

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ  
ÜNİVERSİTESİ**



**GENETİK PROGRAMLAMA İLE AKIŞKAN KONTROLÜ  
TAHMİNİ**

**ZEYNEP AYDINER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**2009  
ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. M.Önder EFE  
Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Doç. Dr.Erdoğan DOĞDU  
Anabilim Dalı Başkanı

Zeynep AYDINER tarafından hazırlanan GENETİK PROGRAMLAMA İLE  
AKIŞKAN KONTOLÜ TAHMİNİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun  
olduğunu onaylarım.

---

Yrd. Doç. Dr. A.Murat ÖZBAYOĞLU  
Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd.Doç.Dr.Coşku KASNAKOĞLU

---

Üye : Yrd. Doç. Dr. A.Murat ÖZBAYOĞLU

---

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent TAVLI

---

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Zeynep AYDINER

**Üniversitesi** : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
**Enstitüsü** : Fen Bilimleri  
**Anabilim Dalı** : Bilgisayar Mühendisliği  
**Tez Danışmanı** : Doç. Dr. A.Murat ÖZBAYOĞLU  
**Tez Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans – Ağustos 2009

*Zeynep AYDINER*

## **GENETİK PROGRAMLAMA İLE AKIŞKAN KONTROLÜ TAHMİNİ**

### **ÖZET**

Akışkanlar mekaniği, adından da anlaşılacağı gibi, akışkan maddelerin dengesini(durgun akışkanlar) ve hareketteki akışkanların özelliklerini inceleyen bir bilim alanıdır. Akışkanlar mekaniğindeki temel problemlerden biri boru içinde akan sıvının basınç düşümünü hesaplamaktır. Bunun için Navier-Stokes denklemlerinden yararlanır. Basınç düşümü hesabına göre seçilen doğru parametreler, imalat süresini ve doğrudan maliyeti etkilemektedir.

Genetik programlama, Darwin'in evrim teorisi temel alınarak bilgisayarların sonucu otomatik olarak keşfetmesini sağlayan bir tekniktir. Genetik programlama, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belli bir uyum kriterine göre evrilerek mükemmelleşmesini amaçlayan bir evrimsel algoritma olarak da tanımlanabilir.

İlgili malzeme ve ortam koşullarına göre elde edilen gerçek basınç düşümü verilerinden öğrenme ve doğrulama veri setleri düzenlenmiştir. Basınç düşümü tahmini problemi için farklı genetik işlemci değerleri ile farklı deneyler yapılmış ve geliştirilen modeller ışığında %70 başarımlı değerinde bir basınç düşümü tahmini modeli elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GP yaklaşımının başarılı modeller ürettiği göstermiştir. Modellerin başarısını onaylamak için Matlab CFD simülasyonu hazırlanmış ve GP modelinden çıkan sonuçlar simülasyon değerleriyle ve gerçek veri değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda GP'nin gerçeğe yakın sonuçlar ürettiği ve geliştirmeye açık bir modelleme olduğu için iyileştirmelerle daha büyük başarımlı oranlarına sahip sonuçlar vereceği ispatlanmıştır.

GP kullanılarak farklı malzeme ve ortam koşullarına göre modellerin geliştirilmesi basınç düşümü problemine ve maliyetine önemli katkı sağlayacaktır. Modelleme için hazırlanan GP yazılımı mühendislik alanında cevabın bilindiği fakat sorunun bilinmediği ters problemlere kolaylıkla uygulama şansına sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Genetik Programlama, Genetik Algoritma, Akışkanlar Mekaniği, Akışkan Kontrolü, Basınç Düşümü

**University** : TOBB Economics and Technology University  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Computer Engineering  
**Supervisor** : Assistant Professor A.Murat ÖZBAYOĞLU  
**Degree Awarded and Date** : M.Sc. –August 2009

*Zeynep AYDINER*

## **ESTIMATING FLOW CONTROL WITH GENETIC PROGRAMMING**

### **ABSTRACT**

Fluid mechanics is a field of science that studies the balance of fluids (static fluids) and characteristics of moving fluids, and thus the name. One of the primary problems in fluid dynamics is the calculation of the pressure gradient of a fluid that flows through a pipe. Navier Stokes equations are used for this. Correct parameters that are chosen according to pressure gradient calculations affect the time of manufacturing and cost.

Genetic programming is a technique based on Darwin's theory of evolution that lets computers find a solution automatically. Genetic programming can also be described as an evolutionary algorithm that provides for the perfection of possible primitive solutions derived from the basics of the problem at hand.

Learning and verification data sets have been arranged using real pressure gradient data based on specific materials and environments. Various experiments have been conducted for various genetic processor values for the pressure gradient estimation problem, and a pressure gradient estimation model with a 70% success has been devised. The results obtained show that the genetic programming approach produces successful models. Matlab CFD simulation has been prepared to confirm the success of the models and the results from the genetic programming model have been compared to the simulation results and actual data. As a result of comparison, genetic programming has proved to produce values that are close to actual values and since it is prone to development, will yield better results with some improvements.

The devising of models based on various materials and environments using genetic programming will greatly contribute to the pressure gradient problems and the costs. The genetic programming software prepared for modeling can be easily adapted to reverse problems for which the answer is known, but the problem isn't.

**Keywords:** Genetic Programming, Genetik Algoritim, Flow Mechanics, Flow Control, Pressure Drop

## **TEŞEKKÜR**

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr Ahmet Murat ÖZBAYOğLU'na yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Aynı vektörel hıza sahip bir akımın, akıma paralel yerleştirilmiş düzlemsel bir duvar boyunca aktışı.....	10
Şekil 2.2 Cıva ve suyun yatay cam levha üzerinde oluşturduğu kesitler.....	14
Şekil 2.3 Su ve cıva dolu kılcal borulardaki ıslatma olayı.....	14
Şekil 2.4 Bir depodan akan sıvı.....	16
Şekil 2.5 Bir boru içindeki akım.....	16
Şekil 2.6 Atmosfer kütlesi.....	17
Şekil 2.7 Motor Silindiri içindeki akışkan hareketi.....	17
Şekil 2.8 Akışkan zerresinin zamana bağlı değişimi.....	20
Şekil 2.9 Serbest Düşen Cisim.....	26
Şekil 2.10 Otomobil Etrafında Akım.....	26
Şekil 3.1 Genetik programlama aşamaları.....	44
Şekil 3.2 $\max(x*x, x+3*y)$ fonksiyonunun ağaç yapısı.....	45
Şekil 3.3 Genetik programlama ağaç yapısı gösterimi.....	45
Şekil 3.4 Genetik Programlama Akış Diyagramı.....	47
Şekil 3.5 GP çaprazlama operasyonu.....	50
Şekil 3.6 GP mutasyon operasyonu.....	51
Şekil 3.7 GP Mutasyon operasyonu.....	52
Şekil 4.1 Birinci örnek veri grubunun grafiği.....	55
Şekil 4.2 Birinci örnek veri grubunun grafiği.....	56
Şekil 4.3 Birinci örnek veri grubuna göre yazılımın çıktısı.....	56
Şekil 4.4 İkinci örnek veri grubunun grafiği.....	57
Şekil 4.5 İkinci örnek veri grubunun grafiği.....	58
Şekil 4.6 İkinci örnek veri grubuna göre yazılımın çıktısı.....	58
Şekil 5.1 Ekzantrikliği 0.8, hızı 0.609 sıvının bir borudaki açısal pozisyona göre basınç düşümü.....	61
Şekil 5.2 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği.....	62
Şekil 5.3 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı.....	63
Şekil 5.4 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	64
Şekil 5.5 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün programda ürettiği örnek bir jenerasyon çıktısı.....	65
Şekil 5.6 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği.....	66
Şekil 5.7 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı.....	67
Şekil 5.8 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	68
Şekil 5.9 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği.....	69
Şekil 5.10 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı.....	70
Şekil 5.11 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	71

Şekil 5.12 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	72
Şekil 5.13 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	73
Şekil 5.14 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	74
Şekil 5.15 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	75
Şekil 5.16 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	76
Şekil 5.17 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	77
Şekil 5.18 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	78
Şekil 5.19 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	79
Şekil 5.20 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	80
Şekil 5.21 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	81
Şekil 5.22 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	81
Şekil 5.23 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	83
Şekil 5.24 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	83
Şekil 5.25 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	84
Şekil 5.26 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	85
Şekil 5.27 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	86
Şekil 5.28 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	86
Şekil 5.29 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	88
Şekil 5.30 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	88
Şekil 5.31 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	89
Şekil 5.32 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	90
Şekil 5.33 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	91
Şekil 5.34 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	91
Şekil 5.35 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	93
Şekil 5.36 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	93
Şekil 5.37 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	94
Şekil 5.38 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği.....	95
Şekil 5.39 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	96
Şekil 5.40 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	97
Şekil 5.41 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	98
Şekil 5.42 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	98
Şekil 5.43 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	99
Şekil 5.44 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	100
Şekil 5.45 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	100
Şekil 5.46 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	101



Şekil 5.47 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	102
Şekil 5.48 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği ...	103
Şekil 5.49 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün program çıktısı .....	103
Şekil 5.50 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	104
Şekil 5.51 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği ...	104
Şekil 5.52 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	105
Şekil 5.53 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	106
Şekil 5.54 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği .....	106
Şekil 5.55 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	107
Şekil 5.56 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	108
Şekil 5.57 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği ...	108
Şekil 5.58 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün program çıktısı .....	109
Şekil 5.59 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği.....	110

## TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Birinci Örnek Veri Grubu.....	54
Tablo 4.2 İkinci Örnek Veri Grubu .....	57
Tablo 5.1 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	62
Tablo 5.2 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	63
Tablo 5.3 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	64
Tablo 5.4 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	66
Tablo 5.5 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	67
Tablo 5.6 $U=0,609$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	68
Tablo 5.7 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	69
Tablo 5.8 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	70
Tablo 5.9 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	71
Tablo 5.10 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	72
Tablo 5.11 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	73
Tablo 5.12 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	74
Tablo 5.13 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	75
Tablo 5.14 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması.....	76
Tablo 5.15 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	77
Tablo 5.16 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	78
Tablo 5.17 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	79
Tablo 5.18 $U=0,203$ $w=0,0$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	80
Tablo 5.19 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	81
Tablo 5.20 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	82
Tablo 5.21 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	82
Tablo 5.22 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	83
Tablo 5.23 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması .....	84
Tablo 5.24 $U=0,203$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması.....	85
Tablo 5.25 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri .....	85

Tablo 5.26 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	87
Tablo 5.27 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması	87
Tablo 5.28 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri	88
Tablo 5.29 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	89
Tablo 5.30 $U=0,406$ $w=0,0$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması	90
Tablo 5.31 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri	91
Tablo 5.32 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	92
Tablo 5.33 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması	92
Tablo 5.34 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri	93
Tablo 5.35 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	94
Tablo 5.36 $U=0,609$ $w=0$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması	95
Tablo 5.37 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri	96
Tablo 5.38 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	97
Tablo 5.39 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri	98
Tablo 5.40 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	99
Tablo 5.41 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri	100
Tablo 5.42 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0,0$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	101
Tablo 5.43 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel değerleri	102
Tablo 5.44 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	103
Tablo 5.45 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri	104
Tablo 5.46 $U=0,609$ $w=5,24$ $e=0,0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	105
Tablo 5.47 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri	106
Tablo 5.48 $U=0,203$ $w=5,24$ $e=0$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	107
Tablo 5.49 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel değerleri	108
Tablo 5.50 $U=0,406$ $w=5,24$ $e=0,8$ 2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması	109

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
İÇİNDEKİLER.....	xii
KISALTMALAR.....	xiii
<b>1.GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....</b>	<b>1</b>
<b>2.AKIŞKANLAR MEKANİĞİ VE AKIŞ KONTROLÜ PROBLEMİ.....</b>	<b>2</b>
2.1 KATI CİSİMLER VE AKIŞKANLAR.....	2
2.2 AKIŞKANLAR MEKANİĞİ KAPSAMI.....	3
2.3 AKIŞKANLARIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	4
2.4 AKIŞKAN HAREKETİNDE TEMEL İLKELER.....	15
2.4.1 Kontrol Yüzeyi - Kontrol Hacmi .....	15
2.4.2 Sürekli Ortam Kabulü .....	18
2.5 AKIŞKAN HAREKETİNİN PARAMETRELERİ .....	19
2.6 HAREKETİN İZAFİLİĞİ İLKESİ .....	26
2.7 AKIŞKAN KONTROLÜ(AKIŞKAN KONTROLÜ PROBLEMİ) .....	27
2.8 HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI (CFD) .....	28
2.9 VİSKOZ AKIŞKANLARIN İKİ BOYUTLU HAREKETLERİ VE NAVIER-STOKES DENKLEMLERİ.....	29
2.9.1 Genel Bilgiler-Hareket Denklemleri .....	29
2.9.2 Navier-Stokes Denklemleri .....	30
2.9.2.1 Gerçek türev.....	31
2.9.2.2 Süreklilik Denklemi.....	32
2.9.2.3 Momentumun korunumu.....	33
2.9.2.4 Denklemler .....	34
2.9.2.4.1 Denklemlerin elde edilişi .....	34
2.9.2.4.2 Denklemlerin Özel Formları.....	35
<b>3.GENETİK ALGORİTMA/PROGRAMLAMA .....</b>	<b>41</b>
3.1 GENETİK ALGORİTMA .....	41
3.1.1 Genetik Algoritmanın Diğer Yöntemlerden Farkı.....	43
3.2 GENETİK PROGRAMLAMA .....	43
3.3 GENETİK PROGRAMLAMA OPERASYONLARI .....	44
3.4 GENETİK PROGRAMLAMA İLE PROBLEM ÇÖZÜMÜ .....	46
3.5 GP AKIŞ DİYAGRAMI .....	47
3.6 UYUMLULUK FONKSİYONU/DEĞERİ .....	47
3.6.1 Ateşleme Programı.....	47
3.6.2 Labirent Çözme Problemi.....	48
3.7 FONKSİYON VE TERMİNALLER .....	48
3.8 ÇAPRAZLAMA OPERASYONU.....	48
3.9 MUTASYON.....	50

3.10 GENETİK PROGRAMLANIN AVANTAJLARI .....	53
<b>4. GENETİK PROGRAMLAMA İLE FONKSİYON TAHMİNİ.....</b>	<b>54</b>
<b>5.DENEYSEL VERİLER, BENZETİM TESTLERİ VE GENETİK PROGRAMLAMA TESTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>60</b>
1.VERİ GRUBU .....	62
2.VERİ GRUBU .....	66
3.VERİ GRUBU .....	69
4.VERİ GRUBU .....	72
5.VERİ GRUBU .....	75
6.VERİ GRUBU:.....	78
7.VERİ GRUBU .....	81
8.VERİ GRUBU .....	83
9.VERİ GRUBU .....	85
10.VERİ GRUBU .....	88
11.VERİ GRUBU .....	91
12.VERİ GRUBU .....	93
13.VERİ GRUBU .....	96
14.VERİ GRUBU:.....	98
15.VERİ GRUBU:.....	100
16.VERİ GRUBU:.....	102
17.VERİ GRUBU:.....	104
18.VERİ GRUBU:.....	106
19.VERİ GRUBU:.....	108
<b>6.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....</b>	<b>111</b>
<b>REFERANSLAR VE KAYNAKLAR .....</b>	<b>114</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>118</b>

## KISALTMALAR

*CFD*: Computational Fluid Dynamics(Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)

*GP*: Genetik programlama

$\Delta P$ : Pressure Drop

*U*: Sıvının ilk hızı

*w*: İç borunun açısız hızı

*e*: Sıvının ekzantirikliği

*YSA*: Yapay Sinir Ağları

## BÖLÜM 1

### 1.GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Bilgisayarların problemleri otomatik çözmesindeki amaç yapay zekânın temelini oluşturmaktır ve Turing bunu “makine zekâsı”( machine intelligence) (Turing 1948, 1950) olarak tanımlamıştır.

Genetik programlama yapılması gerekenleri yüksek seviye adımdan başlatarak bilgisayarların otomatik olarak problemi çözmesi için bulunmuş sistematik bir metottur. Genetik programlamada çalışılan alandan bağımsız olarak genetik olarak üretilmiş popülasyonlar ile bilgisayarların problemi çözmesi amaçlanır. Bu sistemde oluşturulan popülasyondan güçlü genler tekrarlanarak bir sonraki jenerasyona aktarılır ve her yeni jenerasyonun bir öncekinden güçlü ve sonuca yakın olması sağlanmış olur.

Akışkan (Termodinamik, mühendislik);sıvıları , gazları, plazmaları ve bazı durumlarda plastik katıları (eriyik) kapsayan, maddenin hallerinin bir altkümesidir.

Akışkanlar denklemi; akışkan içerisindeki birim kütleye etki eden momentum (ivmelenme) değişimlerinin, basınç değişimleri ve sürtünme kayıplarına neden olan viskoz kuvvetlerin (sürtünmeye benzer) toplamına eşit olduğunun doğruluğunu ortaya koymaktadır. Bu viskoz kuvvetler moleküller arası etkileşimlerden meydana gelmekte ve akışkanın ne kadar yapışkan (viskoz) olduğunu göstermektedir. Böylece, Navier-Stokes denklemlerinin, verilen akışkanın herhangi bir bölgesindeki kuvvetler dengesinin dinamik ifadesi olduğu söylenebilir.

Genetik programlama ile akış denklemi çözümünde bilgisayara borunun uzunluğu, borunun yarıçapı, borunun dönme hızı gibi parametreler ve basınç değeri girdi olarak verilip aralarındaki denklem bulunmaya çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2

### 2.AKIŞKANLAR MEKANİĞİ VE AKIŞ KONTROLÜ PROBLEMİ

#### 2.1 Katı Cisimler ve Akışkanlar

Mekanikte, maddeleri katılar ve akışkanlar biçiminde iki gruba ayırmak uygundur. Çevremizdeki tüm maddeler bu iki sınıftan birine girerler. Akışkanlar sıvı ve gaz maddeleri içine alır. Başka bir deyimle, sıvı ve gaz maddelerin ikisine birden akışkan adı verilir.

Her madde bir kuvvetin etkisi altında kaldığında bir miktar şekil değişikliğine uğrar. Bu şekil değişikliği, maddenin cinsine (demir, bakır, su, gliserin vb) ve kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak değişkenlik gösterir. Böyle şekil değişiklikleri üç grupta toplanabilir. Bunlar:

- a) Esnek(elastik) şekil değişikliği
- b) Plastik şekil değişikliği
- c) Akma şekil değişikliği

Esnek şekil değişikliği, cisme etkiyen kuvvetle birlikte artan(çoğunlukla kuvvetle orantılı olarak),fakat kuvvetin etkisi kaldırıldığında tamamen yok olan bir şekil değişikliğidir. Bir yayın ve bir kauçuk şeridin gerilmeleri sırasında uğradıkları şekil değişiklikleri bu tür şekil değişikliklerine örnek verilebilir.

Plastik şekil değişikliğinde ise, yukarıdakinden farklı olarak, kuvvetin etkisi kaldırıldığında cisim ilk şekline dönemez ve bir miktar şekil değişiminin etkisi altında kalır. Örnek olarak avucumuzda sıktığımız camcı macunu verilebilir.

Akma türündeki şekil değişiklikleri ise, akma özelliğine sahip su, hava, buhar, yağ vb sıvı ve gaz maddelerin en küçük bir kayma ya da makaslama gerilimi(bir yüzeye etkiyen teğetsel kuvvet)etkisi altında sürekli ve sonsuz olarak artan şekil değişiklikleridir. Eğik bir yüzey üzerindeki sıvının hareketi ile bir kaptaki gaz

moleküllerinin hareketleri buna örnek verilebilir. Gaz örneğinde dış etken bir pistonla uygulanan basınç olabileceği gibi, kabın ısıtılması da bu etkiyi oluşturabilir. Sıvı ve gazlar çok küçük makaslama zorlarının(birim yüzeye etkiyen makaslama kuvveti) etkisi altında şekil değişimine uğrarlar. Buna göre akışkan yukarıda açıklanan akma türü şekil değişikliğine uğrayabilen ve sıvılarla gazları içine alan maddelerdir.

Akışkanlar basınç etkisi altında önemli ölçüde şekil değiştirirler. Bu değişime moleküller arası çekim kuvvetlerinin daha büyük olması nedeniyle, sıvılarda gazlardakinden daha azdır. Sıvı molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri, sıvı-gaz molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerinden daha büyük olduğu için sıvılar, kendilerine değen gaz ortamla(örneğin su buharı) karışmazlar. Bu durumda tümüyle sıvı moleküllerinden oluşan ve serbest yüzey adı verilen bir ara kesit yüzeyi vardır. Bir sıvı konduğu kabın şeklini alırken, moleküller arasındaki çekim kuvvetinin zayıf oluşu sebebiyle bir gaz, içine konduğu kabı, büyüklüğü ne olursa olsun, tümüyle doldurur.

## **2.2 Akışkanlar Mekaniği Kapsamı**

Akışkanlar mekaniği, adından da anlaşılabilir gibi, akışkan maddelerin dengesini(durgun akışkanlar) ve hareketteki akışkanların özelliklerini inceleyen bir bilim alanıdır. Bu inceleme, katı cismin mekaniğinde olduğu gibi sadece yol, hız, ivme, zaman ilişkileri bakımındansa buna kinematik (akışkanların kinematığı) ,akışkan hareketinin nedeni olan kuvveti ve buna ilişkin kütle ile ivmeyi konu olan bir inceleme ise buna *kinetik*(akışkanlar kinetiği),hem kinematik hem de kinetik yönden incelenmeleri birlikte göz önüne alan incelemeye ise dinamik (akışkanların dinamiği) inceleme adı verilir. Sadece duran akışkanları konu alan incelemeye akışkanlar statığı denir.

Akışkanların hareketlerini (akışkan akımı) incelemek için üç temel yol vardır:

1. İntegral yöntemleriyle inceleme



2. Diferansiyel yöntemleriyle inceleme
3. Deneysel inceleme ve boyut analizi yöntemleriyle inceleme

Bu incelemelerin hepsinde de mekaniğin üç temel konumu yasası ile birlikte akışkanın termodinamik hal fonksiyonu ve probleme ilişkin sınır koşulları sağlanmaktadır. Bunlar da

- a) Kütleinin korunumu(Süreklilik)
- b) Çizgisel momentumun korunumu(Newton'un ikinci yasası)
- c) Enerjinin korunumu(Termodinamiğin birinci yasası)
- d) Sistemin(göz önüne alınan akışkanın) hal fonksiyonu
- e) Katı yüzeylerde, ara yüzeylerde giriş ve çıkışlardaki sınır koşulları olarak sıralanabilir.

Akışkanlar mekaniğinin günümüzde mühendislik ve uygulamalı bilimler alanlarında oldukça geniş bir yeri vardır. Dünya yüzeyinin %75'inin su ile kaplı olması ve yine Dünya yüzeyinin tamamının hava ile örtülü, olması bu bilimin önemini kendiliğinden ortaya koymaktadır.

### **2.3 Akışkanların Bazı Fiziksel Özellikleri**

Bu bölümde akışkanlar mekaniği problemlerinde öncelikle önem kazanan bazı akışkan özelliklerini tanımlanacak ve bazı akışkanlar (özellikle su, hava, vb) için, bunların değerlerini çeşitli birim sistemlerinde verilecektir. Uygulamada son yıllarda SI Birim Sistemi gittikçe önem kazanmakta ise de gerek MKS ve gerekse FPS (İngiliz/Amerikan) Sistemleri hala yaygın şekilde kullanılmaktadır.

**a)Basınç:** Katı cisimlerden farklı olarak akışkanlar buldukları ortamı katı cidara kadar veya diğer bir akışkan külesine kadar doldururlar. Temas yüzeylerinde "Akışkanların molekül hareketleri yolu ile ilettikleri kinetik enerjinin zamana göre ortalamasının birim alana düşen miktarı" akışkan basıncını oluşturur.

Sakin (durağan) akışkan kütleleri halinde bu basıncın kaynağı yerçekimidir. *Statik Basıncı* adını verdiğimiz bu büyüklük Deniz Seviyesi referans alınarak ölçülür. Deniz Seviyesinde serbest yüzeyle bütün akışkanların basıncı hava basıncına (Atmosferik Basıncı) eşittir ki bu da 15°C sıcaklık için:

$$p_0 = 760 \text{ mm Hg} \quad (2.1)$$

değerine eşittir. Bu değer, bilindiği gibi cıva ile yapılan, TORICELLI deneyinin sonucudur. Eğer aynı deney su ile yapılırsa, doğal olara

$$p_0 = 760 \times 13.6 = 10336 \text{ kgk/m}_2, \text{ mmH}_2\text{O} \quad (2.2)$$

olarak bulunur. Bu büyüklüğe 1 ATMOSFER denildiğini bilinmektedir. Değişik birim sistemlerinde 1 Atmosfer için:

$$1 \text{ Atmosfer} = 10333 \text{ kgk/m}^2, \text{ mmH}_2\text{O} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2, \text{ Pa} = 14.71 \text{ lbk/in}^2, \text{ psi} \quad (2.3)$$

Veya

$$1 \text{ Atmosfer} = 1.013 \text{ B} = 14.71 \text{ psi} \quad (2.4)$$

değerleri kullanılmaktadır.

Akışkanların en önemli özelliklerinden biri şudur: Duran bir akışkan kütlesinin içinde bir noktadaki statik basınç bütün doğrultularda aynı değere sahiptir. Bu özelliği anlamak için gerilme kavramının hatırlanması gerekmektedir. Herhangi bir A yüzeyine etkiyen bir F kuvvetini  $F_n$  normal ve  $F_t$  teğetsel bileşenlerine ayırdığımızda bu kuvvetlerin yarattığı gerilmelere:

$$\text{Normal Gerilme: } \sigma = F_n / A \quad (2.5)$$

$$\text{Kayma Gerilmesi: } \tau = F_t / A \quad (2.6)$$

adları verilmektedir. Duran akışkanlar için bu özellik şunu ifade eder:

$$\sigma = p_0, \quad \tau = 0 \quad (2.7)$$

Şu halde herhangi bir kap içinde bulunan bir akışkanın kap yüzeyine uygulayacağı basınç her doğrultuda aynıdır. Serbest yüzeyli bir akışkan halinde bu basıncın değeri ancak akışkanın ağırlığı ile değişir.

**b) Sıcaklık:** Moleküler enerji düzeyinin bir ölçüsü olarak düşünülen sıcaklık:

$$\text{MKS ve SI sistemlerinde } T = 273 + {}^{\circ}\text{C} \quad [{}^{\circ}\text{K}] \quad (2.8)$$

$$\text{FPS SİSTEMİNDE } T = 460 + {}^{\circ}\text{F} \quad [{}^{\circ}\text{R}] \quad (2.9)$$

birimleri ile ölçülür. Ayrıca bu birimler arasında:

$$[{}^{\circ}\text{C}] \cong 0.556([{}^{\circ}\text{F}] - 32) \quad (2.10)$$

bağıntısı geçerlidir. Deniz seviyesinde, normal şartlarda, hava sıcaklığı:

$$T_0 = 273 + 15 {}^{\circ}\text{C} = 288 {}^{\circ}\text{K} \quad (2.11)$$

olarak alınacaktır.

**c) Yoğunluk:** Yoğunluk birim hacme düşen kütle miktarıdır; yani

$$\rho = \text{Özgül Ağırlık/Yerçekimi İvmesi} = w/g \quad (2.12)$$

olduğuna göre yoğunluk birimleri: MKS:  $[\text{kgk sn}^2/\text{m}^4]$

SI:  $[\text{kgk}/\text{m}^3, \text{Nsn}^2/\text{m}^4]$

FPS:  $[\text{lbk sn}^2/\text{ft}^4]$

biçimindedir ve bu birimler arasındaki ilişkiler şöyledir:

$$1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0.102 \text{ kgk sn}^2/\text{m}^4 = 1.94 \times 10^{-3} \text{ lbk sn}^2/\text{ft}^4 \quad (2.13)$$

En önemli akışkanlarımız olan hava ve su için yoğunluk değerleri aşağıda verilmiştir. Ancak unutulmamalıdır ki suyun yoğunluğu bütün hallerde aşağıdaki değerde sabit

kalırken havanın yoğunluğu yalnızca "Normal Şartlar" dediğimiz  $p_0 = 1$  atmosfer ve  $T_0 = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$  şartlarında aşağıdaki değere eşittir. Farklı basınç ve sıcaklıklar için havanın (mükemmel gazların) yoğunluğunun nasıl hesaplanacağını ileriki bölümlerde anlatılmıştır.

$$\rho_{0\text{HAVA}} = 1.23 \text{ kg/m}^3 = 1/8 \text{ kgk sn}^2/\text{m}^4 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ lbk sn}^2/\text{ft}^4 \quad (2.14)$$

$$\rho_{0\text{SU}} = 1000 \text{ kg/m}^3 = 102 \text{ kgk sn}^2/\text{m}^4 = 1.94 \text{ lbk sn}^2/\text{ft}^4 \quad (2.15)$$

d) Hal Denklemi (Bünye Denklemi): Belirli bir kimyasal yapıya sahip olan akışkanın basıncı, sıcaklığı ve yoğunluğu arasındaki ilişki, yani:

$$f(p, \rho, T) = 0 \quad (2.16)$$

şeklindeki bir bağıntı akışkanın Hal (Bünye) Denklemi'ni oluşturur. Bu genel bağıntının iki özel hali aşağıdaki gibidir:

i) Sıkışamaz Akışkan Kabulü:

$$\rho = \text{sabit} \quad (2.17)$$

Görüldüğü gibi bu kabul,  $f(p, \rho, T) = 0$  Hal Denklemi'nin çok basit bir özel halini oluşturmaktadır. Basitliğine karşın, bu kabul uygulamada karşılaşılan pek çok problemin çözümlerinde yeterli hassasiyeti sağlamakta ve bu nedenle geniş olarak kullanılmaktadır. Özellikle sıvı akışkanların hemen bütün akım hallerinde ve gazların düşük hızlardaki hareketlerinde bu kabul basit ve yeterli hassasiyette çözümler elde edilmesini sağlamaktadır.

ii) Sıkışabilir Akışkan Kabulü:

$$\rho = gR(p/T) \quad (2.18)$$

Yukarıdaki fonksiyonel bağıntıdan da anlaşılacağı gibi gazları Mükemmel Gaz olarak kabul etmiş oluruz. Bu denklemdaki gaz sabiti R, en çok kullanılan gaz olan, hava için:

$$R = 29.27 \text{ }^0\text{K} \quad (2.19)$$

değerini taşımaktadır. Bazen yerçekimi ivmesi de hesaba katılarak R değeri

$$R = gR = 9.81 \times 29.27 \cong 287 \text{ m}^2/\text{sn}^2 \text{ }^0\text{K} \quad (2.20)$$

biçiminde de kullanılmaktadır. Bu kabuller altında hava (mükemmel gazlar) için yoğunluk hesabı, hal denklemini kullanarak:

$$\rho = gR(p/T) \quad (2.21)$$

veya rakamlı olarak

$$\rho = 0.04737 p/T \quad (2.22)$$

bu son ifade MKS sisteminde yazılmıştır; dolayısı ile formülün doğru sonuç verebilmesi için T [ $^0\text{K}$ ] ve p [mmHg] birimleri cinsinden kullanılmak zorundadır. Bu takdirde bulunan  $\rho$  değeri [ $\text{kgksn}^2/\text{m}^4$ ] biriminde elde edilecektir.

Yukarıdaki açıklamalardan da görülebileceği gibi *sıkışamaz* akışkanlar halinde *sabit yoğunluk* fakat *sıkışabilir* akışkanlar halinde *değişken yoğunluk* kabulü yapılmaktadır. Yani sıkışabilir akışkanlar halinde basınç ve sıcaklıktaki değişimlere bağlı olarak akım bölgesinin her noktasında akışkanın (gazın) yoğunluğu farklı değerlere sahip olabilmektedir. Bu değişimi matematik olarak ifade edersek:

$$\text{ELASTİKLİK MODÜLÜ: } K = \rho dp/d\rho \quad (2.23)$$

tanımına geliriz. Bunun tersi ise:

$$\text{SIKIŞABİLİRLİK: } \varepsilon = 1/K = 1/(\rho dp/d\rho) \quad (2.24)$$

tanımıdır. Öte yandan termodinamikten bilindiği gibi basınç ve yoğunluğun birbirine bağlı olarak değişmesi ancak iki yolla mümkün olmaktadır. Yani iki çeşit sıkışabilirlik vardır:

$$\text{a) İZOTERMAL: } K = \rho(dp/d\rho)_{T=\text{SABİT}} \quad (2.25)$$

$$\text{b) İZANTROPİK: } K = \rho(dp/d\rho)_{S=\text{SABİT}} \quad (2.26)$$

e) Viskozite (Kıvamlılık): Akışkan, ya sıkışamaz ( $\rho = \text{st.}, T = \text{st.}$ ), ya da sıkışabilir ve hal değişimi izantropik ( $s = \text{st.}$ ) olarak belirlenmiştir. Her iki halde de akışkan hareketinin enerji kaybetmeyeceği; yani hareket bir defa başladığında ancak dış etkilerle değiştirilebileceği ya da durdurulabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

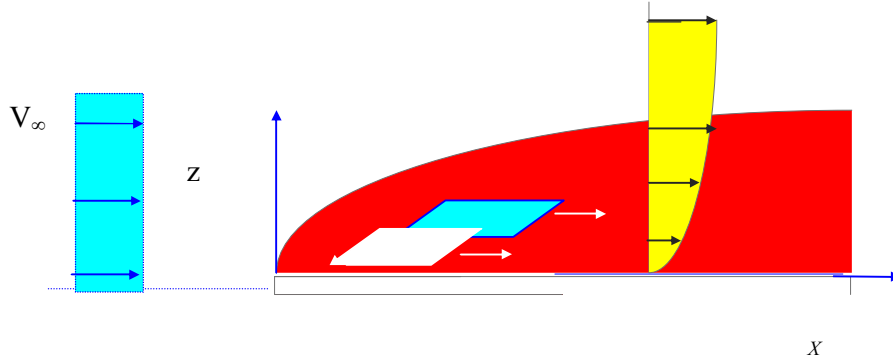
Gerçekte ise bir akışkanın herhangi bir hareketi durmaksızın sürdüremediğini ve hareketin cereyanı boyunca çevreye enerji kaybederek sonunda durağan haline geldiği bilinmektedir. Akışkanın çevreye enerji kaybetmesine yani sürtünme yolu ile kendisini frenlemesine (dolayısıyla entropi artışına) neden olan akım mekanizmasına akışkanın VİSKOZLUK özelliği adı verilir.

Viskozluk veya viskozite herhangi bir akışkanın bütün zerrelere için aynı derecede etkilidir. Ancak Akışkanlar Mekaniği açısından, etkilerinin özellikle önemli olduğu bölge; akımın katı cisim duvarına çok yakın olduğu yerdir. Viskozluk ayrıca farklı hızlara sahip akışkan kütlelerinin değme yüzeylerinde de önem kazanır. Bu bölgelerdeki akımın incelenmesinde viskoz etkilerin hesaplanması Akışkanlar Mekaniğinin önemli bir parçasını oluşturur.

Bütün noktalarda aynı vektörel hıza sahip bir akımın, akıma paralel yerleştirilmiş düzlemsel bir duvar boyunca aktığını varsayıldığında duvar üzerine erişmezden önce akım hızının her yerde aynı değere, mesela  $V_\infty$  a, eşit olduğunu düşünülür. Eğer x-ekseni duvar üzerine yatırılmış ve başlangıç noktası duvarın başladığı nokta ile çakışan bir (x,z) eksen takımı kabul edilirse, duvardan yeteri kadar uzakta yani z büyüdükçe (matematik olarak  $z \rightarrow \infty$ ) duvarın akım üzerinde bir etkisi olamayacağını dolayısıyla

$$z \rightarrow \infty \text{ olduğunda } v(z) = V_{\infty} \quad (2.27)$$

olacağını kolaylıkla görülmektedir.



Şekil 2.1 Aynı vektörel hızı sahip bir akımın, akıma paralel yerleştirilmiş düzlemsel bir duvar boyunca akışı

Buna karşılık duvara yaklaştıkça ( $z \rightarrow 0$ ) akımın yavaşlayacağını ve duvarın tam üzerinde (katı cisim cidarında) hızın sıfır olması beklenir. Bunun nedeni gerçek (viskoz) akışkanla duvar arasında meydana gelen kayma gerilmesi (sürtünme)dir. Şu halde:

$$z = 0 \text{ olduğunda } v(z) = 0 \quad (2.28)$$

yazılabilir. Böylece katı cisim duvarı etkisinin akımı yavaşlatıcı yönde olduğu görülmüş olur. Bu olayı: "Duvar boyunca etkiyen kayma gerilmelerinin bileşkesi olan sürtünme (viskoz) kuvvet altında ortaya çıkan bir ŞEKİL DEĞİŞTİRME" biçiminde de yorumlanabilir. Akışkanımızın duvar boyunca tabakalar halinde aktığını düşünürsek ve bu tabakaların birbirine sonsuz yakın ikisini ele aldığımızda levhaların alanı  $dS$  olsun. Bu noktada, bu levhaların birbirine nazaran hareketi, yani duvarın üzerinde akmakta olan akışkan kütlelerinin viskozite etkisi altında uğradıkları şekil değiştirme hakkında bir kabul yapılması zorunluluğu doğmaktadır. Bütün Akışkanlar Mekaniği konularında en önemli kabulü olan bu önerme şöyle ifade edilir:

*Stokes Hipotezi (Stokes Akışkanı Kabulü):* Akışkanlar, üzerlerine etkiyen kuvvetlerin şiddeti ile orantılı Şekil Değişirme Hızı na uğrarlar.

Bu hipotezi kabul etmekle akışkanlara yeni bir özellik kazandırılmış olur. Ancak çok yüksek viskoziteli sıcak asfalt veya sıcak plastik gibi bazı özel akışkanlar halinde bu kabulün yeterli olmadığı gözlenmiştir. Hipotezin ifadesinde yer alan Şekil Değişirme Hızı deyiminin özellikle iyi anlaşılması gerekmektedir. Buna yardımcı olmak için basit bir örnekle açıklandığında: Aynı hacimde fakat farklı biçimlerde iki kaptan biri bir sıvı ile dolu olsun ve bunu diğer kaba boşaltalım. Böylece akışkanımız bir Şekil Değişirme ye uğramış olacaktır. Ancak hipotezin ifadesine göre bu Şekil Değişirme nin bir önemi yoktur fakat bunun ne kadar zamanda gerçekleştiğinin yani Şekil Değişirme Hızı nın önemi vardır. Yani bu basit deneyi iki farklı sıvı ile yaptığımızda bu sıvıların ağırlıkları ve Şekil Değişirme Hızları (bir kaptan diğerine boşalma zamanları) farklı olacağını kolaylıkla düşünebiliriz. O halde işte bu iki sıvıya etkiyen farklı kuvvetlerin (sıvıların ağırlıklarının), farklı şekil değişirme hızlarına (farklı boşalma zamanlarına) oranı her akışkan için farklı olacaktır. Viskozite adını verdiğimiz bu oranın nasıl hesaplanacağını aşağıda açıklanmıştır.

Bu noktada, yukarıdaki açıklamalarımızı kullanarak akışkan tanımına bir yenisini daha eklenebilir:

Sükûnette sıfır kayma gerilmesine; hareket halinde üzerine uygulanan kuvvetle orantılı şekil değişirme hızına sahip olan maddelere *akışkan* adı verilir.

Görüldüğü gibi bu tanım doğrudan *Stokes* hipotezine dayanmaktadır. Bu nedenle bu tanıma uyan akışkanlara *Stokes Akışkanı* adı verilir. Tanımda sıvı ve gaz akışkanları ayırıcı bir ifade yoktur; yani bu tanım her iki grup için de geçerlidir.

Yeniden daha önce ele aldığımız düzlemsel akışkan levhalarına bakıldığında ve viskoziteyi tanımlayabilmek için bunlar yardımı ile bir matematik model oluşturulmaya çalışıldığında akmakta olan akışkanın şekil değişirmesi; bu levhaların birbirine nazaran konum değişirmesi olarak algılanmaktadır. Şu halde akışkanının,



hareket esnasında, uğradığı şekil değiştirmenin hızı da bu levhaların hızlarında (birbirlerine nazaran) ortaya çıkacak olan farklılıktır. Açıklanan basit problemin geometrisinden açıkça görüldüğü gibi bu hız farklılaşması z- doğrultusunda ortaya çıkacaktır. Şu halde:

$$\text{Şekil Değişirme Hızı: } dv/dz \quad (2.29)$$

olacaktır. Buna karşılık bu akışkan levhalarının şekil değiştirmesine neden olan kuvvet, akışkan zerrelerinin sürtünmesi olduğuna göre, levhalar birbirlerine aynı şiddette, ters yönlü bir kuvvet uygulayacaklardır. Bu kuvvetin şiddetin  $dF$  ile gösterilirse:

$$\text{Birim Alana Gelen Şekil Değişirme Kuvveti(Kayma Gerilmesi): } dF/dS = \tau \quad (2.30)$$

olacaktır. Açıklamalar doğrultusunda viskozite tanımlandığında:

VİSKOZİTE:

$$\mu = \text{Kayma Gerilmesi}/\text{Şekil Değişirme Hızı} = (dF/dS)/(dv/dz) \quad (2.31)$$

Görüldüğü gibi viskozite akışkanın temel özelliklerinden biridir ve değeri akışkandan akışkana değiştiği gibi aynı akışkan için viskozite değeri ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Akışkanlar Mekaniğinde viskozite ile birlikte:

KİNEMATİK VİSKOZİTE:

$$\nu = \mu/\rho \quad (2.32)$$

büyüklüğü de kullanılmaktadır. Aşağıda hava ve su için  $\mu$  ve  $\nu$  değerleri normal şartlarda ( $p_0 = 1$  atmosfer,  $T_0 = 288^0K$ ) için birimleri ile birlikte tablolanmıştır. Farklı şartlardaki viskozite değerlerinin hesaplanabilmesi için literatürde, deney sonuçlarına dayanan, çeşitli formüller uygulanmaktadır.

$$\text{Sıvılar için: } \mu \cong \mu_0 \cdot \exp[-1.94 - 4.80(T_0 / T) + 6.74(T_0 / T)^2] \quad (2.33)$$

$$\text{Gazlar (özellikle hava) için: } \mu \cong \mu_0 \cdot (T/T_0)^{0.67} \quad (2.34)$$

Formüllerin incelenmesinden de görüleceği gibi sıvıların viskozitesi sıcaklıkla azalırken, gazların viskozitesi sıcaklıkla artmaktadır.

		MKS	SI	FPS
Su	$\mu_0$	$1.141 \times 10^{-4} \text{kgksn/m}^2$	$1.141 \times 10^{-3} \text{Nsn/m}^2$	$2.381 \times 10^{-5} \text{lbksn/ft}^2$
	$\nu_0$	$1.141 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sn}$	$1.141 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sn}$	$1.228 \times 10^{-5} \text{ft}^2/\text{sn}$
Hava	$\mu_0$	$1.82 \times 10^{-6} \text{kgksn/m}^2$	$1.808 \times 10^{-5} \text{Nsn/m}^2$	$3.75 \times 10^{-7} \text{lbksn/ft}^2$
	$\nu_0$	$1.45 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{sn}$	$1.45 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{sn}$	$1.57 \times 10^{-4} \text{ft}^2/\text{sn}$

*Tablo 2.1 Hava ve su için  $\mu$  ve  $\nu$  değerlerinin normal şartlar ( $p_0 = 1$  atmosfer,  $T_0 = 288^0\text{K}$ ) için birimleri*

Katı cisim duvarı civarında oluştuğunu gördüğümüz viskoz kuvvetlerin etkisi; katı cismin etrafını saran ve cismin akıma dönük bölgelerinde çok ince, arkada ise cismin kendi kalınlığı mertebesinde bir kalınlığa sahip bir bölge içinde hissedilir. Diğer sözlerle viskoz kuvvetler, akımı etkileyen atalet, elastiklik, yerçekimi gibi kuvvetlerle ancak cismin etrafını, adeta bir kılıf gibi, saran bu bölge içinde mukayese edilebilir büyüklüklere sahip olurlar. Viskoz kuvvetlerin önem kazandığı bu yavaşlamış akım bölgesine *sınır (kenar) tabaka akımı* adını verilir. Sınır Tabaka akımının genelde çok ince olması nedeni ile Akışkanlar Mekaniği problemlerini:

a) Viskozitesiz *uzak akım* Bölgesi

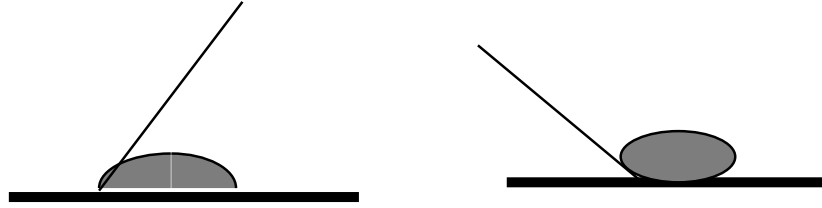
b) Viskoz ve yavaşlamış *yakın akım bölgesi*

şeklinde iki aşamada incelemek mümkündür.

**f) Yüzey Gerilimi - Kılcallık:** Bilindiği gibi akışkan molekülleri "*adezyon kuvvet*" özelliğine sahiptir. Yani bütün maddelerde bulunan ve maddenin moleküllerini birbirine bağlayan "*kohezyon*" özelliğine ek olarak akışkan molekülleri diğer maddelerin moleküllerine de tutunmak eğilimindedir.

Gerçekten de bir cam üzerine dökülen su kütlesinin molekülleri bir yandan kohezyon yolu ile birbirlerine tutunarak damlalar oluştururken bir yandan da adezyon yolu ile cama tutunarak onu "ıslatırlar". Bu nedenle adezyon olayı çok defa "ISLATMA" sözcüğü ile tanımlanır.

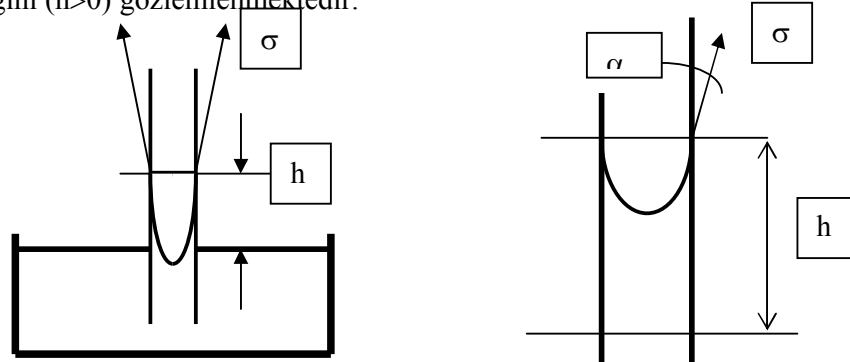
Akışkanların ıslatma yeteneği büyük değişiklikler gösterebilir. Mesela cıva ve su yatay bir cam levha üzerinde eşit kütleli damlalar oluşturmuşsa bunların kesit görüntüleri şematik olarak şekildeki gibi çizilebilir.



Şekil 2.2 Cıva ve suyun yatay cam levha üzerinde oluşturduğu kesitler

Görüldüğü gibi kohezyonun çok kuvvetli olduğu cıva için ıslatma yüzeyi  $dD_2$ , daha az kohezyon özelliğine sahip su için ıslatma yüzeyi  $dD_1$  e nazaran çok küçüktür. Bu akışkanların serbest yüzeylerinin, katı cisme (cam levhaya) değdiği noktadaki teğetlerini çizdiğimizde ortaya çıkan "ıslatma açısı" şekilden de görülebileceği gibi cıva için negatif değer alırken su için pozitif değere sahiptir.

Islatma olayının en açık şekilde görüldüğü bir diğer olay, düşey kılcal borular içindeki akışkanların davranışdır. Cıva ve su dolu iki kap içine yerleştirilen küçük  $d$  çaplı iki cam boru içinde cıvanın alçaldığını ( $h<0$ ), buna karşılık suyun ise yükseldiğini ( $h>0$ ) gözlemlenmektedir.



Şekil 2.3 Su ve cıva dolu kılcal borulardaki ıslatma olayı

Yalnızca su dolu kaptaki cam boru göz önüne alındığında su kütlesi cam boruya tutunarak h yüksekliğine tırmanmıştır. Bu noktada oluşan denge, borunun her iki ucu atmosfere açık olduğuna göre, suyla cam yüzeyi arasındaki tutunma kuvveti ile h yükseklikli su sütununun ağırlığının eşit olacağı açıktır. Cam yüzeyi ile su yüzeyi arasındaki tutunma kuvvetinin büyüklüğünün birim çevre uzunluğuna düşen miktarını  $\sigma$  [N/m] ile gösterelim. Bu büyüklük, doğal olarak, su yüzeyindeki gerilme ile de orantılıdır. Buna göre denge denklemi yazılırsa:

$$2\pi(D/2)\sigma\cos\alpha = 2\pi \rho g(D/2)^2h \quad (2.35)$$

elde edilir ki buradan *yüzey gerilimi*  $\sigma$  [N/m] için:

$$\sigma\cos\alpha = \rho ghD/2 \quad (2.36)$$

tanımı yazılabilir.

Yukarıda yalnızca sıvıları göz önüne alarak belirtilen maddeler gazlara uygulandığında şu sonuçlara ulaşılır: Gazlar halinde ıslatma yüzeyi sınırsızdır; dolayısı ile ıslatma Açısı tam sıfır değerindedir ve Yüzey Gerilimi de benzer şekilde sıfır değerini almaktadır. Böylece gazlarla sıvıları, yüzey gerilimi sıfır olan veya olmayan akışkanlar sözleriyle birbirlerinden ayrılabilirler.

## 2.4 Akışkan Hareketinde Temel İlkeler

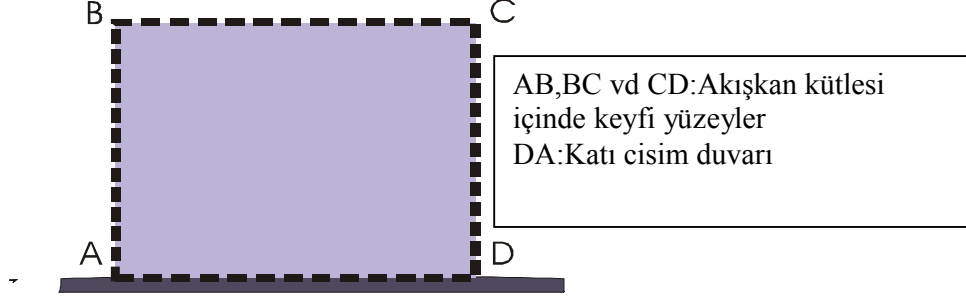
### 2.4.1 Kontrol Yüzeyi - Kontrol Hacmi

Hareketinin incelemesi istenilen akışkan kütlesini, çevresinden ayırdığını varsayılan keyfi ve çok defa hayali sınıra kontrol yüzeyi ve bu sınırın içinde kalan hacme kontrol hacmi adı verilir.

Kontrol hacmi akışkanlar mekaniğinin en önemli temel kavramlarından biridir. Akışkan hareketlerini inceleyen bütün çalışmalarda ilk iş olarak kontrol hacmi oluşturulur ve ancak bundan sonra problemin etüdü başlayabilir. Kontrol hacminin doğru seçilmiş olması problemin çözümünü basit ve anlaşılabilir hale getirirken; kötü

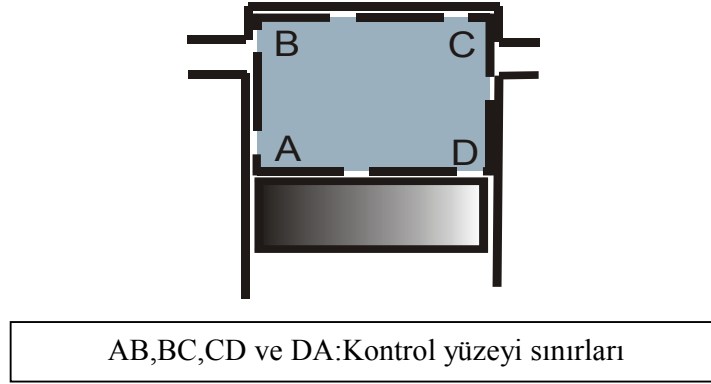


c) Atmosfer kütlesi:



*Şekil 2.6 Atmosfer kütlesi*

d)Motor Silindiri içindeki akışkan hareketi:



*Şekil 2.7 Motor Silindiri içindeki akışkan hareketi*

Görüldüğü gibi, akım bölgesinin içinde kontrol yüzeyinin seçilmesindeki temel amaç, Mekanik ve Termodinamik ilkelerinin uygulanabileceği belirli bir akışkan kütlelerini (yani kontrol hacmini dolduran kütleleri) çevreden ayırmaktır. Doğaldır ki bu yüzey içindeki kontrol hacmini dolduran akışkan zerrecikleri bireysel olarak her an değişebilirler, benzer şekilde bu hacmi dolduran akışkan kütlelerinin çevre ile enerji alışverişi de olabilir. Bu demektir ki kontrol hacmi, aslında bir termodinamik açık sistem oluşturur.

## 2.4.2 Sürekli Ortam Kabulü

Bilindiği gibi bütün maddeler ve tabii akışkanlar da moleküllerden oluşmuştur. Akışkanlar halinde bu moleküller serbestçe ve gelişigüzel bir hareket halindedir.

İstatistik Mekanikte gösterilmektedir ki aslında bu gelişigüzel hareket istatistik bir düzene sahiptir; yani meselâ çok sayıda molekülün belli bir yüzey üzerine uyguladığı momentum miktarının (belirli bir kurala göre) ortalaması alınabilir ve gösterilebilir ki bu büyüklük akışkanın bu yüzeye uyguladığı basınçla orantılıdır.

Akışkanlar Mekaniğinde tek tek moleküllerle uğraşmak yerine bunların çok yüksek sayılarda birlikte bulunduğu gruplar ele alınmaktadır. Bu amaçla zerre kavramı tanımlanırsa:

Zerre: Sonsuz küçük (Burada sonsuz küçük kavramını matematikteki ideal biçiminden farklı kullanmaktayız. Genelde fizik ve mühendislik problemlerinin hemen hepsinde olduğu gibi **sonsuz küçük ya da sonsuz uzak, etkisi hissedilemeyecek yani ölçülemeyecek kadar küçük** anlamına gelmektedir.) kontrol hacmine zerre adı verilir.

Bir zerre ne kadar küçük seçilirse seçilsin akışkan özelliklerini kaybetmemelidir. Yani zerre içindeki bir noktada akışkanın hız, basınç gibi noktasal özellikleri hâlâ klasik anlamda tanımlı olabilmeli; istatistik değerlerin kullanılmasına gerek olmamalıdır. İşte bunu garanti etmek için bu noktada bir temel kabul yapılması gerekmektedir:

Sürekli Ortam Kabulü: Bir akım bölgesinin her noktasında akışkanın fiziksel özellikleri ( $p$ ,  $T$ ,  $\rho$ , ...) ve akımın dinamik özellikleri ( $\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{F}$ , ...) tanımlanmıştır ve özel haller dışında bu büyüklükler akım bölgesi içinde noktadan noktaya sürekli olarak değişirler.

Görüldüğü gibi kabulde akım bölgesinin büyüklüğü ile ilgili bir ibare yoktur; yani akım bölgesi ne kadar küçük olursa olsun söz konusu süreklilik özelliği mevcutmuş gibi hesap yapılacaktır. Akışkanların moleküler yapısı göz önüne alındığında bu kabulün geçerliliği konusunda kuşkuya düşülebilir. Bu noktayı aydınlatmak üzere bir ölçü vardır:

Knudsen Sayısı: Bir molekülün birim zamanda diğer moleküllere çarparak kat ettiği yörüngelerin uzunluklarının ortalaması olan Moleküler Serbest Yol  $l$  nin, akım bölgesinin büyüklüğünü karakterize eden temsili bir büyüklük olan  $L$  ye oranı; yani:

$$Kn = l/L \quad (2.37)$$

oranı Knudsen sayısı olarak adlandırılır. Tanımından da görüleceği gibi Knudsen sayısı aslında çok küçük bir sayıdır ve bu sayı küçüldükçe Sürekli Ortam Kabulünün geçerliliğinin iyileşeceği açıktır. Ancak yapılan deneyler göstermiştir ki  $L \sim [mm]$  büyüklüğünde olduğu zaman dahi akımın incelenmesinde sürekli ortam kabulü herhangi bir hataya neden olmamakta yani geçerliliğini korumaktadır.

Sürekli ortam kabulü akışkanlar mekaniğinin temelini oluşturur. Bu kabul sayesinde akımı temsil eden denklemler büyük ölçüde basitleşir. Bu kabulün geçerli olmadığı çok özel hallerde yani, meselâ:

$$Kn \geq \sim 1 \quad (2.38)$$

olması durumunda belirtilen maddelerin tümü eksik ve geçersiz olacaktır. Bu durumda: Her zaman  $Kn \ll 1$  şartı sağlanmalıdır.

## 2.5 Akışkan Hareketinin Parametreleri

Hareket halinde bulunan bir akışkan kütlesi düşünüldüğünde; bu kütle içinde seçilen noktasal bir zerrenin koordinatları, zerre hareket halinde olduğuna göre, zamana bağlı olarak:  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  şeklinde ifade edilebilir. Doğal olarak zerrenin yer vektörü:



$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (2.39)$$

biçiminde yazılabilecektir. Bu yer vektörünün etki noktası daima o noktadır. Buna karşılık zerrenin hareketini takip eden uç noktası bir  $C(x,y,z,t)$  eğrisi çizer.

Yörünge: Hareket halindeki bir akışkan zerresinin çizdiği eğriye veya diğer sözlerle yukarıda tanımlanan, zerreye bağlı yer vektörünün uç noktasının geometrik yerine, yani  $C(x,y,z,t)$  eğrisine yörünge adı verilir.

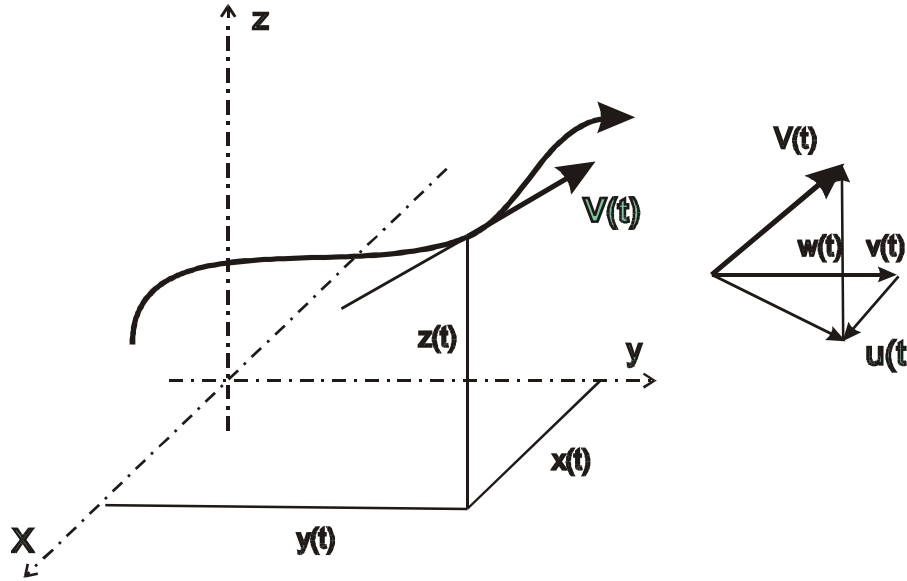
Akışkan Zerresinin Hızı: Mekanik biliminden bilindiği gibi bir akışkan zerresinin hızı

$$\mathbf{V} = d\mathbf{r}/dt = (dx/dt)\mathbf{i} + (dy/dt)\mathbf{j} + (dz/dt)\mathbf{k} \quad (2.40)$$

veya

$$\mathbf{V} = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k} \quad (2.41)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Kuşkusuz  $\mathbf{V}(u,v,w)$  vektörü,  $\mathbf{V}(x,y,z,t)$  biçimindedir. Yani akışkan hızı akım bölgesinin her noktasında farklı olabileceği gibi belli bir noktasında da zamanla değişebilir.



Şekil 2.8 Akışkan zerresinin zamana bağlı değişimi

Yukarıdaki tanım yardımı ile yörüngenin diferansiyel denklemi:

$$dx/u(x,y,z,t) = dy/v(x,y,z,t) = dz/w(x,y,z,t) = dt \quad (2.42)$$

biçiminde kolayca elde edilebilir. Birinci mertebeden üç bilinmeyenli üç kısmi diferansiyel denklemden oluşan bu sistem için ilk şartlar:

$$t = t_0 \text{ da } x = x_0, y = y_0, z = z_0 \quad (2.43)$$

biçiminde verilecektir. Dolayısı ile çözüm, yani yörünge eğrileri:

$$x = x(x_0, y_0, z_0, t), \quad y = y(x_0, y_0, z_0, t), \quad z = z(x_0, y_0, z_0, t) \quad (2.44)$$

şeklinde ilk şartlara ve zamana bağlı olarak elde edileceklerdir.

Daimî Hareket: Akışkanlar Mekaniği problemlerinin çok büyük bir bölümünde harekete ait hız, basınç ve benzeri büyüklüklerin hiçbiri zamana bağlı değildir. Yani akım özellikleri zamanla değişmez. Böyle hareketlere *daimî hareket* veya *daimî akım* adı verilir.

Daimî hareket halinde Yörünge Denklemi:

$$dx/u(x,y,z) = dy/v(x,y,z) = dz/w(x,y,z) \quad (2.45)$$

biçimini alır. Bu denklemin doğrudan entegrasyonu mümkünse de, karmaşıklığı dolayısı ile pek kullanılmaz.

Daimî hareket kabulü, aslında pratikte mevcut olan akım problemlerinin rejim haline karşı gelmektedir. Uygulamada gerek taşıtlar ve gerekse akım sistemleri asıl görevlerini, etraflarından akan veya içlerinde dolaşan akım, rejim halinde iken yaparlar; bu nedenle meselâ bir taşıtın aerodinamik/hidrodinamik tasarımı taşıtın seyir hızı için, bir türbinin tasarımı akımın rejim hızı için yapılır. Diğer sözlerle tasarım işlemi hemen daima daimî akım şartlarında yapılır; zamana bağlı akımların

incelenmesi gereken hareket başlangıcı veya sonu ya da manevra halleri için bu tasarım esas alınarak güvenlik testleri yapılır.

Yukarıdaki açıklamadan hemen anlaşılacağı gibi daimî akım istisnâî bir hal değildir. Uygulamada büyük farkla daha çok karşılaşılan durumdur. Öte yandan bu kabulün altında akımı anlatan matematik modeller büyük ölçüde basitleşmektedir.

*Akışkan Hareketinin Boyutları:* Bir akım bölgesi içindeki bir zerrenin hareketini (yani yörüngesini, hızını, ... ) belirlemek için gerekli olan en az yer parametresi (x, y, z) sayısına *akımın boyutu* denir.

Bu tanımda iki noktaya dikkat etmek gerekir. Öncelikle zamana bağlı olmak veya olmamak akımın boyutunu değiştirmemektedir. Öte yandan akımlar en fazla üç boyutlu olabilir. Aslında doğada bütün akımlar üç boyutludur ve zamana bağlıdır; yani akım özelliklerinin matematik olarak ifade edilebilmesi için dört serbest değişkenli fonksiyonlara ihtiyaç vardır. Ancak, meselâ daimî akımda olduğu gibi, uygulamada karşılaşılan pek çok halde serbest değişken sayısını azaltarak matematik ifadeleri basitleştirmek mümkündür.

Yukarıda da açıklandığı gibi üç boyutlu zamana bağlı bir akım bölgesinde bir zerrenin yer vektörü

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (2.46)$$

biçimindedir. Eğer daimî hareket söz konusu ise bu:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (2.47)$$

biçimini alır. Eğer yer vektörünün veya diğer akım özelliklerinin, ifade edildiği koordinat sistemi yer vektörünün herhangi bir bileşeni akım bölgesinin her noktasında sıfıra özdeş olacak şekilde seçilebilirse; yani yer vektörü her noktada, mesela:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} \quad (2.48)$$

biçiminde ifade edilebiliyorsa böyle akımlara iki boyutlu akımlar adı verilir. Eğer yer vektörü için akım bölgesinde, meselâ

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} \quad (2.49)$$

gibi bir tek bileşeni olan bir ifade kullanmak yeterli oluyorsa akım bir boyutlu akım olarak adlandırılır.

Görüldüğü gibi akımın boyutu yalnızca akımın doğal özelliklerine değil fakat aynı zamanda akımı ifade etmek için kullanılan koordinat sisteminin seçimine de bağlıdır. Matematik ifadelerin basitliği bakımından bir akımı ifade eden denklemlerin mümkün olan en küçük boyutta yazılması istenileceği açıktır. Bu da akımı inceleyen akımın doğal özelliklerine uygun koordinat sistemini bulmaya ve kullanmaya zorlayacaktır. Yani, meselâ düzlemsel bir hareketi incelerken kartezyen koordinatları kullanırken, dönele simetrik bir hareketi incelerken yarı kutupsal koordinatların kullanılması gibi. Bu nedenle Akışkanlar Mekaniği problemlerinde koordinat sisteminin seçilmesinin, bir koordinat sisteminden diğerine transformasyon işleminin özel bir yeri vardır.

Akım (Cereyan) Çizgisi: Daimî iki boyutlu akım halinde yörünge denklemi basitleşerek:

$$dx/u(x,z) = dz/w(x,z) \quad (2.50)$$

biçimini alır. Bu denklemi:

$$(dz/dx)_Y = w(x,z)/u(x,z) \quad (2.51)$$

şeklinde yazmak mümkündür. Böylece yörünge eğrisinin teğetinin eğimini belirleyen  $(dz/dx)_Y$  ifadesinin akım bölgesinin her noktasında hız vektörünün eğimine eşit kaldığı gözlemlenmiş olur. Bu da daimî akımlar için geçerli özel bir yörünge tanımı

anlamına gelmektedir: "Akım bölgesinin her noktasında, o noktadaki hız vektörünü teğet kabul eden eğriye *Akım (Cereyan) Çizgisi*" adı verilir.

Akışkanlar Mekaniği problemlerinde çok büyük öneme sahip olan akım çizgileri için  $\psi$  harfi kullanılmaktadır. Yukarıda söylenenlerin özeti, şu halde:

$$Y(x,z) = \psi(x,z), \quad \psi = \text{st. eğrisi akım çizgisi}$$

olacaktır. Yukarıdaki işlemin benzeri üç boyutlu daimî akımlar için de yapılabilir. Ancak bu durumda akım çizgileri üç boyutlu iki yüzeyin arakesit eğrisi olarak tanımlanmak zorundadır ve bunun sonucunda elde edilen denklemler çok karmaşık hale geldiği için akım çizgisi kavramı, bütün daimî akımlar için geçerli fiziksel bir büyüklük olmasına rağmen, hemen sadece iki boyutlu akımlarda kullanılmaktadır.

Üniform Akım: Akışkanlar Mekaniğinin en basit fakat en çok kullanılan akım biçimi olan bu akım modeli kısaca şöyle tanımlanabilir: "Akım bölgesinin bütün noktalarında aynı hız vektörüne sahip olan akım"

Tanıma göre üniform akım, doğal olarak hem daimîdir, hem de bir boyutlu olmak zorundadır. Ayrıca üniform akıma ait akım çizgileri birbirine paralel doğrulardan ibaret olacaktır. Eğer  $x$ - eksenini bu doğrulara paralel seçilirse; üniform akıma ait matematik ifadeler:

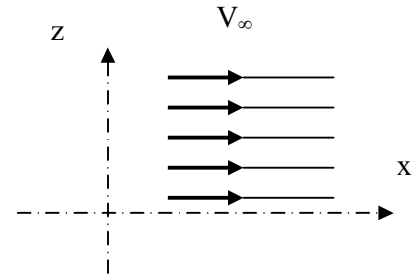
$$\mathbf{V} = \mathbf{i} \cdot V_\infty$$

$$V_\infty = \text{st.}$$

$$u = V_\infty$$

$$w = 0$$

$$\psi = z \cdot V_\infty$$



biçiminde olacaktır. Bu akımın grafik gösterimi yanda verilmiştir.

Euler/Lagrange Akım Betimleme Yöntemleri: Akışkanlar mekaniğinde akım bölgesinin matematik betimlenmesi (tasviri) için kullanılan iki ana yol vardır. Bunları basitçe açıklamak gerekirse: Bir otomobil motorunun karbüratörünü düşünülebilir. Geniş bir b borusundan hava gelmektedir; bu boruya açılan dar bir d borusundan ise buharlaşmış yakıt zerrecikleri akan hava içine karışmaktadır. Bu olayın matematik betimlenmesi için:

- a) Euler Yöntemi: Belli bir kesiti ya da daha doğrusu belli bir noktayı esas alarak, verilen bir anda oradan geçen akışkan zerresinin hızını, basıncını ve diğer özelliklerini hesaplamaya çalışır. Dolayısıyla yukarıdaki örneği inceliyorsak b borusu içinde d den sonraki bir noktada meselâ hız değeri verilmişse, bu hıza sahip zerrenin nereden geldiği yani hava mı yakıt buharı mı olduğu bilgisi araştırma dışı kalacaktır.
- b) Lagrange yöntemi: Belirli bir zerreyi esas alarak, bunun verilen bir andaki yerini, hızını ve diğer özelliklerini hesaplamaya çalışır. Yine yukarıdaki örneğe dönersek bu defa b' den veya d' den gelen bir zerre seçmemiz gerekecek ve belirli bir zaman dilimi boyunca bu zerrenin yörüngesi üzerindeki “zerre hızının” ve diğer özelliklerinin hesaplanabileceğini; ancak aynı noktalardan bir an önce veya bir an sonra geçen bir diğer zerrenin hızının araştırma dışı kalacağı söylenebilir.

Akışkanlar Mekaniği literatüründe rastlanan ve günlük hayata daha yakın bir örnek seçilirse işlek bir caddedeki trafik akışında Euler Yöntemi, caddenin belirli bir kesitinde verilen bir andaki trafik hızını (oradan geçen arabaların nereden gelip nereye gittiğini göz önüne almaksızın) hesaplar; Lagrange Yöntemi, belirli bir taşıtın cadde boyunca hangi noktalarda hangi hızlara sahip olduğunu (trafik yoğunluğunu veya hızını düşünmeksizin) bulmaya çalışacaktır.

Doğal olarak yörünge kavramı Lagrange Yönteminin temelini oluşturmaktadır. Ancak daimî akım halinde yörünge eğrilerinin akım çizgilerine dönüştüğü bilinmektedir. Aslında akım çizgisi kavramı Euler Yöntemine daha çok uygundur. Çünkü bir akım çizgisi üzerinde bir tek zerre değil fakat birbirini izleyen sınırsız sayıda zerre mevcuttur ve bunların arasında ayırıcı bir özellik yoktur. Ayrıca

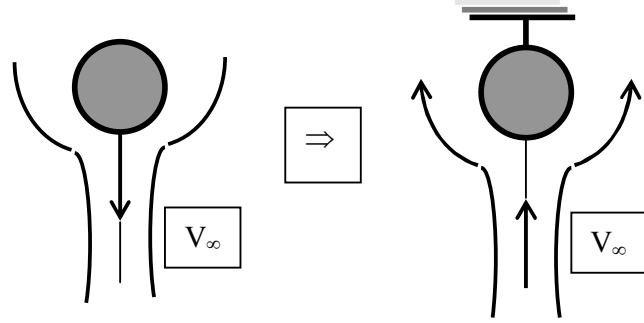
örneklerden kolaylıkla görüldüğü gibi tek akışkan bulunan akım problemlerinde Euler Yöntemi büyük kolaylık sağlarken; farklı akışkanların karıştığı ve karışımdaki zerrelerin cinsinin önemli olduğu hava ve su kirlenmesi problemleri gibi problemlerde Lagrange Yöntemi daha yararlı olmaktadır.

## 2.6 Hareketin İzafiliği İlkesi

Mekanik biliminden bilindiği gibi, akışkan kütlesi içinde hareket etmekte olan bir cisim durdurularak, cismin bütün çevresi aynı hızla ve ters yönde harekete geçirilirse cismin etrafındaki akışkan hareketinin özellikleri değişmez.

Bunu iki basit örnekle açıklayabiliriz.

### a) Serbest Düşen Cisim:



Şekil 2.9 Serbest Düşen Cisim

### b) Otomobil Etrafında Akım:



Şekil 2.10 Otomobil Etrafında Akım

Bu ilke bütün deneysel çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Uygulamada özellikle taşıtların tasarımında başvurulan laboratuvar deneyleri hemen tamamen bu ilkenin uygulamalarıdır.

## **2.7 Akışkan Kontrolü(Akışkan Kontrolü Problemi)**

Akışkanlar mekaniği ile ilgili bilgileri verdikten sonra akış kontrolü veya CFD(Computational Fluid Dynamics) problemleri incelenirse: Akış kontrolü veya CFD(Computational Fluid Dynamics) problemleri genellikle Navier-Stokes denklemlerinin sonlu element veya farklı metotlarıyla karakterize edilir. Bu kullanım sadece hesaplama da değil bazen de gerçek durumlarda geçerlidir. Fakat genellikle gerçek uygulamalarda kabul edilebilir sonuçlar vermeyebilir. Genel metodolojide simülasyon modelleri geliştirilir ve CFD problemlerinin çözümünde simülasyonlar kullanılır. Simülasyon tekniklerindeki problem ise, çevre parametreleri ya da durumlar değiştiğinde simülasyonun yeni parametreler ile yeniden programlanması gerektiğidir. Bu sonuçlar gerçek verilerde problem yaratmaktadır çünkü çoğu simülasyon modelleri çalışırken yeni parametreleri ve çevresel değişimleri adresleyememektedir.

Newtonian ve Non-Newtonian sıvı türlerinin literatürde geçen ekzantirik annüler borularda sıvı akışı modellemesinde analitik ve deneye dayalı teknikler kullanılır.

Akış kontrolü probleminin bir problemi ise, özellikle yağ endüstrisindeki ekzantirik annüler borulardaki basınç düşüşünün tahmin edilmesidir. Newtonian sıvılar için literatürde çalışılmış ve birçok deneysel kurulum oluşturulmuştur, fakat Non-Newtonian sıvılar için sadece teorik çalışmalar yapılmış; deneysel çalışmalara yer verilmemiştir.

Genelde iç silindir rotasyonunu dış silindire bağlı olarak yapmaktadır ve bu davranışı analitik olarak modelleyen çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmanın ilk aşamasında ise iç ve dış silindirlerin birbirlerine bağlı olmadan hareket ettikleri kabul edilmiştir.



Yakın geçmişte, analitik ve ampirik modellerin dışında, genetik algoritma, yapay sinir ağları gibi birçok makine öğrenimi metodurjileri CFD uygulamasında kullanılır olmuşlardır. Girdi ve Çıktılar arasındaki ilişkinin analitik olarak bulunamadığı birçok metotta yapay sinir ağları kullanılmaya başlanmıştır. CFD de geleneksel tekniklerle sonuca ulaşamayan bu alanlara örnek olarak verilebilir.

## **2.8 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD)**

Akışkan davranışlarını sayısal yöntemlerle kavramaya, analiz etmeye yarayan, tasarımda da işe yarayan uygulamalı fizik ve matematik konusudur. Akışkanlar dinamiği problemlerinin bilgisayar programları yardımıyla çözülmesini amaçlar. Diferansiyel denklemlerde sonlu fark metotları, integral denklemlerde sonlu hacim metotları kullanılır.

Karmaşık geometri ve akışkanın viskozitesi gibi etkenler akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerine uygulandığında sonuca ulaşmak çok zor genellikle imkânsızdır. Klasik akışkanlar mekaniği ancak düz levhalar, dairesel kesitli borular gibi basit geometrilere sonuca ulaşabilir. Geriye kalan ve doğa olaylarının yüzde 99 unu oluşturan kısmında ise sayısal bilgisayar tekniklerine başvurulur.

Herhangi sıvı akışında fiziksel olarak beklenen üç kural vardır: kütle korunumu, Newton'un 2.kuralı ve enerjinin korunumu. Bu prensipler çoğu parçalı diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir. Matematiksel çözümler uzay ve zamandaki bütün nümerik akış alanı tanımlarını kullanırken; CFD teknikleri ise sıvı akışını nümerik olarak kurallayarak çözmeye çalışır.

CFD ile deneysel sonuçların karşılaştırılması yapıldığında kurallı denklemlerin limitlerinin saptanması ve onaylanması anlamında önemli bir role sahip olduğu görülmektedir. Bu yöntemin bütün ölçü ölçmelerinde efektif ve daha az masraflı bir yol olduğu gösterilmiştir. Bu durum nümerik simülasyon rutinlerinin ve ticari kodlamalarının artmasını sağlamıştır.

CFD tekniği bilgisayarların işlem hızlarının ve belleklerinin artmasına bağlı olarak gelişen doğal bir sonuçtur. Sıvı dinamiği tamamlayıcı deneyleri ve teorik olarak yapılan çalışmalar, gerçek akışların simülasyonlarında ve deneysel olarak Gerekleştirilemeyecek teorik avantajların ekonomik olarak ilginç alternatiflerle gözlenmesini sağlamaktadır.

## **2.9 Viskoz Akışkanların İki Boyutlu Hareketleri Ve Navier-Stokes Denklemi**

### **2.9.1 Genel Bilgiler-Hareket Denklemi**

Bu bölümde viskoz akışkanların iki boyutlu hareketlerini ele alarak bunlarla ilgili hareket denklemlerinden bahsedilmiştir ve uygulamada önem taşıyan bazı basit haller için bu denklemlerin zmleri incelenecektir.

Aslında gerçek akışkanların herhangi bir hareketi  boyutludur, zamana bağlıdır ve viskoz kuvvetlerin de etkisi altındadır.

Üç boyutlu akım denklemleri ile burada verilen iki boyutlu akım denklemleri arasındaki farklılıkta esasta değil fakat biçimdedir. Ancak denklemlerin zm konusunda durum böyle değildir. Üç boyutlu akımlar halinde, iki ve bir boyutlu akımlarda geniş olarak yararlandığımız akım çizgisi kavramı yerini akım yüzeyi kavramına bırakmakta herhangi bir üç boyutlu akımda iki ayrı akım yüzeyleri ailesi oluşmakta ve ancak bunların arakesitleri kullanılan akım çizgisi kavramına tekabül etmektedir. Dolayısıyla başlangıçtan beri akım çizgisi kavramı kullanarak yapılan çıkarımlar ve basitleştirmeler ne yazık ki ya tümden ortadan kalkmakta ya da kullanılamayacak kadar zorlaşmaktadır. Bu nedenle literatürde de üç boyutlu akımlara ait genel zm örnekleri yok gibidir. Üç boyutlu akımları zrken kullanılan yol probleme en yakın iki boyutlu akımı zmek ve bundan yararlanarak, deney sonuçlarının da yardımı ile bazı düzeltme katsayıları kullanarak sonuca ulaşmaktır. Son yıllarda geniş olarak kullanılmaya başlanan sayısal zm yöntemleri dahi bilgisayar hafızası ve zamanı açısından büyük zorluklarla

karşılaştığı için ve sonuçların doğru yorumlanmasında sıkıntılar bulunduğu için aynı özellikleri taşımaktadır.

Bu bölümde akışkanın viskozite özelliği ihmal edilmediğine göre burada çıkarılacak denklemler en genel akım denklemleri olacaktır.

Bu denklemleri çıkartırken, akışkan sıkışamaz kabul edilmiştir.

Genel hareket denklemlerinin doğrudan çözümlerinin bulunması oldukça zor ve karmaşık olduğu gibi uygulama açısından bu çözümlerin geçerliliği de oldukça sınırlıdır.

### **2.9.2 Navier-Stokes Denklemleri**

Navier-Stokes denklemleri, ismini Claude-Louis Navier ve George Gabriel Stokes'tan almış olan, sıvılar ve gazlar gibi akışkanların hareketini tanımlamaya yarayan bir dizi denklemden oluşmaktadır.

Bu denklemler; akışkan içerisindeki birim kütleye etki eden momentum (ivmelenme) değişimlerinin, basınç değişimleri ve sürtünme kayıplarına neden olan viskoz kuvvetlerin (sürtünmeye benzer) toplamına eşit olduğunun doğruluğunu ortaya koymaktadır. Bu viskoz kuvvetler moleküller arası etkileşimlerden meydana gelmekte ve akışkanın akmaya ne kadar dirençli (viskoz) olduğunu göstermektedir. Böylece, Navier-Stokes denklemlerinin, verilen akışkanın herhangi bir bölgesindeki kuvvetler dengesinin dinamik ifadesi olduğu söylenebilir.

Bu denklemler en kullanışlı denklemlerin başında gelmektedirler. Çünkü gerek akademik gerekse ekonomik birçok fenomenin fiziğini açıklamaktadır. Hava akımları ve okyanus akıntılarının, boru içindeki su akışının, galaksideki yıldız hareketlerinin, kanat etrafındaki hava akımlarının modellenmesinde ve hesaplarında sıkça kullanılırlar.

### 2.9.2.1 Gerçek türev

Hareket eden akışkanın özelliklerinin değişiminin ölçülebilmesi için iki yol vardır. Örneğin dünya atmosferindeki rüzgâr hızının değişimleri ele alınacak olursa; bu değişiklikler bir meteoroloji istasyonu ölçüm cihazı (anemometre) veya bir hava balonu yolu ile ölçülebilir. Şüphesiz, ilk durumdaki anemometre boşlukta sabit bir nokta boyunca geçiş yapan tüm hareketli parçacıkların hızını ölçerken, ikinci durumda bahsedilen aygıt akışkan ile beraber hareket ederken hızdaki değişimi ölçer.

Aynı durumda, yoğunluk, sıcaklık vb. değişimlerde ölçümü etkileyecektir. Bu nedenle, bu iki hal için bir ayırım yapılmalıdır. Bir alanın boşluktaki sabit bir pozisyona göre türevi uzaysal (spatial) veya Euleryen türev (Eulerian derivative) olarak adlandırılır. Hareketli bir parçacığın izlenmesi türevi gerçek (substantive), Lagrangyan (Lagrangian) veya maddi (materyal) türev olarak adlandırılır.

Gerçek türev şu şekilde tanımlanır:

$$\frac{D}{Dt}(\star) \equiv \frac{\partial(\star)}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla(\star) \quad (2.52)$$

Burada  $\mathbf{v}$  akışkanın hızıdır. Denklemin sağ tarafındaki ilk terim alışılmış Euleryen türevi (sabit bir referans üzerindeki türev) iken, ikinci terim akışkan hareketi ile oluşan değişiklikleri ifade eder. Bu etki adveksiyon olarak adlandırılır.

Navier-Stokes denklemleri, aşağıdaki korunum kanunlarından türetilir:

- Kütle
- Enerji
- Momentum
- Açısal momentum

Ek olarak, akışkan için bir durum denklemleri bağıntısı kabulü yapılması gereklidir.

En genel biçimde, bir korunum kanunu şunu ifade eder, bir kontrol hacmi üzerinde tanımlanmış hacim özelliği (bulk property) değişiminin oranı L hacim sınırları

boyunca hareket eden akışkanın dışarı taşıdığı kayıp ve artı kontrol hacminin iç tarafındaki kazançlar ve kayıplara eşit kabul edilir. Bu, aşağıdaki integral denklemi ile ifade edilir.

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} L d\Omega = - \int_{\partial\Omega} L \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} d\Omega + \int_{\Omega} Q d\Omega \quad (2.53)$$

Bu denklemde  $\mathbf{v}$  akışkanın hızı ve  $Q$  akışkan içindeki kazançlar ve kayıplar olarak ifade edilir.

Eğer kontrol hacmi boşluk içinde sabitlenmiş ise bu integral denklemden aşağıdaki şekilde bir ifade yazılabilir.

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} L d\Omega = - \int_{\Omega} \nabla \cdot (L \mathbf{v}) d\Omega + \int_{\Omega} Q d\Omega \quad (2.54)$$

Ayrıca, kontrol hacminin içinde, bu son denklemde elde edilmiş olan sağ taraftaki ilk terimin ifade edilmesi için diverjans teoremi kullanılmıştır. Böylece:

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} L d\Omega = - \int_{\Omega} (\nabla \cdot (L \mathbf{v}) - Q) d\Omega \quad (2.55)$$

Yukarıdaki ifade boşlukta sabit kalan bir kontrol hacminde  $\Omega$  için geçerlidir. Çünkü

$\Omega$  zaman içinde sabittir, değişmez. Bu sayede " $\frac{d}{dt}$ " ve " $\int_{\Omega} d\Omega$ " ifadeleri birbirinin yerine yazılabilir. Böylece ifade tüm alanlar için geçerli olur ve integral çıkartılabilir.

Gerçek türev,  $Q = 0$  olduğunda (kazanç ve kayıp yokken) elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial t} L + \nabla \cdot (L \mathbf{v}) = \frac{D}{Dt} L + L (\nabla \cdot \mathbf{v}) = 0 \quad (2.56)$$

### 2.9.2.2 Süreklilik Denklemi

Kütlenin korunumu şu şekilde yazılır:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) &= 0 \\
&= \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} + \mathbf{v} \cdot \nabla \rho \\
&= \frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} = 0
\end{aligned} \tag{2.57}$$

Burada  $\rho$  kütle yoğunluğu (birim hacim başına kütle),  $\mathbf{v}$  akışkanın hızıdır.

Sıkıştırılmaz bir akışkan için  $\rho$  akış hattı boyunca değişmez ve denklem şu hale indirgenir:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \tag{2.58}$$

### 2.9.2.3 Momentumun korunumu

Momentumun korunumu, yoğunluk yerine momentumun vektör bileşenleri ve akışkan üzerine etkiyen kuvvetler ile süreklilik denkleminde benzer bir yaklaşım yapılarak ifade edilir.

Süreklilik denkleminde  $\rho$  yerine belirli bir yönde birim hacim başına net momentum yazılır,  $\rho v_i$ , burada  $v_i$  hızın  $i$  inci bileşenidir. (hız  $x$ ,  $y$  veya  $z$  yönleri boyunca olmak üzere)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho v_i) + \nabla \cdot (\rho v_i \mathbf{v}) = \rho f_i. \tag{2.59}$$

$\rho f_i$ , akışkan üzerine etkiyen kuvvetin  $i$  inci bileşenidir (her birim hacim başına gerçek kuvvet). Genel kuvvetler yerçekimi ve basınç gradyanlerini kapsar. Bu şu şekilde de ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) = \rho \mathbf{f} \tag{2.60}$$

Ayrıca,  $\mathbf{v} \otimes \mathbf{v}$  bir tensor'dür,  $\otimes$  tensor çarpımını ifade eder.

Süreklilik denkleminin kullanımı daha da basitleştirilebilir ve şu hale gelir:

$$\rho \frac{Dv_i}{Dt} = \rho f_i \quad (2.61)$$

Genel kullanımda aşağıdaki gibi de yazılabilir

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \mathbf{f} \quad (2.62)$$

Bu bağlamda  $\mathbf{F}=\mathbf{m}\mathbf{a}$  ifadesi doğrulanmış olur.

## 2.9.2.4 Denklemler

### 2.9.2.4.1 Denklemlerin elde edilişi

Momentumun korunumu için Navier-Stokes denklemlerinin genel biçimi:

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \nabla \cdot \mathbb{P} + \rho \mathbf{f} \quad (2.63)$$

Burada  $\rho$  akışkan yoğunluğu,  $\mathbf{v}$  hız vektörü ve  $\mathbf{f}$  kitle kuvvet vektörüdür.

$\mathbb{P}$  tensörü, akışkan parçacığı üzerine uygulanmış yüzey kuvvetleri olarak tanımlanır (gerilme tensörü). Akışkan girdap gibi bağımsız bir eğme bükme hareketi yapmadıkça,  $\mathbb{P}$  simetrik bir tensördür. Genel olarak, biçim:

$$\mathbb{P} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} p & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & p \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{xx} + p & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} + p & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} + p \end{pmatrix} \quad (2.64)$$

Burada  $\sigma$  normal gerilmeler,  $\tau$  teğetsel gerilmeler (kesme gerilmeleri) ve  $p$  gerilme tensörünün izotropik parçası ile birleştirilmiş statik basınçtır.

$\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$  matris izi akışkanın dengede olup, olmadığı mutlaka tanımlanması (hacim viskozitesi (bulk viscosity) olmadıkça) ile daima  $-3p$ 'dir.

Sonuç olarak:

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p + \nabla \cdot \mathbb{T} + \rho \mathbf{f} \quad (2.65)$$

Burada  $\mathbb{T}$ ,  $\mathbb{P}^n$ 'nin izsiz (traceless) parçasıdır.

Bu denklemler hala tamamlanmamıştır. Tamamlamak için,  $\mathbb{P}^n$ 'nin şekli üzerinde bir varsayım yapılmalıdır, şöyle ki, gerilme tensörü için aşağıda gösterildiği gibi bir süreklilik kanununa ihtiyaç vardır.

Akış, sürekli ve diferansiyel kabul edilmiş ve korunum kanunları çerçevesinde kısmi diferansiyel denklemler ile ifade edilmiştir. Akışın sıkıştırılmaz (sabit yoğunluk) olduğu durumda, değişkenler, basınç ve hız bileşenleri için çözülmüştür. Bu değişkenler, Navier-Stokes denklemlerinin üç bileşeni, kütle korunumu (süreklilik denklemi) ilave edilerek, kapalı bir sistem için kısmi diferansiyel denklemler ile sınır şartlarına uygun olarak çözülebilir. Sıkıştırılmaz akış durumunda, yoğunluk sistem için diğer bir bilinmeyen haline gelir, sistem için bir durum denklemi ilavesi ile saptanır. Durum denkleminde genelde akışkanın sıcaklığı için girer, o yüzden denklem, enerjinin korunumu için de mutlaka çözülmelidir. Bu denklemler Non-lineer'dir (yani lineer değildir) ve kapalı formdaki analitik çözümleri sadece çok basit sınır şartları için bilinir.

Denklemler, akım ve girdap fonksiyonu ikinci değişkenleri için Wilkinson denklemlerine dönüştürülebilir. Çözüm akışkan özelliklerine (viskozite, özgül ısı ve ısı iletkenlik gibi) ve çalışma alanındaki sınır şartlarına bağlıdır.

#### **2.9.2.4.2 Denklemlerin Özel Formları**

Denklemler akışkanlarla ilgili problemlerin çözümü için, genel bazı durumlar için sadeleştirilip, genelleştirilerek kullanılabilir.

*Newtonyen (Newtonian) akışkanlar*

Newtonyen akışkanlar için:

$$p_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\nabla \cdot \mathbf{v} \right) \quad (2.66)$$



Burada

$\mu$  akışkanın viskozitesidir.

$\delta_{ij}$  ise Kronecker delta olarak adlandırılan matematik işlemi ifade eder. (1 için  $i=j$ ; 0 için  $i \neq j$ ).

Buradan denklemi türetebilmek için, öncelikle denge hali ifade edilir,  $p_{ij} = -p\delta_{ij}$ . Newtonyen bir akışkan için, bu denge değerinden gerilim tensörünün sapması, hızın gradyeni içinde lineerdir. Galile sabiti (Galilean covariance) nedeni ile açık şekilde hız üzerinde bağımlı değildir. Diğer bir ifade ile  $p_{ij} + p\delta_{ij}$ ,  $\partial_i v_j$  de lineerdir. Akışkanların dönme sabiti belirlenir (sıvı kristal (liquid crystal) olmayanlar).  $p_{ij} + p\delta_{ij}$  izli ve izsiz simetrik tensörlerine ayrılır. Benzer olarak  $\partial_i v_j$  izli, izsiz simetrik ve anti simetrik tensörlere ayrılır. Anti simetrik parça sıfıra gider, izli parça ve izsiz simetrik parçaya uygun iki katsayı vardır.  $\partial_i v_j$  nin izsiz simetrik parçası,  $\partial_i v_j + \partial_j v_i - \frac{2}{d}\delta_{ij}\partial_k v_k$  dir, burada  $d$  uzaysal ölçü sayısıdır ve izli parça  $\delta_{ij}\partial_k v_k$  dir. Bu nedenle, en genel lineer dönme sabiti şu şekilde verilir;

$$p_{ij} + p\delta_{ij} = \mu \left( \partial_i v_j + \partial_j v_i - \frac{2}{d}\delta_{ij}\nabla \cdot \mathbf{v} \right) + \mu_B \delta_{ij}\nabla \cdot \mathbf{v} \quad (2.67)$$

$\mu$  ve  $\mu_B$  bazı katsayılarıdır.  $\mu$  kesme viskozitesi (shear viscosity) ve  $\mu_B$  hacim viskozitesi (bulk viscosity) olarak adlandırılır. Bu ampirik (deneysel) bir incelemedir, hacim viskozitesi çoğu akışkan için ihmal edilebilir, bu nedenle çoğu zaman ihmal edilir.

Denklem içinde  $-2/3$  ile çarpım görünmesi bununla açıklanır. Bu çarpım, 1 veya 2 uzaysal boyut içinde değiştirilebilir.

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right) = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \mu \left( \nabla^2 \mathbf{v} + \frac{1}{3} \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v}) \right) \quad (2.68)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right) = \rho f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{3} \frac{\partial^2 v_j}{\partial x_i \partial x_j} \right) \quad (2.69)$$

Burada, Einstein notasyonu kullanılmıştır.

Tamamı için yazıldığında, bu karmaşık denklem şu hali alır:

Momentumun korunumu:

$$\begin{aligned}\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= k_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \cdot \left( 2 \cdot \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \cdot (\nabla \cdot \mathbf{v}) \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \cdot \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \\ \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= k_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \cdot \left( 2 \cdot \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \cdot (\nabla \cdot \mathbf{v}) \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ \rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= k_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \cdot \left( 2 \cdot \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \cdot (\nabla \cdot \mathbf{v}) \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \cdot \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right]\end{aligned}\tag{2.70}$$

Kütlenin korunumu:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot w)}{\partial z} = \mathbf{0}\tag{2.71}$$

Yoğunluk bilinmediği zaman, diğer bir denklem gereklidir.

Enerjinin korunumu:

$$\rho \left( \frac{\partial e}{\partial t} + u \frac{\partial e}{\partial x} + v \frac{\partial e}{\partial y} + w \frac{\partial e}{\partial z} \right) = \left( \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right) - p \cdot (\nabla \cdot \mathbf{v}) + \mathbf{k} \cdot \mathbf{v} + \rho \cdot \dot{q}_s + \mu \cdot \Phi\tag{2.72}$$

Burada:

$$\Phi = 2 \cdot \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2\tag{2.73}$$

$\Phi$  yüksek süpersonik ve hipersonik uçuşlar gibi sıra dışı örnekler hariç, çoğunlukla ihmal edilebilirdir.

İdeal gaz kabul edilir:

$$e = c_p \cdot T - \frac{p}{\rho} \quad (2.74)$$

Altı bilinmeyen (u, v, w, T, e ve  $\rho$ ) ve altı denklemden oluşan yukarıdaki gibi bir çözüm sistemi elde edilmiş olur.

#### *Bingham akışkanları*

Bingham akışkanlarında, bazı yerlerde durum biraz daha farklıdır:

$$\tau_{ij} = \tau_0 + \mu \frac{\partial v_i}{\partial x_j}, \quad \frac{\partial v_i}{\partial x_j} > 0 \quad (2.75)$$

Bunlar, akış başlamadan önce bir miktar kesme dayanım kabiliyetleri olan akışkanlardır. Örnek olarak, *diş macunu* verilebilir.

#### *Güçlü akışkan (Power-law fluid)*

Bu akışkan, kesme gerilimi için, ideal hal almış akışkandır,  $\tau$  şu şekilde verilir;

$$\tau = K \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^n \quad (2.76)$$

Bu form, hemen hemen genel akışkanların tüm çeşitlerine uygulanır.

#### *Sıkıştırılmaz akışkanlar*

Navier-Stokes denklemleri,

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ 2\mu \left( e_{ij} - \frac{\Delta \delta_{ij}}{3} \right) \right] \quad (2.77)$$

momentumun korunumu ve

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2.78)$$

kütlenin korunumu için

Burada

$\rho$  yoğunluk,  
 $u_i$  ( $i = 1,2,3$ ) hızın üç bileşeni,  
 $f_i$  gövde kuvvetleri (yerçekimi gibi),  
 $p$  basınç,  
 $\mu$  akışkanın o noktadaki dinamik viskozitesi;

$\Delta = e_{ii}$  diverjans,

$\delta_{ij}$  Kronecker delta.

Eğer,  $\mu$  akışkan üzerinde eşit dağılmış ise, momentum denklemi üzerinde şu basitleştirmeler yapılır:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{3} \frac{\partial \Delta}{\partial x_i} \right) \quad (2.79)$$

(Eğer  $\mu = 0$  fakat akışkan sıkıştırılabilir ise sonuçta Euler denklemleri olarak bilinen denklemler elde edilir; burada, önemli olan sıkıştırılabilir akış ve akış içindeki şok dalgalarıdır.)

Ek olarak, eğer  $\rho$  sabit farz edilirse şu sistem elde edilir:

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) &= \mu \left[ \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x \\ \rho \left( \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) &= \mu \left[ \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y \\ \rho \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) &= \mu \left[ \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z \end{aligned} \quad (2.80)$$

Süreklilik denklemi (sıkıştırılamazlık kabulü ile):

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (2.81)$$

*Silindirik koordinatlar*

Navier-Stokes Süreklilik denklemi silindirik koordinatlar için şöyledir:

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (2.82)$$

Silindirik koordinatlar için Navier-Stokes denklemleri de şu şekilde yazılır:

momentum:

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \frac{u_\theta^2}{r} \right) = \\ - \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{u_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} \right) + F_r \end{aligned} \quad (2.83)$$

$\theta$  momentum:

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_r u_\theta}{r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) = \\ - \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial r} - \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} \right) + F_\theta \end{aligned} \quad (2.84)$$

z momentum:

$$\begin{aligned} \rho \left( \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \\ - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + F_z \end{aligned} \quad (2.85)$$

Şunu ifade etmek gerekir ki, Navier-Stokes denklemleri akışkan akışını sadece yaklaşık olarak tanımlayabilir ve çok küçük ölçeklerde veya sıra dışı şartlarda, gerçek akışkanlar diğer maddeleri ve molekülleri içeren karışımlardır, Navier-Stokes denklemleri ile homojen ve sürekli akışlar modellenmiş ve bunun üzerinden sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber Navier-Stokes denklemleri pratikteki problemlerin çözümü için, geniş bir aralıkta faydalı olur.

## BÖLÜM 3

### 3.GENETİK ALGORİTMA/PROGRAMLAMA

#### 3.1 Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemidir.

Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar.

Genetik algoritmaların temel ilkeleri ilk kez Michigan Üniversitesi'nde John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları “Adaptation in Natural and Artificial Systems” adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır.

Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektördür.

Genetik algoritmalar problemlerin çözümü için evrimsel süreci bilgisayar ortamında taklit ederler.[18] Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar.[19] Problem için olası pek çok çözümü temsil eden bu küme genetik algoritma terminolojisinde nüfus adını alır. Nüfuslar vektör, kromozom veya birey adı verilen sayı dizilerinden oluşur. Birey içindeki her bir elemana gen adı verilir. Nüfustaki bireyler evrimsel süreç içinde genetik algoritma işlemcileri tarafından belirlenirler.

Problemin bireyler içindeki gösterimi problemden probleme değişiklik gösterir. Genetik algoritmaların problemin çözümündeki başarısına karar vermedeki en önemli faktör, problemin çözümünü temsil eden bireylerin gösterimidir. Nüfus içindeki her bireyin problem için çözüm olup olmayacağına karar veren bir uygunluk fonksiyonu vardır. Uygunluk fonksiyonundan dönen değere göre yüksek değere sahip olan bireylere, nüfustaki diğer bireyler ile çoğalmaları için fırsat verilir. Bu bireyler çaprazlama işlemi sonunda çocuk adı verilen yeni bireyler üretirler. Çocuk kendisini meydana getiren ebeveynlerin (anne, baba) özelliklerini taşır. Yeni bireyler üretilirken düşük uygunluk değerine sahip bireyler daha az seçileceğinden bu bireyler bir süre sonra nüfus dışında bırakılırlar. Yeni nüfus, bir önceki nüfusta yer alan uygunluğu yüksek bireylerin bir araya gelip çoğalmalarıyla oluşur. Aynı zamanda bu nüfus önceki nüfusun uygunluğu yüksek bireylerinin sahip olduğu özelliklerin büyük bir kısmını içerir. Böylelikle, pek çok nesil aracılığıyla iyi özellikler nüfus içersinde yayılırlar ve genetik işlemler aracılığıyla da diğer iyi özelliklerle birleşirler. Uygunluk değeri yüksek olan ne kadar çok birey bir araya gelip, yeni bireyler oluşturursa arama uzayı içersinde o kadar iyi bir çalışma alanı elde edilir. Probleme ait en iyi çözümün bulunabilmesi için;

- Bireylerin gösterimi doğru bir şekilde yapılmalı,
- Uygunluk fonksiyonu etkin bir şekilde oluşturulmalı,
- Doğru genetik işlemciler seçilmeli.

Bu durumda çözüm kümesi problem için bir noktada birleşecektir. Genetik algoritmalar, diğer eniyileme yöntemleri kullanılırken büyük zorluklarla karşılaşılan, oldukça büyük arama uzayına sahip problemlerin çözümünde başarı göstermektedir. Bir problemin bütünsel en iyi çözümünü bulmak için garanti vermezler. Ancak problemlere makul bir süre içinde, kabul edilebilir, iyi çözümler bulurlar. Genetik algoritmaların asıl amacı, hiçbir çözüm tekniğı bulunmayan problemlere çözüm aramaktır. Kendilerine has çözüm teknikleri olan özel problemlerin çözümü için mutlak sonucun hızı ve kesinliğı açısından genetik algoritmalar kullanılmazlar.

Genetik algoritmalar ancak;

- Arama uzayının büyük ve karmaşık olduğu,
- Mevcut bilgiyle sınırlı arama uzayında çözümün zor olduğu,
- Problemin belirli bir matematiksel modelle ifade edilemediği,
- Geleneksel eniyileme yöntemlerinden istenen sonucun alınmadığı alanlarda etkili ve kullanışlıdır.

Genetik algoritmalar parametre ve sistem tanılama, kontrol sistemleri, robot uygulamaları, görüntü ve ses tanıma, mühendislik tasarımları, planlama, yapay zekâ uygulamaları, uzman sistemler, fonksiyon ve kombinasyonel eniyileme problemleri, ağ tasarım problemleri, yol bulma problemleri, sosyal ve ekonomik planlama problemleri için diğer eniyileme yöntemlerinin yanında başarılı sonuçlar vermektedir.

### **3.1.1 Genetik Algoritmanın Diğer Yöntemlerden Farkı**

1. Genetik algoritmalar problemlerin çözümünü parametrelerin değerleriyle değil, kodlarıyla arar. Parametreler kodlanabildiği sürece çözüm üretilebilir. Bu sebeple genetik algoritmalar ne yaptığı konusunda bilgi içermez, nasıl yaptığını bilir.
2. Genetik algoritmalar aramaya tek bir noktadan değil, noktalar kümesinden başlar. Bu nedenle çoğunlukla yerel en iyi çözümde sıkışıp kalmazlar.
3. Genetik algoritmalar türev yerine uygunluk fonksiyonunun değerini kullanır. Bu değer kullanılması ayrıca yardımcı bir bilginin kullanılmasını gerektirmez.
4. Genetik algoritmalar gerekirci kuralları değil olasılıksal kuralları kullanır.

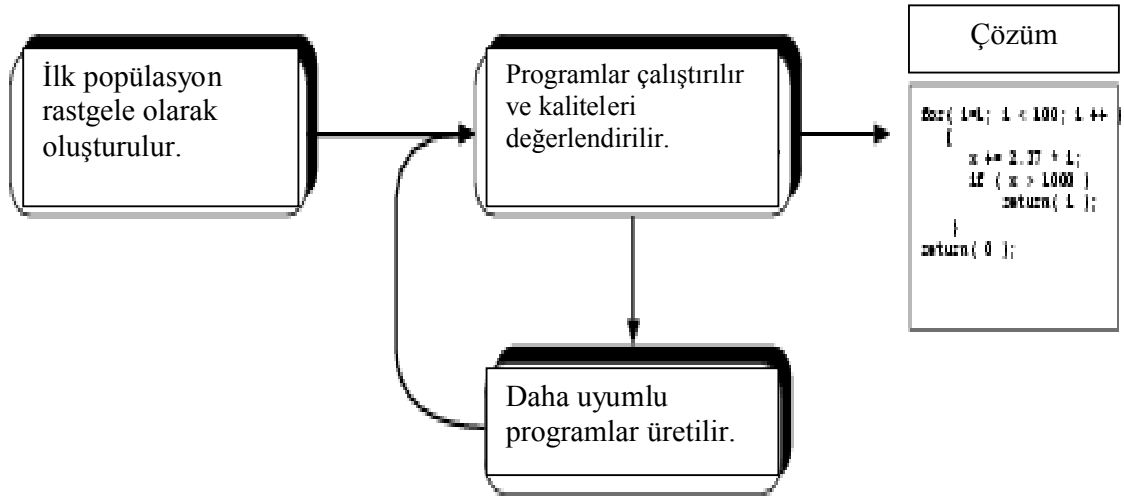
### **3.2 Genetik Programlama**

Genetik programlama, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belli bir uyum kriterine göre evrilerek mükemmellemesini amaçlayan bir evrimsel programlama tekniğidir (Koza, 1992; Koza, 1994)[16].



Genetik aloritmadan farklı olarak, genel amaçlı strateji geliştirmeye dayanan bir yapısı vardır.

Genetik programlama bilgisayarların problemi yüksek seviye adımdan başlayarak sonuca yönelik olarak problemi çözmesi işlemidir. Genetik programlama da tanım kümesine bağılı olmadan popülasyon üretmesi sağlanarak çözüme ulaşılır. Genetik programlama aloritmadan farklı olarak yeni jenerasyon programlarını yine genetik operasyonlar ile üretmek çözüme ulaşmayı amaçlar.

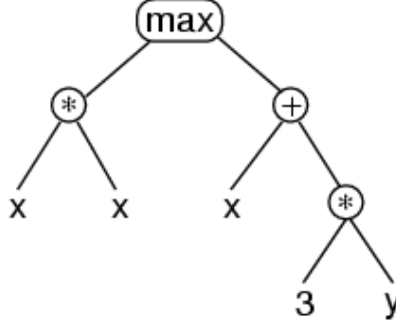


Şekil 3.1 Genetik programlama aşamaları

### 3.3 Genetik Programlama Operasyonları

Genetik programlama çaprazlama, mutasyon, yeniden üreme, gen ikilemesi ve gen silmesi operasyonları kullanır. Bazı geliştirme süreçlerinde embriyo tamamen gelişmiş bir yapının içine transfer edilebilir. Genetik programlama genetik aloritmanın bir uzantısıdır. Genetik programlama da çözüm adayları sabit uzunluktaki dizinler yerine programlardır.

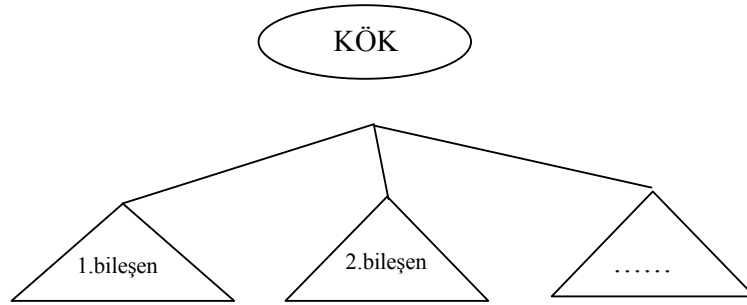
Genetik programlama da programlar kod satırları yerine ağaç yapısı ile gösterilir. Örneğin  $\max(x*x, x+3*y)$  dizisinin gösterimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.2  $\max(x*x, x+3*y)$  fonksiyonunun ağaç yapısı

Ağaç; *boğum(node/point)* ve *bağlantılar(links)*dan oluşmaktadır. Boğumlar yapılacak işlemi, bağlantılar ise her argümanı göstermektedir. İç boğumlar *fonksiyon(functions)*, ağaç yaprakları ise *terminal(terminals)* olarak adlandırılırlar.

Genetik programlamanın daha gelişmiş formlarda programlar birçok programın birleşimi olarak görülebilirler(subroutines). Bu gibi durumlarda her program birbirine kök(root) adı verilen özel bir boğum ile bağlanmaktadır. Bunlara alt ağaç dalları((sub)trees *branches.*) ve programın tümüne ise program yapısı(*architecture of the program*) adı verilir.



Şekil 3.3 Genetik programlama ağaç yapısı gösterimi

Genetik programlama ağaçları ve ona bağlı olan ibareler *ön gösterim* (Lisp S-expressions) ile de gösterilebilir. Ön gösterim notifikasyonunda argümanlar önce

yazılmaktadır. Örneğin  $\max(x*x, x+3*y)$  dizimi  $(\max (* x x)(+ x (* 3 y)))$  olarak gösterilir. Bu gösterim yapısında ağaç yapı ile dizin gösterimi arasındaki yapıyı kurmak çok kolaydır.

### 3.4 Genetik Programlama ile Problem Çözümü

Genetik programlama, problem çözümünü dört adımda gerçekleştirir:

1) Rasgele fonksiyon ve terminaller kullanarak başlangıç popülasyonunu üretir.

2) Her popülasyondaki programları çalıştırarak daha önceden belirlenmiş uyum değeriyle karşılaştırır ve hangi programın problem çözümüne daha yakın olduğuna karar verir.

3) Yeni programlar oluşturur.

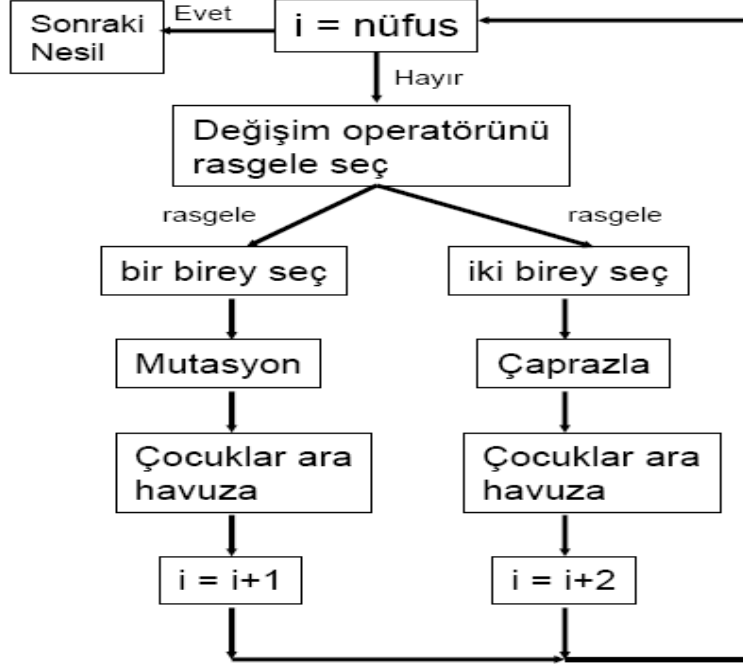
I. Var olan eniyi programları bir sonraki jenerasyona kopyalar

II. Mutasyon ile yeni programlar yaratır.

III. Çaprazlama(crossover-sexual reproduction) ile yeni programlar yaratır.

4) Herhangi bir jenerasyondaki var olan programlardan en iyisini genetik programlamanın sonucu olarak gösterir. [Koza 1992][16]

### 3.5 GP Akış Diyagramı



Şekil 3.4 Genetik Programlama Akış Diyagramı

### 3.6 Uyumluluk Fonksiyonu/Değeri

Genetik programlanın en zor ve önemli konsepti uyumluluk fonksiyonunu belirleme aşamasıdır. Uyumluluk fonksiyonu programın çözüm sağlayıp sağlayamayacağına karar veren fonksiyondur. Programdan programa değişen bir yapı gösterir. Örneğin bir genetik programlanın amacı saati ayarlamak ise uyumluluk fonksiyonu saatin yanlış gösterildiği zamanların toplamı olacaktır. Maalesef çok az problem için uyumluluk fonksiyonunun bulunması bu kadar kolaydır, genellikle uyum değerini bulmak için modifikasyonlar gereklidir.

#### 3.6.1 Ateşleme Programı

Genetik programlamanın eğitim sürecindeki zor örneklerden biri hareket eden bir hedefe silahla ateş etme örneğidir. Bu örnekteki uyum değeri kurşun ile hedef arasındaki uzaklıktır. Program rüzgârın ivmesi, atılan silahın cinsi, hedefin uzaklığı,

hedefin yüksekliği, hedefin hız ve ivmesi gibi değişkenleri öğrenmek zorundadır. Bu örnek genetik programın iyi olduğu bir problem tipidir. Çok fazla değişkeni olan basit bir uyumluluk fonksiyonu ile problem çözülmektedir.

### **3.6.2 Labirent Çözme Problemi**

Eğer bir kullanıcı labirent çözme problemi için bir program yazmak istiyorsa ilk önce çözümü olan labirentler ile program eğitmek zorundadır. En iyi çözüm yolu başlangıç ile bitiş arasındaki yolun noktalar ile işaretlenmesidir. Bu durumda uyum değeri programın cevabı bulması için gereken noktaların sayısıdır. Bütün labirenti dolanmak çok uzun zaman alacaksa, zaman limiti de uyumluluk fonksiyonuna konulabilir.

### **3.7 Fonksiyon ve Terminaller**

Terminal ve fonksiyonlar genetik programların alfabetini oluşturmaktadır. Terminal programdaki değişken ve sabitlerin bilişim kümesidir. Örneğin bir labirent oyununda terminaller dört tane komuttan oluşur: ileri, geri, sağ ve sol. Fonksiyon kümesi ise programdaki fonksiyonların kümesidir. Labirent örneğinde fonksiyon kümesi “eğer nokta ise x; değilse y” şeklinde oluşturulabilir. Silah ateşleme programında ise terminaller problemin değişkenleri fonksiyonlar ise toplama, çıkarma gibi matematik işlemleri ya da kompleks fonksiyonlar olabilir.

### **3.8 Çaprazlama Operasyonu**

Genetik programlamada var olan yapıyı modifiye etmek için iki tane ana operasyon kullanılır. Çaprazlama en önemli olanıdır. Çaprazlama işleminde iki tane çözüm çaprazlanarak; iki tane yeni çözüm ya da döl meydana getirilir. Ebeveynler uyumluluk fonksiyonundan gelen sonuçlara göre seçilir. Çaprazlama işlemi için çözüm seçme işleminde üç metot vardır:

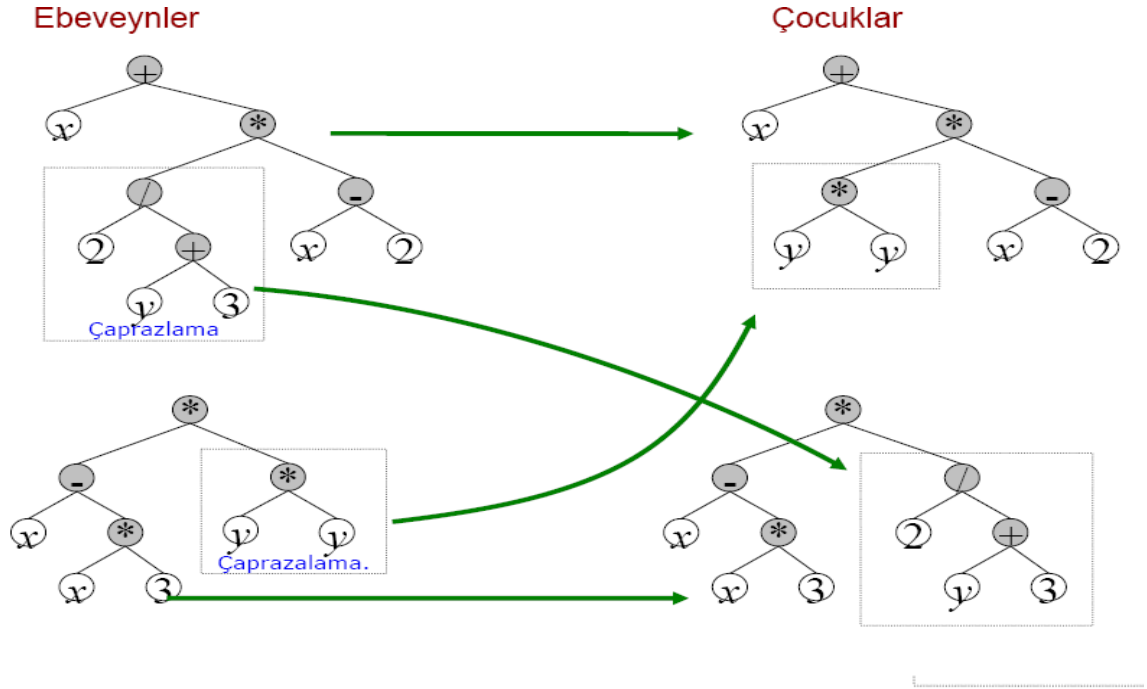
1. İlk metot çözümün uyumuna göre olasılığı kullanır.

$f(s_i(t))$  Fonksiyonunu  $S_i$  çözümünün uyumu olarak kabul edersek ve  $\sum_{j=1}^M f(s_j(t))$  fonksiyonu da popülasyondaki bireylerin toplamını gösterir ise, bu durumda  $S_i$  çözüm fonksiyonunun olasılığı yeni jenerasyona kopyalanır. [Koza 1992][16]:

$$\frac{f(s_i(t))}{\sum_{j=1}^M f(s_j(t))}$$

2. Başka bir seçme metodu ise turnuva seçimidir. Genetik program rast gele iki çözümü seçer ve daha yüksek uyum değeri olan kazanmış olur. Bu metot biyolojik çiftleşmeyi simüle etmektedir. Aynı cinsten iki kişi karşı için savaşır ve kazanan çiftleşmeye hak kazanmış olur.
3. Son metot ise sıralama seçimidir. Bu metotta uyum değeri iyi olan çözümler çaprazlamaya hak kazanmış olur. [Koza 1992][16]

Çaprazlama ile yeni bireyler elde edilmesinde izlenen yöntem, birinci ebeveynin çaprazlama bölümünü alıp, ikinci ebeveyne eklenmesidir. Simetrisi olarak ikinci birey yaratılır. Örneğin aşağıda verilen iki S-expression ve onların ağaç yapısında çaprazlama işlemi gözükmektedir.



$$x + \frac{2}{y+3} \cdot (x-2)$$

$$(x - (x \cdot 3)) \cdot (y \cdot y)$$

$$x + (y \cdot y) \cdot (x-2)$$

$$(x - (x \cdot 3)) \cdot \frac{2}{y+3}$$

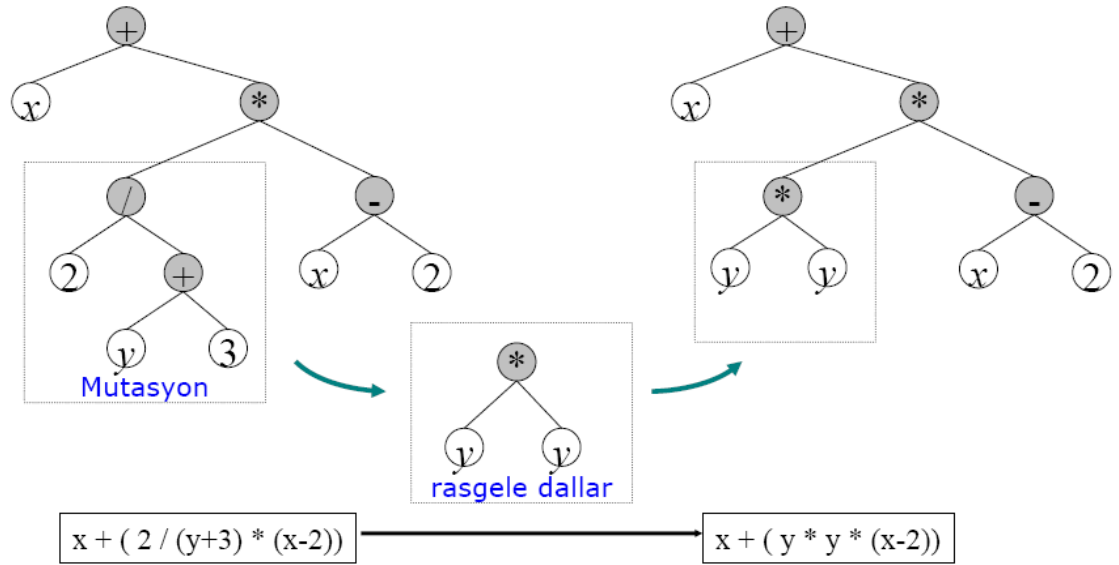
Şekil 3.5 GP çaprazlama operasyonu

Genetik programlama, genetik alitmadan daha farklı ve üstün olarak aynı bireyi çaprazlayarak iki tane yeni döl meydana getirebilmektedir. Yukarıdaki örnek bu durumu simüle etmek için gösterilmiştir.

### 3.9 Mutasyon

Mutasyon genetik programlamanın bir başka önemli özelliğidir. İki tip mutasyon vardır.

1. Birinci tip mutasyonda bir fonksiyon ya da terminal sadece bir terminal ile yer değiştirebilir.
2. İkinci tipte ise alt ağaçlar başka bir alt ağacın yerini alabilir



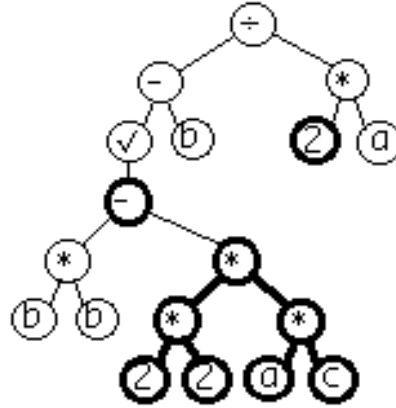
Şekil 3.6 GP mutasyon operasyonu



## MUTASYON

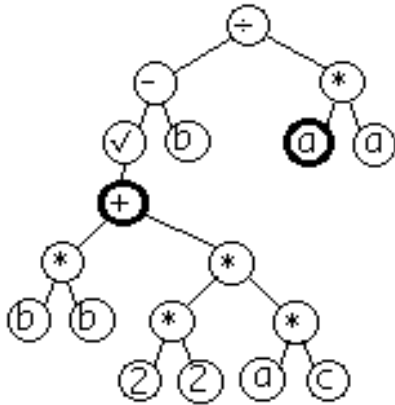
### Original Birey

$$(\text{Sqrt}((b*b)-((2*2)*(a*c))))-b)+(2*a)$$

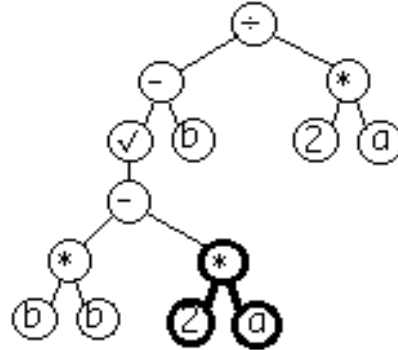


### Mutasyon Sonrası Oluşan Bireyler

$$(\text{Sqrt}((b*b)+((2*2)*(a*c))))-b)+(a*a)$$



$$(\text{Sqrt}((b*b)-(2*a))-b) + (2*a)$$



Şekil 3.7 GP Mutasyon operasyonu

### **3.10 Genetik Programların Avantajları**

Genetik programlama genetik algoritmaya göre çok daha güçlüdür. Genetik algoritmada sonuç bir nicelik iken, programlamada sonuç bir programdır. Bu da bilgisayar programlarının kendini programlaması olarak özetlenebilir.

Genetik programlama birçok farklı problemde kullanılabilir. Birinci tür olarak kesin sonucu olmayan problemlerde genetik programlamaya başvurulabilir. Örneğin araba sürme programını ele alırsak, bu problemde bir tane çözüm yoktur. Bazı çözümler çok zaman harcıyıp güvenli sürüşü seçerken, bazıları ise hızlı ama güvensiz bir sürüşü benimseyebilir. Bu durumda araba sürmek basitçe güvenlik ve hız arasındaki ilişki olarak düşünülebilir.(Tabii ki başka değişkenler de eklenebilir)

Bir problemde genetik programlama birçok sayıdaki değişkeni birleştirerek çözüme ulaşabilir.

Genetik programlamanın bir diğer avantajı sürekli değişen değişkenler içinde çözüm kümesi oluşturabilmesidir. Araba örneğinde düz yol için bir sonuç bulan program, yer yer asfaltlanmamış bir yol için birden çok çözüm bulabilir.

## BÖLÜM 4

### 4. GENETİK PROGRAMLAMA İLE FONKSİYON TAHMİNİ

Eğri fonksiyonunu bulmak matematikteki zorlu problemlerden biridir.[17] Bu problemlerin genel çözümü olabilecek fonksiyonu tahmin etmek ve sonrasında parametreleri bulmaktır. Genetik programlama ise fonksiyonu önceden tahmin etmek zorunda değildir. GP fonksiyonu ve parametrelerini beraber bulmaya çalışır.[18,19] Programa matematiksel operasyonlar(+,-,sin, log vb) ve X değişkeni tanıtır. Sonra GP popülasyon üretip her birey için uyum değerini hesaplar.[18,19,21] Tasarım eniyilemesi için yakınsama modeli GP yöntemini ile gerçekleştirilmiştir.[11] Yeni jenerasyonlar üreterek en iyi sonucu çözüm olarak ortaya koyar. Aşağıda geliştirilen genetik programlama ile yapılmış iki örnek görülmektedir.

#### Örnek 1:

0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.3	0.4	0.55	0.63	0.71	0.77	0.84	0.89	0.95	1.0

*Tablo 4.1 Birinci Örnek Veri Grubu*

Aşağıda verilerin grafik çıktısı görülmektedir. Programda terminal(değişken) olarak X,fonksiyon olarak ise dört matematiksel işlem(+,-,\*/ ) ve karekök() işlemleri kullanılmıştır.

Uyumluluk fonksiyonu olarak ise  $F=1/(\text{popülasyon uyumu} +1)$  kullanılmıştır.)Popülasyon uyumu, popülasyondaki her bireyin uyumlarının toplamıdır. Birey uyumu ise programın ürettiği fonksiyonunun sonucu ile gerçek sonuç arasındaki fark olarak belirlenmiştir. Buna göre;

$$\text{Birey Uyumu} = | \text{programın ürettiği sonuç} - \text{gerçek sonuç} |$$

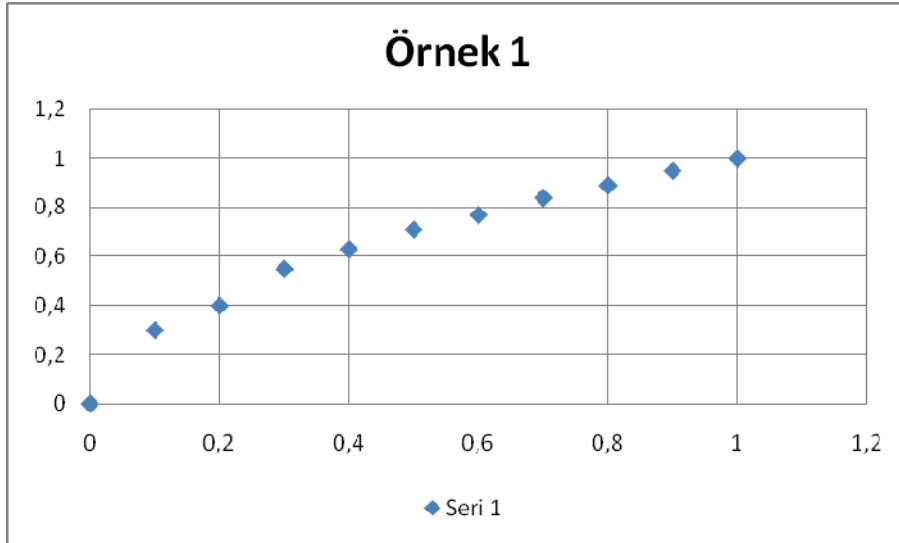
### Popülasyon Uyumu

*For(int i=0;i<bireySayisi;i++)*

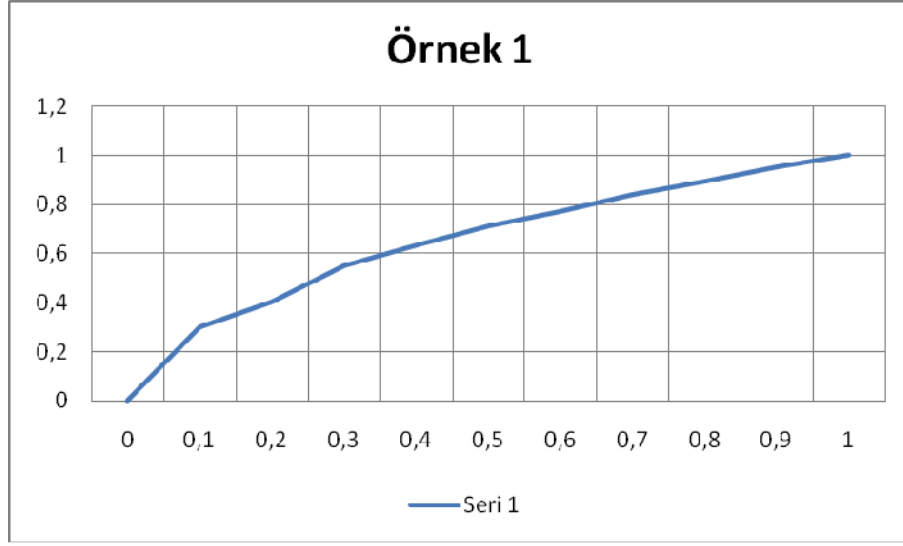
*populasyonUyumu= populasyonUyumu+bireyUyumu[i]*

$$\text{Uyumluluk Fonksiyonu} = 1 / (\text{populasyonUyumu} + 1)$$

Bu fonksiyonlar incelendiğinde, birey uyumunun sıfır(0)'a yaklaşması programın ürettiği sonucun başarılı olduğu anlamına gelmektedir. Fakat popülasyondaki tek bireyde bu sonuca ulaşmak programın doğru bir sonuç verdiği anlamına gelmez. Bunun için popülasyondaki bireylerin uyum değerleri toplanır ve popülasyon uyumu elde edilmiş olur. Uyumluluk fonksiyonunda (*populasyonUyumu+1*) gibi bir ifade kullanılmasının sebebi, programın doğru fonksiyonu bulması durumunda birey uyumlarının; dolayısıyla da popülasyon uyumunun değerinin sıfır(0) olması ve sıfıra bölmenin tanımsız olmasıdır. Bu yüzden bu değere bir(1) eklenmiş ve bir(1) bu değere bölünmüştür. Böylece uyumluluk fonksiyonu 1'e yaklaştıkça(1/1 olma durumu) programın bulunduğu fonksiyonun doğruluğu artmaktadır.

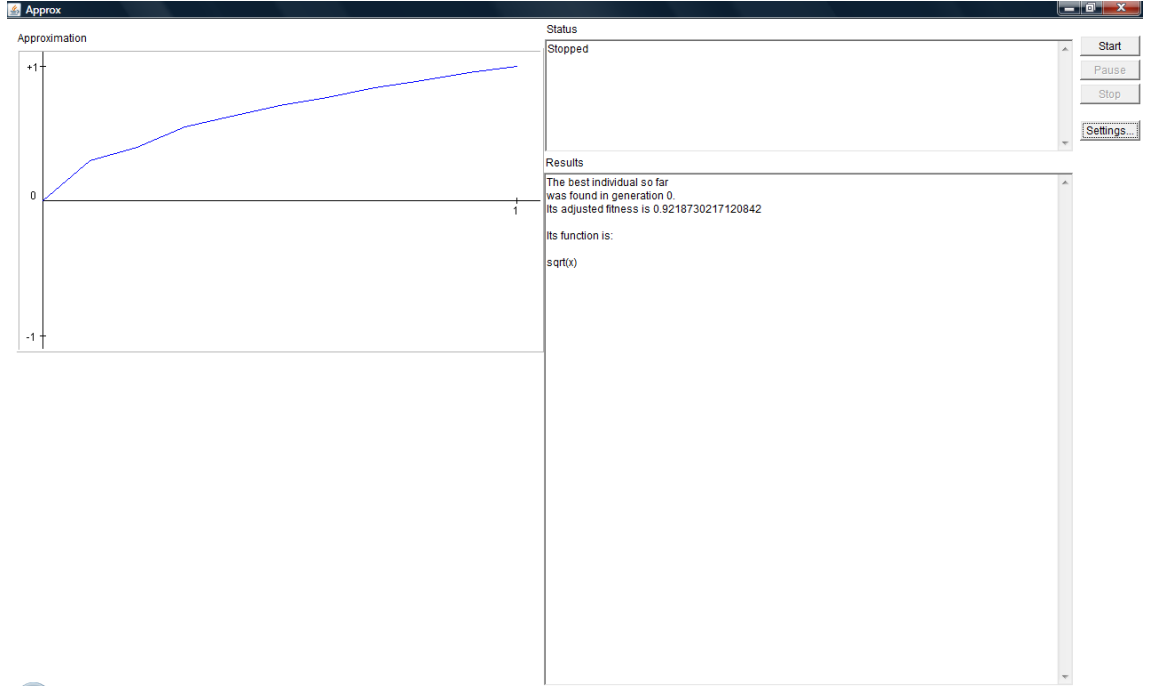


Şekil 4.1 Birinci örnek veri grubunun grafiği



Şekil 4.2 Birinci örnek veri grubunun grafiği

#### Program Çıktısı:



Şekil 4.3 Birinci örnek veri grubuna göre yazılımın çıktısı

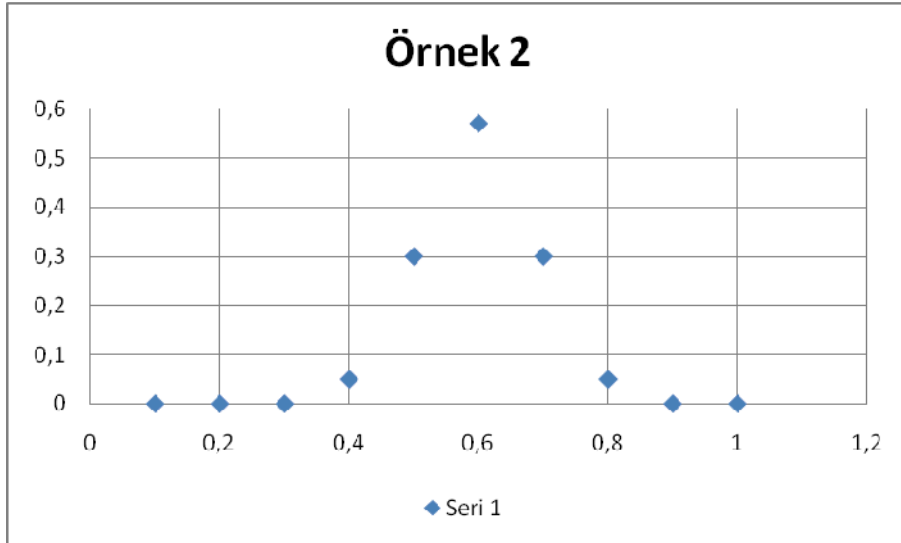
Program 1200 jenerasyon ve her jenerasyonda 100 birey ile çalıştırılmıştır. Yukarıdaki program çıktısında da görüldüğü gibi, program 0,9218 gibi bir uyum değeri oranıyla fonksiyonun karekök(X) olduğuna karar vermiştir. Ayrıca grafikten de anlaşılacağı gibi karekök(X) verilen noktaların hepsinden geçmektedir. Böylece karekök(X) doğru fonksiyon olarak kabul edilebilir.

### Örnek 2:

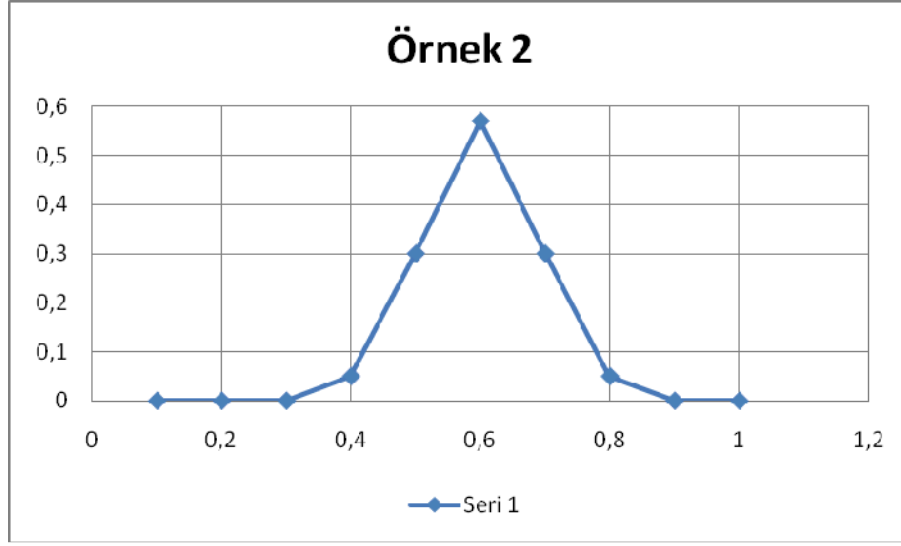
0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0	0.0	0.0	0.05	0.3	0.57	0.3	0.05	0.0	0.0	0.0

Tablo 4.2 İkinci Örnek Veri Grubu

Bu örnekte de Örnek1 de olduğu gibi dört işlem ve karekök ayrıca terminal olarak da X değişkeni kullanılmıştır.

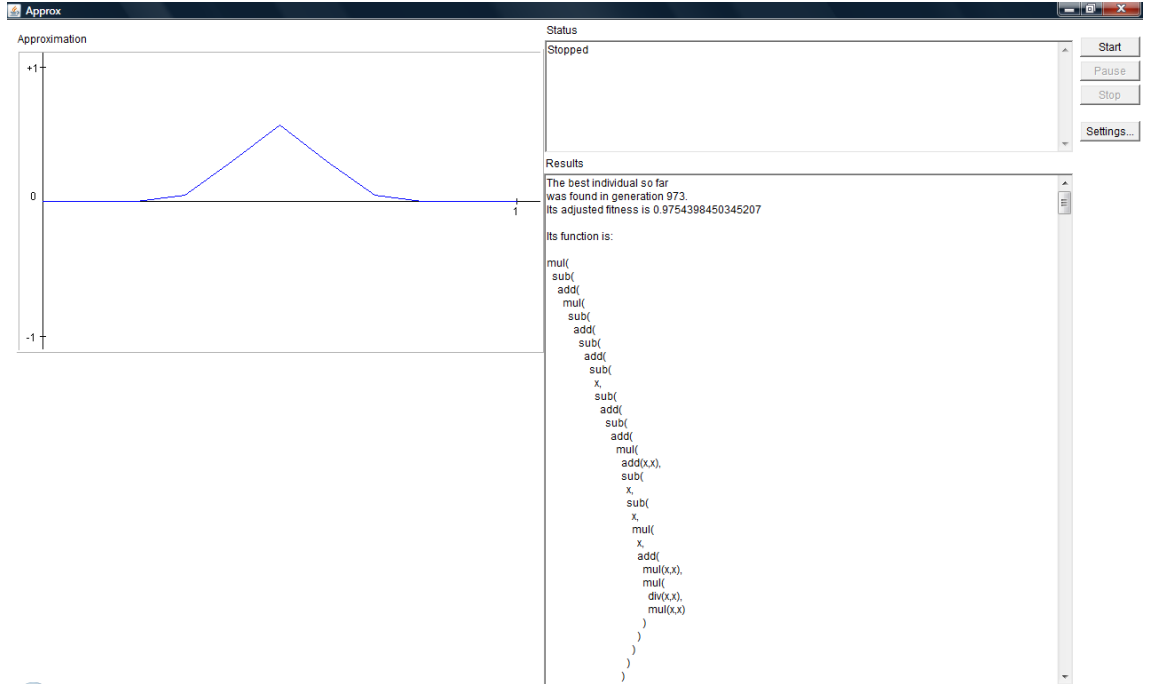


Şekil 4.4 İkinci örnek veri grubunun grafiği



Şekil 4.5 İkinci örnek veri grubunun grafiği

**Program Çıktısı:**



Şekil 4.6 İkinci örnek veri grubuna göre yazılımın çıktısı

Bu sefer program çıktısından da görebileceğiniz gibi 0,9754398450345207 gibi bir uyum değeri ile program sona ermiş ve yine grafikten de görülebileceği gibi belirtilen her noktadan geçen bir fonksiyon çizilmiştir. Bu durumda fonksiyon programın çıktısında verilen fonksiyon olarak kabul edilebilir.



## BÖLÜM 5

### 5.DENEYSEL VERİLER, BENZETİM TESTLERİ VE GENETİK PROGRAMLAMA TESTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu tezde deneysel verilere dayanılarak ekzantirik dairesel borulardaki basınç düşmesi ve buna bağlı fonksiyon bulunmaya çalışılmıştır. Deneysel veriler Pereria et.[1] kaynağından alınmıştır.

Daha önce yapılan deneylerde Non-Newtonian sıvı besinler(ketçap, mayonez gibi) kullanılmıştır[2,6,12].Deneylerde yapay sinir ağları metodu kullanılarak sıvı besinlerdeki basınç düşümü araştırılmış ve ayrıntıları aşağıdaki gibidir.

İncelenen deneylerde yapay sinir ağlarını eğitmek için geri yayılım algoritması Ward ağları ve genellenmiş gerilemeli yapay sinir ağları olarak tanımlanan üç metot kullanmışlardır. Problemin eğitimi sırasında, verileri eğitim, test ve üretim olarak parçalara ayırarak sistemin problemi ezberlemesi engellenmeye çalışılmıştır. Böylece girdi ve çıktılar arasındaki ilişkileri öğrenen sistem ayrı bir veri grubuyla testlerini yapmaktadır. Eldeki 479 verinin %70'i eğitim,%15'i test ve %15'i üretim için kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları incelendiğinde yapay sinir ağlarının ketçap ve %60'lık şeker çözeltisinde basınç düşümünü deneysel verilere olabildiğince yakın sonuçlarla tahmin etmiş olsalar da, mayonez kullanıldığında çok büyük bir farkla sonuca yaklaşamadığı gözlenmiştir. Bu da basınç düşümünde sıvının türünün ve akışkanlığının etkisi olduğu sonucuna ulaşmalarını sağlamıştır. Ayrıca akışkanlığı az olan verilerde yapay sinir ağları deneylerinin başarı oranının düşüklüğü de ispatlanmış olmuştur.

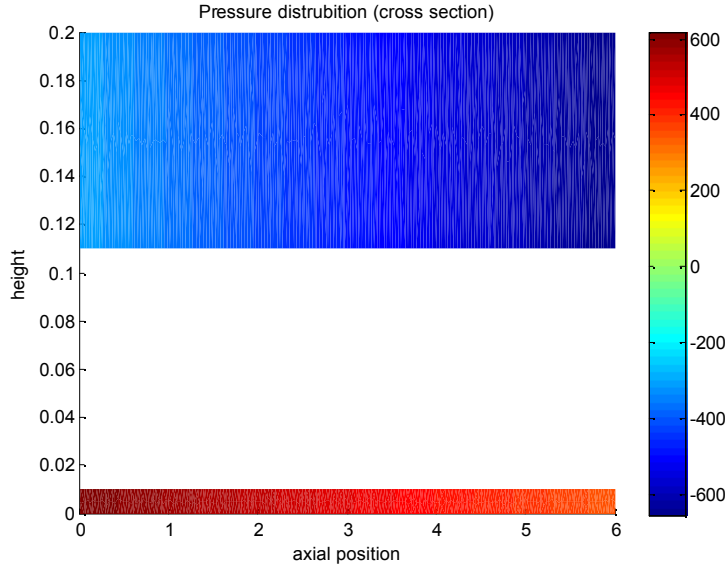
Ayrıca geçmiş dönemlerde genetik algoritma ve genetik programlama ile yapılan fonksiyon ve eğri tahmini deneyleri incelenmiştir. Bu deneylerde basit fonksiyonlarda(sadece matematiksel dört işlemi içeren) sistemin başarıyla çalıştığı

lakin daha karmaşık fonksiyonlarda sistemlerin %50 ile %70 arası bir başarıya ulaştığı gözlenmektedir.

Bu tez için ilk olarak deneysel verilerden alınan aynı parametreler kullanarak CFD simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Simülasyon aşağıdaki Navier-Stokes denklemi tarafından kontrol edilmektedir:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t}(x,t) + (u \cdot \nabla u)(x,t) \right) = -\nabla p(x,t) + (\nabla \cdot \tau)(x,t) + F(x,t) \quad (5.1)$$

Burada  $u$  hız, vektörü,  $p$  basınç,  $\rho$  yoğunluk,  $\tau$  stresi,  $F$  vücut kuvvetini,  $x$  uzaysal değişkeni ve  $t$  geçici değişkendir. Aşağıdaki figürde ekzantrikliği 0.8 ve içindeki sıvının hızı 0.609 olan bir borudaki açısall pozisyonlara göre basınç düşümü görünmektedir. Şekilden anlaşılabilceği için borunun sol tarafında (yani sıvının girdiği tarafta) basınç daha yüksek, açısall değişimlere göre basınç düşmekte ve en sağ da minimum değerine ulaşmaktadır. Buna basınç düşümü (pressure drop  $\Delta P$ ) adı verilir ve bizim bu tezde bulmak istediğimiz değerdir.



Şekil 5.1 Ekzantrikliği 0.8, hızı 0.609 sıvının bir borudaki açısall pozisyona göre basınç düşümü

Aynı veriler ile hem Matlab CFD simülasyonu hem de genetik programlama test edilmiştir.

Deneyisel veriler aşağıdaki değişkenleri içermektedir:

- Sıvı akışkanlığı (Fluid viscosity) ( $\mu$ )
- Eksantriklik (Eccentricity) ( $e$ )
- Başlangıç akış hızı (Initial flow velocity) ( $v$ )
- Eksen pozisyonu (Axial position) ( $l$ )

Deneylerde iki farklı tür sıvı; farklı açılal hızlar ve farklı ilk hızlar kullanılmıştır.

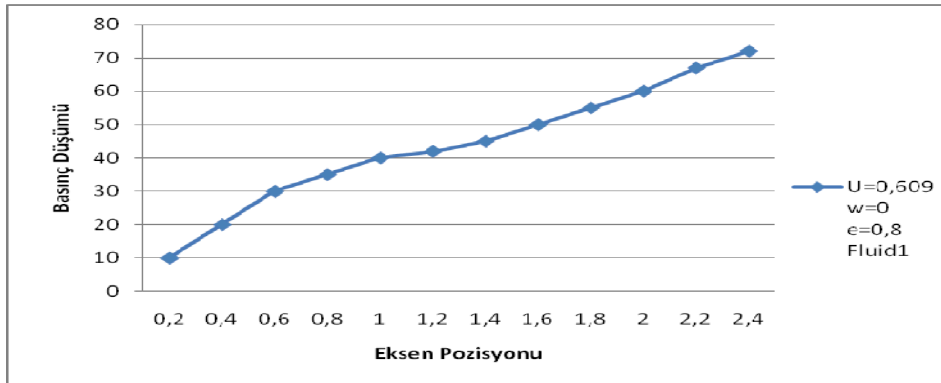
Birinci deneyimizde eksantrikliği 0,8 ve içindeki sıvının hızı 0.609m/sn ve açılal hızı 0,0 rad/sn olan bir borudaki açılal pozisyonlara göre basınç düşümü görünmektedir.

### 1. Veri Grubu

$U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1. Sıvı Türü

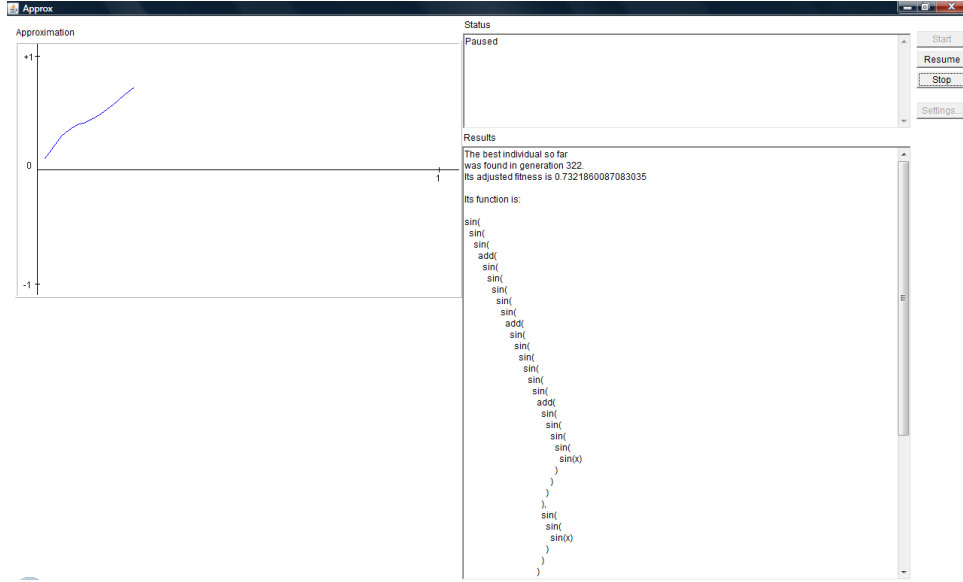
Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	10	20	30	35	40	42	45	50	55	60	67	72

Tablo 5.1  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1. Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.2  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1. Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği

Bu veriler için programı çalıştırdığımızda dört işlem ve karekök işleminin yanı sıra sin, cos, log gibi matematiksel işlemlerde fonksiyon olarak programa eklenmiştir. Bu verileri genetik programlamaya girdi olarak verdiğimizde çıkan sonuca bakıldığında 322. Jenerasyonda uyum değerinin 0,73218608 olduğu görünmektedir. Bu değer her ne kadar sonuca çok uzak görünse de sonsuz uzay kümesinde %70'lık bir başarı olarak algılanabilir.



Şekil 5.3  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

DeneySEL Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
10	9,901297	0,098703
20	19,24271	0,757287
30	27,60651	2,393494
35	34,78609	0,213905
40	40,7677	0,767698
42	45,66328	3,663284
45	49,6407	4,640701
50	52,87479	2,874791
55	55,52194	0,521938
60	57,71117	2,288834
67	59,54418	7,455821
72	61,09914	10,90086

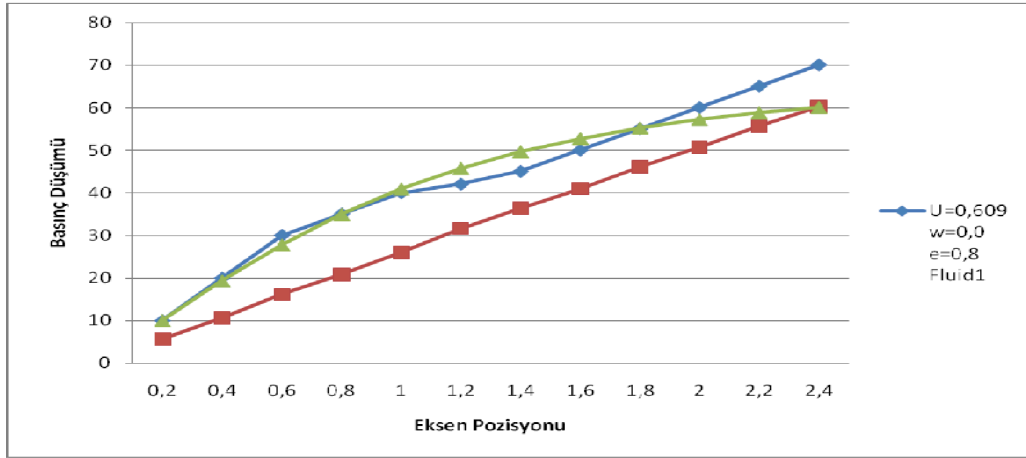
Tablo 5.2  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

Aynı deneysel verilerini CFD için yazılmış olan bir simülasyon programına soktuğumuzda ise aşağıdaki sonuçları elde edilmiştir.

Deneysel Basınç Düşümü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
10	5,610804	4,389196
20	10,627682	9,372318
30	16,102877	13,897123
35	20,73058	14,26942
40	25,958115	14,041885
42	31,618718	10,381282
45	36,320512	8,679488
50	40,978833	9,021167
55	46,126794	8,873206
60	50,677191	9,322809
67	55,664808	11,335192
72	60,25228	11,74772

Tablo 5.3  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

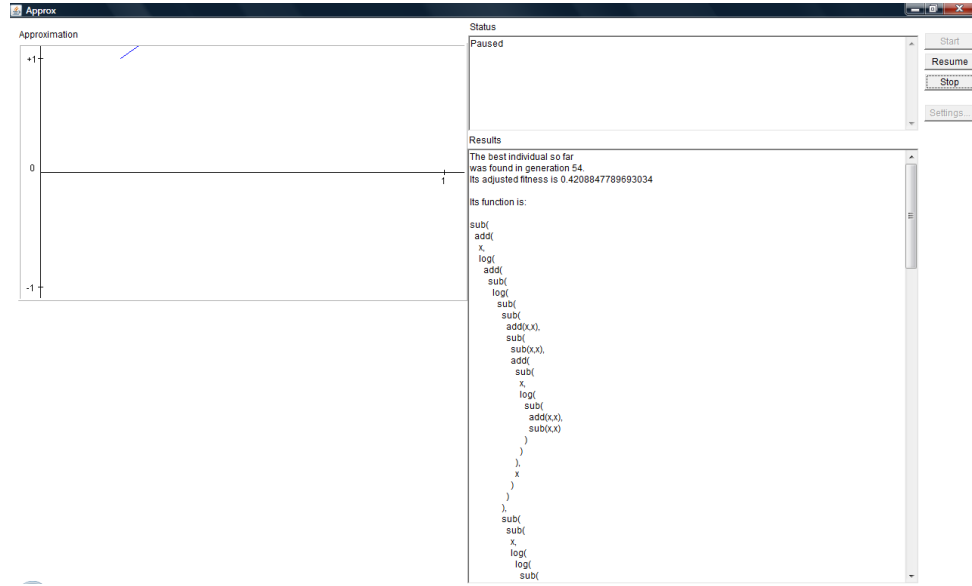
Bu sonuçları grafiksel olarak karşılaştırmak gerekir ise:



Şekil 5.4  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

Yukarıdaki grafik incelendiğinde simülasyon sonuçları ve genetik programlama sonuçlarının birbirlerine yakın değerler olduğu gözükmemektedir. CFD düzgün doğrusal bir sonuca ulaşırken GP daha sinusoidal bir sonuç vermiştir.

Genetik programlamanın bu çıktıya ulaşana kadar ürettiği bir jenerasyonun çıktısı aşağıda görünmektedir.



Şekil 5.5  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün programda ürettiği örnek bir jenerasyon çıktısı

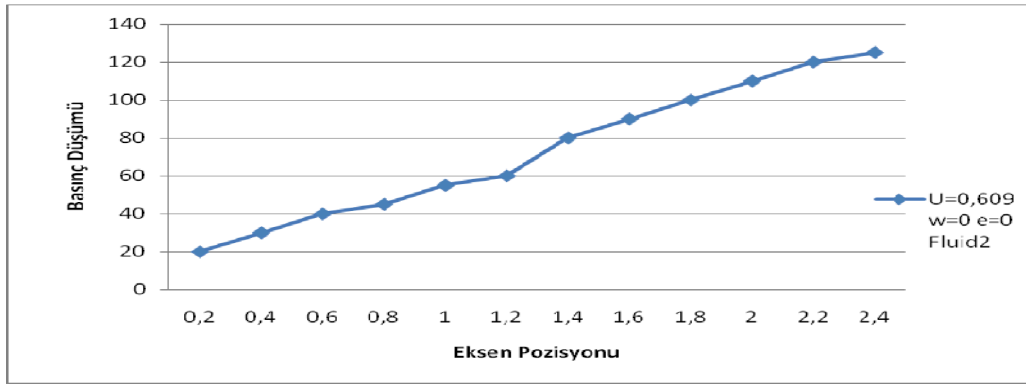
Yukarıdaki figürlerde de görülebileceği gibi GP her jenerasyonda kendini yenilemiş ve en iyi bireylerini çaprazlama, mutasyon gibi operasyonlara sokarak en güçlü jenerasyonu yaratmayı başarmıştır. Bu bilgilerden de anlaşılabilceği gibi programın jenerasyon ve her jenerasyondaki birey sayısının artırılması ile daha başarılı sonuçlara ulaşılabilir. Lakin bu sonuca ulaşmak için daha güçlü bilgisayarların kullanılması gerektiği aşikârdır.

## 2. Veri Grubu

$U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türü

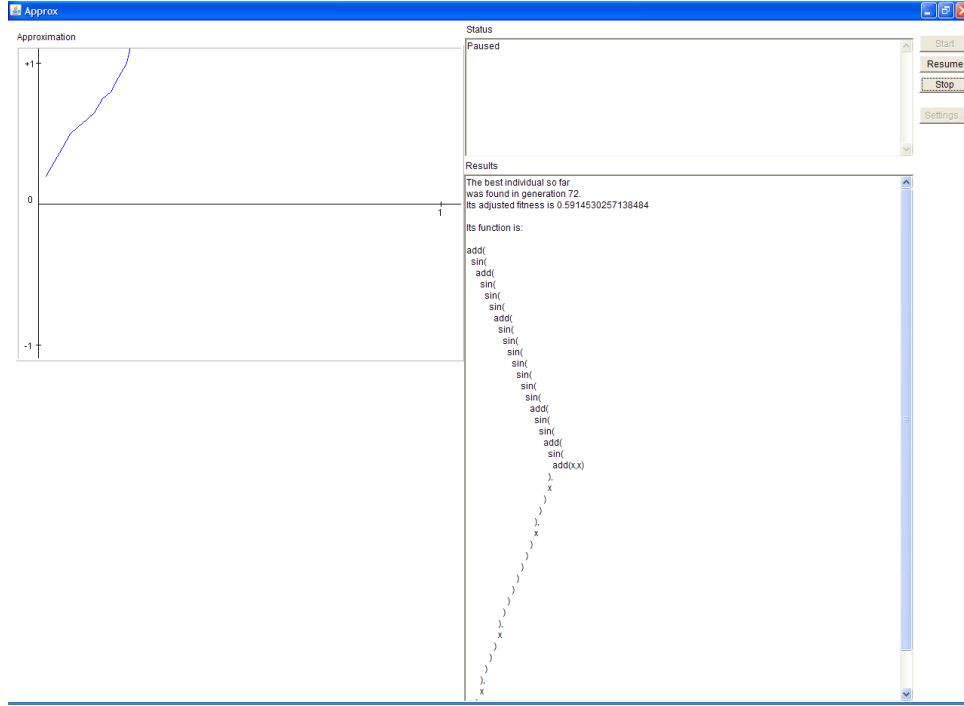
Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	20	30	40	50	55	60	65	75	80	90	100	125

Tablo 5.4  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.6  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği

Bu veriler için programı daha önceki örnekte olduğu gibi matematiksel dört işlem ve sin, cos, log, exp fonksiyonlarıyla çalıştırılmıştır. Deneysel verileri genetik programlamaya girdi olarak verdiğimizde çıkan sonuca bakıldığında 72. Jenerasyonda uyum değerinin 0,5914 olduğu görünmektedir.



Şekil 5.7  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
20	13,85609	6,143908
30	26,91266	3,087342
40	38,63809	1,361906
50	48,85807	1,141933
55	57,66905	2,669047
60	65,29652	5,296518
65	71,98817	6,988172
75	77,96116	2,961159
80	83,38679	3,386789
90	88,39314	1,606863
100	93,07347	6,926526
125	97,49503	27,50497

Tablo 5.5  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

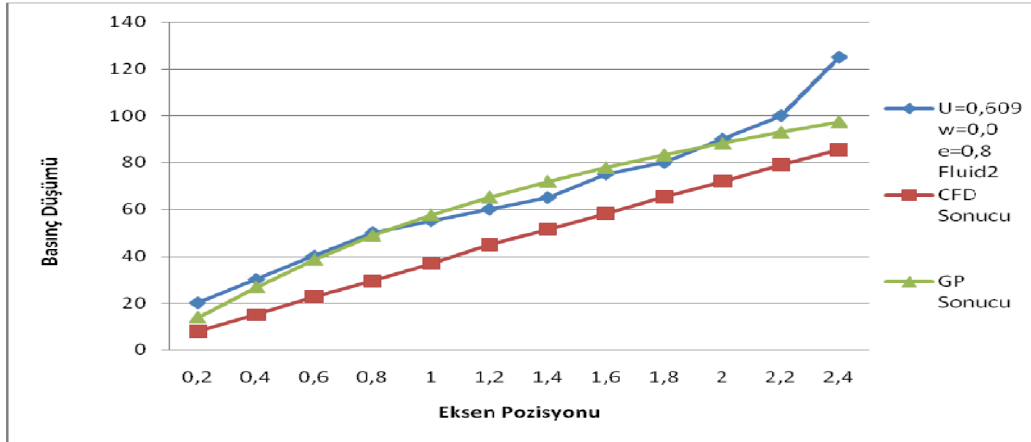
Aynı deneysel verilerini CFD için yazılmış olan bir simülasyon programına soktuğumuzda ise aşağıdaki sonuçları elde edilmiştir.



DeneySEL Basınç Düşümü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
20	7,963568	12,036432
30	15,098787	14,901213
40	22,87212	17,12788
50	29,441452	20,558548
55	36,860521	18,139479
60	44,905855	15,094145
65	51,58178	13,41822
75	58,200303	16,799697
80	65,517041	14,482959
90	71,988445	18,011555
100	79,072599	20,927401
125	85,584037	39,415963

Tablo 5.6  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

Bu sonuçları grafiksel olarak karşılaştırmak gerekir ise:



Şekil 5.8  $U=0,609$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

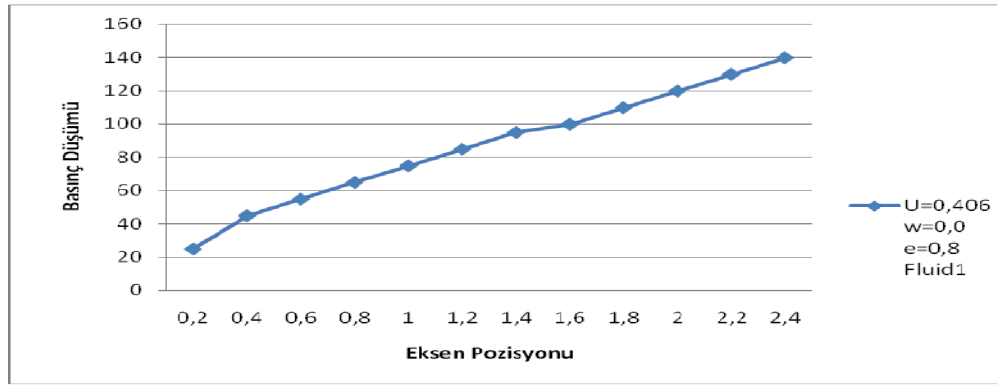
Yukarıdaki grafik incelendiğinde ilk örnekteki benzer sonuçlar ortaya çıktığı görülmektedir.

### 3. Veri Grubu

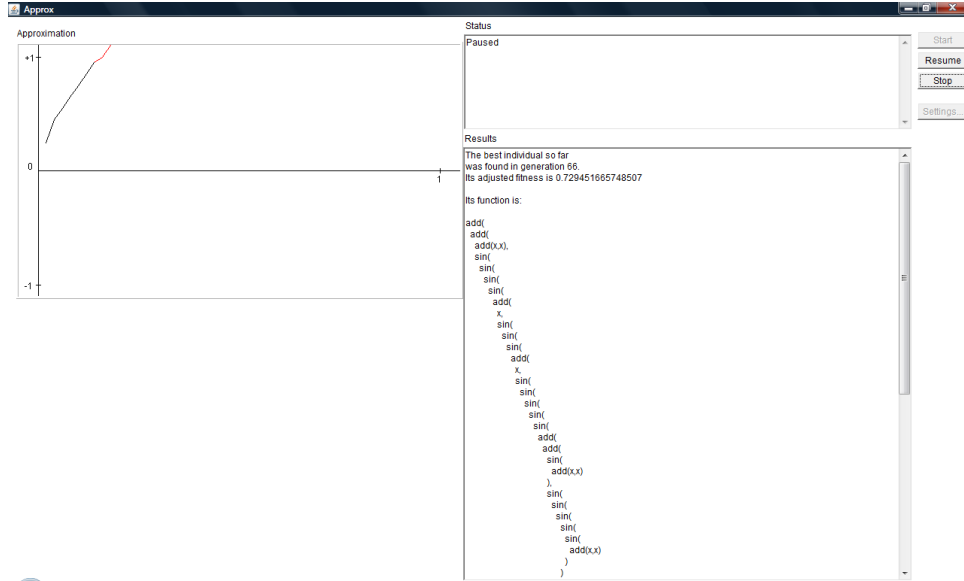
$U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Basınç Düşümü	25	45	55	50	70	80	95	100	110	120	130	140

Tablo 5.7  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.9  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.10  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
25	19,66343	5,336567
45	37,55699	7,443009
55	52,84365	2,156353
65	65,64128	0,641281
75	76,50044	1,50044
85	85,99372	0,993717
95	94,56418	0,435817
100	102,5167	2,516734
110	110,0515	0,051462
120	117,2978	2,702176
130	124,3398	5,66023
140	131,2323	8,767679

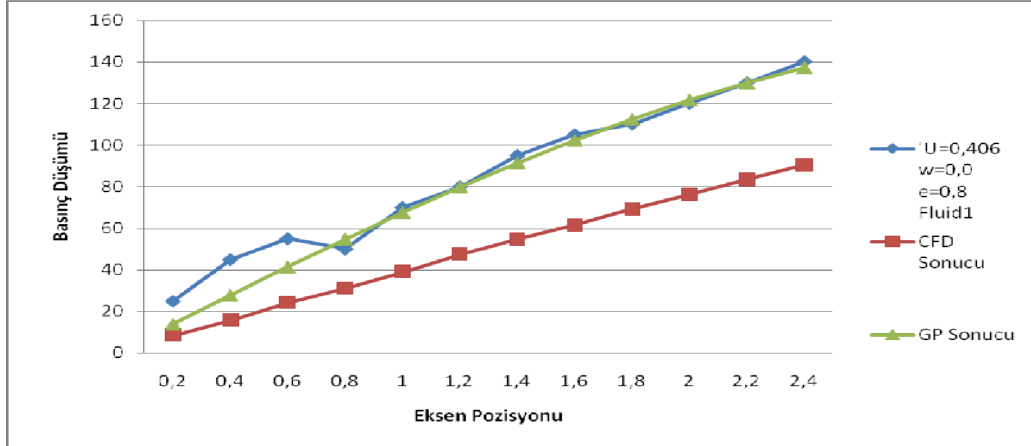
Tablo 5.8  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

Deneysel Basınç Düşümü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
25	8,456592	16,543408
45	15,934665	29,065335
55	24,175607	30,824393
50	31,145837	18,854163
70	39,029356	30,970644
80	47,497469	32,502531
95	54,567698	40,432302
105	61,550652	43,449348
110	69,25207	40,74793
120	76,035188	43,964812
130	83,525497	46,474503
140	90,435506	49,564494

Tablo 5.9  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



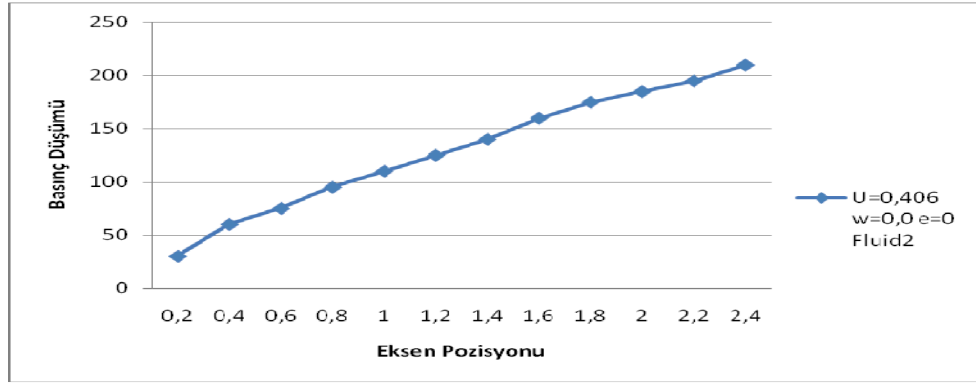
Şekil 5.11  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

#### 4. Veri Grubu

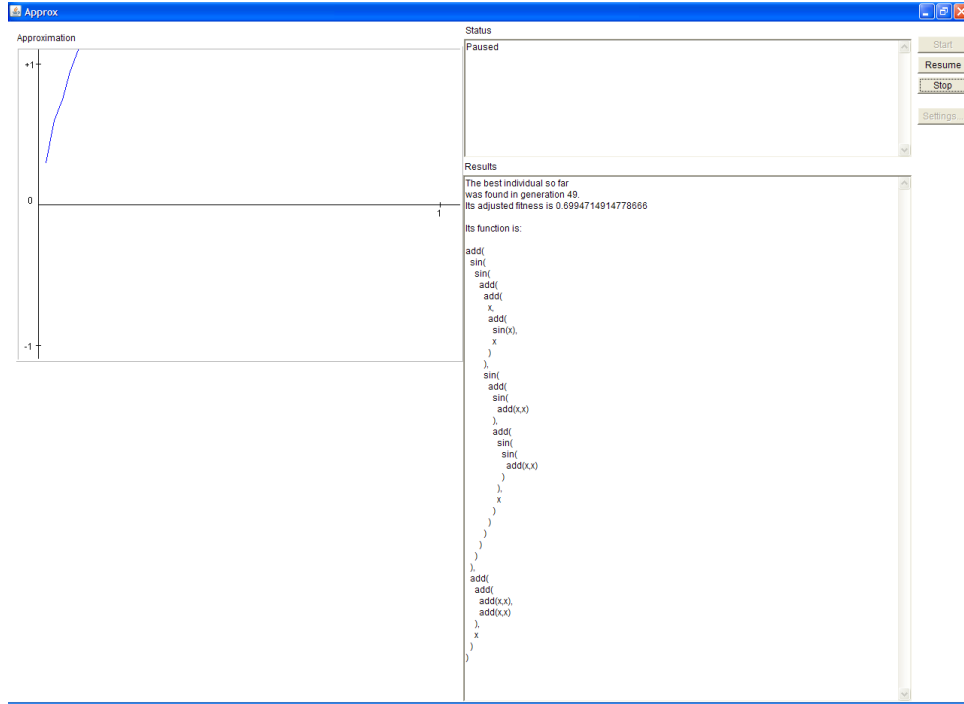
$U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Basınç Düşümü	30	60	75	95	110	125	140	160	175	185	195	210

Tablo 5.10  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.12  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.13  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

### GP Sonucu:

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
30	25,9075	4,092499
60	51,27027	8,729735
75	75,59313	0,593134
95	98,47248	3,472479
110	119,6247	9,624659
125	138,898	13,89802
140	156,2688	16,26878
160	171,8237	11,82373
175	185,7347	10,73467
185	198,2293	13,22935
195	209,5634	14,56343
210	219,9966	9,996583

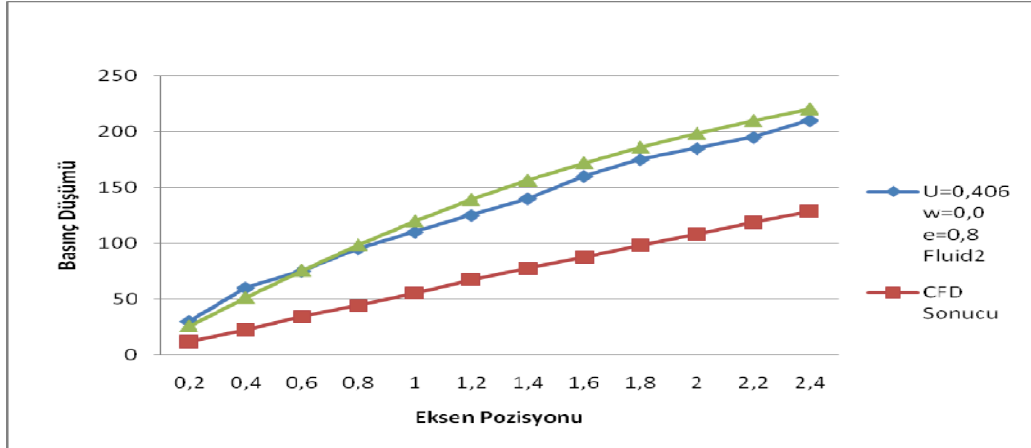
Tablo 5.11  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

DeneySEL Basınc Düşümü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
30	12,023043	17,976957
60	22,710319	37,289681
75	34,433749	40,566251
95	44,346118	50,653882
110	55,550833	54,449167
125	67,632566	57,367434
140	77,695946	62,304054
160	87,648871	72,351129
175	98,636502	76,363498
185	108,330786	76,669214
195	118,99739	76,00261
210	128,825132	81,174868

Tablo 5.12  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



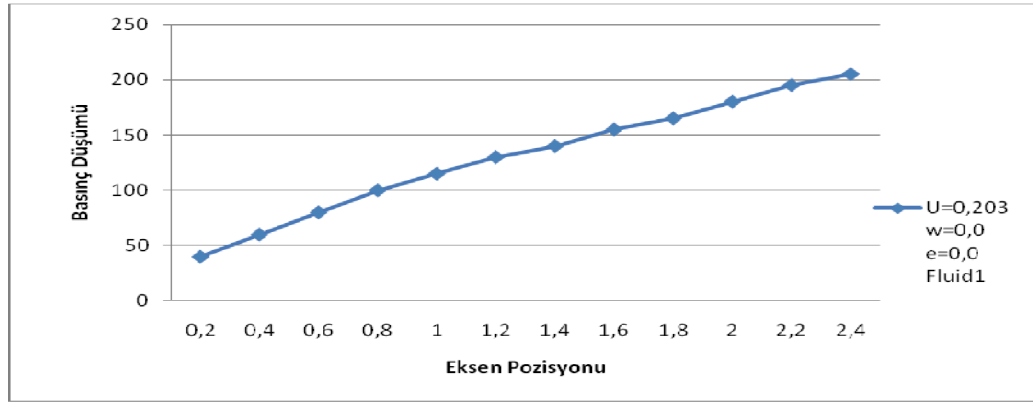
Şekil 5.14  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

## 5. Veri Grubu

$U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türü

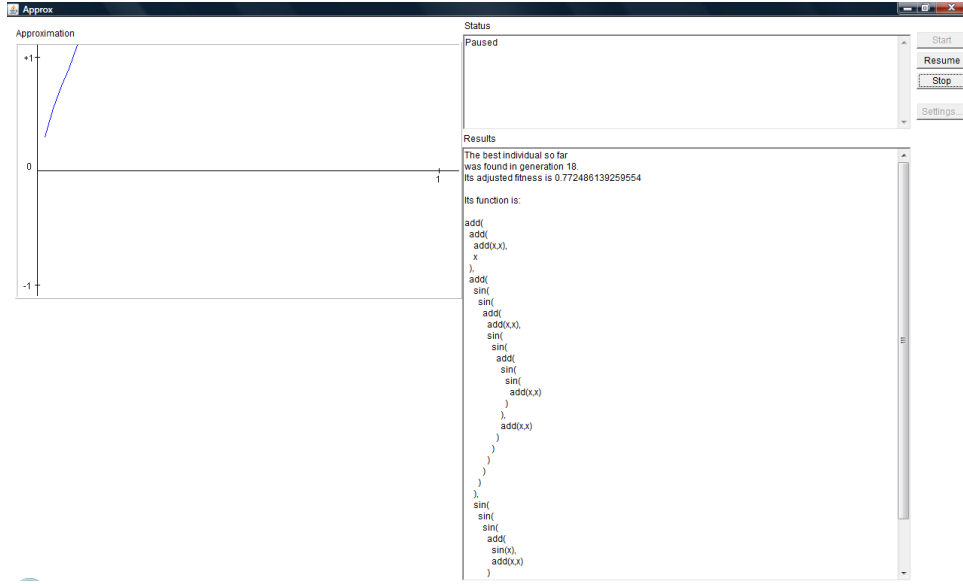
Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	30	55	75	90	110	125	145	160	175	185	200	210

Tablo 5.13  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.15  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği





Şekil 5.16  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
30	23,94129	6,058706
55	47,53573	7,464266
75	70,46246	4,537543
90	92,44858	2,448577
110	113,2842	3,28416
125	132,8288	7,828801
145	151,0102	6,010158
160	167,8162	7,816155
175	183,2833	8,283265
185	197,4833	12,48329
200	210,5106	10,5106
210	222,4712	12,47121

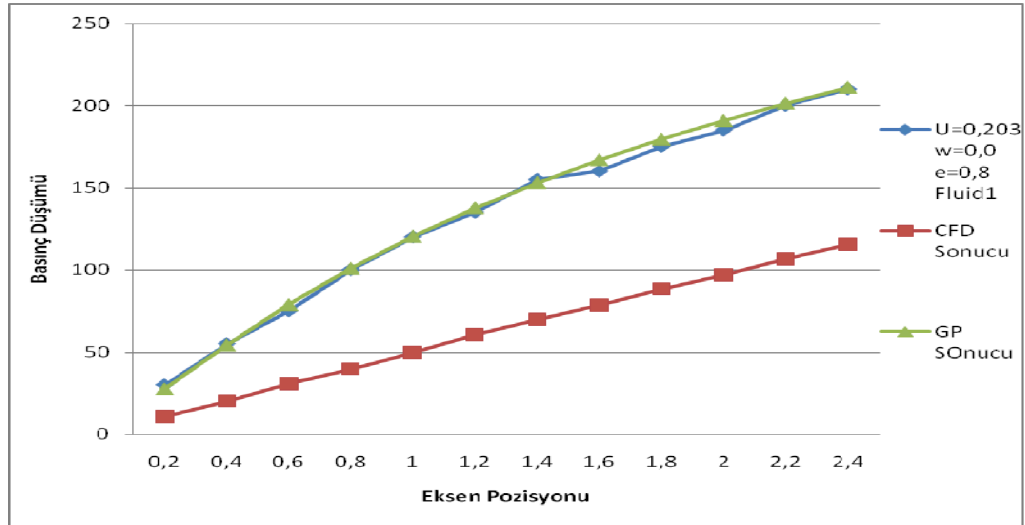
Tablo 5.14  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

Deneysel Basınc Düşümü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
30	10,860427	19,139573
55	20,345262	34,654738
75	30,918427	44,081573
100	39,869371	60,130629
120	50,006789	69,993211
135	60,789435	74,210565
155	69,840383	85,159617
160	78,757554	81,242446
175	88,567156	86,432844
185	97,16677	87,83323
200	106,75342	93,246579
210	115,6159	94,384104

Tablo 5.15 14  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



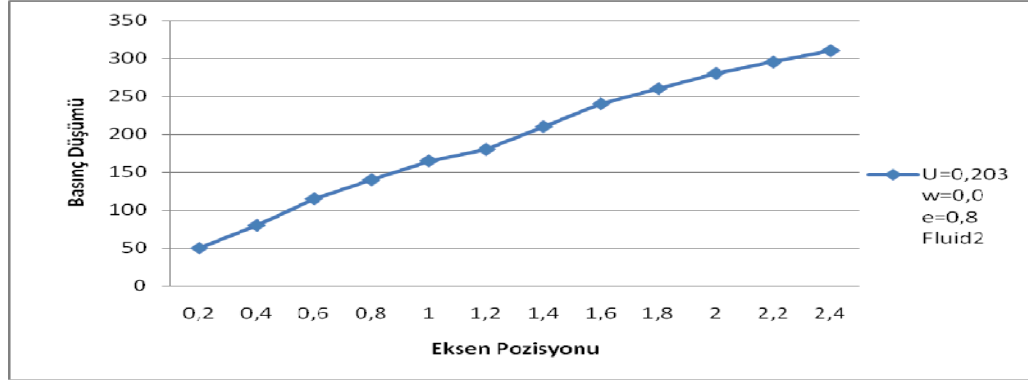
Şekil 5.17  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

## 6. Veri Grubu:

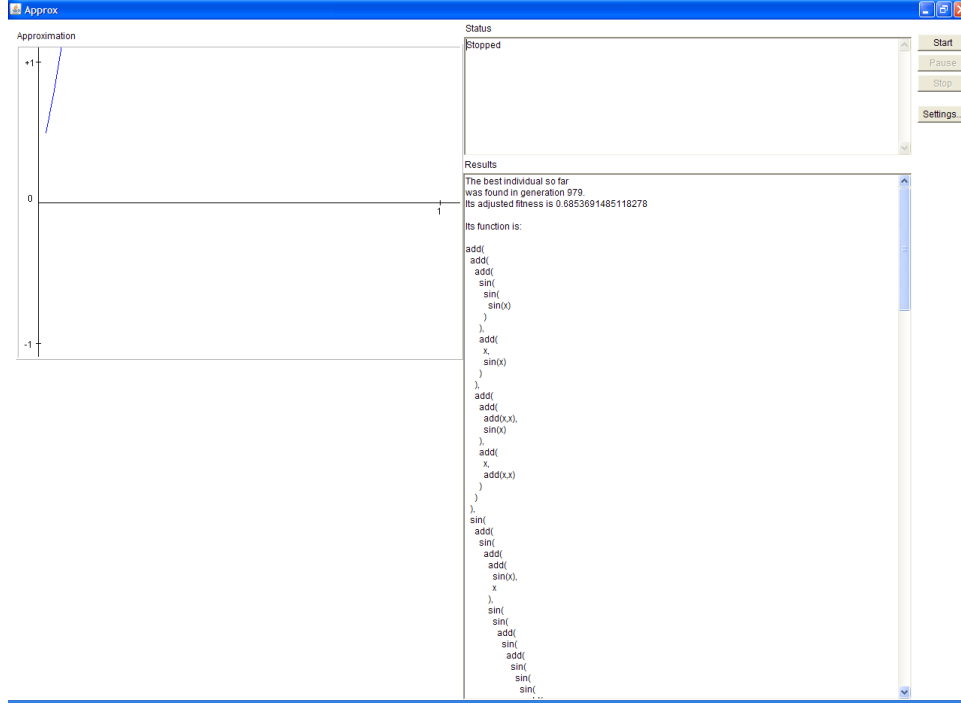
$U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	50	80	115	140	165	180	210	240	260	280	295	310

Tablo 5.16  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.18  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.19  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

### GP Sonucu:

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
50	35,88473	14,11527
80	71,08871	8,911285
115	104,9842	10,01575
140	137,043	2,957031
165	166,8701	1,870103
180	194,2232	14,22316
210	219,0144	9,014383
240	241,2985	1,298477
260	261,2492	1,24915
280	279,1288	0,87121
295	295,2559	0,255856
310	309,9739	0,026143

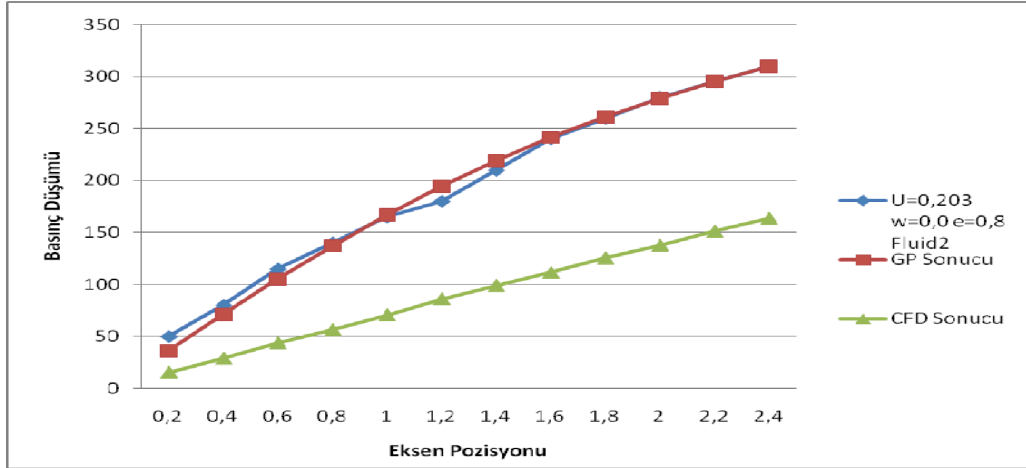
Tablo 5.17  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

Deneysel Basınc Düşümü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
50	15,34001	34,659989
80	28,84955	51,150452
115	43,79241	71,207589
140	56,43473	83,565268
165	70,73979	94,260208
180	86,05817	93,941834
210	98,87103	111,12897
240	111,5135	128,48654
260	125,4455	134,55449
280	137,6986	142,30144
295	151,2694	143,73056
310	163,7994	146,20057

Tablo 5.18  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



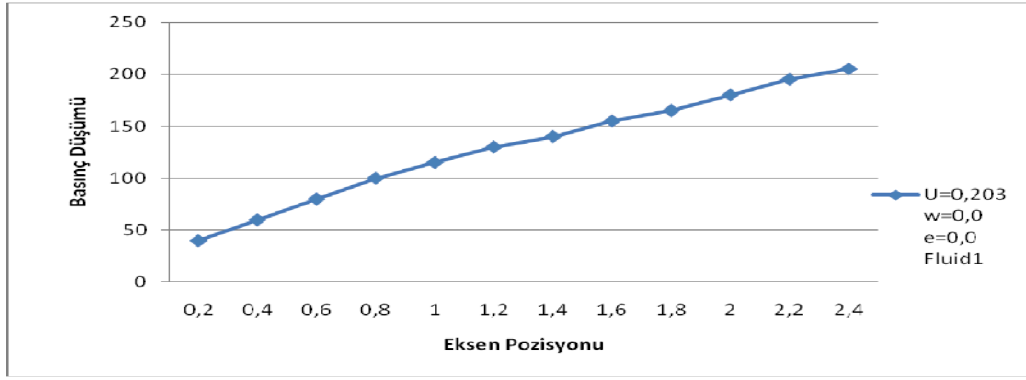
Şekil 5.20  $U=0,203$   $w=0,0$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

## 7. Veri Grubu

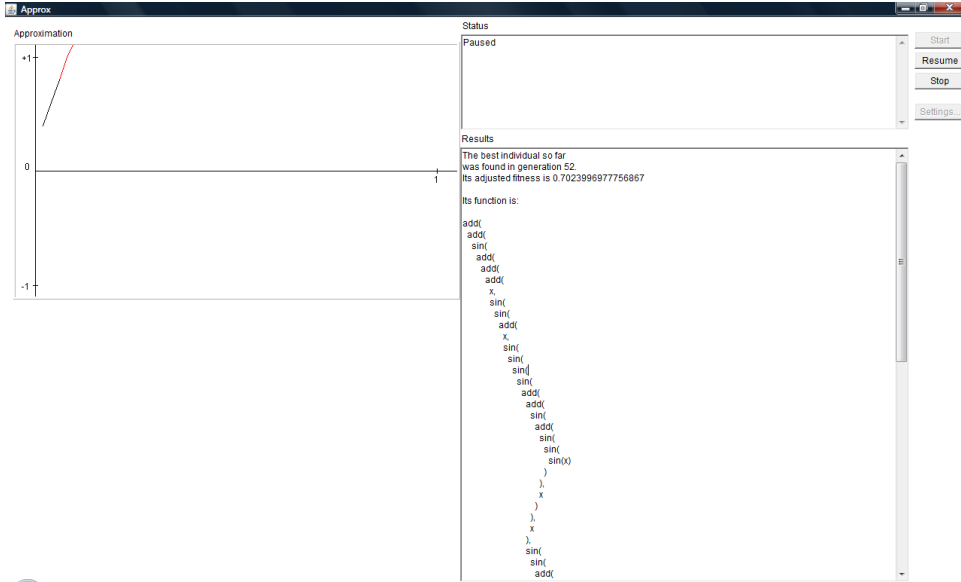
$U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1. Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	40	60	80	100	115	130	140	155	165	180	195	205

Tablo 5.19  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1. Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.21  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1. Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.22  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1. Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
40	64,05578	24,05578
60	85,21765	25,21765
80	102,1702	22,17018
100	115,9795	15,97947
115	127,7992	12,7992
130	138,4273	8,427314
140	148,3349	8,334853
155	157,7858	2,78584
165	166,9276	1,927599
180	175,8437	4,156279
195	184,5829	10,41711
205	193,1744	11,82564

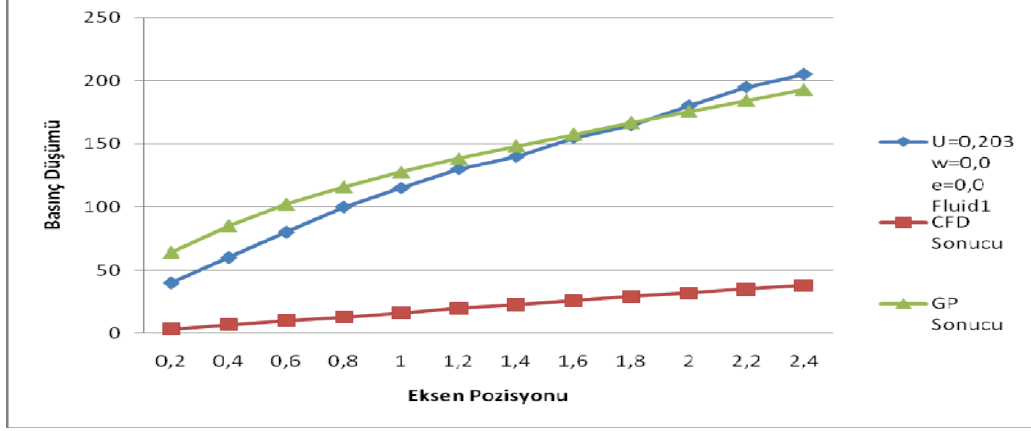
Tablo 5.20  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

**CFD Sonucu:**

ü	Simülasyon Modelinin Tahmini	Fark
40	3,526198	36,4738
60	6,679135	53,32087
80	10,120108	69,87989
100	13,028461	86,97154
115	16,313787	98,68621
130	19,871283	110,1287
140	22,8262	117,1738
155	25,753795	129,2462
165	28,989112	136,0109
180	31,848881	148,1511
195	34,983428	160,0166
205	37,866498	167,1335

Tablo 5.21  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



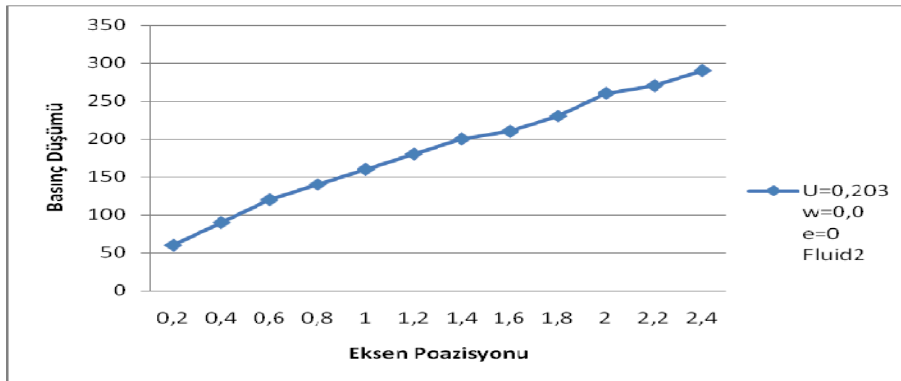
Şekil 5.23  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

### 8. Veri Grubu

$U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türü

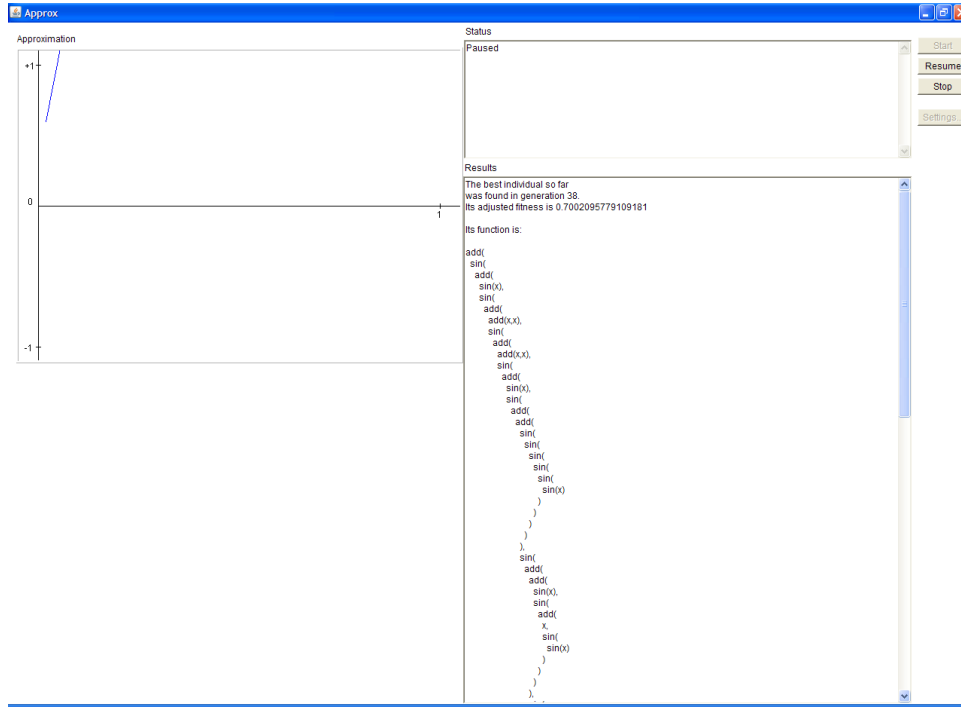
Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	60	90	120	140	160	180	200	210	230	260	270	290

Tablo 5.22  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.24  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği





Şekil 5.25  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
60	52,70095	7,299047
90	99,12139	9,121393
120	137,8466	17,84665
140	170,8302	30,83019
160	200,3215	40,32147
180	227,7889	47,7889
200	254,026	54,02604
210	279,4364	69,43637
230	304,2246	74,22461
260	328,4976	68,4976
270	352,3136	82,31363
290	375,706	85,70598

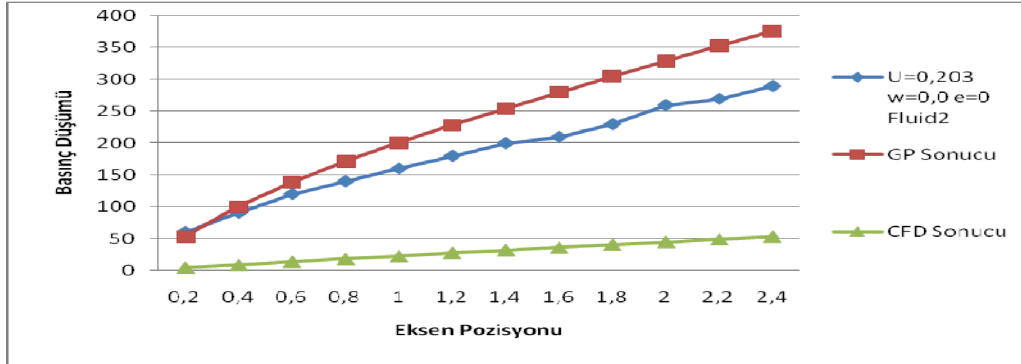
Tablo 5.23  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

Deneysel Basınç Düşümü	Simülasyon Modeli Tahmini	Fark
60	5,00483	54,99517
90	9,489071	80,51093
120	14,37435	105,6257
140	18,50295	121,4971
160	23,16558	136,8344
180	28,22179	151,7782
200	32,41739	167,5826
210	36,5769	173,4231
230	41,17522	188,8248
260	45,24228	214,7577
270	49,69442	220,3056
290	53,78664	236,2134

Tablo 5.24  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



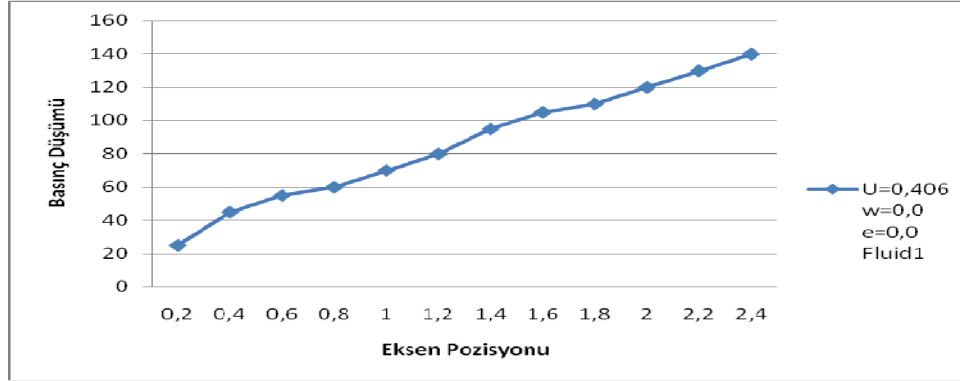
Şekil 5.26  $U=0.203$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

### 9. Veri Grubu

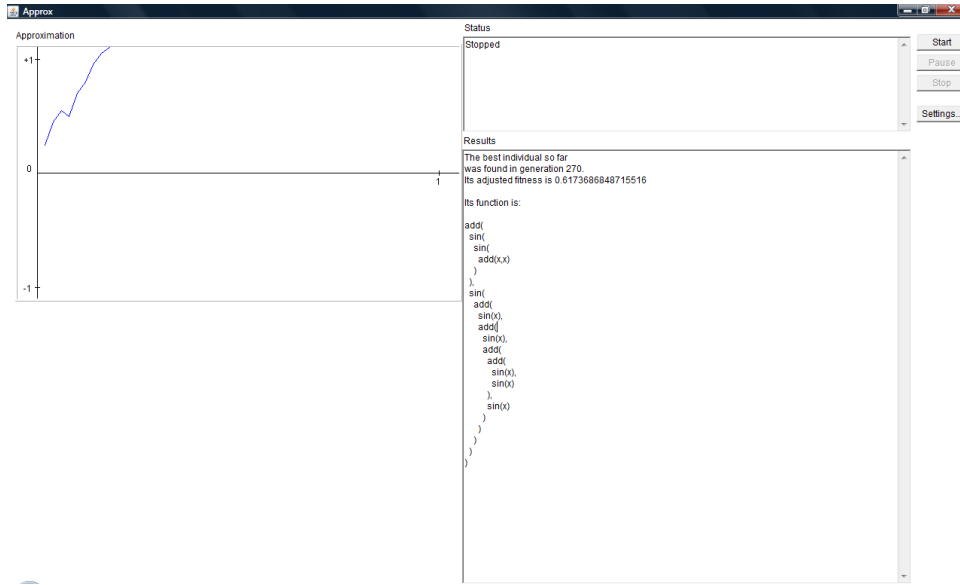
$U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
Basınç Düşümü	25	45	55	50	70	80	95	105	110	120	130	140

Tablo 5.25  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.27  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.28  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınc Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
25	13,98055	11,01945
45	27,84467	17,15533
55	41,47748	13,52252
50	54,76705	4,767053
70	67,60594	2,394057
80	79,89247	0,107526
95	91,53202	3,467982
105	102,4381	2,561879
110	112,5335	2,533484
120	121,7508	1,750794
130	130,0334	0,033381
140	137,3357	2,664303

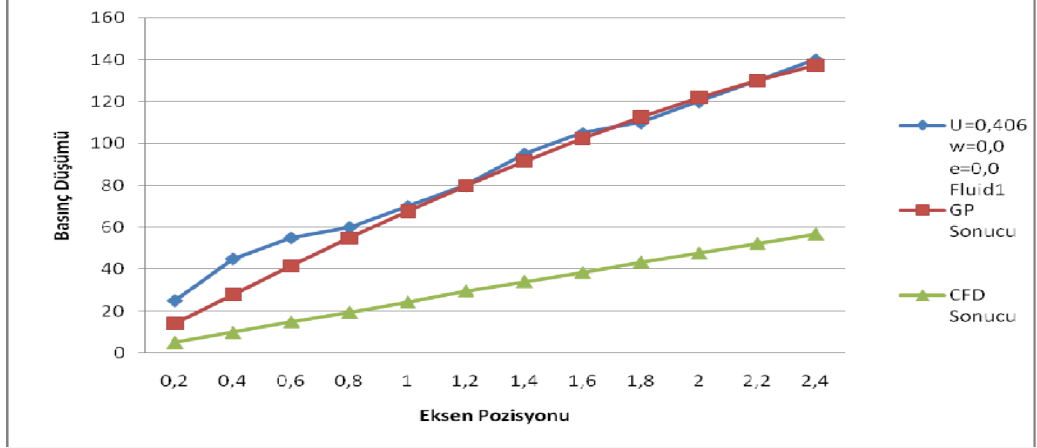
*Tablo 5.26  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması*

**CFD Sonucu:**

Deneysel Basınc Düşümü	Simülasyon Modeli Tahmini	Fark
25	5,314679	19,68532
45	10,014392	34,98561
55	15,193542	39,80646
65	19,574094	45,42591
75	24,528615	50,47139
85	29,850535	55,14947
95	34,293932	60,70607
100	38,68248	61,31752
110	43,522558	66,47744
120	47,785516	72,21448
130	52,492919	77,50708
140	56,835623	83,16438

*Tablo 5.27  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması*

### Karşılaştırma:



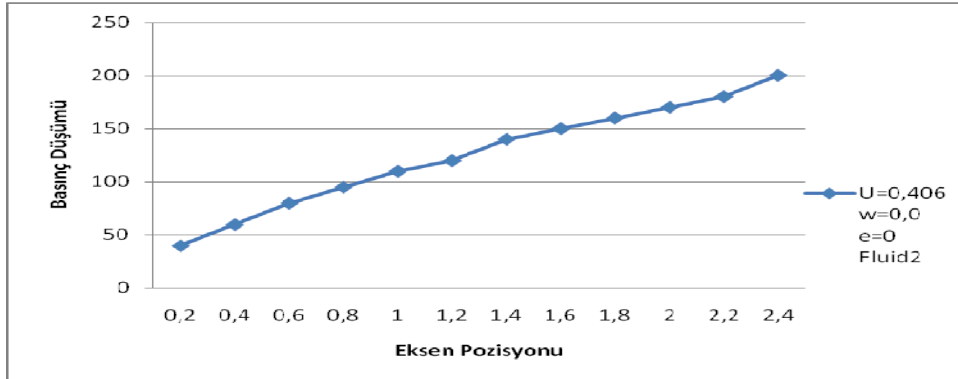
Şekil 5.29  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

### 10. Veri Grubu

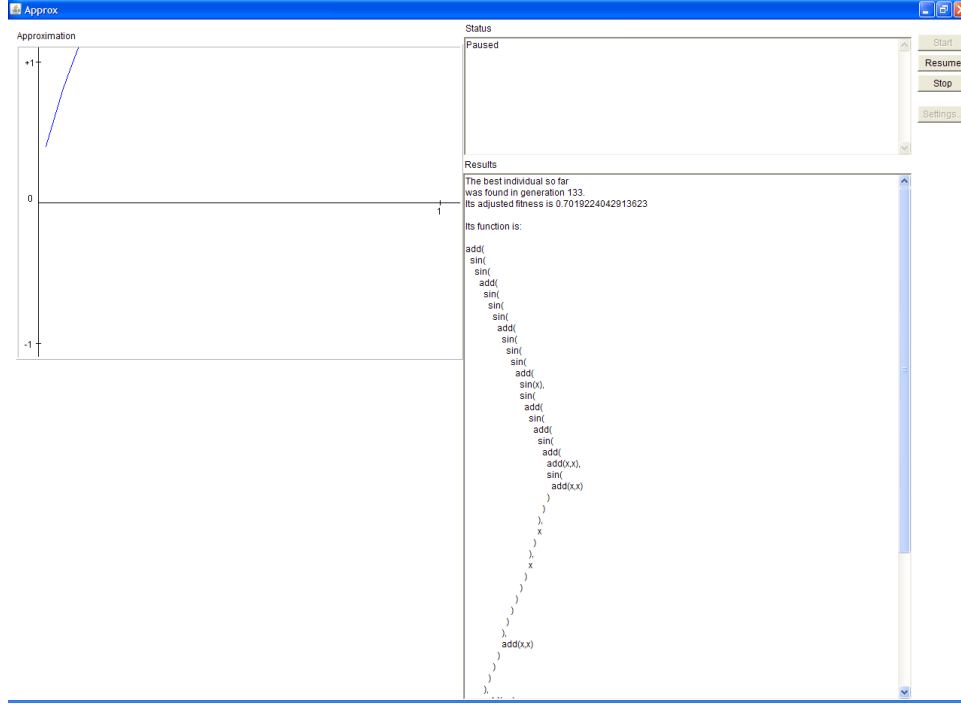
$U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	40	60	80	95	110	120	140	150	160	170	180	200

Tablo 5.28  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.30  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.31  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
40	25,82229	14,17771
60	50,64988	9,35012
80	73,79189	6,208113
95	94,97365	0,026355
110	114,2503	4,25027
120	131,8459	11,84587
140	148,0236	8,023637
150	163,0168	13,01683
160	177,0059	17,00589
170	190,1195	20,11948
180	202,4441	22,44411
200	214,0351	14,03505

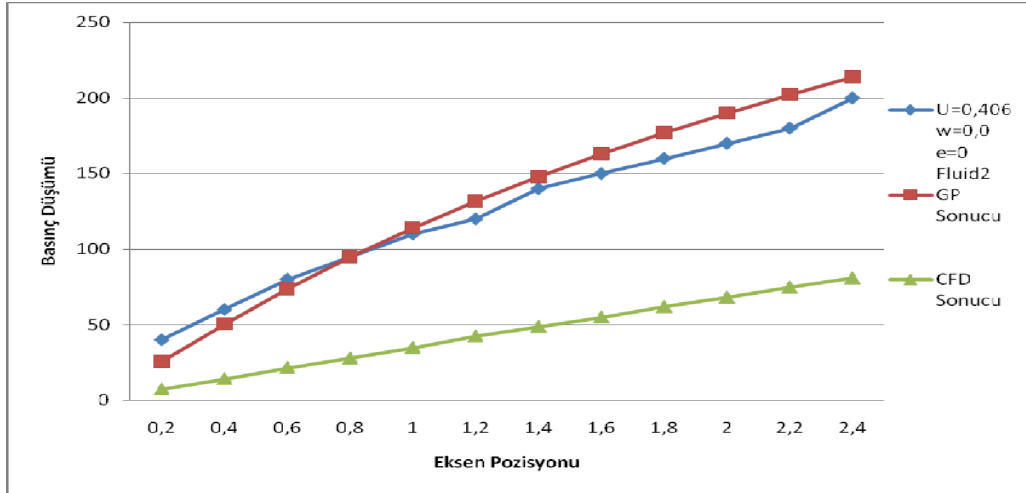
Tablo 5.29  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

Deneysel Basınc Düşümü	Simülasyon Modeli Tahmini	Fark
40	7,556071	32,44393
60	14,272659	45,72734
80	21,640433	58,35957
95	27,870019	67,12998
110	34,911799	75,0882
120	42,504755	77,49525
140	48,829245	91,17076
150	55,084318	94,91568
160	61,989668	98,01033
170	68,082194	101,9178
180	74,78579	105,2142
200	80,96219	119,0378

Tablo 5.30  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



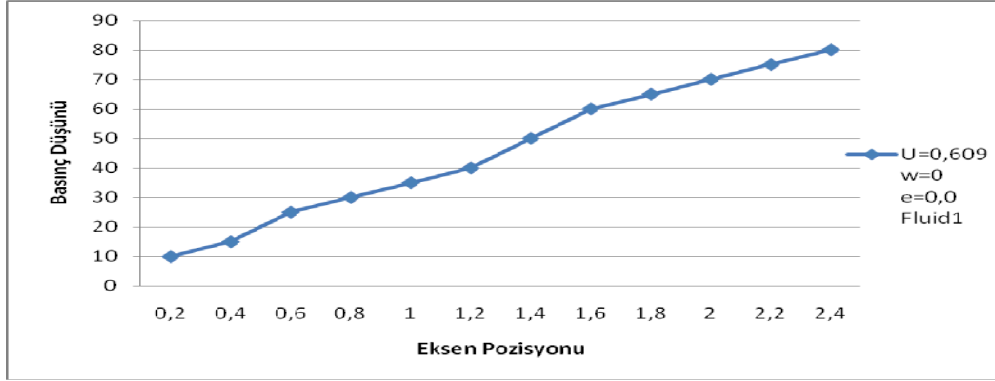
Şekil 5.32  $U=0,406$   $w=0,0$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

## 11. Veri Grubu

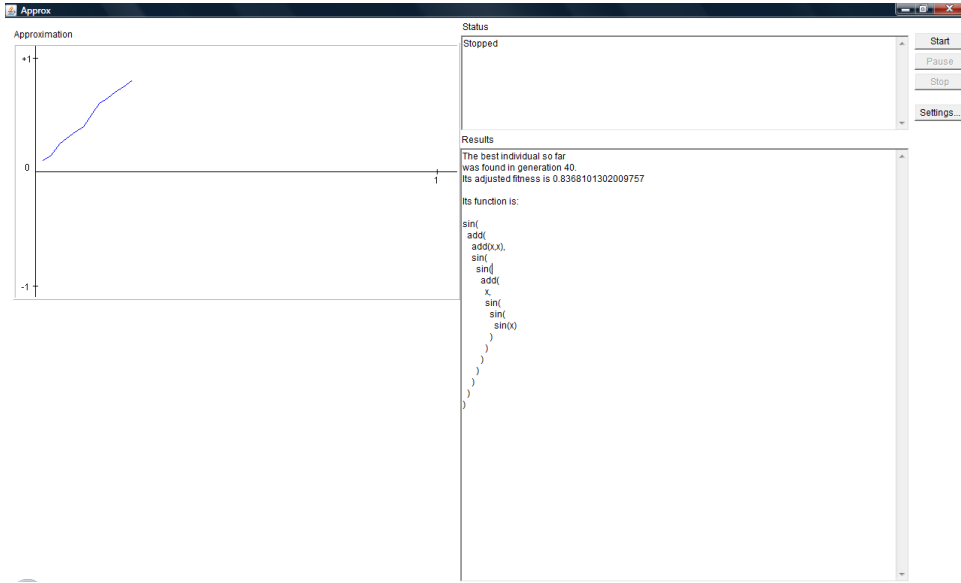
$U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	10	15	25	30	35	40	50	60	65	70	75	80

Tablo 5.31  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.33  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.34  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün program çıktısı



**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
10	7,988946	2,011054
15	15,91187	0,911868
25	23,70423	1,295771
30	31,3044	1,304398
35	38,65494	3,654938
40	45,7037	5,703702
50	52,40471	2,404712
60	58,71878	1,281224
65	64,61385	0,386148
70	70,06515	0,06515
75	75,05501	0,055007
80	79,57255	0,427449

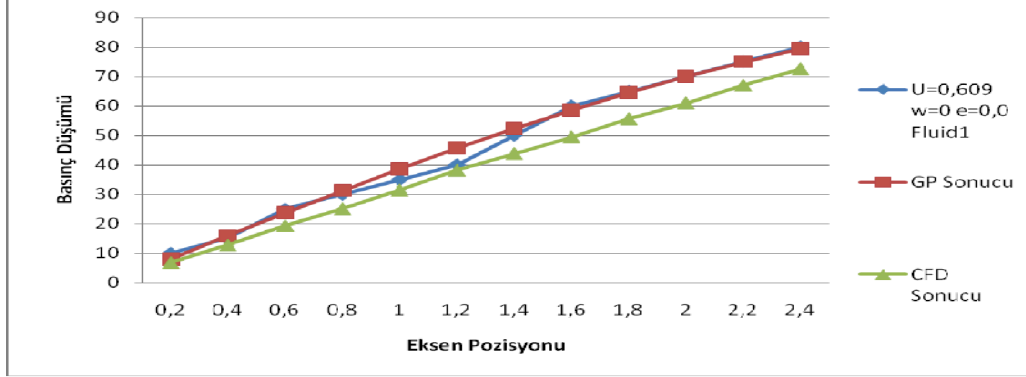
Tablo 5.32  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

**CFD Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Simülasyon Modeli Tahmini	Fark
10	6,825407	3,174593
15	12,786301	2,213699
25	19,431174	5,568826
30	25,056536	4,943464
35	31,427557	3,572443
40	38,204081	1,795919
50	43,892292	6,107708
60	49,49643	10,50357
65	55,661429	9,338571
70	61,065992	8,934008
75	67,090874	7,909126
80	72,660637	7,339363

Tablo 5.33  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



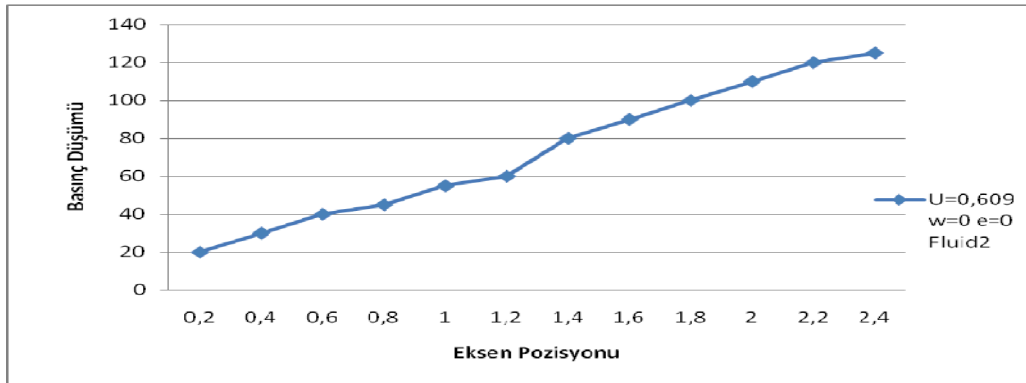
Şekil 5.35  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

## 12. Veri Grubu

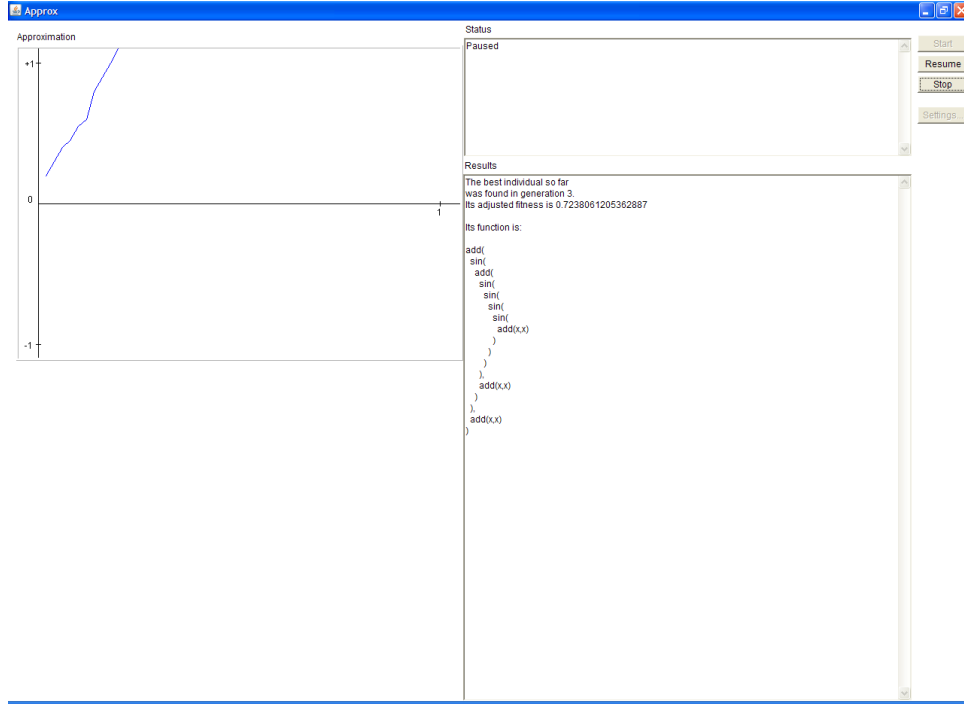
$U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	20	30	40	45	55	60	80	90	100	110	120	125

Tablo 5.34  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.36  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.37  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
20	11,98378	8,016219
30	23,87137	6,128632
40	35,57201	4,427985
45	47,00516	2,005159
55	58,10388	3,103876
60	68,81679	8,816787
80	79,10838	0,891616
90	88,95805	1,041952
100	98,35812	1,641877
110	107,3115	2,688523
120	115,8289	4,171083
125	123,9268	1,073243

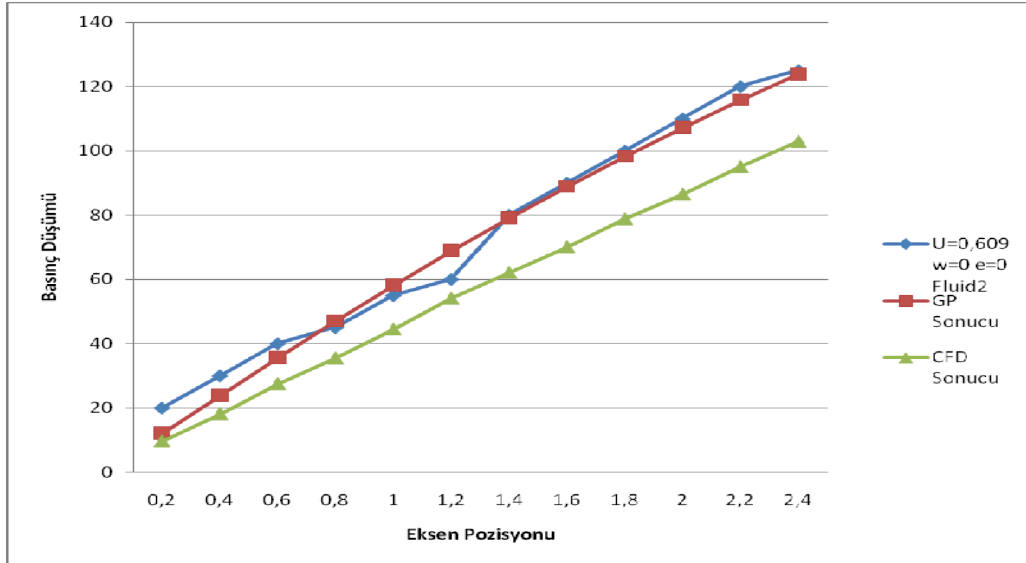
Tablo 5.35  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### CFD Sonucu:

Deneysel Basınc Düşümü	Simülasyon Modeli Tahmini	Fark
20	9,640672	10,35933
30	18,130955	11,86905
40	27,522033	12,47797
45	35,467299	9,532701
55	44,45754	10,54246
60	54,084615	5,915385
80	62,137064	17,86294
90	70,082394	19,91761
100	78,838214	21,16179
110	86,538839	23,46116
120	95,067669	24,93233
125	102,942338	22,05766

Tablo 5.36  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve simülasyon karşılaştırması

### Karşılaştırma:



Şekil 5.38  $U=0.609$   $w=0$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri, simülasyon ve GP karşılaştırması grafiği

Yukarıdaki örnekler incelendiğinde basınç düşümü artıkça CFD Simülasyonu cevaptan uzaklaşmış genetik programlama ise daha doğru sonuçlar vermeye başlamıştır.

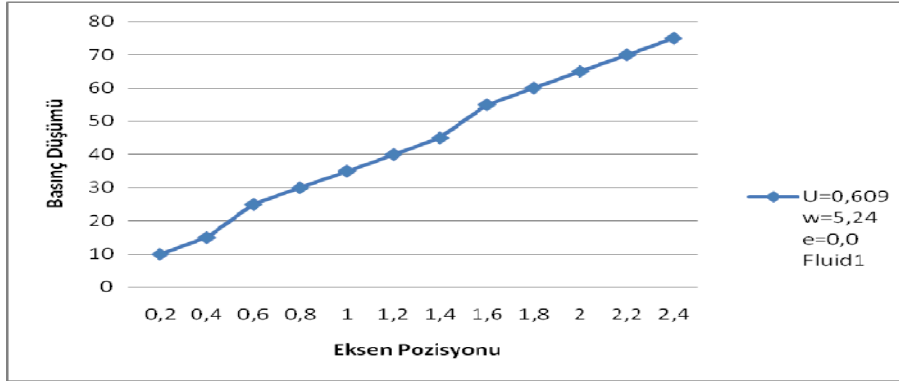
Tezin bundan sonraki kısmında genetik programlama karşılaştırılmaz olarak incelenecektir.

### 13. Veri Grubu

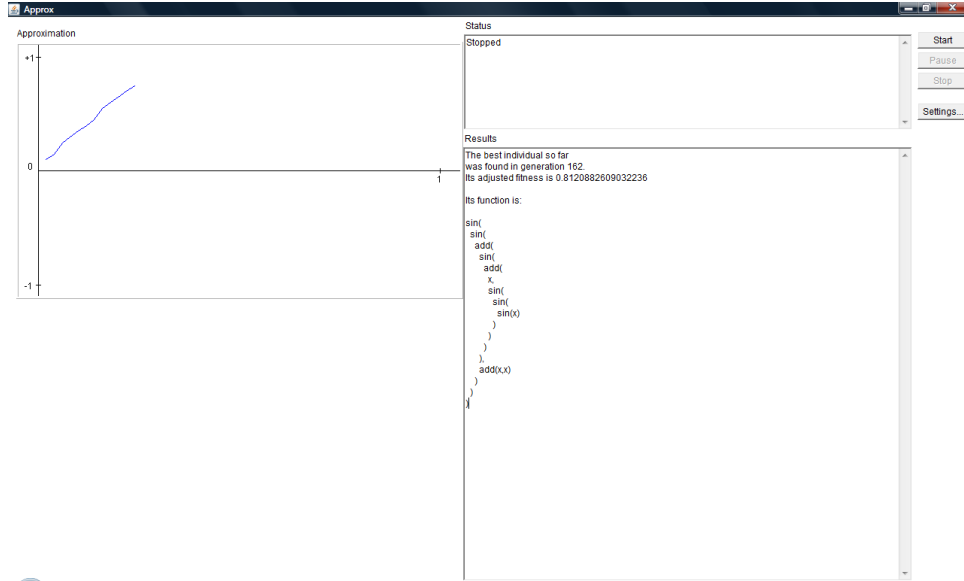
$U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	10	15	25	30	35	40	45	55	60	65	70	75

Tablo 5.37  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.39  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



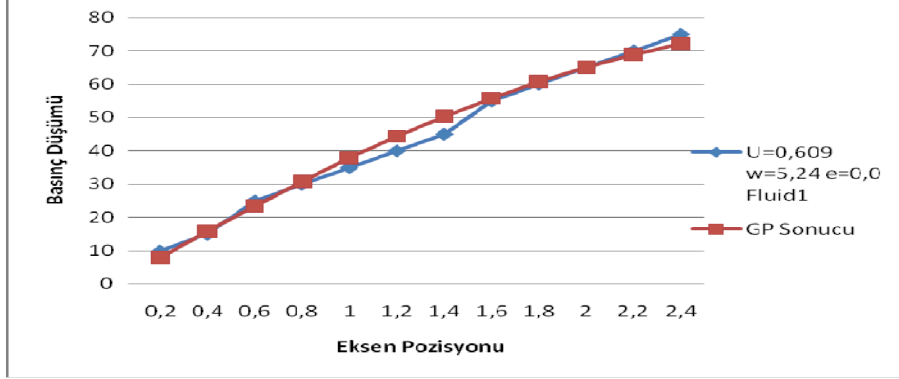
Şekil 5.40  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
10	7,981509	2,018491
15	15,85309	0,853087
25	23,50977	1,490227
30	30,85613	0,856132
35	37,81001	2,810008
40	44,30523	4,305231
45	50,2931	5,293103
55	55,74267	0,742672
60	60,63989	0,639889
65	64,98585	0,014147
70	68,79439	1,205609
75	72,08927	2,910729

Tablo 5.38  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### Karşılaştırma:



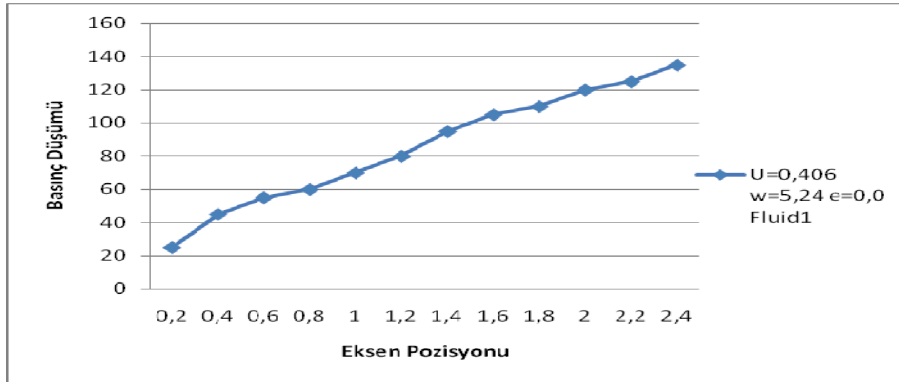
Şekil 5.41  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

### 14.Veri Grubu:

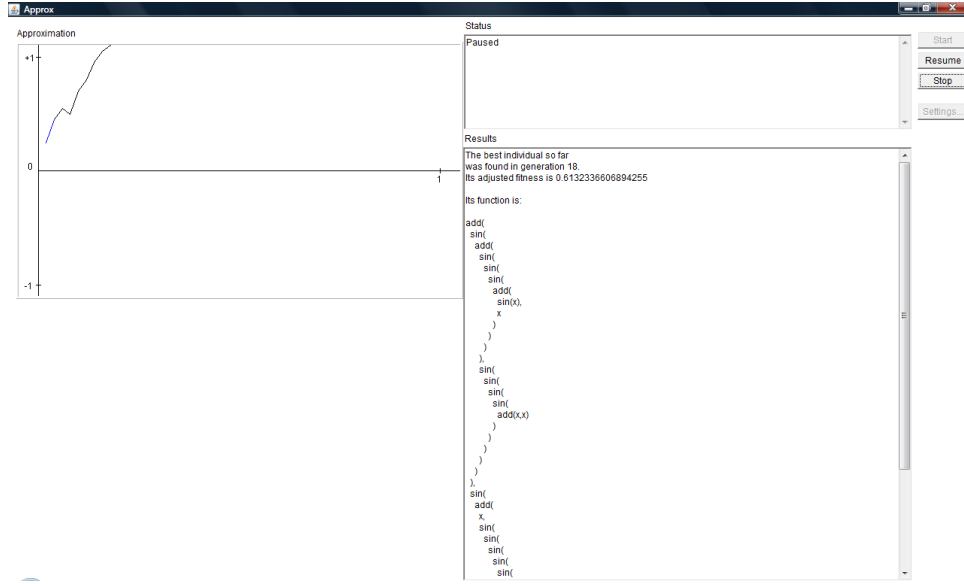
$U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	25	45	55	50	70	80	95	105	110	120	125	135

Tablo 5.39  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.42  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.43  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

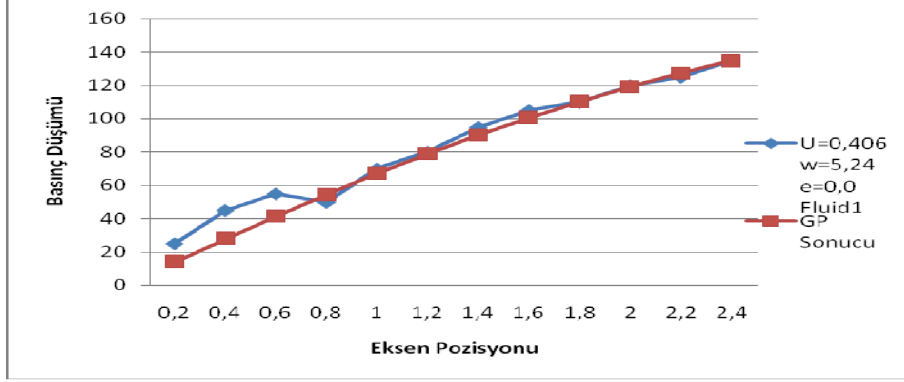
**GP Sonucu:**

DeneySEL Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
25	13,97486	11,02514
45	27,80017	17,19983
55	41,33286	13,66714
50	54,44227	4,442268
70	67,01495	2,985049
80	78,95818	1,04182
95	90,20183	4,798168
105	100,6987	4,301251
110	110,4238	0,423754
120	119,3716	0,628421
125	127,5541	2,554058
135	134,9969	0,003071

Tablo 5.40  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması



### Karşılaştırma:



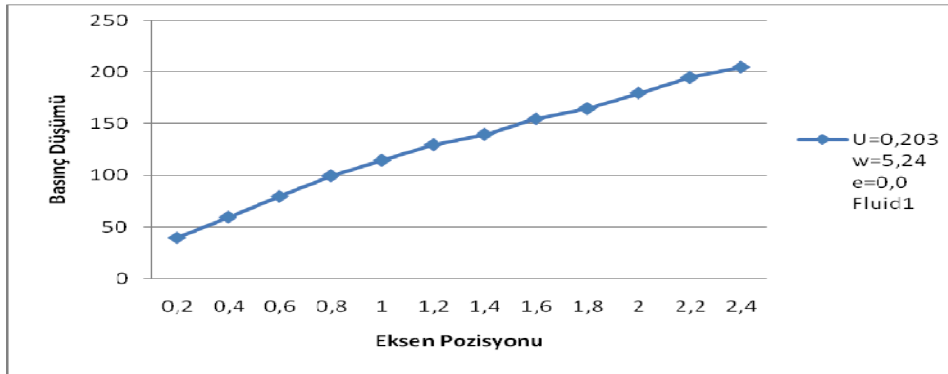
Şekil 5.44  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

### 15.Veri Grubu:

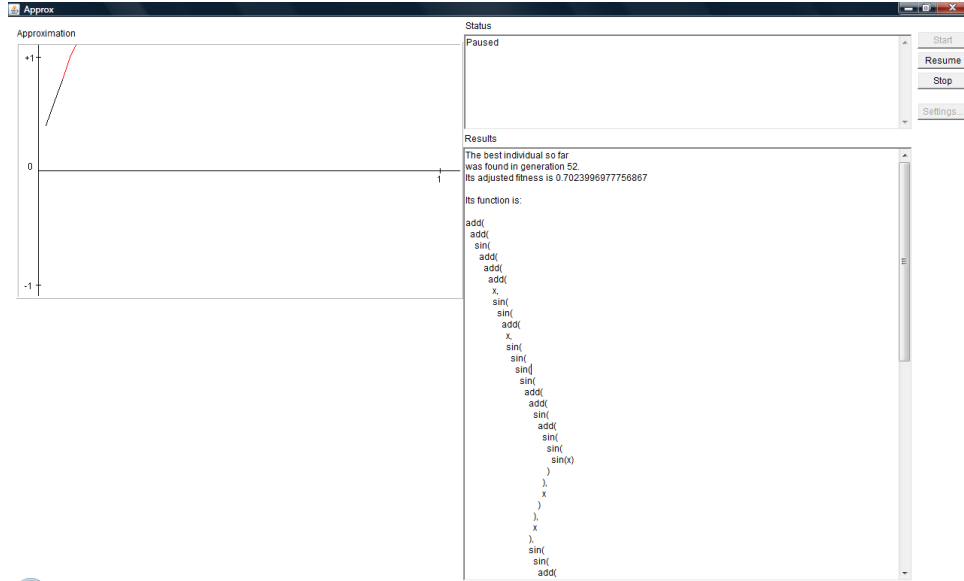
$U=0,203$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	40	60	80	100	115	130	140	155	165	180	195	205

Tablo 5.41  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.45  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



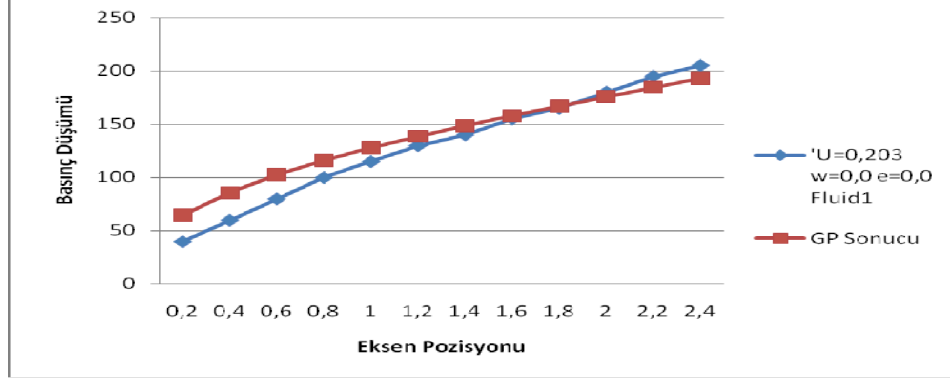
Şekil 5.46  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
40	64,05578	24,05578
60	85,21765	25,21765
80	102,1702	22,17018
100	115,9795	15,97947
115	127,7992	12,7992
130	138,4273	8,427314
140	148,3349	8,334853
155	157,7858	2,78584
165	166,9276	1,927599
180	175,8437	4,156279
195	184,5829	10,41711
205	193,1744	11,82564

Tablo 5.42  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### Karşılaştırma:



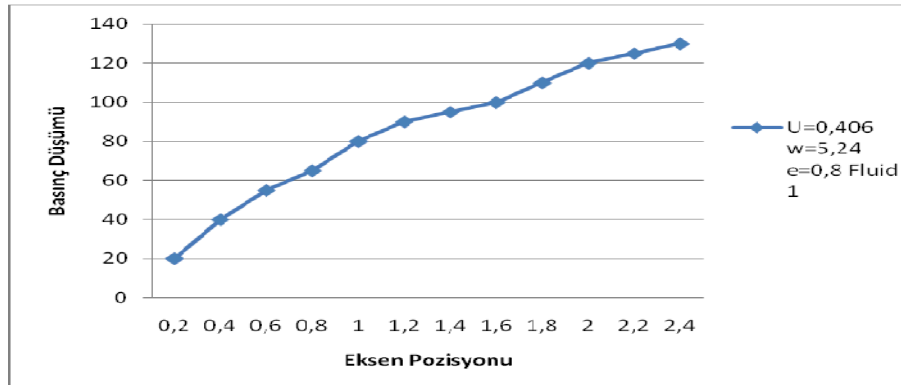
Şekil 5.47  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0,0$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

### 16. Veri Grubu:

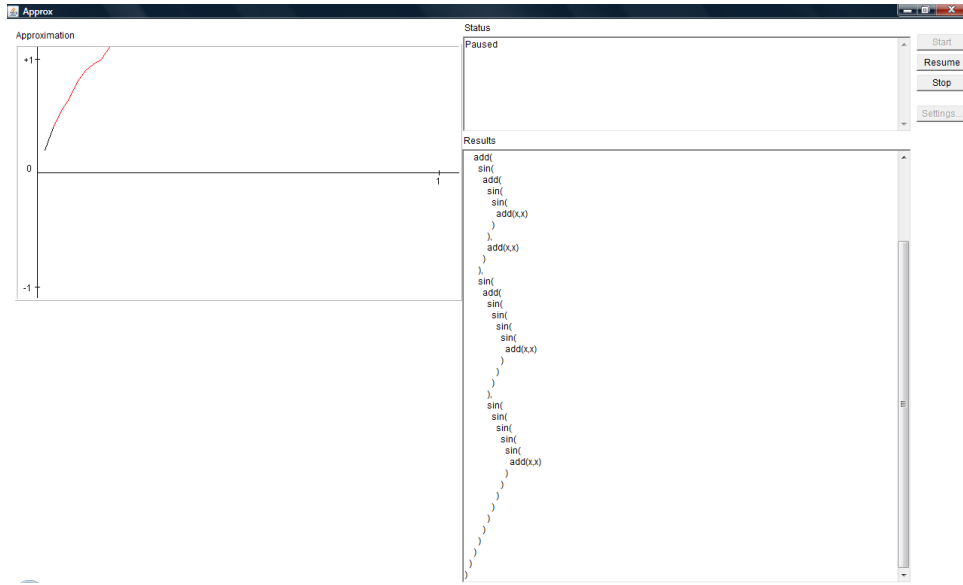
$U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  1.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	20	40	55	65	80	90	95	100	110	120	125	130

Tablo 5.43  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.48  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



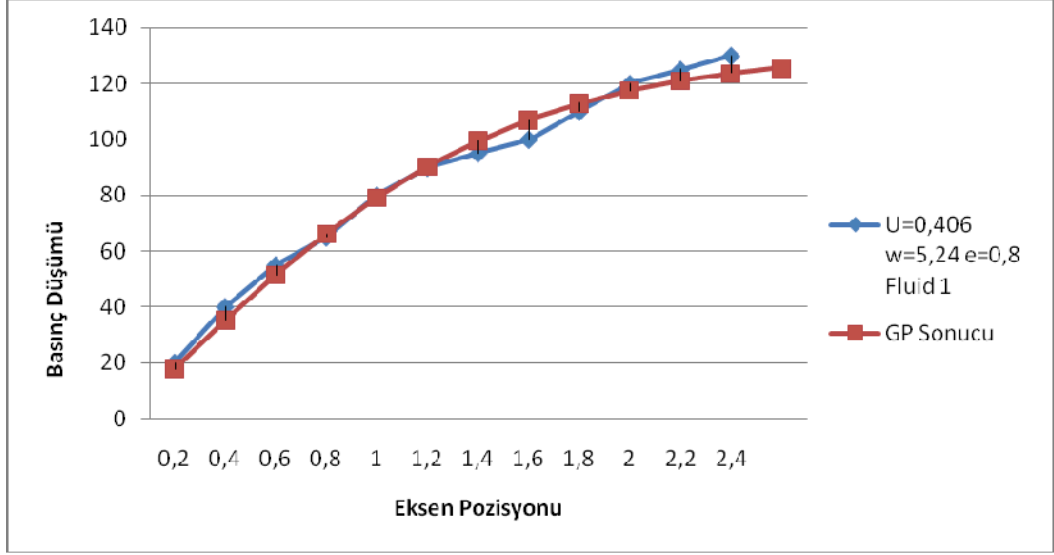
Şekil 5.49  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
20	17,90227	2,097734
40	35,23066	4,769337
55	51,47139	3,52861
65	66,21937	1,219374
80	79,20749	0,792513
90	90,31359	0,313587
95	99,54791	4,547908
100	107,0269	7,026928
110	112,941	2,940976
120	117,522	2,478
125	121,0159	3,984087
130	123,6616	6,338365

Tablo 5.44  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### Karşılaştırma:



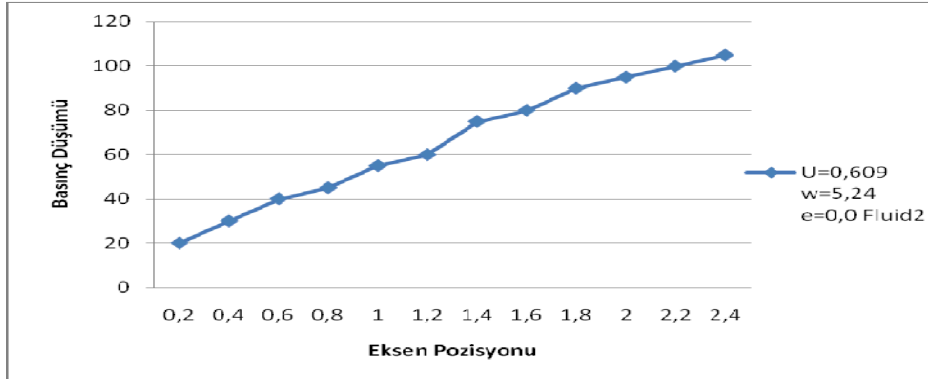
Şekil 5.50  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  1.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

### 17.Veri Grubu:

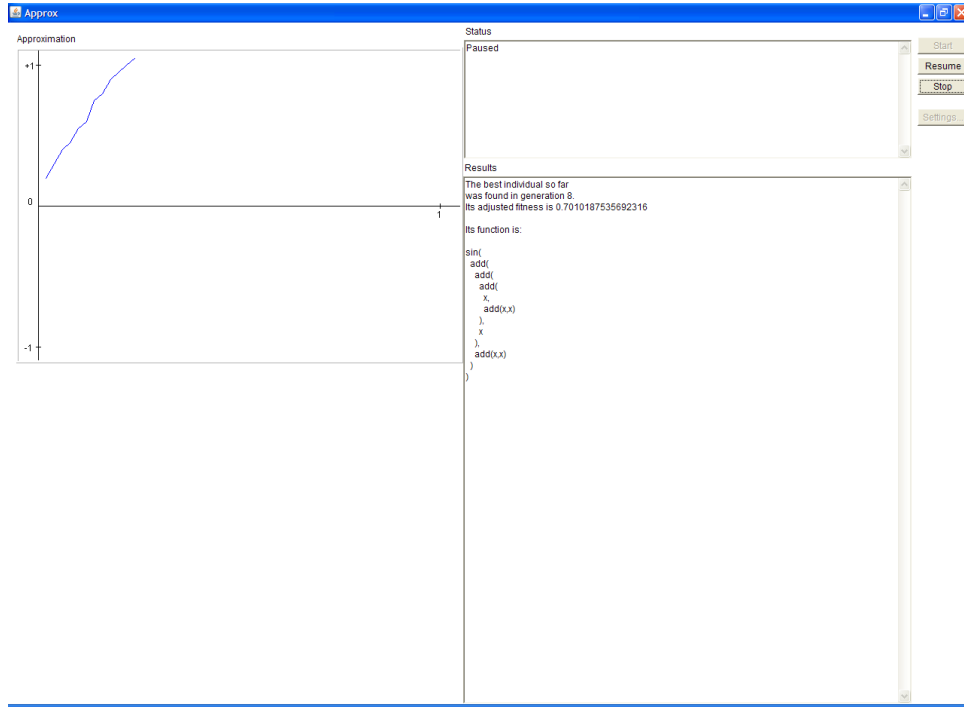
$U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	20	30	40	45	55	60	75	80	90	90	100	105

Tablo 5.45  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.51  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



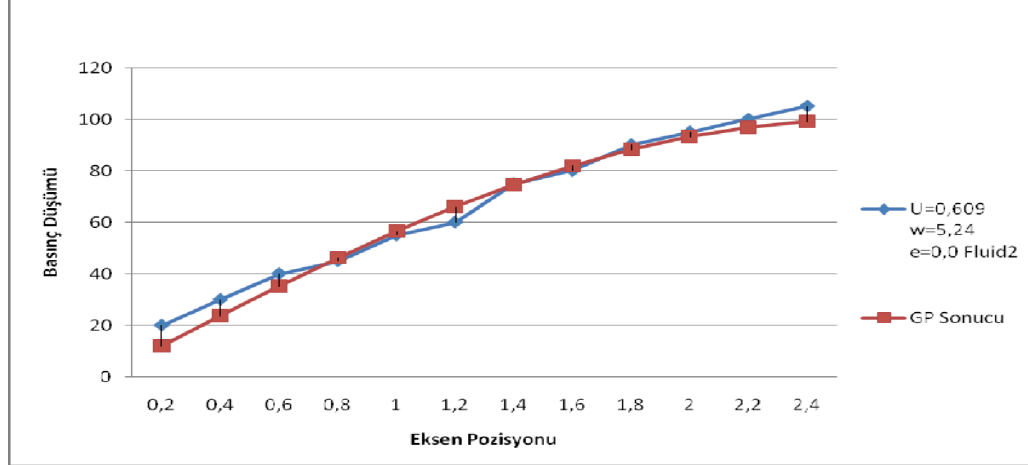
Şekil 5.52  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

### GP Sonucu:

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
20	11,97122	8,02877927
30	23,77026	6,22973736
40	35,22742	4,77257667
45	46,17792	1,17791755
55	56,46425	1,46424734
60	65,93847	5,9384672
75	74,46431	0,535688
80	81,91916	1,91915683
90	88,19578	1,80421931
95	93,20391	1,7960914
100	96,87151	3,12848999
105	99,14583	5,85416518

Tablo 5.46  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

### Karşılaştırma:



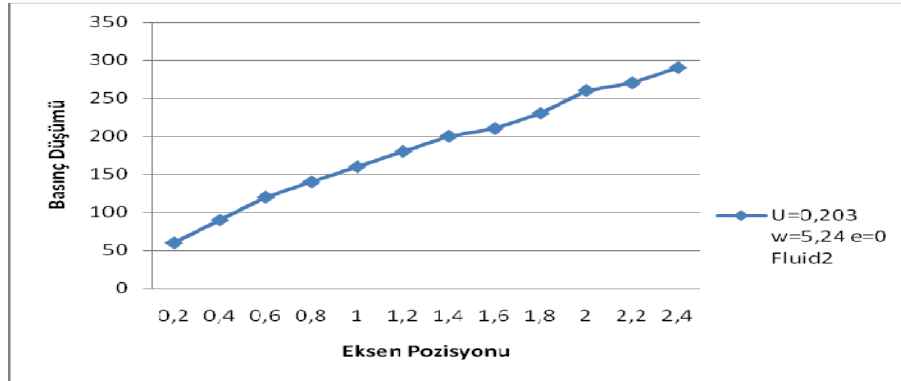
Şekil 5.53  $U=0,609$   $w=5,24$   $e=0,0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

### 18.Veri Grubu:

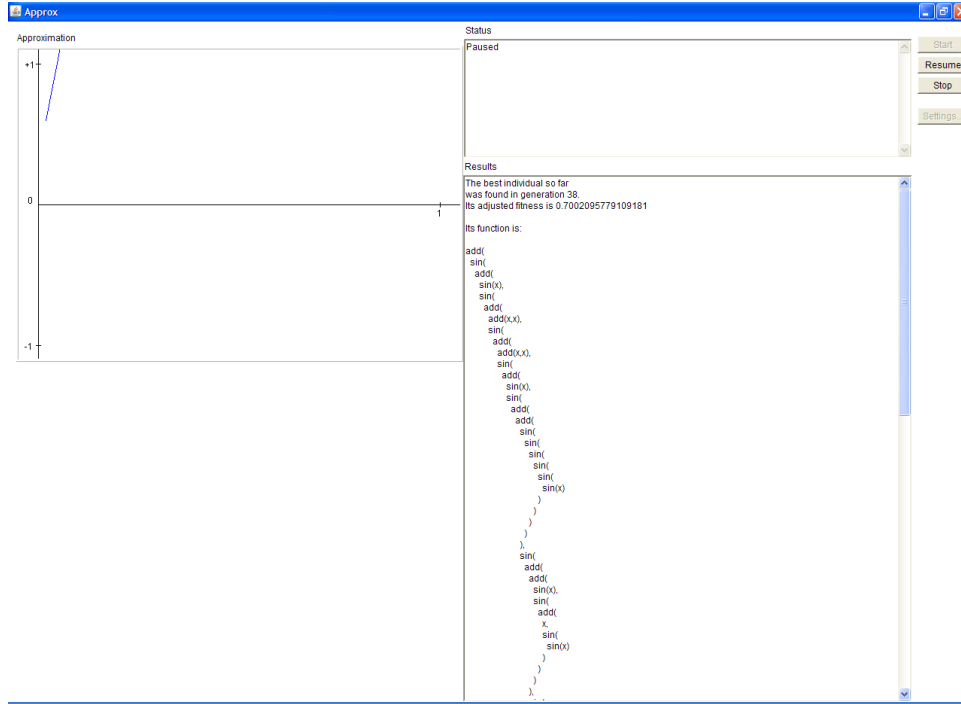
$U=0,203$   $w=5,24$   $e=0$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınç Düşümü	60	90	120	140	160	180	200	210	230	260	270	290

Tablo 5.47  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.54  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



Şekil 5.55  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

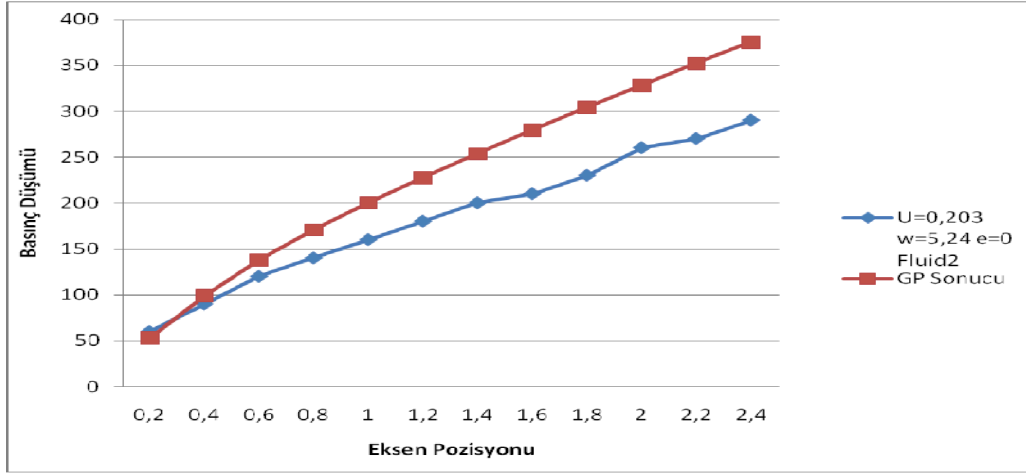
**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
60	52,70095	7,299047
90	99,12139	9,121393
120	137,8466	17,84665
140	170,8302	30,83019
160	200,3215	40,32147
180	227,7889	47,7889
200	254,026	54,02604
210	279,4364	69,43637
230	304,2246	74,22461
260	328,4976	68,4976
270	352,3136	82,31363
290	375,706	85,70598

Tablo 5.48  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması



### Karşılaştırma:



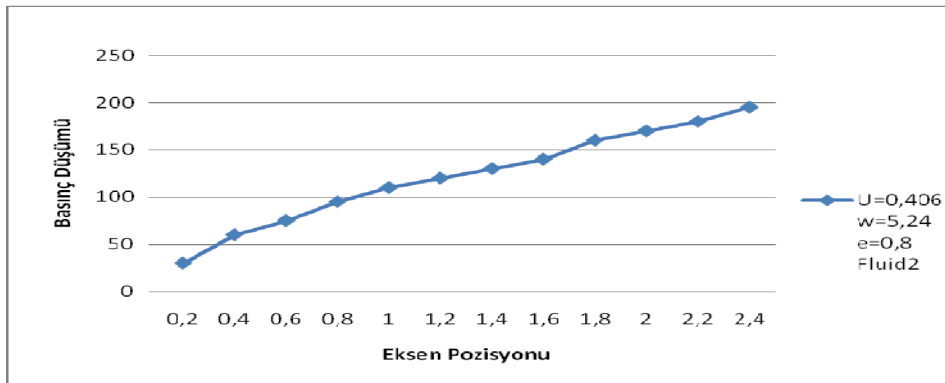
Şekil 5.56  $U=0,203$   $w=5,24$   $e=0$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

### 19.Veri Grubu:

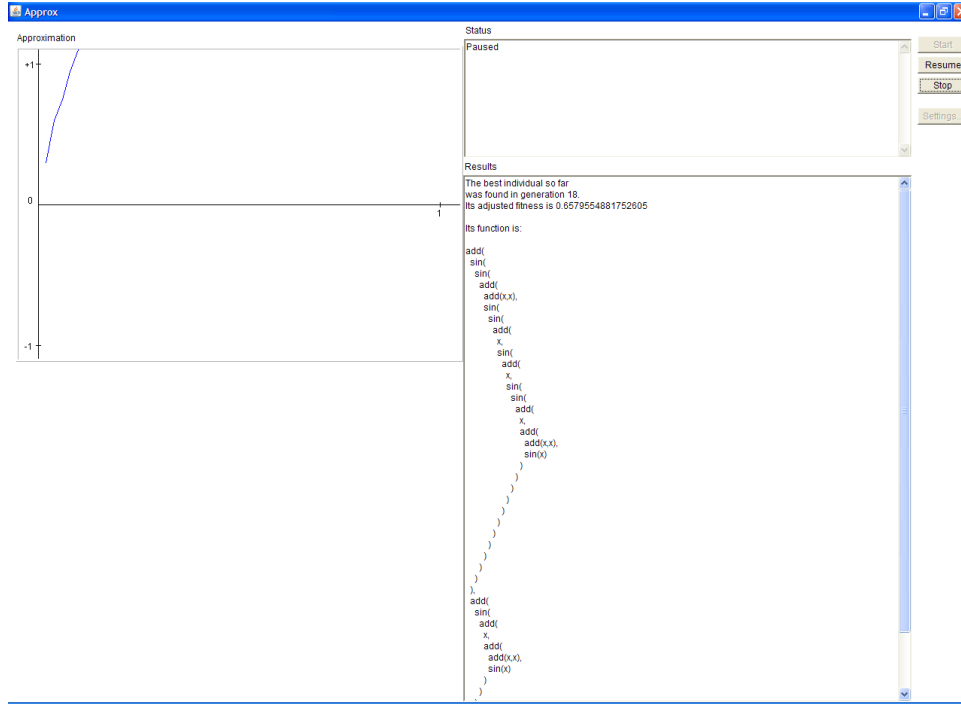
$U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  2.Sıvı Türü

Eksen Pozisyonu(l)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
Basınc Düşümü	30	60	75	95	110	120	130	140	160	170	180	195

Tablo 5.49  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerleri



Şekil 5.57  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel değerlerinin grafiği



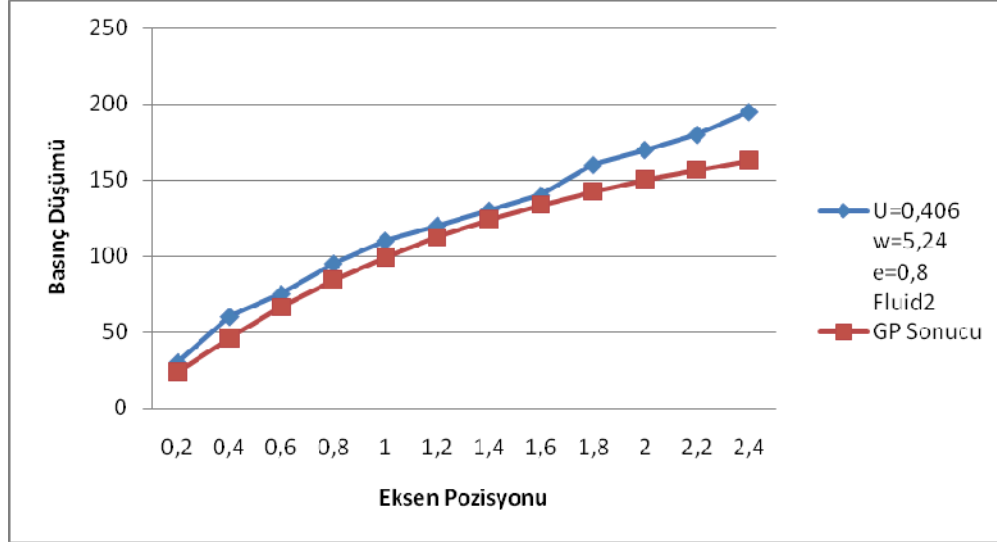
Şekil 5.58  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün program çıktısı

**GP Sonucu:**

Deneysel Basınç Düşümü	Genetik Programlama Tahmini	Fark
30	23,76751	6,232488
60	46,23334	13,76666
75	66,49406	8,505939
95	84,199	10,801
110	99,44225	10,55775
120	112,5476	7,452415
130	123,8891	6,110941
140	133,7942	6,205797
160	142,5128	17,48723
170	150,2199	19,78013
180	157,0313	22,96868
195	163,0201	31,97985

Tablo 5.50  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması

**Karşılaştırma:**



Şekil 5.59  $U=0,406$   $w=5,24$   $e=0,8$  2.Sıvı Türünün deneysel veri ve GP karşılaştırması grafiği

## BÖLÜM 6

### 6.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan çalışmada çözüm uzayı oldukça büyük ve karmaşık olan akışkanlar mekaniği için basınç düşümünü hesaplama modeli geliştirilmiştir. Akışkanlar mekaniğinde gerçek deney koşullarına göre elde edilen deney veri setleri kullanılarak GP yardımıyla ters probleme %70 üzeri oranda çözüm sağlanmıştır. Deney veri seti akışkanın eksantrikliği, ilk hızı, borunun uzunluğu ve basınç düşümü veri değerlerini içermektedir. Elde edilen modelin doğrulaması yapılmış, doğrulama seti üzerinde ortalama %10'un altında standart sapma değerleri elde edilmiştir.

Deneylerde sabit hızdaki akış için simülasyon ve GP değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar analiz edildiğinde basınç düşümünün az olduğu verilerde simülasyon modeli ile GP'nin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği ancak basınç düşümünün arttığı durumlarda GP'nin gerçeğe daha yakın değerler döndürdüğü görülmektedir.

GP'nin daha iyi çalışması için ise daha çok jenerasyon ve tekrarlama gerektiği bilinmektedir. Bunun için de daha güçlü bilgisayarlarla daha iyi sonuçlar alınacağı kesindir.

Test sonuçları incelendiğinde genellikle %70'lik başarılı gibi gözükten sonuçlarda; gerçek veriler ve GP sonuçları arasındaki farkın oldukça küçük olduğu görülmektedir.%10'luk bir sapma ile sonuçlara ulaşılmış hatta basınç düşümünün fazla olduğu deneylerde bu oran %10'nun da altına düşmüştür. Çözüm uzayının büyük ve karmaşık olduğu bir veri uzayından bahsedildiği düşünülürse bu oranın oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bu yüzden GP akışkan denklemlerinin tahmininde tercih edilebilecek bir yöntemdir.

Modelleme için hazırlanan GP yazılımı mühendislik alanında cevabın bilindiği fakat sorunun bilinmediği ters problemlere kolaylıkla uygulama şansına sahiptir. Ayrıca

modelleme problemin değişken sayısına bağlı olmadığından çok boyutlu uygulamalarda da kullanılabilir.

Genetik programlama, YSA ile yapılan modellemeye göre problemin çözüm formülünün (kurallarının) elde edilmesi bakımından ve modelin anlaşılabilirliği açısından üstünlüğe sahiptir. Buna karşın problemin çözümü için gerekli olan süre gereksinimi yüksektir. GP kullanılarak farklı malzeme ve parametrelerine göre modellerin geliştirilmesi akışkanlar probleminde önemli katkı sağlayacaktır.

Modellemede karşılaşılan en büyük problem ise uyumluluk fonksiyonunun belirlenmesi olmuştur. Uyum değeri olarak gerçek ve matematiksel değerin farkının 1'den küçük olması baz alınmıştır fakat bunun tek bir değer için değil bütün popülasyon için olması gerektiğinden Uyumluluk fonksiyonu olarak bütün popülasyondaki sonuçlar değerlendirilmiştir. Daha iyi sonuçlara ulaşabilmek için uyumluluk fonksiyonu değiştirilebilir.

Bu çalışmada değişken olarak sıvının eksantrikliği, borunun uzunluğu ve ilk hız verileri kullanılmıştır. Fakat modellemenin daha fazla değişken ile de(değişen hız, borunun şekli vb) gerçeğe yakın sonuçlar verebileceği bilinmektedir. Bundan sonraki aşamada daha fazla değişken ile çözüme ulaşılması sağlanabilir. Ayrıca çözümlere sadece matematiksel fonksiyonlar değil, sabit değişkenler de eklenerek daha iyi sonuçlar alınmaya çalışılabilir.

Yapılan araştırmalar incelendiğinde akışkanlar mekaniğindeki basınç düşümü problemlerinin hesaplamasında genetik programlamanın çok fazla kullanılmadığı bunun yerine çözüme daha hızlı ulaşan YSA'lar tercih edildiği görülmektedir. Bunun sebebi ise hem zaman problemi hem de GP'nin verdiği sonuçların(ağaç yapısı) ayrıştırmasının zorluğu olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada da ağaç yapısının ayrıştırılması zorluğuyla karşılaşılmıştır. Bu soruna çözüm olarak modellenin bundan sonraki aşamasında verdiği sonuçları ağaç yapısı yerine daha kolay anlaşılabilir bir yapıya getirmesi sağlanabilir.

Tüm koşullar incelendiğinde GP'nin ters probleleme için kabul edilebilir sonuçlar verdiği ve akışkanlar mekaniği problemi tahmininde kullanılabilir bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

## REFERANSLAR VE KAYNAKLAR

- [1] Pereria, F.A.R., Baroso, M.A.S. and Ataide C.H., “**CFD Predictions of Drilling Fluid Velocity and Pressure Profiles in Laminar Helical Flow**”, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Volume 24, pages 587-595, December 2007.
- [2] Pawan P. Singh' and Vinod K. Jindal “**Pressure Drop Estimation In Tube Flow OF Non-Newtonian Fluid Foods By Neural Networks**”, Journal of Food Process Engineering 26 (2003) 49-65.
- [3] Siginer, D.A. and Bakhtiyarov, I.S., “**Flow of drilling fluids in eccentric annuli**”, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Volume 78, pages 119-132, 1998.
- [4] Mori, N., Eguchi, T., Nakamura, K. and Horikawa, A., “**Pressure flow of Non-Newtonian Fluids between eccentric double cylinders with the inner cycle rotating**”, Journal of the Textile Machinery Society of Japan, Volume 38, No:2, pages 37–45, 1985.
- [5] Subramanian, R. and Azar, J.J., “**Experimental Study on Friction Pressure Drop for Non-Newtonian Drilling Fluids in Pipe and Annular Flow**”, SPE International Oil and Gas Conference, Beijing - China, 7–10 November 2000.
- [6] Wan, S., Morrison, D. and Bryden, I.G., “**The Flow of Newtonian and Inelastic Non-Newtonian Fluids in Eccentric Annuli with Inner-Cylinder Rotation**”, Theoretical Computational Fluid Dynamics, Volume 13, pages 349–359, 2000.
- [7] Marken, C.D., He, X. and Saasen, A., “**The Influence of Drilling Conditions on Annular Pressure losses**”, SPE Annual Technical Conference, Washington, 4-7 October 1992.
- [8] Sengupta, T.K., Kalyanmoy, D. and Srikanth, B.T., “**Control of Flow using genetic algorithm for a circular cylinder executing rotary oscillation**”, Computers & Fluids, Volume 36, pages 578–600, 2007.
- [9] Goldberg, D.E., “**Genetic Algorithms for search, optimization, and machine learning**”, Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

- [10] Haykin, S, “**Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2<sup>nd</sup> edition**”, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1999.
- [11] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J., “**Learning representations of back-propagation errors**”, Nature, Volume 323, pages 533-536, 1986.
- [12] Adhikari, B. and Jindal, V.K., “**Artificial Neural Networks: A new tool for prediction of pressure drop of Non-Newtonian fluid foods through tubes**”, Journal of Food Engineering, Volume 46, No:1, pages 43-51, October 2000.
- [13] Engwirda, D., “**An Unstructured Mesh Navier-Stokes Solver**” Undergraduate Thesis, School of Engineering, University of Sydney, 2005.
- [14] Jensen, B.B., Jensen B.J., Mikkelsen S.D., Sorensen J.T. “**Curve-Fitting Method for Transfer Function Determination**” Undergraduate Thesis, Aalborg University, 2005.
- [15] H. Haym “**Genetic programming**”, Rutgers University.
- [16] J.R. Koza, “**Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving**”, Morgan Kaufmann, San Francisco, 1999.
- [17] Kamal A.H., Eassa M. H. “**Solving Curve Fitting problems using Genetic Programming**”, Cairo, EGYPT 2002.
- [18] Clegg J., Dawson J.F., Porter S.J., Barley M.H. “**The Use of a Genetic Algorithm to Optimize the Functional Form of a Multi-dimensional Polynomial Fit to Experimental Data**”, University of York
- [19] Gulsen, M., Smith, A. E. and Tate, D. M., “**A genetic algorithm approach to curve fitting**”. Int. J. Prod. Res., 1995
- [20] <http://www.wikipedia.org/>
- [21] Wright, A., “**Genetic algorithms for real parameter optimisation**”, Foundation of genetic algorithms 1, G.J.E. (Morgan Kaufmann, San Mateo), 1991
- [22] Prof. Dr. Peremeci, Ömer Erkin, Akışkanlar Mekaniği 1., 2. Bölüm, 2008
- [23] Toropov, V.V. and Alvarez, L.F. “**Approximation Model Building for Design Optimization Using Genetic Programming Methodology**”, AIAA / USAF / NASA / ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, St. Louis, USA, 1998.



- [24] Gianni Astarita, Raffaella Ocone “**Fluid Mechanics**” Special Topics in Transport Phenomena, 2002, Pages 227–326
- [25] Mylene C.A.F. Rezende, Caliane B.B. Costa, Aline C. Costa, M.R. Wolf Maciel, Rubens Maciel Filho “**Optimization of a large scale industrial reactor by genetic algorithms**” Chemical Engineering Science, Volume 63, Issue 2, January 2008, Pages 330–341
- [26] J.M. Ponce, M. Serna, V. Rico, A. Jiménez “**Optimal design of shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms** Computer Aided Chemical Engineering”, Volume 21, Part 1, 2006, Pages 985–990
- [27] **A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view: Selbas, R. et al. Chemical Engineering and Processing, 2006, 45, (4), 268–275.** Fuel and Energy Abstracts, Volume 47, Issue 5, September 2006, Page 339
- [28] Simin Wang, Jian Wen, Yanzhong Li ”**An experimental investigation of heat transfer enhancement for a shell-and-tube heat exchanger**” Applied Thermal Engineering, Volume 29, Issues 11–12, August 2009
- [29] A. Vincent Antony Kumar, P. Balasubramaniam”**Optimal control for linear singular system using genetic programming**” Applied Mathematics and Computation, Volume 192, Issue 1, 1 September 2007
- [30] Guobiao Cai, Jie Fang, Xu Xu, Minghao Liu “**Performance prediction and optimization for liquid rocket engine nozzle**”, Aerospace Science and Technology, Volume 11, Issues 2-3, March-April 2007, Pages 155-162
- [31] T.A. Fox, N. Toy “**Fluid flow at the center of a cross composed of tubes**” International Journal of Heat and Fluid Flow, Volume 9, Issue 1, March 1988
- [32] M.B. Aryanezhad, Mohammad Hemati ,”**A new genetic algorithm for solving nonconvex nonlinear programming problems**” *Applied Mathematics and Computation, Volume 199, Issue 1, 15 May 2008*
- [33] Yasmin H. Said “**On Genetic Algorithms and their Applications**” *Handbook of Statistics, Volume 24, 2005*
- [34] Gautam Garai, B.B. Chaudhuri “**A distributed hierarchical genetic algorithm for efficient optimization and pattern matching**” *Pattern Recognition, Volume 40, Issue 1, January 2007*

- [35] Elisaveta G. Shopova, Natasha G. Vaklieva-Bancheva “**BASIC—A genetic algorithm for engineering problems solution**” *Computers & Chemical Engineering, Volume 30, Issue 8, 15 June 2006*
- [36] Darrell Whitley “**Overview of Evolutionary Algorithms: practical issues and common pitfalls**” *Information and Software Technology, Volume 43, Issue 14, 15 December 2001*
- [37] Anke Meyer-Bäse “**Genetic algorithms**” *Pattern Recognition in Medical Imaging, 2004*
- [38] “**Chapter 5 Genetic algorithms**” *Advances in Exploration Geophysics, Volume 4, 1995, Pages 125–158*
- [39] Lothar M. Schmitt, Chrystopher L. Nehaniv, Robert H. Fujii “**Linear analysis of genetic algorithms**” *Theoretical Computer Science, Volume 200, Issues 1-2, 28 June 1998, Pages 101-134*

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDINER, Zeynep  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 20.05.1983, Samsun  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (312) 411 92 97  
e-mail : [zeynep.aydiner@gmail.com](mailto:zeynep.aydiner@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Çankaya Üniversitesi/Bilgisayar	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2008-Halen	SIEMENS EC	Yazılım Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce