

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON ESASLI LİFLİ POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KOLONLARDA SARGILI BETON BASINÇ DAYANIMININ
BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE TAHMİNİ**

SELİM MURTAZAOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BİLGE DORAN**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON ESASLI LİFLİ POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KOLONLARDA SARGILI BETON BASINÇ DAYANIMININ
BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE TAHMİNİ**

Selim MURTAZAOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 11/10/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sema NOYAN ALACALI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bülent AKBAŞ
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2013-05-01-YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, karşılaştığım her sorunun çözüme ulaşmasını sağlayan çok değerli hocalarım; danışmanım Sayın Doç. Dr. Bilge DORAN'a ve eş danışmanım Sayın Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY'a en içten sevgilerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca maddi, manevi desteğini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Sabriye PİŞKİN'e şükranlarımı arz ederim.

Bir elini daima omzumda hissettiğim dostlarım Gizem KAYMAKCI, Ece ÇALIŞKAN, Ahmet Can BEKTAŞ, Özgür EKİCİ, Gökhan OBAY, Ezgi ÖZBAYRAKTAR, İrem ÖZBAYRAKTAR, Esra HASANOĞLU, Damla YAZICI, Dijan ATCI, Özge AKTAŞ, Nilay GÜÇLÜ, Seda CEBECİ, Fidan GÜNAY, Utku AKKAYA, Betül YÜCEL ve Mesut ÖNSEL'e bir teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca sevgi ve ilgilerini üzerimden hiç eksik etmeyen; beni her konuda destekleyen, yüreklendiren anneme ve ablama minnetlerimi sunarım.

"Bugüne en uzak gün, dün."
Özdemir ASAF

Ekim, 2013

Selim MURTAZAOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	5
FRP KOMPOZİTLERİNİN YAPISI, MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE GÜÇLENDİRME	
YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 FRP Malzemesinin İç Yapısı	5
2.2 FRP Malzemesinin Mekanik Özellikleri	5
2.2.1 Çekme Dayanımı	6
2.2.2 Basınç Dayanımı	6
2.2.3 Kesme Dayanımı.....	7
2.2.4 Aderans	7
2.3 FRP ile Güçlendirme Yöntemleri	7
BÖLÜM 3	9
CFRP İLE GÜÇLEDİRİLMİŞ KOLONLARIN BASINÇ DAYANIMI İÇİN ÖNERİLEN	
MODELLER	9

3.1	ACI 440'da Önerilen Model.....	9
3.2	Lam and Teng Tarafından Önerilen Model	11
3.3	Youssef Tarafından Önerilen Model	11
3.4	Chaallal vd. Tarafından Önerilen Model	12
BÖLÜM 4		13
YAPAY ZEKÂ ESASLI MODELLEME ÇALIŞMALARI		13
4.1	Bulanık Mantık (Fuzzy-Logic) Modeli	13
4.1.1	Bulanık Mantık Modelinin Genel Özellikleri	14
4.1.2	Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları	14
4.1.3	Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri.....	16
4.1.4	Üyelik Fonksiyonları (Membership functions, mfs)	19
4.1.5	Bulanıklaştırma	21
4.1.6	Bulanık Kurallar	22
4.1.7	Durulaştırma	22
4.1.7.1	En Büyük Üyelik İlkesi.....	22
4.1.7.2	Ağırlık Merkezi	23
4.1.7.3	Ağırlıklı Ortalama Yönetimi	23
4.1.7.4	Ortalama En Büyük Üyelik.....	24
4.1.7.5	Toplamların Merkezi	24
4.1.7.6	En Büyük Alanın Merkezi.....	25
4.1.7.7	En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi.....	25
4.1.8	Durulaştırmada Kuralların Harmanlanmasında Kullanılan 'VE' Operatörünün Çalışma Prensipleri.....	25
4.1.9	Bulanık Mantığın Farklı Uygulama Alanları.....	26
BÖLÜM 5		29
MATERYAL VE YÖNTEM.....		29
5.1	Modelleme Çalışmasında Kullanılan Veri Seti Temini.....	29
5.1.1	Kolonun Eni ve Boyu	29
5.1.2	CFRP Malzemesinin Kalınlığı	29
5.1.3	CFRP Malzemesinin Elastisite Modülü.....	30
5.1.4	Kuşatılmamış Kesitin Basınç Dayanımı.....	30
5.1.5	Yanal Kuşatma Katsayısı.....	30
5.1.6	Model Datasının Tanımlayıcı İstatistiksel Analizi	30
5.2	Bulanık Mantık Modeli.....	33
5.2.1	Bulanık Çıkarım Sistemindeki Operatörlerin Seçimi	35
5.2.2	Model Datasının Bulanık Çıkarım Sisteminde Değerlendirilmesi ...	36
5.2.3	Bulanık Çıkarım Sistemindeki Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi	38
5.2.4	Model Değişkenlerinin Bulanıklaştırılması.....	39
5.2.5	Kural Tabanının Tanıtılması.....	40
5.2.6	Model Değişkenlerinin Durulaştırılması.....	41
5.3	Çoklu Regresyon Modeli	42
5.4	Tahmin sonuçlarının İstatistiksel Analizi	44

BÖLÜM 6	47
MODELLEME SONUÇLARI	47
6.1 Önerilen Bulanık Mantık Modeli.....	47
6.1.1 FIS için Operatörlerin Seçimi.....	47
6.1.2 Bulanıklaştırma	48
6.1.3 Kural Tabanının Modele Girişi.....	52
6.1.4 Veri setinin Durulaştırılması.....	53
6.1.5 Bulanık Mantık Modelinin Yanal Kuşatma Katsayısı Tahmin Sonuçları 54	
6.2 Çoklu Regresyon Modeline Ait Tahmin Sonuçları.....	55
6.3 Tahmin Sonuçlarının İstatistiksel Verifikasyonu	60
BÖLÜM 7	62
SONUÇ VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	65
EK-A	70
LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN DENEYSEL VERİLER.....	70
EK-B	75
GİRİDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ İÇİN TRAPEZ FONKSİYONU KURAL TABANI	75
EK-C	80
CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLONLARIN YANAL KUŞATMA KATSAYILARININ TAHMİN MODELLEMELERİN ÇALIŞMA SONUÇLARI	80
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGE LİSTESİ

A_{co}	Kuşatılmamış Brüt Beton Alanı
A_g	Brüt Beton Kesit Alanı
A_j	1 Metre Genişliğe Tekabül Eden Kuşatılmış Kesit Alanı
b	Kolonun Eni
D	Eşdeğer Dairesel Kolon Çapı
E_{co}	Kuşatılmamış Beton Kesitin Elastisite Modülü
$FA2$	İki Faktörü
f'_{cc}	Kuşatılmış Kesitin Basınç Dayanımı
f'_{co}	Kuşatılmamış Kesitin Basınç Dayanımı
f'_l	Betona Uygulanan Etkin Yanal Kuşatma Basıncı
FV	Fraksiyonel Varyans
h	Kolonun Boyu
IA	Uyum İndeksi
k	Etkin Kuşatma Katsayısı
k_l	Etkin Kuşatma Katsayısı
k_s	Yanal Kuşatma Katsayısı
m	Ortalama
MAE	Ortalama Mutlak Hata
mfs	Üyelik Fonksiyonu
MSE	Ortalama Kareysel Hata
n	Gözlem Sayısı
O	Gözlenen (Deneysel)
p	Girdi Değişkeni
p	Çoklu Regresyon Modelindeki Değişken Sayısı
P	Tahmin edilen (Model)
r	Yuvarlatma Yarıçapı
R	Korelasyon Katsayısı
R^2	Determinasyon Katsayısı
R_a^2	Ayarlanmış Çoklu Determinasyon Katsayısı
reg	Regresyon
$RMSE$	Ortalama Kareysel Hata Karekökü
t	CFRP Malzemesinin Kalınlığı
t	Çıktı Değişkeni
Y_a	Deneysel Veri
Y_p	Tahmin Değeri
ρ	Boyuna Donatı Yüzdesi

ϵ_{fe} Etkin Deformasyon
 ϵ_j CFRP Malzemesinin Yırtılma Birim Deformasyonu

KISALTMA LİSTESİ

AFRP	Aramid Lifli Donatılı Polimer Malzeme
CFRP	Karbon Lifli Donatılı Polimer Malzeme
ÇRM	Çoklu Regresyon Modeli
FIS	Fuzzy Inference System (Bulanık Çıkarım Sistemi)
FLM	Fuzzy Logic Model (Bulanık Mantık Modeli)
FRP	Lifli Donatılı Polimer Malzeme
GFRP	Cam Lifli Donatılı Polimer Malzeme
MISO	Multiple Inputs Single Output (Çok Girdili Tek Çıktılı)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Betonarme kolonlar için tipik sargılama yöntemleri: Tam sargılama ve Kismî sargılama 8
Şekil 3.1	Kuşatılmış beton..... 10
Şekil 4.1	Klasik sistem [23]..... 17
Şekil 4.2	Bulanık mantığın temel elemanları [23]..... 18
Şekil 4.3	Klasik mantık [23] 20
Şekil 4.4	Bulanık mantık [23] 20
Şekil 4.5	En büyük üyelik ilkesi durulaştırması [24]..... 23
Şekil 4.6	Centroid yöntemi durulaştırması [24]..... 23
Şekil 4.7	Ağırlıklı ortalama [24]..... 24
Şekil 4.8	Ortalama en büyük üyelik durulaştırması [24]..... 24
Şekil 4.9	En büyük alanın merkezi [24] 25
Şekil 4.10	VE bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı örnek [24] 26
Şekil 5.1	Modellemede kullanılan kolon eni değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı 31
Şekil 5.2	Modellemede kullanılan kolon boyu değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı..... 32
Şekil 5.3	Modellemede kullanılan CFRP malzemesinin kalınlık değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı 32
Şekil 5.4	Modellemede kullanılan kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı 32
Şekil 5.5	Modellemede kullanılan CFRP malzemesinin elastisite modülü değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı 33
Şekil 5.6	Modellemede kullanılan yanal kuşatma katsayısı değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı 33
Şekil 5.7	Bulanık mantık mekanizması..... 34
Şekil 5.8	Bulanık mantık modelinin adımları 35
Şekil 5.9	Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde operatör seçimi 36
Şekil 5.10	Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi 38
Şekil 5.11	Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde üyelik fonksiyonu seçimi..... 39
Şekil 5.12	Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde üyelik fonksiyonu seçimi..... 41
Şekil 5.13	Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde durulaştırma ... 42

Şekil 5.14	Çoklu regresyon modelinin örnek girdi parametre sayısının DataFit® programına girişi	43
Şekil 5.15	Çoklu regresyon modelinin örnek girdi ve çıktı değerlerinin DataFit® programına girişi	43
Şekil 5.16	Çoklu regresyon modelinin DataFit® programında sonuçları.....	44
Şekil 6.1	Bulanık çıkarım sistemi, girdi ve çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının aralıklarının belirlenmesi.....	48
Şekil 6.2	Kolonun eni için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları	49
Şekil 6.3	Kolonun boyu için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları	49
Şekil 6.4	CFRP malzemesinin kalınlığı için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları	50
Şekil 6.5	Kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları	50
Şekil 6.6	CFRP malzemesinin elastisite modülü için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları	51
Şekil 6.7	Yanal kuşatma katsayısı için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları	51
Şekil 6.8	<i>IF-THEN</i> kural yapısının uygulanması	53
Şekil 6.9	Bulanık çıktıların durulaştırılması	53
Şekil 6.10	Deneysel yanal kuşatma katsayıları ile fuzzy logic model ve doğrusal olmayan regresyon modeli sonuçlarının mukayesesi	54
Şekil 6.11	Deneysel yanal kuşatma katsayıları ile fuzzy logic model ve doğrusal olmayan regresyon modeli sonuçlarının bakiye hata grafiği	55
Şekil 6.12	Çoklu regresyon modelinde veri setinin DataFit® üzerinde uygulanması ..	57
Şekil 6.13	Çoklu regresyon modelinde veri setinin DataFit® programında sonuçları .	57

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Mekanik Özellikler [38] 6
Çizelge 4.1	Klasik mantık - bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar [23] 14
Çizelge 4.2	Bulanık denetim uygulamaları [24] 27
Çizelge 5.1	Model verisinin tanımlayıcı istatistiksel analizi 31
Çizelge 5.2	Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri 45
Çizelge 6.1	Girdi ve çıktı verilerine ait üyelik fonksiyonları ve değişken aralıkları 52
Çizelge 6.2	Yanal kuşatma katsayısı tahmininde deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modelinin (eksponansiyel model) katsayıları ve modele ait bazı istatistiksel sonuçlar 56
Çizelge 6.3	Yanal kuşatma katsayısı tahmininde Datafit® ile elde edilen çoklu regresyon modelleri ve regresyon analizinde hesaplanan bazı istatistiksel değerler 58
Çizelge 6.4	Yanal kuşatma katsayısı tahmininde deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modeli (eksponansiyel model) için tanımlayıcı bakiye hataların istatistikleri 59
Çizelge 6.5	Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri 60

**KARBON ESASLI LİFLİ POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
BETONARME KOLONLARDA SARGILI BETON BASINÇ DAYANIMININ
BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI İLE TAHMİNİ**

Selim MURTAZAOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bilge DORAN

Eş Danışman: Doç. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

Türkiye, dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır ve Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na (1996) göre nüfusunun yaklaşık %95'i bu bölgelerde yaşamaktadır. Bununla beraber geçen yüzyıl içindeki nüfus artışına ve iç göçlere bağlı olarak ortaya çıkan plansız yapılaşma sonucunda depreme dayanıksız yapı stoğu göze çarpılmaktadır. Özellikle 1990'lı yıllarda ise mevcut binaların güçlendirilmesi kavramı deprem mühendisliğinin gündemine dünyadaki uygulamalara paralel bir şekilde taşınmıştır. 1995 Dinar depremi ile 1998 Adana Ceyhan depremleri çok şiddetli olmasalar bile can kaybı ve önemli maddi hasara yol açmaları nedeni ile bilim adamlarını mevcut yapı stoğunun güçlendirilmesi konusunda çalışmaya zorunlu kılmıştır. Bu nedenle 1974 yönetmeliği, edinilen yeni bilgi ve tecrübeler kapsamında değiştirilerek 1997 deprem yönetmeliği hazırlanmıştır. Bu yönetmelik de 1999 depremi sonrası ortaya çıkan pek çok hasarlı yapının belirli standartlar kapsamında değerlendirilmesi gerekliliğinden yola çıkılarak 2007 yılında mevcut yapı stoğunun depreme karşı performansının belirlenmesi ve bu doğrultuda yapıların güçlendirilmesi Türk Deprem Yönetmeliği (2007) kapsamına alınmıştır. Betonarme yapı elemanları için, güçlendirme ve/veya sistem iyileştirmesinde kullanılmak üzere önerilen birçok teknik ve yapı malzemeleri dikkati çekmektedir. Yeni bir malzeme olarak, uzun yıllar uçak ve otomobil üretiminde kullanılan, betonarme elemanlarda ise ilk olarak Fardis ve Khalli (1981) tarafından uygulanan lif takviyeli polimerler örnek olarak verilebilir. Lif takviyeli

polimer (LP) sistemler, betonarme yapıların güçlendirilmesinde bilinen yöntemler olan çelik lamalarla sarma ve kesit büyültme (mantolama) yöntemlerine göre, uygulanması daha kolay ve hızlı bir seçenektir. Literatürde, LP ile güçlendirilmiş elemanların davranışı ile ilgili birçok çalışma dikkati çekmektedir. Eksenel ve /veya eksantrik yüke maruz mevcut betonarme kolonların güçlendirmesinde LP'nin kullanımı ile sağlanan pasif kuşatma etkisi, taşıma gücüne ulaşma durumunda elemanın eksenel basınç dayanımını ve özellikle de sünekliğini artırmaktadır. Literatürde, çeşitli araştırmacılar tarafından LP ile güçlendirilmiş betonarme (BA) elemanların eksenel basınç dayanımını veren birçok analitik bağıntı önerilmiştir. Tezin 1. Bölümünde, kısa literatür özeti ile tez çalışmasının amacı verilmiştir. 2. ve 3. Bölümlerde, karbon esaslı lifli polimerlerle (CFRP) güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli betonarme kolonların eksenel yükler altında davranışı incelenmiş ve sargılı betonun basınç mukavemetini veren analitik bağıntılar irdelenmiştir.

4. Bölümde, yapay zekâ esaslı modelleme çalışmaları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. 5. Bölümde, CFRP ile kuşatılmış kolonlar ile ilgili araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen deneyler ve deney sonuçları esas alınarak yapay zeka esaslı bir model öne sürülmüştür. Son olarak 6. Bölümde, elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Deneysel veri seti esas alınarak CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonlarda sargılı beton basınç dayanımını bulanık mantık kuramı ile tahmin edecek yapay zekâ esaslı yeni bir algoritma sunulmuş ve ayrıca doğrusal olmayan regresyon analizi esaslı modelleme çalışmaları yapılmıştır. Modelleme çalışmalarından elde edilecek tahminler, CFRP ile güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli betonarme kolonların eksenel basınç dayanımını veren ampirik ifadelerin sonuçları ile karşılaştırılarak ve seçilen spesifik çıktı değişkeninin tahmininde en uygun matematik model belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kolonlar, Lifli polimer, Yapay zekâ esaslı modelleme, bulanık mantık, non-lineer regresyon analizi

**PREDICTION OF CONFINED COMPRESSIVE STRESS IN RC COLUMNS
STRENGTHENED WITH CFRP USING FUZZY LOGIC APPROACH**

Selim MURTAZAOĞLU

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Bilge DORAN

Co-Adviser: Assoc. Prof. Dr. Kaan YETİLMEZSOY

A major part of Turkey is located on active seismic zones and 95% of Turks live in these areas. Because of the population growth and also internal migration, large building stock vulnerable to seismic activities arises around Turkey. After 1999 earthquake, Turkish Seismic Design Code (TSC, 2007) which has been updated for the seismic rehabilitation of buildings has become more stringent, especially for existing RC structures. There are several strengthening/repair techniques and materials in literature. Although the method of strengthening concrete structures with fiber reinforced polymers (FRP) is a relatively new technique, it has existed for over a decade. Much focus and effort has been placed on understanding the behavior of FRP confined concrete structures. In this context, several confinement models have been developed for FRP-confined concrete for the prediction of stress-strain behaviour. Several researchers have developed various constitutive models to measure the increase in the axial strength of concrete due to the confinement effect of FRP laminates. In Chapter 1, a brief literature review has been given and clear aims and objectives for the current Thesis have been identified. In Chapters 2 and 3, RC rectangular columns wrapped with carbon fiber reinforced polymers (CFRP) considering several confinement models in the literature have been investigated.

In chapter 4, general information about the artificial intelligence-based algorithm has been given. In chapter 5, based on the experimental data set, a new artificial

intelligence-based algorithm has been implemented in order to predict confined compressive stress in RC columns strengthened with CFRP using fuzzy-logic methodology, and non-linear regression analysis-based modeling have also been conducted. Analysis results have been compared with the outputs of the empirical equations proposed for the stress-strain relationship for rectangular RC columns confined with CFRP jackets under axial compression.

Key words: Reinforced concrete columns, Fiber reinforced polymers, artificial intelligence-based modeling, fuzzy-logic, non-linear regression analysis

1.1 Literatür Özeti

Depremselliğin önemli olduğu yerleşim bölgelerinde, özellikle deprem sonrası hasar görmüş yapıların onarılması ve hasarsız kusurlu binaların güçlendirilmesi araştırmacı akademisyenlerin oldukça ilgisini çekmektedir. Betonarme elemanların lifli polimer (LP) malzeme ile güçlendirilmesi örnekleri, birçok bakımdan iyi sonuçlar vermektedir. Bu yeni teknolojide son yıllarda hızlı bir gelişme sağlanmıştır. LP nin betonarme elemana sarılmasıyla, basınç dayanımı ve sünekliliği sargısız betona nazaran oldukça önemli oranda değişmektedir. CFRP ile sargılı betonun basınç dayanımını veren pek çok bağıntı mevcuttur [1], [2], [3]. Ancak bu bağıntıların bağlı oldukları geometrik ve/veya mekanik değişkenler dikkate alınacak olursa, bunların kısıtlı bir süreçte yorumlanması pratik uygulamalarda zor ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu açıdan mevcut iş gücü, finansal durum ve özellikle zaman faktörü gibi temel parametreler göz önüne alındığında, spesifik bir çıktının veya çıktıların mevcut yapı stoğunu temsil edici yüksek performanslı bir matematiksel model ile yeterli hassasiyetle tahmin edilmesi, mühendislik pratiğinde oldukça önemlidir. Ancak, çok sayıdaki bağımsız değişkene karşılık gelen bir veya birden fazla çıktı ile girdiler arasındaki matematiksel ilişki, gerçek uygulamalarda çoğunlukla karmaşık ve doğrusal olmayan bir formülasyon ortaya koymaktadır. Bu maksatla, mevcut bir olay için geliştirilen matematiksel modeller, gerçek olayların bir temsilcisi olup, söz konusu çıktı parametresini belirli bir hassasiyetle tahmin etmekte kullanılmaktadır. Dolayısıyla, yüksek korelasyonlu ve düşük istatistiksel hatalara sahip bir model geliştirilmesi, anılan konu ile ilgili farklı senaryoların değerlendirilmesi ve

deney maliyetinin minimize edilmesi açısından oldukça önemlidir. Ancak, geliştirilen modelin çalışma sınırlarının ortaya konulması söz konusu modelin pratikte kullanılabilirliği açısından önemli ve gerekli bir koşuldur [4].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, CFRP ile kolonlarda etkin yanal kuşatmayı tarif eden kat sayılarının (yanal kuşatma kat sayıları) tahmin edilmesi için bilgisayar yardımıyla bulanık mantık ve çoklu regresyon modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Literatürden elde edilen deneysel çalışmalardan, 100 adet veri yardımıyla bulanık mantık ve çoklu regresyon modelleri oluşturulmuş ve en uygun yapay zekâ modeli ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak bu modellerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları belirlenmiş ve en uygun model yapısı ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, bulanık mantık modellemesinin gerçekleştirilmesi için MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 yazılım programında mevcut “Bulanık Mantık Modülü” (Fuzzy Logic Toolbox) kullanılarak bir “Bulanık Çıkarım Sistemi” (Fuzzy Inference System - FIS) kullanılmıştır.

Öne sürülen yapay zekâ esaslı modeller kullanarak, CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayılarının hesabında;

- Birçok değişkene ve formülasyona bağlı matematik modeller yerine CFRP ile güçlendirilmiş kolonlarda yanal kuşatma katsayıları doğrudan tahmin edilecektir.
- Matematik modeller ile uzun zaman, uğraş ve maliyet gerektiren bu problem, yapay zekâ esaslı modeller ile basit, hızlı ve maliyeti düşük sonuçlar ortaya çıkarır.
- Matematik modeller, birçok değişken ve birbirine bağlı formülasyonlar içerdiği için hata düzeyi oldukça yüksektir. Yapay zekâ esaslı modellerle hata düzeyi minimuma indirilecektir.

Yine çalışmada, bulanık mantık modellemesi için ortaya konan çalışmalar ve bu kapsamdaki amaçlar sıralanmıştır:

- İnşaat Mühendisliği'nde bulanık mantığa dayalı en güncel tahmin modelleme çalışmaları incelenmiş ve düzenlenmiş olup, bu alandaki literatür boşluğunun doldurulması amaçlanmıştır.
- Belirlenen girdi-çıkı yapıları ile farklı üyelik fonksiyonlarının (membership functions; *mfs*) değerlendirilmesi yapılarak, en uygun üyelik fonksiyonu belirlenmiştir.
- Seçilen bu üyelik fonksiyonu için Bulanık Çıkarım Sistemindeki (FIS) OR, AND, IMPLICATION, AGGREGATION ve DEFUZZIFICATION metodlarında kullanılan operatörlerin (*min, max, prod, probor, sum, centroid*) bir optimizasyonu yapılmış ve en uygun FIS yapısı belirlenmiştir.
- Seçilen üyelik fonksiyonu ve FIS yapısı için model değişkenleri arasındaki ilişkileri tanımlayan uygun bir kural tabanı (Rule Base) oluşturulmuş ve böylece nümerik veriler dilsel (logic) değerlere dönüştürülmüştür.
- Bulanık mantık modelinden elde edilen tahmin sonuçları ile deneysel bulgular çok sayıda istatistiksel parametre (R^2 , MAE, RMSE, FA2, IA, FV) için mukayese edilmiş ve tahmin sonuçlarının validasyonu/verifikasyonu yapılmıştır.
- Çoklu regresyon modeli için DataFit® V8.1.69 (Copyright© 1995-2005 Oakdale Engineering, PA, RC167) yazılımı kullanılmış ve yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlarla bulanık mantık çalışması sonucu elde edilen sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır.

1.3 Hipotez

İnşaat Mühendisliğinde, CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların aksel yükler altında davranışının ve sargı etkisiyle sağlanan basınç dayanımındaki artışın incelenmesi gibi bünyesel davranışı betimleyen çok sayıda değişken içeren ve karmaşık bir akım şemasına sahip spesifik bir uygulama alanında [3], özellikle girdi ve çıkı parametreleri arasındaki kompleks etkileşimleri deterministik bir matematiksel model şeklinde ifade etmek için çok sayıda iterasyon (deneme-yanılma) ve uzun bir hesap süreci gerekmektedir. Pratik uygulamalardaki kısıtlar ve zorluklar göz önüne alındığında, bu amaca yönelik olarak geliştirilmiş bilgisayar programları, hem hesap sürecini oldukça kısaltmakta hem de farklı senaryolar için sonuçların bilgisayar ortamında hızlı ve görsel bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [4].

Özellikle öğrenme kapasitelerindeki başarıları, çabukluğu, tahmin yetenekleri, girdi-çıkı ilişkisini kavrayabilecek doğrusal olmayan karakteristikleri ve kompleks bir matematiksel denklem yapısına ihtiyaç göstermemeleri sebebiyle yapay zekâ esaslı güncel tahmin modelleme tekniklerinin (örn: yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (fuzzy-logic) ve bunların kombinasyonu olan uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) gibi) son yıllarda pek çok araştırma alanında başarıyla uygulandığı görülmektedir. Bu maksatla, çok sayıda sistem faktörü arasındaki bu kompleks ve doğrusal olmayan ilişkinin, prosesi temsil edici yapay zekâ esaslı bir teknikle modellenmesiyle daha hızlı ve daha hassas olarak analiz edileceği düşünülmektedir.

Son yıllarda tahmin modellemesi alanında en çok uygulanan yapay zekâ modellerinden olan bulanık mantık esaslı gri kutu modelleme tekniklerinin çok sayıda çalışmada [5-12] başarılı bir şekilde kullanıldığı ve yüksek tahmin performansı gösterdiği görülmektedir. Literatürdeki başarılı çalışmaların ışığında, bu tez kapsamında, CFRP ile elde edilen etkin kuşatma basınçları/kuşatma kat sayıları bulanık mantık kuramı ile tahmin etmek üzere yapay zekâ esaslı yeni bir algoritma sunulacak ve elde edilen tahmin sonuçları hem deneysel verilerle hem de konvansiyonel doğrusal olmayan modelleme sonuçlarıyla çok sayıda istatistiksel performans indikatörü için mukayese edilecektir.

FRP KOMPOZİTLERİNİN YAPISI, MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

2.1 FRP Malzemesinin İç Yapısı

LP, süreklilik gösteren liflerin reçine matris içinde birbirlerine sarılmasıyla oluşturulur. En çok bilinen lifler; karbon lifler, cam lifler ve aramid liflerdir. Reçineler ise; epoksi reçinesi, polyester reçinesi ve vinylester reçinesi olarak sınıflandırılabilir. Liflerin kullanımına göre, FRP kompozitler, üç sınıfa ayrılır:

- Cam lifli donatılı polimer (Glass Fibre Reinforced Polymer, GFRP)
- Karbon lifli donatılı polimer (Carbon Fibre Reinforced Polymer, CFRP)
- Aramid lifli donatılı polimer (Aramid Fibre Reinforced Polymer, AFRP).

2.2 FRP Malzemesinin Mekanik Özellikleri

LP malzemelerin inşaat mühendisliğinde uygulamaları, ilk başlarda yüksek maliyetten dolayı sınırlı kalmıştır. Ancak inşaat mühendisliğinde geniş uygulamalara yer verilmesiyle birlikte maliyet de hızla düşmüştür. Betonarme elemanların güçlendirilmesinde; GFRP, CFRP ve AFRP malzemeler başarılı bir biçimde kullanılmaktadır. Anılan malzemelerin mekanik özellikleri, Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Mekanik Özellikler [38]

Malzeme	Lif İçeriği (% ağırlık oranına göre)	Yoğunluk (kN/m ³)	Boyuna çekme Modülü (GPA)	Çekme Dayanımı (MPa)
GFRP	50-80	16-20	20-55	400-1800
CFRP	65-75	16-19	120-250	1200-2250
AFRP	60-70	10.50-12.50	40-125	1000-1800

Son yıllarda, betonarme elemanların FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili hızlı bir gelişme göze çarpmakla birlikte detaylı hesap şekli ve uygulanan teknik esaslar, kabul gören tasarım yönetmeliklerine henüz tam olarak girmiş değildir.

2.2.1 Çekme Dayanımı

FRP malzemesinin çekme dayanımı ve rijitliği birçok etkene bağlı olarak değişim göstermektedir. FRP'nin içinde bulunan lifler esas yükü taşıyıcı elemanlar oldukları için, lif hacminin bütün FRP hacmine oranı (hacimsel oran) çekme dayanımını etkileyen en önemli parametredir. Aynı özelliklere sahip elemanlarda bile, liflerin hacim oranı değiştiğinde dayanım ve rijitlik miktarları farklılık göstermektedir. Üretim yöntemi ve üretim esnasında uygulanan kalite kontrolü de mekanik özelliklerini etkileyen diğer önemli parametrelerdir.

2.2.2 Basınç Dayanımı

Genelde çekme dayanımı yüksek FRP malzemenin basınç dayanımı da yüksektir. AFRP liflerinin basınç altındaki düşük gerilme düzeyinde doğrusal olmayan davranış gösterdiği durumlar bunun dışındadır. Basınç dayanımı, çekme dayanımının yaklaşık olarak, GFRP için %55, CFRP için %78 ve AFRP için ise %20'si kadardır [13].

2.2.3 Kesme Dayanımı

Çoğu FRP malzeme, lif katmanları arasında güçlendirilmemiş reçine bulunması durumunda kesmeye karşı dayanıksızdır. Çünkü genellikle tabakalar arasında güçlendirme yapılmamıştır, kesme kuvvetini nispeten zayıf olan polimer matris karşılar. Eksenlerden farklı yönlerde yerleştirilmiş lifler, kesme dayanımını arttırır. Bu lifler, örgü şeklinde yerleştirilebileceği gibi, esas liflere enine sarılabilir. Kesme dayanımı, toplam çekme dayanımının 1/5i civarındadır [14].

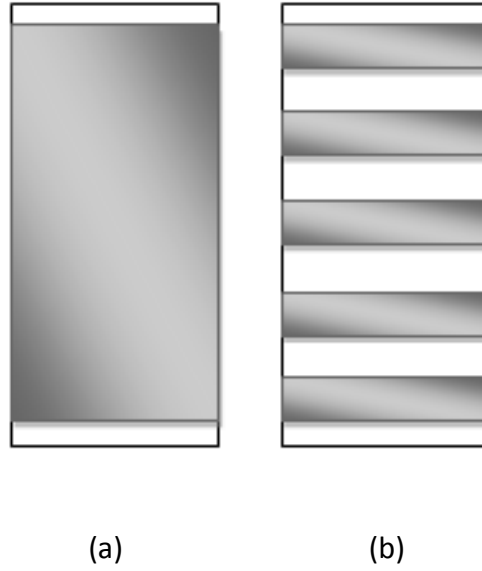
2.2.4 Aderans

FRP elemanın aderans performansı; tasarımına, üretim metoduna, mekanik özelliklerine ve çevresel koşullarına bağlıdır. Kimyasal aderans olarak da bilinen yüzeysel arası yapışma dayanımının aktarabileceği aderans kuvveti, sürtünme dayanımı ve yüzey uyumsuzlukları sebebiyle meydana gelen mekanik takılmalar ile de iletilebilir.

FRP malzemede, aderans kuvvetinin reçineden güçlendirilmiş liflere aktarılması istenir. Aderansı yetersiz bir elemana çekme kuvveti uygulandığında, FRP ile çevrelediği beton arasındaki bağ kopar ve FRP yüzeyinde oluşan deformasyonlar FRP ile beton arasında eğik aktarım kuvvetlerinin doğmasına sebep olur. Güç bileşenlerinden kaynaklanan FRP yüzeyindeki gerilme, FRP ile beton arasındaki aderans gerilmesi olarak gösterilebilir.

2.3 FRP ile Güçlendirme Yöntemleri

Betonarme kolonların FRP ile güçlendirilmesine ilişkin çoğunlukla iki teknik uygulanmaktadır; Tam sargılama ve kısmi sargılama (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Betonarme kolonlar için tipik sargılama yöntemleri: (a) Tam sargılama
(b) Kısmî sargılama

Tam sargılama yöntemi, tek yönlü lif tabakaları veya örülmüş lif tabakalarının polimer reçine emdirilmesi ve kolonun etrafına reçinesi kurumadan sarılması olarak özetlenebilir. Bir kolon tamamen FRP tabakalarla sarılabilir ve bu sargı bir veya bir kaç tabakadan oluşabilir (Şekil 2.1a). Dıştan FRP sargı kullanıldığında, betondaki basınç dayanımının artışı sağlandığı bilinmektedir. Bu görüş ilk kez 1980'lerin ortasında, betonarme kolonların güçlendirilmesinde uygulanmaya başlanmıştır. O tarihten bu yana köprülerin ve bina kolonlarının güçlendirilmesinde bu tekniğin uygulanmasına ait birçok rapor mevcuttur [15].

Kısmi sargılama ise (Şekil 2.1b), lifli polimer malzemenin belirli mesafelerle kolona sarılması olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemde tam sargılama gibi kolonda basınç dayanımı artırdığı gözlemlenmiştir.

Literatürde, birçok mühendislik yapı ve yapı elemanlarının güçlendirilmesinde FRP malzemesi tekniğin uygulanmasına ait çeşitli raporlar mevcuttur [15].

FRP sargılı betonda (CFRP, GFRP) elde edilecek basınç dayanımı ve/veya etkin kuşatma katsayılarının sargısız betona oranla artacağı deneysel olarak ispatlanmış ve kabul görmüştür.

**CFRP İLE GÜÇLEDİRİLMİŞ KOLONLARIN BASINÇ DAYANIMI İÇİN ÖNERİLEN
MODELLER**

CFRP ile kuşatılmış betonun davranışını tanımlayan ve araştırmacılar tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ile ilgili birçok analitik bağıntı mevcuttur [16], [17], [18], [19]. Bu bölümde anılan modeller irdelenecektir.

3.1 ACI 440'da Önerilen Model

Önerilen modelde, kuşatılmış betona ait etkin alanın köşelerden 45 derece ile belirlenen 4 parabolde oluşacağı kabulü ile (Şekil 3.1) şekil faktörü:

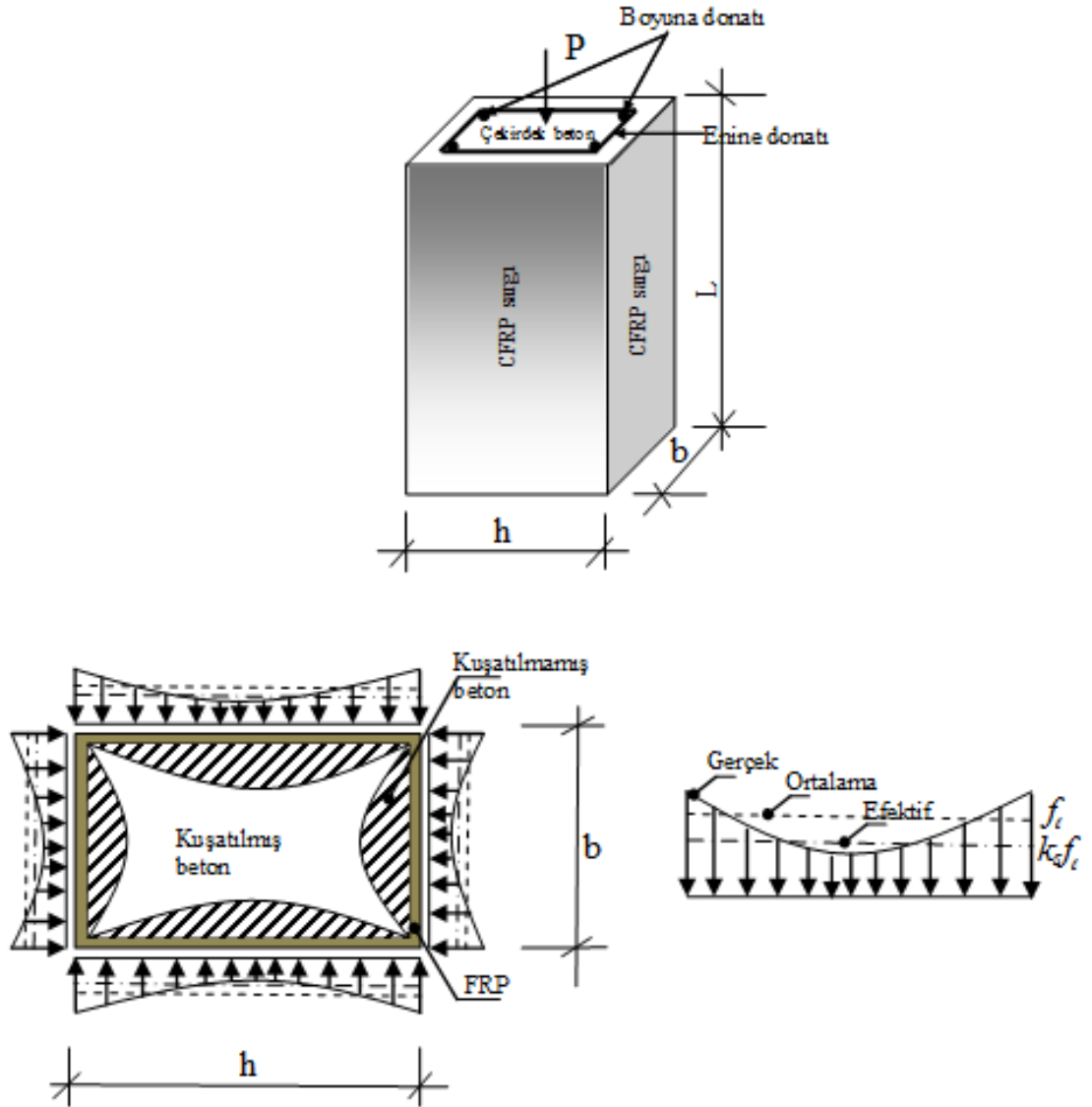
$$k_s = \frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{(b - 2r)^2 + (h - 2r)^2}{3A_g(1 - \rho_s)} \quad (3.1)$$

olarak tanımlıdır [16]. Burada A_g brüt beton kesit alanı, ve ρ_s boyuna donatı yüzdesini ifade etmektedir. (3.1) no.lu bağıntıda $A_g = bh - (4 - \pi)r^2$ 'dir. Önerilen modelde ayrıca dikdörtgen kolon için belirlenen aynı FRP hacimsel orana sahip eşdeğer dairesel kolon tanımından yararlanılmıştır. Buradan hareketle eşdeğer dairesel kolon çapı, h ve b sırasıyla dikdörtgen kolonun uzun ve kısa kenarları olmak üzere, $D = 2bh/(b + h)$, şeklinde belirlenecektir. FRP malzemenin yırtılma birim deformasyonu ε_j , ε_{fe} ile tanımlanan etkin deformasyona eşit alınmıştır; $\varepsilon_{fe} = 0.004 < 0.75\varepsilon_{FRP}$. Sonuç olarak, kolonda eşdeğer kuşatma basıncı (Şekil 3.1) ve gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi:

$$f'_i = k_s \frac{2tE_{FRP}\varepsilon_j}{D} = \left\{ 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{3A_g(1-\rho_s)} \right\} \frac{2tE_{FRP}0.004}{2bh/(b+h)} \quad (3.2)$$

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f'_i}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_i}{f'_{co}} - 1.254 \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanır.



Şekil 3.1 Kuşatılmış beton

3.2 Lam and Teng Tarafından Önerilen Model

FRP ile kuşatılmış betona ait gerilme-birim deformasyon ilişkisini tarifeden bağıntı, k_{s1} ile tanımlanan şekil katsayısına bağlı olarak:

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1 + k_1 k_{s1} \frac{f_l}{f'_{co}} \quad (3.4)$$

şeklinde verilmiştir [17]. Burada k_1 etkin kuşatma katsayısını ifade etmektedir ve

$$k_1 = 3.3; \quad k_{s1} = \left(\frac{h}{b} \right)^2 \frac{A_e}{A_c} \quad (3.5)$$

$$\frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{(h/b)(b-2r)^2 + (b/h)(h-2r)^2}{3A_g(1-\rho_s)} \quad (3.6)$$

olarak tanımlıdır. Bağıntı (3.7)'de, f_l kuşatma basıncıdır ve t , FRP malzemenin kalınlığı, D eşdeğer kolon çapı ($D = \sqrt{b^2 + h^2}$), E_{FRP} FRP malzemenin elastisite modülü, ε_j ise yırtılma birim deformasyonu ($\varepsilon_j = k_\varepsilon \varepsilon_{FRP}$) olmak üzere:

$$f_l = \frac{2tE_{FRP}\varepsilon_j}{D} \quad (3.7)$$

şeklindedir. Yukarıdaki bağıntılarda k_ε 'in değeri kullanılan FRP malzemenin türüne göre değişmektedir ve CFRP için yaklaşık olarak 0.586 alınabilir. ε_{FRP} ise son limit çekme birim deformasyonudur ve deneysel elde edilecektir.

3.3 Youssef Tarafından Önerilen Model

Bu modelde, kuşatılmış beton basınç dayanımı çok sayıda regresyon analizi yardımıyla aşağıdaki bağıntı kullanılarak tahmin edilmektedir [18]:

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = \left[0.5 + 1.225 \left(\frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{3/5} \right] \quad (3.8)$$

Burada f'_l , FRP tarafından betona uygulanan etkin yanal kuşatma basıncıdır ve biçim katsayısı k_s ye bağlı olarak (3.9):

$$f'_l = k_s \left(\frac{1}{2} \rho_{FRP} f_{FRP} \right) \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

3.4 Chaallal vd. Tarafından Önerilen Model

Chaallal vd. (2003) [19], çalışmalarında deneysel verilere dayalı üç boyutlu gerilme-birim şekil değiştirme bağıntısını

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 1 + 72 \frac{k}{f'_{co}} \quad (3.10)$$

şeklinde vermişlerdir. Bu bağıntıda, “ k ” etkin kuşatma katsayısıdır ve

$$k = \frac{E_{FRP} A_j}{E_{co} A_{co}} \quad (3.11)$$

olarak tanımlıdır. Burada A_j , 1 m genişliğe tekabül eden kuşatılmış kesitin alanını ($A_j = t \times 1$ m), E_{co} kuşatılmamış beton kesitin elastisite modülünü ve A_{co} ise kuşatılmamış brüt beton kesit alanını ifade etmektedir.

Yukarıda incelenen dört bünyesel modelden de anlaşılacağı üzere matematik modeller çok sayıda değişkene bağlı birçok ampirik formülden oluşmaktadır. Bünyesel davranışı tahmin edebilmek için anılan geometrik ve mekanik değişkenlerin belirlenmesi ve bunlara bağlı olarak bünye denklemlerinin kurulması hem uzun zaman gerektirmekte hem de hata yapma olasılığını artırmaktadır.

YAPAY ZEKÂ ESASLI MODELLEME ÇALIŞMALARI

4.1 Bulanik Mantık (Fuzzy-Logic) Modeli

Bulanık ilkeler ilk defa Lotfi Zadeh [20], tarafından 1965 yılında literatüre kazandırılmıştır. Daha önceden bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığı ve hatta bilime karşı geldiği düşünölmekteydi, 1975 yılında Mamdani ve Assilian [21] tarafından geliştirilen bir kontrol uygulaması, bulanık kavram ve sistemlerin ivme kazanmasına neden olmuştur. Bulanık modellemede amaç, mevcut bir veri seti yardımıyla temsil edilen ve içerik olarak tanımlanamayan bir sistemin davranışını tahmin etmek ve açıklamaktır. Klasik matematik yardımıyla oluşturulan sistem modellemesi, eksik tanımlanmış ve kompleks sistemler için uygun değildir. Buna nazaran, bulanık mantık sistemi klasik matematik modellere göre, detaylı nicel analizler kullanmadan insan bilgisinin ve deneyimlerinin nitel taraflarını modelleyebilmektedir.

Son yıllarda, bulanık küme, bulanık mantık ve bulanık sistemler mühendislik alanının her dalında büyük popölerlik kazanarak ön sıralara yükselmiştir [22]. Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, ilgilenilen kompleks bir sorunun olması ve bu sorunla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş, yargı ve deneyimlerinin model üzerinde yer verilebilmesidir. İkincisi ise insan yargılamasına, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir [23].

Çizelge 4.1 Klasik mantık - bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar [23]

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A <u>veya</u> A Değil	A <u>ve</u> A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

4.1.1 Bulanık Mantık Modelinin Genel Özellikleri

Zadeh'in yaklaşımına göre bulanık mantık çok değer alabilmektir (multi-variable). Klasik mantık görüşünde mevcut 0-1 yaklaşımından farklı olarak, bulanık mantık yaklaşımında üç veya daha fazla sayıda çıkarım oluşturulabilir [23].

Bulanık mantığın başlıca özellikleri şunlardır;

- Farklı doğruluk dereceli, "doğru" , "çok doğru" , "az çok doğru" v.b. gibi sözel ifadelerle (linguistik-dilsel-değişkenli) sahiptir.
- "doğru" veya "yanlış" olarak kesin sonuçlar değil fakat yaklaşık çıkarım kurallarına sahiptir.
- Sorun üzerindeki her kavramın bir derecelendirilmesi bulunmasıdır.
- Mevcut olan her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi mümkündür.
- Bulanık mantıkta bilgi, bulanık kısıtlara bağlı değişkenlerin esnekliği veya denkliliğiyle yorumlanabilmesine imkan vermektedir.

4.1.2 Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Bulanık mantıktan yola çıkılarak kullanılan bulanık denetleyicilerle ilgili avantaj ve dezavantajlar sıralanmıştır [24].

Avantajlar;

- Zamana bağılı değişen, belirsiz, kompleks ve iyi tanımlanamayan sistemlerin denetimine basit çözümler üretir.
- Basit olarak modellenebilen sistemlerin çözümünde matematik modeller yeterli olabilmektedir. Fakat sistemlerin karmaşıklığı arttıkça geleneksel yöntemlerin kullanılması hem zaman hem maliyet yönünden dezavantaj oluşturmaktadır. Böyle karmaşık sistemlerin çözümünde bulanık mantık denetimi geleneksel yöntemlere nazaran daha iyi sonuçları daha kısa sürede üretebilir.
- Bulanık mantıkta işaretlerin bir ön işlemde geçmeleri ve oldukça geniş bir alanda yayılmış olarak bulunan az sayıda üyelik fonksiyonlarına indirgenmeleri sebebiyle bulanık denetim çoğunlukla basit bir yazılımla daha hızlı bir şekilde sonuçlanır.
- Bahsedilen az sayıda değerler üzerinde uygulanacak kural sayısı da az olduğundan sonuca varmak daha da hızlanacaktır.
- Yukarıda anlatılan maddeler geleneksel bilgisayar ortamı için geçerlidir. Daha spesifik bir donanım yardımıyla sonuca daha hızlı ulaşmak mümkündür. Örneğin Sanyo-Fisher firması mühendisleri, video kayıt cihazında kullanmayı düşündükleri mikro bilgisayarın yetersiz kaldığını düşündüklerinden dolayı, bulanık denetim yapısını kullanmaya karar vermişlerdir. Bulanık denetim yazılım boyutlarının daha az olması sebebiyle harici bir bellek kullanmaya gerek kalmamıştır.
- Bulanık mantık denetiminin sağladığı bir diğer önemli avantajsa kullanıcıların direkt girişlerine ve kullanıcı tecrübelerine yer verilebilmesidir.
- Bilindięi gibi otomatik vitesli araçlarda, vites değişimi motorun belli hızlara ulaşması sonucunda otomatik olarak gerçekleşmektedir. Buna karşılık olarak manüel vitesli bir arabada ise sürücü, yol, yük ve kendi araba kullanım tarzına göre belli durumlarda vites değiştirilmesi gerekmektedir. Subaru tarafından üretilen justy tipi otomobilde kullanılan aktarım organının değiştirilmesi için ise bir kayışın konumunun bulanık mantık kullanılarak değiştirilmesi ile sağlanır. Böylece arabanın ivmesi ve performansı sürekli olarak ve otomatik olarak ayarlanır hale gelir. Subaru, bu otomobilde kullandığı bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını, otomobili test şoförlerine kullandırarak ve onlardan ivme ve performans açısından en iyi aktarım

oranını öğrenerek ayarlamıştır. Bu konuda Honda ve Nissan firmalarının da benzer çalışmaları mevcuttur.

Dezavantajlar;

- Bulanık denetimde kullanılan kurallar deneyimlere bağlıdır.
- Üyelik fonksiyonlarının seçimi için belirli bir yöntem mevcut değildir. Uygun fonksiyon deneme ile bulunur. Bu da oldukça uzun bir zaman alabilir.
- Denetimi yapılacak sistemin üzerinde bir kararlılık analizi yapılması mümkün değildir ve sistemin nasıl cevap vereceği önceden tahmin edilemez. Yapılacak tek şey benzetim çalışmalarında bulunmaktır.

Eleştiriler;

- Bulanık denetleyicileri için çeşitli eleştiriler de getirilmiştir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır;
- Bulanık mantık denetleyicilerinin süreç hakkında yorumda bulunabilmesi için daha fazla bilgiye ve algılayıcıya ihtiyaç duyduğu için, dolayısıyla hem pahalı hem de daha az güvenilirdir. Bu her zaman doğru gözükmemektedir. Örneğin, Mitsubishi tarafından üretilen klimalarda da, geleneksel denetleyiciye göre daha az algılayıcı kullanılmıştır.
- Bulanık mantık denetleyicilerinin geleneksel denetleyicilere göre gösterdiği yüksek performans doğrusal olmayan denetleyici aracılığıyla da sağlanması mümkün olabilmektedir. Bu doğru olabilir ama büyük bir olasılıkla doğrusal olmayan denetleyici, bulanık denetleyicide olduğu gibi daha küçük kapasiteli bir işlemci ile gerçekleştirilemeyecektir.

4.1.3 Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri

Klasik Aristo mantığına göre hareket eden ve şimdiye kadar öngörülen küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri sadece 0 ya da 1'e eşit olabilmektedir. Bu yaklaşımda, 0 ya da 1 dışında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. Oysaki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişim

gösteren üyelik derecelerinden bahsedebilmek mümkündür. Bulanık küme yardımıyla tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için şu üç özelliği taşıması gerekir:

- Bulanık küme normal bir yapıya sahiptir, yani kümede bulunan elemanlardan en az bir tanesi en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip olmalıdır.
- Bulanık küme monoton yapıdadır, yani üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik dereceleri de 1'e yakın bir yapıdadır.
- Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olması demektir ki, buna da bulanık kümenin simetriklik özelliği denmektedir.

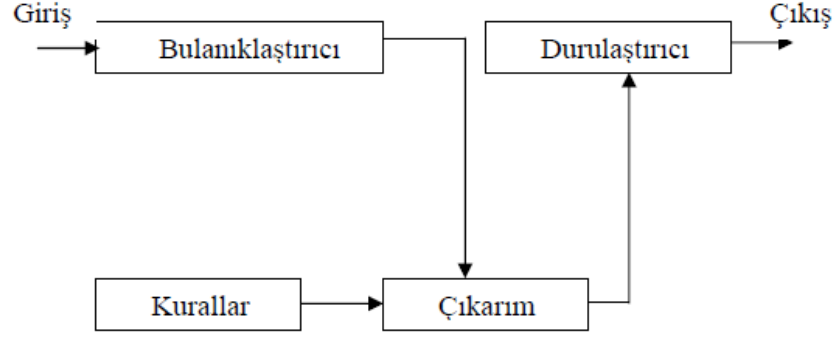
Klasik kümelerde sadece dikdörtgen üyelik derecesi bulunmaktadır. Buna karşılık bulanık kümeler yukarıdaki üç şartı taşıması durumunda, çok değişik üyelik fonksiyonlarına sahip olabilmektedir. Sonuç olarak bulanık küme üyelik derecelerinin simetrik bulunma zorunluluğu yoktur [23].

Genellikle bilinen matematik kuralları çerçevesinde, kavramsal sistemlerin hepsi Şekil 4.1'de görülen üç ayrı birimden oluşmaktadır. Bunlar birimler sırasıyla giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve "sistem davranışı" olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarından oluşmaktadır. Bu kısımların hepsinde çıkış veya işlemler yapılabilmektedir.



Şekil 4.1 Klasik sistem [23]

Bulanık sistemlerin klasik sistemlerden farklı olarak sistem davranışını dört kısma ayrılarak Şekil 4.2'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Bulanık mantığın temel elemanları [23]

Girdi (input) değerleri genellikle kesin değerlere sahiptir. Bulanıklaştırıcının (fuzzificator) görevi, bulanık kümeler içine kesin sayıları haritalamaktır. Kurallar (Rules) ise “Eğer-İse” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas almaktadır [23].

Bulanık kurallar aşağıdaki formdadır;

Kural 1: Eğer $x = a_1$ ve $y = b_1$ İse $z = n_1$

Kural 2: Eğer $x = a_2$ ve $y = b_2$ İse $z = n_2$

Burada x ve y değişkeleri, başlangıç kısmında ki girdi değişkenlerince tanımlanan koşullar, z ise sonuç kısmında ki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçları ifade etmektedir [23].

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden yola çıkılarak oluşturulur. Bulanık kural tabanlı sistemlerde ise, kural tabanı insan deneyimlerini göz önünde bulundurularak şekillendirilir. İnsan deneyimlerinden elde edilen sözel bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgiler birleştirildiğinde farklı bir durum ortaya çıkar. Bu durum sonucunda kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır.

Bir sonraki adımda, oluşturulan bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın Çıkarım (inference) makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. Durulaştırma (defuzzification) esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde mevcut birçok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur [23].

Seçilen sonuç değeri genellikle ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeri olmaktadır.

Genel olarak bir bulanık mantık işlemi sıralanırsa; veri tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı, durulaştırma ve çıktı adımlarından oluşur.

Genel Bilgi Tabanı Birimi: Araştırması yapılan incelenecek olayın girdi değişkenliklerini ve bunlar hakkındaki bilgilerin tümünü içerir. Bu birime veri tabanı veya giriş adı verilir. Genel veri tabanı denilmesinin nedeni ise, buradaki verilerin sayısal ve/veya sözel olarak depolanabilmesi yüzündendir.

Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanı mevcut bulunan girişleri, çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, EĞER-İSE yazılan tüm kuralları barındırır. Kuralların yazılmasında girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm bulanık küme bağlantıları düşünülür. Böylece, oluşturulan her bir kural girdi katmanının bir parçasını çıktı katmanına mantıksal bağlar. Bütün bunların hepsi kural tabanını oluşturmaktadır.

Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulu olan parça ilişkilerinin hepsini tek bir bölümde toplayarak sistemin tek çıkışlı olmasını sağlayan işlemlerin bütünüdür. Bu mekanizma her bir kuralın çıkarımlarını bir arada tutarak sistemin tüm girdilerinin nasıl bir çıktı oluşturacağına karar verir.

Durulaştırma Birimi: Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliğine başvurarak gerçek sayılara dönüştürüldüğü kısımdır.

Çıktı Birimi: Bulanık ve bilgi kural tabanlarının çıkarım motoru aracılığıyla etkileşimi sonucu elde edilen çıktı değerlerinin hepsidir [23].

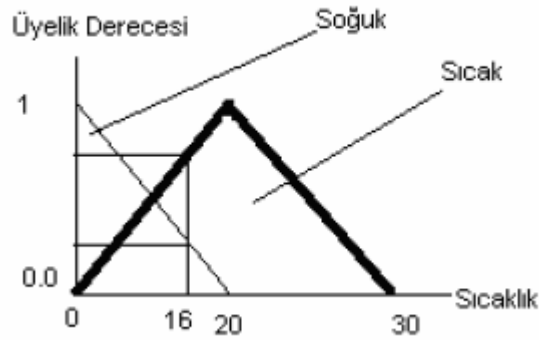
4.1.4 Üyelik Fonksiyonları (Membership functions, mfs)

Ele alınan bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği aralık, o konu hakkında deneyim ve bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Bulanık mantık yaklaşımında, klasik Aristo'nun 1 ve ya 0 yaklaşımından farklı olarak Zadeh'e göre var veya yok gibi kesin ifadeler yerine belirli bir değer aralığında sözel ifadeye yer vererek gerçek yaşama daha

uygun bir model kazandırmıştır [23]. Durum açıklanmak istenirse, örneğin Şekil 4.3’de görülen klasik küme teorisine göre sıcaklık eğer 16°C ise soğuk olarak ifade edilmektedir. Fakat Şekil 4.4’de görülen bulanık küme teorisine göre ise 16°C sıcaklık için “sıcaktır” veya “soğuktur” diye kesin bir yargı söylemek mümkün değildir. 16°C sıcaklık değeri hem sıcak kümesine hem soğuk kümesine belli bir oranda üyeliği bulunmaktadır. Bu yüzden, Şekil 4.4’de verilen bulanık küme mantığı insanın düşünce yapısına daha uygundur [23].



Şekil 4.3 Klasik mantık [23]



Şekil 4.4 Bulanık mantık [23]

Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler bulunmaktadır.

Bunlar sırasıyla;

- Sezgi,
- Çıkarım
- Derecelendirme,
- Açılı bulanık kümeler,
- Yapay sinir ağları,
- Genetik algoritmalar,
- Çıkarımcı muhakeme

gibi farklı yaklaşımlardır [23].

Sezgi yönteminin, fazlaca teknik bilgi gereği bulunmamaktadır. Bu yöntemde her kişinin kendi anlayış, fikri ve olaya bakış açıları önemlidir. Derecelendirme yönteminde ise, bir bulanık değişkenin üyelik derecesi anket, soruşturma veya seçimler sonucu belirlenir. Açılı üyelik dereceleri koordinat bakımından normal bulanık kümelerden farklı olup, her 2π aralığında kendisini tekrar etmektedir. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için yapay sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yöntemler de sıkça kullanılmaktadır [23].

4.1.5 Bulanıklaştırma

Genel olarak, klasik kümede beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Buradan yola çıkarak bir aralıkta bulunan tüm öğelerin hepsinin, 1'e eşit üyelik derecesi yerine 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesi olması amaçlanır. Bu sayede öğelerin bazılarının belirsizlik içermesi sağlanır ve bu belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklık durumundan bahsedilir [23].

Bulanıklaştırmada, verilen sayısal farklı giriş parametrelerinin, bulanık işlem mekanizmasında anlaşılabilmesi için bulanık kümelere dönüştürülmesi gerekir. Literatürde, mevcut birçok bulanıklaştırma şekli olup, bunlardan en sık kullanılanları ; üçgen, yamuk veya Gauss biçimli üyelik fonksiyonları ile temsil edilenler olarak sıralanır [23].

4.1.6 Bulanık Kurallar

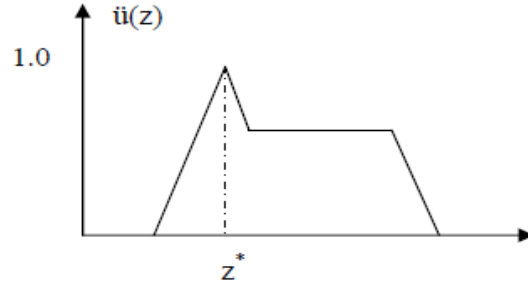
Veri işlemlerinin makineler tarafından algılanabilmesi için bilgi işleme için kullanılan yöntemlerinden bir tanesi de, bilgiyi insan dilinin benzeri şekilde ifade etmektir. Bu yöntem en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yöntemidir. Böyle bir ifadeye EĞER-İSE (IF-THEN) ile ayrılmış olan iki kısım bulunmaktadır. Bunlardan EĞER ile İSE arasında bulunan kısma öncül veya ön koşul (premise part or the antecedent part) ismi verilirken, İSE den sonraki kısma ise soncul veya çıkarım (consequent part) adı verilmektedir [23]. EĞER öncül İSE çıkarım şeklinde oluşan ifadelerle “EĞER-İSE kural tabanlı” biçim adı verilir. Bu ifade bilinen bazı bilgilerin sayesinde, faydalı olan diğerlerinin çıkarılması anlamına gelmektedir. Bu bilgiler, insanın kendi kişisel deneyimlerinden hareketle çıktığından, yerine göre çok nesnel (objektif) olmayan yüzeysel bilgilerdir. Buna karşın, “derin bilgiler” in sözel olarak kolayca çıkarılması mümkün olmamaktadır. Örneğin Kepler yasaları ve Newton kurallarının gelişerek oluşmasının arkasında yılların gözlem, deneyim ve birikimleri vardır. Kural tabanlı bilgiler uzmanlar tarafından verilen bilgilerden oluşmakta, ayrıca uzmanlardan başka kaynaklardan da yararlanarak yazılabilmeye olanak sağlamaktadır [23]. Kural tabanlı olan bilgilerin hem öncül hem de çıkarım olan son kısımları ayrı ayrı bulanıklaştırılarak işlemlerden geçirilir.

4.1.7 Durulaştırma

Uygulamalarda kesin olarak sayısal veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten ötürü bulanık sistemden kaynaklı çıktıların kullanılması mümkün olmamaktadır ve bulanık çıktıların durulaştırılması gerekir. Durulaştırma işlemi, bulanıklaştırma işleminin tersi olup, bulanık çıktıların sayılara tekrar dönüştürülmesidir. Durulaştırma işlemi için pek çok farklı yöntem bulunmaktadır [24].

4.1.7.1 En Büyük Üyelik İlkesi

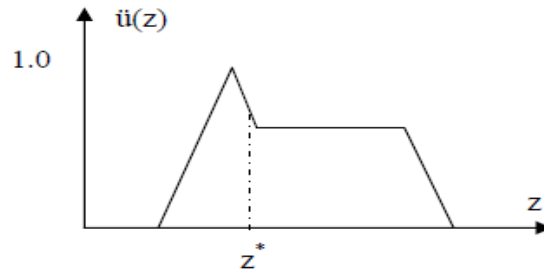
Literatürdeki diğer adı da yükseklik yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gereksinimi bulunmaktadır. Şekil 4.5’de bu durulaştırma işlemi gösterilmektedir [25].



Şekil 4.5 En büyük üyelik ilkesi durulaştırması [24]

4.1.7.2 Ağırlık Merkezi

Durulaştırma işlemlerinde en çok kullanılan yöntemdir. Şekil 4.6'da bu yöntem kullanılarak yapılan durulaştırma işlemi gösterilmiştir [25].

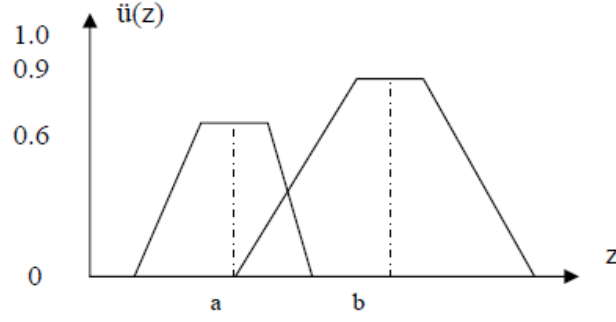


Şekil 4.6 Centroid yöntemi durulaştırması [24]

4.1.7.3 Ağırlıklı Ortalama Yönetimi

Bu yöntemin uygulanabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonu bulunmalıdır. Örneğin, Şekil 4.7'de görülen bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması (durulaştırılmış değeri) formüle edilmiştir.

$$z^* = \frac{a(0,6) + b(0,9)}{0,6 + 0,9} \quad (4.2)$$

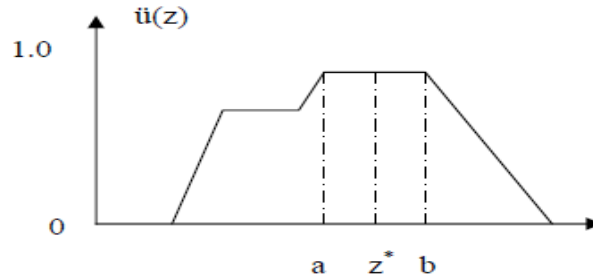


Şekil 4.7 Ağırlıklı ortalama [24]

4.1.7.4 Ortalama En Büyük Üyelik

En büyük üyelik ilkesine oldukça yakın sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Ancak en büyük üyelik değeri birden fazla olduğu durumlarda bu yöntemin kullanılması mümkün değildir. Yöntemin matematik ifadesi Şekil 4.8'deki gibidir.

$$z^* = (a+b)/2 \quad (4.3)$$



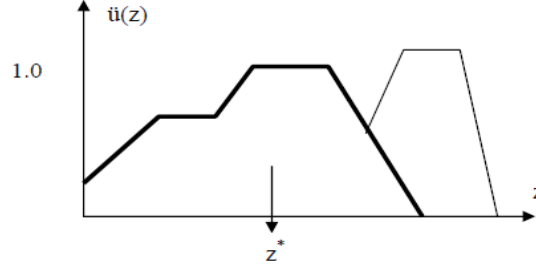
Şekil 4.8 Ortalama en büyük üyelik durulaştırması [24]

4.1.7.5 Toplamların Merkezi

Durulaştırma işlemleri arasında en hızlı olan yöntemdir. Bu yöntem, iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları şeklinde ifade edilir. Bunun bir sakıncası, örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Bu durum, bir bakıma hesaplama tarzı ağırlıklı ortalama durulaştırmasını andırmaktadır. Ancak bu yöntemde ağırlıklar, ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise bu, üyelik derecesi şeklindedir [25].

4.1.7.6 En Büyük Alanın Merkezi

Çıkış bulanık kümesi en az iki tane dış bükey alt bulanık kümeden oluşuyorsa, bu bulanık kümelerden en büyük alanlısının ağırlık merkezinin durulaştırma işleminde kullanıldığı yöntemdir. Şekil 4.9'da durulaştırma işlemi şekilde gösterilmiştir [25].



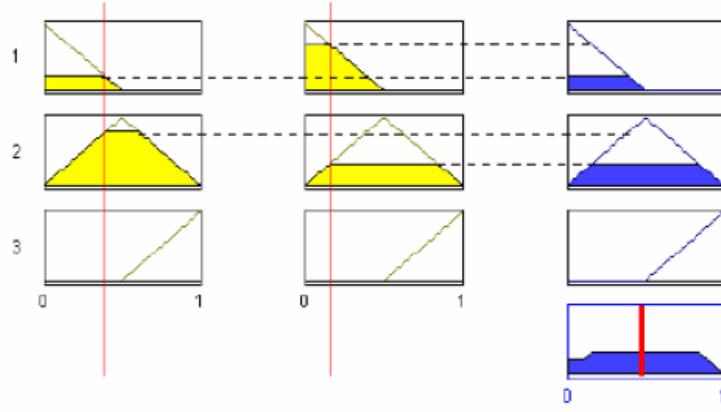
Şekil 4.9 En büyük alanın merkezi [24]

4.1.7.7 En Büyük İlk veya Son Üyelik Derecesi

Bu yöntem tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkmış bulanık kümede, en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanmaktadır [24].

4.1.8 Durulaştırmada Kuralların Harmanlanmasında Kullanılan 'VE' Operatörünün Çalışma Prensibi

İki tane girdi verisi ve bir tane çıktı verisi birlikte düşünülürse ve kurallar arası harmanlamanın VE bağlacı ile kurulmuş olduğunu varsayarsak bu durumda En Büyük-En Küçük (EB-EK) kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden küçük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olmak zorundadır. Bahsedilen durum Şekil 4.10'da açıklanmıştır [25].



Şekil 4.10 VE bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı örnek [24]

4.1.9 Bulanık Mantığın Farklı Uygulama Alanları

Günümüzde birçok alanda bulanık mantık kullanılmaktadır. Fakat başlıca kullanım alanı sanayi sektöründe yoğunlaşmaktadır. Japonya’da bulanık mantık tekniği özellikle bulaşık makineleri, çamaşır makineleri, elektrik süpürgeleri ve video kameralara başarıyla uygulanmıştır.

Bulanık mantık uygulamaları ilk olarak çimento sektöründe kullanılmıştır. Bu sektörde kireç taşı ve kil 1000-1400 derece sıcaklıkta reaksiyona girmektedir. Fırın içindeki sıcaklık ve oksijen oranı değerleri çimentonun kalitesini belirleyen etmenlerdir. Sadece bu konuda uzman operatörler istenilen limitler dâhilinde istenilen kalitede ürünler elde edebilmektedirler. Ancak vardiyalı bir sistemle çalışan bu fabrikada çok sayıda operatör bulunmakta ve her operatörün uzmanlıklarının farklı olması nedeniyle farklı niteliklerde ve verimlilikte ürün elde edilme durumu söz konusudur. İstenilen kalitede ürün sadece deneyimli operatörler sayesinde üretilebilmektedir. Çimento üretimi bulanık bir yapıya sahiptir ve süreç kontrolünü bulanık kurallar yardımıyla sağlamaktadır. Örneğin, “ısıyı 10 derece yükselt” veya “5 derece azalt” gibi kesin kurallar yerine “biraz azalt”, “biraz yükselt” gibi bulanık terim ifadeleriyle kontrol edilmektedir. Danimarka’da bu sürecin kontrolü için uzman operatörlerin kullandığı 50-60 pratik kuraldan hareketle bir mikro kontrolör oluşturulmuş ve sonuç olarak sabit ürün kalitesi ve yakıtta büyük tasarruf elde edildiği görülmüştür [25].

Daha sonraları ise bulanık mantık birçok alanda kullanılmıştır. İnsansız uçakların kontrolünde, tren frenleme sistemlerinde, ABS (otomatik fren sistemi) ve ASC (otomatik vites kontrolü) kontrolünde kullanılmıştır. Çizelge 4.2’de pratikteki bulanık mantık uygulamalarından bazı örneklerle yer verilmiştir.

Çizelge 4.2 Bulanık denetim uygulamaları [24]

Ürün	Firma	Bulanık Mantığın İşlevi
Asansör Denetimi	Fujitec –Toshiba Mitsubishi, Hitachi	Yolcu trafiğini değerlendirir. Böylece bekleme zamanı azalır.
SLR Fotoğraf Makinesi	Sanyo –Fisher Canon, Minolta	Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi fokusu ve aydınlatmayı belirler.
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulması nedeniyle çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır.
Çamaşır Makinesi	Matsushita	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezer, ona göre yıkama programını seçer.
Elektrik Süpürgesi	Matsushita	Yerin durumun ve kirliliğini sezer ve uygun motor gücünü ayarlar.
Su Isıtıcısı	Matsushita	Isıtmayı kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima	Mitsubishi	Ortam koşullarını değerlendirerek en iyi çalışma durumunu algılar, odaya birisi girerse soğutmayı arttırır.

Çizelge 4.2 (Devamı)

ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar.
Çelik Endüstrisi	Nippon Steel	Geleneksel denetleyicilerin yerini alır.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlanmasının yanı sıra durma konumunu iyi ayarlar, güçten tasarruf sağlar.
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chem	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar.
El Bilgisayarı	Sony	El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır.

MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Modelleme Çalışmasında Kullanılan Veri Seti Temini

Bu çalışma için oluşturulan veritabanı, literatürde bulunan çeşitli araştırmacılar [19], [26-38] tarafından gerçekleştirilmiş ve yayımlanmış 100 adet deneysel veriden (EK-A) temin edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayılarının tahmininin fuzzy logic ve çoklu regresyon teknikleri ile modellenmesinde, spesifik model girdileri (kolonun eni, kolonun boyu, CFRP malzemesinin kalınlığı, CFRP malzemesinin elastisite modülü, kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı) seçilmiş ve bunların fuzzy logic ve çoklu regresyon metodunun yapısına dâhil edilme gerekçeleri alt başlıklarda izah edilmiştir.

5.1.1 Kolonun Eni ve Boyu

CFRP ile güçlendirecek kolonun geometrik değişkenleri (en:b, boy:h), yanal kuşatma katsayısı üzerinde oldukça etkilidir ve literatürde mevcut birçok modelde de bu değişkenler yer almaktadır.

5.1.2 CFRP Malzemesinin Kalınlığı

Güçlendirilmiş kolonun üzerine sarılan CFRP malzemesinin kalınlığı (t) yanal kuşatma katsayısı üzerinde doğrudan etkilidir. CFRP malzemesinin kalınlığı arttıkça yanal kuşatma katsayısında da artış gözlenmektedir.

5.1.3 CFRP Malzemesinin Elastisite Modülü

Yanal kuşatma katsayısı, CFRP malzemesinin fiziksel özelliklerine doğrudan bağlantılı olduğu için sargılanan CFRP malzemesinin elastisite modülü de (E_{CFRP}) yanal kuşatma katsayısı üzerindeki diğer bir önemli parametredir. CFRP malzemesinin elastisite modülü arttıkça yanal kuşatma katsayısı da doğrusal bir şekilde artmaktadır.

5.1.4 Kuşatılmamış Kesitin Basınç Dayanımı

Yanal kuşatma katsayısı genel formda, CFRP malzemesiyle sargılanmış kesitin basınç dayanımının (f'_{cc}) sargılanmamış kesitin basınç dayanımına (f'_{co}) oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bu sebepten ötürü kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı, yanal kuşatma katsayısının hesabında önemli rol oynamaktadır.

5.1.5 Yanal Kuşatma Katsayısı

Literatürde, LP takviyeli betonarme kolonlarda kuşatılmış beton basınç dayanımının tahmini için verilmiş birçok analitik bağıntı mevcuttur. Anılan bağıntıların uygunluğu çok sayıda deneysel çalışma sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir. Yanal kuşatma katsayısı " k_s " ise en genel formu ile,

$$k_s = \frac{f'_{cc}}{f'_{co}} \quad (5.1)$$

şeklinde düşünülebilir. Burada f'_{cc} ve f'_{co} sırasıyla kuşatılmış ve kuşatılmamış beton basınç dayanımlarını ifade etmektedir.

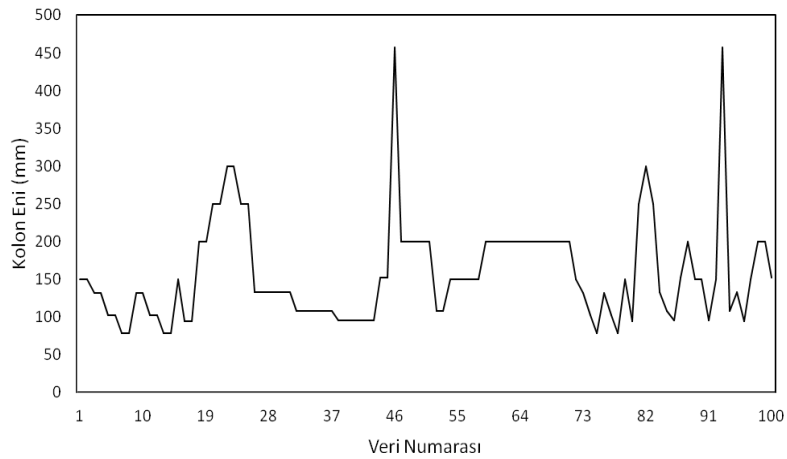
5.1.6 Model Datasının Tanımlayıcı İstatistiksel Analizi

CFRP ile sargılanmış kolonların basınç dayanımı tahmin modellemesinde, 5 girdi (input) ve 1 çıktı (output) değer kapsayan toplam 100 adet veri (EK-A) içeren deney sonuçları kullanılmıştır. Girdi parametreleri olarak kolonun eni, kolonun boyu, CFRP malzemesinin kalınlığı, CFRP malzemesinin elastisite modülü; çıkış parametresi olarak da yanal kuşatma katsayısı kullanılmıştır.

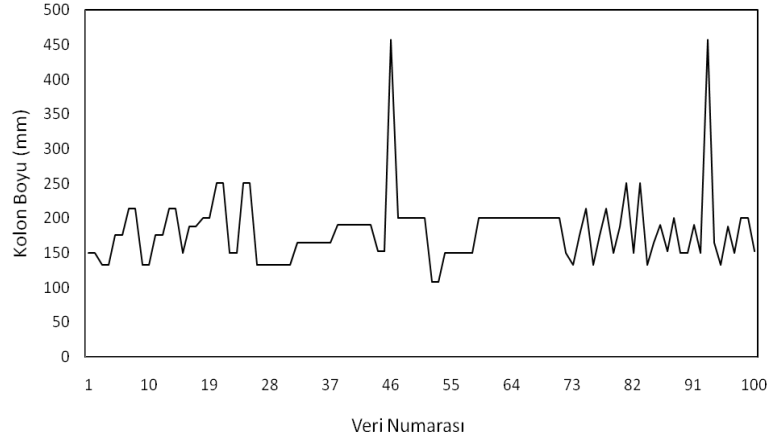
Çizelge 5.1 Model verisinin tanımlayıcı istatistiksel analizi

Parametre	Birim	Sayı	maks. Değer	min. Değer	Standart Sapma
Kolonun Eni	mm	100	457	79	67,06
Kolonun Boyu	mm	100	457	108	50,36
CFRP Malzemesinin Kalınlığı	mm	100	3	0,056	0,46
Kuşatılmamış Kesitin Basınç Dayanımı	MPa	100	55,36	10,83	11,65
CFRP Malzemesinin Elastisite Modülü	MPa	100	439000	10500	79516,81
Yanal Kuşatma Katsayısı	-	100	4,79	0,99	0,61

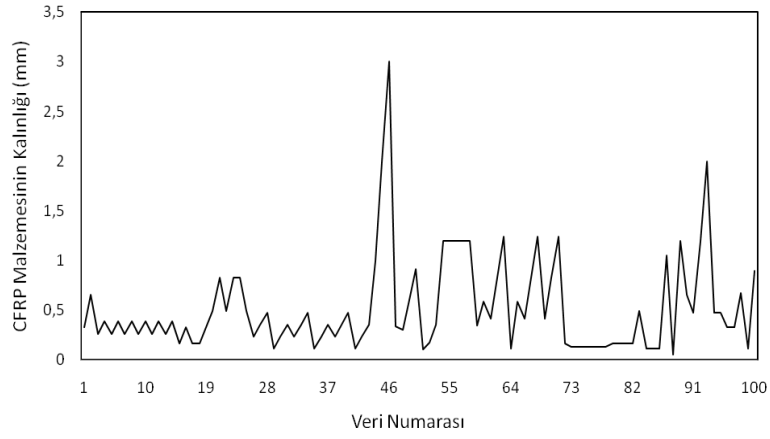
Modelleme çalışmalarında kullanılan girdi ve çıktı parametrelerinin veri numaralarına göre dağılımı Şekil 5.1- 5.6 'da verilmiştir.



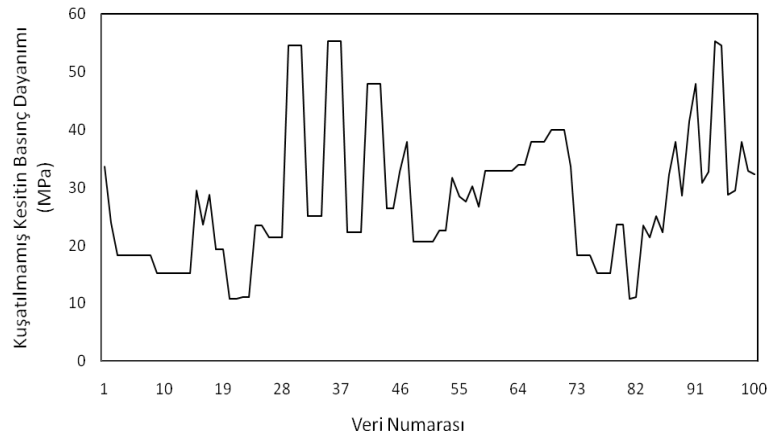
Şekil 5.1 Modellemede kullanılan kolon eni değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı



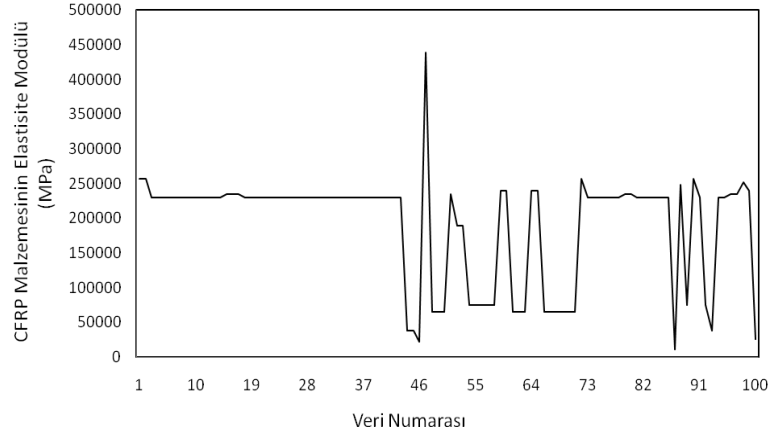
Şekil 5.2 Modellemede kullanılan kolon boyu değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı



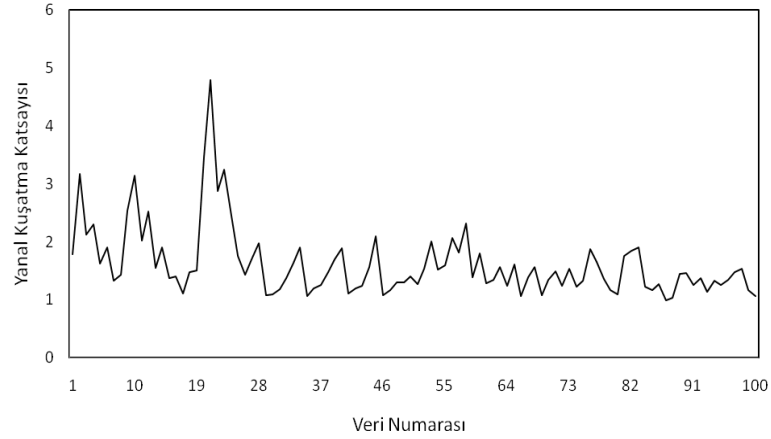
Şekil 5.3 Modellemede kullanılan CFRP malzemesinin kalınlık değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı



Şekil 5.4 Modellemede kullanılan kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı



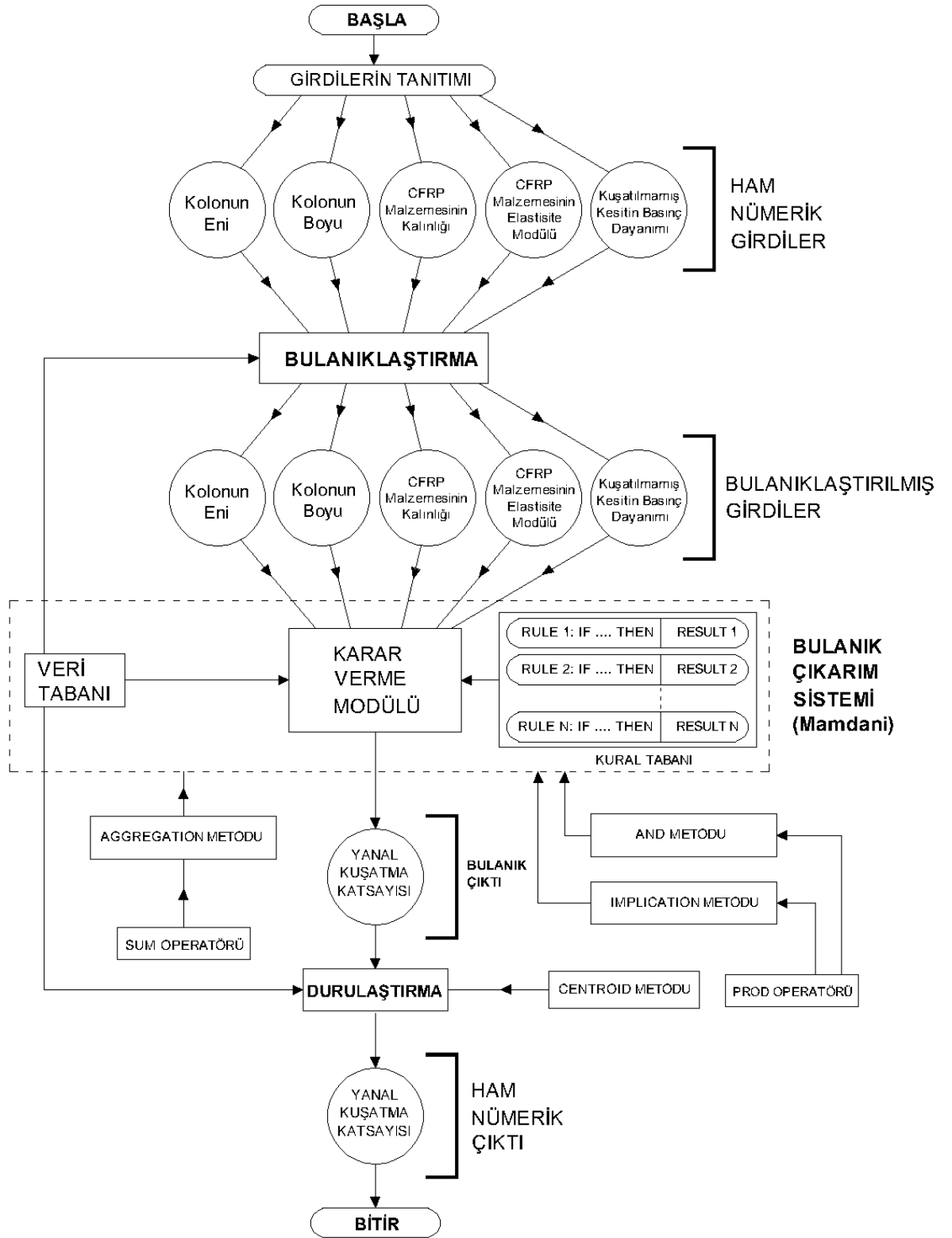
Şekil 5.5 Modellemede kullanılan CFRP malzemesinin elastisite modülü değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı



Şekil 5.6 Modellemede kullanılan yanal kuşatma katsayısı değerlerinin veri numaralarına göre dağılımı

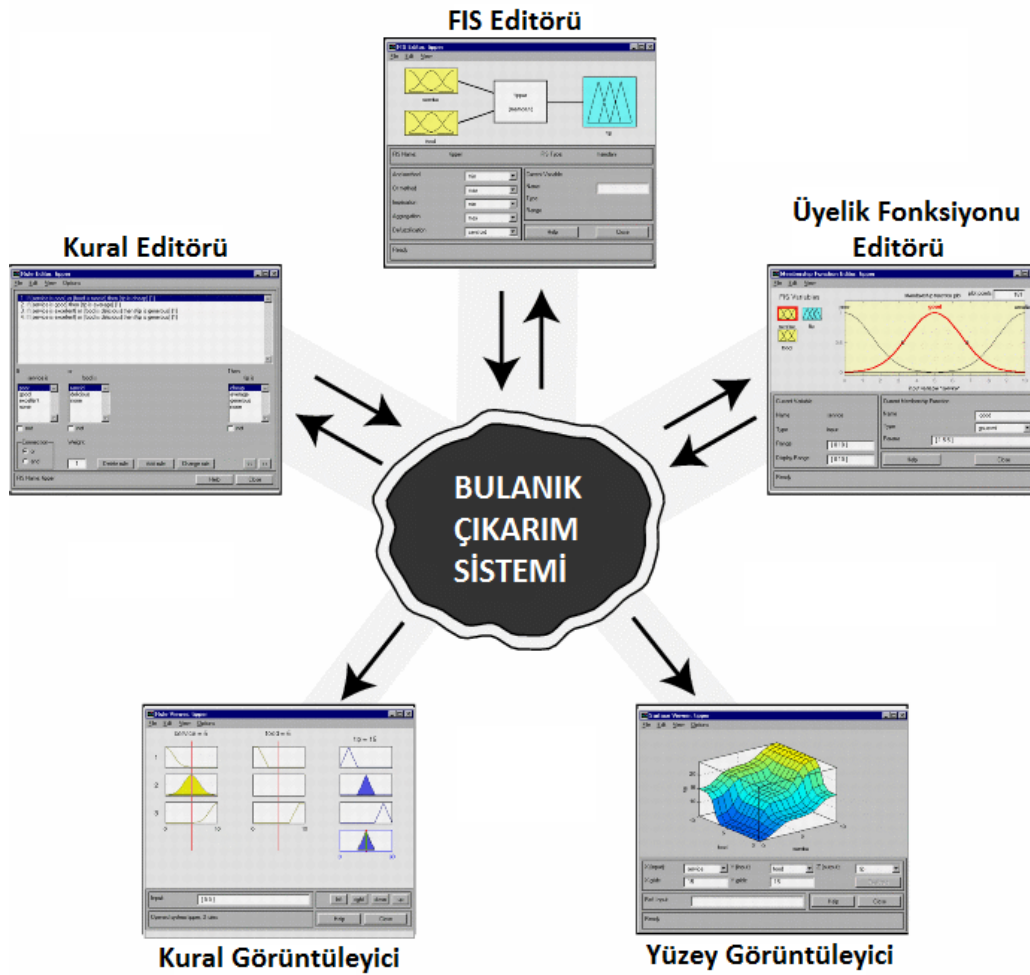
5.2 Bulanık Mantık Modeli

Bulanık mantık modelinin (Fuzzy Logic) çalıştırılması için ilk olarak veri setinin girdi, çıktı parametreleri belirlenir ve veri seti bulanıklaştırılması yapılır. Bulanıklaştırılmış veri setinin kural tabanı oluşturulur ve sisteme girilir. Kural tabanının oluşturulması ile oluşturulan bulanık çıktılar durulaştırılarak sözel ifadelerden sayısal hale dönüştürülerek model çıktıları elde edilmiş olunur. Şekil 5.7'de bulanık mantık mekanizması gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.7 Bulanık mantık mekanizması

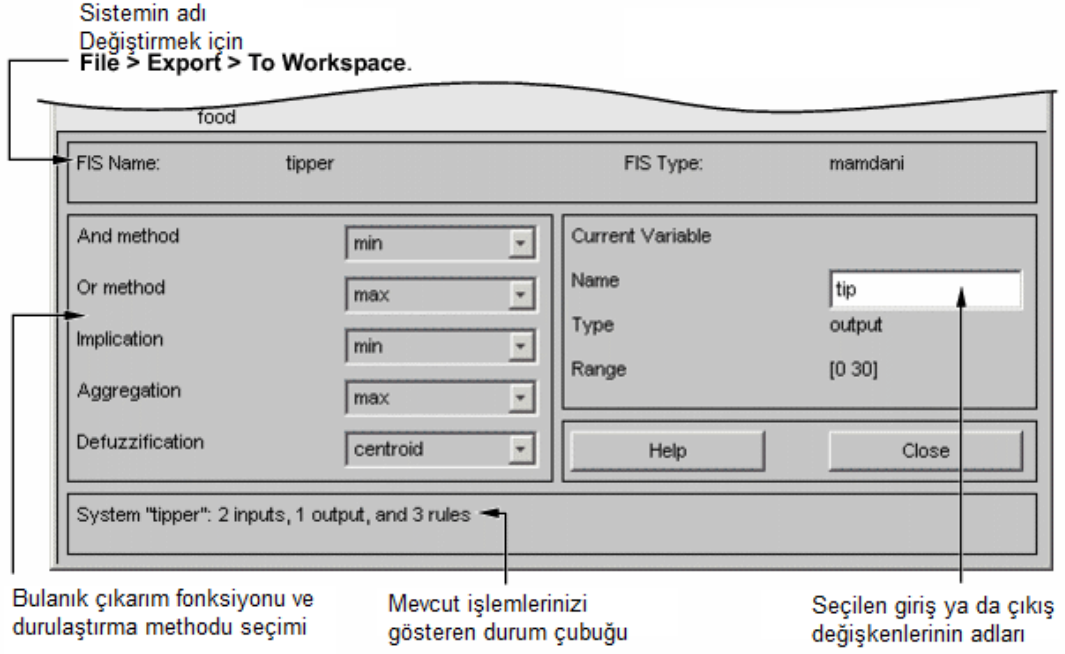
Şekil 5.8’de bulanık mantık modelinin MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) üzerinde fuzzy komutu ile çalıştırıldığı adımlar gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Bulanık mantık modelinin adımları

5.2.1 Bulanık Çıkarım Sistemindeki Operatörlerin Seçimi

Bulanık Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System = FIS) Ebrahim Mamdani (1975) tarafından önerilen türe (Mamdani’s type) sahiptir. Bulanık çıkarım sistemi (FIS) modülünde sırasıyla; AND Metod (Ve), OR Metod (Veya), Implication (Karıştırma), Aggregation (Birleştirme) ve Defuzzification (durulaştırma) bölümlerinde hangi operatörün uygulanacağı seçilmiştir. Şekil 5.9’da bulanık mantık modelinin MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) üzerinde operatör seçiminin nasıl uygulandığı gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde operatör seçimi

5.2.2 Model Datasının Bulanık Çıkarım Sisteminde Değerlendirilmesi

Bulanık mantık modeli [39] mevcut problemler üzerindeki belirsizliklerden kaynaklanan kesin olmayan olayları tanımlamak için öne sürülmüştür. Biswas vd. [39] bulanık mantığın, bu gibi belirsizlikler durumunda problemin çözümünde başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermişlerdir. Bir problem üzerindeki, değişkenlerin arasında bulunan sayısal kompleks ilişkiler ve denklemler yerine sözel açıdan daha basit bir matematiksel yapıda olduğunda avantajlıdır. Bulanık mantık yapısı altında karmaşık ampirik formüller ve yorucu matematik ifadeler barınmaz. Bu sebepten, oluşturulan tahmin modeli sistematik ve şeffaf bir analiz yapısı sağlamaktadır [40].

Genel olarak bir bulanık sistem dört ana bileşen barındırır: Bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım sistemi ve durulaştırma.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi bulanıklaştırma sayısal girdi, çıktı değişkenlerinin sözel terimlere veya özel sıfatlara (örneğin, çok sıcak, sıcak, soğuk vb) dönüştürür. Bu değişkenlerin üyelik fonksiyonlarındaki karşılıkları belirlenir [40]. Ölçülen giriş parametrelerinin, belirli bulanık üyelik fonksiyonları içinde tanımlanmış olması gerekmektedir.

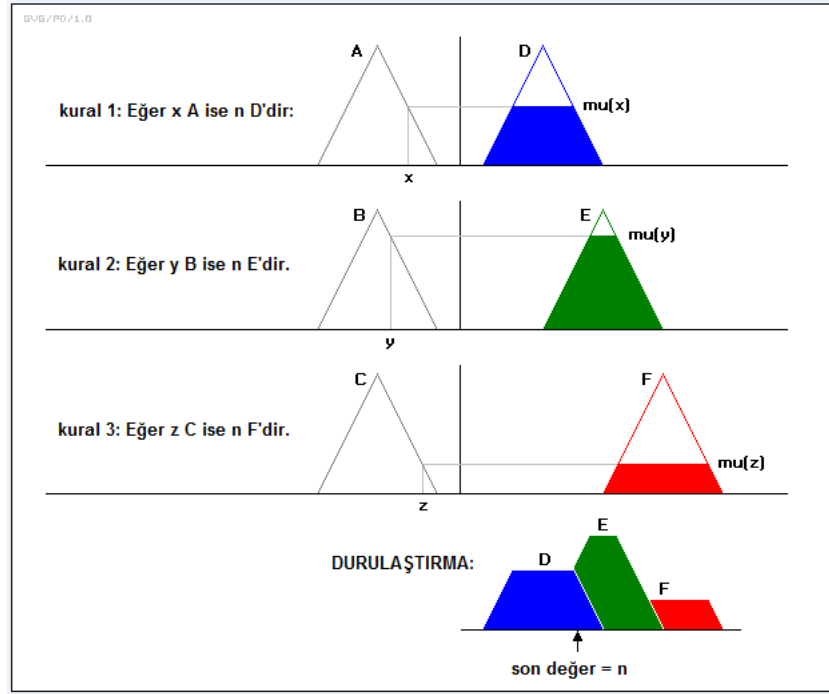
Bulanık kural tabanı altında, giriş ve çıkışlar arasında olası tüm bulanık ilişkileri mevcuttur. Bulanık küme yapısında, mevcut sayısal denklem ve model parametresi yoktur, tüm belirsizlikler, doğrusal olmayan ilişkiler ve model komplikasyonlar-tablolar, “EĞER-İSE” yapısı şeklinde açıklayıcı bulanık çıkarım işlemine dâhil edilmiştir [41].

Bulanık çıkarım sisteminde, bulanık kural tabanı önceden tanımlanmış olan bulanık kurallar kullanarak çıktılar üzerindeki giriş parametrelerinin nasıl değiştiğini belirler [32]. Bu işlem, temel olarak minimizasyon (min) ve prod (ürün) olmak üzere, iki adet çıkarım operatörü yardımıyla yapılmaktadır [41].

Bu çalışmada, bulanık kural tabanında bulanık kümelerde girdi ve çıktı arasındaki bütün ilişkilerin belirlenmesinde literatürde çokça tercih edilmesi ve daha iyi bir performans göstermesi nedeniyle prod tekniği kullanılmıştır. Ayrıca, Türkdöğün-Aydınoğ ve Yetilmezsoy (2010) [11] tarafından yapılan benzer çalışmada dikkate alınarak bulanık çıkarım sisteminde (sum) operatörü kullanılmıştır.

Durulaştırma adımında ise, bulanık çıkarımdan elde edilen sözel sonuçlar yardımıyla verilen kural tabanı kullanılarak gerçek sayısal çıktılarına (gerçek değere) çevrilir [42]. Literatürde, birçok durulaştırma yöntemi mevcuttur. Ağırlık merkezi (COG veya centroid) (Şekil 5.10), alan, açortay, max. değeri, en sağda olan değeri, en solda olan değeri ve ortalama bunlardan bazılarıdır. Durulaştırma aşamasında, çeşitli araştırmacılar tarafından öne sürülmüş ve en çok tercih edilen durulaştırma tekniği olan COG yöntemi (Şekil 5.10) kullanılmıştır [7]. Bu yöntem aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$(y_i)_d = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(y_i) y_i}{\sum_{i=1}^n \mu(y_i)} \quad (5.2)$$

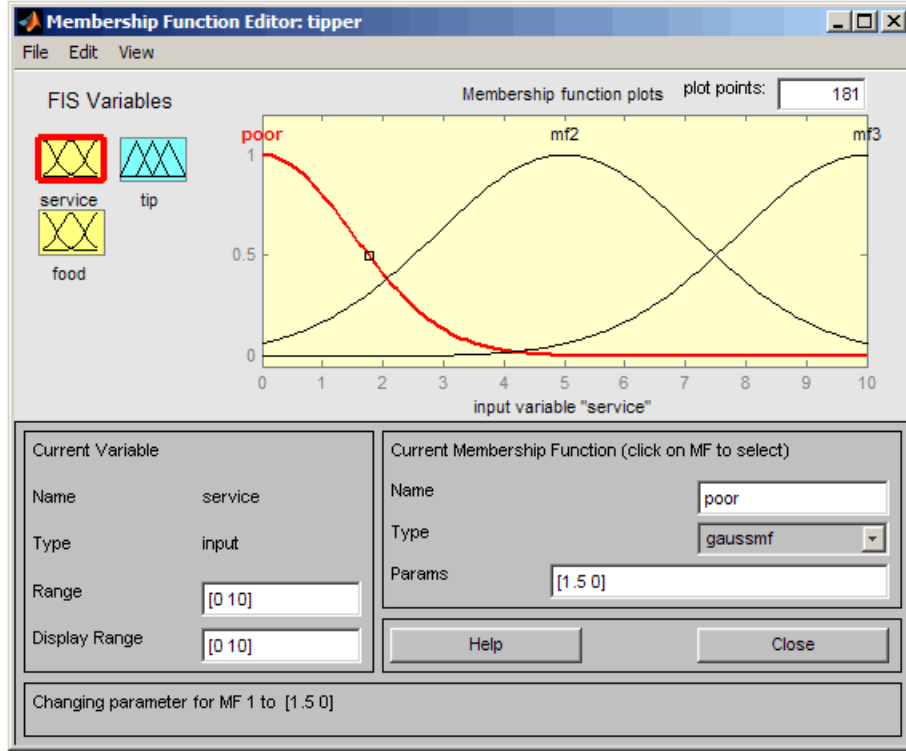


Şekil 5.10 Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi

5.2.3 Bulanık Çıkarım Sistemindeki Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık mantıkta belirsizlik durumlarının temsil edilmesi üyelik fonksiyonları yardımıyla sağlanmaktadır. Her bir girdi, çıktı değeri için 0 ile 1 arasında değişim (en yüksek seviye) değerine üyelik derecesi denmektedir [7]. Bulanık tabanlı modellerde, bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları çeşitli şekillerde trapez, çan şeklinde, sigmoid, üçgen veya başka uygun formda seçilebilmektedir [43], [44]. Şekil 5.11 'de bulanık mantık modelinin MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) üzerinde üyelik fonksiyonu seçiminin nasıl yapıldığı gösterilmiştir. Literatürde uygulama ve tasarım basitliği yüzünden üçgen ve trapez fonksiyonları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, trapez şekilli üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir. Trapez şekilli üyelik fonksiyonu; x, a, b, c, d , gibi şu dört skaler parametre şeklinde çalışmaktadır [41]:

$$\mu(x) = \mu(x; a, b, c, d) = \left. \begin{array}{l} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ 1, b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d \\ 0, d \leq x \end{array} \right\} \quad (5.3)$$



Şekil 5.11 Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde üyelik fonksiyonu seçimi

5.2.4 Model Değişkenlerinin Bulanıklaştırılması

CFRP ile güçlendirilmiş kolonların basınç dayanımı tahmin modellemesi çalışması için, Fuzzy Logic Toolbox, MATLAB® V7.9.0.529 çerçevesinde mevcut Bulanık Çıkarım Sistemini (FIS) oluşturmak ve düzenlemek üzere kullanılmıştır. Girdi ve çıktı değişkenleri, FIS Editör kullanılarak oluşturulmuş, trapez üyelik fonksiyonları (*trapmf*) yardımıyla sistem bulanıklaştırılmıştır (Fuzzification).

Çalışma kapsamında oluşturulan bulanık mantık modeli, beş girdi (kolonun eni, kolonun boyu, CFRP malzemesini kalınlığı, CFRP malzemesini elastisite modülü, kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı) ve bir çıktı (yanal kuşatma katsayısı) yapısından oluşan MISO modelidir. Modelleme için literatürden elde edilen 100 adet deney verisinden oluşan veri seti (EK-A) kullanılmıştır.

5.2.5 Kural Tabanının Tanıtılması

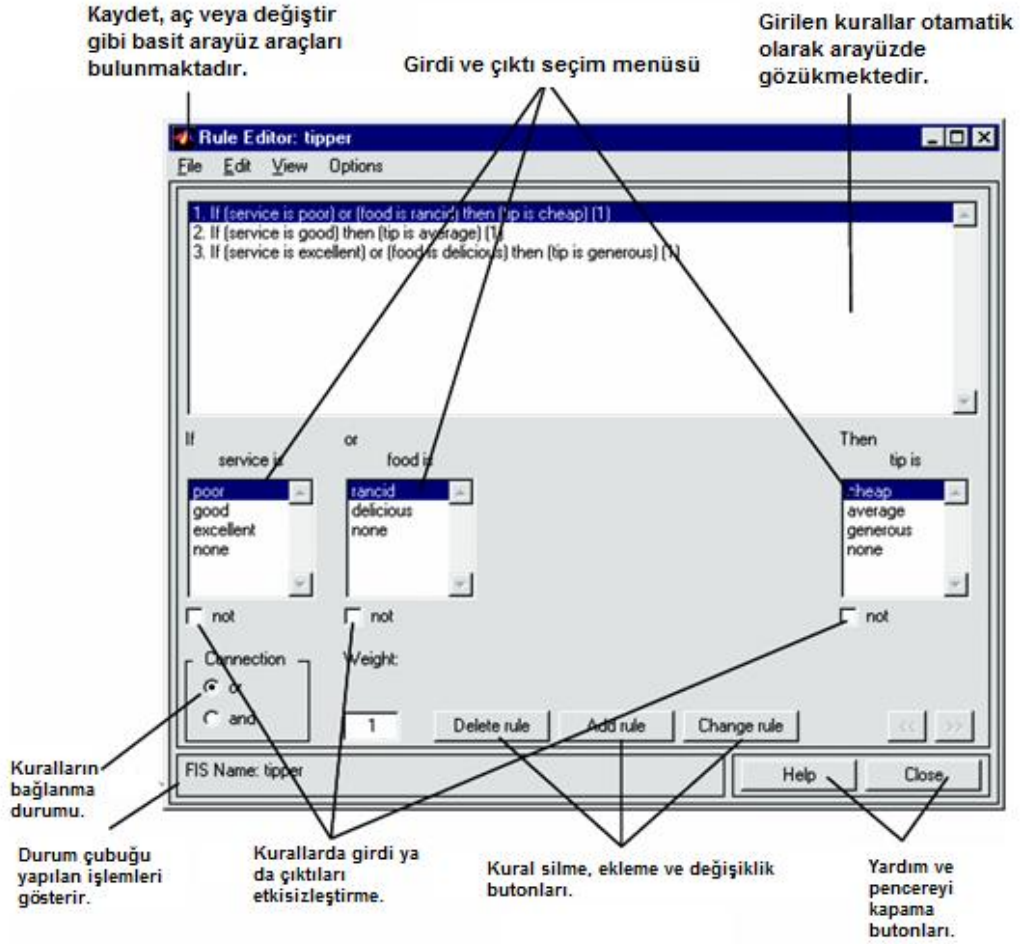
Bulanık mantığın çalışma şekli, girdi ve çıktı değerleri arasında bir ilişki oluşturmaktır. Bu ilişkiyi oluşturmak için “EĞER-İSE” şeklinde kurallarla belirtilen mantıksal ifadelerle tanımlanması gerekir [41].

Bu çalışmada, geliştirilen bulanık küme kategorileri için seçilen tanımlama ılık, sıcak, çok sıcak yerine basitleştirilmiş ve A, B, C, D, E, F, G, H, I, J şeklinde tanımlanmıştır. Her bir girdi / çıktı matrisi deneysel verilerden elde edilen CFRP ile kuşatılmış kolon verilerine göre MATLAB®V 7.0 nümerik bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Örneğin, aralıkları ve kodları (EK-B) verilen, kolonun eni= 94, kolonun boyu= 188, CFRP malzemesinin kalınlığı= 0.33, kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı= 23.7, CFRP malzemesinin elastisite modülü= 235000, yanal kuşatma katsayısı= 1.4 sırasıyla A, C, B, D, F, B olarak kodlanmıştır.

Kural tabanı (Rule Base) yazılırken, bulanık kısımlara (yani herhangi iki kategorinin kesişim bölgesine) denk gelen sayısal verilerin tanımlaması yapılırken, üyelik (μ) olarak herhangi birinin trapez üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Kesişim noktasının sağında veya solunda kalan bölgelerde ise üyelik derecesi en yüksek olan kategoriler kural tabanına dahil edilmiştir. [25]

Bazı deneysel verilerin bazı bulanık kategorilerde trapez üyelik fonksiyonlarının kesiştiği bölgelerde kaldığı görülmüştür. Bu durum söz konusu olduğunda kesiştiği bölgenin herhangi birinin trapez üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Örneğin, yukarıdaki deneysel verilerden kolon eni 150 olması durumunda B ve C trapez üyelik fonksiyonu için iki kural yazmak yerine kesişim noktasının herhangi birinin üyelik fonksiyonu dikkate alınarak toplam 100 adet kural, bulanık “EĞER-İSE” kural editörü ile kurulmuştur.

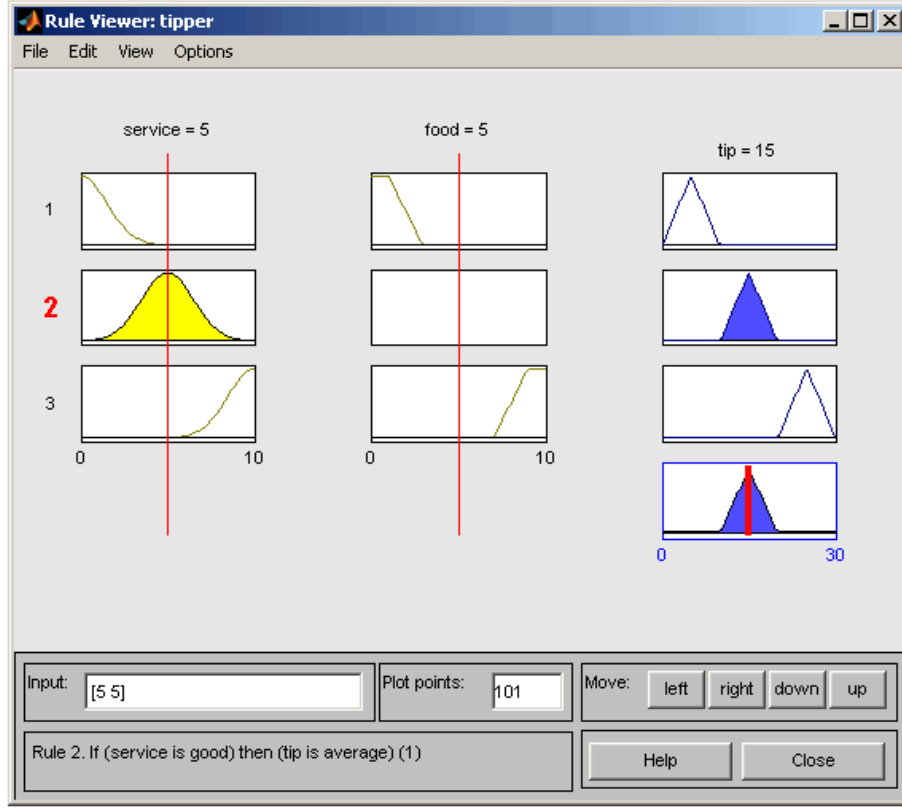
Çalışma kapsamında, her bir girdi ve çıktı değişkeni için on düzeyli trapez üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. EK-B ‘de MATLAB®V7.0 nümerik ortamı üzerine kurulmuş toplam 100 adet kural tabanı gösterilmiştir. Şekil 5.12’de bulanık mantık modelinin MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) üzerinde EĞER-İSE kural yapısı seçiminin nasıl yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde üyelik fonksiyonu seçimi

5.2.6 Model Değişkenlerinin Durulaştırılması

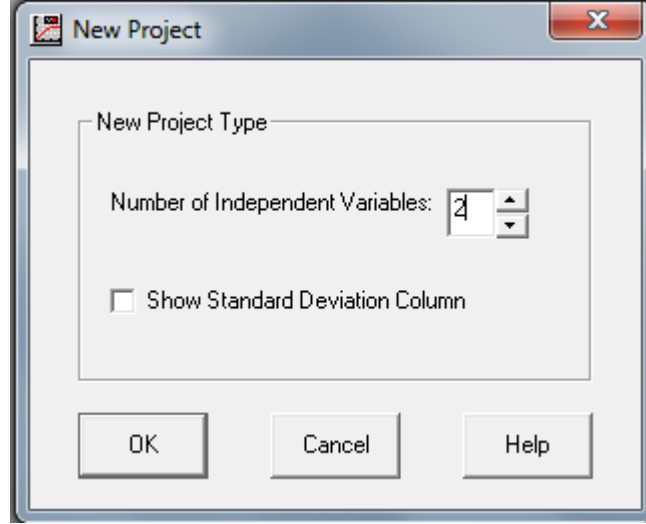
Bulanıklaştırma işlemi sonucu oluşan bulanık çıktılar durulaştırma işlemi ile sözel ifadelerden sayısal değerlere dönüştürülmüştür. Şekil 5.13’de bulanık mantık modelinin MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) üzerinde bulanık çıktıların nasıl durulaştırıldığı gösterilmiştir.



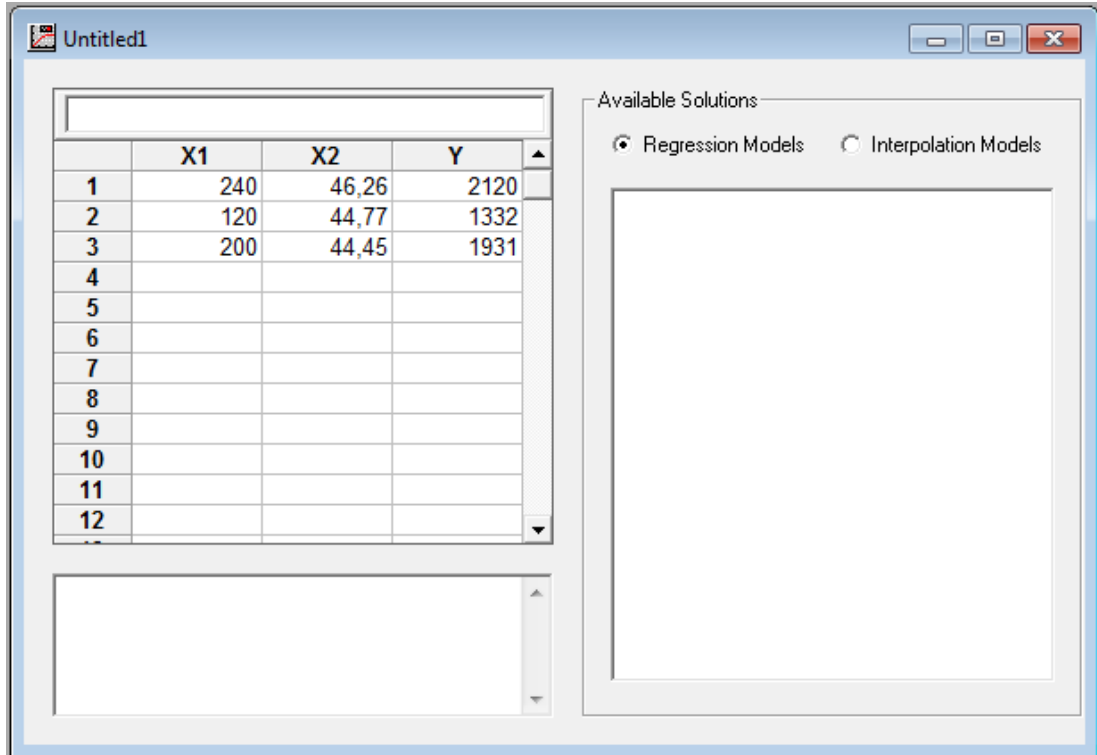
Şekil 5.13 Bulanık mantık modelinin MATLAB® V7.9.0.529 üzerinde durulaştırma

5.3 Çoklu Regresyon Modeli

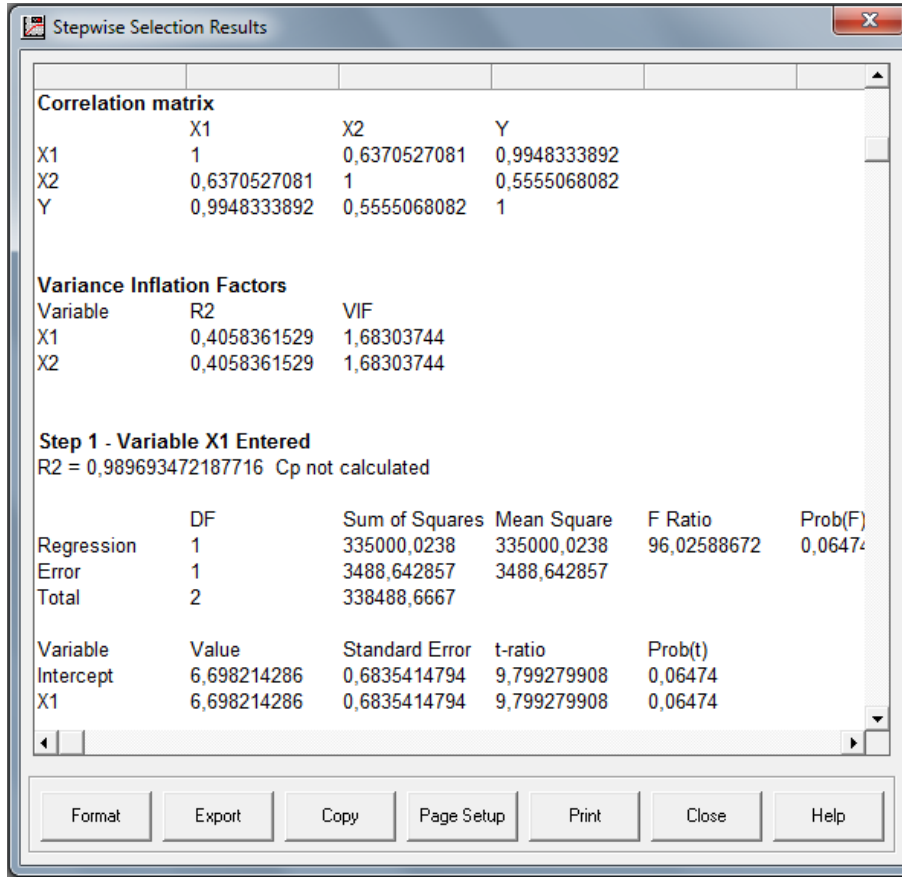
Bu bölümde ise, deneysel veriler ayrıca 298 adet iki boyutlu (2D) ve 242 adet üç boyutlu (3D) çoklu regresyon modeli içeren DataFit® bilimsel yazılım (Copyright© 1995-2005 Oakdale Engineering V8.1.69) programı tarafından değerlendirilmiş ve sonuçları bulanık mantık tahminleri ve deneysel değerler ile karşılaştırılmıştır. Çoklu regresyon modelinde kullanılan paket programda, Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmıştır. Regresyon modelleri çözülürken, elde edilen modeller en uygundan başlayarak kendi içinde otomatik olarak sıralanmıştır. Deneysel veriler, açık veri kaynağı olarak kullanılan Microsoft® Excel veritabanı bağlantısından alınmış ve regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte t -oranları ve karşılık gelen p değerleri ile regresyon katsayılarının ve model değişkenlerinin önemi değerlendirilmiştir. Model performansını daha iyi gözlemlemek için tanımlayıcı istatistiksel hatalar da hesaplanmıştır [45], [25]. DataFit® programının veri giriş ve model sonuçlarının program ara yüzünde görünüşü Şekil 5.14-5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.14 Çoklu regresyon modelinin örnek girdi parametre sayısının DataFit® programına girişi



Şekil 5.15 Çoklu regresyon modelinin örnek girdi ve çıktı değerlerinin DataFit® programına girişi



Şekil 5.16 Çoklu regresyon modelinin DataFit® programında sonuçları

5.4 Tahmin sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Model sonuçlarının doğrulanması model geliştirmenin en önemli unsurudur. Bunun için görsel ve sayısal yöntemler mevcuttur. Görsel yöntemler, model performansını sezgisel bir şekilde ortaya koymaktadır. Sayısal yöntemler ise matematiksel ifadeler yer aldığı için modelin doğrulanması için daha sağlam bir zemin sağlamaktadır [40],[46].

Karşılaştırma yapabilmek amacıyla; determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama karesel hata karekökü (RMSE), uyum indeksi (IA), iki faktörü (FA2) ve fraksiyonel varyans (FV) gibi çeşitli istatistiksel göstergeler model performans tahminini tanımlamak için yardımcı araçlar olarak kullanılabilir [11].

Determinasyon katsayısı (R^2), tahmin modeli için gözlenen toplam değişimin (total variations) ne kadarının model tarafından açıklanıp açıklanamayacağını gösteren ve model performansını ortaya koyan bir istatistiksel göstergedir. Ayrıca, RMSE yapay

zekâ tabanlı modelleri ile en sık kullanılan göstergelerden biridir. MAE, sayısal ölçüm sonuçlarının en basit olanıdır. Bu sadece tahmin verileri üzerinden alınan mutlak hataların ortalaması şeklindedir.

Uyum indeksi (IA), 0 - 1 aralığında sınırlı bir boyutsuz bağıl ölçüt olarak kabul edilir. Bu nedenle, modeller arasında çapraz kıyaslamalar yapmak için daha uygundur [69]. İkinci faktörü, FA2, 0,5 - 2 aralığında oranı O / P (gözlenen / beklenen) değerleri arasındaki tahmin sonuçlarının yüzdesini vermektedir. FV ise tahmin edilen varyans ve gözlenen varyans arasındaki farkın karşılaştırılmasına olanak sağlayan normalizasyonun göstergesidir [46].

FV = 0 olan bir modelin varyansı gözlenen değerlerin varyansına eşit olmaktadır. Yukarıda ifade edilen istatistiksel performans indikatörlerine ilişkin detaylı tanımlar ve matematiksel hesaplamalar çeşitli çalışmalarda daha detaylı şekilde bulunmaktadır [40], [47], [48].

Çizelge 5.2 Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri

Performans İndikatörü	Matematiksel İfadeler
Ortalama mutlak hata	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i - O_i $
Determinasyon katsayısı	$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)(Y_i - Y_m) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - P_m)^2}$
Ortalama karesel hata	$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i - O_i]^2 \right)^{0.5}$
Uyumluluk indeksi	$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - O_m + O_i - O_m)^2}$

Çizelge 5.2 (Devamı)

	$FV = \frac{2(\sigma_o - \sigma_p)}{(\sigma_o + \sigma_p)}$
Fraksiyonel varyans	$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum (O_i - O_m)^2}{n-1}} \quad \sigma_p = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_m)^2}{n-1}}$
2'nin faktörü	$0.5 \leq FA2 = \left(\frac{O_i}{P_i} \right) \leq 2$

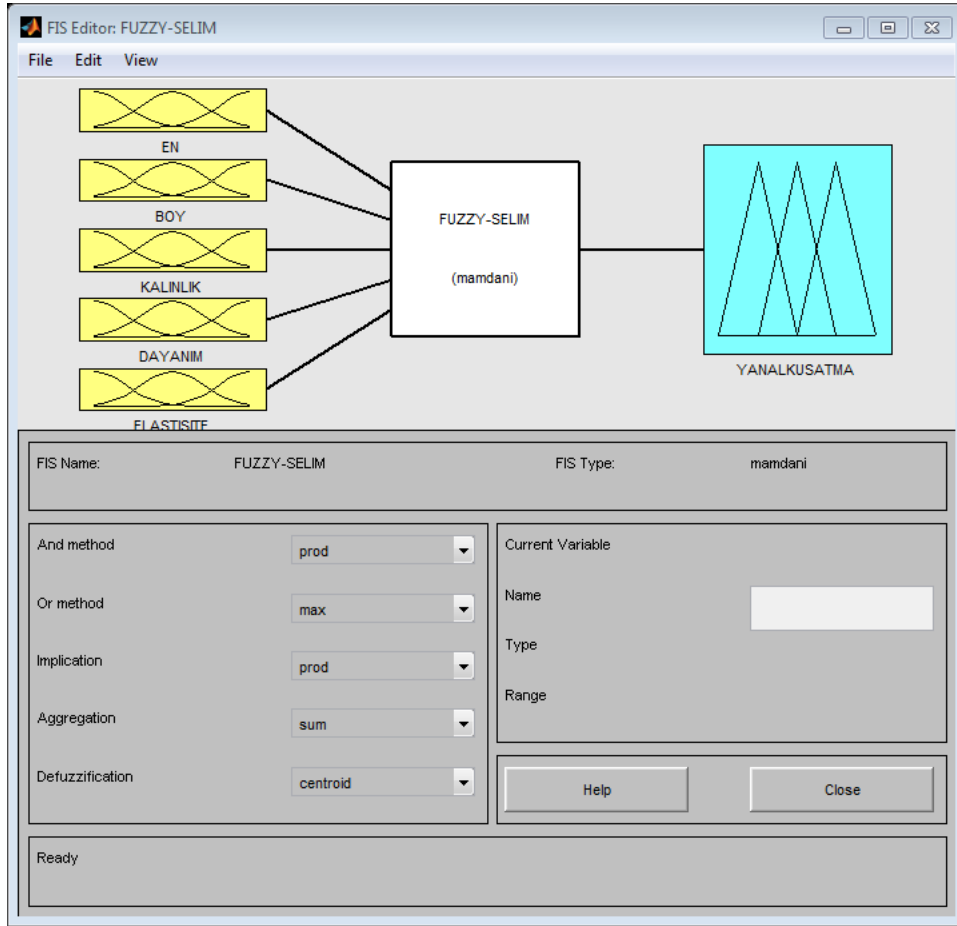
MODELLEME SONUÇLARI

Bu bölümde, CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayıları (output) tahmininde kullanılan modelleme çalışmaları olan fuzzy Logic ve çoklu regresyon modellerinde bulunan sonuçlar verilmiştir.

6.1 Önerilen Bulanık Mantık Modeli

6.1.1 FIS için Operatörlerin Seçimi

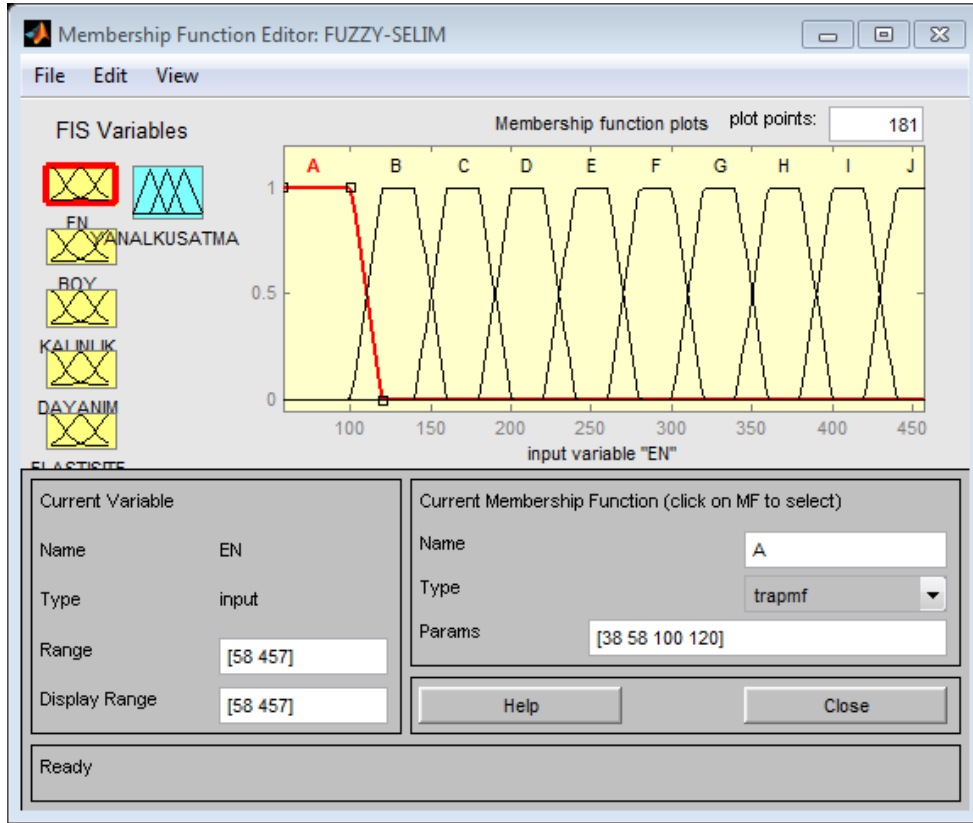
Bulanık Çıkarım Sistemi (Fuzzy Inference System = FIS) Ebrahim Mamdani (1975) tarafından öne sürülmüş tipte (Mamdani's type) olup, bulanık çıkarım sistemi (FIS) modülünde sırasıyla; AND Metod (Ve) = prod, OR Metod (Veya) = max, Implication (Karıştırma) = prod, Aggregation (Birleştirme) = sum, Defuzzification (durulaştırma) = centroid (COG) operatörleriyle işlemler yapılmıştır. Yukarıdaki bilgilere göre oluşturulan bulanık modelin işleme mekanizması Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Kural tabanının yazımında esas alınan 100 adet deney sonucu EK-A'da yer almaktadır.



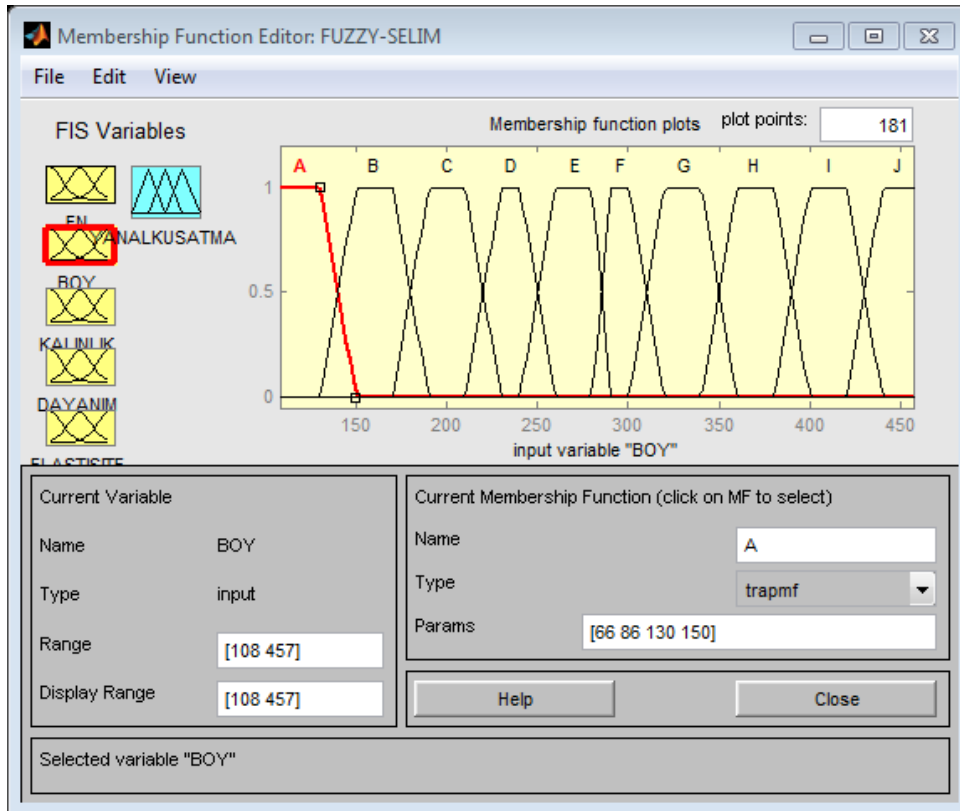
Şekil 6.1 Bulanık çıkarım sistemi, girdi ve çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının aralıklarının belirlenmesi

6.1.2 Bulanıklaştırma

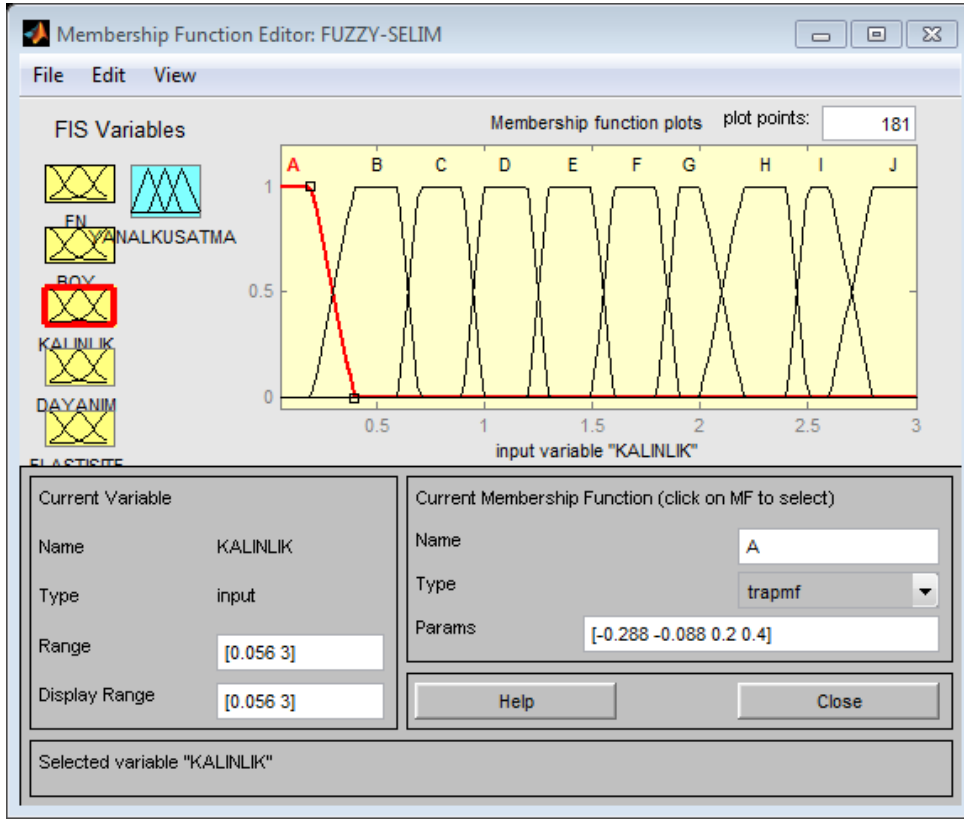
CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayıları için oluşturulan bu bulanık mantık tahmin modelinde her bir girdi (kolonun eni, kolonun boyu, CFRP malzemesinin kalınlığı, CFRP malzemesinin elastisite modülü, kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı) ve çıktı (yanal kuşatma katsayısı) değişkeni için 10 adet trapez üyelik fonksiyonu (trappmf) kullanılmıştır. Bunlar A, B, C, D, E, F, G, H, I, J şeklinde kategorize edilmiştir. Girdi ve çıktı parametrelerinin üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında değişken aralıkları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Değişken aralıklarına göre girdi ve çıktı değişkenlerin kategorize edilmesi ve model üstünde nasıl işlendiği Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Girdi ve çıktı parametrelerine ait üyelik fonksiyonları Şekil 6.2-6.7'de sırasıyla gösterilmiştir.



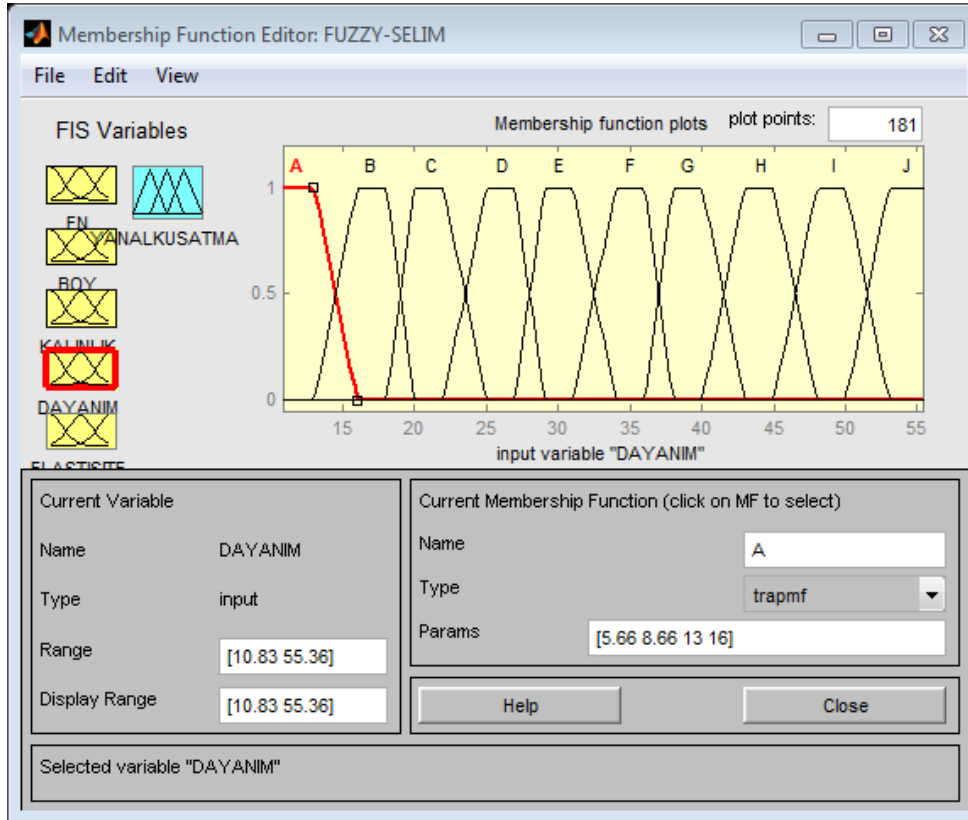
Şekil 6.2 Kolonun eni için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları



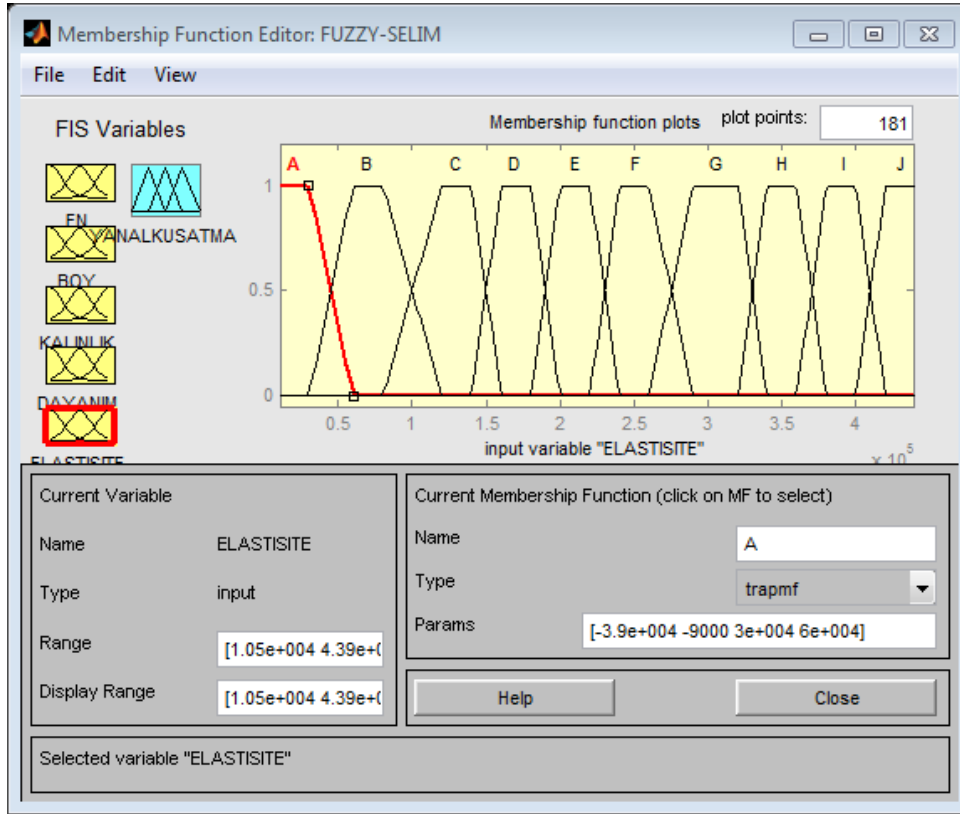
Şekil 6.3 Kolonun boyu için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları



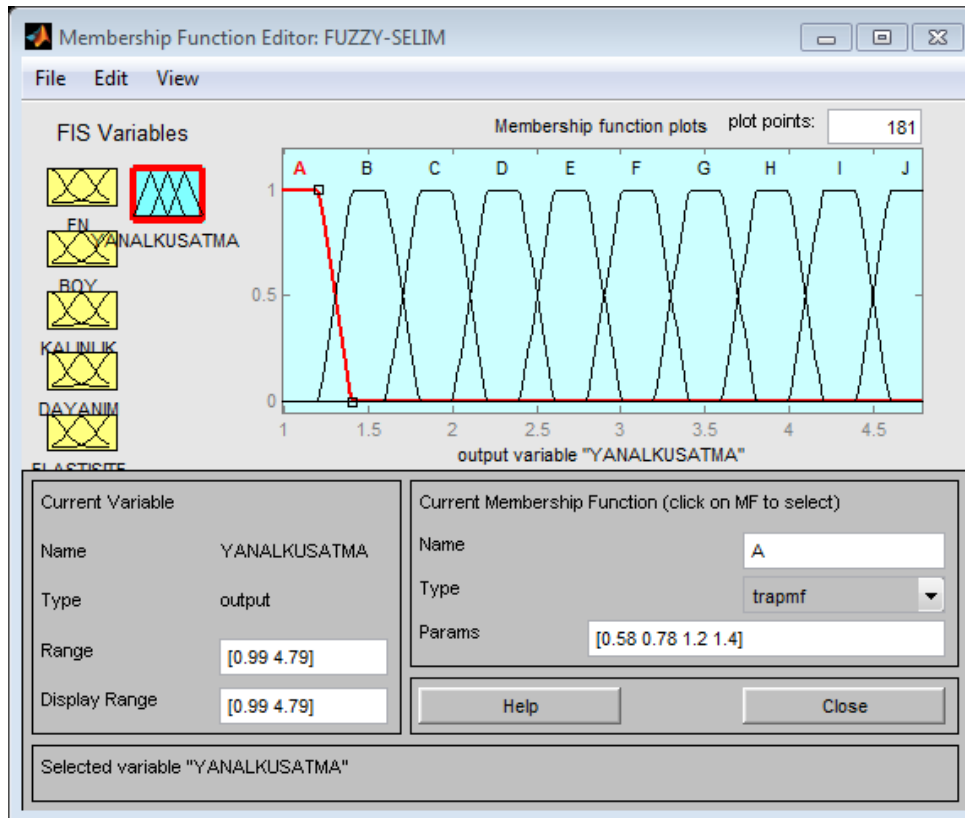
Şekil 6.4 CFRP malzemesinin kalınlığı için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları



Şekil 6.5 Kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları



Şekil 6.6 CFRP malzemesinin elastisite modülü için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları



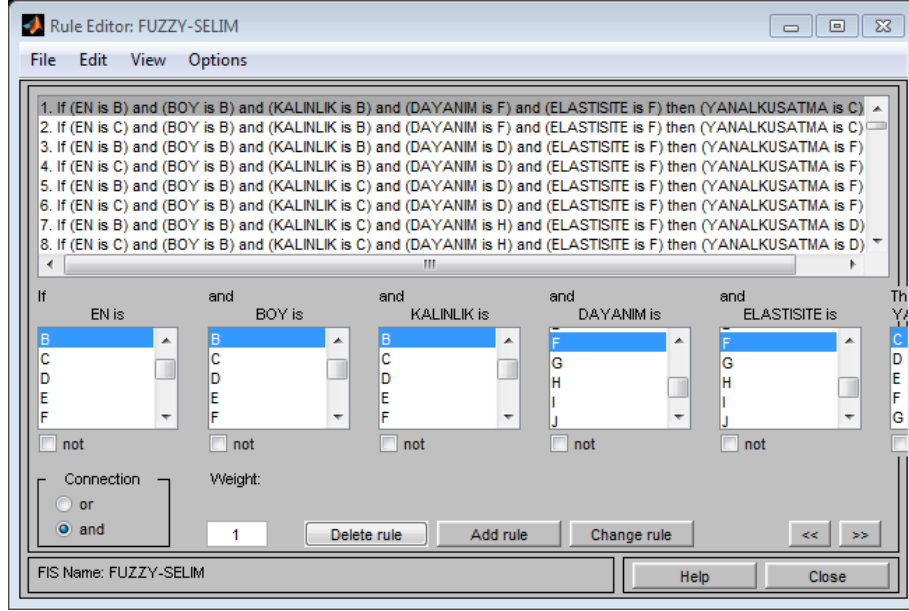
Şekil 6.7 Yanal kuşatma katsayısı için 10'lu trapez üyelik fonksiyonları

Çizelge 6.1 Girdi ve çıktı verilerine ait üyelik fonksiyonları ve değişken aralıkları

Üyelik Fonksiyonları	Girdi Değişkenleri				Çıktı Değişkeni	
	Kolonun Eni	Kolonun Boyu	CFRP Malzemesinin Kalınlığı	Kuşatılmamış Kesitin Basınç Dayanımı	CFRP Malzemesinin Elastisite Modülü	Yanal Kuşatma Katsayısı
A	[38 58 100 120]	[66 86 130 150]	[-0.288 -0.088 0.2 0.4]	[5.66 8.66 13 16]	[-39000 -9000 30000 60000]	[0.58 0.78 1.2 1.4]
B	[100 120 140 160]	[130 150 170 190]	[0.2 0.4 0.6 0.7]	[13 16 18 20]	[30000 60000 80000 120000]	[1.2 1.4 1.6 1.8]
C	[140 160 180 200]	[170 190 210 230]	[0.6 0.7 0.9 1]	[18 20 22 25]	[80000 120000 140000 160000]	[1.6 1.8 2 2.2]
D	[180 200 220 240]	[210 230 240 260]	[0.9 1 1.2 1.3]	[22 25 27 29]	[140000 160000 180000 200000]	[2 2.2 2.4 2.6]
E	[220 240 260 280]	[240 260 280 290]	[1.2 1.3 1.5 1.6]	[27 29 31 34]	[180000 200000 220000 240000]	[2.4 2.6 2.8 3]
F	[260 280 300 320]	[280 290 300 320]	[1.5 1.6 1.8 1.9]	[31 34 36 38]	[220000 240000 260000 290000]	[2.8 3 3.2 3.4]
G	[300 320 340 360]	[300 320 340 360]	[1.8 1.9 2 2.2]	[36 38 40 43]	[260000 290000 320000 340000]	[3.2 3.4 3.6 3.8]
H	[340 360 380 400]	[340 360 380 400]	[2 2.2 2.4 2.5]	[40 43 45 48]	[320000 340000 360000 380000]	[3.6 3.8 4 4.2]
I	[380 400 420 440]	[380 400 420 440]	[2.4 2.5 2.6 2.8]	[45 48 50 53]	[360000 380000 400000 420000]	[4 4.2 4.4 4.6]
J	[420 440 474 514]	[420 440 474 494]	[2.6 2.8 3.2 3.4]	[50 53 57.72 60.72]	[400000 420000 458000 478000]	[4.4 4.6 4.98 5.18]

6.1.3 Kural Tabanının Modele Girişi

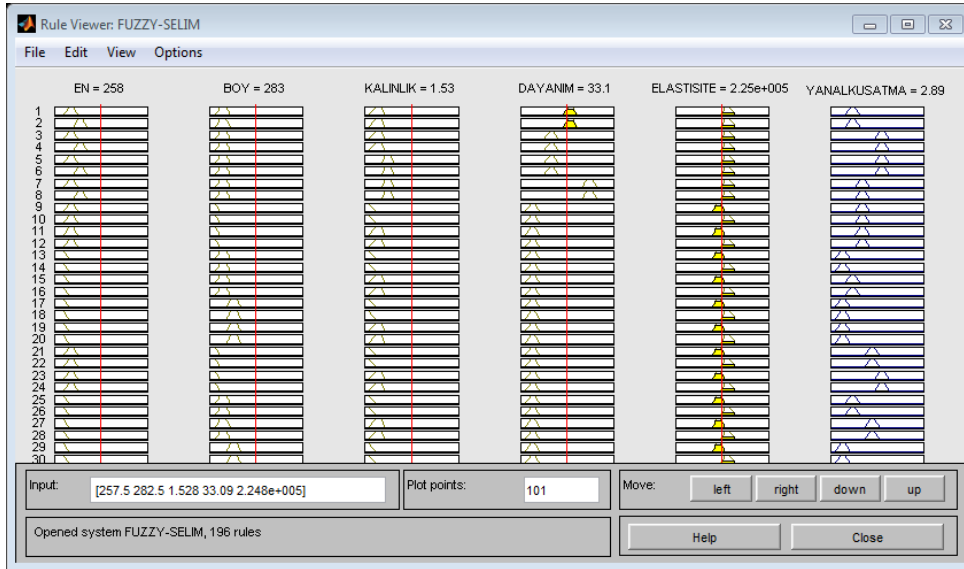
Girdi ve çıktı parametrelerinin bulanıklaştırma aşamasında sözelleştirilmesi yapılmıştır. Değişkenlerin modelde kural tabanına girişleri yapılmış ve tahmin sonuçları elde edilmiştir. MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) sayısal ortamı üzerinde kural tabanının girişi Şekil 6.8'de gösterilmiştir. CFRP ile güçlendirilmiş kolonların literatürden toplanan deneysel veriler ile oluşturulan kural tabanının sözel ifadeleri EK-B 'de verilmiştir.



Şekil 6.8 IF-THEN kural yapısının uygulanması

6.1.4 Veri setinin Durulaştırılması

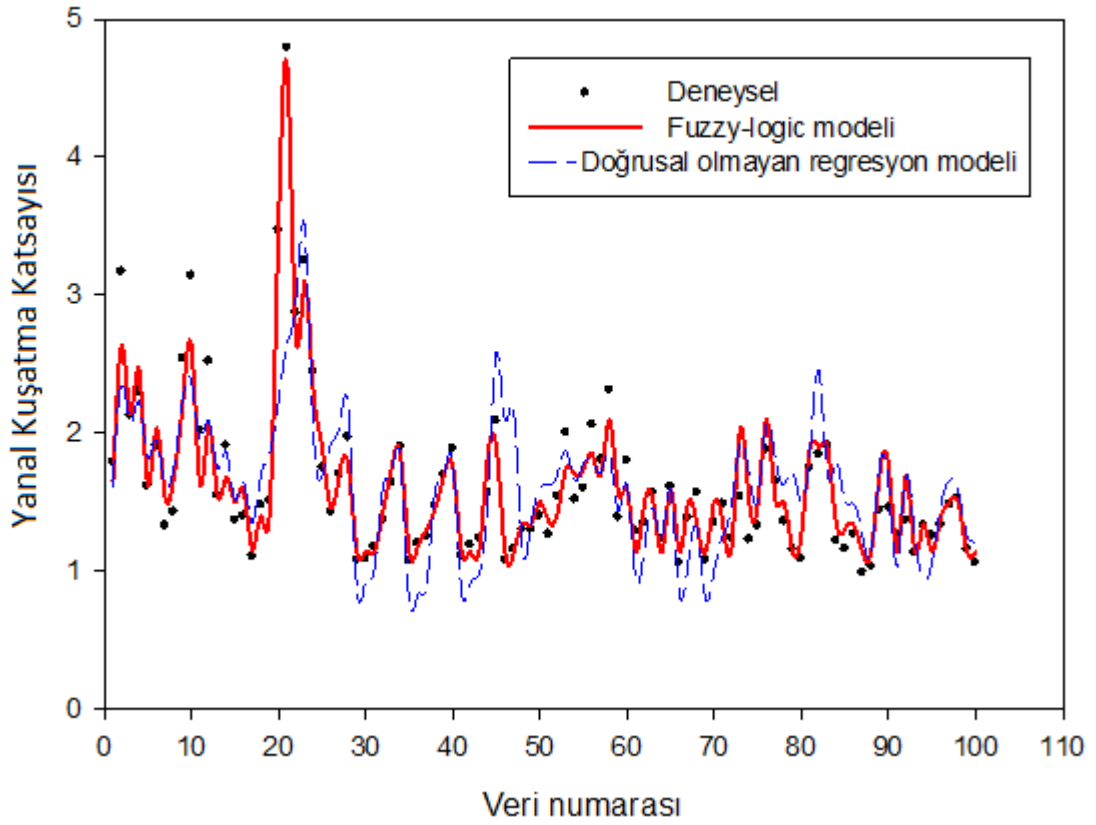
Bulanıklaştırma işlemi sonucunda bulunan bulanık çıktıların sayısal verilere dönüştürülmesi için durulaştırma işlemi yapılmıştır. CFRP ile güçlendirilmiş kolonların deneysel veri seti ile yazılan kural tabanı ile durulaştırılması aşamasında verilerin model tahminleri elde edilmiştir. MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 sayısal ortamı üzerinde durulaştırma ara yüzü Şekil 6.9'da gösterilmiştir. Bulanık çıktıların sayısal sonuçları EK-C'de verilmiştir.



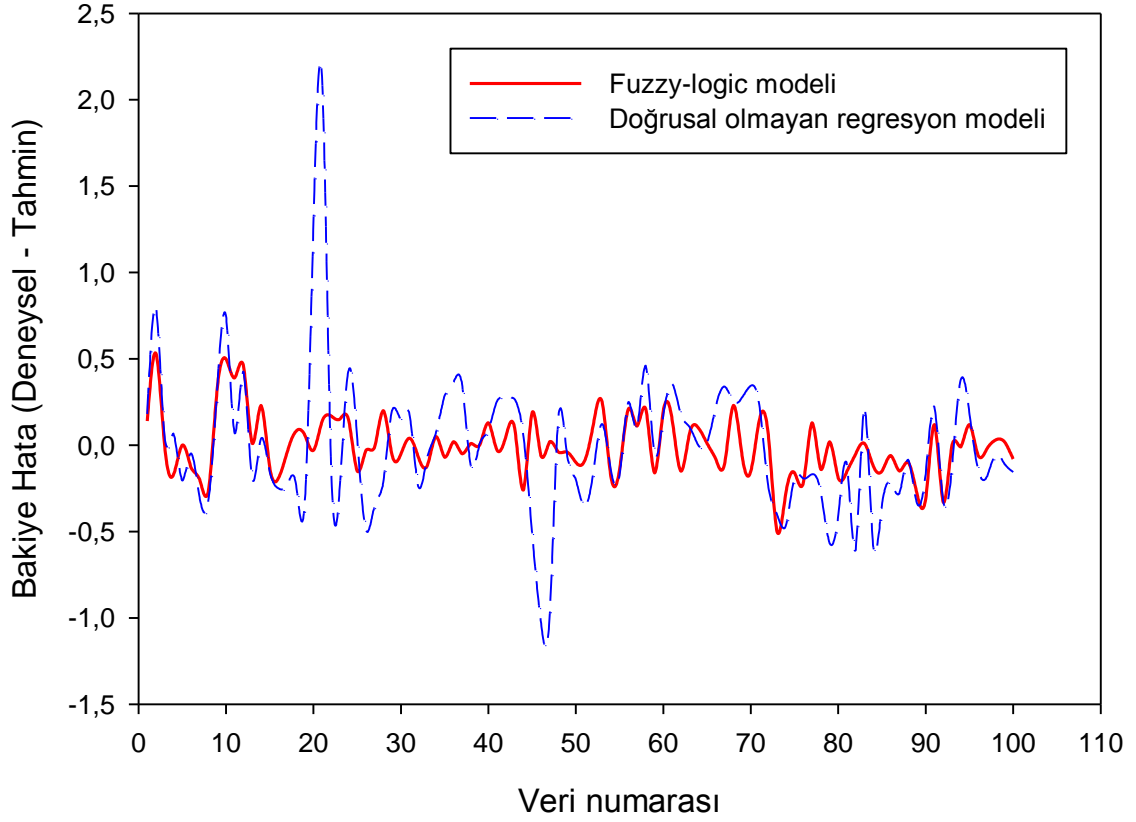
Şekil 6.9 Bulanık çıktıların durulaştırılması

6.1.5 Bulanık Mantık Modelinin Yanal Kuşatma Katsayısı Tahmin Sonuçları

CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayılarının tahmini için kurulan model performansı ve deneysel veriler ile mukayesesi Şekil 6.10'da grafik yardımıyla özetlenmiştir. Bu sonuç ile modelin yüksek bir performans gösterdiği anlaşılmıştır. Şekil 6.11'de bakiye hata grafiğine yer verilmiştir.



Şekil 6.10 Deneysel yanal kuşatma katsayıları ile fuzzy logic model ve doğrusal olmayan regresyon modeli sonuçlarının mukayesesi



Şekil 6.11 Deneysel yanıl kuşatma katsayıları ile fuzzy logic model ve doğrusal olmayan regresyon modeli sonuçlarının bakiye hata grafiği

6.2 Çoklu Regresyon Modeline Ait Tahmin Sonuçları

DataFit® programında yanıl kuşatma katsayılarının tahmini için yapılan çalışma neticesinde program, 1 ekspanansiyel ve 2 lineer denklemden oluşan 3 farklı model sonucu elde etmiştir. Çizelge 6.3’de veri seti için DataFit® tarafından uygun görülen bu denklemlere yer verilmiştir. Çizelge 6.3’de görülen determinasyon katsayısı (R^2) ve ayarlanmış çoklu determinasyon katsayısı (R_a^2) değerlerinin birbirine yakın olması modelleme çalışmasında kullanılan veri sayısının değerinin yeterli olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 6.2 Yanal kuşatma katsayısı tahmininde deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modelinin (eksponansiyel model) katsayıları ve modele ait bazı istatistiksel sonuçlar

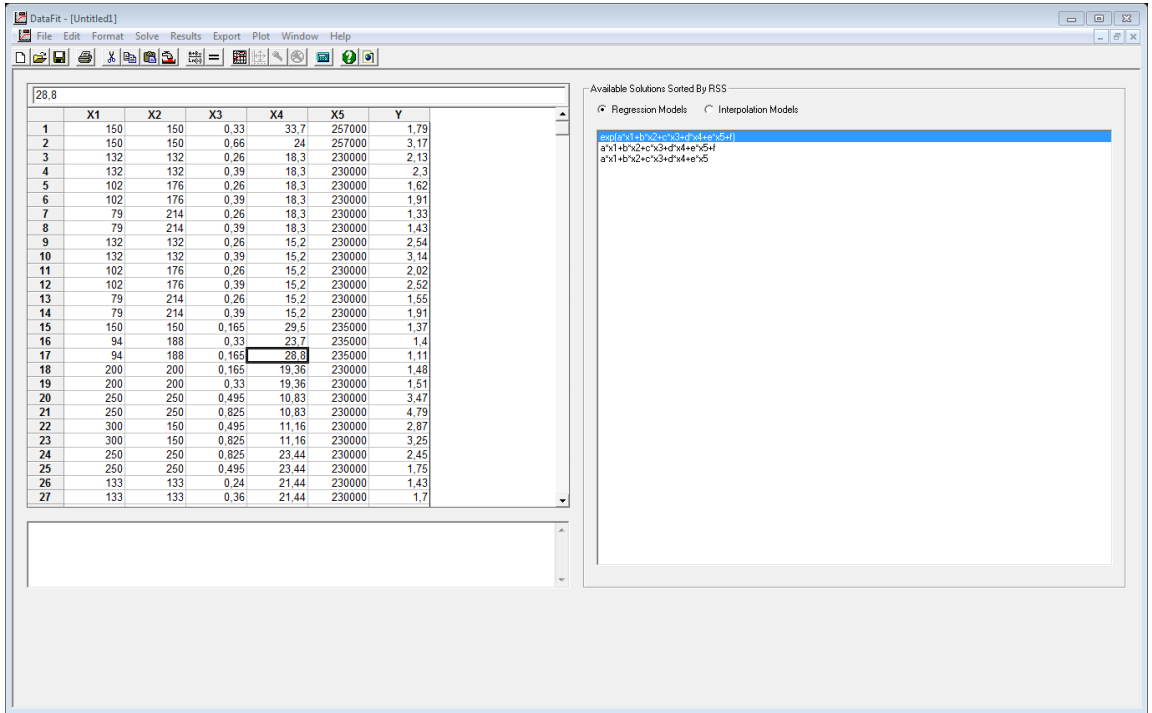
Katsayılar ve sabit terim (<i>i</i>)	Girdi değişkenleri	Standart Hata	<i>t</i> Oranı	<i>p</i> Değeri
$a = 7.157 \times 10^{-4}$	$x_1 =$ Kolonun Eni (mm)	4.233×10^{-4}	1.691	0.094
$b = -2.30 \times 10^{-3}$	$x_2 =$ Kolonun Boyu (mm)	5.564×10^{-4}	-4.126	0.00008
$c = 0.493$	$x_3 =$ CFRP Malzemesinin Kalınlığı (mm)	8.799×10^{-2}	5.56	0
$d = -2.233 \times 10^{-2}$	$x_4 =$ Kuşatılmamış Kesitin Basınç Dayanımı (MPa)	2.717×10^{-3}	-8.219	0
$e = 2.421 \times 10^{-6}$	$x_5 =$ CFRP Malzemesinin Elastisite Modülü (MPa)	4.954×10^{-7}	4.886	0
$f = 0.652$	Sabit terim	0.152	4.3	0.00004

Deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modeli (eksponansiyel model) formülasyon şeklinde ifade edilmek istenirse;

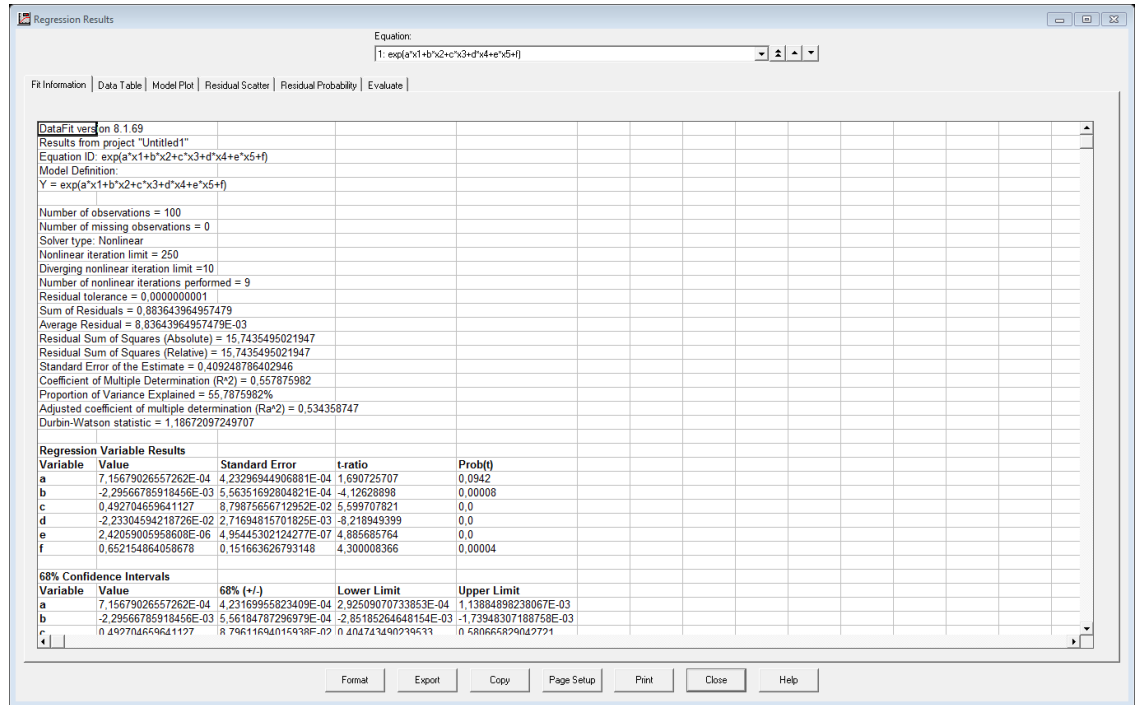
$$k_s = \exp [(7.157 \times 10^{-4})b + (-2.30 \times 10^{-3})h + (0.493)t + (-2.233 \times 10^{-2})f_{co} + (2.421 \times 10^{-6})E_{CFRP} + 0.652] \quad (6.1)$$

şeklinde tanımlanır.

Çoklu regresyon modelinin DataFit® üzerinde veri setinin uygulaması ve sonuçları sırasıyla Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'da gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Çoklu regresyon modelinde veri setinin DataFit® üzerinde uygulanması



Şekil 6.13 Çoklu regresyon modelinde veri setinin DataFit® programında sonuçları

Çizelge 6.3 Yanal kuşatma katsayısı tahmininde Datafit® ile elde edilen çoklu regresyon modelleri ve regresyon analizinde hesaplanan bazı istatistiksel değerler

Sıra	Model	SEE	SR	AR	RSS	R ²	R _a ²	NNI
1	$exp(a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5+f)$	0.409	0.884	0.009	15.744	0.558	0.534	9
2	$a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5+f$	0.444	8.256×10^{-13}	8.256×10^{-15}	18.503	0.48	0.453	2
3	$a*x_1+b*x_2+c*x_3+d*x_4+e*x_5$	0.538	4.927	0.049	27.484	0.228	0.196	2

SEE: Tahmindeki standart hata

SR: Hataların toplamı

AR: Ortalama bakiye hata

RSS: Hataların kareleri toplamı

R²: Determinasyon katsayısı

R_a²: Ayarlanmış çoklu determinasyon katsayısı

NNI: Uygulanan non-lineer iterasyon sayısı

Çizelge 6.3'de DataFit® tarafından verilen sonuçlar arasında en yüksek korelasyona sahip olan en uygun lineer ampirik denklemin katsayıları ve modele ait bazı istatistiksel verilerin sonuçları gösterilmiştir. Çizelge 6.2'de t oranı ve p değeri üzerinden model hakkında yorum yapılması mümkündür. Elde edilen sonuçlarda t oranının yüksek ve p değerinin düşük olduğu değişkenler, model için etkin girdileri ifade etmektedir. Çizelge 6.4'de yanal kuşatma katsayısı tahmini için DataFit®'te tahmini yapılan verilerin deneysel sonuçları için en yüksek korelasyonu sağlayan Çizelge 6.3'deki 1. denklem'in tanımlayıcı bakiye hata istatistikleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.4 Yanal kuşatma katsayısı tahmininde deneysel sonuçlarla en iyi uyum sağlayan çoklu regresyon modeli (eksponansiyel model) için tanımlayıcı bakiye hataların istatistikleri

Bakiye hata istatistiği	Hesaplama	Regresyon sonuçları
Hata Toleransı	$(Y_a - Y_p)$	0.0000000001
Hataların Toplamı	$\sum_{i=1}^n (Y_a - Y_p)$	0.884
Ortalama Hata	$\frac{\sum_{i=1}^n (Y_a - Y_p)}{n}$	8.836×10^{-3}
Hataların Toplamı (mutlak)	$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_a - Y_p)^2$	15.744
Tahmindeki Standart Hata	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_a - Y_p)^2}{n-p}} = \sqrt{\frac{SSE}{n-p}}$	0.409

Y_a : Deneysel veri

Y_p : Tahmin değeri

n: Gözlem sayısı

p : Çoklu regresyon modelindeki değişken sayısı

CFRP ile güçlendirilmiş kolonların literatürden elde edilen veri seti ile oluşturulan çoklu regresyon modeli çalışmasında yanal kuşatma katsayısı tahmini için model performansı ve deneysel veriler ile mukayesesi Şekil 6.10'da grafik yardımıyla özetlenmiştir. Bu sonuç ile modelin yüksek bir performans göstermediği anlaşılmıştır. Şekil 6.11'de çoklu regresyon modeli için bakiye hata grafiğine yer verilmiştir.

6.3 Tahmin Sonuçlarının İstatistiksel Verifikasyonu

Çizelge 6.5'de çıktı değişkeni olan yanal kuşatma katsayısı için; fuzzy logic ve çoklu regresyon modellerine ait performans indisleri hesaplanmış ve mukayese edilmiştir. Modelleme sonuçları EK-C'de vermiştir.

Çizelge 6.5 Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri

Performans indikatörü	Matematiksel ifadeler ^a	Tahmin Modelleri ^b	
		FLM	ÇRM
Determinasyon Katsayısı	$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)(Y_i - Y_m) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_m)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - P_m)^2}$	0.9192	0.5584
Ortalama Mutlak Hata	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i - O_i $	0.0031	0.0079
Ortalama Karesel Hata	$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i - O_i]^2 \right)^{0.5}$	0.0310	0.0787
Uyumluluk indeksi	$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - O_m + O_i - O_m)^2}$	0.9759	0.8499

Çizelge 6.5 (Devamı) Mukayese maksatlı kullanılan istatistiksel performans indikatörleri

	$FV = \frac{2(\sigma_o - \sigma_p)}{(\sigma_o + \sigma_p)}$		
Fraksiyonel Varyans	$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum(O_i - O_m)^2}{n-1}}$ $\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum(P_i - P_m)^2}{n-1}}$	0.2220	0.4141
2'nin faktörü	$0.5 \leq FA2 = \left(\frac{O_i}{P_i}\right) \leq 2$	0.9934	1.0137

^a O , P , m ve reg indisleri sırasıyla gözlenen (deneysel), tahmin edilen (model), ortalama ve regresyon ifadelerini göstermektedir.

^b FLM ve ÇRM sırasıyla fuzzy logic modeli (bulanık mantık modeli) ve çoklu regresyon modeli ifadelerini göstermektedir.

CFRP ile güçlendirilmiş kolonların literatürden elde edilen veri seti ile oluşturulan fuzzy logic ve çoklu regresyon modellemeleri ile yanal kuşatma katsayısı tahmini çalışmalarında model performansları Şekil 6.10'da grafik yardımıyla özetlenmişti. Grafikten anlaşılacağı gibi bütün modelleme çalışmaları içinde deneysel sonuçlar ile en iyi uyumu ve performansı sağlayan model sonuçları fuzzy logic modelinden elde edilmiştir. Şekil 6.11'de bakiye hata grafiği incelendiğinde bakiye hatanın salınımının en az olduğu çalışmanın fuzzy logic modeli olduğu görülmüştür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayısı tahmini için bulanık mantık ve çoklu regresyon modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelleme çalışmalarında literatürden elde edilen 100 adet veriden oluşan veri seti kullanılmıştır.

Fuzzy logic (bulanık mantık) tekniği ile yanal kuşatma katsayısının tahmin modellenmesi araştırılmıştır. Çalışmada, MATLAB® Versiyon 7.9.0.529 (R2009b, Lisans No: 161051) yazılım programında mevcut “Bulanık Mantık Modülü” (Fuzzy Logic Toolbox) kullanılarak bir “Bulanık Çıkarım Sistemi” (Fuzzy Inference System - FIS) oluşturulmuş ve bir MISO (çoklu girdili, tek çıktılı) modeli geliştirilmiştir. Fuzzy Logic modellemesi kapsamında beş girdi değişkeni (kolunun eni, kolunun boyu, CFRP malzemesinin kalınlığı, kuşatılmamış kesitin basınç dayanımı, CFRP malzemesinin elastisite modülü) yapay zekâ yaklaşımı ile bulanıklaştırılmıştır. Girdi değişkenleri ve çıktı değişkeni için sırasıyla onlu trapez üyelik fonksiyonları ile bulanık alt kümeler kullanılmıştır. Çalışma için, Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi kullanılarak IF-THEN (EĞER-İSE) formatında toplam 100 adet kural tabanı oluşturulmuştur. Seçilen trapez üyelik fonksiyonu için Bulanık Çıkarım Sistemindeki (FIS) OR, AND, IMPLICATION, AGGREGATION ve DEFUZZIFICATION metotlarında, literatürde en çok kullanılan (prod, max, prod, sum, centroid) FIS operatörleri alınmış ve en uygun FIS yapısı belirlenmiştir. Fuzzy Logic modellemesi kapsamında, biyogaz üretiminin tahmininde kullanılan trapez üyelik fonksiyonları ve yazılan kural tabanı için determinasyon katsayısı (R²) yaklaşık 0.92 olarak belirlenmiştir. Bu değer CFRP ile güçlendirilmiş kolonlarda yanal kuşatma katsayılarının belirlenmesi için oldukça başarılı kabul edilebilecektir. Bulanık mantık

yönteminin uygulanabilirliği oldukça basit olup, karmaşık geometrik tanımlamalara ve matematiksel eşitliklere gerek yoktur. Bununla birlikte, başka türde üyelik fonksiyonlarının (üçgen, çan şekilli, Gauss, vb.) ve bunların farklı kombinasyonlarının kullanılması halinde bulanık mantık modelinin tahmin performansının daha iyi seviyelere getirileceği düşünülmektedir.

Fuzzy logic modeli ile yapay zekâ esaslı modelleme çalışmaları yapıldıktan sonra, DataFit® V8.1.69 (Copyright© 1995-2005 Oakdale Engineering, PA, RC167) ile çoklu regresyon analizi esaslı bir çalışma daha gerçekleştirilerek tahmin sonuçlarının kendi içerisinde mukayesesi yapılmıştır. Yapılan çoklu regresyon çalışması neticesinde, yanal kuşatma katsayısı biri eksponansiyel olmak üzere 3 adet matematiksel formülasyon elde edilmiştir. Bu 3 denklem arasından 0.5584 değerindeki korelasyon katsayısı ile lineer ampirik denklem model için uygun bulunmuştur.

Ancak DataFit® ile gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi neticesinde elde edilen model sonuçları, Fuzzy Logic tarafından elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında, üretilen yanal kuşatma katsayısı tahmin sonuçlarında Fuzzy logic performansının DataFit®'ten çok daha uygun olduğu spesifik istatistiksel analizler doğrultusunda tespit edilmiş ve ortaya konmuştur. Fakat, istatistiksel verilerin uygunluğu dışında modelin pratik uygulamalarda kullanılabilirliği DataFit®'ten elde edilen multi parametreliliği kadar kullanışlı olmayıp, güncel veriler karşısında yeniden bir model kurulması zorunluluğu ve değişen veriler karşısında Fuzzy logic kadar dinamik olmaması gibi sebeplerden ötürü, yanal kuşatma katsayısı tahmininde yapay zekâ modelinin çok daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Gerçekleştirilen bu çalışmada yapay zekâ esaslı modellerin (Fuzzy Logic) dinamik bir yapıya sahip olduğu ve sisteme tanıtılan her tür yeni bilgi için çok kısa zamanda kendini güncelleyebildiği görülmüştür. Yapay zekâ esaslı modellerin aksine, konvansiyonel çoklu regresyon esaslı tahmin modeli daha sabit bir yapıya sahip olduğu için yeni veriler karşısında yeni bir model kurulması gerektiğini göstermiştir. DataFit® kompleks ve yüksek mertebeli matematiksel formülasyonlara sahip olmasına rağmen, yapay zekâ esaslı modelleme teknikleri bu konuda uygulamada konvansiyonel yöntemlere nazaran

daha avantajlı metotlar olarak kabul edilmektedir. Geliştirilen tahmin modellerinin pratikteki uygulanabilirliğini arttırmak maksadıyla değişken sayısının azaltılması da düşünülebilir. Fakat değişken sayısının azaltılmasında, modelin prosesi temsil edici özelliğinin geri planda kalmamasına dikkat edilmelidir.

Bu çalışma ile CFRP ile güçlendirilmiş kolonların yanal kuşatma katsayılarının tahmininde, en yüksek tahmin performansını gösteren Fuzzy Logic esaslı bir yapay zekâ modelinin kullanılabileceği görülmüştür. Fuzzy Logic model yardımıyla karışık matematik modeller yerine basit ve hızlı bir şekilde yanal kuşatma katsayısı tahmin edilmiş olacaktır. Ayrıca birbirine bağlı birçok denklem yanal kuşatma katsayısının hesabında hata yapma olasılığı da en aza indirgenmiş olacaktır.

CFRP ile güçlendirilmiş kolonların Fuzzy Logic esaslı bir model yardımıyla yanal kuşatma katsayılarının hesabı sayesinde deney ihtiyacı ortadan kaldırılabilir ve diğer matematik modellerin yanında bir test parametresi olarak ortaya konabilir.

İnşaat mühendisliği ile ilgili teknik literatürde yapay zekâ metotları (yapay sinir ağları, genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması vs.) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat Fuzzy Logic esaslı yapay zekâ modeli, inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın değildir. Bu çalışma göstermektedir ki inşaat mühendisliği problemlerinde Fuzzy Logic modelinin kullanılabilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Doran, B., Koksall, HO ve Turgay, T., (2008). "Nonlinear finite element modeling of rectangular/square concrete columns confined with FRP", J Mater Design, 30(8): 3066-3075.
- [2] Turgay, T., Polat, Z., Koksall, HO., Doran, B ve Karakoç, C., (2010). "Compressive behavior of large-scale square RC columns confined with CFRP jackets", J Mater Design, 31(1): 357-364.
- [3] Köksall, HO ve Doran, B., (2011). "Stress-strain model of rectangular/square concrete columns confined with FRP sheets", Proceedings of ICE-Structures and Buildings, 164(6): 391-408.
- [4] Yetilmezsoy, K., (2008). Treatability of Poultry Manure Wastewater Using Anaerobic Sludge Bed Reactor, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Perendeci A., Arslan S., Tanyolaç A ve Çelebi S.S., (2009). "Effects of phase vector and history extension on prediction power of adaptive-network based fuzzy inference system (Anfis) model for a real scale anaerobic wastewater treatment plant operating under unsteady state", Bioresource Tech., 100(20): 4579-4587.
- [6] Civelekoglu G., Perendeci A., Yigit N.O ve Kitis M., (2007). "Modeling carbon and nitrogen removal in an industrial wastewater treatment plant using adaptive networkbased fuzzy inference system", Clean Soil Air Water, 35(6): 617-625.
- [7] Cakmakci M., (2007). "Adaptive Neuro-Fuzzy Modelling of Anaerobic Digestion of Primary Sedimentation Sludge", Bioprocess and Biosystems Engineering, 30(5): 349-357.
- [8] Perendeci A., Arslan S., Çelebi S.S. ve Tanyolaç. A., (2008). " Prediction of effluent quality of an anaerobic treatment plant under unsteady state through anfis modeling with on-line input variables", Chem. Eng. Jour., 145(1): 78-85.

- [9] Cakmakci, M., Kinaci, C. ve Bayramoglu, M., (2008). "Adaptive Neuro-Fuzzy Modeling of Head Loss in Iron Removal with Rapid Sand Filtration", *Water Environment Research*, 80(12): 2260-2275.
- [10] Firat, M. ve Güngör, M., (2007). "River Flow Estimation using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. *Mathematics and Computers in Simulation*", 75(3-4): 87-96.
- [11] Turkdogan-Aydinol F.I. ve Yetilmezsoy, K., (2010). "A fuzzy logic-based model to predict biogas and methane production rates in a pilot-scale mesophilic UASB reactor treating molasses wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 182(1): 460-471.
- [12] Yıldırım Y. ve Bayramoğlu, M., (2006). "Adaptive neuro-fuzzy based modelling for prediction of air pollution daily levels in city of Zonguldak", *Chemosphere*, 63(9): 1575-1582.
- [13] ACI Committee 440, (2000). *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars*, American Concrete Institute, October.
- [14] Barbieri, E., (2002). *Composite Materials: High And New Technology For Ground Consolidation*.
- [15] Neale K. ve Labossiere P., (1997). "State-of-the-art report on retrofitting and strengthening by continuous fiber in Canada, the Third Int. Symp. On Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structure", 25-39.
- [16] ACI Committee 440, (2002). *Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-02)*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- [17] Lam, L. ve Teng, J.G. (2002). "Strength Models for Fiber-Reinforced-Plastic-Confined Concrete", *Journal of Structural Engineering*, 128(5): 612-23.
- [18] Youssef, M.N. (2003). *Stress-Strain Model for Concrete Confined by FRP Composites*, Doctor of Philosophy in Civil Engineering, University of California, Irvine, 2003.
- [19] Chaallal O., Hassan M. ve Shahawy, M. (2003a). "Confinement model for axially loaded short rectangular columns strengthened with fiber-reinforced polymer wrapping", *ACI Structural Journal* 100(2): 215-221.
- [20] Zadeh, L.A., (1965). "Fuzzy sets. *Inf. Control*", 8(3): 338-353.
- [21] Mamdani, E.H. ve Assilian, S., (1975). "An experiment in Linguistic Synthesis of Fuzzy Controllers", *Int. J. Man-Mach. Stud.*, 7(1): 1-13.

- [22] Özger, M. ve Şen, Z., (2007). "Prediction of Wave Parameters by Using Fuzzy Logic Approach", *Ocean Eng.*, 34(3-4): 460-469.
- [23] Güneş, M., (1997). "Klasik Mantığa Alternatif: Bulanık Mantık(Fuzzy Logic) ve İşletme Problemlerine Uygulaması", III. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 29-30 Mayıs.
- [24] Şen, Z., (2007). *Mühendislikte Bulanık Mantık ve Modelleme Prensipleri*,191, Su Vakfı Yayınları, Türkiye.
- [25] Karaya K., (2012). *Yapay Zekâ Modelleriyle Tam Ölçekli Çamur Çürütme Reaktörlerinden Elde Edilen Biyogaz Üretiminin Tahmini: Yapay Sinir Ağları Ve Fuzzy Logic Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Al-Salloum Y.A., (2006). "Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with FRP composite laminates", *Composites Part B* 38(5-6): 640-650.
- [27] Chaallal O., Shahawy M. ve Hassan M (2003b). "Performance of axially loaded short rectangular columns strengthened with carbon fiber-reinforced polymer wrapping." *ASCE Journal of Composites for Construction* 7(3): 200-208.
- [28] Demers M. ve Neale K.W., (1994). "Strengthening of concrete columns with unidirectional composite sheets.", *Proceedings of the 4th International Conference on Short and Medium Span Bridges*, Canadian Society Of Civil Engineering, Montreal, 895-905.
- [29] Feng, P., Lu, X.Z. ve Ye L.P., (2002). "Experimental research and finite element analysis of square concrete columns confined by FRP sheets under uniaxial compression.", *Proc. 17th Australasian Conference on the Mechanics of Structures*, Gold Coast, Australia, 71-76.
- [30] Harajli M.H., Hantouche E. ve Soudki K. (2006). "Stress-strain model for fiber-reinforced polymer jacketed concrete columns." *ACI Structural Journal*, 103(5): 672-82.
- [31] Hosotani M., Kawashima K., ve Hoshikuma J. (1997) "A study on confinement effect of concrete cylinders by carbon fiber sheets." In: *Proceedings of the 3rd non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures*, 209–16.
- [32] İlki, A., Peker, O., Karamuk, E., Demir, C. ve Kumbasar, N. (2008). "FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns." *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE 20(2): 169-188.

- [33] Lam L. ve Teng J.G. (2003). "Design-oriented stress–strain model for FRP confined concrete in rectangular columns". *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22(13): 1149-86.
- [34] Parvin, A. ve Wang,W. (2001). "Behavior of FRP jacketed concrete columns under eccentric loading. *Journal of Composites for Construction*", ASCE 5(3): 146-152.
- [35] Pessiki, S., Harries, K.A., Kestner, J.T., Sause, R. ve Ricles, J.M. (2001). "Axial behavior of reinforced concrete columns confined with FRP jackets. *Journal of Composites for Construction*", ASCE 5(4): 237-245.
- [36] Rousakis, T.C., Karabinis, A.I. ve Kioussis, P.D. (2007). "FRP-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modeling." *Engineering Structures*, 29(7): 1343-53.
- [37] Shehata, IAEM., Carneiro, LAV. ve Shehata, LCD. (2002). "Strength of short concrete columns confined with CFRP sheet". *Materials and Structures* 35(1): 50-58.
- [38] Turgay, T., (2007). FRP uygulanmış eksenel yüklü betonarme kolonların davranışı (Behaviour of RC columns confined with FRP), Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Biswas, J., Chowdhury, R. ve Bhattacharya, P., (2007). "Mathematical Modeling for the Prediction of Biogas Generation Characteristics of an Anaerobic Digester Based on Food/Vegetable Residues", *Biomass Bioener.*, 31(1): 80-86.
- [40] Türkdoğan Aydınol, F.İ. ve Yetilmezsoy, K., (2010). "A Fuzzy- Logic- Based Model to Predict Biogas and Methane Production Rates in a Pilot- Scale Mesophilic UASB Reactor Treating Molasses Wastewater", *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3): 460-471.
- [41] Yetilmezsoy, K. (2011). "Fuzzy-logic modeling of Fenton's oxidation of anaerobically pretreated poultry manure wastewater", *Environmental Science and Pollution Research*, 19(6):2227-2237.
- [42] Narnoli, S.K. ve Mehrotra, I., (1997). "Sludge Blanket of UASB Reactor: Mathematical Simulation", *Water Res.*, 31(4): 715-726.
- [43] Zhang, B., Zhao, H., Zhou, S., Shi, C., Wanga, C. ve Ni, J., (2009). "A Novel UASB–Mfc–Baf Integrated System for High Strength Molasses Wastewater Treatment and Bioelectricity Generation", *Bioresour. Technol.*, 100(23):5687-5693.

- [44] Bıykođlu, A., Akçayol, M.A., Özdemir, V. ve Sivriođlu, M., (2005). "Temperature Prediction in A Coal Fired Boiler With A Fixed Bed By Fuzzy Logic Based on Numerical Solution", *Energy Conver. Manag.*, 46(1): 151-166.
- [45] Mohamad Saleh, J. ve Hoyle, B.S., (2008). "Improved Neural Network Performance Using Principal Component Analysis on Matlab", *Int., J. The Computer, The İnternet and Management*, 16(2): 1-8.
- [46] Murnleitner, E., Becker, T.M. ve Delgado, A., (2002). "State Detection And Control of Overloads in the Anaerobic Wastewater treatment Using Fuzzy Logic", *Water Res.*, 36(1): 201-211.
- [47] Akkoyunlu, A., Yetilmezsoy, K., Ertürk, F. ve Öztemel, E., (2010). "A neural Network- Based Approach for the Prediction of Urban SO₂ Concentrations in İstanbul Metropolitan Area", *Int. J. Enviroment and Pollution*, 40(4): 301-321.
- [48] Metternicht, G. ve Gonzalez, S., (2005). "FUERO: Foundations of a Fuzzy exploratory Model for Soil Erosion Hazard Prediction", *Environ. Model. Soft.*, 20(6): 715-728.

LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN DENEYSEL VERİLER

VERİ NUMARASI	KOLONUN ENİ	KOLONUN BOYU	CFRP MALZEMESİNİN KALINLIĞI	KUŞATILMAMIŞ KESİTİN BASINÇ DAYANIMI	CFRP MALZEMESİNİN ELASTİSİTE MODÜLÜ	YANAL KUŞATMA KATSAYISI
	mm	mm	mm	MPa	MPa	-
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	150	150	0,33	33,70	257000	1,79
2	150	150	0,66	24,00	257000	3,17
3	132	132	0,26	18,30	230000	2,13
4	132	132	0,39	18,30	230000	2,3
5	102	176	0,26	18,30	230000	1,62
6	102	176	0,39	18,30	230000	1,91
7	79	214	0,26	18,30	230000	1,33
8	79	214	0,39	18,30	230000	1,43
9	132	132	0,26	15,2	230000	2,54
10	132	132	0,39	15,2	230000	3,14
11	102	176	0,26	15,2	230000	2,02
12	102	176	0,39	15,2	230000	2,52
13	79	214	0,26	15,2	230000	1,55

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
14	79	214	0,39	15,2	230000	1,91
15	150	150	0,165	29,5	235000	1,37
16	94	188	0,33	23,7	235000	1,4
17	94	188	0,165	28,8	235000	1,11
18	200	200	0,165	19,36	230000	1,48
19	200	200	0,33	19,36	230000	1,51
20	250	250	0,495	10,83	230000	3,47
21	250	250	0,825	10,83	230000	4,79
22	300	150	0,495	11,16	230000	2,87
23	300	150	0,825	11,16	230000	3,25
24	250	250	0,825	23,44	230000	2,45
25	250	250	0,495	23,44	230000	1,75
26	133	133	0,24	21,44	230000	1,43
27	133	133	0,36	21,44	230000	1,7
28	133	133	0,48	21,44	230000	1,97
29	133	133	0,12	54,68	230000	1,08
30	133	133	0,24	54,68	230000	1,09
31	133	133	0,36	54,68	230000	1,18
32	108	165	0,24	25,1	230000	1,37
33	108	165	0,36	25,1	230000	1,64
34	108	165	0,48	25,1	230000	1,9
35	108	165	0,12	55,36	230000	1,07
36	108	165	0,24	55,36	230000	1,2
37	108	165	0,36	55,36	230000	1,25

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
38	95	190,5	0,24	22,34	230000	1,47
39	95	190,5	0,36	22,34	230000	1,7
40	95	190,5	0,48	22,34	230000	1,89
41	95	190,5	0,12	48,06	230000	1,11
42	95	190,5	0,24	48,06	230000	1,19
43	95	190,5	0,36	48,06	230000	1,24
44	152	152	1	26,4	38100	1,57
45	152	152	2	26,4	38100	2,09
46	457	457	3	32,8	21600	1,08
47	200	200	0,337	38	439000	1,16
48	200	200	0,304	20,72	65000	1,3
49	200	200	0,608	20,72	65000	1,3
50	200	200	0,912	20,72	65000	1,4
51	200	200	0,111	20,72	235000	1,27
52	108	108	0,18	22,6	188900	1,54
53	108	108	0,36	22,6	188900	2
54	150	150	1,2	31,82	75100	1,52
55	150	150	1,2	28,5	75100	1,6
56	150	150	1,2	27,7	75100	2,06
57	150	150	1,2	30,29	75100	1,81
58	150	150	1,2	26,72	75100	2,31
59	200	200	0,351	33	240000	1,39
60	200	200	0,585	33	240000	1,8
61	200	200	0,414	33	65000	1,29

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
62	200	200	0,828	33	65000	1,35
63	200	200	1,242	33	65000	1,57
64	200	200	0,117	34	240000	1,24
65	200	200	0,585	34	240000	1,61
66	200	200	0,414	38	65000	1,06
67	200	200	0,828	38	65000	1,39
68	200	200	1,242	38	65000	1,57
69	200	200	0,414	40	65000	1,08
70	200	200	0,828	40	65000	1,35
71	200	200	1,242	40	65000	1,49
72	150	150	0,165	33,70	257000	1,24
73	132	132	0,13	18,30	230000	1,54
74	102	176	0,13	18,30	230000	1,23
75	79	214	0,13	18,30	230000	1,33
76	132	132	0,13	15,2	230000	1,88
77	102	176	0,13	15,2	230000	1,65
78	79	214	0,13	15,2	230000	1,36
79	150	150	0,165	23,7	235000	1,16
80	94	188	0,165	23,7	235000	1,09
81	250	250	0,165	10,83	230000	1,75
82	300	150	0,165	11,16	230000	1,85
83	250	250	0,495	23,44	230000	1,91
84	133	133	0,12	21,44	230000	1,22
85	108	165	0,12	25,1	230000	1,16

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
86	95	190,5	0,12	22,34	230000	1,27
87	152	152	1,05	32,3	10500	0,99
88	200	200	0,056	38	248000	1,04
89	150	150	1,2	28,68	75100	1,44
90	150	150	0,66	41,50	257000	1,46
91	95	190,5	0,48	48,06	230000	1,26
92	150	150	1,2	30,94	75100	1,37
93	457	457	2	32,8	38100	1,14
94	108	165	0,48	55,36	230000	1,33
95	133	133	0,48	54,68	230000	1,26
96	94	188	0,33	28,8	235000	1,34
97	150	150	0,33	29,5	235000	1,48
98	200	200	0,67	38	252000	1,53
99	200	200	0,117	33	240000	1,16
100	152	152	0,9	32,3	25000	1,06

GİRİDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ İÇİN TRAPEZ FONKSİYONU KURAL TABANI

VERİ NUMARASI	KOLONUN ENİ	KOLONUN BOYU	CFRP MALZEMESİNİN KALINLIĞI	KUŞATILMAMIŞ KESİTİN BASINÇ DAYANIMI	CFRP MALZEMESİNİN ELASTİSİTE MODÜLÜ	YANAL KUŞATMA KATSAYISI
	mm	mm	mm	MPa	MPa	-
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>C</i>
2	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
3	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>D</i>
4	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>D</i>
5	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
6	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
7	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
8	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
9	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>E</i>
10	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>F</i>
11	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
12	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>E</i>
13	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
14	A	C	B	B	E,F	C
15	B,C	B	A	E	F	B
16	A	C	B	D	F	B
17	A	C	A	E	F	A
18	D	C	A	C	E,F	B
19	D	C	B	C	E,F	B
20	E	D,E	B	A	E,F	G
21	E	D,E	C	A	E,F	J
22	F	B	B	A	E,F	E
23	F	B	C	A	E,F	F
24	E	D,E	C	C	E,F	D
25	E	D,E	B	C	E,F	C
26	B	A	A	C	E,F	B
27	B	A	B	C	E,F	B,C
28	B	A	B	C	E,F	C
29	B	A	A	J	E,F	A
30	B	A	A	J	E,F	A
31	B	A	B	J	E,F	A
32	A	B	A	D	E,F	B
33	A	B	B	D	E,F	B
34	A	B	B	D	E,F	C
35	A	B	A	J	E,F	A
36	A	B	A	J	E,F	A
37	A	B	B	J	E,F	A

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
38	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
39	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E,F</i>	<i>B,C</i>
40	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
41	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
42	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>I</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
43	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
44	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
45	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
46	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
47	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>J</i>	<i>A</i>
48	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A,B</i>
49	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A,B</i>
50	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
51	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
52	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>B</i>
53	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>C</i>
54	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
55	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
56	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
57	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
58	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
59	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>B</i>
60	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>C</i>
61	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>B</i>	<i>A</i>

<i>(1)</i>	<i>(2)</i>	<i>(3)</i>	<i>(4)</i>	<i>(5)</i>	<i>(6)</i>	<i>(7)</i>
62	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>F</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
63	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
64	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
65	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>B</i>
66	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
67	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
68	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
69	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
70	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
71	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
72	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
73	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
74	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
75	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
76	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
77	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
78	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
79	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
80	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
81	<i>E</i>	<i>D,E</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
82	<i>F</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
83	<i>E</i>	<i>D,E</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E,F</i>	<i>C</i>
84	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
85	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
86	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
87	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
88	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
89	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
90	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>G,H</i>	<i>F</i>	<i>B</i>
91	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>I</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
92	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
93	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
94	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>J</i>	<i>E,F</i>	<i>B</i>
95	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>J</i>	<i>E,F</i>	<i>A</i>
96	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>B</i>
97	<i>B,C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>B</i>
98	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>B</i>
99	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>F</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
100	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>A</i>

**CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLONLARIN YANAL KUŞATMA
KATSAYILARININ TAHMİN MODELLEMELERİN ÇALIŞMA SONUÇLARI**

VERİ NUMARASI	YANAL KUŞATMA KATSAYISI (DENEYSEL)	MODEL ÇALIŞMALARI SONUÇLARI	
		FUZZY LOGIC	ÇOKLU REGRESYON
(1)	(2)	(3)	(4)
1	1,79	1,65	1,61
2	3,17	2,64	2,37
3	2,13	2,14	2,08
4	2,30	2,47	2,23
5	1,62	1,62	1,82
6	1,91	2,04	1,96
7	1,33	1,53	1,63
8	1,43	1,69	1,75
9	2,54	2,21	2,22
10	3,14	2,64	2,39
11	2,02	1,63	1,95
12	2,52	2,06	2,09
13	1,55	1,54	1,75

(1)	(2)	(3)	(4)
14	1,91	1,68	1,87
15	1,37	1,50	1,52
16	1,40	1,59	1,65
17	1,11	1,15	1,35
18	1,48	1,40	1,70
19	1,51	1,45	1,86
20	3,47	3,50	2,22
21	4,79	4,65	2,66
22	2,87	2,70	2,94
23	3,25	3,10	3,51
24	2,45	2,30	2,02
25	1,75	1,90	1,69
26	1,43	1,46	1,92
27	1,70	1,71	2,05
28	1,97	1,77	2,19
29	1,08	1,14	0,88
30	1,09	1,14	0,94
31	1,18	1,14	1,00
32	1,37	1,44	1,61
33	1,64	1,76	1,72
34	1,90	1,85	1,83
35	1,07	1,14	0,79
36	1,20	1,18	0,84
37	1,25	1,30	0,89

(1)	(2)	(3)	(4)
38	1,47	1,46	1,59
39	1,70	1,70	1,69
40	1,89	1,76	1,81
41	1,11	1,14	0,85
42	1,19	1,14	0,91
43	1,24	1,14	0,97
44	1,57	1,83	1,51
45	2,09	1,90	2,59
46	1,08	1,14	2,09
47	1,16	1,14	2,17
48	1,30	1,34	1,15
49	1,30	1,34	1,35
50	1,40	1,50	1,60
51	1,27	1,36	1,62
52	1,54	1,42	1,70
53	2,00	1,75	1,88
54	1,52	1,70	1,66
55	1,60	1,74	1,78
56	2,06	1,85	1,81
57	1,81	1,70	1,71
58	2,31	2,10	1,85
59	1,39	1,55	1,44
60	1,80	1,60	1,63
61	1,29	1,14	0,93

(1)	(2)	(3)	(4)
62	1,35	1,50	1,17
63	1,57	1,50	1,46
64	1,24	1,14	1,24
65	1,61	1,60	1,60
66	1,06	1,14	0,84
67	1,39	1,50	1,05
68	1,57	1,34	1,31
69	1,08	1,14	0,80
70	1,35	1,50	1,01
71	1,49	1,34	1,26
72	1,24	1,18	1,47
73	1,54	2,04	1,94
74	1,23	1,51	1,70
75	1,33	1,49	1,52
76	1,88	2,10	2,07
77	1,65	1,52	1,82
78	1,36	1,50	1,63
79	1,16	1,14	1,72
80	1,09	1,28	1,51
81	1,75	1,90	1,86
82	1,85	1,90	2,46
83	1,91	1,90	1,69
84	1,22	1,34	1,80
85	1,16	1,31	1,51

(1)	(2)	(3)	(4)
86	1,27	1,33	1,49
87	0,99	1,14	1,27
88	1,04	1,14	1,12
89	1,44	1,72	1,77
90	1,46	1,77	1,63
91	1,26	1,14	1,04
92	1,37	1,70	1,69
93	1,14	1,14	1,27
94	1,33	1,34	0,95
95	1,26	1,14	1,07
96	1,34	1,40	1,48
97	1,48	1,50	1,66
98	1,53	1,50	1,58
99	1,16	1,14	1,27
100	1,06	1,14	1,22

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Selim MURTAZAOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 31 Aralık 1989, Fatih
Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği/Yapı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	Pertevniyal Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Çalışma Zamanı	Firma/Kurum	Görev
Mart 2012 – Eylül 2012	Arçel Endüstriyel Sistemler Ltd. Şti.	Saha Mühendisi