiksel olarak Lagrange hızı (Şekil 2.3)

$$V = V [x(t), y(t), z(t), t] \quad (2.8)$$

olarak ifade edilir.

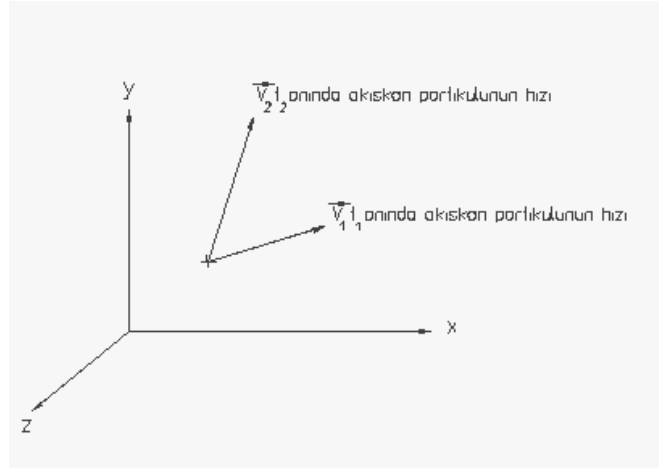


Şekil 2.3 Bir akışkan partikülünün hareketinde Lagrangian yaklaşım

Euler Yöntemi; Herhangi bir akışkan parçacığının hareketini incelemek yerine, belirli bir noktadaki hızın ve basıncın zamanla değişimi araştırılır, yani tek bir (x_1, y_1, z_1) noktası göz önüne alınır ve bu noktadan geçen akışkan parçacıkları t_1 anında V_1 , t_2 anında V_2 hızına sahiptirler (YÜKSEL, Y. , 2000). Matematiksel olarak Euler hızı (Şekil 2.4);

$$V = V(x, y, z, t) \quad (2.9)$$

olarak ifade edilir .



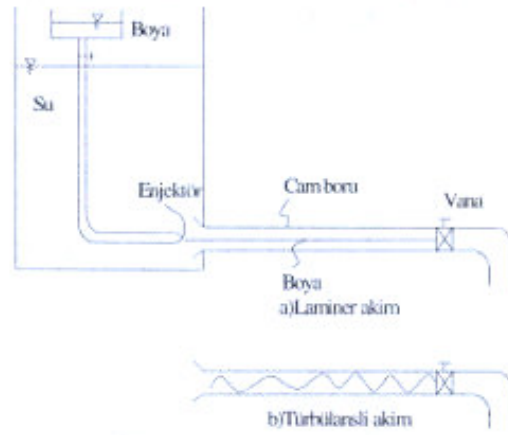
Şekil 2.4. Bir akışkan partikülünün hareketinde Eulerian yaklaşım

2.9 Laminer ve Türbülanslı Akım

Akım çizgilerinin veya akım yüzeylerinin, bütün uzunlukları boyunca birbirlerinden tamamen ayrı ve karışmadan kaldıkları düzgün akıma “laminer akım” denir. Başka bir deyişle, çok küçük hızlarda akışkan elemanlarının birbirine karışmadan düzgün ve tabaka şeklinde paralel ve birbirileri üzerinde kayarak akmasına laminer akım denir. Bu akış sırasında bir akışkan tabakasından diğerine hız değişebilir fakat tabakalar arasında hiçbir eleman alışverişi olmamaktadır. Laminer akışta herhangi bir noktadan geçen her akışkan parçacığının takip ettiği hız aynı kalmaktadır. Laminer akımı etkileyen en önemli faktör akışkanın viskozitesidir (YALÇIN, K.,2000).

Türbülanslı akış, laminer akımın tam zıttıdır, çünkü akışkanın hareketi esnasında akışkan elemanları birbirilerine karışan yörüngeler izlemektedir, yani birbirilerine karışarak çalkantılı bir şekilde akmaktadır. Bu tip akımlara türbülanslı akım adı verilir.

Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş Reynolds isimli araştırmacının 1895 yılında yapmış olduğu deney ile gösterilmiştir (Şekil 2.5). Bu deney sabit seviyeli bir haznedan çıkan borudaki akışa boya verilerek yapılmıştır. Borunun ucundaki vana az açıldığında boya etrafındaki akıma karışmamakta ve düzgün bir ipçik halinde akımla birlikte hareket etmektedir. Vana daha fazla açılıp borudaki hız artırıldığında boya akışkana karışmaya başlamaktadır. Bu olaylar sırasıyla laminer ve türbülanslı akıma örnektirler. Boyanın akımın ana doğrultusuna dik yönde karışımı türbülanslı akımın tipik karakteri olan akışkan tabakaları arasında meydana gelen momentum alışverişini göstermektedir.



Şekil 2.5 Reynolds deneyi (YALÇIN, K.,2000)

Reynolds'un deneylerinde laminer akımdan türbülanslı akıma geçiş anındaki hıza kritik hız denir. Reynolds borudaki akım hızı (V), boru çapı (D) ve kinematik viskozite (ν) arasında boyutsuz bir sayı tanımlayarak laminer ve türbülanslı akım arasındaki geçişi ifade etmeye çalışmıştır. Bu sayı araştırmacının kendi adıyla anılan Reynolds sayısı olarak bilinmektedir (YALÇIN, K.,2000).

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.10)$$

$Re < 2320$ Laminer Akım

$Re = 2320$ Geçiş Akımı

$Re > 2320$ Türbülanslı Akım (2.11)

2.10 Bir Boyutlu, İki Boyutlu ve Üç Boyutlu Akım

Akışkan akımları şu şekilde sınıflandırılabilirler;

- Bir Boyutlu Akım; Akıma dik herhangi bir kesit boyunca akışkan ve akım özellikleri sabit kalıyorsa ve doğrultuları da değişmiyorsa böyle bir akım bir boyutlu akım olarak isimlendirilir. Bu yüzden bir kesit üzerinde akım karakteristiklerinin değişimi ihmal edilir, sadece ortalama değerlerin akım doğrultusunda değişimleri göze alınır.

- İki Boyutlu Akım; Akışkan elemanları hareketleri esnasında paralel düzlemler içerisinde kalıyorsa ve bu düzlemlere dik yönde hiçbir hareket ve etki yok ise bu tip akımlara iki boyutlu akım adı verilir.
- Üç Boyutlu Akım; Akışkan ve akıma ait büyüklüklerin x, y, z koordinat doğrultularında bileşenleri var ise bu tip akımlara üç boyutlu akım adı verilir

2.11 Akışkan Elemanlarının Hareketleri

Akışkan elemanı dört farklı şekilde hareket eder, bunlar; ötelenme, lineer deformasyon, açısız deformasyon, dönme (rotasyon) şeklindedir (YÜKSEL, Y. , 2000).

2.11.1 Ötelenme

Akışkan elemanının herhangi bir deformasyona uğramadan sadece konumunu değiştirmesidir. Herhangi bir şekilde kayma gerilmesi söz konusu olmaz ve eleman ötelenme esnasında ilk konumunu korur. Elemanın hacmi de değişmez. dt zaman aralığında x doğrultusunda udt, y doğrultusunda vdt, z doğrultusunda wdt kadar yer değiştirir. Elemanın kendi içinde, akışkan tabakalarının birinin diğerine göre bağlı bir hareketi olmadığı için ısı enerjisi üretilmez yani akışkan elemanının ötelenmesi sırasında enerji kaybı yoktur.

2.11.2 Lineer Deformasyon

Akışkan elemanının ilk kenarlarına göre daralması veya genişlemesi yani şekil değiştirmeden boyutlarının büyümesi lineer deformasyon olarak isimlendirilir. Bu halde elemanın hacmi değişir. dt zaman aralığında x, y ve z doğrultularında lineer deformasyon $(\delta u/\delta x) dxdt$, $(\delta v/\delta y) dydt$, $(\delta w/\delta z) dzdt$ 'dir. Elemanın orijinal hacmine göre rölatif hacim değişimi:

$$\frac{\left(dx + \frac{du}{dx} dxdt \right) \left(dy + \frac{dv}{dy} dydt \right) \left(dz + \frac{dw}{dz} dzdt \right) - dx dy dz}{dx dy dz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.12)$$

dt^2 ve dt^3 terimleri ihmal edildiğinde V (u, v, w) olduğundan;

$$= \Delta \cdot V \quad (2.13)$$

Kayma gerilmesi mevcuttur, çünkü akışkan tabakaları arasında rölatif hareket vardır. Isı enerjisi üretilir ve lineer deformasyondan dolayı enerji kaybolur (YÜKSEL, Y. , 2000).

2.11.3 Açısal Deformasyon

Akışkan elemanı şekil değiştiriyorsa, açısal deformasyondan bahsedilir yani eleman çarpılır. Saat akrebinin tersi dönüş pozitif olduğu düşünülürse dt zaman aralığında dx ve dy kenarlarının açısal deformasyonu

$$\Theta_{xy} = [(\partial v / \partial x) dx dt / dx] - [(-\partial u / \partial y) dy dt / dy] \quad (2.14)$$

$$\Theta_{xy} = (\partial v / \partial x + \partial u / \partial y) dt \quad (2.15)$$

Açısal deformasyon hızları

$$\Theta'_{xy} = (\partial v / \partial x + \partial u / \partial y) \quad ;x-y \text{ düzleminde}$$

$$\Theta'_{yz} = (\partial v / \partial z + \partial w / \partial y) \quad ;y-z \text{ düzleminde}$$

$$\Theta'_{xz} = (\partial w / \partial x + \partial u / \partial z) \quad ;x-z \text{ düzleminde} \quad (2.16)$$

şeklinde verilir.

2.12 Akışkanların Dinamiği

Elastik kuvvet, akışkan hacminin şekil değiştirmesinden, atalet kuvveti ise elemanın hareketinden doğan kuvvettir ve Newton'un 2.Prensibine göre 'm.a' dır. Durgun halde bulunan sıvılara sadece yerçekimi ve basınç kuvveti etki eder, hareket halindeki sıvılar için ise kütsel, yüzeysel, ve atalet kuvvetleri söz konusudur. Katıların aksine sürekli bir şekilde hareket halindeki bir akışkanın her elemanı farklı hızlarda hareket edebilir ve farklı ivmelere sahip olabilirler.

2.13 Akışkanların Dinamiğinde Kullanılan Temel İlkeler

Akışkanlarla ilgili bütün problemlerin çözümü genellikle üç temel prensibe dayanır. Bunlar kütselin korunumu ilkesi, enerjinin korunumu ilkesi ve momentumun korunumu ilkesidir. Bu ilkelerden beş adet diferansiyel denklem çıkartılır, bunlar; bir adet süreklilik denklemi, her biri koordinat eksenlerine ait olmak üzere üç adet hareket denklemi ve bir adet enerji denklemidir (YÜKSEL, Y. , 2000).

Kütselin korunumu prensibinin akışkanların akımına uygulanmasıyla süreklilik denklemi elde edilir. Enerjinin korunumu prensibinin (Termodinamiğin birinci kanunu) ise akışkan akımına uygulanması sonucu enerji denklemleri ve momentumun korunumu prensibinin bir kontrol hacimden geçen akıma uygulanması suretiyle hareketli akışkanlar tarafından etki ettirilen kuvvetlerin çözümüne ait hareket denklemleri elde edilir.

2.13.1 Süreklilik Denklemi

Süreklilik denklemi akışkan kütlelerinin korunumu prensibi uygulanarak elde edilir. Kartezyen koordinatlarda süreklilik denklemini yazmak için boyutları dx, dy, dz olan sonsuz küçük bir kontrol hacim göz önüne alınsın. Kütlelerin korunumu prensibine göre :

[Birim Zamanda Giren Kütle]–[Birim Zamanda Çıkan Kütle]=[Birim Zamanda Yığılan kütle]
dır.

Bir kontrol hacmi içerisindeki A (x, y, z) noktasına göre;

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.17)$$

şeklindedir (YALÇIN, K.,2000).

Vektörel formda yazılırsa $V(u, v, w)$;

$$d\rho/dt + \text{div}(\rho V) = 0 \quad (2.18)$$

dir. Bu ifade irdelenirse, sıkışamaz akışkan için $\rho = \text{sabit}$ olacağına göre;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \text{ veya } \text{div} (V) = 0 \quad (2.19)$$

haline indirgenebilir.

Süreklilik denklemini doğal kordinatlarda ifade etmek için bir akım borusu ele alınır ve kütlelerin korunumu prensibini uygulanırsa, kararlı akım için yazıp belirsiz olarak integre edilirse, birim zamanda kütle akımı yani kütleli debi elde edilir.

$$m = \rho AV \quad \text{'Bir boyutlu sıkışabilen akışkan için süreklilik denklemi'} \quad (2.20)$$

burada V, akım borusu veya tüpünün A enkesit alanı boyunca ortalama hızı ifade eder. Eğer akım çizgisi doğrultusundaki u akışkan parçacıklarının hızı A alanı boyunca değişiyorsa, bu durumda ortalama hız, A alanının dA küçük alanlarına bölünüp bu alan elemanlarının merkezlerindeki noktasal hızların ortalaması alınarak veya tüm alan boyunca integre edilerek bulunabilir, böylece;

$$m = \rho VA = \int \rho u dA = \rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2 = \text{sabit} \quad (2.21)$$

sıvı haldeki akışkanlar için;

$$Q = VA = \int u dA = V_1 A_1 = V_2 A_2 = \text{sabit} \quad (2.22)$$

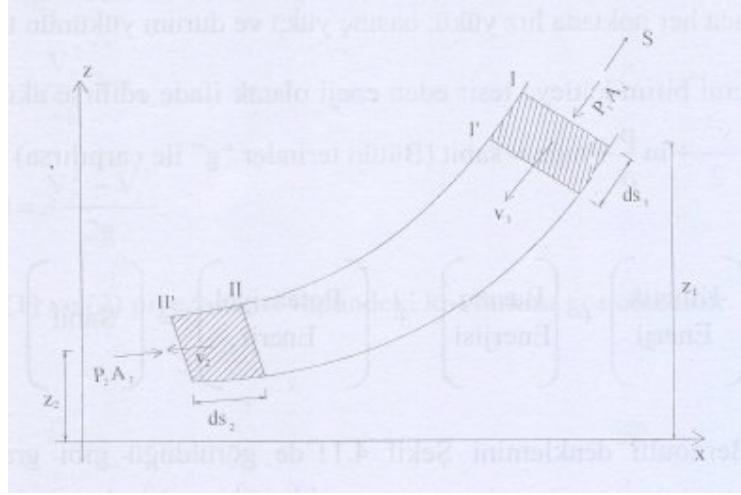
Bu da debinin sabit olması durumunda hız ile alanın ters orantılı olduğunu göstermektedir.

2.13.2 Enerji Denklemi

İdeal akışkanın bir boyutlu akımına enerjinin korunumu prensibi uygulandığında, akışkan sürtünmesiz olarak kabul edilir ve enerji ısıya çevrilemeyeceğinden;

[Basınç Kuvvetlerinin Yaptığı İş] + [Ağırlık Kuvvetlerinin Yaptığı İş] = [Hareket Enerjisi]

yazılabilir. Buna göre Şekil 2.6' daki I-II Akım borusunun I'-II' 'ne hareket ettiği düşünölsün.



Şekil 2.6 Akım borusuna etkili kuvvetler (YALÇIN, K.,2000)

$$\text{Basınç Enerjisi} \quad :E_b = p_1 A_1 ds_1 - p_2 A_2 ds_2 = \Lambda (p_1 - p_2), \quad \Lambda = A_1 ds_1 - A_2 ds_2 \quad (2.23)$$

$$\text{Potansiyel Enerji} \quad :E_p = mg(z_1 - z_2) = \rho \Lambda g (z_1 - z_2) = \gamma \Lambda (z_1 - z_2) \quad (2.24)$$

$$\text{Kinetik Enerji} \quad :E_k = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) = \rho \nabla \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) = \gamma \nabla (V_2^2 - V_1^2) / 2g \quad (2.25)$$

burada; ∇ hacimdir. Tarife göre;

$$E_k = E_b + E_p$$

olacağından

$$\gamma \nabla (V_2^2 - V_1^2) / 2g = \nabla (p_1 - p_2) + \gamma \nabla (z_1 - z_2) \quad (2.26)$$

$$(V_2^2 - V_1^2) / 2g = (z_1 - z_2) + (p_1 - p_2) / \gamma \quad (2.27)$$

$$(V_1^2 / 2g) + (p_1 / \gamma) + z_1 = (V_2^2 / 2g) + (p_2 / \gamma) + z_2 \quad (2.28)$$

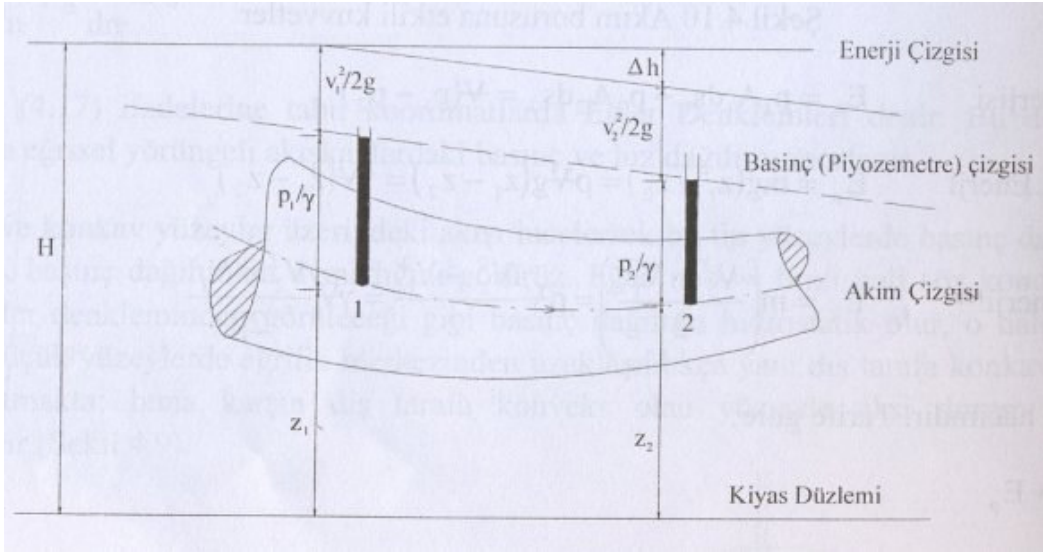
İdeal akışkan için Enerji Denklemi yani ‘‘Bernoulli Denklemi’’ elde edilir. Bu denklemin her bir terimi uzunluk boyutundadır ve buradaki terimler $V_2^2 / 2g =$ hız yükü, p / γ basınç yükü, z ise konum yükü olarak isimlendirilmektedir.

Bu denklemden şu sonuçlar çıkartılabilir:

- Sadece ağırlık kuvvetleri etkisi altında hareket eden ideal bir akışkanın kararlı akımında, her noktada hız yükü, basınç yükü ve durum yükünün toplamı sabittir.
- Bernoulli denklemi birim kütleye tesir eden enerji olarak ifade edilirse akımın enerjisi akım çizgisi boyunca $mV^2/2 + m p/ \rho + mgz = \text{sabit}$

$$\text{Yani [Kinetik Enerji] + [Basınç Enerji] + [Potansiyel Enerji] = [Sabit]} \quad (2.29)$$

olduğu görülür. Bernoulli Denklemi Şekil 2.7’de görüldüğü gibi grafik olarak ifade edilirse;



Şekil 2.7 Bernoulli denkleminin grafik izahı (YALÇIN, K.,2000)

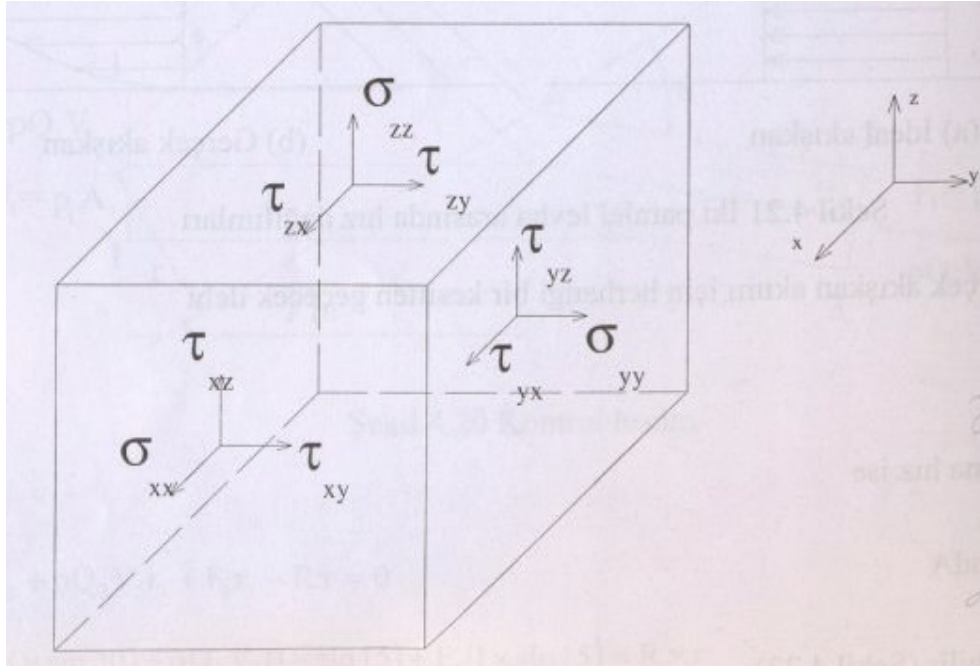
2.13.3 Impuls-Momentum Teoremi

Euler Hareket denklemlerinin değişik durumlar için integrasyonunda zorluklarla karşılaşıldığından çoğu kez sonuca ulaşılamamaktadır, ama pratikte kuvvetlerin belirlenmesinde impuls momentum teoremi uygulanarak sonuca daha kolay yaklaşılabılır. Sürtünme etkisinin olması veya olmaması ya da içsel enerji değişimleri impuls momentum teoreminin kullanılmasına engel olmaz.

2.14 Navier Stokes Denklemleri

İdeal akışkan akımının denklemleri çıkarılırken teğetsel kuvvetlerin olmadığı kabul edilir fakat, özellikle katı cidar yakınlarında akışkanların ideal akışkanmış gibi davranmaz.

Bunun için Şekil 2.8' de görülen yüzeysel kuvvetler incelenirse, üç boyutlu akışkan akımı için 18 gerilme bileşeni söz konusudur. Sonsuz küçük kübik bir eleman için bu 9 bileşen, bunun da dönmeye karşı dengede olmasından 6 adet birbirinden bağımsız ($\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{zy} = \tau_{yz}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$) bileşen ile tarif edilebilir, dolayısıyla gerilme tensörü köşegene göre simetriktir.



Şekil 2.8 Sonsuz küçük kübik bir hacmin yüzeyinde gerilme bileşenleri

Gerilme tensörü (Gerilme Matrisi)

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xz} & \tau_{zx} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

X doğrultusunda birim hacime etkiyen bileşke yüzeysel kuvvet;

$$F_x = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.31)$$

y doğrultusunda birim hacime etkiyen bileşke yüzeysel kuvvet;

$$F_y = \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.32)$$

z doğrultusunda birim hacime etkiyen bileşke yüzeysel kuvvet;

$$F_z = \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.33)$$

(2.32), (2.33) ve (2.34) ifadeleri bir bütün halinde ideal akışkanın hareketine ait Euler hareket denklemleri ile birlikte düşünülürse, gerçek akışkana ait hareket denklemleri

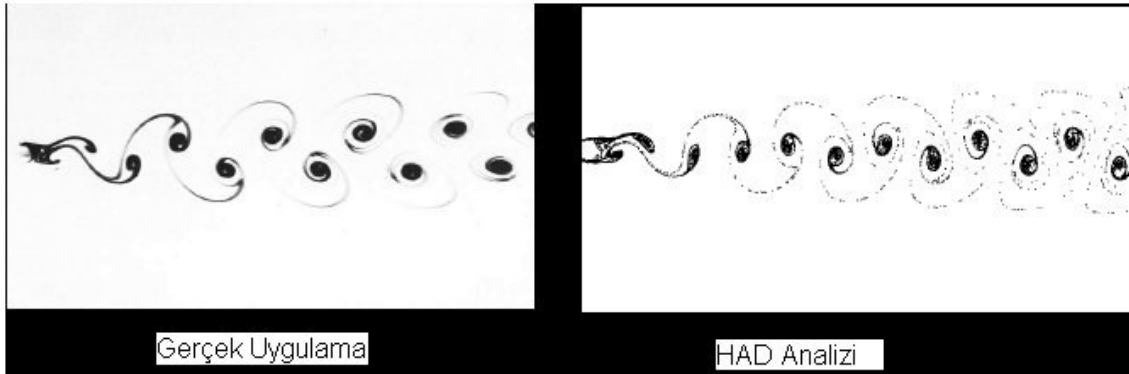
$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho X = \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial t} \right)$$

3. HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMIĞI ANALİZİ

Akışkan (gaz veya sıvı) akımı ile ilgili özellikler, enerji, kütle ve momentumun korunumu ilkelerini içinde barındıran kısmi diferansiyel denklemler vasıtasıyla belirtilir.

Hesaplamalı akışkan dinamiği analizi (HAD), bu tarz yöntemleri bilgisayarlarda çözümlenebilen bir dizi cebri eşitliklere dönüştürmekte ve akışkan dinamiği üzerinde hızlı ve pratik çalışma imkânı vermektedir. Bu yöntemle, üzerinde çalışılmak istenen sistem veya aygıtı temsil eden bir model oluşturulabilmekte ve akışkan akımı ile ilgili fiziki ve kimyasal ilkeler bu görsel model üzerine uygulanarak, kullanılan yazılım sayesinde akışkan dinamiği ve ilgili fiziksel olayla ilgili gerçeğe yakın tahminler yapılabilmektedir (Şekil 3.1).

Hesaplamalı akışkan dinamiği analizi, bilgisayar destekli bir çözüm yöntemi olduğundan, gazların ve sıvıların akışı, kütle ve ısı transferi, hareketli cisimler, çok fazlı fizik, kimyasal reaksiyonlar, sıvı yapıların etkileşimi ve akustik ile ilgili problemlerin çözümünde kolaylık sağlar (CHUNG T. J., 2002).



Şekil 3.1 Bir akışkan akımının gerçek ve simülasyon görüntüsü (KUZMIN, D.)

Hesaplamalı akışkan dinamiği analizi, akışkan akımıyla ilgili niteliksel ve niceliksel tahminlerin yapılmasına imkan verirken şu metotlardan faydalanır:

- Matematiksel modelleme (kısmi diferansiyel denklemler)
- Nümerik metotlar (Alanlara, hacimlere bölme ve çözüm teknikleri)
- Yazılım araçları (çözücüler, ön ve son işlemciler)

3.1 Günlük Yaşantıda Akışkan Akımı

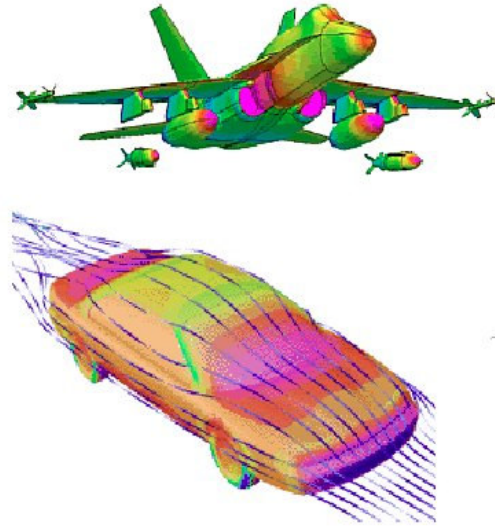
Günlük yaşamda karşılaşılan akışkan akımı olaylarına birkaç rnek;

- Meteorolojik (hava) olayları (yağmur, rüzgar, yangın, fırtına, sel),
- Çevreye zararlı olaylar (hava kirliliği, kirletici maddelerin yayılması),
- Isıtma, soğutma ve havanın şartlandırılması,
- Araçların motorlarındaki iten yanma olayı,
- Çeşitli nesnelerin kendilerini çevreleyen havayla, suyla etkileşimleri
- Isı değiştiriciler, kimyasal reaktörler ve fırınlardaki kompleks akımlar,
- İnsan vücudundaki kan akışı, soluk alıp verme gibi olaylar.

3.2 HAD Analizinin Uygulama Alanları

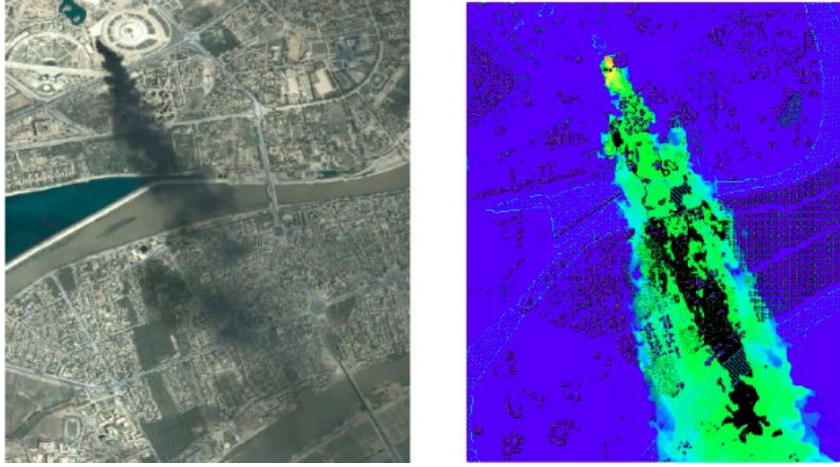
Akışkan akımının nümerik analizi sayesinde , aşağıda belirtilen meslek dallarında pek çok kolaylık sağlanmaktadır:

- Mimarlık (konforlu ve güvenli yaşam donanımları tasarlamak için)
- Petrol mühendisliği (yakıt geri kazanım stratejilerinin geliştirilmesi için)
- Araç tasarımı (şekil 3.2) (aerodinamik özelliklerin iyileştirilmesi)



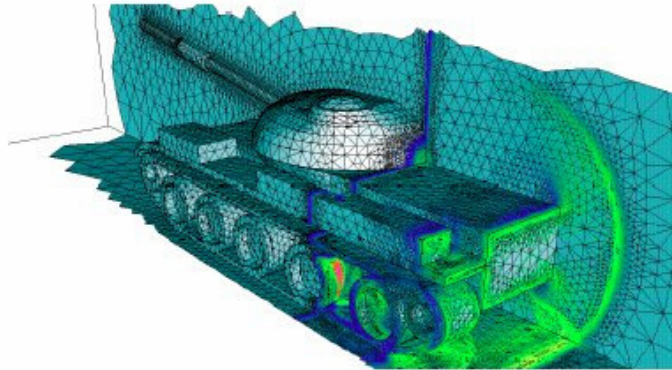
şekil 3.2 Araçlarda ve uçaklarda HAD'nin aerodinamik amaçlı uygulanması KUZMIN, D.

- Sağlık (bilgisayarlı hemodinami sayesinde cerrahların kalp hastalıklarına çözüm bulabilmeleri için)
- Meteoroloji (hava tahmininin yapılması ve doğal afetlerin önceden tespit edilebilmesi için)
- Güvenlik (Şekil 3.3) (radyasyondan veya diğer zararlı maddelerden doğacak sağlık risklerinin azaltılabilmesi için)

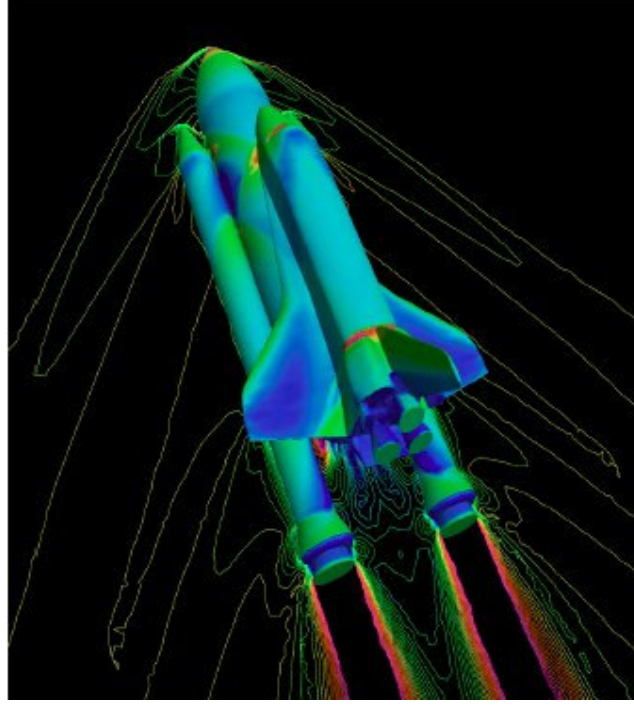


Şekil 3.3 Bağdat'ta gerçekleşen bir petrol yangınında çıkan dumanlar ve bilgisayar simülasyonu (KUZMIN, D.)

- Askeri Birimler (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5) (yeni silahların ve araçların bulunması ve tahrip güçlerinin belirlenmesi)



Şekil 3.4 Askeri birimlerde kullanılan bir HAD uygulaması (KUZMIN, D.)



Şekil 3.5 Roketlerde HAD analizi uygulaması (KUZMIN, D.)

3.3 Güvenilirlik ve Hassasiyet

Hesaplamalı akışkan dinamiği analizinde güvenilirlik ve hassasiyet, laminar/yavaş akımlarda türbülanslı/hızlı akımlara göre daha fazladır; aynı şekilde tek fazlı akımlara çok fazlı akımlara göre ve kimyasal olarak nötr sistemlerde reaktif akımlara göre güvenilirlik daha fazladır (CHUNG T. J., 2002).

3.4 HAD Analizi Adımları

Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizi yapılırken, işlemler şu sıralamayla gerçekleştirilir:

- Problemin tanımlanması
- Matematiksel modelin kurulması
- Ağ örme
- Alanlara bölme (Sonlu Elemanlar, Sonlu Farklar, Sonlu Hacimler Metodu)
- İteratif çözüm

- Hesaplamalı simülasyonun çalıştırılması
- Son İşlem (Postproses)
- Sonuçların Doğrulanması

3.5 Belirsizlik ve Hata

Hesaplamalı akışkan dinamiği analizi sonuçlarının güvenilir olup olmadığı, belirsizlik derecesine ve çeşitli hataların kümülatif etkisine bağlıdır.

Belirsizlik, bilgi eksikliğine bağlı olarak oluşan potansiyel eksiklikler olarak tanımlanabilir. Türbülans, belirsizlik terimi için klasik bir örnektir.

Hata, diğer bazı sebeplere bağlı olarak oluşan fark edilebilir eksiklikler olarak tanımlanabilir. Hata çeşitleri şunlardır:

- Bilinen hatalar: Kendilerini tanımlayacak, tahmin edecek ve büyük olasılıkla ortadan kaldıracak ya da en azından şiddetini azaltacak belirli bazı yöntemler mevcuttur.
- Bilinmeyen hatalar: Kendilerini araştırarak standart işlemler yoktur ve keşfedilemezlerse pek çok zarar vermeye devam edebilirler.
- Yerel hatalar: Tek bir hücrede veya grid noktadaki çözüm yanlışlıklarıyla ilgilidir.
- Global hatalar: Tüm akış alanındaki çözüm yanlışlıklarıyla ilgilidir.

Yerel hatalar, global hataların oluşmasına neden olur ve tüm grid boyunca ilerleyebilirler (CHUNG T. J., 2002).

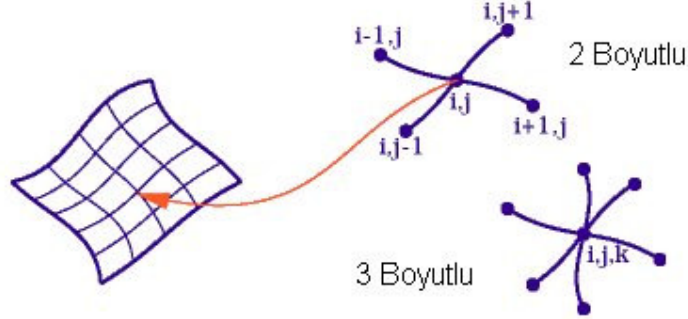
3.6 HAD Ayrıklaştırma Yöntemleri

Hesaplamalı akışkan dinamiği analizinin ayrıklaştırılması için için pek çok yöntem vardır. Bunların içinde en sık kullanılanları sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sonlu hacimler yöntemidir.

3.6.1 Sonlu Farklar Yöntemi

Nesnelerin yapısında bulunan sonsuz sayıdaki noktalar sonlu sayıda noktayla tanımlanır (Şekil 3.6). Bu noktalara nod adı verilir. Çeşitli fiziksel özelliklerin korunumu ilkeleri bu noktalara uygulanır. Bu bölgedeki nodların komşu nodları tanıyabilmesi için yapısal olarak uygun şekilde birbirilerine bağlanmaları gerekmektedir. Hız, basınç gibi özellikleri içinde barındıran formülasyonlar, bir noddan aldıkları özelliği komşu nodlara iletmektedir .

Bu metot tarihi bir öneme sahiptir ve programlanması oldukça kolaydır. Günümüzde bazı özel uygulamalar için kullanılmaktadır.



Şekil 3.6 Sonlu farklar yöntemi

Sonlu farklar metodu, $f(x + b) - f(x + a)$ 'nin matematiksel tanımıdır. Bu metotta sıklıkla kullanılan yöntemler, ileri, geri ve merkezi farklar olmak üzere üç çeşittir.

İleri farklar şu şekilde belirtilir:

$$\Delta[f(x)] = f(x + h) - f(x)$$

Uygulamaya bağlı olarak, h sabit tutulur veya $h \rightarrow 0$ olduğu kabul edilir.

Geri farklar, h 'nin yerini $-h$ 'nin alması durumunda gerçekleşir:

$$\Delta[f(x)] = f(x - h) - f(x)$$

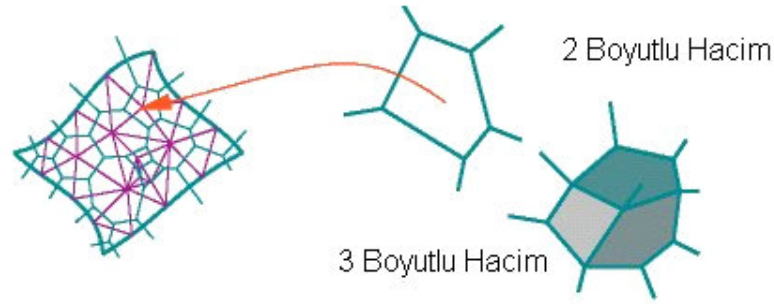
Merkezi farklar ise, ileri ve geri farkların ortalamasıdır.

3.6.2 Sonlu Hacimler Yöntemi

Akışkanın kapladığı hacim sonlu sayıda hacimlere bölünür, bu hacimlere cell (hücre) adı verilir (Şekil 3.7). Diferansiyel denklemler, denk integral forma çevrilir ve her bir hücreye uygulanır. Eşitlikler yerel olarak, kütle ve momentum değişimlerini her bir hücrenin yüzeyi boyunca eşit olarak dengeler. Hücrelerin şekilleri düzenli veya rasgele olabilir.

Sonlu hacimler yöntemi, kısmi diferansiyel denklemlerin cebri eşitliklere dönüştürülmesi ve çözümlenmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. Sonlu farklar yöntemiyle benzerlik gösterir; ağ örülmüş geometri üzerindeki farklı bölümler üzerinde hesaplama yapılır. Sonlu hacim terimi, ağ üzerindeki her bir nodu çevreleyen küçük hacmi ifade etmektedir. Sonlu

hacimler yönteminde, bir kısmi diferansiyel eşitlik içinde yer alan ve ıraksayan terimler içeren hacim integralleri yüzey integrallerine ıraksama teorisi kullanılarak çevrilir. Bu terimler daha sonra, her bir sonlu hacim yüzeyinde bulunan akış olarak isimlendirilir. Çünkü korunum ilkesine göre belirli bir hacmi terk eden miktar, komşu yüzeye giren miktara eşittir. Bu yöntem pek çok hesaplamalı akışkan dinamiği uygulamasında kullanılmaktadır.



Şekil 3.7 Sonlu hacim yöntemi

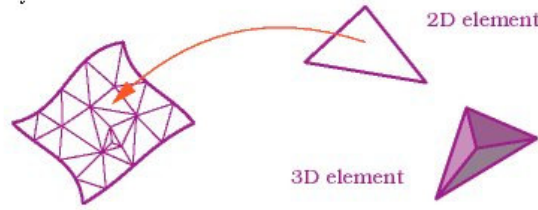
3.6.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi

En yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akışı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur. Hesaplanan büyüklük alanının almış olduğu en büyük değer veya en büyük gradyen pratikte özel bir öneme sahiptir.

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar "nod" adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler (Şekil 3.8). Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Matematik modelleme işleminin, modelin varyasyonel problem olarak ifade edilmesinden sonraki aşaması, bilgisayarda çözümlenmesi hedeflenen ayrık modelin oluşturulmasıdır. Günümüzde, diferansiyel denklemlerle ilgili matematik modellerin ayrık benzeşiklerinin oluşturulması ve elde edilen ayrık problemin bilgisayarda çözümlenmesi açısından en kapsamlı ve evrensel yöntem, sonlu elemanlar yöntemi (SEY)'dir. Bu yöntemin klasik sonlu

farklar yönteminden başlıca farkı, bunun sınır değer problemini değil, varyasyonel problemi temel almasıdır. Bu nedenle SEY, bilimsel ve teknolojik problemlerin sayısal çözümlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. SEY'in boyutlarının büyüklüğünü göstermek için, bunun hem matematiksel analiz, hem diferansiyel denklemler, hem sayısal yöntemler, hem bilgisayar bilimleri, hem de ayrıca çeşitli mühendislik bilimleri dallarıyla iç içe olduğunu söylemek yeterlidir



Şekil 3.8 Sonlu elemanlar yöntemi

3.7 Fluent Programı Kullanılarak Yapılan Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizi

Akışkan dinamiği analizine geçmeden önce, aşağıda belirtilen hususlara dikkatlice değinilmelidir.

3.7.1 Problem Çözme Adımları

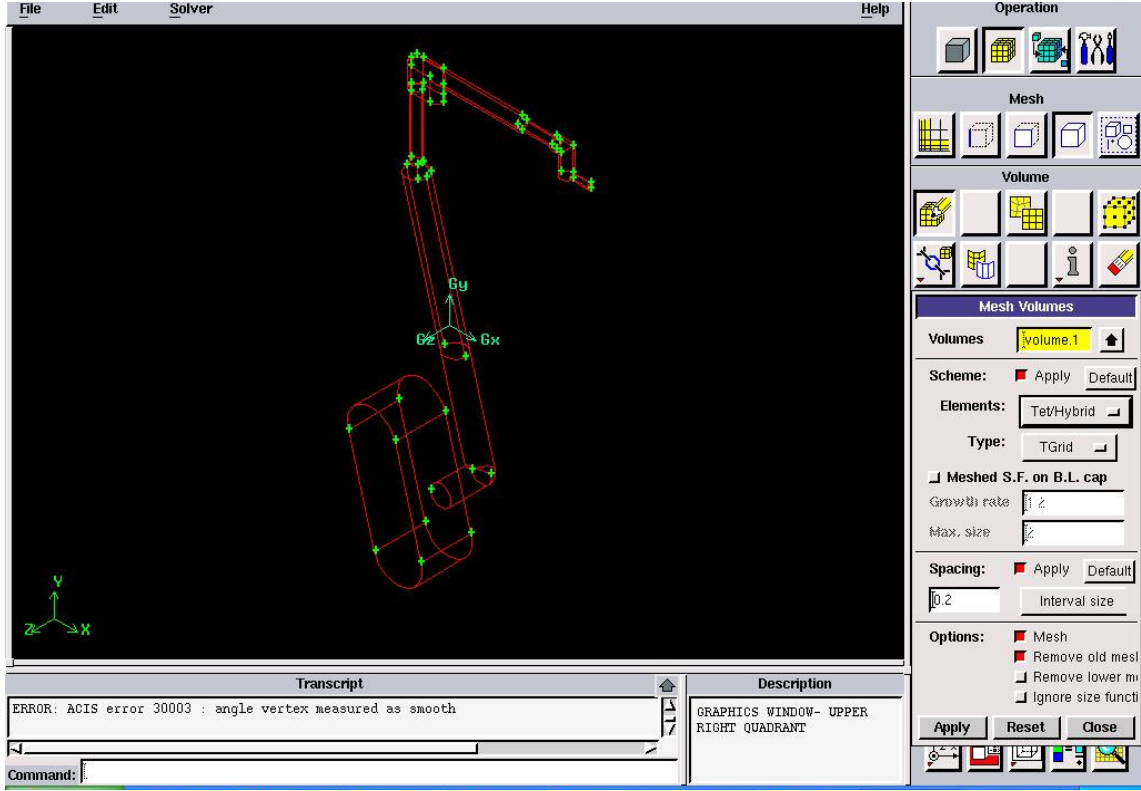
Çözülmesi istenen problemin önemli özellikleri belirlendikten sonra, aşağıda belirtilen temel prosedürler izlenmelidir:

- Modelleme ve mesh (ağ) örme tekniği belirlenir.
- Model geometrisi oluşturulur.
- Fiziksel model kurulur ve solver (çözücü) seçimi yapılır.
- Çözüm yapılır ve ekranda görüntülenir.
- Sonuçlar incelenir ve kaydedilir.

Eğer gerekliyse, nümerik veya fiziksel model parametreleri üzerinde yapılabilecek değişiklikler belirlenir (Fluent 6.2 User's Guide, 2005).

Yukarıda sıralanan adımlardan birincisi için, bir geometrik modelleyiciye ve mesh (ağ) örücüye ihtiyaç vardır. Bunun için Fluent'in hazırlık programı olan Gambit veya ayrı bir CAD

sistemi kullanılabilir. Şekil 3.9’da Gambit içerisinde oluşturulan mesh örneği verilmiştir. Ayrıca, Gambit’ten veya başka bir CAD programından import edilen yüzey mesh’leri hacimsel mesh’e çevirmek için TGrid’den faydalanılabilir (Gambit 2.2 User’s Guide, 2004).



Şekil 3.9 Gambit programında mesh oluşturma işlemi

3.7.2 Hesaplamalı Akışkan Dinamiği Analizinin Planlanması

Problem çözme adımlarının her biri için göz önünde bulundurulması gereken bazı hususlar vardır. Bunlar:

- Modelleme tekniğinin belirlenmesi
- Model geometrisinin oluşturulması ve mesh örülmesi
- Fiziksel modelin kurulması ve solver (çözücü) ayarının yapılması

şeklinde. Ayrıca aşağıda verilenlere benzer nitelikteki sorular ve cevapları göz önünde bulundurulmalıdır.

- Hangi sonuçlar elde etmeye çalışılıyor ve bu sonuçlar nasıl, nerede kullanılacak?
- Modelleme seçenekleri neler?

- Analiz hangi fiziksel modelleri içermeli?
- Hangi basitleştirmeler yapılmalı?
- Hangi basitleştirmeler yapılabilir?
- Herhangi bir özel modelleme becerisi gerekiyor mu?
- Sonuçlarda ne derece hassasiyet isteniyor?
- Sonuca ne kadar hızlı ulaşılması gerekiyor?
- Hesaplama alanı nerede başlayıp nerede bitecek?
- Bu sınır bölgelerde hangi sınır şartlar var?
- Sınır şartlar bu bilgiyi sağlıyor mu?
- Bu alan, gerekli bilgilerin bulunduğu bir başka noktaya genişletilebilir mi?
- Problem, iki boyutlu veya asimetrik bir probleme indirgenebilir ve basitleştirilebilir mi?

3.7.3 Model Geometrisinin Oluşturulması ve Mesh Örülməsi

Fluent, mesh oluştururken harcanan zamanı azaltacak, geometri modelleme ve mesh oluşturma işlemini basitleştirecek ve geleneksel yöntemlerle yapılabilenlerden daha karmaşık geometrilerin oluşturulmasına imkân verecek yapıda mesh çeşitlerine sahiptir. Fluent, iki boyutlu olarak triangular (üçgen), quadrilateral ve bu ikisinin birleşimi şeklindeki elemanlar, üç boyutlu olarak tetrahedral, hexahedral, pyramid, wedge ve bu dördünün kombinasyonu şeklindeki elemanlar içerir.

Fluent'te akış alanındaki büyük gradyenlerin yenide çözümü için tüm eleman tipleri kullanılabilir; ancak hangi eleman tipi kullanılırsa kullanılsın, ilk başlangıç mesh'i çözücü programın dışında Gambit, TGrid veya diğer CAD sistemlerinden birinde oluşturulmalıdır.

Mesh oluştururken şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Quad/Hex eleman mı, yoksa tri/tet veya hybrid eleman mı kullanılabilir?
- Geometri ve akış ne kadar karmaşık?
- Çözüm alanının her bir bölgesinde hangi derece mesh çözünürlüğü isteniyor?

- Çözünürlük geometri için yeterli mi?
- Yüksek gradyenli alanların tahmini yapılabilir mi?
- Bilgisayar kapasitesi yeterli mi?
- Kaç adet mesh örülmesi gerekiyor?
- Çözünürlük geometri için yeterli mi?

3.7.4 Fiziksel Modelin Kurulması ve Solver (Çözücü) Ayarı

Belirli bir problem için çözüm aşamasında yapılması gerekenler şunlardır:

- Mesh import edilir ve kontrolden geçirilir.
- Nümerik çözücü (solver) seçilir
- Uygun fiziksel model seçilir (türbülanslı, yanmalı, çok fazlı ..vs).
- Malzeme özellikleri tanımlanır (akışkan, katı, karışım).

4. BUTİL MALZEMESİ AKIM YOLU MODELİNİN AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN FLUENT PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLENMESİ

Bu tezde ele alınan butil makinası ısı yalıtımlı çift cam imalatında kullanılan bir makinadır. Kullanım amacı iki camın arasında bulunan ve içinde nem alıcı tanecik bulunduran alüminyum çitanın her iki yan yüzeyine butil adı verilen sıcak ve zift benzeri malzemeyi yapıştırmaktır. Butillenen çita camlara temas edip yapışmaya hazırdır. Böylelikle camlar bir sonraki işlem olan macun ile son sızdırmazlık ve birleştirme için hazır hale gelirler.

4.1 Problemin Tanımı

Makinanın imalatının ardından gerçekleştirilen test aşamalarında makinanın hedef değerlere uygunluğu kontrol edilir. İstenen sonuçlar şunlardır:

- Basınç uygulanan ve enjekte edilen butil macununun sabit debi altında çıkması istenir. Eğer debi değişirse butil malzemesi, alüminyum profil üzerinde sinüsoidal bir eğri şeklinde enjekte edilir.
- Enjekte edilen butil macununun sıcaklığının sabit olması gerekir. Eğer sıcaklık değişirse akışkanın viskozitesi değişecek, aynı debi için daha yüksek basınçlara çıkılması gerekecektir. Ayrıca sıcaklık dalgalanması olduğunda butil macununun yapışkanlığı azalacaktır.

4.2 Butil Malzemesinin Özellikleri

Butil malzemesinin özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir;

Genel adı :Polyiso butylene

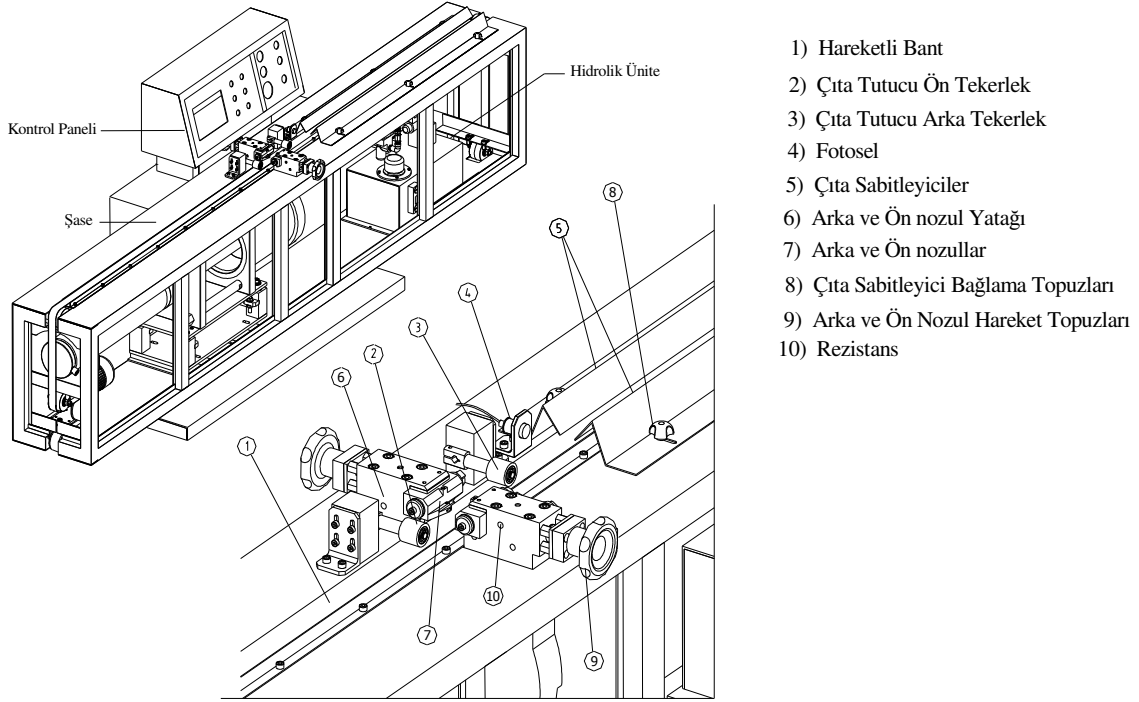
Özgül ağırlığı :1.06 kg/dm³

Viskozitesi :30000 kg/m s

Kullanım sıcaklığı >140°C

4.3 Butil Makinasının Özellikleri

Tezde konu edilen yatay butil makinası Şekil 4.1 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1 Yatay butil makinası

Bu makinanın teknik özellikleri şu şekildedir:

- 6 mm' den 24 mm 'ye kadar genişlik ayarı yapılabilir.
- Butil çıkış nozullarının yüksekliği ayarlanabilir.
- Çerçeve ile çalışırken 50 m/dk hızında butil çekilebilir.
- 7 kg standard butil bloğu kullanabilir.
- Sadece 20 dakika içinde ısınıp çalışmaya başlayabilir
- PID ısı kontrol sistemi sayesinde hassas sıcaklık ölçümü yapılabilir.
- Hazne ve butil çıkış nozullarının ayrı ayrı sıcaklık kontrolü yapılabilir.
- Çıta giriş ve çıkış yönünde çıta sabitleme tekerlekleri vardır.

- Çıkış birimi olarak PLC ünite ve ekranı kullanılır.
- Hava tahrikli hidrolik ünite vasıtasıyla elektrik motoru olmadan çalışabilen hidrolik ünite mevcuttur.
- Butil haznesi izole edilmiştir.
- Rijit çelik gövde elektrostatik toz boya kaplıdır.
- İsteğe bağlı olarak yuvarlak çita butilleme özelliği ilave edilebilir.

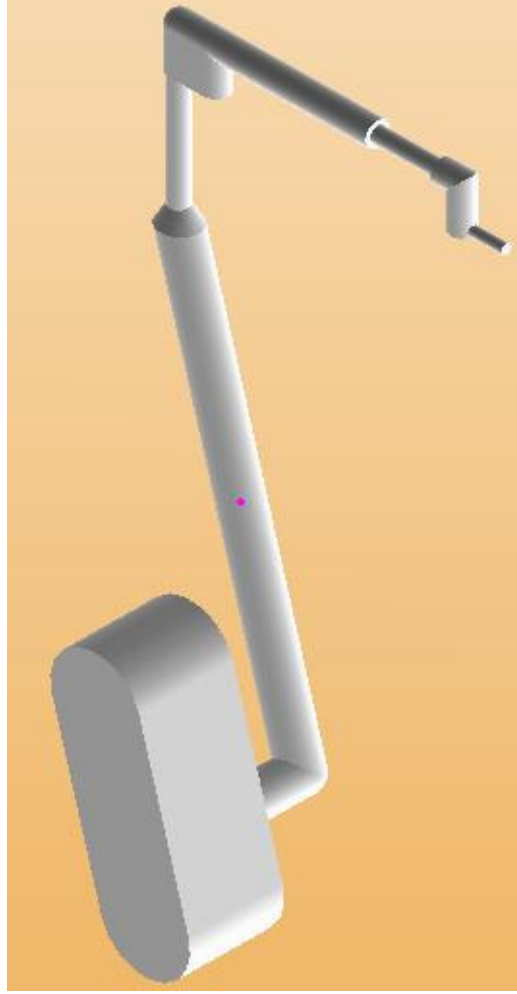
4.4 Düşük Çalışma Basıncı

Butil makinalarında yüksek viskoziteli butil macununu itmek için hidrolik basınç kullanılır. Makine üzerinde, Ø125mm St57 malzemedен yapılmış honlanmış boru kullanılmaktadır. Borunun yırtılma basıncı 280 bar olmasına rağmen güvenlik açısından 250 barın üzerine çıkılmaması önerilir. Macunun akış yolu üzerindeki kayıplar ve akışa karşı olan direnç ne kadar az olursa çalışma basıncı o kadar az olacak hidrolik pompa o kadar az devreye girecektir.

Tez aşamasında butil makinasındaki çalışma şartlarının nasıl daha iyi hale getirilebileceği incelenmiştir. İki tip enjeksiyon sistemi üzerindeki tasarım ve imalat yöntemlerinin çalışma şartlarını ne şekilde etkilediği incelenmiş ve makine üzerinde uygulanarak karşılaştırılmıştır.

4.5 Butil Akış Yolu İçin Birinci Tasarım

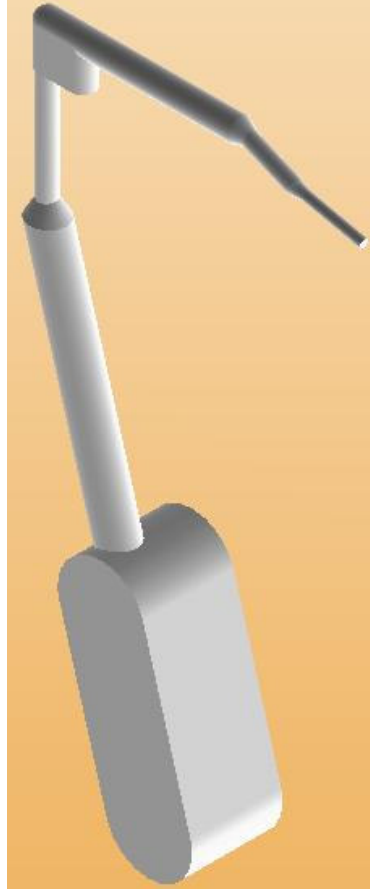
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bu tasarımda parçalar arası geçişlerde 90°lik dönüşler görülmektedir. Çapın düştüğü, basıncın hıza dönüştüğü nozul uç bölgesinde keskin dönüşler vardır.



Şekil 4.2 Butil malzemesi akış yolu için yapılan birinci tasarım

4.6 Butil Akış Yolu İçin İkinci Tasarım

Bu tasarımda ana girişteki dirsek kaldırılmış, parçalar arası geçişlerde parça yüzeylerine havşa basılarak karşı alanlar azaltılmıştır (Şekil 4.3). Akış içindeki basıncın minimuma, hızın maksimuma dönüştüğü nozul ucunda 90°lik dönüşler yerine açılı geçişler uygulanmış çıkış hızı artırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.3 Butil malzemesi akış yolu için yapılan birinci tasarım

5. SİSTEMİN FLUENT PROGRAMI İLE ÇÖZÜMÜ

Butil makinasının bilgisayar analizi üç kısımdan oluşmaktadır:

- Sistemin hazırlanması
- Mesh tanımlama
- Analiz

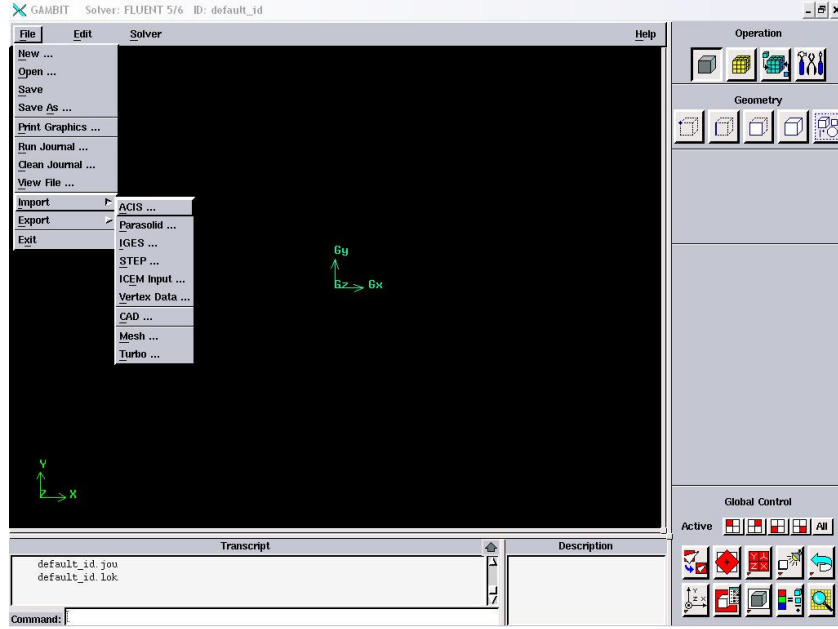
5.1 Sistemin Hazırlanması

Butil macununun geçeceği akış yolunun bilgisayarda modellenmesi gerçekleştirilir. Bu model yapılırken bilgisayar analizini kolaylaştırmak için mekanik parçalar çizilmeden sadece macunun geçeceği yol boru şeklinde çizilmiştir. Yapılan çizimde akış yolundaki boyutlar, kenar, dirsek dönüşleri birebir yansıtılmıştır. Analizi yapılacak olan model üç boyutlu tasarım yapan bir programda hazırlanmış ve uygun formata çevrilmiştir.

Yapılan tasarım Fluent yazılımının alt programı olan Gambit programının girdisi olacaktır. Gambit programı sadece belirli formatlarda girdi kabul eder. Bu formatlar:

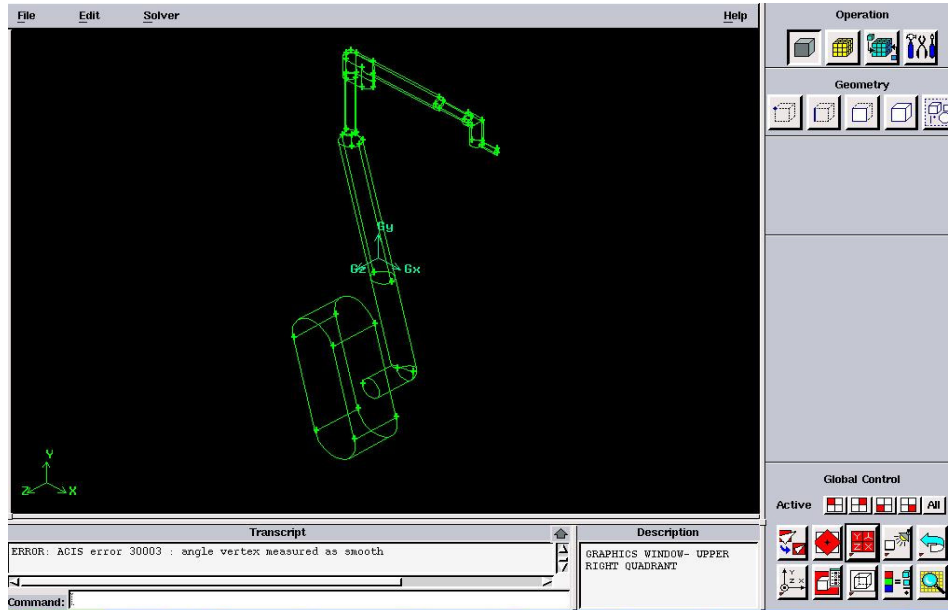
- ACIS
- PARASOLID
- IGES
- STEP

formatlarıdır. Bu çalışmada analizi yapılacak olan parça bir hacim formatı olan STEP formatına çevrilmiştir. Üzerinde çalışılacak model Şekil 5.1 'de gösterildiği gibi File|>Import komut sıralaması ile sisteme import edilir ve model Şekil 5.2'de görüldüğü gibi ekranda görüntülenir.



Şekil 5.1 Modelin sisteme import edilmesi

Yükleme tamamlandıktan sonra import edilen şekil ekrana gelecektir. Bu aşamada Gambit programının çıktısı hangi programda çözülecekse tanımlanması gerekmektedir. Solver menüsünden Fluent 5/6 programı seçilerek çözücü program Gambit'e tanıtılır.



Şekil 5.2 Modelin ekranda görüntülenmesi

Gambit, problem çözümünde akış yolu içindeki hacmi mesh adı verilen birim hacimlere bölerek yardım edecektir. Bu birim hacimlerin her biri için Fluent programı çözümler üretecektir.

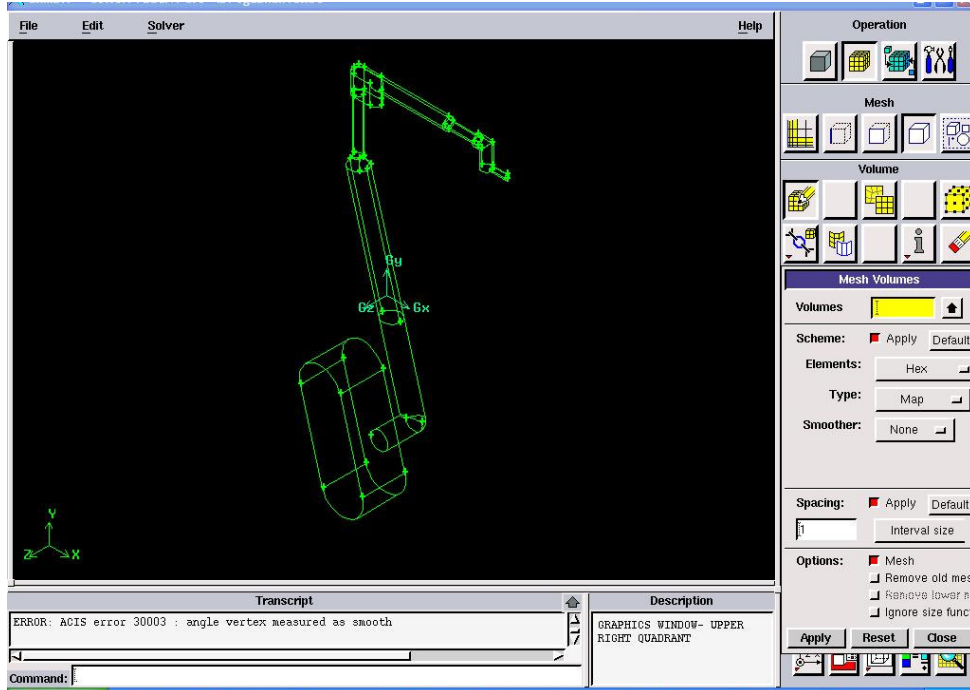
5.2 Gambit'te Mesh (Ağ) Tanımlama

Gambit'in dört alt operasyon seçeneği vardır:

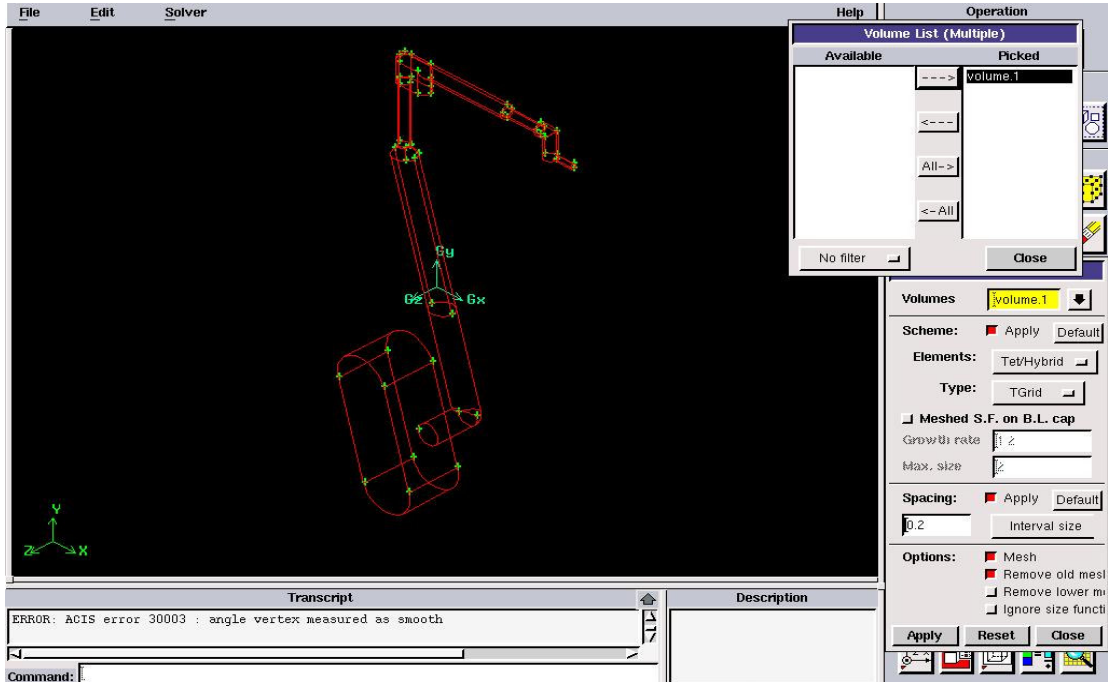
- Geometri oluşturma
- Mesh oluşturma
- Alan (zone) tanımlama
- Ayarlar Menüsü

Akış yolunun çizimi bir CAD programı olan Alibre Design programı vasıtasıyla yapıldığından geometri menüsü kullanılmayacaktır.

Operation menüsünden mesh sekmesi seçilerek mesh oluşturmaya başlanır. Akış yolu bir hacim olarak tasarlandığında volume mesh seçeneği seçilir (Şekil 5.3). Ayrıca program bir çizgi üzerinden veya yüzey üzerinden mesh yaratabilir. Mesh komutu içerisinde yer alan akış yolu hacmi tanımlanır (Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Volume mesh menüsü



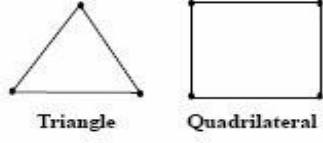
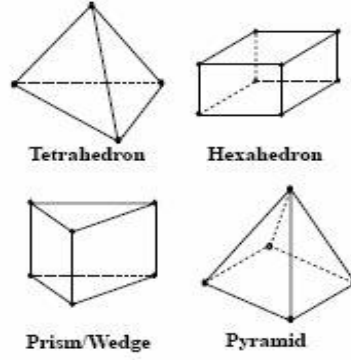
Şekil 5.4 Akış yolu hacminin tanımlanması

Mesh atarken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta mesh adı verilen elemanların yapısıdır.

Bu yapılar:

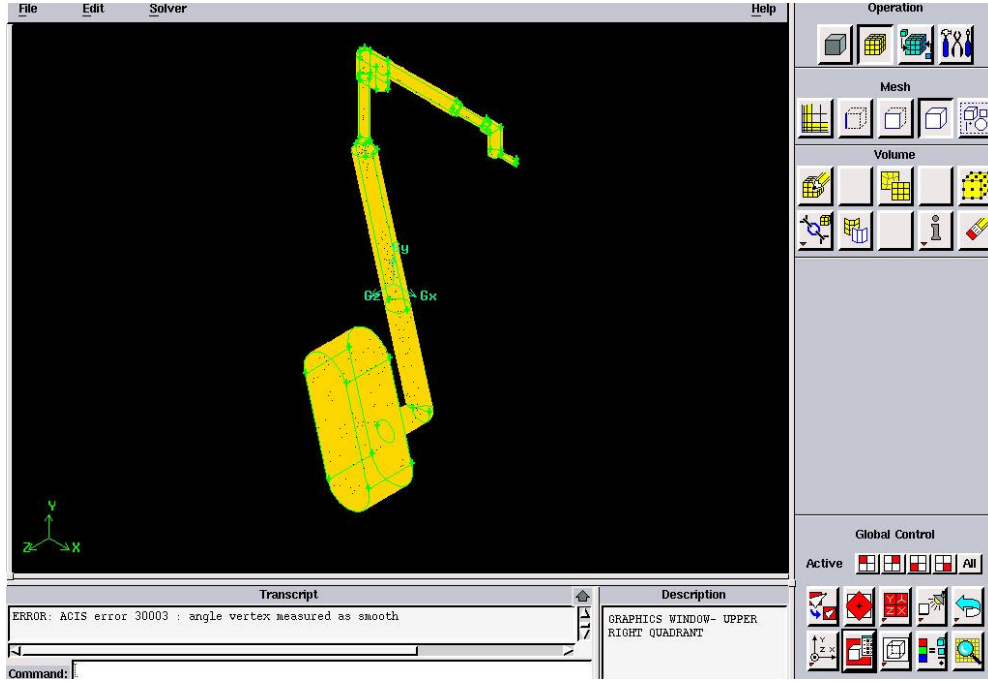
- HEX
- HEX/WEDGE
- TET/HYBRID

yapıda olabilirler (Şekil 5.5).

2B Elemanlar**3 Boyutlu Elemanlar**

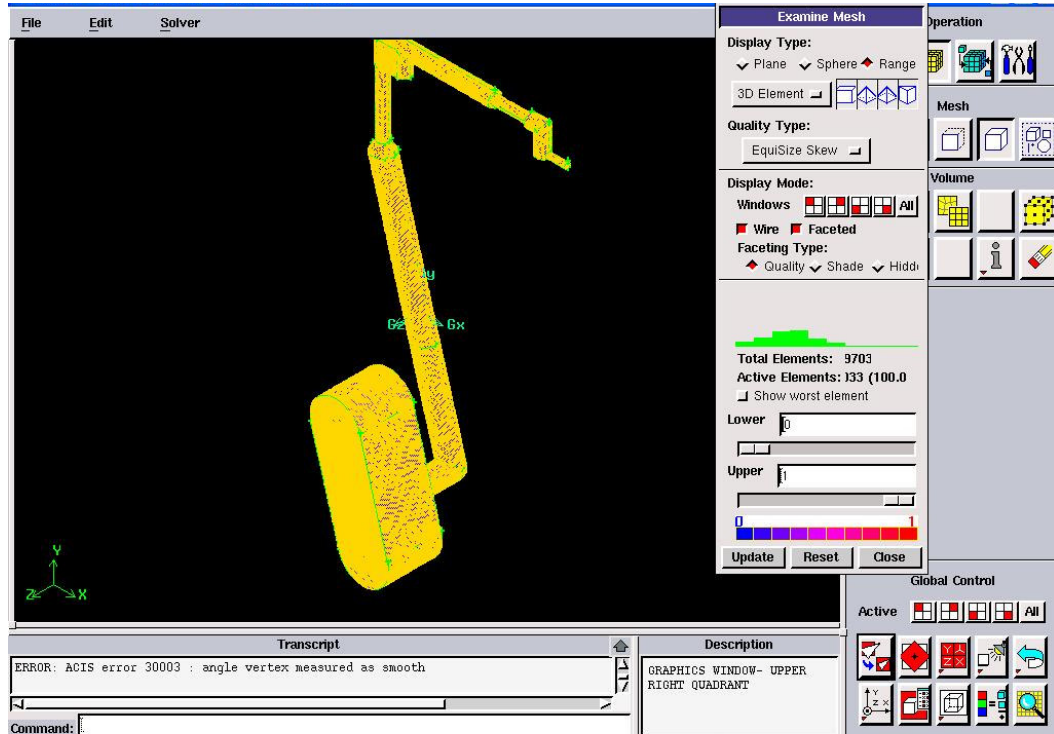
Şekil 5.5 Eleman çeşitleri (KUZMIN, D.)

Analizi yapılacak olan hacme en uygun olan mesh yapısı Tet / Hybrid yapıdır. Hacim tanımlaması ve mesh seçimi yapıldıktan sonra apply (uygula) komutuyla mesh'ler oluşturulur (Şekil 5.6). Program ara yüzünün alt tarafındaki rapor satırında kaç adet mesh oluşturulduğu rapor edilir.

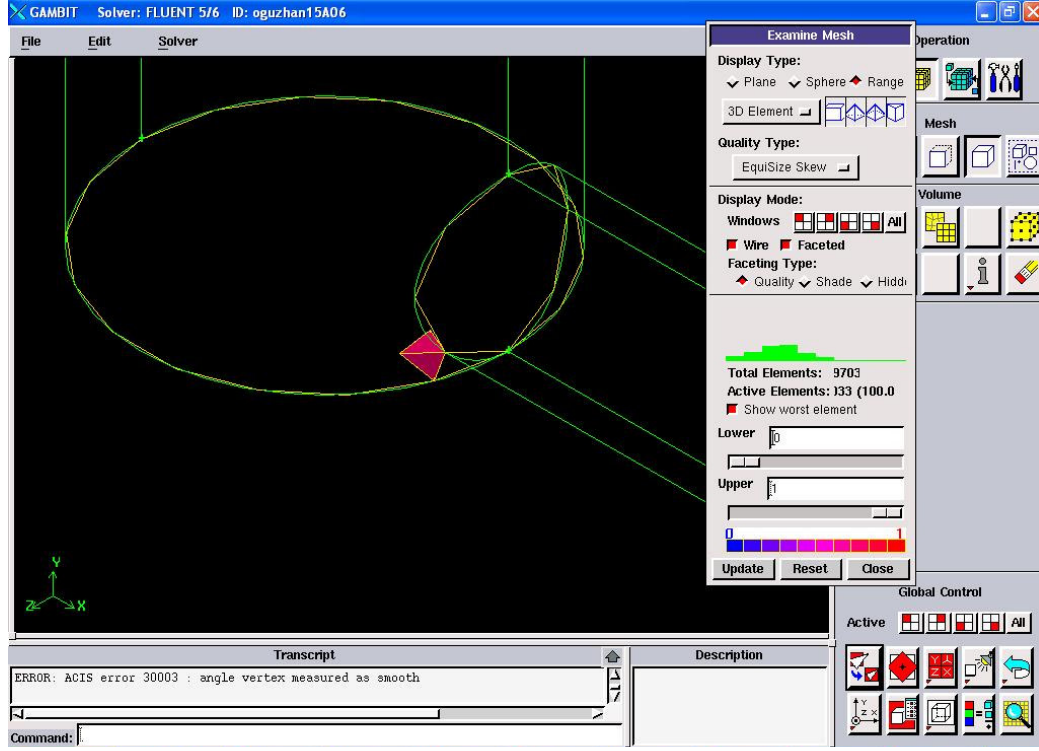


Şekil 5.6 Üzerine mesh atılmış model

Program ara yüzünün en alt sol kısmındaki “examine mesh” komutuyla oluşturulan mesh’lerin birbirleriyle uyumu ve mesh kalitesi kontrol edilebilir (Şekil 5.7).



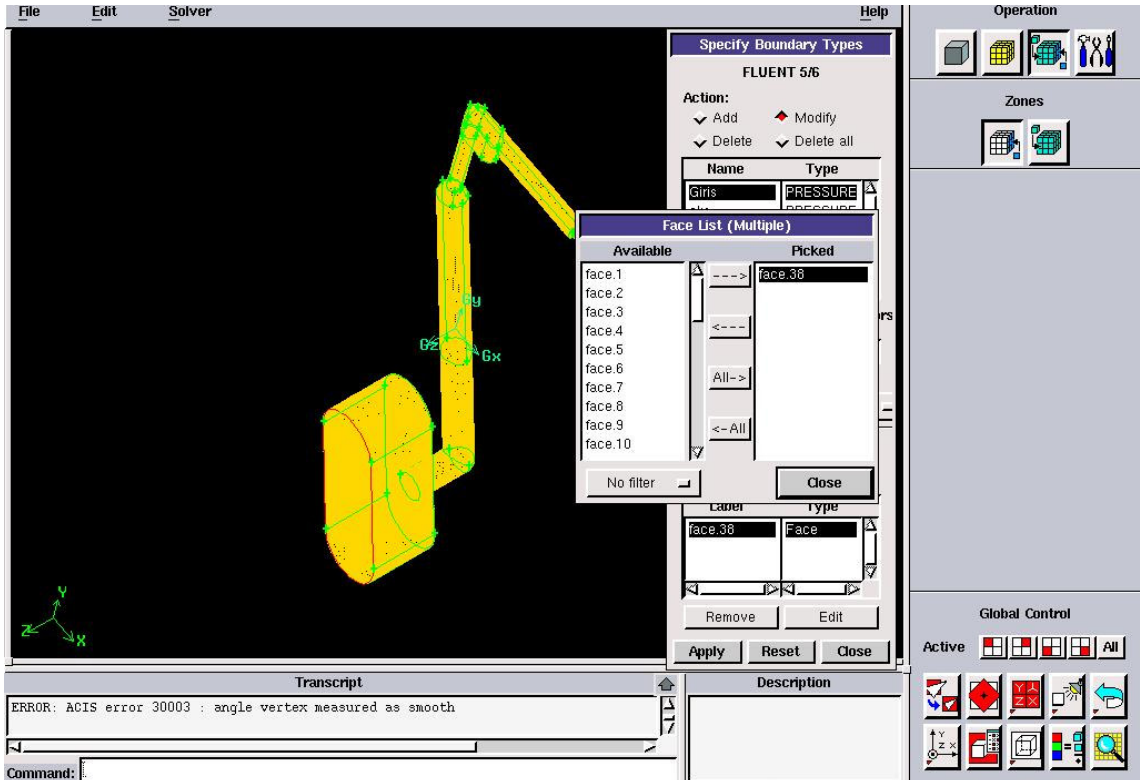
Şekil 5.7 Mesh kalitesinin kontrol edilmesi



Şekil 5.8 Examine mesh komutu ile mesh elemanlarının yakından kontrolü

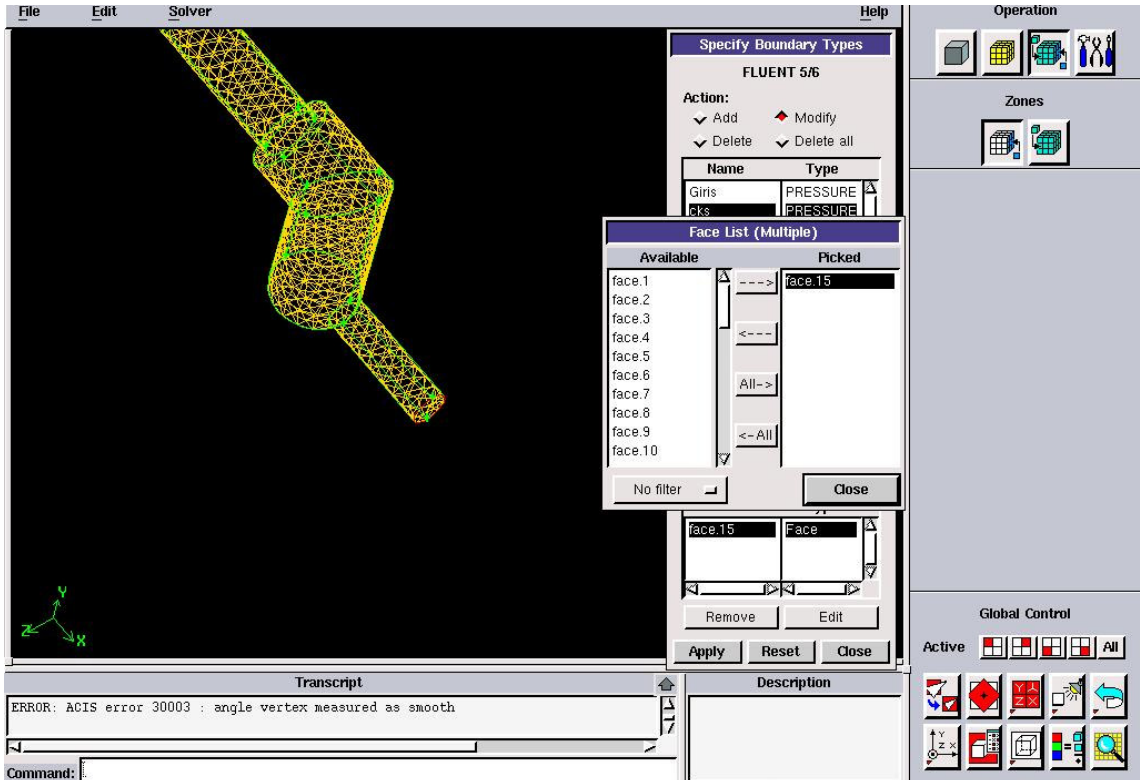
Volume mesh atıldıktan sonra Zones menüsünden sınır şartları ve diğer tanımlayıcı faktörler belirlenir (Şekil 5.9). Yapılacak olan analizde başlangıç ve bitiş noktalarındaki basınç ve hız değişimleri incelenecektir. Bu noktada giriş, yani akışkanın akış yoluna girdiği bölge tanımlanır. Bu tanımlamaya örnek olarak:

- Recirculation Inlet (sirkülasyon Girişi)
- Velocity Inlet (Hız Girişi)
- Mass Velocity Inlet (Kütle Hız Girişi)



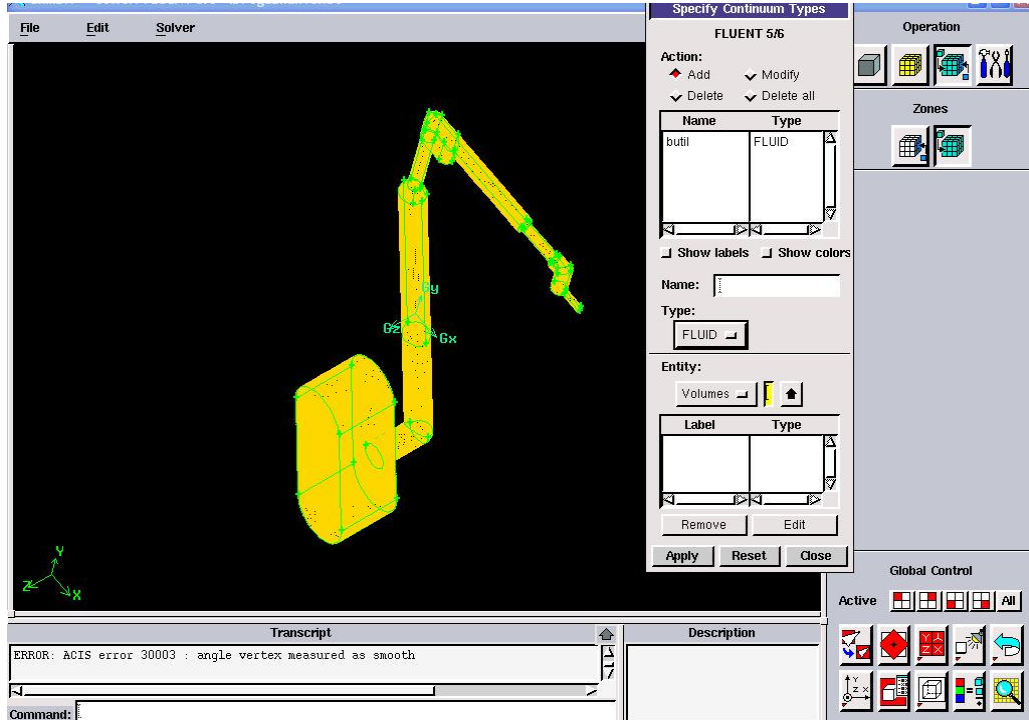
Şekil 5.9 Model üzerinde sınır şartların tanımlanması

Ele alınan problemde, akış yolundaki basınç bilindiği ve kontrol edilebildiği için giriş alanı pressure inlet, yani basınç girişi olarak tanımlanmıştır. Analizde akıl yolu içindeki basınç ve hız değişimlerini inceleyecektir. Akış yolunun çıkışı doğrudan atmosfere açıldığından o noktadaki basınç da bilinmektedir. Bu yüzden, akış yolu pressure outlet (basınç çıkışı) olarak seçilebilir.



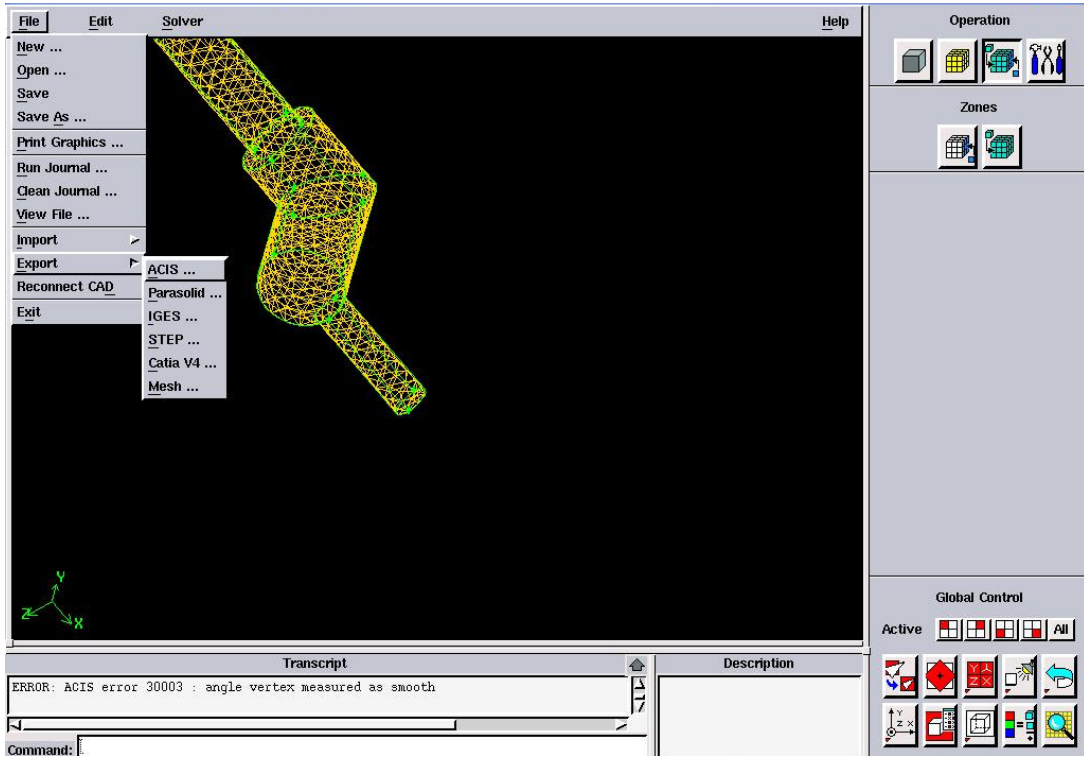
Şekil 5.10 Giriş alanının değerinin ve uygulama noktasının tanımlanması

Program, geometrideki tanımlanmayan alanları otomatik olarak wall (cidar) olarak tanımlayacaktır. Ayrıca ikinci zones menüsünden çözümü yapılacak malzemenin katı veya sıvı olduğunun tanımlanması yapılır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Akışkan çeşidinin belirtilmesi

Bu işlemlerden sonra yapılan hazırlık Fluent programı için export edilir (Şekil 5.12) Export edilen dosyanın uzantısının .msh olmasına dikkat edilir.

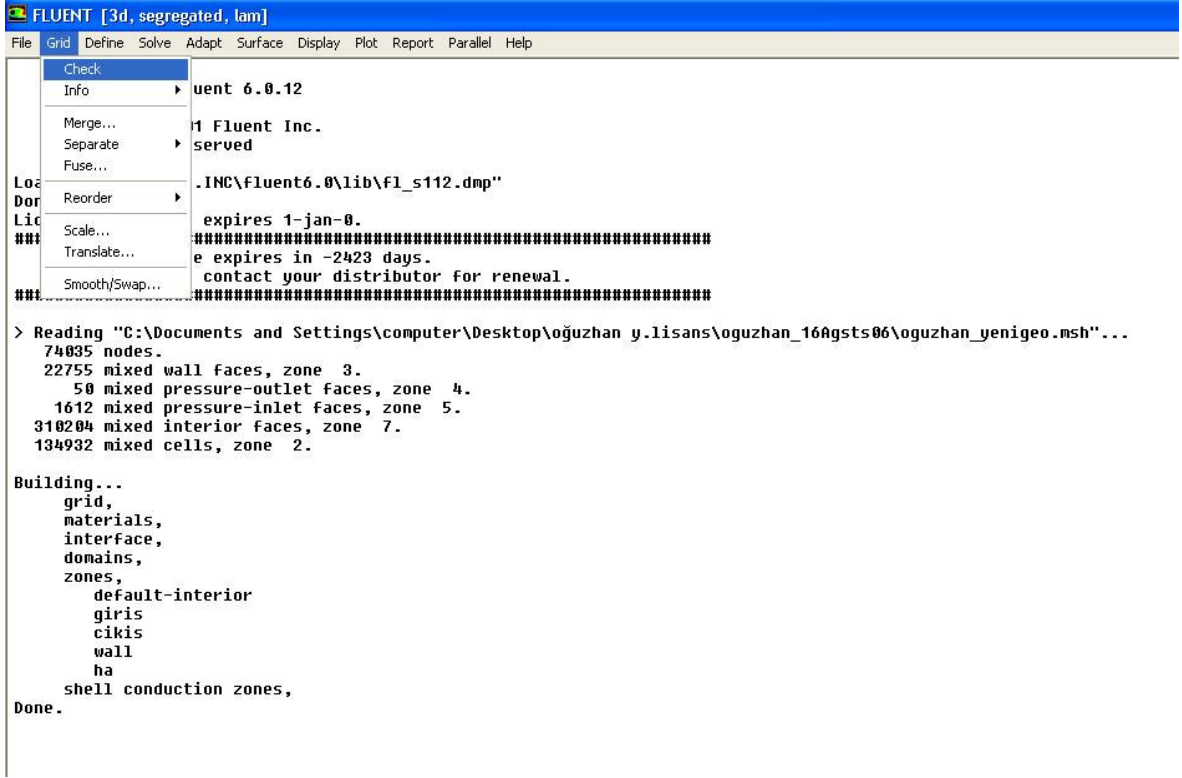


Şekil 5.12 Modelin Gambit programından export edilmesi

5.3 FLUENT Programı ile Butil Macununun Akış Analizi

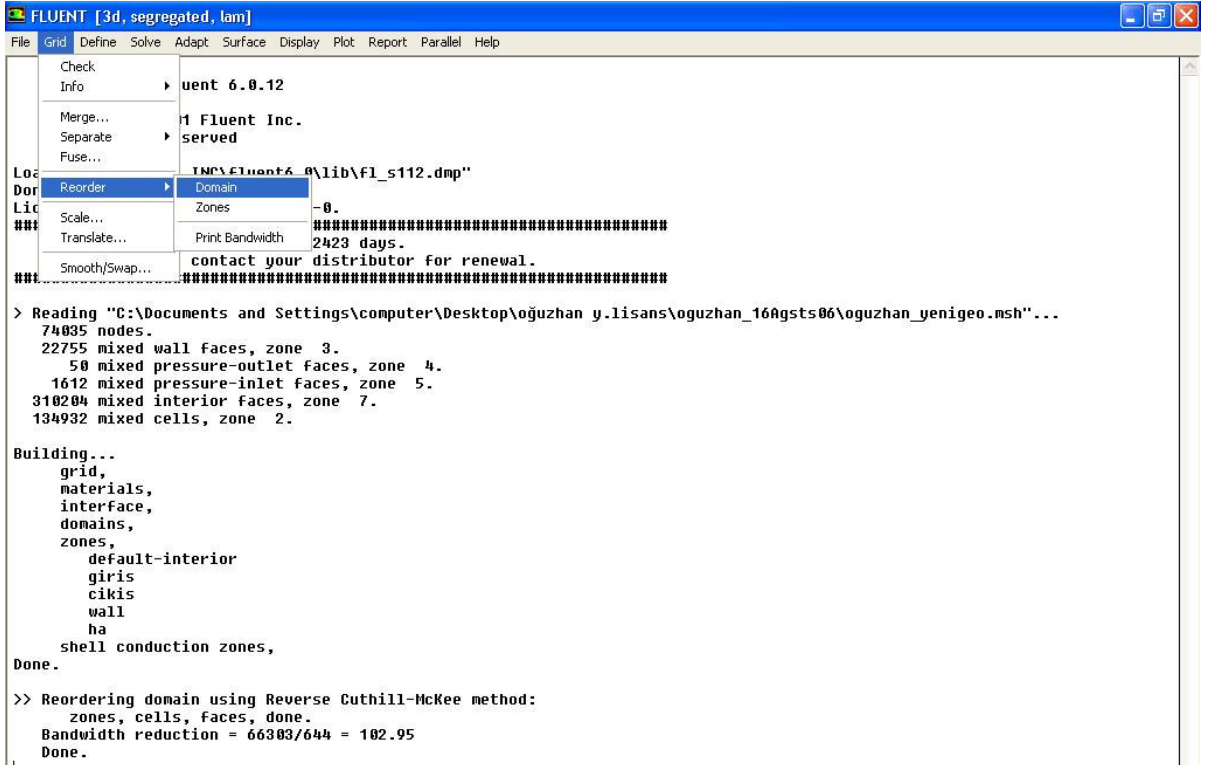
Gambit programı ile mesh örgüsü tamamlanan geometri fluent programında işlenmek ve sonuçları elde etmek için import edilir.

File>Read>Case menüleri takip edilerek msh uzantılı dosya fluent programı içine alınır. Daha sonra Grid>Check komutları ile mesh örülen geometriye ait yüzey, akışkan vs. girdileri tanımlaması sağlanır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Grid kontrol (Grid>Check)

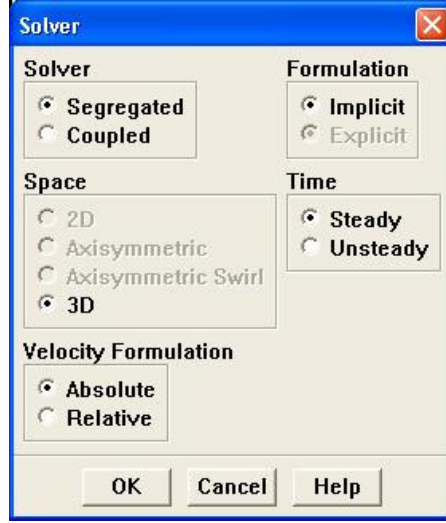
Yine aynı menü içindeki Reorder>Domain komutları izlenerek parçacıkların düzenlenmesi işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 5.14 Akış alanının yeniden düzenlenmesi (Reorder> Domain)

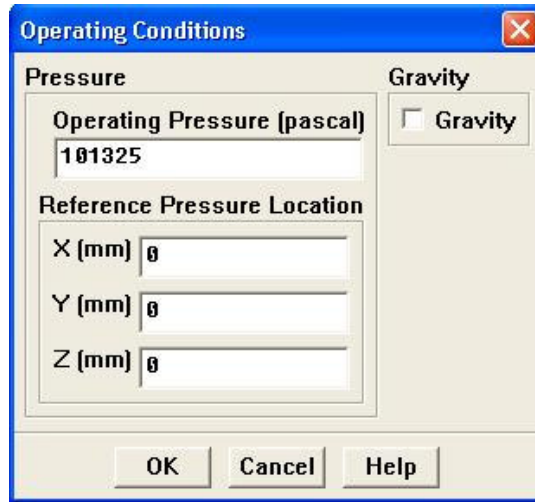
Gambit programı birimsiz bir programdır. Mesh ağı örülen geometri Fluent programına tanıtıldıktan sonra uygulanması gereken komutlardan bir tanesi de grid menüsü içindeki Scale komutudur. Bu menüden birim olarak [mm] seçilir ve Scale komutuyla Fluent artık geometriyi gerçek boyutlarıyla tanımış olmaktadır.

Böylelikle mesh atılan geometrinin Fluent'e tanımlanması gerçekleşmiştir. Artık mevcut girdileri işlemek için gerekli olan çözücü ayarları yapılabilir. Bu ayarlar Define menüsü üzerinden yapılmıştır.



Şekil 5.15 Çözücü ayarlarının yapılması (Define>Models>Solver)

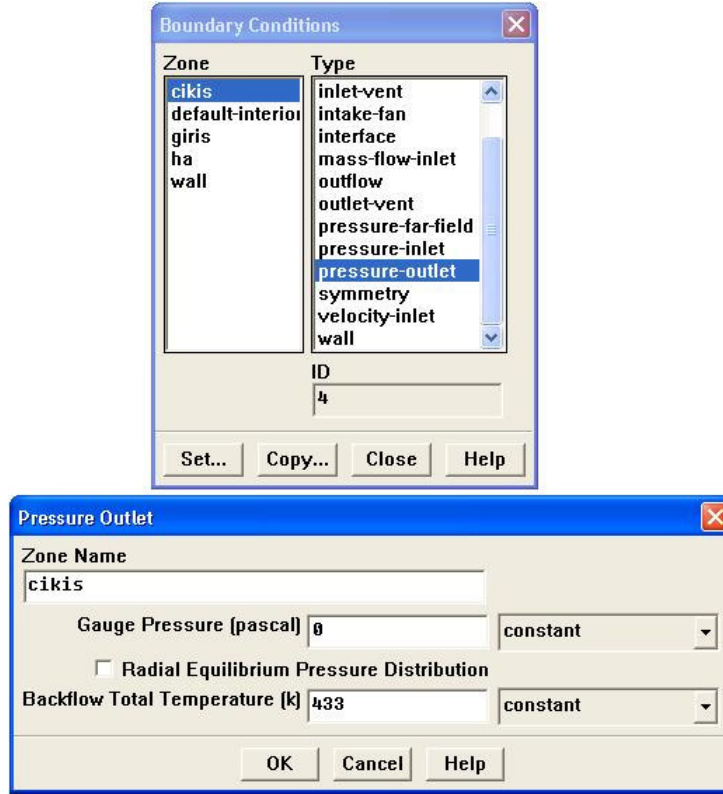
Şekil 5.15’de gösterilen ve Define>Models>Solver komut sıralamasıyla ekrana gelen pencere üzerinden çözüm için gerekli olan ayarlar yapılır. Tanımlanan geometri içindeki mesh adı verilen parçacıkların her biri için ayrı ayrı çözüm yapılması istendiğinden Segregated, zamana bağlı bir akış olmadığından Steady, üç boyutlu bir analiz olacağından 3D seçenekleri işaretlenir.



Şekil 5.16 Çalışma şartlarının sisteme girilmesi(Define>Operating>Conditions)

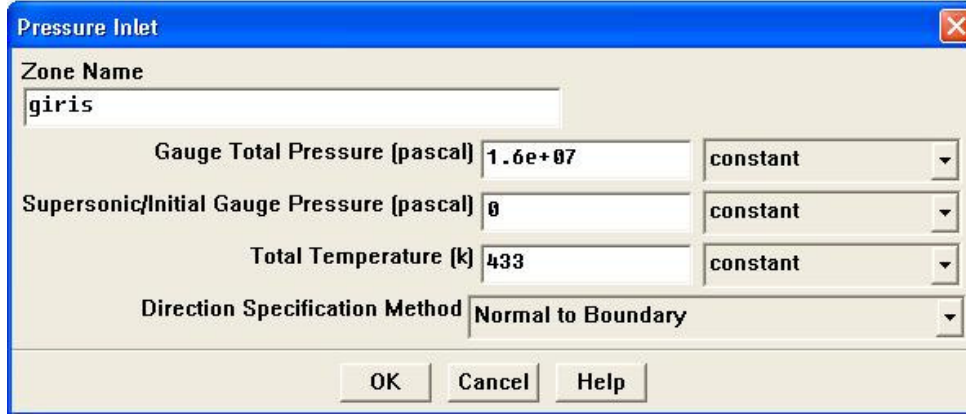
Define>Operating>Conditions komutlarıyla açılan pencereden işlemin yapılacağı ortamın

bilgileri verilir (Şekil 5.16). Operating Pressure olarak tanımlanan çalışma basıncı alanına atmosfer basıncı olan 101325 Pascal değeri girilir.



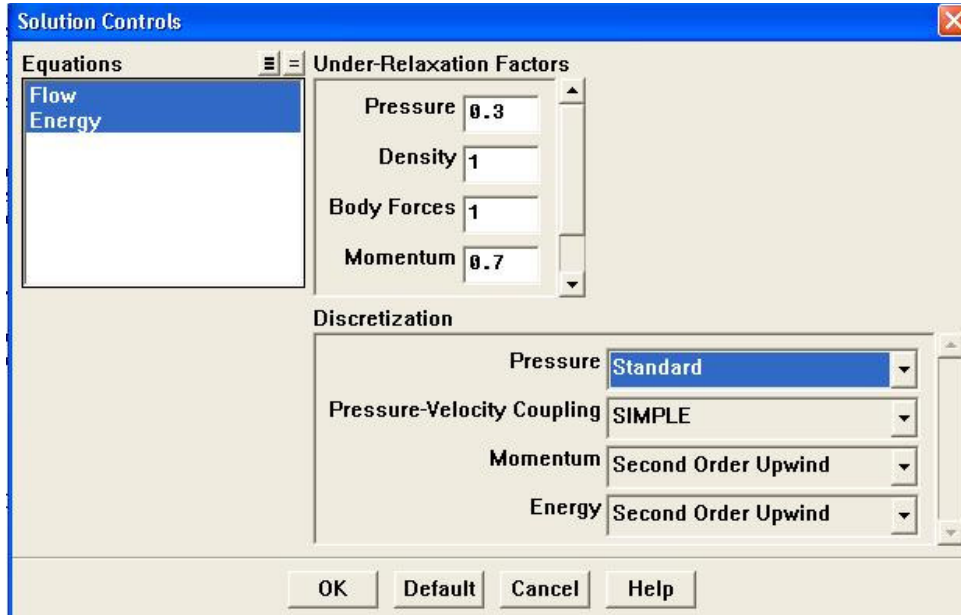
Şekil 5.17 Sınır Şartların Tanımlanması (Define >Boundary Conditions>Pressure Outlet >Set)

Define >Boundary Conditions>Pressure Outlet >Set komutlarıyla Gambit içinde tanımlanan geometriye ait basınç girişi ve çıkışına ait sınır şartları tanımlanır. Şekil 5.17’de görüldüğü gibi basınç çıkışı tanımlanırken gösterge basıncı (gauge pressure) akış doğrudan atmosfere açıldığı için 0 olarak girilir. Akışın atmosfere açılan kısmında da sıcaklık değişimi olmadığı için sıcaklık her yerdeki gibi 433 K(160°C) olarak girilir. Şekil 5.18’de ise basınç girişi ile ilgili değerlerin programa girilmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.18 Giriş basıncının sisteme girilmesi (Define>Boundary Conditions>Pressure Inlet>Set)

Hazne içi basıncın 160 Bar (160×10^5 Pa) olduğu bilinmektedir. Şekil 5.18'deki gibi, pressure inlet (basınç girişi) penceresinde Gauge Total Pressure kısmına (Toplam gösterge basıncı) bu basınç değeri girildikten sonra sıcaklığı da aynı şekilde 433 K olarak verilir. Tanımlamalar bittikten sonra çözüm aşaması ile ilgili ayarlar yapılır.



Şekil 5.19 Çözümün kontrolü (Solve>Solution Controls)

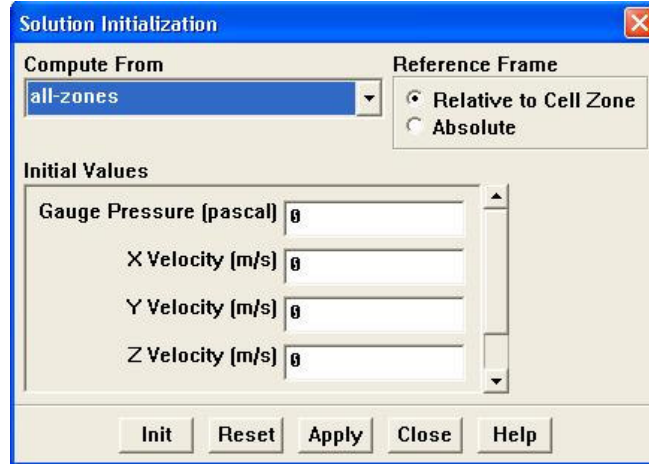
Solve>Solution Controls komutları ile Fluent programının problemi çözerken kullanacağı denklemlerin ayarı yapılır (Şekil 5.19). Fluent bu problemi çözerken süreklilik, momentum, enerjinin korunumu denklemlerini kullanır. Bu denklemler aşağıda gösterilmiştir;

- Süreklilik denklemi $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0$ (5.1)

- Momentumun korunumu denklemi $\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla(-P + \tau) + \nabla(-\rho g z)$ (5.2)

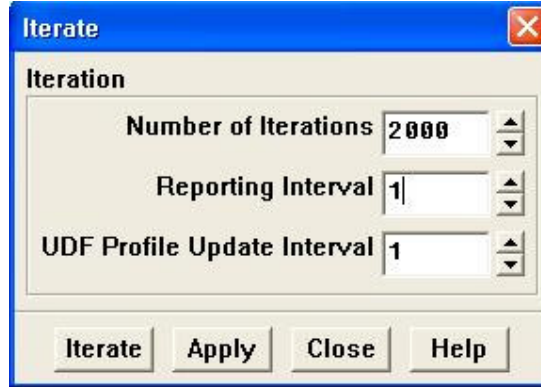
- Enerjinin korunumu denklemi $\rho C_v \left[\frac{\partial T}{\partial t} + u \nabla T \right] = \nabla(k \nabla T)$ (5.3)

Bu denklemlerdeki D/Dt maddesel türev, ∇ diverjans, u hız bileşenleri, ρ yoğunluk, P basınç, τ viskoz gerilme, g yerçekimi ivmesi, T sıcaklığı, k ise iletkenlik katsayısını temsil etmektedir.



Şekil 5.20 Başlangıç değerlerinin atanması (Solve > Initialize)

Solve > Initialize komutları vasıtasıyla girilen değerler başlangıç değeri olarak atanarak (Şekil 5.20 ve Şekil 5.21) programı iterasyona başlaması için hazır hale getirir.



Şekil 5.21 İterasyon

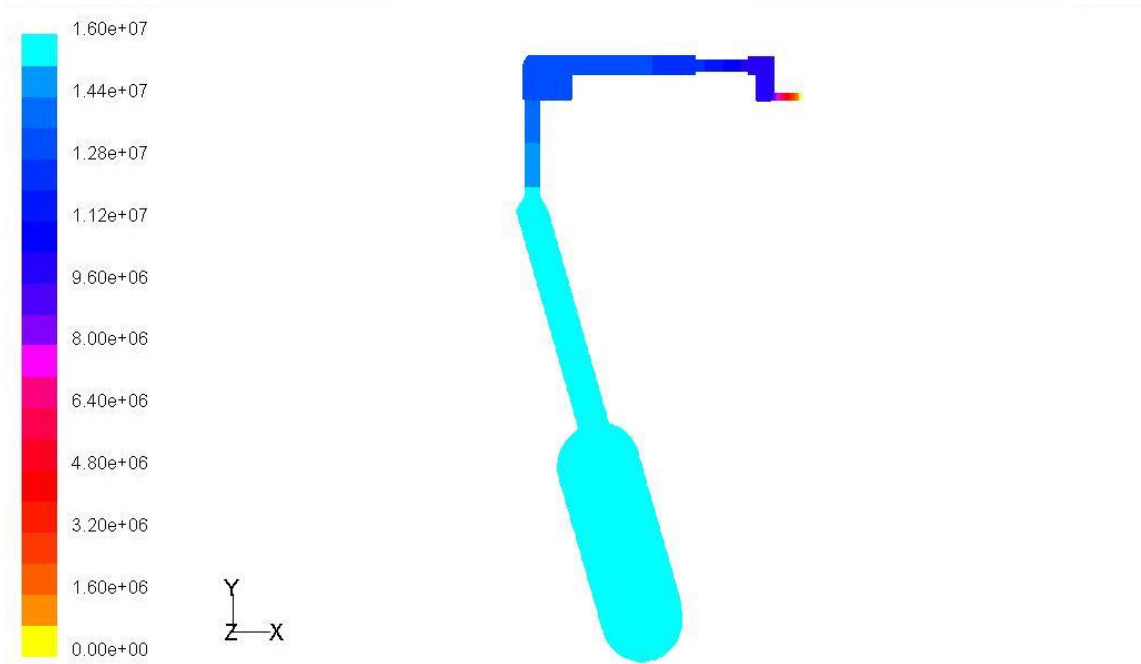
Iterate menüsü ile yapılacak olan iterasyonların sayısı ve bunu raporlama sayısı tanımlanır. Iterate tuşuna basıldıktan sonra, program başlangıç değerlerini kullanmak suretiyle iterasyon yapmaya başlar.

6. SONUÇLAR

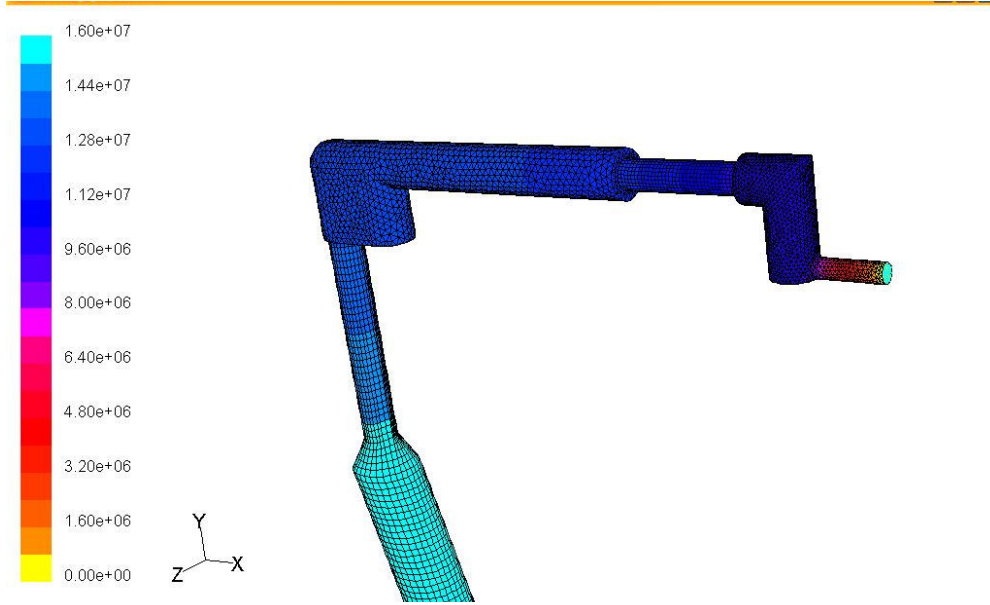
Bu bölümde, butil macununun akış yolunu gösteren farklı iki tasarım için Fluent programında yapılan analiz sonucunda ortaya çıkan değerler şematik olarak verilmiş ve iki model arasındaki karşılaştırmalar yapılmıştır.

6.1 Birinci Tasarımın Analiz Sonuçları

Fluent programında yapılan iterasyon sonucunda model üzerinde oluşan basınç dağılımı Şekil 6.1' de kartezyen koordinatlarda verilmiştir. Sol tarafta görülen renk şemasında basınç değerleri izlenebilir



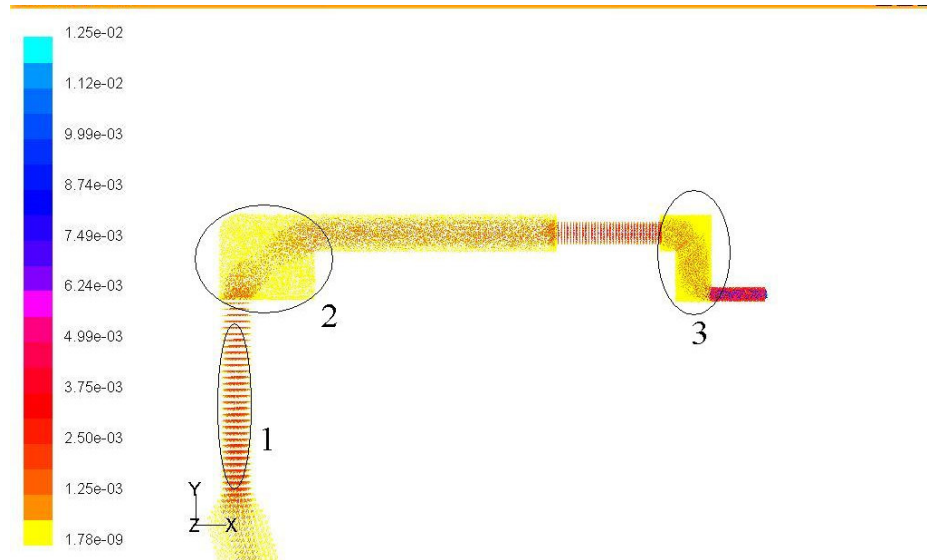
Şekil 6.1 Statik basınç için kartezyen koordinatlarda Pascal cinsinden sonuçlar



Şekil 6.2 Statik basınç için pascal cinsinden sonuçlar

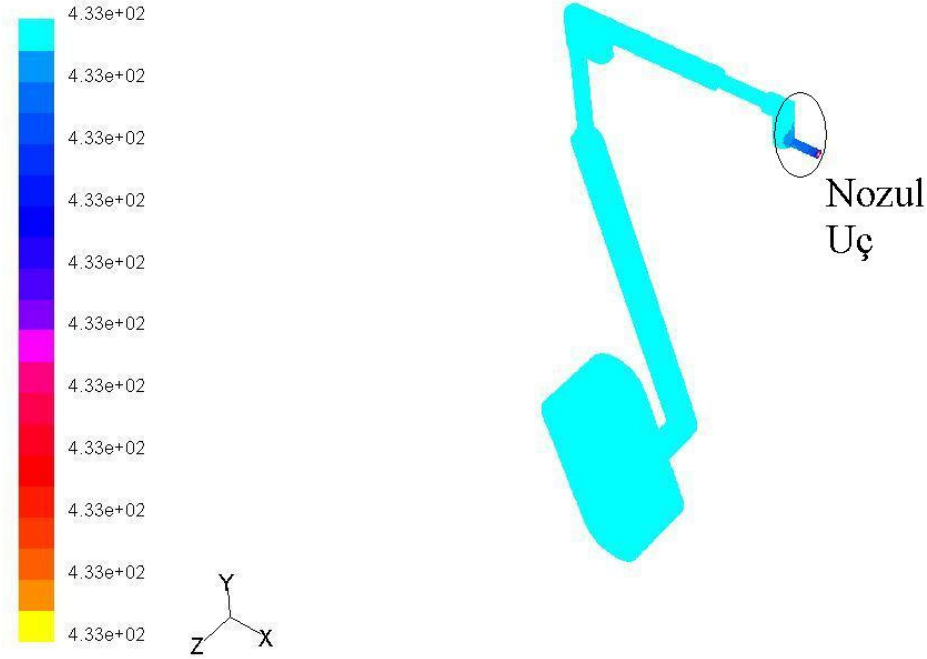
Şekil 6.2’de gösterildiği gibi model üzerindeki cidarlarda basınçın yaklaşık 40Bar’lık kayıp oluştuğu görülmektedir. Kesit daralmalarında basınç hız denkleminde uygun olarak düşmüştür. Meydana gelen değişimler ayrıca hız skalasından da izlenebilir.

Hızların kesitin daraldığı yerlerde arttığı cidara yakın olan yerlerde sifira yaklaştığı akım çizgilerinin merkezinde ise arttığı görülmektedir.



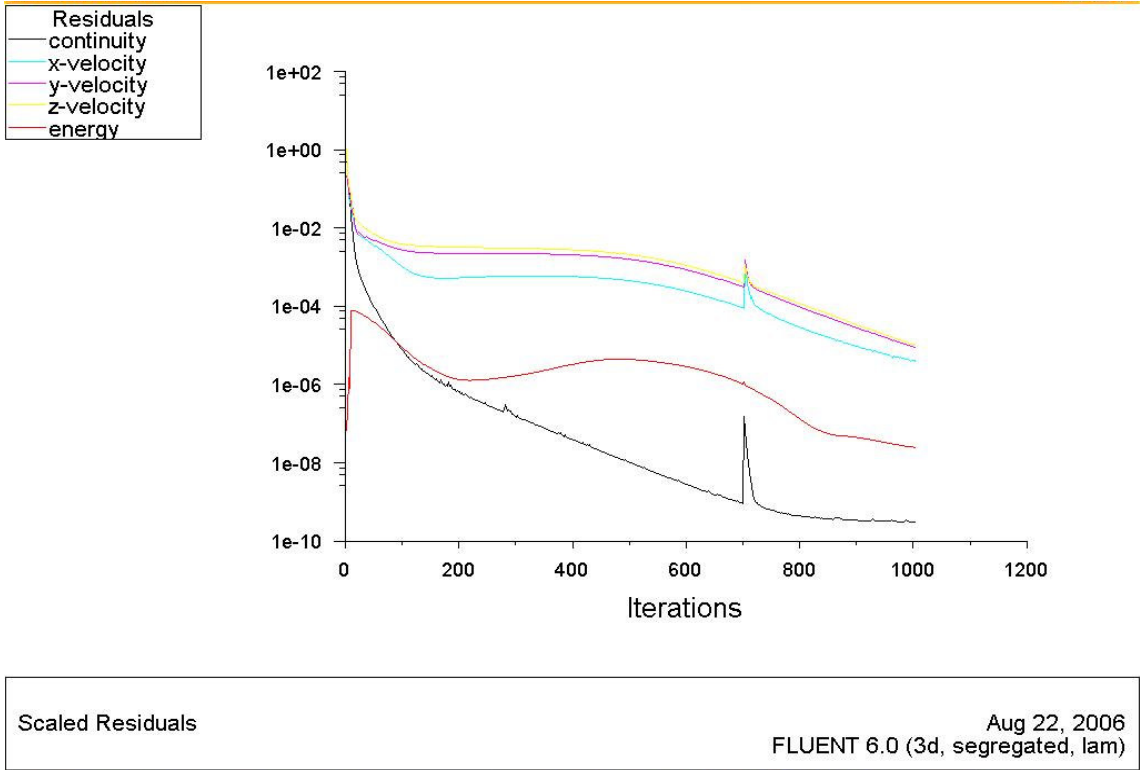
Şekil 6.3 Model üzerinde hız vektörlerinin m/s cinsinden gösterimi

Şekil 6.3'te hız vektörlerinin dağılımı büyüklük birimi m/s olarak görülmektedir. 1 numaralı kesit incelendiğinde kesit çapının düştüğü bölgede hızın üniform arttığı görülmüştür. 2 numaralı kesitin sağ alt ve sol üst bölgesinde hızın 0 'a yaklaştığı ayrıca bu kesitin orta bölgesinde vektörlerin büyüklüğünü azaltıcı etki gösterdiği rahatlıkla görülebilir. Aynı etki diğer bir geniş kesit olan 3 numaralı kesitte rahatlıkla fark edilebilir.



Şekil 6.4 Model üzerinde sıcaklık dağılımının Kelvin cinsinden görünümü

Makine içinde butil macununun depolandığı hazne ve akış yolu üzerindeki tüm parçaların ısı yalıtımı yapılmış ve infrared termometre ile dış cıdardan ölçümler yapılarak üniform dağıldığı görülmüştür. Fluent'e ısılar sabit olarak girilmesine rağmen atmosfere açılan yüzeyden olan soğutma etkisi görülebilir. Butil macununun viskozitesi bilindiği gibi sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık düştüğü anda viskozite artarak akışın düzeni bozulmakta akışa karşı direnç oluşmaktadır. Şekil 6.4'te model üzerindeki sıcaklık dağılımı Kelvin cinsinden verilmiştir.

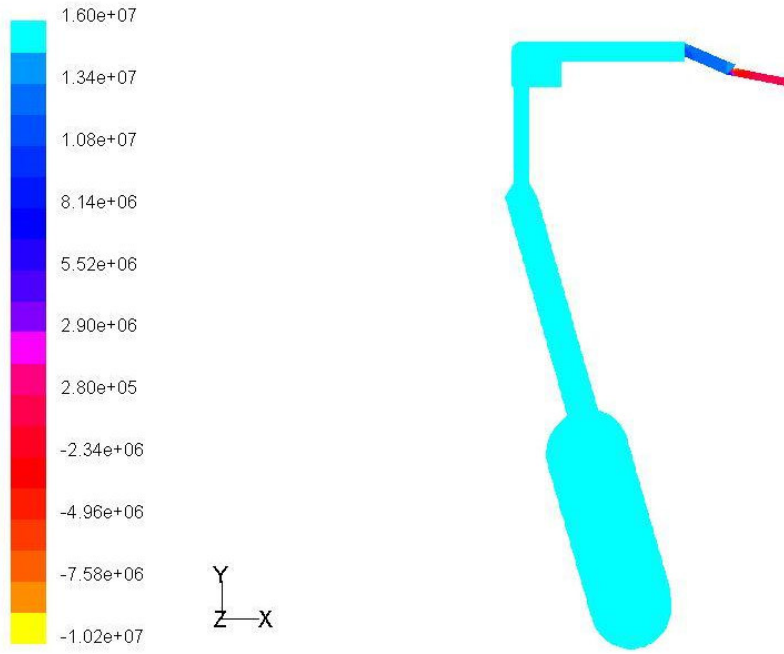


Şekil 6.5 İterasyon sonuçları

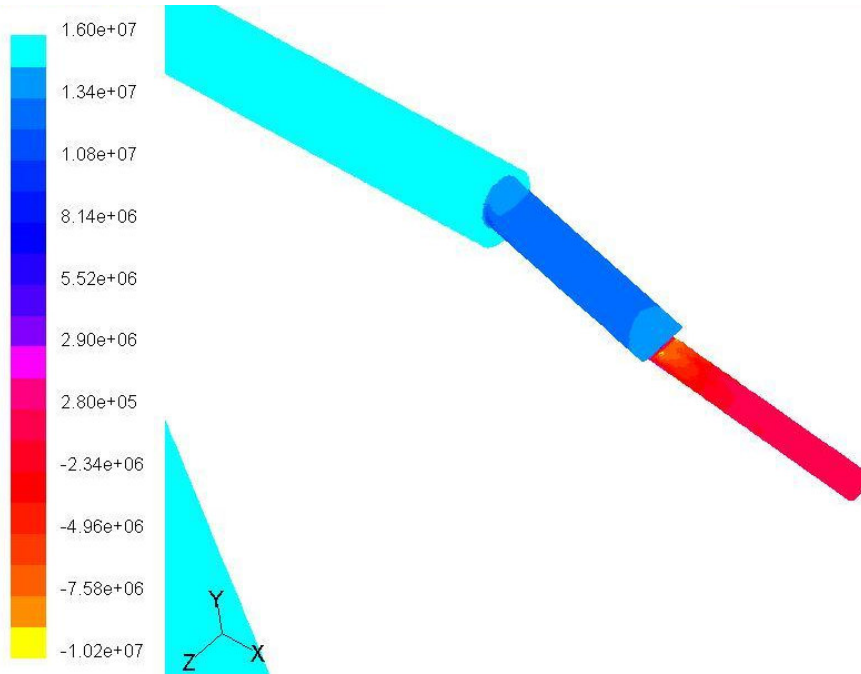
Şekil 6.5’de Fluent programının problem çözümünde kullandığı denklemlerdeki iterasyon sonuçlarına ait grafik görülmektedir. Bu grafikten iterasyon sayıları ve yakınsama kriterleri görülebilir. Denklem çözümünde 1000 iterasyon yapılmış ve çözümün yakınsama kriterlerine uygun olduğu görülmüştür.

6.2 İkinci Tasarımın Analiz Sonuçları

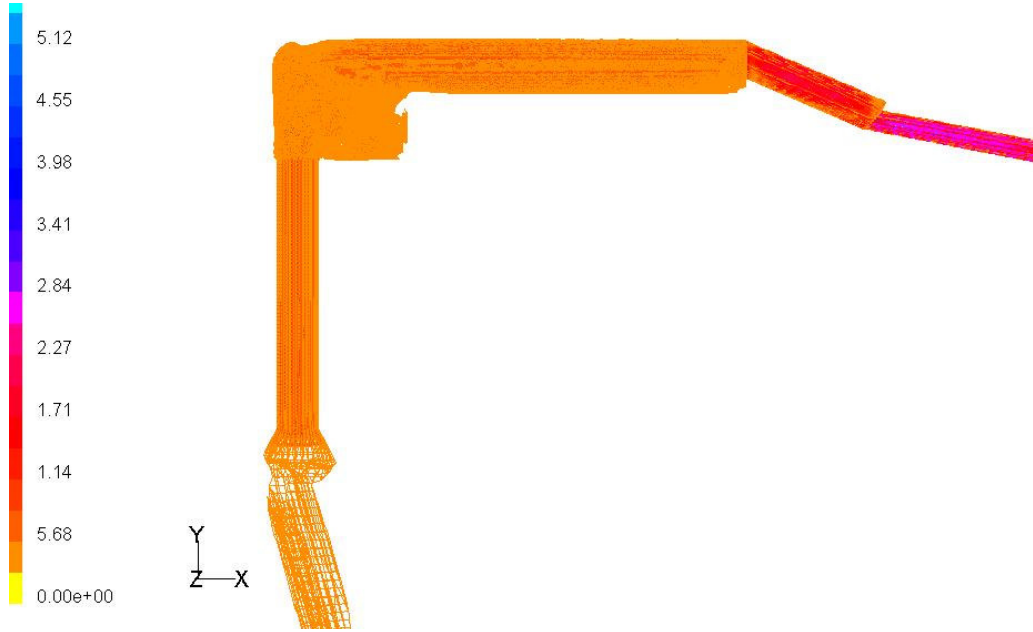
Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’ de ikinci tasarıma ait basınç dağılımı görülebilir. İkinci tasarımda ilk tasarımda bulunan 90°lik kesit daralmaları iptal edilmiş dereceli geçişlerle kesitler daraltılmıştır. Bunun sonucu olarak basınç nozula çok yakın bir alana kadar giriş basıncına çok yakın bir değerde seyretmiştir. İki tasarımın basınç dağılımları karşılaştırıldığında birinci tasarımda Şekil 6.3 te 1 numara ile gösterilen bölgede basınç kayıpları başlarken (yaklaşık 20 bar) ikinci tasarımda 3 numara ile gösterilen bölüme kadar giriş basıncı 160 bar’ a yakın bir değerde ulaşmıştır.



Şekil 6.6 İkinci tasarıma ait basınç dağılımı



Şekil 6.7 Nozul bölgesinde basınç dağılım grafiği



Şekil 6.8 Hız vektörlerinin dağılımının m/s cinsinden gösterimi

Şekil 6.8 'de görüldüğü üzere hız vektörleri nozula yakın yerlerde maksimum değerine ulaştığı gibi ilk tasarımdaki büyüklükleri de değişmiştir. Karşı basınç etkileri azaltıldığından hız değerleri üniform dağılmış olarak görülmektedir.

İkinci tasarım için yaklaşık 2100 iterasyona gerek duyulmuştur.

Sonuç olarak aynı giriş ve çalışma şartları altında tasarım değişikliği beklenen sonucu vermiştir. Basınç kayıpları azaltıldığı gibi çıkış hızında gözle görülür bir fark yaratılmıştır. Uygulamada bu basınç geri kazanımı düşük basınçla çalışmadan ziyade yüksek hızda çalışma dolayısı ile üretkenliği artırıcı etki gösterdiği için talep görmektedir.

KAYNAKLAR

Fluent 6.2 User's Guide, 2005

Forrester, T.J., Edward, N.T., Jong, J., "Thirty Years of Development and Application of CFD at BOEING Commercial Airplanes, Seattle", Computers & Fluids, 34, pp.1115-1151, 2005.

Gambit 2.2 User's Guide, 2004

KUZMIN, D. , Introduction to Computational Fluid Dynamics, Institute of Applied Mathematics, University of Dortmund

CHUNG T. J., 2002, Computational Fluid Dynamics, University of Alabama in Huntsville, Cambridge University Pres

Robert, N.M., "CFD Prediction of Cooling Tower Drift", 10th American Conference on Wind Engineering, Clemson, NC. 2003.

YALÇIN, K. , Prof Dr, 2001 Hacımsal ve Satrifüj Pompalar

YÜKSEL, Y. Prof. Dr., 2000, "Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik", Beta Yayınları, İstanbul

İnternet Kaynakları

http://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 8 Eylül 1981

Doğum Yeri : Samsun

Eğitim : Lise 1996-1999 Samsun Anadolu Lisesi
Üniversite 1999-2003 İstanbul Üniv. Müh. Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Mesleği : Makine Mühendisi

İşi : İmalat Mühendisi

Çalıştığı kurumlar

2003-2004 Özçelik San.ve Tic A.Ş. (İkitelli)
2004-Devam ediyor Best Cam İşleme Mak. İmalat ve
San. Tic. A.Ş.(Yakacık-İstanbul)