

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK LİFLİ BETONLARIN MALZEME KARIŞIM ORANLARINI VE
BETON BASINÇ DAYANIMINLARINI BULANIK MANTIK KULLANARAK
MODELLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru AYYILDIZ

(122137101)

Anabilim Dalı: Yazılım Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı: Yazılım Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULAŞ

OCAK-2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK LİFLİ BETONLARIN MALZEME KARIŞIM ORANLARINI VE
BETON BASINÇ DAYANIMINLARINI BULANIK MANTIK KULLANARAK
MODELLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru AYYILDIZ

(122137101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Aralık 2017

Tezin Savunulduğu Tarih: 12 Ocak 2018

Tez Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULAŞ (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Engin AVCI (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Özal YILDIRM(M.Ü.)

OCAK-2018

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır. Tezin araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı şekillendiren saygıdeğer hocam ve tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa ULAŞ ve Yrd. Doç. Dr. Merve AÇIKGENÇ ULAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi aileme, Mehmet Salih AYYILDIZ, Sümeyra AYYILDIZ ve Betül CAN'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ebru AYYILDIZ

ELAZIĞ – 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ	1
2. AKILLI SİSTEMLER.....	3
2.1. Bir Sistemi Akıllı Kılan Temel Özellikler	3
2.2. Yapay Zeka	4
2.2.1. Uzman Sistemler.....	5
2.2.2. Yapay Sinir Ağları	6
2.2.3. Genetik Algoritma	7
2.2.4. Bulanık Mantık	8
3. BULANIK MANTIK	9
3.1. Bulanık Mantığa Giriş	9
3.2. Bulanık Mantık Uygulamaları ve Kullanım Alanları	12
3.3. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları	15
3.4. Bulanık Sistem Yapısı	16
3.5. Bulanık ve Klasik Kümeler.....	17

3.5.1. Bulanık Kümeler.....	19
3.5.1.1. Bulanık Üyelik Fonksiyonları.....	20
3.5.1.2. Bulanık Küme Özellikleri.....	23
3.5.1.3. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler.....	24
3.6. Bulanık Kural Tabanı.....	25
3.7. Sonuç Çıkarma Sistemi.....	26
3.7.1. Mamdani Bulanık Sonuç Çıkarma Yöntemi.....	27
3.7.2. Takagi – Sugeno Bulanık Modelleme	27
4.BETON TEKNOLOJİSİNDE BULANIK MANTIK VE SİSTEM PARAMETRELERİ.....	30
4.1. Beton Teknolojisinde Bulanık Mantık Kullanımı	30
4.2. Sistemde Kullanılan Parametreler	32
4.2.1. Giriş Parametreleri.....	32
4.2.2. Çıkış Parametreleri	34
5. BETON DAYANIMI TAHMİNİ İÇİN BULANIK MANTIK MODELİ.....	38
5.1. Giriş Üyelik Fonksiyonları	39
5.2. Çıkış Üyelik Fonksiyonları	41
5.3. Su Miktarının Bulanık Mantık İle Tahmini	42
5.4. Çimento Miktarının Bulanık Mantık İle Tahmini.....	44
5.5. İri Agrega İçeriğinin Bulanık Mantık İle Tahmini	47
5.6. İnce Agrega İçeriğinin Bulanık Mantık İle Tahmini	49
6. MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	52
6.1. Bulanık Mantık İle Modellenmiş Çimento Miktarının Değerlendirilmesi	52
6.2. Bulanık Mantık İle Modellenmiş Su Miktarının Değerlendirilmesi.....	53

6.3. Bulanık Mantık İle Modellenmiş İri Agregat İçeriğinin Değerlendirilmesi	54
6.4. Bulanık Mantık İle Modellenmiş İnce Agregat İçeriğinin Değerlendirilmesi.....	55
7. SONUÇ	57
KAYNAKÇA.....	59
EK.....	64
ÖZGEÇMİŞ	66



ÖZET

Günümüzde teknoloji hızlı bir şekilde gelişmektedir. Hızlı gelişen bu teknolojiye bir katkı da bulanık mantık ile yapılmıştır. Bulanık mantığın uygulama alanının çok geniş olması ve çoğu uygulamada olumlu sonuçlar üretmesi yöntem üzerine ilgileri çekmeyi başarmıştır. Bulanık mantık kesin olmayan tüm bilgilerde kullanılma imkânı sunmaktadır. İnsan dilini kullanarak işlem yapan bulanık mantık matematiksel model ile elde edilmesi çok zor olan sistemlerin kullanımı için oldukça elverişlidir.

Bulanık mantığın inşaat mühendisliği alanındaki uygulamaları giderek artmaktadır. Akıllı sistemleri kullanarak oluşturulan bu uygulamada değişen problemlere bağlı olarak çözüm yeteneği geliştirilmiştir. Değişen madde ve miktara göre beton karışımının dayanımını önceden tahmin etme ve inşaat sektöründe zaman ve malzeme kaybı yaşamadan akıllı sistemleri kullanarak sürecin hızlandırılması beklenmektedir.

Bulanık mantık kullanılarak geliştirilen bu uygulamada beton karışımının beton dayanımı önceden tahmin edilmiştir. Betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı, maksimum agrega ve minimum agrega boyutu, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı deney kümesinin girdileri olurken çimento dozajı, su miktarı, iri ve ince agrega içeriği de çıktı olarak kullanılmıştır. Belirtilen girdilerin her bir çıktı üzerindeki etkisi araştırılmıştır ve hangi maddenin hangi çıkış değişkenini etkilediği teker teker denenerak tespit edilmiştir. Bulanık mantığın tahmin ettiği sonuçların gerçek sonuçlara yakın değerler elde ettiği karşılaştırmalarda gözlenmiştir. Bulanık mantık, sistemle ilgili çıktıları tahmin etmede başarılı olmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında, bulanık mantığın beton basınç dayanımını tahmin etmede büyük bir potansiyele sahip olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bulanık mantık, Akıllı sistemler, Çelik elyaf takviyeli beton, Beton karışım dizaynı

SUMMARY

Modeling of Material Mixer Rates and Concrete Pressure Resistance of Steel Fiber Concrete by Using Fuzzy Logic

Today, technology develops swiftly. The technology that advances fast is supported by the fuzzy logic. That fuzzy logic's application area is very wide and produces successful results in most practices manages to draw attentions about the procedure. The fuzzy logic presents us usage of all information which is unclear. Fuzzy logic processing using human language is very convenient for the use of systems which are very difficult to obtain with mathematical model.

Applications of the fuzzy logic in the area of construction engineering has gradually increased. In this study which we created with smart systems, ability of the solution is developed based on changing problems. According to changing materials and its quantity, the progress is accelerated with estimating the endurance of concrete mix and using the smart systems without waste of time and material in construction sector.

In this application, which is developed using fuzzy logic, the concrete strength of concrete mix is predicted. Consistency of concrete, compressive strength of concrete, size of max aggregate and min aggregate, steel fiber volume fraction, length of steel fiber and diameter of steel fiber are inputs of our experimental group. And, cement content, quantity of water, coarse aggregate and content of fine aggregate are used as outputs. The impacts of stated inputs on each output are studied and which substance affects which output variable is determined by trying one by one. It was observed that the results predicted by fuzzy logic could be close to the experimental results. Fuzzy logic has succeeded in predicting the output of the system. When comparing the result, it emerges that fuzzy logic has grand potential for estimation about compressive strength of concrete.

Keywords: Fuzzy logic, Intelligent systems, Steel fiber reinforced concrete, Concrete mix design

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Genel bir bulanık mantık sistemi.....	16
Şekil 3.2. Kişilerin ekonomik durumlarını gösteren alt kümeler a)Klasik ve b)Bulanık	20
Şekil 3.3. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	21
Şekil 3.4. Yamuk üyelik fonksiyonu	22
Şekil 3.5. Gauss üyelik fonksiyonu	23
Şekil 3.6. Sugeno tipi sonuç çıkarma yöntemi	29
Şekil 5.1. Sistemin Giriş ve Çıkış Parametreleri	38
Şekil 5.2. Beton basınç dayanımı üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri	39
Şekil 5.3. Maksimum agrega boyutu üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri	40
Şekil 5.4. Betonun kıvamı üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri	40
Şekil 5.5. Beton basınç dayanımı ve Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu	44
Şekil 5.6. Beton basınç dayanımı, Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu	46
Şekil 5.7. Beton basınç dayanımı, betonun kıvamına bağlı BM model sonucu	46
Şekil 5.8. Beton basınç dayanımı, Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu	48
Şekil 5.9. Maksimum agrega boyutunun, betonun kıvamına bağlı BM model sonucu..	49
Şekil 5.10. Betonun kıvamı ve Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu	51
Şekil 5.11. Betonun kıvamı ve beton basınç dayanımına bağlı BM model sonucu	51
Şekil 6.1. Çimento miktarı bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları.....	53
Şekil 6.2. Su miktarının bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları	54
Şekil 6.3. İri agrega içeriğinin bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları ...	55
Şekil 6.4. İnce agrega içeriğinin bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları	56

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1. Beton kıvam numaralandırması	35
Tablo 5.1. Beton basınç dayanımı üyelik dereceleri	39
Tablo 5.2. Maksimum agrega boyutu üyelik dereceleri.....	40
Tablo 5.3. Betonun kıvamı üyelik dereceleri	40
Tablo 5.4. Su miktarının üyelik dereceleri	41
Tablo 5.5. Çimento miktarının üyelik dereceleri	41
Tablo 5.6. İri Agrega üyelik dereceleri	42
Tablo 5.7. İnce Agrega üyelik dereceleri	42
Tablo 6.1. Çimento miktarı bulanık mantık model sonuçları	52
Tablo 6.2. Su miktarı bulanık mantık model sonuçları.....	54
Tablo 6.3. İri agrega içeriği bulanık mantık model sonuçları	55
Tablo 6.4. İnce agrega içeriği bulanık mantık model sonuçları.....	56

KISALTMALAR LİSTESİ

SFRC	:Çelik Elyaf Takviyeli Beton
CC	:Betonun Kıvamı
F_c	:Betonun Basınç Dayanımı
D_{Max}	:Maksimum Agrega Boyutu
V_f	:Çelik Lif Hacim Kesri
l_f	:Çelik Lif Uzunluğu
d_f	:Çelik Lif Çapı
C_{em}	:Çimento Dozajı
W	:Su Miktarı
CA	:İri Agrega
FA	:İnce Agrega
Ad	:Kimyasal Katkı
TSK	:Takagi, Sugeno ve Kank
ABS	:Otomatik Fren Sistemi
ASC	:Otomatik Vites Kontrolü
BM	:Bulanık Mantık
YSA	:Yapay Sinir Ağı

1. GİRİŞ

Hızla gelişen ve sanayileşen dünyada uzun yıllardan beri en çok kullanılan ve güncelliğini kaybetmeyen yapı malzemelerinden biri betondur. Betonun inşaat sektöründe ve özellikle mühendislik uygulamalarında kullanılmasıyla önemi daha da artmıştır. Betonun kullanım alanı oldukça geniştir. Hem eski yapıların onarımında, yıkılıp yeniden yapılmasında hem de yeni yapıların inşa edilmesinde kullanılmaktadır. Yol yapımı, sulama kanalları, köprüler, barajlar, bina yapımı, metro gibi bir çok yapının inşasında beton kullanılmaktadır. Betonun tercih edilme sebepleri arasında, şekil verilebilirliği, dış etkenlere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu gibi özellikler sıralanabilir [1]. Betonun diğer yapı malzemelerine göre çok daha fazla üstün özellikleri vardır. Beton karışımında kullanılan maddeler günlük hayatta kolay bir şekilde temin edilebilmekte ve daha ucuz olmaktadır. Dış etkilere karşı daha dayanıklı olan beton normal bir yangında çok fazla hasar görmezken bu yapı bir ahşapsa ciddi anlamda hasara sebep olmaktadır. Ayrıca taze betonun akışkan olması betonu istenilen şekle sokulabileceği anlamına gelir ve bu özellik sayesinde istenilen yerde kullanılır.

Betonun kullanım alanı çok geniştir. Betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için birçok deneysel çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar bazen kullanışsız, pahalı ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu durum beton teknolojisinde, deneysel çalışmalara ek olarak bazı yöntemlerin kullanımını zorunlu kılmıştır.

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte karıştırılmaları sonucunda elde edilebilen bir malzemedir [2]. Basit gibi görülen beton karışımının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. İçerisindeki maddeler benzer olmasına rağmen, betonun farklı uygulamalarda farklı mekanik ve fiziksel özellikler göstermesi beklenebilir. İstenilen beton türüne göre kullanılan her bir maddenin miktarı, kalitesi ve özellikleri iyice belirlenmelidir.

Çelik elyaf takviyeli beton (Steel Fiber Reinforced Concrete-SFRC) özel bir beton türüdür. SFRC hidrolik çimento, su, agrega ve kesikli çelik fiberler içeren beton olarak tanımlanmaktadır [3]. Aynı zamanda, bu tür geleneksel betonlar mineral veya kimyasal katkıları içerebilirler. SFRC genellikle işlenebilirlik ve mekanik özellikler gibi bazı

farklılıklar dışında, bilinen bir beton tasarımı kullanılarak üretilmiş olsa bile, SFRC çelik liflerin, geleneksel betona göre daha esnek olanıdır. Böylece, SFRC de doğru beton karışım kompozisyonu bulmak için geleneksel betona kıyasla daha fazla deneme yapılmıştır. Ayrıca, mekanik özellikleri açısından değerlendirildiğinde çelik elyaflarının beton karışımı bileşimleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Betonun fiziksel ve mekanik özellikleri sadece deneysel yöntemlerle değil farklı yöntemlerle de tespit edilebilir. Beton teknolojisinde son zamanlarda deneysel yöntemlere ek olarak akıllı sistem programlama yazılımlarından bulanık mantık kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık mantık; daha önce yapılan deneysel çalışmalarla elde edilen verilerden yararlanarak modeller oluşturmuş ve kısa sürede beton dayanımını tahmin edip genelleştirebilmiştir. Bu yüzden beton teknolojisinde, deneysel çalışmalardaki eksiklikleri gidermek ve deneysel çalışmalara katkı sağlamak amacıyla bulanık mantık kullanılmıştır.

Bulanık mantık özellikle inşaat malzemeleri alanında yıllardır çeşitli inşaat mühendisliği problemlerini çözmede kullanışlı olmuştur. Ayrıca, bulanık mantığın en dikkat çekici özelliği doğrusal olmayan, kompleks, modellenmesi güç ve bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya kesin olmadığı durumlarda başarılı bir metot olmasıdır. Bulanık mantık kesin değerlere dayanan düşünmeyi kullanmayıp, yaklaşık düşünme kullanmaktadır. Dahası bulanık mantık eksik verilere doğru ya da neredeyse doğru yanıt üretebilir. Gürültülü veya kötü verilerden bir tahminde bulunabilir ve yeni verilerin de uygulamaya eklenmesiyle uygulama hakkında geliştirilmiş sonuçlar üretebilir. Bu yetenekler bulanık mantığın karmaşık ya da yetersiz bilgiye sahip sorunların çözümü için son derece yararlı bir yöntem olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada amaç, bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak literatürde bulunan farklı SFRC karışımları ile karışım bileşimini tahmin etmektir. Bu amaçla, bulanık mantık kullanılarak bir akıllı sistem inşa edilmiştir. Akıllı sistemin kullanılmasındaki amaç değişen parametrelere bağlı olarak çözüm yeteneği geliştirmektir. Değişen madde ve miktara göre beton karışımının dayanımını önceden tahmin etme ve inşaat sektöründe zaman ve malzeme kaybı yaşamadan akıllı sistemleri kullanarak süreç hızlandırılmak istenmiştir.

2. AKILLI SİSTEMLER

Bilgisayar tarihine bakıldığında en başta çok basit uygulamalar kullanılmaktaydı, günümüze gelene kadar bilgisayar; yazılım ve donanım konusunda kendini çok fazla güncellemiş ve günümüzde akıllı sistemleri üretecek kapasiteye ulaşmıştır. Zeki sistemler olarak da bilinen akıllı sistemler, birbirinden farklı işlem yapabilen birçok yazılımdan oluşan, bilgisayar donanımına uyumlu temel bir işletim sistemi üzerine kurulan sistemlerdir [4].

Akıllı sistemler, birden fazla olasılık kullanarak işlem yapabilmektedir, böylece olası bütün durumlar değerlendirilerek sistem en kullanışlı hale getirilmektedir. Bu sistemler, işlem süreçlerini birden fazla evre ile yürütebilmekte ve farklı donanımlara uyumlu olabilmekte ve birçok farklı donanımdan veri alabilmektedir. Farklı şekillerde bilgi kümelerinden ve veri tabanlarından yardım alan bu sistemler bilgileri ve verileri kullanabilme yeteneğine sahiptir [5].

Bunun yanı sıra, akıllı sistemler kullanıcıları tanımakta, kullanıcı ile ilgili sahip olunan tanımlanmış verileri hafızasında saklayabilmekte ve en önemlisi verileri mevcut şartlara göre sürekli güncelleyebilmektedir. Gelişmiş donanım ve yazılım mimarilerini kullanan akıllı sistemlerin birçok yeteneğinin oluşu, aynı anda birden fazla iş ve işlemleri yapabilmesi ve insan hayatının kolaylaştırması onun gittikçe vazgeçilmez bir hal almasını sağlamıştır.

2.1. Bir Sistemi Akıllı Kılan Temel Özellikler

Bir sistemin akıllı kabul edilebilmesi için aşağıdaki özelliklerden hepsini ya da en azından bazılarını sağlayabilmesi gerekir. Özellikler aşağıda sıralanmıştır [6].

- Karar verme
- Algılama
- Öğrenme
- Problem çözme
- Muhakeme
- Şekil ya da resim tanıma
- Doğal dil anlama

Akıllı sistemlerin yukarıda sayılan özelliklere sahip olmasını sağlayan araçlar ise bilgisayar yazılımlarıdır. Akıllı sistemler için kullanılan en yaygın yöntem yapay zekâdır [6]. Akıllı sistemlerin uygulama alanları içinde; eğitim ve eğlence, ulaştırma, üretim, kalite ve stok kontrol, saha araştırmaları v.b. birçok uygulama sayılabilmektedir [6]. Donanım ve yazılım mimarisinin gelişime açık olması, standartlara uyumlu olması, birden fazla ve farklı donanımlarla uyumlu olması, güçlü bir iletişim kapasitesi ve bu sistemler üzerinde çalışan birçok bilgisayar programının oluşu akıllı sistemleri kabiliyetli ve hatta zamanla vazgeçilmez kılmaktadır.

Bahsedilen bu özelliklerin sistem içerisine entegre edilmesi ve tümleşik biçimde uyum içerisinde kullanılabilmesi sistem üzerine ilgi çekmeyi başarmıştır. Akıllı sistemlerde kullanılan donanımların kapasitesi yüksek, yetenekli ve gelişmelere ayak uydurabilecek niteliktedir. Bunun yanı sıra bu donanım bileşenleri uluslararası standartlara uygundur. Bu nedenle de akıllı sistemlerin veri giriş ve çıkış birimleri, diğer sistemlere uyumlu olması, hızlı ve kullanışlı olması kullanıcı beklentilerini karşılamaktadır. Buna benzer olarak var olan birçok akıllı sistem ve bu sistemlerin üzerinde yer alan işletim sistemleri ile uyumlu birçok program vardır ve kullanıcılar tarafından kullanılmaktadır [6].

Akıllı sistemleri bu uygulamada kullanılmasındaki amaç değişen problemlere bağlı olarak çözüm yeteneği geliştirmektir. Değişen madde ve miktara göre beton karışımının dayanımını önceden tahmin etme ve inşaat sektöründe zaman ve malzeme kaybı yaşamadan akıllı sistemleri kullanarak süreç hızlandırılmak istenmiştir. Geliştirilen akıllı sistemi birçok donanım mimarisine uyumlu yapmak ve birden fazla alanda ve yerde kullanılmasını sağlayarak geniş bir sahada kullanılmasını sağlama hedeflenmiştir [7].

2.2. Yapay Zeka

Makinelerin; birer insan gibi düşünebilen, karar veren, karşılaştırma yapan, analiz edebilen bir yapıya dönüştürülmesine yapay zekâ denir. Yapay zekâdaki amaç bilgisayarların problem çözerken bir insanın problem çözme mantığı ile hareket etmesini sağlamaktır. Makineler düşünebilir mi? sorunsalı ile başlamıştır. Bu sorunsalı ilk gündeme getiren kişi Alan Mathison Turing'dir [8]. Alan Mathison çok bilinen Turing testinin sahibi aynı zamanda 2. Dünya savaşında enigma şifresini kıran ünlü bilgisayar ve matematik bilimcisidir.

İnsan gibi düşünen, insan gibi hareket eden yapay zeka sistemlerinde önemli olan bilgi ve varolan bu bilgilerden bir sonuç üreterek bunun bir gerekçeye bağlamaktır. Bilgilerle ilgili bir sonuca varırken bilgiler birleştirilir, analiz edilir ve bazı çıkarımlar yapılır [9].

Birçok alt dalları olan yapay zekânın en sık kullanılan ve en çok kabul görmüş olan dalları aşağıdaki gibidir [7].

- Uzman Sistemler
- Yapay Sinir Ağları
- Genetik Algoritmalar
- Bulanık Mantık
- Endüktif Öğrenme
- Mantık Programlama

2.2.1. Uzman Sistemler

Bir konu hakkında uzmanlaşmış kişilerin bilgi ve deneyimlerini bilgisayar sistemlerine aktarılmasını sağlayan sistemlerdir. İnsan bilgilerinden yararlanılarak hazırlanan bu sistemde uzman olmayan kişilere problem çözmede yardımcı olurken aynı zamanda uzman kişiler için de birer bilgili yardımcı olurlar [10]. Bu yazılımların çalışma prensibi; varolan bilgilerin uygun veri tabanlarında saklanıp daha sonra bir problemle karşılaşıldığında bu veri tabanlarındaki bilgilerle bazı çıkarımlar yapıp sonuca ulaşmaktır [11].

Uzman sistemler genelde kullanıcı arayüzü, bilgi tabanı ve karar verme mekanizmalarından oluşmaktadır. Kullanıcı arayüzü aracılığıyla uzman sisteme bilgi girişi sağlanır. Bu bilgi sistemde varolan kurallara göre kontrol edilir, bir karar verilir ve sonuç kullanıcıya bildirilir. Veri tabanı oluşturulurken bilgi mühendisi ve uzman kişi koordineli bir şekilde çalışır. Uzman kişiden bilgileri alan bilgi mühendisi gerekli notları alır bilgileri belirli bir formata sokup bilgi tabanına yerleştirir [12]. Böylece uzman sistem oluşmuş olur.

Uzman sistemler birçok uygulamada kullanılma imkânı vardır. Fakat uzman sistemler sadece belirli bir alanda detaylı bilgiye sahiptirler. Farklı bir konu ile ilgili bir şey sorulduğunda o problemle ilgili yanıt üretemezler. Uzman sistemler en çok uzay ve havacılık, tıp askeri bilimler, ekonomi ve mühendislik alanlarında kullanılır. Uzman

sistemlerin üretim artışının hızlı olması, maliyet tasarrufu, süreklilik arz etmesi, kalite düzeyinin yüksek olması, güvenilir olması gibi avantajları olduğu gibi, dar bir alana yönelik olması, bazen uzman kişiden bilgi edinebilmenin zor olması ve aynı konu hakkında farklı uzmanların farklı bakış açılarının olması ve bazen maliyetinin yüksek ve geçen zamanın fazla olması gibi dezavantajları da vardır [9].

2.2.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları; insan beynini ve beynin çalışma mekanizmasını taklit eden yazılımlardır. Bu yazılımlar insan beyninin çıkarımda bulunma, hatırlama ve genelleme yaparak yeni bilgiler türetebilme gibi işlevlerini gerçekleştirmek üzere hazırlanırlar.

YSA olay örneklerine bakıp olay ile ilgili genelleme yapabilir. Olay hakkında bilgileri toplar ve daha önce hiç karşılaşmadığı bir problemde öğrendiği bilgileri kullanarak olay hakkında karar verebilir [13]. Karmaşık problemleri çözebilme imkânı sunan YSA günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. İnsan sinir sisteminden yola çıkarak hazırlanan yapay sinir ağları paralel çalışma ve eğitilebilme özelliklerine sahiptir. Birçok özelliği olan YSA'nın paralel çalışmasından dolayı bilgilerin hızlı bir şekilde işlenmesi ve donanımının kolayca yapılması gibi yetenekleri ile diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. YSA'nın; sınıflandırma, tahmin etme, regresyon, örüntü tanıma, kümeleme gibi uygulama alanları vardır [5].

YSA girdi, gizli ve çıktı tabakalarından oluşmaktadır. Girdi ve çıktı tabakasında çözülecek problemdeki giriş ve çıkış parametreleri kadar nöron bulunur [14]. Gizli tabakadaki nöron sayısını bulmak için belirli bir kural yoktur. Bu tabakadaki nöron sayısı deneme yanılma yöntemi kullanılarak belirlenir.

Biyolojik sinir sistemi; nöron, dentrit, hücre gövdesi, aksonlar ve sinapslardan oluşmaktadır. Yapay sinir ağlarında bu elemanlar sırasıyla işlemci eleman, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu, yapay nöron çıkışı ve ağırlıklar olarak adlandırılmaktadır. YSA'lar birçok işlem biriminden(nöron) oluşan matematiksel sistemlerdir [3]. Bir ağ içerisinde birbirine bağlanıp sinir ağlarını oluştururlar Bir işlem birimi, diğer işlem biriminden gelen sinyallerle işlem yapar bu sinyalleri alır, birleştirir gerekli dönüştürme ve düzenlemeleri yapar ve sayısal bir sonuç üretir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirlerine

farklı şekillerde bağlanmasıyla oluşur ve katmanlı bir yapısı vardır [13]. Beyine benzeyen ve bir beyin gibi davranan YSA bir eğitilme sürecinden sonra sistemdeki bilgileri toplar ve hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklayıp bir genelleme yapar. Öğrenme sürecinde istenilen hedefe göre ağırlıkların yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmaları içerir. Donanım olarak kullanılmak istendiğinde elektronik devrelerde kullanılırken yazılım olarak da bilgisayarlarda kullanılır. YSA'nın ileri beslemeli, geri beslemeli ve çok katmanlı gibi tipleri vardır. Probleme göre hangi tipin seçileceğine karar verilir [15].

2.2.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritma, evrimsel süreçten esinlenerek oluşturulmuş ve bu sürece benzer bir şekilde çalışan arama ve en doğru yolu bulma yöntemidir. Bütünsel olarak çalışan genetik algoritma karmaşık olan çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalma ilkesine göre en iyi çözümü arar. Genetik algoritmanın mantığı; genlerin nesilden nesile geçmesi sırasında iyi olan çözümlerin kalıp daha da iyileştirilmesi ve kötü olan çözümlerin elenmesine ve yok olmasına dayanır [16].

Genetik algoritmada soruna tek bir çözüm üretmek yerine birbirinden farklı olan birçok çözüm üretir. Bu çözümler kümelenip bir arada bulunur. Böyle birçok çözüm kümesinin üretilmesiyle evrensel kümede aynı anda birçok nokta analiz edilir ve sonuçta bütünsel çözüme ulaşılmaya çalışılır [17]. Çözüm kümesinde bulunan bütün çözümler birbirinden bağımsız bir vektördür.

Genetik algoritma bilgisayar ortamına aktarılırken evrimden yararlanır ve evrimi taklit eder. Çözüm için tek bir yapı geliştirilmeyip birçok çözüm kümesi olan genetik algoritmada bu çözüm kümelerine nüfus denilir. Nüfusların içerisinde vektör, kromozom ve bireyler vardır. Bireyler genlerden oluşmaktadır. Genetik algoritma işlemcileri kullanılarak nüfustaki bireyler belirlenir [5].

Nüfus içindeki her bir bireyin olası çözüm olup olmayacağına karar verebilmek için bir uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Kullanılan uygunluk fonksiyonu çözümün kalitesi hakkında bilgi verir. Uygunluk fonksiyonu kullanılarak eleme yapılır. Uygunluk fonksiyonu ile dönen değer düşükse bireyler elenir, yüksekse bu bireyler saklanır ve diğer

bireylerle aprazlanmalarına izin verilir. aprazlanan bu bireyler çocukları oluşturur. Uygunluęu yüksek olana bireylerin çaprazlanmasıyla oluşan bu çocuklar ebeveynlerinin birçok özeliğini taşıtmaktadırlar. Böylece iyi özellikler nüfus içerisinde yayılır ve aprazlamayla da birçok yeni özellik oluşmuş olur. Genetik bilimine benzer bir biçimde uygulanan çaprazlama ve mutasyonlar kromozomlara uygulanır ve yeni nesiller bu yöntemlerle elde edilir [18].

Olasılıksal işlem yapan genetik algoritma diğer en iyileme yöntemlerine göre daha başarılı sonuçlar üretmektedir. Genetik algoritma; görüntü ve ses tanıma, yol bulma, robot tasarlama, kontrol sistemlerinde aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

2.2.4. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, insan dilini kullanarak bir sistemin girdi- çıktı ilişkilerini açıklayan tahmini sebep tekniklerinden biridir [5]. Bulanık mantıkta yaklaşık düşünme kullanılır ve mantıksal olan tüm sistemler bulanık olarak ifade edilir [19]. Bulanık mantık, matematiksel model ile elde edilmesi çok zor olan sistemlerin kullanımı için oldukça elverişlidir. Bulanık mantıktan bir sonraki bölümde detaylı olarak bahsedilmiştir.

3. BULANIK MANTIK

3.1. Bulanık Mantığa Giriş

Günlük hayatta kullandığımız birçok ifade şeffaf olmayan bir yapıya sahiptir. Bir şey tanımlarken, bir olayı anlatırken, komut verirken, betimleme yaparken, bazen emir verirken ve birçok koşulda kullandığımız nitel ve nicel ifadeler bulanıklık içermektedir. Örneğin, suyun sıcaklığından bahsederken; sıcak, ılık, soğuk, çok sıcak ve çok soğuk gibi tabirler kullanırız. Kişinin boyuna göre ona; kısa, orta, uzun, normal, çok uzun, çok kısa denir. Bir arabayı kullanan kişi trafiğin yoğunluğuna, yolun rampa veya viraj durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına daha çok ya da daha az basar. Bu gibi durumlar insanların kesin olmayan durumlar karşısında olayları nasıl yorumladığına, nasıl tanımladığına ve nasıl yaşadığına dair örneklerdir [20].

İnsanların günlük hayatta edindikleri tecrübe ve öğrendikleri bilgileri bir yerlerde düzenli bir şekilde kullanmaları gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bunun nedeni ise günlük hayatta sözel ifadeler kullanmamızdır. Bilgiyi insanlara aktarırken sözel dilin bir kelimesi bile kişiler tarafından farklı farklı anlaşılmaktadır. Bu durum da aynı olayı birden fazla kişinin birden fazla şekilde yorumlamasını sağlamaktadır. Bu belirsizlik hem toplumsal hem de kişisel algıların birbirinden farklı olmasından kaynaklanabilmektedir. Kısaca sözel dil net değil, bulanıktır [19].

İnsan hayatında birçok konuda dilin tam anlaşılmayışı ve sözcüklerin genelde nitel olmasından dolayı belirsizlik vardır. Bilgisayarlar ve sistemler bu tarz belirsizlikleri işleyemezler ve çalışmalarında daha gerçekçi ve sayısal ifadelere ihtiyaç duyarlar. İnsanlar genelde yaklaşık düşünce sistemini kullanırken sistemler konu hakkında işlem yapmak isterler. Bu durumda sistemi günlük hayata uyarlamak zorlaşır.

Kesin olarak bilinmeyen durumlarda karmaşık, belirsiz ve eksik bilgiler ortaya çıkar bu bilgilere bulanık kaynaklar denilmektedir. Bulanık bilgilerin kullanıldığı bir sistemde matematiksel denklemler doğrudan çalıştırılmaz ve tam bir sonuç vermez. İncelenen sistem kesinliği ispatlanmış yöntemler yerine tamamlayıcı niteliğinde olan sözel bilgiler kullanılıp bu bilgiler modellenenir. Bu sözel bilgiler sayısal bilgilerle beraber kullanılarak bir sistemle formüleleştirilebilir. Bu şekilde bir kullanımla belirsizlik olduğu düşünülen

bulanık yaklaşımın kullanıldığı sistemlerde sistemin işleyişi tamamen belirgin ve net olmaktadır. Dünya hayatının çok karmaşık olması, kullanılan bilgilerin belirgin bir şekilde ifade edilmeyişi ve matematiksel denklemlere uyarlanamayışı bizi bulanık sistemleri kullanmayı zorunlu kılmıştır [21].

Bulanık yaklaşım hakkında ilk bilgiler, 1965 yılında Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'den Dr. Lotfi Zadeh tarafından ortaya çıkarılmıştır. Zadeh doğal dildeki belirsizliği ve karmaşıklığı modelleyebilmek ve çözümü zor, doğrusal olmayan denklemlerin çözümü için bu fikri ortaya koymuştur. Zadeh, bulanık mantık teorisinin bağımsız ve tam bir teori olmaktan çok, bulanıklaştırma yönteminin, herhangi bir teorisinin kesin formdan sürekli forma dönüştürülmek suretiyle genelleştirilmesi için kullanılan bir metodoloji olarak ele alınmasını önermiştir [22].

Bu fikir ilk çıktığı dönemlerde batıda tam olarak benimsenmemiş ve ciddi anlamda eleştirilmiştir. Fakat 1970 yılından sonra doğuda özellikle de Japonya gibi ülkelerin bulanık mantık ile ilgilenmesi yöntemin uygulanabilir olduğuna dair fikirler olabileceği gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Fakat bulanık mantığın tam anlamıyla yükselişi 1975 yılında Mamdani ve Asilian tarafından gerçek bir kontrol uygulamasının yapılmasıyla gerçekleşmiştir [23]. İlk kez bulanık mantığı bir sistemde kullanan bu araştırmacılar bir buhar kontrol makinesi modeli yapmışlardır. 1985 yılında Sugeno ve 1988 yılında Takagi, Sugeno ve Kank (TSK) modeli Sugeno ve Kank tarafından geliştirilmiştir. TSK modeli bulanık mantıktaki bazı soruları bir miktar ortadan kaldırmıştır [24]. Bu sistemde veri tabanında kullanılan verilerin birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması ile üretilen sonuçların da başlangıçta kullanılan verilerin birer fonksiyonu şeklinde olduğu ifade edilmiştir [25].

Zadeh gerçek dünya sorunlarının ne kadar fazla irdelenirse sorunun da bir o kadar bulanık hale geleceğini söylemiştir. Çünkü insan hayatında çok fazla bilgi kaynağı var ve insanlar bu kaynakların hepsini verimli bir şekilde anlamaz ve bunlardan net sonuçlar üretemez. Bilgi kaynakları nicel veriler gibi kesin olabildiği gibi sözel ve belirsiz durumları da kapsamaktadır. Nitekim insanlar, pratikte sözel dili kullanmaktadır. Çünkü insanlar sözel bir şekilde düşünmekte ve o şekilde yaşamaktadır. Her bir bireyin farklı bir

dünyası olduğu düşünüldüğünde bireylerin kullandığı ifadelerin de kesin olması beklenilmemelidir [25-27].

Zadeh bulanık mantığın özelliklerini aşağıdaki gibi belirtmiştir [28].

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.
- Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir.

Bulanık mantığın dünyanın birçok yerinde ve pek çok uygulamada kullanılmaya başlanması bulanık sistemin bir çimento fabrikasının işletilmesi ve kontrolünde kullanılmasıyla başlamıştır. Japon mühendisler bulanık mantığın; kolay, uygulanabilir ve sonuçlarının da etkili olduğunu fark etmeleriyle bulanık mantığı birçok uygulamada kullanmaya başlamışlardır. Özellikle bulanık sistemlerin elektrikli süpürgeler, fotoğraf makineleri, kameralar, trafik ışıkları, mikro devreler, çamaşır ve bulaşık makineleri, küçük ev aletleri ve asansörler gibi konularda kullanılması 1980 yılından sonra olmuştur [25].

Son yıllarda birçok mühendislik alanında yaygın bir şekilde bulanık mantık kullanılmaktadır. Farklı bilim ve teknoloji dergileri, konu ile ilgili makaleler incelendiğinde birçok mühendislik uygulamasında bulanık mantığın kullanıldığı görülmektedir. Bulanık mantık birçok çalışmaya konu olmuş ve bulanık sistem kontrolleri ve hesaplamaları giderek yaygınlaşmıştır. Hatta günümüze Japon ev hanımları bir alet aldıklarında bunun bulanık mantık ile yapıldığına dikkat eder olmuşlardır. Bu sistem onların da günlük hayatlarında yerini almıştır.

3.2. Bulanık Mantık Uygulamaları ve Kullanım Alanları

Bulanık mantık kullanılarak yapılan ilk uygulamayı Mamdani yapmıştır. Mamdani 1974 yılında bir buhar makinesinin denetimini bulanık mantık kullanarak hazırlamıştır [29]. Daha sonra ticari olarak ilk kez Hollanda şirketi 1980 yılında çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık uygulamıştır [30]. Kireç taşının yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girmesi, bu ısının çimento fırınlarında insan gücünü aşması ve bu yüksek sıcaklığın çimento verimini doğrudan etkilemesi bulanık mantığı bu alanda kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Yapılan uygulama ile ısı ayarı yapılarak istenilen ürün kalitesi sağlanabilmiştir.

Fuji elektrik şirketi 1983 yılında kimyasal püskürtme aletini su arıtma alanlarında daha verimli kullanabilmek için çalışmalar yapmıştır. 1984 yılında Omron şirketi denetimler ile ilgili 700'den fazla uygulama yapmıştır. 1987 de yapılan ikinci IFSE kongresinde ilk bulanık denetleyiciler tanıtılmıştır. Ayrıca 1987 yılında dünyanın en gelişmiş metrosu olan Japonya'daki Sendai Metrosunda bulanık mantık kullanılmıştır. Yaklaşık 14 km boyunca 16 istasyonda durmak zorunda olan tren, o kadar yumuşak duruş ve kalkış yapmaktadır ki çok az yolcu bir yerlere tutunmak istemiştir ve yolcular sarsıntıyı hemen hemen hiç fark etmemişlerdir. Bulanık mantığın kullanıldığı bu metro sisteminde amaç rahat bir yolculuk, düzgün bir yavaşlama ve düzgün bir hızlanmadır. Bu çok iyi bir şekilde sağlanmıştır.

Omron şirketi 1989 yılında Japonya'nın Harumi şehrindeki laboratuvarlarında yapmış olduğu bulanık sonuç-boardla yapılan depolama, tekrar etme ve bulanık sonuçlarını elde etmek için kullanılan (RISC) bilgisayara dayalı olan çalışmaları tanıtmıştır [28]. Sony 1993 yılında, The Palm Top sistemini tanıtmıştır. Panasonic markasının üreticisi olan Matsushita şirketi bulanık mantığı yaptığı teknolojik aletlerde kullanılmasıyla 91-92 yıllarında milyar dolarlar değerine ürün üretilip satmıştır.

Bulanık mantıkta öncü ülke Japonya'dır. Bulanık mantığı tanımaya başlayan Japonya 3 binden fazla bilim adamını bu alanda çalıştırmak üzere görevlendirmiştir. Bulanık mantık ile ilgilenen ve araştıran bilim adamları kısa sürede bulanık mantıkla çalışan ürünler üretmişlerdir [31]. Bulanık mantık kullanımını daha sonraki yıllarda Çin, Almanya, Fransa, Danimarka ve Rusya gibi ülkeler takip etmiştir [32].

Bulanık mantık kullanılarak yapılan fotokopi makineleri çok kaliteli kopyalar çıkarmaktadır. Bu işlemi yaparken odanın fiziksel koşulları (sıcaklık, nem vs.) ve kâğıttaki karakter yoğunluğunu dikkate almış ve çıktı kalitesi artırılmıştır.

Bulanık sistemle üretilen fotoğraf makinelerinin odaklaması daha iyi ve görüntü kalitesi çok daha yüksektir. Kameralarda sarsıntılardan dolayı oluşan görüntü bozuklukları minimum seviyeye indirilmiştir. Çekim işini üstelenen şey bir alet değil de bir insan olduğundan mutlaka burada bir titreme ve bir kayma olabilir. Görüntüdeki bütün şekillerde aynı anda aynı yöne doğru bir kayma meydana gelmişse sistem bunun insandan kaynaklanabileceğini tespit eder, bu kaymayı dikkate almaz ve normal bir çekim yapar.

Bulanık sistemle hazırlanan çamaşır makinelerinde, çamaşırın miktarına, cinsine, kirlilik oranına göre birçok yıkama ve su kullanımı programları yapılmıştır. Araba yakıt ve ateşleme sistemlerinde, insansız uçak kontrolünde, tren frenleme sistemlerinde, ABS (otomatik fren sistemi) ve ASC (otomatik vites kontrolü) kontrolünde bulanık mantık kullanılmıştır [30].

Sağlık alanında da etkili olan bulanık mantıkta birden fazla tıp veri tabanları kullanılarak hastaların hastalıklardan korunmaları, stresten uzak durmaları ve hastaların sağlıklı kalmaları için birçok kuraldan oluşan sistemler hazırlanmıştır.

Bahsedilen birkaç uygulama alanlarından da anlaşıldığı gibi bulanık mantık her geçen gün kendini daha çok geliştirmekte ve endüstride çok kullanılır hale gelmektedir. Gelecekteki uygulamalarda özellikle sağlık alanının şeker hastalığı için insülin miktarını ayarlayan sistemlerin yapılması, prematüre doğumlarda bebeğin hayatta kalabilmesi için uygun fiziksel koşulların sağlanması, kalp pili üretimi gibi durumlarda bulanık mantık kullanılarak daha verimli sistemlerin oluşturulabileceği öngörülebilir.

Bulanık mantık denetiminin uygulandığı birkaç endüstriyel uygulama aşağıda belirtilmiştir [28,30].

- Fujitec-Toshiba, Mitsubishi firmalarının yaptığı asansör denetiminde yolcu trafiği değerlendirilerek bekleme zamanı azaltılmıştır.
- Sanyo-Fisher, Canon, Minolta firmaları ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi fokusu ve aydınlatmayı belirleyen SLR Fotoğraf Makinesi yapmıştır.

- Panasonic firması cihazın elle tutulması nedeniyle çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldıran video kayıt cihazı yapmıştır.
- Matsushita firması çamaşır kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezen ve ona göre bir yıkama programı seçen bir çamaşır makinesi üretmiştir.
- Matsushita firması yerin durumunu ve kirliliğini sezen ve motor gücüne uygun ayarlayan elektrik süpürgesi üretmiştir.
- Matsushita firması ısıtma işleminde kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre sistemi ayarlayan su ısıtıcısı üretmiştir.
- Mitsubishi firması ortam koşullarını değerlendirerek en iyi çalışma durumunu algılayan, odaya birisi girdiğinde soğutmayı arttıran bir klima üretmiştir.
- Nissan firması tekerleklerin kilitlenmeden fren yapmasını sağlayan bir ABS fren sistemi yapmıştır.
- Nippon Steel firması geleneksel denetleyicilerin yerini alacak sistemler tasarlayarak çelik Endüstrisine katkıda bulunmuştur.
- Hitachi firması hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlanmasının yanı sıra durma konumunu iyi bir şekilde ayarlayan, güçten tasarruf sağlayan bir metro sistemi yapmıştır.
- Mitsubishi, Chem firmaları değirmende ısı oksijen oranı denetimi yaparak çimento sanayisine katkıda bulunmuştur.
- Sony firması ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlayan televizyon yapmıştır.
- Sony firması el yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanıyan bir el bilgisayarı üretmiştir.
- Yamaichi, Hitachi firmaları stok kontrol değerlendirmesi için bir uzman sistem tasarlamıştır.
- Tokio Electric firması hidroelektrik güç üniteleri için kullanılan baraj kapılarının otomatik kontrolünü sağlayan bir sistem tasarlamıştır.
- CSK, Hitachi, Hosai Univ., Ricoh firmaları el yazısı ve ses tanımlayan sistemler üretmiştir.
- (Kawasaki Medical School) da kanser teşhisi yapan sistemler üreterek ilaç teknolojisine katkıda bulunmuştur.

Bulanık mantığın yukarıda bahsedilen birçok alanda aktif bir şekilde kullanılması bulanık mantığın birçok konuya öncülük edebileceğini ve insan hayal gücünün zorlandığı yerlerde insan yardımına koşacak yenilikleri beraberinde getirebileceği söylenebilir [32].

3.3. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Bulanık kümeler, normal hayatta kullanılan dilsel ifadelerin bilgisayara aktarılmış halidir. Bulanık mantığın avantajları aşağıdaki gibidir.

- İnsan yaşamına, düşünce sistemine ve tarzına uygundur.
- Uygularken mutlaka bir matematiksel yöntem kullanılmak zorunda değildir.
- Basit yazılımlardan oluşan bulanık mantık diğer sistemlere göre daha ekonomiktir.
- Kolay anlaşılır, zor işlemler gerektirmez.
- Kullanılan üyelik değerleri sayesinde daha esnek bir yapıya sahiptir.
- Kesin olmayan bilgilerde kullanılma imkânı sunar.
- Doğrusal olmayan fonksiyonların kullanılmasını sağlar.
- Sadece uzman kişiden yardım alarak çok kolay bir şekilde sistem tasarlanabilir.
- Matematiksel ve geleneksel kontrol tekniklerine uygundur [33,34].

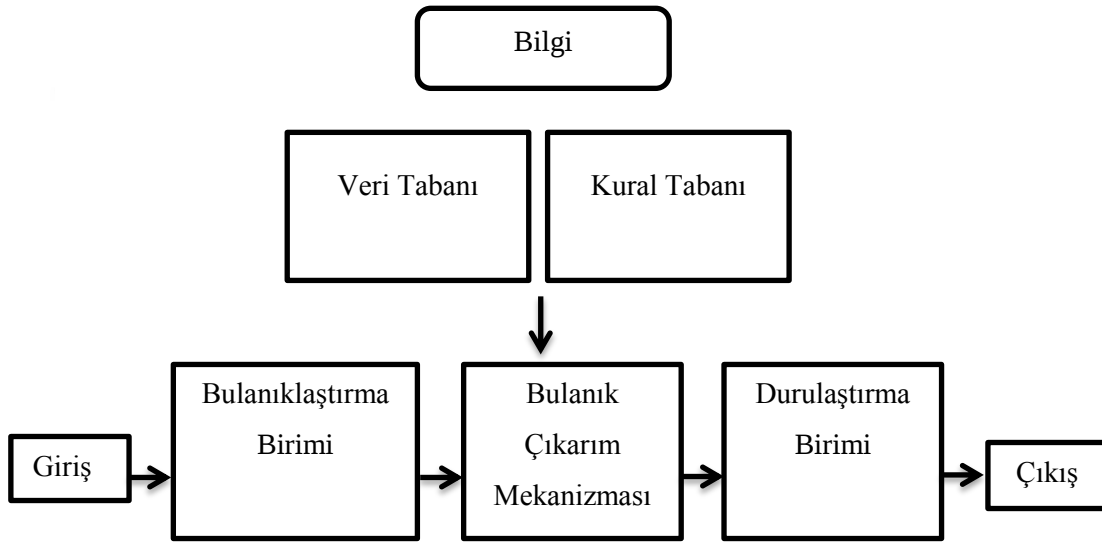
Bulanıklık kelime anlamıyla belirsizlik olarak algılansa da tam tersine bulanık mantık belirsiz kelimelerle yapılan belirsiz işlemler değildir. Buradaki belirsizlik kavramı sistemin esnek olmasıyla ve değişken belirlerken daha kapsamlı bir kümeye sahip olmasıyla ilgilidir. Bu esneklik rastgele ve belirsiz değildir [35].

Bulanık mantığın birçok yararı olduğu gibi bazı dezavantajları da vardır. Bulanık mantığın dezavantajları aşağıdaki gibidir [36].

- Bulanık mantıkta çok fazla tecrübeye dayalı kural oluşturulur.
- Üyelik fonksiyonu seçerken belirgin bir yöntem yoktur. Bu da uygun üyelik fonksiyonunu bulmak için birden çok deneme yanılma yapılması gerektiğini gösterir. Bu durum zaman kaybına neden olabilir.
- Sistemin üreteceği sonuçlar önceden saptanamayacağı gibi sistemin kararlılık analizi de yapılamaz. Ancak benzetim çalışması yapılabilir.

3.4. Bulanık Sistem Yapısı

Bulanık mantık kullanan bir sistem; giriş, veri tabanı, kural tabanı, bulanıklaştırma birimi, bulanık çıkarım mekanizması, durulaştırma birimi ve çıkış bölümlerinden oluşmaktadır [37]. Bulanık mantık sisteminin temelinde TSK bulanık sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemde veri tabanına gelen bilgiler birer sayı olurken bulanık kuralların oluşturulması ve çıkarım motorunun çalışması ile elde edilen veriler de girdilerin bir fonksiyonu şeklinde olan çıktılardır. Bu sistemin elemanları Şekil 3.1’de şematize edilmiştir.



Şekil 3.1. Genel bir bulanık mantık sistemi

Giriş/Veri Tabanı: Çözülmesi istenen problemle alakalı bütün bilgileri ve sistemde kullanılan bütün giriş değişkenlerini içeren bir birimdir. Bu birim birçok sayısal ve sözel ifade içermektedir. Sistemin sıkıntısız çalışması için bu birimdeki verilerin doğru olması ve bu birimin düzgün bir şekilde çalışması gerekmektedir.

Bulanıklaştırma Birimi: Üyelik fonksiyonlarının aktif bir şekilde kullanıldığı bu birim Giriş/Veri Tabanı bölümünden gelen verilerle işlem yapar. Bu birime veriler ham bir şekilde gelir. Buraya gelen verilerin sistemin kullanabileceği bir formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Her girdi bir veya daha fazla üyelik fonksiyonuna dönüştürülür yani bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırma birimi sayesinde çıkarım mekanizmasında kullanılacak veriler hazır hale getirilir. Gelen verileri bulanıklaştırmak için birçok üyelik fonksiyonu

kullanılabilir. Fakat pratik uygulamalarda Üçgen, Gauss ve Yamuk üyelik fonksiyonları tercih edilmektedir [38].

Bulanık Kural Tabanı: Kuralların oluşturulduğu bu birim Bulanıklaştırma bölümünden gelen verilerle işlem yapar. Bu birim çok sayıda kural tanımlanarak oluşturulmaktadır. Bulanık kural tabanı ile girdi ve çıktılar arasındaki ilişkilere dayanarak tüm olasılıkları kapsayan kural tabanı oluşturulur. Bütün kurallar “Eğer şartlar doğru ise eylemi yap” (if-then) formatında temsil edilir. Eğer ise formatını kullanan bulanık sisteminde matematiksel veriler yerine belirsizlik ve doğrusal olmayan ifadeler kullanılmaktadır [21]. Sistemin kompleks olup olmamasına göre kural sayısı artıp azalabilir yani karmaşıklıkla kural sayısı doğru orantılıdır. Her bir kural bir ya da birden fazla giriş ve çıkış verisiyle bağlanmış olabilir. Mamdani ve Sugeno tipi kurallar çok fazla kullanılmaktadır[39].

Bulanık Çıkarım Mekanizması: Bulanık kural tabanında bulunan birden çok kuralın birbirleriyle olan ilişkilerini düzenleyen, yönetimini sağlayan, çıkarım işlemini yapan birimdir. Sonuç için kurallar bütünüyle işlem yaparak en uygun çıkışı bulmaya çalışır. Temel olarak iki tür sonuç çıkarma operatörü vardır bunlar; azaltma (min) ve sonuç (prod) operatörleridir [38,39]. Jantzen, genellikle her iki yönteminde iyi çalıştığını belirtmektedir [39].

Durulaştırma Birimi: Girişteki probleme bağlı olarak bulanık çıkış değerlerinin (0 ve 1 aralığındaki değerler) dönüştürüldüğü yani sayısallaştırıldığı birimdir. Ağırlıkların ortalaması, ağırlıkların toplamı, ağırlık merkezi gibi yöntemler durulaştırmada kullanılabilmektedir [21]. Durulaştırma işlemi yapılarak bulunan sonucun hedeflenen sonuca uygun olması beklenir.

Çıkış: Çıkarım mekanizmasındaki veriler durulaştırılarak bu birime aktarılır. Bu birim sistemdeki son aşamadır ve bu birimle bulanık mantık kullanılarak sistemin soruna getirdiği çözüm veya çözümler öğrenilir.

3.5. Bulanık ve Klasik Kümeler

Klasik (bulanık olmayan, kesin) kümelerde bir eleman o kümeye ya aittir ya da değildir. Yani, bir elemanın üyeliği kesindir – ya *evet* (kümenin elmanı) ya da *hayır*dır (kümenin

elmanı değil). Yani küme sınırları keskin çizgilerle belirtilmiş iki seçenekli bir mantığa dayanmaktadır. Bulanık kümelerinin temel mantığı ise oldukça basittir. Bulanık kümenin sınırları daha esnektir ve iki seçenek den ziyade birçok seçeneğin kullanıldığı çok değerli kümelerden oluşmaktadır. Bulanık küme farklı üyelik derecesinde elemanları olan bir kümedir. Klasik küme ye göre bir durum ya beyazdır, ya da siyahtır. Fakat bulanık kümeler aralarda gri tonların da olabileceğinden söz etmektedir.

Örnek olarak birçok şeftaliden oluşan bir küme düşünelim. Bu şeftalilerin hepsi şeftaliler kümesinin elemanıdır. Bir tane şeftali alıp yenildiğinde bu şeftali artık, şeftaliler kümesinin bir elemanı mıdır, yoksa değil midir? Birer ısırık daha alındığında şeftali, şeftali olma özelliğinden ne kaybeder? Şeftali olma ile şeftali olmama arasındaki sınır neresidir? Yenilen şeftali hala kümenin elemanı mıdır? İşte tam olarak üye ya da üye değil denilemeyeceği bu gibi durumlarda kısmi üyelik ve bulanık kümeler devreye girmektedir [40].

Benzer durumlarda mühendis oluşturacağı sistem için gerekli, sayısal ve sözel verileri toplayarak çözüm için en uygun yöntemi bulmaya çalışır. Sözel bilgileri kullanmakta son derece başarılı olan bulanık mantık mühendisin işini kolaylaştırır. Örneğin bir aşçının öğrencilerine bir kurabiyenin pişirilmesi ile ilgili detayları anlatırken kullandığı “180 derecede kurabiyeyi 15 dk pişir” cümlesi nicel ve kesin bir bilgidir. Fakat “kurabiyenin üstü hafif pembeleşinceye kadar pişir” cümlesi bir belirsizlik içermektedir. Ne kadar pembe, kaç dakika gibi sayısal herhangi bir veri yoktur. Sözel bilgi de kişiden kişiye göre değişeceğine göre burada bir karışıklık olması muhtemeldir. İşte bu gibi durumlarda kullanılması gereken en uygun yöntem bulanık mantıktır. Bu sözel bilgiler bulanık kümeler yardımıyla sisteme tanıtılarak sistem tasarlanabilir [32].

Bulanık ve klasik kümeler arasındaki farklar.

- Klasik kümede her bir eleman ya 0'dır ya da 1'dir fakat bulanık kümede elemanlara $[0, 1]$ aralığında bir üyelik derecesi atanır.
- Klasik kümelerin her zaman bir üyelik fonksiyonu varken bulanık kümelerin sonsuz sayıda üyelik fonksiyonu olabilir.
- Klasik kümelerde bir kümeden başka bir kümeye geçiş keskin ve anidir. Fakat bulanık kümelerde geçişler yumuşak, esnek ve süreklidir.

- Klasik kümede bir kümeye dahil olabilmek için mutlaka 1, olmamak içinse 0 'a eşit olması gerekir. Bulanık küme de ise üyelerin farklı dereceleri farklı kümelere ait olabilir. 0'a yakın değerler düşük düzeyde küme elemanı olurken 1' e yakın elemanlar yüksek düzeyde kümeye aittir.

Üyelik dereceleri tanımlanan her bir bulanık değerın aşağıdaki üç özelliği taşıması gerekmektedir.

1. Bulanık küme normal olmalıdır. Yani mutlaka kümede üyelik derecesi 1 'e eşit olan bir eleman olmalıdır.
2. Bulanık küme monoton olmalıdır. Yani üyelik derecesi 1 olan elamanın sağ ve sol tarafındaki elemanlarında 1 e yakın olmasıdır.
3. Bulanık küme simetrik olmalıdır. Yani üyelik derecesi 1 olan elamandan eşit mesafede sağa ve sola gidildiğinde burada bulunan elemanların eşit üyelik derecesine sahip olmasıdır.

Bulanık kümeler yukarıdaki ilk iki şartı mutlaka sağlamalıdır. Üçüncü özelliği sağlamasa da sorun olmaz. Yani bir bulanık küme mutlaka normal ve monoton olmak zorundayken simetrik olmak zorunda değildir [41].

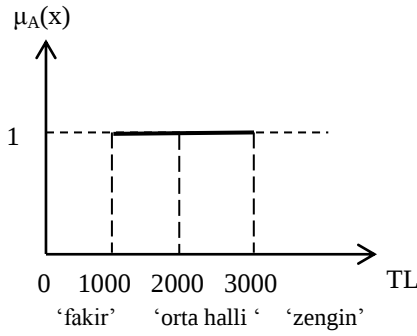
3.5.1. Bulanık Kümeler

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 ; x \in A \\ 0 ; x \notin A \end{cases} \quad \mu_A(x) = E \longrightarrow [0,1]$$

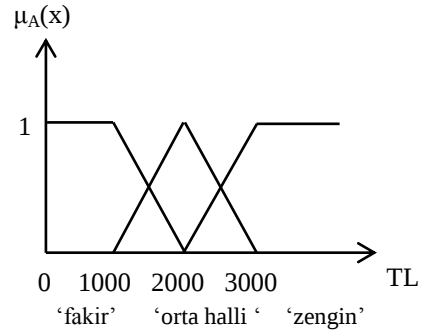
Klasik küme karakteristik fonksiyonu

Bulanık küme üyelik fonksiyonu

Örneğin herhangi bir ülkede yaşayan kişilerin ekonomik durumunu ifade ederken 'fakir', 'orta halli' ve 'zengin' gibi üç adet alt küme kullanılabilir. Klasik mantığa göre bir insan ya fakirdir ya da değildir. Zadeh'in yaklaşımına göre ekonomik durumun dereceleri olabilir, orta halli diye bir seçenek daha ekler. Böylece kümeler arasında keskin ve tutarsız bir fark olması engellenir.



(a)



(b)

Şekil 3.2. Kişilerin ekonomik durumlarını gösteren alt kümeler a)Klasik ve b)Bulanık

Bulanık kümede, küme elemanları üyelik derecesi değeri ile matematiksel olarak tanımlanır [42].

Bir bulanık küme aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$A = \left\{ \frac{u}{\mu_A(u)} \mid u \in U \right\} \quad (3.1)$$

Burada A bir bulanık küme, U ise A kümesini tanımlandığı evren, $\mu_A(u)$ ise küme elemanının o kümeye hangi üyelik derecesi ile ait olduğunu gösterir [43]. Üyelik değeri sıfır ile bir arasında bir değerdir [44].

3.5.1.1. Bulanık Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonları kümedeki sınırları belirleyerek doğrudan sonucu etkileyen faktörlerdir. Sisteme uygun bir üyelik fonksiyonu seçimi ile bulanık sistemin karar vermedeki doğruluk oranı artacaktır. Üyelik fonksiyonları [0,1] aralığında hangi değerlerin kullanılacağına karar verir. Üyelik fonksiyonlarında dilsel değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlama noktaları düzenler. Üyelik fonksiyonu grafiğinde x eksenini o kümedeki elemanları gösterirken y eksenini o kümedeki üyelik derecelerini gösterir.

Birçok şekilde üyelik fonksiyonu tanımlanabilir. Üyelik fonksiyonunu belirlerken konu ile ilgili yapılan çalışmalar ve uzman görüşleri dikkate alınır. Bazı durumlarda tek üyelik fonksiyonu kullanılırken bazen de birden fazla üyelik fonksiyonu bir arada kullanılabilir.

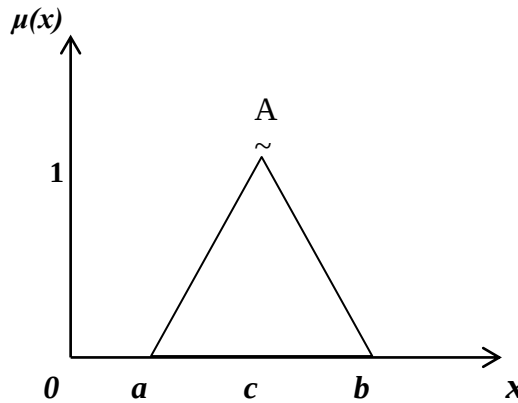
İstenilen sonuca göre şekillenen üyelik fonksiyonu seçimi bulanık mantığın esnek bir yapıya sahip olduğunu gösterir.

Sistem girdilerinin düzenlenip çıktıların belirlendiği çoğu durumda üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu fonksiyonların uygulanabilirliği kolay ve açıklayıcıdır. Çünkü düzenli bir artış ve azalış söz konusudur. Diğer sinüzal eğriler genelde lineer değildir ve sinyalle dayalı durumlarda gerçekleşir [45]. Çözüm kümesine bakılarak da yeni bir üyelik fonksiyonu oluşturulabilir. Burada doğru sonuç alabilmek için girdi ve çıktıların sürekliliği sağlanmalıdır. Üyelik fonksiyonların girdi ve çıktılar kullanılarak seçimi için sezgi, yatay metot, dikey metot, ikili karşılaştırma gibi yöntemler kullanılmaktadır [46].

Çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmaktadır ve bütün üyelik fonksiyonları, sürekli, normal ve konvektir ancak uygulamalarda genellikle üçgen, yamuk ve gauss üyelik fonksiyonları kullanılır. Aşağıda da bu üç üyelik fonksiyonundan bahsedilmiştir.

Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Maksimum ve minimum değerler arasında doğrusal artış ve doğrusal azalışın söz konusu olduğu durumlarda üçgen üyelik fonksiyonu kullanılır. Bulanık sistem tasarımlarında üyelik fonksiyonu seçilirken en çok kullanılan yöntem üçgendir [47]. Yine de kullanılan sisteme göre diğer üyelik fonksiyonları da tercih edilmektedir. Üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 3.3'deki gibidir.



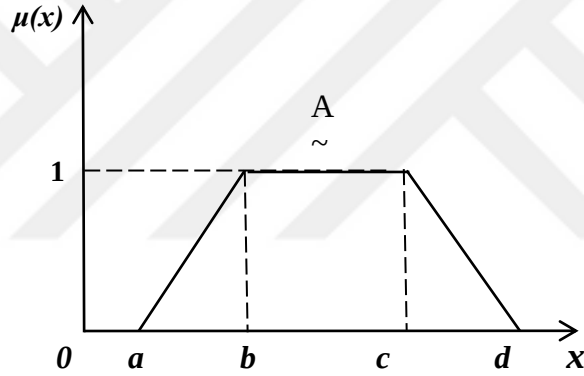
Şekil 3.3. Üçgen üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonlarının matematiksel formülü aşağıdaki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \alpha \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & a \leq x \leq c \\ \alpha \left(\frac{b-x}{b-c} \right) & c \leq x \leq b \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.2)$$

Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Mutlak 1 olma aralığının daha geniş olduğu problemlerde yamuk üyelik fonksiyonu kullanılır [47]. Yamuk Üyelik Fonksiyonunun yapısı Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



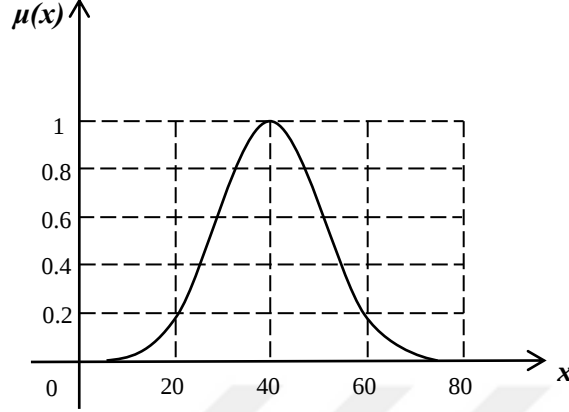
Şekil 3.4. Yamuk üyelik fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonlarının matematiksel formülü aşağıdaki gibidir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \alpha \left(\frac{x-a}{b-a} \right) & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \alpha \left(\frac{d-x}{d-c} \right) & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (3.3)$$

Gauss Üyelik Fonksiyonu

Gauss üyelik fonksiyonunun yapısı Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Gauss üyelik fonksiyonu

$$\mu_x(x, m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.4)$$

Denklemdaki m fonksiyonun merkezinin ifade ederken σ fonksiyonun genişliğini ifade etmektedir. σ artması fonksiyonu basık ve geniş gösterir. Fonksiyonun genişliği çözülmek istenen probleme göre ayarlanır ve belirli bir standardı yoktur [47].

3.5.1.2. Bulanık Küme Özellikleri

Bulanık kümelerin özellikleri aşağıda gösterilmiştir [48].

1) Değişme Özelliği:

$$A \cup B = B \cup A; A \cap B = B \cap A$$

2) Birleşme Özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C; A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$$

3) Dağılma Özelliği:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C); A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

4) Tek Kuvvet Özelliği:

$$A \cup A = A; A \cap A = A$$

5) Evrensel Küme ve Boş Küme Özellikleri:

$$A \cup E = E; A \cap E = A; A \cup \emptyset = A; A \cap \emptyset = \emptyset$$

6) Geçişme Özelliği:

$$A \subseteq B \text{ ve } B \subseteq C \Rightarrow A \subseteq C$$

7) Tümleme Özelliği:

$$\overline{\overline{A}} = A$$

8) Çelişmezlik ve Üçüncünün olmazlığı İlkesi:

$$A \cap \bar{A} = \emptyset; A \cup \bar{A} = E$$

9) De Morgan Kuralı:

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}; \overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

3.5.1.3. Bulanık Kümelerde Temel İşlemler

Boş olmayan bir U evreninde A ve B bulanık kümeleri tanımlanmış olsun. $(u) A \mu A$ 'nın ve $(u) B \mu B$ 'nin üyelik fonksiyonları olduğu kabul edilerek bulanık Kümeler üzerinde temel işlemler aşağıda verilmiştir [48].

1) Bulanık Kümenin Tümleni:

A bulanık kümesinin standart değılleme işleminin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \text{ şeklinde tanımlanır ve } \bar{A} \text{ şeklinde gösterilir.}$$

2) İki Bulanık Kümenin Birleşimi:

A ve B gibi iki bulanık alt kümenin standart birleşim işleminin üyelik fonksiyonu,

$U = A \cup B \Rightarrow \mu_u(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$ şeklinde olacaktır.

3) İki Bulanık Kümenin Kesişimi A ve B gibi iki bulanık alt kümenin standart kesişim işleminin üyelik fonksiyonu,

$I = A \cap B \Rightarrow \mu_I(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$ şeklinde olacaktır.

3.6. Bulanık Kural Tabanı

Bulanık mantığın temelinde sözel ifadeler yer almaktadır. Sözel ifadeler kullanılarak düşünülenler açıklanabilir ve bir olay hakkında yorum yapılabilir. Bulanık mantıkta kullanılan sözel ifadelere sözel değişkenler denir. Bu tip değişkenlerden yapılan çıkarıma usavurma denir [49].

Eğer-İse kalıbı kullanılan kural tabanı iki kısımdan oluşur. Eğer kısmı kelimeler arasındaki ön şartlardan oluşur ve sistem girdileri arasındaki bulanık ilişkileri içerir. İse kısmı sonuç yani çıkarım kısmıdır. Girdiler arasındaki ilişkilere dayanarak bir çıkarsama yapılır. Eğer-İse formatına bir örnek; “EĞER gök gürüyor İSE birazdan yağmur başlar”.

Kural tabanındaki ön şartlar ve sonuçlara ekstra bir durum eklenmek isteniyorsa bağlaçlar kullanılır. Bu bağlaçlardan ilki VE bağlacıdır. Örneğin; “EĞER ateşin varsa VE boğazın ağrıyor İSE bademcik enfeksiyonu geçiriyorsun”. İkinci bağlaç VEYA’dır. Örneğin boğazın ağrıyor İSE dondurma yemiştir VEYA soğuk su içmiştir.

Bulanık yaklaşımla birçok kural elde edebilmek ve iyi bir yöntem geliştirmek için belirli bir koşul yoktur. Fakat aşağıda belirtildiği gibi bir yöntem tasarlanmıştır. Öncelikle sistemde kullanılan girdi ve çıktılar üyelik fonksiyonları kullanılarak alt kümeler ayrılır. m bulanık alt küme sayısını ve n girdi değişkenlerini gösterirse m^n adet bulanık kural sayısı oluşmaktadır [21].

Böyle bir durumda, denilebilir ki X_1 ve X_2 girdileri ile m alt kümesinin her biri kural tabanında bir Y_k çıktı formuna götürmektedir ($k=1,2,\dots,m^2$). Eğer burada X_1 “uzun” ve “kısa” alt kümeler olarak ve X_2 “şişman” ve “zayıf” alt kümeler olarak iki değişkenli girdi ise, o zaman sonuç olarak burada aşağıdaki gibi dört kural olacaktır.

Kural1: Eğer X_1 “uzun” ve X_2 “şişman” ise Y_1 ,

Kural2: Eğer X_1 “uzun” ve X_2 “zayıf” ise Y_2 ,

Kural3: Eğer X_1 “kısa” ve X_2 “şişman” ise Y_3 ,

Kural4: Eğer X_1 “kısa” ve X_2 “zayıf” ise Y_4 .

Dikkat edilirse oluşturulan kurallar matematiksel bir kuraldan ziyade insan düşüncesine benzemektedir. Bundan dolayı bulanık mantık uzman bir kişinin davranışını modellemeye çalışır. İnsan düşüncesinin modellenmesinde yukarıdaki gibi bulanık alt kümelerle girdi verileri ilk önce belirlenir ve sonra Denklem (3.5)’e benzer şekilde bulanık kurallarla hesaplama gerçekleştirilir [50]. Bu şekilde harekete geçirilen her kural için üyelik dereceleri hem X_1 hem de X_2 için hesaplanmakta ve bunlar Y_k çıktısına karşılık gelen W_k ağırlığının belirlenmesiyle üretilmektedir. Bu yüzden dört kuralın ağırlıklarının ortalaması, Denklem(3.5)’deki matematiksel formüle benzer şekilde bir basit çıktı üretmektedir[51,52].

$$Y = \frac{\sum_{k=1}^4 W_k Y_k}{\sum_{k=1}^4 W_k} \quad (3.5)$$

Böylece Denklem(3.5) kullanılarak kural tabanında, çıktı değerleri girdi değişkenlerinin bulanık alt kümelerinin her bir kombinasyonu içinden hesaplanabilir. Bulanık kural tabanı hakkında karar verecek olan kimse, bulanık sonuç çıkarma işlemiyle gerekli kural tabanını elde etmek ve örnek verileri kullanarak gerekli işlemleri gerçekleştirir.

3.7. Sonuç Çıkarma Sistemi

Bulanık kümelerin kullanılmasıyla kullanıcıya kesinlik içermeyen verilerle ilgilenme fırsatı verilir. Bir grup bulanık kurala dayanan sistem çıktıların, girdi değişkenleri kullanılarak oluşturulması ve belirli işlemlerden geçirilmesine bulanık sonuç çıkarma sistemi denir. Sistem bulanık kurallardan oluşmaktadır [50]. Bulanık sonuç çıkarma sistemi kullanılarak sözel bulanık kurallar yardımıyla doğrusal olmayan davranışlar taklit edilebilir [53].

Eğer-İse yapısını kullanılarak oluşturulan kurallarda insan hayatındaki kavramlar ve kelimeler nicel değil de nitel olarak modellenenebilir [54]. Birçok bulanık sonuç çıkarma yöntemi vardır: Örneğin Mamdani (1975), Takagi and Sugeno (1985) gerçekleştirdiği çalışmalar bunlara örnek olarak verilebilir.

3.7.1. Mamdani Bulanık Sonuç Çıkarma Yöntemi

Mamdani bulanık modeli, kolay hazırlanabilen, insan davranışları ve hayatı için oldukça elverişli olan bulanık modelleme tipidir. Bundan dolayı yaygın olarak kullanılır ve diğer bulanık modellerin temellerini oluşturur. İlk defa bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen nitel ifadeler kullanılarak motor kontrolünde kullanılmıştır [23]. Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir [55].

Mamdani tipi bulanık model aşağıdaki gibi 5 adımdan oluşmaktadır;

1. Giriş parametrelerinin bulanıklaştırılması bölümünde kılavuz bölümündeki tüm bulanık ifadeler kullanılarak giriş parametrelerine ait 0 ile 1 aralığında değişen üyelik dereceleri belirlenir.
2. Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıkları belirlenir.
3. Bulanık kümeye mantıksal işlemciler (ve, veya) uygulanır.
4. Sonuçların toplanması bölümünde her bir kuralın çıktısını ifade eden bulanık kümeler birleştirilir.
5. Durulaştırma bölümünde tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçları durulaştırılır.

3.7.2. Takagi – Sugeno Bulanık Modelleme

Takagi – Sugeno bulanık mantık ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Sugeno bulanık mantığın temelinde Mamdani bulanık mantık vardır yani bu yöntem Mamdani yönteminin bir uyarlamasıdır. Giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynı olmasına rağmen çıkış üyelik fonksiyonları birbirinden farklıdır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıkış üyelik fonksiyonları sadece doğrusal ya da sabit olabilir. Çıkış üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman, sıfırıncı derece, 1. derece doğru denklemi şeklinde olduğu zaman ise birinci derece

Sugeno bulanık model olarak adlandırılırlar. Böylece Sugeno tipi bulanık model, Mamdani tipi bulanık modelden daha kompleks ve gösterim açısından daha kullanışlıdır. Bu nedenle Sugeno tipi bulanık model birçok tekniğe uyarlanabilir ve birçok teknikle beraber kullanılabilir.

Sugeno tipi bulanık modelin avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Hesaplama işlemleri yapmak için çok elverişlidir.
- Doğrusal olmayan sistemlerin kontrol edilmesi için lineer teknikler kullanılabilir.
- Optimizasyon ve uyarlanabilir (adaptive) tekniklerle birlikte iyi çalışır ve çıktı parametrelerini optimize ederek sonuçları iyileştirir.
- Çıktı uzayında sürekliliği garantiler.
- Matematiksel işlemlerin çözümü için uygundur.

Sugeno tipi bulanık modelin dezavantajları aşağıda belirtilmiştir.

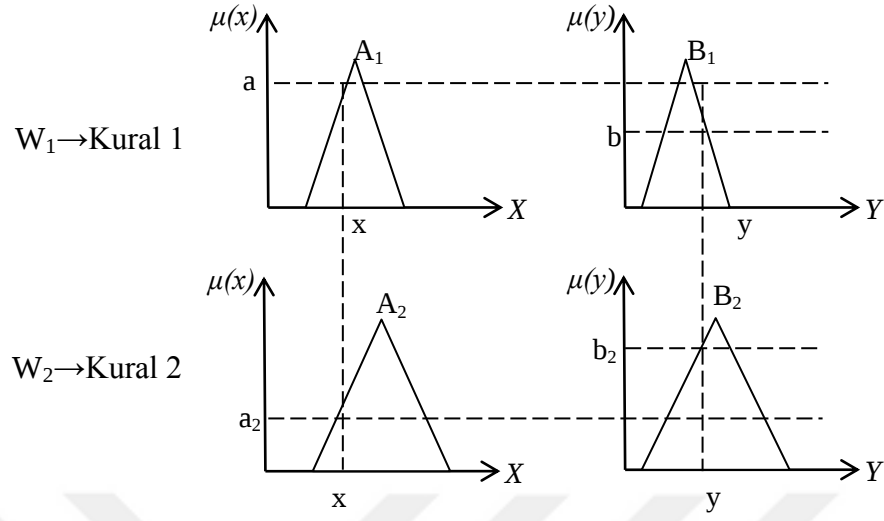
- Sugeno bulanık modelleme çok fazla kullanıldığı takdirde sistem oldukça kompleks bir yapıya sahip olur.
- Giriş ve bununla ilgili alt küme sayılarının artması halinde sahip olunan bilgilerin işlenmesi zorlaşır, sonuçların elde edilmesi için belirlenmesi gereken soncul parametrelerin sayısı artar.

Birinci dereceden bir denkleme sahip olan Sugeno bulanık model aşağıda gösterilmiştir.

Kural₁: Eğer $x \in A_1$ ve $y \in B_1$ ise $z_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

Kural₂: Eğer $x \in A_2$ ve $y \in B_2$ ise $z_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$

Burada A ve B, x ve y üyelik fonksiyonları için tanımlanmıştır. A ve B öncül kısımdaki bulanık kümeleri ifade eder. p, q ve r ise soncul parametrelerdir. z_1 ve z_2 ise lineer denklemlerin yerine geçen sabitlerdir. Böylece her bir kuralın bir çıktısı vardır. Bulanık kümenin mantıksal işlemleri standart olarak kullanılan basit toplama ve çarpma işlemleridir. Takagi Sugeno bulanık modelleme yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sugeno tipi sonuç çıkarma yöntemi

En küçük $\rightarrow \min(a_i, b_i)$ veya Sonuç $\rightarrow (a_i, x b_i)$

$$\left. \begin{array}{l} W_1 \rightarrow z_1 = p_1 x + q_1 y + r_1 \\ W_2 \rightarrow z_2 = p_2 x + q_2 y + r_2 \end{array} \right\} z = \frac{w_1 z_1 + w_2 z_2}{w_1 + w_2} \quad (3.6)$$

4. BETON TEKNOLOJİSİNDE BULANIK MANTIK VE SİSTEM PARAMETRELERİ

4.1. Beton Teknolojisinde Bulanık Mantık Kullanımı

Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan yapı malzemesi betondur. Çok eski zamanlarda yapı malzemesi olarak taş, seramik, ahşap vs. gibi araçlar kullanılmıştır. Betonun çok daha etkili ve kullanılabilir olmasından dolayı çok eski zamanlardan beri yaygın bir şekilde beton, birçok alanda diğer yapı malzemelerine kıyasla daha fazla kullanılır olmuştur. Beton; su, çimento, agrega, çelik lif, bazı mineraller ve katkı maddelerinden oluşan; ilk karıldığında akışkan olan bir maddedir ve konulduğu kalıbın şeklini alır [21]. Daha sonra hava ile temasıyla sertleşen beton iyi bir dayanıma ve güce sahip olmaktadır. Sertleştikten sonra betona herhangi bir şekil vermek zorlaşır. Akışkan beton karışımında aranan en önemli özellik kıvam ve işlenebilirliktir. Sertleşmiş betonda bunun yerini basınç dayanım alır. Bütün teknolojik ürünlerde olduğu gibi betonda da karışım üretiminin ekonomik olması oldukça önemlidir [56].

Taze betonun işlenebilirlik ve kıvam gibi özellikleri belirlenirken birçok deneysel yöntem kullanılmaktadır. Çökme, yayılma, birim ağırlık gibi deneyler genelde taze beton teknolojisinde kullanılmaktadır. Aslında taze beton birkaç saat içerisinde sertleşir. Betonun kullanıcıları ilgilendiren kısmı sert beton olmasına rağmen genelde yapılan deneyler akışkan beton ile ilgilidir. Çünkü akışkan beton ne kadar iyi yapılırsa sertleşen betonun dayanımı ve dayanıklılığı da bir o kadar iyi olacaktır. Birim ağırlık, basınç, eğilme ve çekme dayanımı, yüzey sertliği ve ultrases geçiş hızı gibi yöntemler genelde sert beton teknolojisinde kullanılmaktadır [21].

Beton karışımı deneylerinde kullanılan maddelerin miktarı, özellikleri, kalitesi ve özellikle sertleşmiş betonda çevresel faktörlerin betona farklı noktalarda etki ettiği görülmüştür [57].

Beton üretimi için yapılan bazı deneyler çok fazla zaman almakta ve pahalıya mal olmaktadır. Bu eksiklikleri gidermek, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için birçok deneysel ve analitik yöntem kullanılmaktadır. Bahsedilen yöntemlerin haricinde son yıllarda akıllı sistemler de tercih edilmiştir. Bu sistemlerin içerisindeki yöntemlerden biri de bulanık mantık yöntemidir. Deneysel çalışmalarla beton özellikleri hakkında kesin karar verilir. Kesin olan bazı kabullerinde aslında belli sınırlar içerisinde olduğu ve bazı

yaklaşık değerleri içerdiği bilinmektedir. Genel anlamda bu tür yaklaşıklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık mantık gibi yöntemler belirtilen sistem sınırları içerisinde ve bilinen yaklaşımlarla problem çözümüne katkıda bulunur.

Son yıllarda beton teknolojisinde bulanık mantık aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle oluşturulan modeller bulanık mantık yöntemi ile eğitildikten sonra bazı testlere tabi tutulmuştur. Bulanık mantık ile hazırlanan sistemlerden kısa sürede başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bazen deneysel çalışmalar ile elde edilen verilerin kısıtlı olması sistemden istenilen sonucun alınmasını engeller. Bu sorunu çözmek için daha fazla deneysel çalışma yapıp yeteri kadar veri elde edilmelidir. Çok fazla deney yapmak da bazen ekonomik olmamaktadır. Bulanık mantık kullanılarak hazırlanmış bir modelde hedeflenen sonuca ulaşmak isteniyorsa sistem hakkında yeteri kadar veriye sahip olmak gerekir. Yetersiz veriler kullanılarak oluşturulan bir bulanık mantık modeli, yeni verilerin sisteme dâhil edilmesiyle var olan modeli güncelleyebilmektedir. Bulanık mantık yönteminin bu gibi avantajları kullanılabilirliğini arttırmaktadır.

Son yıllarda, çimentonun eğilme ve basınç dayanımını asfalt beton kaplamalarının yorulma davranışını çimentonun basınç dayanımını normal ve yüksek dayanımlı betonların elastisite modüllerini Portland çimentolu harçlara sülfat etkisini, çelik fiberle güçlendirilmiş betonların gerilme-sekil değiştirme eğrilerini tahmin etmek için BM yöntemi kullanılmıştır [53, 58-60].

Aynı şekilde yapı kontrol mühendisliğinde, titreşimin kontrol edilmesi konusunda, yapısal düzenleme için sınır şartlarının belirlenmesinde, beton köprülerin kalite kaybının belirlenmesinde, yapısal sistemlerin aktif kontrolünde nehirlerdeki askı maddesi miktarının modellenmesinde, güçlendirilmiş kumlarda kayma modülü ve sönüm oranının belirlenmesinde dalga parametrelerinin tahmin edilmesinde, yapıların optimum boyutlandırılmasında, çerçeve hesaplarında, deprem hareketinin tahmin edilmesinde, yapının tanımlanması ve kontrol parametrelerinin belirlenmesinde, beton ve betonarme özelliklerinin belirlenmesinde BM yöntemi başarıyla uygulanmıştır [54, 61-66].

4.2. Sistemde Kullanılan Parametreler

Bulanık mantık kullanarak oluşturulan bu sistemde inşaat alanıyla ilgili birçok parametre bulunmaktadır. Girdi olarak betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı, maksimum agrega boyutu, çelik lif hacim kesri, uzunluğu ve çapı kullanılırken çıktı olarak çimento dozajı, su miktarı, iri ve ince agrega içeriği kullanılmıştır.

4.2.1. Giriş Parametreleri

Sistem 6 adet giriş parametresinden oluşmaktadır. Bu giriş parametreleri ile ilgili kullanılan veriler bir literatür çalışması yapılarak elde edilmiştir yani kullanılan veriler güvenilirlerdir.

a) Beton

Beton; kum, çakıl, cüruf, kırılmış taş, çimento, su ve kıvamını ayarlamak için bazen katkı maddelerinin birbirine karıştırılmasıyla oluşturulan ve hemen hemen bütün yapı işlerinde kullanılan bir yapı malzemesidir. Beton ilk oluşturulduğunda akışkan bir maddedir ve konulduğu kabın şeklini alır [67]. Hava ile temas eden beton sertleşir ve betona şekil vermek zorlaşır. Betonun aşağıdaki özelliklere sahip olması beklenir [68].

- Beton işlenebilir olmalı ve taze beton kolay karıştırılabilirliktir. Beton taşınırken yerleştirilirken, kullanılırken, karıştırılırken üniform özelliğini kaybetmemelidir.
- Beton uygulamada istenilen dayanıklılığı gösterebilmelidir ve aşınmalara karşı dayanıklı olmalıdır.
- Beton oluşturulurken gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara karşı, don-çözülme, ısınma olaylarına karşı özelliklerini koruyabilmelidir.
- Taze beton hazırlanırken sıcaklığı kontrol edilmelidir. Betonun yüksek sıcaklıklara dayanıklı olması sağlanmalıdır.
- Beton geçirimsiz olmalıdır.

Beton diğer yapı malzemelerine kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Betonun ekonomik olması, estetik amaçlarla kullanılmaya daha elverişli olması, yüksek basınç dayanımına sahip olması ve aşınmalara karşı dirençli olması, tazeyken istenilen şeklin verilebilirliği gibi özellikler betonun diğer yapı malzemelerine kıyasla daha çok kullanılmasını sağlamıştır [67].

b) Beton Basınç Dayanımı

Betonun üzerindeki ağırlığın sebep olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği en yüksek gerilme kabiliyetine, beton dayanımı denilmektedir. Betonun üzerindeki ağırlık beton üzerinde bir basınç etkisi oluşturuyorsa beton bu ağırlığa karşı bir direnme gösterir buna da betonun basınç dayanımı denilmektedir.

Betonun kullanılacağı ortam ve maruz kalacağı yük tipleri göz önünde tutularak, betonun en az ne büyüklükte bir dayanıma sahip olması gerektiğinin bilinmesi, beton yapımı için çok önemlidir. Beton dayanımı, betonu oluşturan malzemelerin özellikleri ve kullanıldıkları oranlar ile yakından ilgilidir. Betonda aranan değişik türdeki dayanımlar arasında en çok aranılanı basınç dayanımıdır. Beton basınç dayanımı, taze betonun silindir veya küp şeklindeki kalıplara doldurulmasıyla hazırlanan beton silindir veya küp numunelerin belli bir süre sonra (standart olarak, betonun 28. günde) basınç yükü altında kırılmalarıyla elde edilmektedir.

Beton ve betonarme yapıların proje hesapları, ortalama beton basınç dayanımına göre yapılmamaktadır. Bu hesaplar için betonda bulunması gereken bir minimum basınç dayanımı seçilmekte ve hesaplar böyle bir basınç dayanımı göz önünde tutularak yapılmaktadır. Su/çimento oranı, suyun kalitesi, kullanılan çimentonun ve agregaların özellikleri, karışım koşulları, betonun yaşı ve betona uygulanan karılma, sıkıştırma, yerleştirme gibi işlemler betonun basınç dayanımını etkilemektedir [68].

c) Maksimum Agrega Boyutu

Maksimum agrega boyutu, agrega elek analizi sonucunda belirlenmektedir. Maksimum agrega boyutu, agreganın tamamının geçtiği en küçük standart elek göz açıklığına eşittir. Uygun gradasyona sahip olması koşuluyla, maksimum agrega boyutunun mümkün olabildiği kadar yüksek olması, belirli bir kıvam elde edebilmek için agrega tanelerinin yüzeyini ıslatacak karma suyu ihtiyacını azaltmaktadır. Karma suyu miktarının azalması ise, daha düşük su/çimento oranı kullanılmasına ve buna bağlı olarak, daha yüksek dayanım ve dayanıklılık elde edilebilmesine yol açmaktadır. Beton yapımında kullanılan su miktarı sabit tutulursa, maksimum agrega boyutunun artmasıyla betonun kıvamı da artar [67].

Genel olarak, yapı betonlarında, maksimum agrega tane boyutu 40 mm den daha büyük agrega kullanmamak koşuluyla, mümkün olan en büyük değerdeki maksimum agreganın kullanılması önerilmektedir.

d) Çelik Lif

Standartlara uygun olarak yapılan iki ucunda da kanca olan çelik tellerdir. Bu teller beton yapımında kullanılmaktadır. Çelik fiber teller, kullanılacak betona göre farklı uzunluk, kısalıkta ve farklı çaplarda olabilmektedirler. Betonda homojen bir dağılım elde edilmek isteniyorsa bu teller kullanılmalıdır. Çelik lifin kullanımıyla uygulamalar kolaylaşır ve zamandan tasarruf edilmiş olunur.

Beton yapımında kullanılan çelik lif, betonun enerji tutma yeteneğini ve elastikiyetini artırmaktadır. Çelik lifin beton üzerindeki asıl etkisi çatlak oluşuktan sonra daha net bir şekilde görülür. Beton karışımı güzel hazırlanmışsa içerisindeki çelik lifler sayesinde oluşan çatlağın ilerlemesi önlenir.

4.2.2. Çıkış Parametreleri

Sistem 4 adet çıkış parametresinden oluşmaktadır. Bu çıkış parametreleri ile ilgili kullanılan veriler bir literatür çalışması yapılarak elde edilmiştir yani kullanılan veriler güvenilirlerdir.

a) Çimento

Doğal kalker taşları ve kil karışımının özel fırınlarda çok yüksek sıcaklıkta ısıtılıp pişirilmesiyle ve pişirilen bu maddenin ezilerek küçük taneciklere dönüştürülmesiyle ve uygun şartlar oluşturulduğunda belirli miktarda suyun katılması ile hızlı bir şekilde kuruyup sertleşen bir maddedir.

Çimentonun sahip olduğu en önemli özellik çimentonun bağlayıcı olmasıdır. Bu özellik su katıldıktan sonra aktif hale gelir ve su katılarak oluşturulan bu maddeye çimento hamuru denilmektedir.Çimento, beton oluşturulurken beton karışımında bulunan agregaların üzerini kaplar ve agrega tanelerinin arasındaki boşlukları doldurarak agrega tanelerini bir arada tutar yani bağlayıcılık görevini yerine getirir. Aslında betona çimento hamuru ve agregalardan oluşan bir karışımda denilebilir.

Beton karışımı ilk zamanlarda akışkandır ve plastik bir yapıdadır zamanla katılaşmakta ve sertleşmektedir. Betonun bu özellikleri çimento hamurunun yapısında meydana gelen değişikliklerden dolayıdır. Ayrıca sertleşmiş betonda oluşabilecek büzülme ve sünme gibi bozulmalar aslında çimento hamurundaki hacim değişiklikleridir. Dolayısıyla çimentonun özellikleri ve beton karışımına ne ölçüde konulması gerektiği önemlidir. Çimento beton ve beton dayanımı için çok önemli bir maddedir.

Yapılan uygulamada beton kıvamı aşağıdaki numaralarla ifade edilmiştir ve aşağıdaki numaralandırmalar kullanılarak işlem yapılmıştır.

Tablo 4.1. Beton kıvam numaralandırması

Numaralandırma	Çimento kıvamı
1	Aşırı kuru
2	Çok kuru
3	Kuru
4	Kuru-plastik
5	Plastik
6	Akıcı

b) Su

Betonu oluşturan ana maddelerden biri de su' dur. Beton yapımında kullanılan suyun iki tane önemli görevi vardır bunlar aşağıdaki gibidir.

1. Çimento ile birleşerek ikisi arasında oluşan bir kimyasal reaksiyonda yer almak.
2. Beton oluşturulurken agrega ve çimento tanelerinin üzerini ıslatarak oluşturulan betonun istenilen işlenebilmeyi (yerleştirilebilirliğini, sıkıştırılabilirliğini vb.) sağlamak.

Beton oluşturulurken kullanılan suyun kalitesi ve karışıma katılan su miktarı betonu ciddi anlamda etkilemektedir. Karışımda kullanılan suyun içinde istenmeyen yabancı maddelerin yer alması muhtemeldir. Önemli olan bu yabancı maddelerin çimento ve su arasında oluşan kimyasal tepkimeyi ne ölçüde ve hangi doğrultuda etkilediğidir.

Beton karışımında karışıma katılan su miktarı oldukça önemlidir. Suyun az miktarda kullanılmasıyla çimento ile tam anlamda bir tepkime gerçekleşmez ve istenilen işlenebilirlik elde edilemezken suyun çok miktarda kullanılmasıyla da betonun dayanımı ve

dayanıklılığı azalmaktadır. Bu yüzden beton için karışıma istenilen ölçülerde su ilave edilmelidir.

c) İri Agregaya ve İnce Agregaya

Agrega beton hazırlanırken; çimento, su ile birlikte kullanılan çakıl, kum gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin büyük bir kısmını agregalar oluşturmaktadır. Beton karışımındaki malzemelerden çimento agregaya göre daha pahalı bir maddedir. Agregaların daha çok olduğu betonlar daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca agregalar çimento hamurunun zamanla gösterebileceği hacim değişikliğini belirli bir ölçüde engellemektedir. Agregalar sert ve dayanıklı maddelerdir. Bu maddeler beton karışımına eklendiğinde betonun dış etkenlere ve aşınmalara karşı daha dayanıklı olmasını sağlarlar.

Yapılan uygulamaya göre beton karışımında hangi çeşit agregaya kullanılacağı belirlenir. Agregaların birçok özelliği vardır. Seçim işlemini kolaylaştırmak için agregalar; kaynağına, ağırlığına, tane büyüklüğüne, tane şekline, yüzey dokusuna, üretimine, jeolojik orjinlerine, mineralojik yapılarına ve reaktif özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır [58]. Tane büyüklüğüne göre agregalar iri ve ince agregaya olarak ikiye ayrılmıştır. Türk standartlarına göre 4.00 mm göz açıklıklı kare delikli eleklerden geçen agregaya “ince agregaya”, bu elek üzerinde kalan agregaya ise “iri agregaya” denilmektedir [69].

Büyük taşların bazı makinelerle kırılmasıyla oluşan kırmataş iri agregadır. Kırılma işlemine tabi tutulmamış kum ince agregayken kırılma işlemine tabi tutulmayan çakıl iri agregadır. Çimento hamurunda iri agregaya yük taşıyıcı özelliğine sahipken ince agregaya çimento ile beraber karışımındaki boşlukları doldurur ve homojen bir karışım elde edilmesini sağlar.

d) Kimyasal Katkı Maddeleri

Beton oluşumunu sağlayan çimento, agregaya ve suyun karıştırılmadan önce veya karıştırıldığı anda karışımın içerisine katılan maddeye beton katkı maddesi denir. Katkı maddeleri çimentonun sahip olduğu özellikleri belirli bir noktaya kadar olumlu bir yönde etkiler.

Beton katkı maddeleri betonun katılaşma süresi, kıvam, su ihtiyacı ve betonun işlenebilme gibi özelliklerini istenilen yönde değiştirilmesini sağlar. Özellikle betonun terlemesini azaltmak için katkı maddeleri kullanılır. Taze betonun özellikleri, başta

dayanım ve dayanıklılık olmak üzere, sertleşmiş betonun tüm özelliklerini ve ekonomikliğini etkilemektedir [67].

Katkı maddeleri; hem ilk günlerde hem de ölçüm için son günlerde yüksek beton dayanımı sağlamaktadır. Ayrıca, beton katkı maddelerinin kullanımları ile sertleşmiş betonun çevreden veya ortamdan kaynaklanan yıpratıcı etkenlere karşı (donma-çözülme olaylarına, aşınmaya, alkali-agrega reaksiyonuna ve sülfat hücumlarına, korozyona diğer yıpratıcı etkenlere karşı) daha dayanıklı olabilmesi sağlanmaktadır [67].

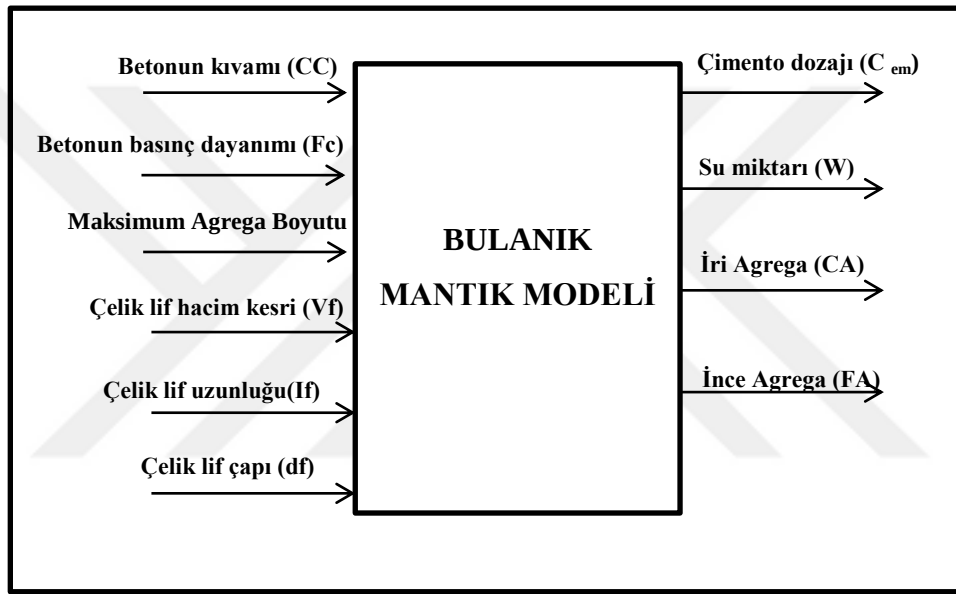
Beton karışımını oluşturacak malzeme miktarının hesabı için takip edilecek hususlar aşağıdaki gibidir.

- Çökme değerinin (kıvamın) belirlenmesi,
- Maksimum agrega tane boyutunun belirlenmesi,
- Karışım suyu ağırlığının ve hava hacminin belirlenmesi,
- "Su/çimento" veya "su/bağlayıcı maddeler" oranının belirlenmesi,
- Çimento ağırlığının hesaplanması,
- İri agrega miktarının hesaplanması,
- İnce agrega miktarının hesaplanması,
- Agregalardaki mevcut nem durumu göz önünde tutularak, bu aşamadan önce elde edilmiş olan ince ve iri agrega ile karma suyu miktarının hesaplanarak düzeltilmesi,
- Hesaplanmış olan ağırlıklardaki malzemelerle bir beton karışımı hazırlanarak, hedeflenen çökme değerinin elde edilip edilmediğinin kontrolü.

5. BETON DAYANIMI TAHMİNİ İÇİN BULANIK MANTIK MODELİ

Bu tez çalışmasında, çelik lifli betonların karışım oranlarını ve betonun basınç dayanımını bulanık mantık kullanarak tahmin etme amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ekte gösterilmiştir [3].

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi modelde betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı, maksimum agrega ve minimum agrega boyutu, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı deney kümesinin girdileri olurken çimento dozajı, su miktarı, iri agrega ve ince agrega içeriği de çıktı olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Sistemin Giriş ve Çıkış Parametreleri

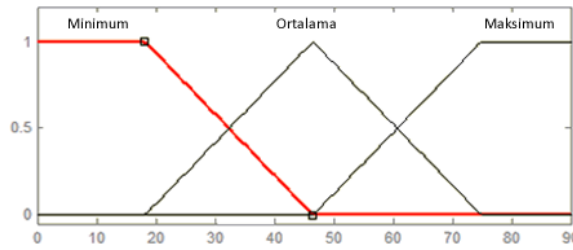
Modelin uygulanmasında öncelikli olarak sistemde kullanılan giriş ve çıkış parametreleri belirtilmiştir. Uzman görüşlerine dayanılarak hazırlanan uygulamada sistemin performans kriterleri belirlenmiştir. Bu bilgilere dayanılarak sistem; MATLAB’ın Fuzzy Toolbox arayüzünde tasarlanmıştır. Her bir çıktıya etki eden girişler ayrı ayrı modellenmiştir. Girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiler dikkate alınarak kural tabanı oluşturulmuştur. Muhtemel senaryolar altında çalıştırılan programdan bazı çıktılar elde edilmiştir. Elde edilen bu çıktılar ile genelleştirilmiş sonuçlar karşılaştırılmış, sistemin performansı hakkında yorumlar yapılmış ve çalışma tamamlanmıştır.

Matlab Fuzzy Toolbox kullanılarak hazırlanan bu uygulamada; üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Girdi ve çıktılara göre sistematik kurallar üreten Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma yöntemi kullanılmıştır.

5.1. Giriş Üyelik Fonksiyonları

Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılan bu modelde girdi ve çıktı değerlerinin üçer adet üyelik derecesi vardır. Her bir girdi için üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur ve değer aralıkları belirlenip isimlendirme yapılmıştır.

Şekil 5.2’de betonun basınç dayanımı için üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Betonun basınç dayanımı için minimum, ortalama ve maksimum olarak üyelik dereceleri ve değer aralıkları belirlenmiştir. Tablo 5.1’de üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.

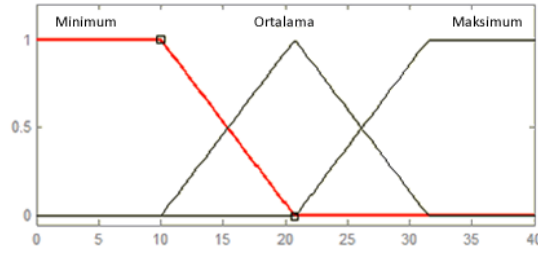


Şekil 5.2. Beton basınç dayanımı üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri

Tablo 5.1. Beton basınç dayanımı üyelik dereceleri

Beton Basınç Dayanımı	Üyelik Dereceleri
0-46.5	Minimum
18.18-74.9	Ortalama
46.5-90	Maksimum

Şekil 5.3’de maksimum agrega boyutu için üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Maksimum agrega boyutu için minimum, ortalama ve maksimum olarak üyelik dereceleri ve değer aralıkları belirlenmiştir. Tablo 5.2’de üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.

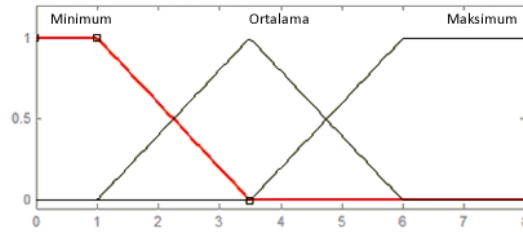


Şekil 5.3. Maksimum agrega boyutu üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri

Tablo 5.2. Maksimum agrega boyutu üyelik dereceleri

Maksimum Agrega Boyutu	Üyelik Dereceleri
0-20.75	Minimum
10-31.5	Ortalama
20.75-40	Maksimum

Şekil 5.4'te betonun kıvamı için üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri gösterilmiştir. Betonun kıvamı için minimum, ortalama ve maksimum olarak üyelik dereceleri ve değer aralıkları belirlenmiştir. Tablo 5.3'te üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir.



Şekil 5.4. Betonun kıvamı üyelik fonksiyonları ve üyelik dereceleri

Tablo 5.3. Betonun kıvamı üyelik dereceleri

Betonun Kıvamı	Üyelik Dereceleri
0-3.5	Minimum
1-6	Ortalama
3.5-8	Maksimum

Çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı da giriş birimlerindendir. Fakat çıktılar üzerinde belirgin bir etkisi olmadığından üyelik dereceleri belirtilmemiştir ve

sisteme dahil edilmemiştir. Fakat sistem çıktıları üzerinde etkili olduğundan burada bahsedilmiştir ve kural oluşturulurken bu maddelerin sistem üzerindeki etkileri de dikkate alınmıştır.

5.2. Çıkış Üyelik Fonksiyonları

Sugeno yöntemi kullanılan bu modelde değer aralıkları yoktur her bir üyelik derecesinin tek bir değeri vardır. Tablo 5.4’de su miktarının üyelik dereceleri gösterilmiştir. . Bulanık mantık ile sistem tasarlandığında su miktarına etki eden girişler; betonun basınç dayanımı ve Maksimum agrega boyutudur. Her bir giriş ve çıkışın üyelik dereceleri sisteme tanıtılarak sistem tasarlanmıştır.

Tablo 5.4. Su miktarının üyelik dereceleri

Su Miktarı	Üyelik Dereceleri
123	Minimum
176.5	Ortalama
230.2	Maksimum

Tablo 5.5’te çimento miktarının üyelik dereceleri gösterilmiştir. Bulanık mantık ile sistem tasarlandığında çimento miktarına etki eden girişler; betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı ve Maksimum agrega boyutudur.

Tablo 5.5. Çimento miktarının üyelik dereceleri

Çimento Miktarı	Üyelik Dereceleri
280	Minimum
383.5	Ortalama
487	Maksimum

Tablo 5.6’te iri agreganın üyelik dereceleri gösterilmiştir. Bulanık mantık ile sistem tasarlandığında iri agregaya etki eden girişler; betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı ve Maksimum agrega boyutudur.

Tablo 5.6. İri Agrega üyelik dereceleri

İri Agrega	Üyelik Dereceleri
356	Minimum
877	Ortalama
1398	Maksimum

Tablo 5.7’de ince agreganın üyelik dereceleri gösterilmiştir. Bulanık mantık ile sistem tasarlandığında ince agregaya etki eden girişler; betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı ve Maksimum agrega boyutudur.

Tablo 5.7. İnce Agrega üyelik dereceleri

İnce Agrega	Üyelik Dereceleri
623	Minimum
924	Ortalama
1225	Maksimum

5.3. Su Miktarının Bulanık Mantık İle Tahmini

Su; beton hazırlanırken çimento ve diğer maddeler arasında kimyasal bir reaksiyonda yer alan ve betona istenilen işlenebilirliği sağlayan maddedir. Beton hazırlanırken suyun hangi miktarda konulması gerektiği ve suyun diğer maddelerle olan ilişkisinin bilinmesi oldukça önemlidir.

Su miktarının bulanık mantık ile tahmini için Matlab Fuzzy Toolbox arayüzü kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen ve yamuk kullanılırken bulanık sonuç çıkarma yöntemlerinden Sugeno kullanılmıştır. Modeldeki bulanık veriler “prod” operatörüyle bağlantılıdır.

Model hazırlanırken öncelikli olarak giriş değişkenlerinden hangilerinin su miktarını etkilediği tespit edilmiştir. Betonun basınç dayanımı ve maksimum agrega boyutu sistemin girdileri olurken, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı su miktarını etkilemediğinden sistemde kullanılmamıştır. Betonun kıvamı normalde su miktarına etki

ederken sistemdeki bazı kimyasal katkılardan dolayı bu uygulamada etkisiz kabul edilmiştir.

Matlab Fuzzy Toolbox arayüzünde giriş ve çıkış için üyelik fonksiyonları ve dereceleri tanımlanmıştır. Bulanık mantıkta sistemin tahmin edebilmesi için kural tabanı oluşturulur. Kural tabanı oluştururken literatürdeki veriler ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda kurallar hazırlanmış ve sistem için en doğru sonuç üreten kurallar kullanılmıştır. Kurallar oluşturulurken öncelikle girişlerin çıkışı nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Su miktarını beton basınç dayanımı olumsuz etkilerken, maksimum agrega boyutu su miktarını olumlu etkilemektedir. Kural sayısına karar verirken üyelik dereceleri ve girdi sayısı kullanılarak 9 adet kural oluşturulmuştur. Örnek olarak birkaç kural incelenirse;

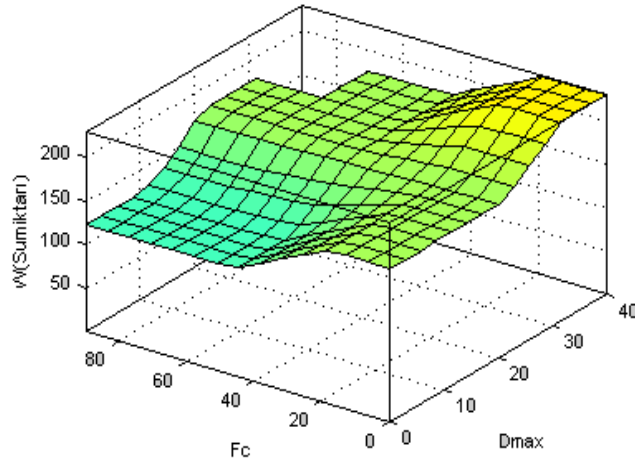
- Eğer f_c “MİNİMUM” D_{max} “MAKSİMUM” ise W “MAKSİMUM” ’tır.

Yani eğer beton basınç dayanımı düşükse ve maksimum agrega boyutu yüksekse su miktarı yüksek olması gerekmektedir.

- Eğer f_c “MAKSİMUM” $D_{maksimum}$ “MAKSİMUM” ise W “ORTALAMA” ’dır.

Eğer beton basınç dayanımı yüksekse ve maksimum agrega boyutu yüksekse su miktarı normal olması gerekmektedir. Çünkü girdilerin biri olumlu etki yaparken diğeri olumsuz etki yapmaktadır. Böylece su miktarını ortalama bir değer olması yeterlidir. Ya da hangi giriş değeri sistemi daha çok etkiliyorsa su miktarı o yönde bir eğilim gösterir. Örneğin f_c etkiliyse su miktarı “MIN” olurken, D_{max} etkiliyse su miktarı “MAKSİMUM” olur. Belirtilen bu işlemler farklı kural olarak tanımlanabilir.

Matlab da Fuzzy-Rule Editor ara yüzünde kurallar oluşturulduktan sonra kuralların girdiler ve çıktılar arasında oluşturduğu ilişkiler saptanır. Su miktarına etki eden bileşenlerin BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Beton basınç dayanımı ve Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu

Bulanık Mantık belirtilen kurallara göre tahminlerini yapmıştır. Beton basınç dayanımının ve Maksimum agregaya boyutunun su miktarına etkileri incelendiğinde özellikle Dmax'ın yüksek olduğu değerlerde su miktarının da fazla olduğu ve beton basınç dayanımının sistemi olumsuz etkilediği Şekil 5.5' de gösterilmiştir.

5.4. Çimento Miktarının Bulanık Mantık İle Tahmini

Çimento kalker ve kil karışımından oluşan bir maddedir. Pek çok alanda yararlanılan çimento; kum, çakıl ve benzeri maddelerle beraber karıştırılıp bir yapı malzemesi olarak kullanılır. Beton için çimento çok önemlidir. Çimento su ile beraber betonda bağlayıcı özelliğini gösterir. Su ve çimentonun oluşturduğu karışıma çimento harcı denilmektedir. Bu harç ilk oluşturulduğunda plastik özellik gösterirken üzerinden zaman geçmesiyle sertleşmeye başlar ve bu özelliğini kaybeder.

Çimento miktarının bulanık mantık ile tahmini için Matlab Fuzzy Toolbox arayüzü kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen ve yamuk kullanılırken bulanık sonuç çıkarma yöntemlerinden Sugeno kullanılmıştır. Modeldeki bulanık veriler “prod” operatörüyle bağlantılıdır.

Model hazırlanırken öncelikli olarak giriş değişkenlerinden hangilerinin çimento miktarını etkilediği tespit edilmiştir. Betonun basınç dayanımı, maksimum agregaya boyutu ve betonun kıvamı sistemin girdileri olurken, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı çimento miktarını etkilemediğinden sistemde kullanılmamıştır.

Matlab Fuzzy Toolbox ara yüzünde giriş ve çıkış için üyelik fonksiyonları ve dereceleri tanımlanmıştır. Bulanık mantıkta sistemin tahmin edebilmesi için kural tabanı oluşturulur. Kural tabanı oluştururken literatürdeki veriler ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda kurallar hazırlanmış ve sistem için en doğru sonuç üreten kurallar kullanılmıştır. Kurallar oluşturulurken öncelikle girişlerin çıkışı nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Çimento miktarını beton basınç dayanımı olumlu etkilerken, maksimum agrega boyutu çimento miktarını olumsuz etkilemektedir. Betonun kıvamı ise değeri 4 olana kadar çimento miktarını olumlu etkilerken 4'ten sonra çimento miktarında olumsuz bir etki bırakmaktadır. Kural sayısına karar verirken üyelik dereceleri ve girdi sayısı kullanılarak 27 adet kural oluşturulmuştur. Örnek olarak birkaç kural incelenirse;

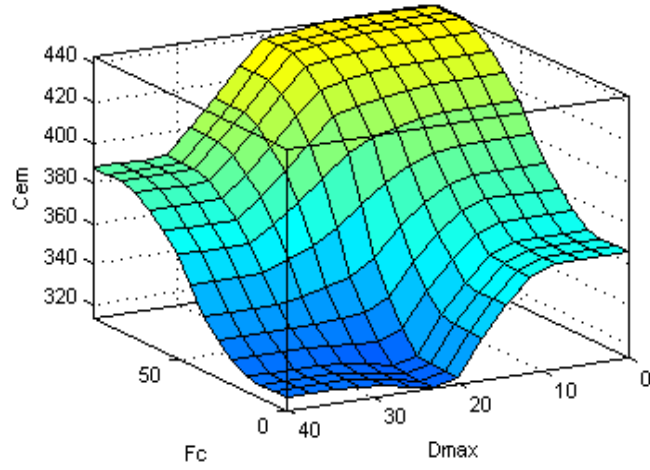
- Eğer CC “MAKSİMUM” , f_c “MAKSİMUM” , D_{max} “MAKSİMUM” ise Cem “ORTALAMA” dır.

Eğer betonun kıvamı, beton basınç dayanımı ve maksimum agrega boyutu yüksekse çimento miktarının ortalama bir değer olması beklenir.

- Eğer f_c “MAKSİMUM” , D_{max} “MİNİMUM” ise Cem “MAKSİMUM” 'dir.

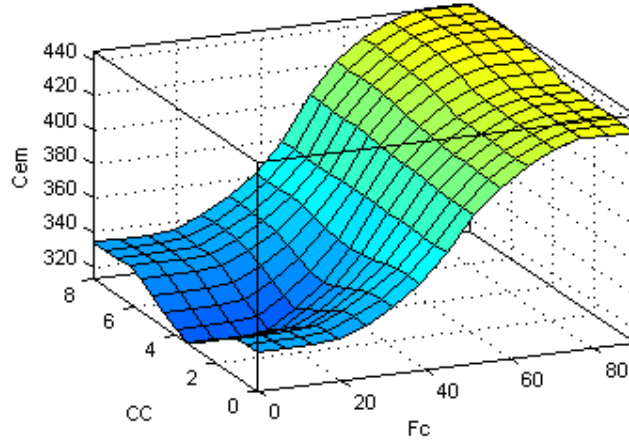
Eğer beton basınç dayanımı yüksekse ve maksimum agrega boyutu düşükse çimento miktarının yüksek olması gerekmektedir. Çünkü beton basınç dayanımı olumlu etki yapar ve en yüksek seviyededir. Maksimum agrega ise olumsuz etki yapar bu değer de düşük seviyede olması çimento dozajını olumlu yönde etkiler ve sonucun MAKSİMUM 'a doğru bir eğilim olması beklenir.

Matlab da Fuzzy-Rule Editor ara yüzünde kurallar oluşturulduktan sonra kuralların girdiler ve çıktılar arasında oluşturduğu ilişkiler saptanır. Çimento miktarına etki eden bileşenlerin BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Beton basınç dayanımı, Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu

Bulanık Mantık belirtilen kurallara göre tahminlerini yapmıştır. Beton basınç dayanımının ve Maksimum agregaya boyutunun çimento miktarına etkileri incelendiğinde özellikle f_c 'nin yüksek olduğu değerlerde çimento miktarının da fazla olduğu ve maksimum agregaya boyutunun sistemi olumsuz etkilediği Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Beton basınç dayanımı, betonun kıvamına bağlı BM model sonucu

Beton basınç dayanımının ve betonun kıvamının çimento miktarına etkileri incelendiğinde özellikle f_c 'nin yüksek olduğu değerlerde çimento miktarının da fazla olduğu ve maksimum agregaya boyutunun değeri 4 olana kadar sistemi olumlu etkilerken 4'ten sonra sistemi olumsuz etkilediği Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

5.5. İri Agregada İeriğinin Bulanık Mantık İle Tahmini

Büyük taşların konkasörde kırılmasıyla elde edilen kırmataşa iri agregada denilmektedir [67]. İri agregada ve ince agregada arasındaki farkı 4mm inceliğindeki elek belirlemektedir. Eleğin üstünde kalan kısım iri agregada olurken altında kalan malzemede ince agregadadır. Çakıl kırılma işlemine tabi tutulmamış iri agregadadır [67].

Beton hazırlanırken çimento hamuru agregaların yüzeyini kaplar ve aralarındaki boşlukları doldurur. Beton karışımındaki agregada büyüklükleri ve yoğunluğu iyi bir şekilde ayarlandığında daha yüksek dayanıma sahip bir beton üretilir. Ayrıca bu şekilde hazırlanan beton ekonomik olmaktadır. İyi bir betondan beklenen özellik istenilen günde (28. gün) istenilen basınç dayanımını göstermesi ve tazeyken istenilen ölçüde işlenebilir olmasıdır. Taze betonun işlenebilme özelliği agreganın iyi bir şekilde ayarlanmasıyla doğrudan etkilidir.

İri Agregada içeriğinin bulanık mantık ile tahmini için Matlab Fuzzy Toolbox arayüzü kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen ve yamuk kullanılırken bulanık sonuç çıkarma yöntemlerinden Sugeno kullanılmıştır. Modeldeki bulanık veriler “prod” operatörüyle bağlantılıdır.

Model hazırlanırken öncelikli olarak giriş değişkenlerinden hangilerinin iri agregada içeriğini etkilediği tespit edilmiştir. Betonun basınç dayanımı, maksimum agregada boyutu ve betonun kıvamı sistemin girdileri olurken, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı iri agregada içeriğini etkilemediğinden sistemde kullanılmamıştır.

Matlab Fuzzy Toolbox arayüzünde giriş ve çıkış için üyelik fonksiyonları ve dereceleri tanımlanmıştır. Bulanık mantıkta sistemin tahmin edebilmesi için kural tabanı oluşturulur. Kural tabanı oluştururken literatürdeki veriler ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda kurallar hazırlanmış ve sistem için en doğru sonuç üreten kurallar kullanılmıştır. Kurallar oluşturulurken öncelikle girişlerin çıkışı nasıl etkilediği tespit edilmiştir. İri agregada içeriğini beton basınç dayanımı olumsuz etkilerken, maksimum agregada boyutu iri agregada içeriğini; değeri 23 olana kadar olumlu 23’ten sonra olumsuz etkilemektedir. Betonun kıvamı ise değeri 4 olana kadar iri agregada içeriğini olumsuz etkilerken 4’ten sonra iri agregada içeriğinde olumlu bir etki bırakmaktadır. Kural sayısına karar verirken üyelik dereceleri ve girdi sayısı kullanılarak 27 adet kural oluşturulmuştur. Örnek olarak birkaç kural incelenirse;

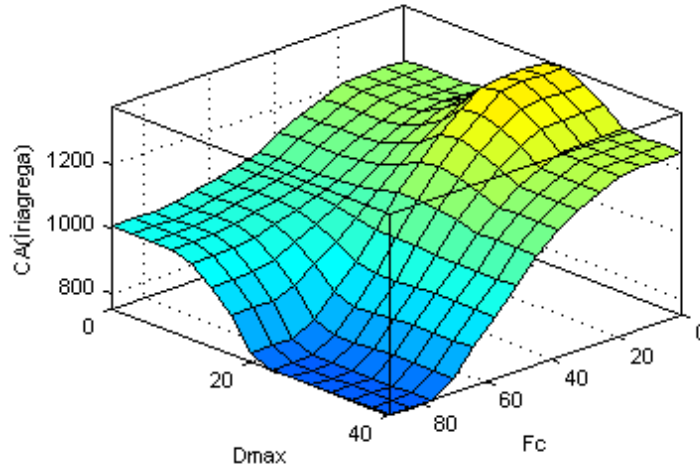
- Eğer CC “ORTALAMA” , f_c “MİNİMUM” , D_{max} “ORTALAMA” ise CA “MAKSİMUM” dır.

Eğer betonun kıvamı ortalama, beton basınç dayanımı düşük ve maksimum agregaya boyutu ortalama bir değerse iri agregaya içeriğinin yüksek bir değer olması beklenir. Çünkü betonun kıvamı ve maksimum agregaya boyutunun ortalama değerleri iri agregaya içeriğinin MAKSİMUM değerine yaklaştırır. Ayrıca betonun basınç dayanımı iri agregaya içeriğini olumsuz etkilediğinden bu maddenin düşük olması iri agregaya içeriğinin yüksek olmasına neden olacaktır.

- Eğer f_c “MAKSİMUM” D_{max} “MİNİMUM” ise CA “MİNİMUM” ’dir.

Eğer beton basınç dayanımı yüksekse ve maksimum agregaya boyutu düşükse iri agregaya içeriğinin düşük olması gerekmektedir.

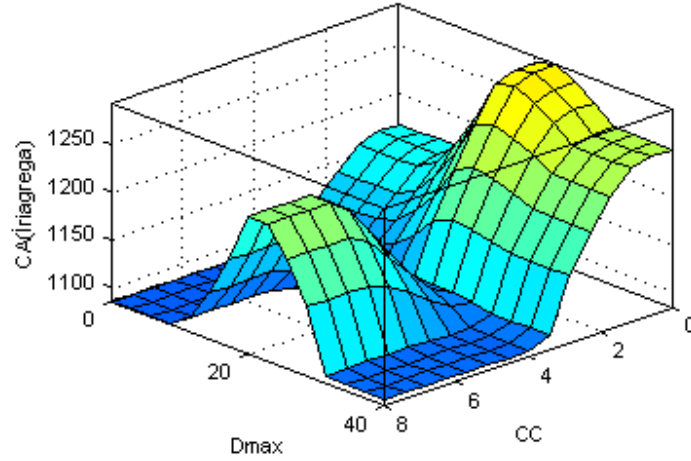
Matlab’da Fuzzy-Rule Editor ara yüzünde kurallar oluşturulduktan sonra kuralların girdiler ve çıktılar arasında oluşturduğu ilişkiler saptanır. İri agregaya içeriğine etki eden bileşenlerin BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak Şekil 5.8 ve Şekil5.9’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Beton basınç dayanımı, Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu

Bulanık Mantık belirtilen kurallara göre tahminlerini yapmıştır. Beton basınç dayanımının ve Maksimum agregaya boyutunun iri agregaya içeriğine etkileri incelendiğinde özellikle maksimum agregaya boyutunun değeri 23 olana kadar olumlu etki yaptığı ve 23’ten

sonra belli bir değere kadar olumsuz etkilediği ve f_c 'nin düşük olduğu değerlerde iri agreganın fazla olduğu Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Maksimum agreganın boyutunun, betonun kıvamına bağlı BM model sonucu

Maksimum agreganın boyutunun ve betonun kıvamının iri agreganın içeriğine etkileri incelendiğinde özellikle Maksimum agreganın boyutunun değeri 23 olana kadar betonun kıvamının da 4' ten sonraki değerlerinin belirli bir değere kadar iri agreganın içeriğine olumlu etki yaptığı Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

5.6. İnce Agreganın İçeriğinin Bulanık Mantık İle Tahmini

Büyük taşların konkasörde kırılmasıyla elde edilen kırmakuma ince agreganın denilmektedir [67]. İri agreganın ve ince agreganın arasındaki farkı 4mm inceliğindeki elek belirlemektedir. Eleğin üstünde kalan kısım iri agreganın olurken altında kalan malzemede ince agregadır. Ayrıca ince agreganın bir alt sınırı vardır. Türk standartlarına göre bu sınır 0.25mm'dir. Kum kırılma işlemine tabi tutulmamış olan ince agregadır [67].

İnce Agreganın içeriğinin bulanık mantık ile tahmini için Matlab Fuzzy Toolbox arayüzü kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen ve yamuk kullanılırken bulanık sonuç çıkarma yöntemlerinden Sugeno kullanılmıştır. Modeldeki bulanık veriler "prod" operatörüyle bağlantılıdır.

Model hazırlanırken öncelikli olarak giriş değişkenlerinden hangilerinin ince agreganın içeriğini etkilediği tespit edilmiştir. Betonun basınç dayanımı, maksimum agreganın boyutu ve

betonun kıvamı sistemin girdileri olurken, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı ince agreganın içeriğini etkilemediğinden sistemde kullanılmamıştır.

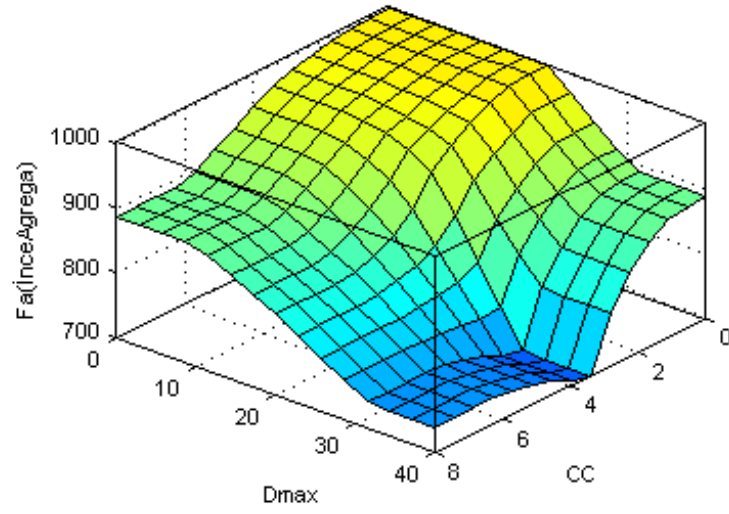
Matlab Fuzzy Toolbox arayüzünde giriş ve çıkış için üyelik fonksiyonları ve dereceleri tanımlanmıştır. Bulanık mantıkta sistemin tahmin edebilmesi için kural tabanı oluşturulur. Kural tabanı oluştururken literatürdeki veriler ve uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda kurallar hazırlanmış ve sistem için en doğru sonuç üreten kurallar kullanılmıştır. Kurallar oluşturulurken öncelikle girişlerin çıkışı nasıl etkilediği tespit edilmiştir. İnce agreganın içeriğini beton basınç dayanımı, betonun kıvamı, maksimum agreganın boyutu olumsuz etkilemektedir. Kural sayısına karar verirken üyelik dereceleri ve girdi sayısı kullanılarak 27 adet kural oluşturulmuştur. Örnek olarak birkaç kural incelenirse;

- Eğer CC “MİNİMUM” , f_c “MİNİMUM” , D_{max} “MAKSİMUM” ise FA “ORTALAMA” dır.

Yani eğer betonun kıvamı, beton basınç dayanımı düşük ve maksimum agreganın boyutu yüksek bir değer ise ince agreganın içeriğinin ortalama bir değer olması beklenir.

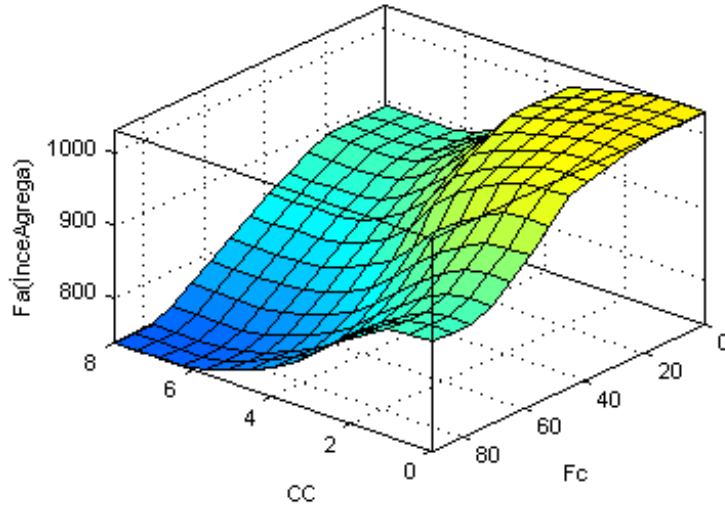
- Eğer f_c “MAKSİMUM” ise FA “MİNİMUM” ’dir.

Yani eğer beton basınç dayanımı yüksek ise ince agreganın içeriğinin düşük olması gerekmektedir. Matlab’da Fuzzy-Rule Editor arayüzünde kurallar oluşturulduktan sonra kuralların girdiler ve çıktılar arasında oluşturduğu ilişkiler saptanır. İnce agreganın içeriğine etki eden bileşenlerin BM modelinin tahmin sonuçları, üç boyutlu olarak Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Betonun kıvamı ve Maksimum agregaya bağlı BM model sonucu

Bulanık Mantık belirtilen kurallara göre tahminlerini yapmıştır. Betonun kıvamı ve Maksimum agregaya boyutunun ince agregaya içeriğine etkileri incelendiğinde ikisinin de ince agregaya içeriğini olumsuz yönde etkilediği Şekil 5.10' de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Betonun kıvamı ve beton basınç dayanımına bağlı BM model sonucu

Beton basınç dayanımı ve betonun kıvamının ince agregaya içeriğine etkileri incelendiğinde ikisinin de ince agregaya içeriğini olumsuz yönde etkilediği Şekil 5.11'de gösterilmiştir.

6. MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu modelde bulanık mantık kullanılmıştır. Model değerlendirilirken regresyon analizi yapılmış ve regresyon denklemleri gösterilmiştir. Ayrıca mutlak kesir varyansı (R^2) Denklem 6.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i (o_i)^2} \quad (6.1)$$

Denklem 6.1'deki t hedeflenen değerleri, o uygulanan modelin çıkış değerlerini göstermektedir. R^2 ve regresyon analizi ile bulanık mantık ile oluşturulan sistemin performansı hakkında bilgi edinilmektedir. R^2 ile hesaplanan değerler 1 değerine yakınsa modelden elde edilen sonuç ile hedeflenen sonuç birbirine yakınken, bu değer 0'a yakınsa modelden elde edilen sonuç ile hedeflenen sonuç birbirine uzaktır. Yani model tam olarak tahmin edememiştir ve model sonuçları ile hedeflenen sonuçlar birbirine uyumlu değildir. Regresyon analizinde ise hedeflenen değer ve model sonuçları arasında 0.5-0.99 arasında bir korelasyon varsa modelden istenilen sonuç alınmış demektir, yani pozitif bir ilişki vardır. Fakat bu değer 0-0.5 aralığında ise modelden istenilen sonuç alınmamıştır ve hedeflenen değer ile model sonuçları arasında negatif bir ilişki vardır.

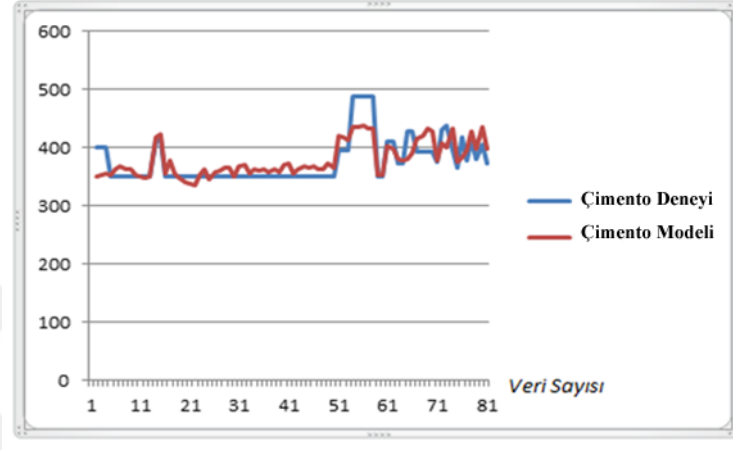
6.1. Bulanık Mantık İle Modellenmiş Çimento Miktarının Değerlendirilmesi

Literatürden alınan verilerle hazırlanan bulanık mantık deneyinde çimento miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneyde kullanılan beton kıvamı, beton basınç dayanımı, maksimum agrega boyutu miktarlarına göre çimento miktarı tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bu değerlerle literatürdeki veriler kıyaslanmıştır. Modelden elde edilen değerlerle literatürdeki deney sonuçlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Tablo 6.1'de model sonuçları ve deney sonuçları kıyaslanarak hazırlanan regresyon analizi, R^2 ve regresyon denklemi gösterilmektedir.

Tablo 6.1. Çimento miktarı bulanık mantık model sonuçları

Çoklu Regresyon değeri	R^2
0,790619	0,625078

Tablo 6.1’de görüldüğü gibi çoklu regresyon değeri 0,79 ve R^2 değeri 0,62’dir. Regresyon ve R^2 ile değerlendirilen bulanık mantık deney sonuçları ile model sonuçlarının birbiriyle örtüştüğünü göstermektedir.



Şekil 6.1. Çimento miktarı bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları

Şekil 6.1’de bulanık mantığın tahmin ettiği sonuçlar ve deney sonuçları gösterilmiştir. Grafik sonuçlarına göre sonuçların birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu durum çimento miktarının bulanık mantık kullanılarak hesaplanabileceğini ve sonuçlarının deney yapılmadan da öngörülebileceğini göstermektedir. Ayrıca bulanık mantıktaki Sugeno sonuç çıkarma yönteminin de çimento miktarı tahmini için uygun bir yöntem olduğu söylenebilir.

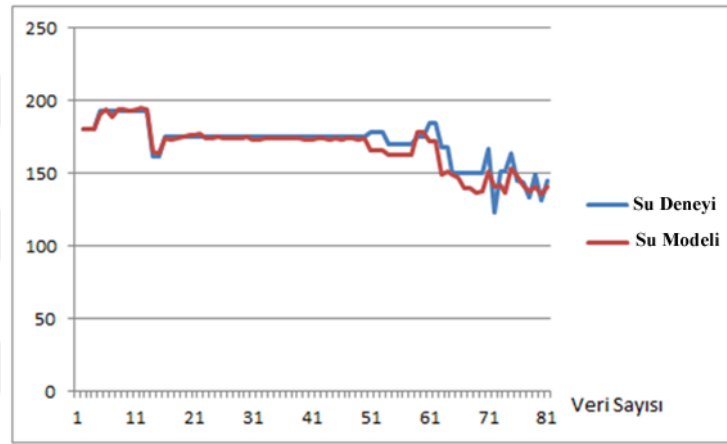
6.2. Bulanık Mantık İle Modellenmiş Su Miktarının Değerlendirilmesi

Literatürden alınan verilerle hazırlanan bulanık mantık deneyinde su miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneyde kullanılan beton basınç dayanımı ve maksimum agrega boyutuna göre su miktarı tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bu değerlerle literatürdeki veriler kıyaslanmıştır. Modelden elde edilen değerlerle literatürdeki deney sonuçlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Tablo 6.2’ de model sonuçları ve deney sonuçları kıyaslanarak hazırlanan regresyon analizi, R^2 ve regresyon denklemi gösterilmektedir.

Tablo 6.2. Su miktarı bulanık mantık model sonuçları

Çoklu Regresyon değeri	R ²
0,929382	0,86375

Tablo 6.2’de görüldüğü gibi çoklu regresyon değeri 0,92 ve R² değeri 0,86’dır. Regresyon ve R² deney sonuçlarının 0.5 in üzerinde olması ve 1 değerine yakın olması deney sonuçları ile model sonuçlarının birbiriyle örtüştüğünü göstermektedir.



Şekil 6.2. Su miktarının bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları

Şekil 6.2’de bulanık mantığın tahmin ettiği sonuçlar ve deney sonuçları gösterilmiştir. Grafik sonuçlarına göre sonuçların birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu durum su miktarının bulanık mantık kullanılarak hesaplanabileceğini ve sonuçlarının deney yapılmadan da öngörülebileceğini göstermektedir.

6.3. Bulanık Mantık İle Modellenmiş İri Agrega İçeriğinin Değerlendirilmesi

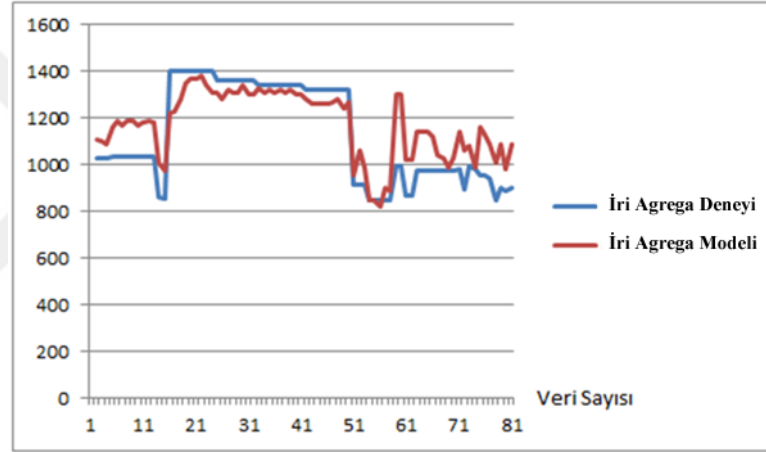
Literatürden alınan verilerle hazırlanan bulanık mantık deneyinde iri agreganın içeriği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneyde kullanılan beton kıvamı, beton basınç dayanımı, maksimum agreganın boyutu miktarlarına göre iri agreganın içeriği tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bu değerlerle literatürdeki verilerle kıyaslanmıştır. Modelden elde edilen değerlerle literatürdeki deney sonuçlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Tablo 6.3’ de

model sonuçları ve deney sonuçları kıyaslanarak hazırlanan regresyon analizi, R^2 ve regresyon denklemi gösterilmektedir.

Tablo 6.3. İri agrega içeriği bulanık mantık model sonuçları

Çoklu Regresyon değeri	R^2
0,885289	0,783736

Tablo 6.3’ de görüldüğü gibi çoklu regresyon değeri 0,88 ve R^2 değeri 0,78 dir. Regresyon ve R^2 ile değerlendirilen bulanık mantık deney sonuçları ile model sonuçlarının birbiriyle örtüştüğünü göstermektedir.



Şekil 6.3. İri agrega içeriğinin bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları

Şekil 6.3’de bulanık mantığın tahmin ettiği sonuçlar ve deney sonuçları gösterilmiştir. Grafik sonuçlarına göre sonuçların birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu durum iri agrega içeriğinin bulanık mantık kullanılarak hesaplanabileceğini ve sonuçlarının deney yapılmadan da öngörülebileceğini göstermektedir.

6.4. Bulanık Mantık İle Modellenmiş İnce Agrega İçeriğinin Değerlendirilmesi

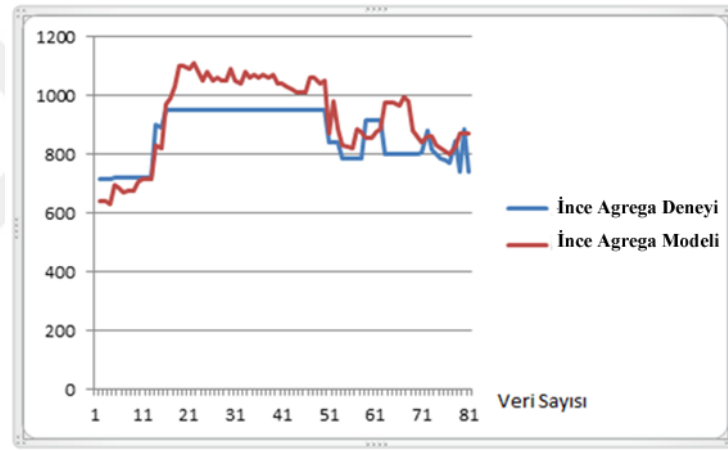
Literatürden alınan verilerle hazırlanan bulanık mantık deneyinde ince agrega içeriği tahmin edilmeye çalışılmıştır. Deneyde kullanılan beton kıvamı, beton basınç dayanımı, maksimum agrega boyutu miktarlarına göre ince agrega içeriği tahmin edilmiştir. Tahmin edilen bu değerlerle literatürdeki verilerle kıyaslanmıştır. Modelden elde edilen değerlerle

literatürdeki deney sonuçlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Tablo 6.4’ de model sonuçları ve deney sonuçları kıyaslanarak hazırlanan regresyon analizi, R^2 ve regresyon denklemi gösterilmektedir.

Tablo 6.4. İnce agrega içeriği bulanık mantık model sonuçları

Çoklu Regresyon değeri	R^2
0,876656	0,768526

Tablo 6.4’ de görüldüğü gibi çoklu regresyon değeri 0,88 ve R^2 değeri 0,78’dir. Regresyon ve R^2 ile değerlendirilen bulanık mantık deney sonuçları ile model sonuçlarının birbiriyle örtüştüğünü göstermektedir.



Şekil 6.4. İnce agrega içeriğinin bulanık mantık tahmini sonuçları ve deney sonuçları

Şekil 6.4’de bulanık mantığın tahmin ettiği sonuçlar ve deney sonuçları gösterilmiştir. Grafik sonuçlarına göre sonuçların birbirine yakın değerler olduğu görülmüştür. Bu durum ince agrega içeriğinin bulanık mantık kullanılarak hesaplanabileceğini ve sonuçlarının deney yapılmadan da öngörülebileceğini göstermektedir.

7. SONUÇ

İnsanların günlük hayatta edindikleri tecrübe ve öğrendikleri bilgileri bir yerlerde düzenli bir şekilde kullanmaları gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Bunun nedeni ise günlük hayatta sözel ifadeler kullanılmasıdır. Sözel ifadelerin net olmaması, belirsizlik içermesi birçok olayın irdelenmesi ve incelenmesini engellemektedir. Böyle bir durumun eksikliği bulanık mantık ile giderilmeye çalışılmıştır. Bulanık mantık insanların günlük işlerinde kullandıkları dili kullanan ve uzman kişiler yardımıyla problemlere çözüm getiren esnek bir hesaplama yöntemidir.

Bulanık mantık kullanılarak çoğu sistem hakkında fikir sahibi olunabilir. Diğer yöntemlere göre daha yeni bir yöntem olmasına rağmen bulanık mantık kullanılmaya başlandığı günden itibaren dikkatleri üzerine çekmeyi başarmış ve gün geçtikçe daha iyi bir konuma gelmiştir. Özellikle bilgiler hakkında daha genel ve kesin olmayan verilerle işlem yapması sistem hakkında daha doğru tespitlerde bulunmasını sağlamıştır.

Bu tez çalışmasında klasik yöntemlerdeki sezgisellikten doğan aksaklıklara ve teorik zayıflıklara bulanık mantık kullanılarak çözüm sunan alternatif bir model önerilmiştir. İnşaat mühendisliği alanındaki veriler kullanılmıştır. İnşaat alanında beton basınç dayanımı ve beton karışımı bileşenleri bulanık mantık kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Akıllı sistemleri kullanarak oluşturulan bu çalışmada değişen problemlere bağlı olarak çözüm yeteneği geliştirilmiştir. Değişen madde ve miktara göre beton karışımının dayanımını önceden tahmin etme ve inşaat sektöründe zaman ve malzeme kaybı yaşamadan akıllı sistemleri kullanılarak süreç hızlandırılmak istenmiştir.

Bu model ile çelik lifli betonların karışım oranlarını ve betonun basınç dayanımını bulanık mantık kullanarak tahmin edilmiştir. Modelde betonun kıvamı, betonun basınç dayanımı, maksimum agrega ve minimum agrega boyutu, çelik lif hacim kesri, çelik lif uzunluğu ve çelik lif çapı deney kümenin girdileri olurken çimento dozajı, su miktarı, iri agrega ve ince agrega içeriği de çıktı olarak kullanılmıştır.

Her bir çıktı için model oluşturulmuştur ve girdi olarak sadece o çıktıyı etkileyenler modele dahil edilmiştir. Literatürden alınan verilerle bulanık mantık modeli tasarlanmıştır. Verilere uygun üyelik fonksiyonları ve bulanık sonuç çıkarma yöntemi kullanılmıştır.

Bulanık mantık beton basınç dayanımı ile ilgili bazı tahminlerde bulunmuştur. Bulanık mantık deney sonuçları ile model sonuçları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Sistemin performansı hakkında bilgi edinmek için Regresyon analizi ve R^2 kullanılmıştır.

Regresyon ve R^2 ile değerlendirilen bulanık mantık deney sonuçları ile model sonuçlarının birbiriyle örtüşmüştür ve birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde çimento miktarı R^2 değeri 0.62, su miktarı R^2 değeri 0.86, iri agrega içeriği R^2 değeri 0.78 ve ince agrega içeriği R^2 değeri 0.76 olduğu görülmüştür. Bu durum beton basınç dayanımı ve beton karışım bileşimini bulanık mantık kullanılarak hesaplanabileceğini ve sonuçlarının deney yapılmadan da öngörülebileceğini göstermektedir. Bulanık mantık sistemle ilgili çıktıları tahmin etmede başarılı olmuştur. Verilerin kontrolleriyle bulanık mantığın betonun basınç dayanımı tahmini için iyi bir potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak beton karışımı ve beton basınç dayanımı bulanık mantık kullanılarak kısa sürede tahmin edilebilmektedir. Bu durum beton özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneysel çalışmalara ek olarak bulanık mantık yönteminin de kullanılabileceğini göstermektedir. Bulanık mantık kullanılarak tahmin edilen veriler ile inşaat alanında hem ekonomik olarak hem de zaman tasarrufundan yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] **Şimşek, O.**, 2009, Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 263s.
- [2] **Erdoğan, S.Y., ve Erdoğan, T.Y.**, 2006, Soru ve Yanıtlarıyla Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 256s.
- [3] **Açıkgenç Ulaş, M., Ulaş, M. Alyamaç K. E.** «Using an Artificial Neural Network to Predict Mix Compositions of Steel Fiber-Reinforced Concrete» 2014
- [4] **Hines. E., Leeson M., Martinez, M.- Pardo, R. M., Llobet, E., Illiescu, D., Yang. J.**, Intellegent Systems:Techniques and Application, 5s.
- [5] **Yılmaz, Atınç.**, 2017. Yapay Zeka.
- [6](<https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/bilisim-bilim-ve-teknoloji/600>).[Erişim Tarihi:5 Nisan 2016]
- [7] **Babalık A.,ve Güler İ.**, 2007. Boğaz Enfeksiyonlarının Teşhis ve Tedavisinde Uzman Sistem Kullanımı. 2007, 11s.
- [8] **Bilge, U.**, Tıpta Yapay Zeka ve Uzman Sistemler, 113s
- [9] **Üstkan, S.**, 2007. Uzman Sistemler Yönlendirilmiş Çalışma. 2007.
- [10]**Öz, E., Baykoç Ö. F.**, Tedarikçi Seçimi Problemine Karar Teorisi Destekli Uzman Sistem Yaklaşımı, 276s
- [11]**Koçak, B. ve Vardar, M.** Yeraltı Kaya Yapılarının Denetimi Ve Yönlendirilmesinde Uzman Sistem Oluşturulması, 44s.
- [12] **Kaya, İ. ve Gözen, Ş.**, Personel Seçim Sürecinde Uzman Sistem Yaklaşımı Ve Konya Büyükşehir Belediyesinde Bir Uygulama, 356S
- [13] **Gündüz, A.**, 2006. Tornalama İşleminde Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Bulanık Mantık Ve Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini. 2006.
- [14] **Öztemel, İ.** Yapay Sinir Ağları.
- [15] **Özsoy, İ, Fırat, M.** 2004. Kirişsiz Döşemeli Betonarme Bir Binada Oluşan Yatay Deplasmanın Yapay Sinir Ağları İle Tahmini. 2004.
- [16] **EMEL, G.G., TAŞKIN,Ç.**, Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları 132S.

- [17] **Uygunoğlu, T. ve Yurtcu, Ş.**, 2006. Yapay Zeka Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2006.
- [18] **Kevran, M.** (2009) Çoklu Sensör Konumlandırma Probleminin Genetik Algoritma İle Çözülmesi
- [19] **Sivanandam, S.N., Sumathi, S. ve Deepa, S.N.** (2007). Introduction To Fuzzy Logic Using Matlab. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- [20] **ALTAŞ, Ğ., H.**, 1999, Bulanık Mantık, Bulanıklık Kavramı, Enerji, Elektrik, Elektromekanik- 3e, Bileşim Yayıncılık A.Ğ., İstanbul, Sayı 62, (1999), S.80-85.
- [21] **Sarıdemir, M.**, 2008. Farklı Agregalarla Üretilmiş Beton Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Ve Bulanık Mantık İle Tahmin Edilmesi.
- [22] **ÜNAL, B.**, Bulanık Fonksiyonlar İle Bulanık Sistem Modelleme, TOBB Ekonomi Ve Teknoloji Ün., (Yayımlanmamış) Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2009.
- [23] **Mamdani, E.H.ve Assilian, S.**, 1975, An Experiment In Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller, International Journal Of Man-Machine Studies, 7, 1-13.
- [24] **Sugeno, M. ve Kank, G.T.**, 1988, Structure Identification Of Fuzzy Model, Fuzzy Sets And Systems, 28, No. 1 15-33. Sugeno, M.,1985, Industrial Applications Of Fuzzy Control. North-Holland, Amsterdam, 269 S.
- [25] **Sen, Z.**, 2004b, Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri, Su Vakfı Yayınları, 191 S.
- [26] **Zadeh, L.A.**, 1965, Fuzzy Set, Information Control, 8 (1), 338-353
- [27] **Zadeh, L.A.**, 1968, Fuzzy Algorithms, Information And Control, 12, No. 2, 94-102.;
- [28] **ELMAS, Ç.**, Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2007
- [29] **AYTAÇ, E.**, Kalite Kontrolünde Bulanık Mantık Yaklaşımı Ve Bir Uygulama, Pamukkale Üniversitesi, (Yayımlanmamış) Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2006
- [30] **Aslangiray, A.**, 2011. İstatistiksel Süreç Kontrolünde Bulanık Mantık Yaklaşımı Ve Bir Uygulama. 2011.

- [31] **Işıkli, Ş.**, Bulanık Mantık Ve Bulanık Teknolojileri, Araştırma Ankara Üniversitesi Dil Ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Felsefe Bölümü Dergisi, Cilt: 19 Sayı: 0, 2008, Sayfa Aralığı: 105-126 S.
- [32] **Karataş, İ.**, 2012. Bulanık Mantık.
- [33] **Çiftçi, H.**, Fuzzy Logic Function Approximation For Some Mathematical Functions, Lisanstezi, Osmangazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Eskişehir, 2002
- [34] **Pehlivan, İ.**, 2001. Bulanık Mantık Kontrolörler Ve Klasik Pıd Kontrolörlerin Karşılaştırılması Ve Bir Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı. 2001.
- [35] **Kıyak, E.**, Bulanık Mantık Yöntemiyle Uçuş Kontrol Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2003.
- [36] **Özkan, A. O.**, 1997. Sıcaklık Ve Nemin Bulanık Mantık Yöntemiyle Kontrolü. 1997.
- [37] **Jang, J. S. R., Sun, C. T. ve Mizutani, E.**, Neuro-Fuzzy And Soft Computing: A Computational Approach To Learning And Machine Itelligence, Prentice Hall, A. B. D., 1996.
- [38] **Akkurt, S., Tayfur, G. ve Can, S.**, 2004, Fuzzy Logic Model For The Prediction Of Cement Compressive Strength, Cement And Concrete Research, 34(8), 1429-1433.
- [39] **Jantzen, J.**, Design Of Fuzzy Controllers, Technical University Of Denmark: Dept. Of Automation, Technical Report No 98-E-864, 27 P.
- [40] **Baykal, N. ve Beyan, T.**, Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri, Birinci Baskı, Bıçaklar Kitabevi, Ankara 2004.
- [41] **Deniz, E.**, Bulanık Mantık Tabanlı Tahmini Modeli Ve Bir Uygulama. 2006.
- [42] **İlkaz, S.:** "Cnc Tornalama İşlemlerinde Kesme Parametrelerinin Bulanık Mantıkla Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye, (2002).
- [43] **Gündüz, A.**, Tornalama İşleminde Oluşan Kesme Kuvvetlerinin Bulanık Mantık Ve Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini. 2006.
- [44] **Sağiroğlu, Ş.; Beşdok, E.; Erler, M.**, "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I", Kayseri, Türkiye, (2003).

- [45] **Yardımcı, A.**, ” Soft Computing İn Medicine”,Applied Soft Computing, 9, 1029-1043 (2009)
- [46] **Yardımcı, A.**” Soft Computing İn Medicine”,Applied Soft Computing, 9, 1028-1042 (2009)
- [47] **Şenol, A.**, Veritabanlarında Genetik Algoritma Ve Bulanık Mantık Tabanlı Esnek Sorgulama. 2013.
- [48] **Pala, O.**, Bulanık Mantık Ve Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. 2013.
- [49]**Zadeh, L.A.** (1988). Fuzzy Logic. Ieee Computer. 21(4): 83-93.
- [50] **Özger, M. Ve Şen, Z.**, 2007, Prediction Of Wave Parameters By Using Fuzzy Logic Approach, Ocean Engineering, 34(3-4), 460-469.
- [51]**Demir, F.**, 2005, A New Way Of Prediction Elastic Modulus Of Normal Ve High Strength Concrete-Fuzzy Logic, Cement Ve Concrete Research, 35(8),1531-1538.
- [52] **Şen, Z.**,1998, Fuzzy Algorithm For Estimation Of Solar İrradiation From Sunshine Duration, Solar Energy, 63(1), 39-49.
- [53] **İnan, G., Göktepe, A.B., Ramyar, K. And Sezer, A.**, 2007, Prediction Of Sulfate Expansion Of Pc Mortar Using Adaptive Neuro-Fuzzy Methodology, Building And Environment, 42(31), 1264-1269.
- [54] **Akbulut, S., Hasiloğlu, A.S. And Pamukçu, S.**, 2004, Data Generation For Shear Modulus And Damping Ratio İn Reinforced Sands Using Adaptive Neuro-Fuzzy İnference System, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 24(11), 805-814.
- [55] **Akyılmaz, O.**, (2005), “Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] **Topçu, İ.B.**, 2006, Beton Teknolojisi, Uğur Ofset A.S., Eskişehir, 570 S.
- [57] **Topçu, İ.B.**, 2006, Yapı Malzemeleri Ve Beton Deneyleri Ve Beton Deneyleri El Kitabı, Şahvar Ofset A.S., Eskişehir, 194 S.
- [58] **Fa-Liang, G.**, 1997, A New Way Of Predicting Cement Strength-Fuzzy Logic, Cement And Concrete Research, 27(6), 883-888.

- [59] **Tigdemir, M., Karasahin M. ve Şen, Z.**, 2002, Investigation Of Fatigue Behaviour Of Asphalt Concrete Pavements With Fuzzy-Logic Approach, International Journal Of Fatigue, 24(8), 903-910.
- [60] **Ünal, O., Demir, F. ve Uygunoğlu T.**, 2007, Fuzzy Logic Approach To Predict Stressstrain Curves Of Steel Fiber-Reinforced Concretes İn Compression, Building Environment, 42(10), 3589-3595.
- [61] **Subramaniam, R.S., Reinhorn, A.M., Riley, M.A. ve Nagarajaiah, S.**, 1996, Hybrid Control Of Structures Using Fuzzy Logic, Microcomputers Civil Eng., 11, 1-17.
- [62] **Symans, M.D. ve Kelly, S.W.**, 1999, Fuzzy Logic Control Of Bridge Structures Using İntelligent Semi-Active İsolation Systems, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 28(1), 37-60.
- [63] **Muthukumar, P., Demirli, K., Stiharu, I. ve Bhat, R.B.**, 2000, Boundary Conditioning For Structural Tuning Using Fuzzy Logic Approach, Computer And Structures, 74(5), 547-557.S
- [64] **Zhao, Z., ve Chen, C.**, 2001, Concrete Bridge Deterioration Diagnosis Fuzzy Inference System, Advances İn Engineering Software, 32(4), 317-325.
- [65] **Wang, A.P. ve Lee, C.D.**, 2002, Fuzzy Sliding Mode Control For A Building Structure Based On Genetic Algorithms, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 31, 881-895.
- [66] **Kişi, Ö., Karahan, M. E. ve Şen, Z.**, 2003, Nehirlerdeki Askı Maddesi Miktarının Bulanık Mantık İle Modellenmesi, İtü Dergisi, Cilt:2, Sayı:3, 43-54.
- [67] **Erdoğan T.Y.** Beton, Ankara, 2003
- [68] **Bedirhanoglu İ.**, Beton Tasarımı.Pdf, 2011
- [69] Ts 706, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980-1985

EK1:Kullanılan veri kümesi

Çimento	Su	Agrega			Çelik Lif			Kıvam	Basınç (Mpa)
		Dmax	İri Agregat	Kum	% Vf	Boy	Çap		
400	180	31,5	1027,19	713,81	0,19	60	0,75	5	44,98
400	180	31,5	1027,19	713,81	0,32	60	0,75	5	45,45
400	180	31,5	1027,19	713,81	0,58	60	0,75	5	46,65
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,26	60	0,75	5	39,26
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,38	60	0,75	6	37,86
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,51	60	0,75	6	39,86
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,32	60	0,9	6	37,50
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,45	60	0,9	6	37,98
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,58	60	0,9	5	38,38
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,38	30	0,55	5	37,27
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,51	30	0,55	5	36,83
350	192,5	31,5	1037,22	720,78	0,64	30	0,55	5	37,29
414	162	19	864	899	0,5	60	0,75	5	57,96
414	162	19	858	893	1	60	0,75	5	60,92
350	175	20	1398,8	952,2	0,5	60	0,9	3	38,99
350	175	20	1398,8	952,2	1	60	0,9	2	45,33
350	175	20	1398,8	952,2	1,5	60	0,9	2	37,15
350	175	20	1398,8	952,2	0,5	60	0,75	1	29,11
350	175	20	1398,8	952,2	1	60	0,75	1	23,49
350	175	20	1398,8	952,2	1,5	60	0,75	1	22,23
350	175	20	1398,8	952,2	0,5	50	0,1	1	18,18
350	175	20	1398,8	952,2	1	50	0,1	1	33,52
350	175	20	1398,8	952,2	1,5	50	0,1	1	39,20
350	175	20	1360,02	952,2	0,5	60	0,9	2	32,13
350	175	20	1360,02	952,2	1	60	0,9	2	38,62
350	175	20	1360,02	952,2	0,5	60	0,75	1	37,57
350	175	20	1360,02	952,2	1	60	0,75	1	40,52
350	175	20	1360,02	952,2	1,5	60	0,75	1	40,87
350	175	20	1360,02	952,2	0,5	50	0,1	1	32,46
350	175	20	1360,02	952,2	1	50	0,1	1	41,33
350	175	20	1360,02	952,2	1,5	50	0,1	1	42,51
350	175	20	1340,63	952,2	0,5	60	0,9	1	35,87
350	175	20	1340,63	952,2	1	60	0,9	1	39,64
350	175	20	1340,63	952,2	1,5	60	0,9	1	37,30
350	175	20	1340,63	952,2	0,5	60	0,75	1	39,02
350	175	20	1340,63	952,2	1	60	0,75	1	36,38
350	175	20	1340,63	952,2	1,5	60	0,75	1	39,51
350	175	20	1340,63	952,2	0,5	50	0,1	1	36,87
350	175	20	1340,63	952,2	1	50	0,1	1	42,38

Çimento	Su	Agrega			Çelik Lif			Kıvam	Basınç (Mpa)
		Dmax	İri Agregat	Kum	% Vf	Boy	Çap		
350	175	20	1340,63	952,2	1,5	50	0,1	1	43,87
350	175	20	1321,24	952,2	0,5	60	0,9	2	37,27
350	175	20	1321,24	952,2	1	60	0,9	2	40,59
350	175	20	1321,24	952,2	1,5	60	0,9	1	41,08
350	175	20	1321,24	952,2	0,5	60	0,75	1	40,28
350	175	20	1321,24	952,2	1	60	0,75	1	41,05
350	175	20	1321,24	952,2	1,5	60	0,75	1	39,97
350	175	20	1321,24	952,2	0,5	50	0,1	1	38,58
350	175	20	1321,24	952,2	1	50	0,1	1	43,31
350	175	20	1321,24	952,2	1,5	50	0,1	1	40,06
396	178	19	913	842	0,33	60	0,75	4	59,60
396	178	19	913	842	0,67	60	0,75	2	60,50
396	178	19	913	842	0,33	60	0,71	4	56,90
487	170	19	850	785	0,33	60	0,75	4	71,50
487	170	19	850	785	0,67	60	0,75	4	71,90
487	170	19	850	785	0,33	60	0,71	4	74,90
487	170	19	850	785	0,67	60	0,71	3	71,30
487	170	19	850	785	1	60	0,71	1	73,00
351,1	175,55	22	994,7	914,8	0,26	50	1	6	34,34
351,1	175,55	22	994,7	914,8	0,45	50	1	6	34,43
410	185	20	866	915	0,5	50	1	4	52,00
410	185	20	866	915	1	50	1	4	50,00
373	168	14	975	800	0,51	60	1	5	41,23
373	168	14	975	800	0,51	54	1	5	40,85
429	150	14	975	800	0,51	60	1	5	41,79
429	150	14	975	800	0,51	54	1	5	43,97
392,53	150	14	975	800	0,51	60	1	4	54,72
392,53	150	14	975	800	0,51	54	1	4	57,29
392,53	150	14	975	800	0,51	60	1	5	67,62
392,53	150	14	975	800	0,51	54	1	4	62,60
375	167	14	982	805	0,51	60	1	5	40,10
431	123	14	893	882	0,49	60	1	4	50,60
439	151	14	998	818	0,52	60	1	5	49,40
380,64	123	14	855	856	0,47	60	1	6	66,50
366	164	14	957	785	0,49	54	1	5	38,20
419	145	14	952	781	0,49	54	1	5	42,30
377,895	144	14	939	771	0,49	54	1	5	48,60
413,58	134	14	846	845	0,73	60	1	6	63,70
381,555	149	14	902	743	0,72	60	1	6	51,10
405,345	131	14	885	885	0,75	54	1	5	69,60
373,32	145	14	903	741	0,71	54	1	6	50,90

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta, lise ve üniversite eğitimini Elazığ' da yaptı. Yabancı Dil Ağırlıklı bir lise olan Gazi Lisesinden 2007 yılında mezun olduktan sonra Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliğinden 2012 yılında mezun oldu. 2010 yılında lisans eğitimi stajını Fırat Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığında, 2011 yılında lisans eğitim stajını Elazığ Eğitim ve Araştırma Hastanesi Bilgi İşlem Bölümünde yaptı. 2013 yılında Milli Eğitim Bakanlığında Bilişim Teknolojileri Öğretmeni olarak göreve başladı. Halen Şanlıurfa GAP Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi 'nde Bilişim Teknolojileri öğretmeni olarak görev yapmaktadır.