



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0197

ENGINEERING SCIENCES

Received: July 2011
Accepted: October 2011
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2010 www.newwsa.com

**Cengiz Özel
Hasan Polat**

Suleyman Demirel University
cengizozel@sdu.edu.tr
polat000@hotmail.com
Isparta-Turkey

**POLİPROPİLEN FİBER İÇEREN BETONLARININ ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN BULANIK MANTIK
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada polipropilen fiber katkı miktarının betonun fiziksel (birim hacim ağırlık, hava içeriği) ve mekanik özelliklere (basınç dayanımı ve elastisite modülü) etkisi araştırılmıştır. Üç farklı çimento dozajında (350,400 ve 450 kg/m³) hazırlanan karışımlara farklı miktarlarda polipropilen fiber (0, 300, 600, 900, 1200 gr/m³) ilave edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; fiber miktarının artmasıyla hava içeriği artmakta, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri azalmaktadır. Yine çimento dozajı, fiber miktarı ve hava içeriğine göre bulanık mantık kullanılarak geliştirilen model ile elastisite modülü tahmin edilmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar ve standartlar tarafından önerilen analitik formüllerden elde edilen elastisite modülü değerleri ile deneyden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Sonuç olarak standartlar tarafından önerilen analitik yaklaşımlar fiber içeren betonların elastisite modülünü belirlemede yetersiz kalmış, en iyi sonuç bulanık mantık tarafından geliştirilen modelden elde edilmiştir (R²=0.988). Fiberli betonlar için yeni analitik yaklaşımlar geliştirilmesi gerektiği ve bulanık mantığın fiberli betonların özelliklerini tahmin etmede başarılı bir şekilde kullanılacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Polipropilen Fiber, Bulanık Mantık,
Elastisite Modülü

**PREDICTION OF ELASTIC MODULUS OF POLYPROPYLENE FIBER CONTAINING CONCRETE BY
FUZZY LOGIC**

ABSTRACT

In this study, the amount of polypropylene fiber was investigated that effect to physical (unit weight, air content) and mechanical (compressive strength and modulus of elasticity) properties of concrete. The different amounts of polypropylene fiber (0, 300, 600, 900, 1200 gr/m³) to prepared mixtures in three different cement dosage (350, 400 and 450 kg/m³) were added. According to experimental results, unit weight, compressive strength and modulus of elasticity decreases while the air content increases depend on the amount of fiber. Estimation model of the modulus of elasticity from the cement dosage, fiber content and air content is developed by using fuzzy logic. Also, It was investigated that relationships between experimental results with model results or analytical equations that proposed by the standards. As a result, proposed approaches by standards have been inadequate in determining modulus of elasticity of the fiber containing concrete, the best results were obtained from fuzzy logic model (R² = 0,988). It should be developed the new analytic equations for fiber containing concrete and fuzzy logic is used successfully to predict the properties of fiber concrete are usable.

Keywords: Concrete, Polypropylene Fiber, Fuzzy Logic,
Modulus of Elasticity

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda beton teknolojisinde gelişmeye paralel olarak betondan beklenen performans özellikleri de artmıştır. Betondan beklenen bu performans özelliklerinin geliştirilmesinde karışımda kullanılan temel bileşenlerin (agrega, bağlayıcı -çimento- ve su) kalitesinin arttırılmasının ve karışım oranlarının optimizasyonunun yanı sıra karışımlarda ilave olarak kullanılan katkı maddelerinin katkısı göz ardı edilemez. Beton katkı maddeleri betonu oluşturan temel malzemelere ilave olarak beton özelliklerini kontrol etmek ve geliştirmek için karışıma ilave edilen kimyasal, mineral ve fiber malzemeler olarak gruplandırılır. Kimyasal katkılar TS EN 934-2'ye göre [1], betonda su azaltmak/akışkanlaştırmak, su tutmak (terlemeyi önlemek), hava sürüklemek, geçirimsizliği arttırmak, viskozite veya priz gibi özellikleri düzenlemek amacıyla betona katılan ve sıvı halde bulunan organik veya inorganik katkı maddelerdir. Mineral katkı maddeleri doğal ya da yapay olarak elde edilen (silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) puzolonik özelliklerinin yanı sıra inceliklerinden dolayı betonda filler malzeme olarak da kullanılan katkı maddeleridir.

Yüksek performanslı betonlarda ortaya çıkan en büyük problem betonun gevrek (kırılgan) bir davranış göstermesidir. Gevreklik nedeniyle betonun enerji emme yeteneği azalmakta, yangına karşı dayanıksızlığı artmaktadır. Yüksek performanslı betonların bu olumsuz özelliklerini yok etmek için betona çeşitli miktar ve tiplerde lif (fiber katkı maddeleri) katılması yoluna gidilmiştir [2]. Fiber katkılar, fiberin özelliğine göre, betonun eğilme ve tokluk gibi özellikleri geliştirmek betondaki rötrenin azaltılması, betonda oluşan mikro-makro çatlakların oluşmasının ve ilerlemesinin önlenmesi amacıyla betona katkı maddeleridir [3, 4 ve 5].

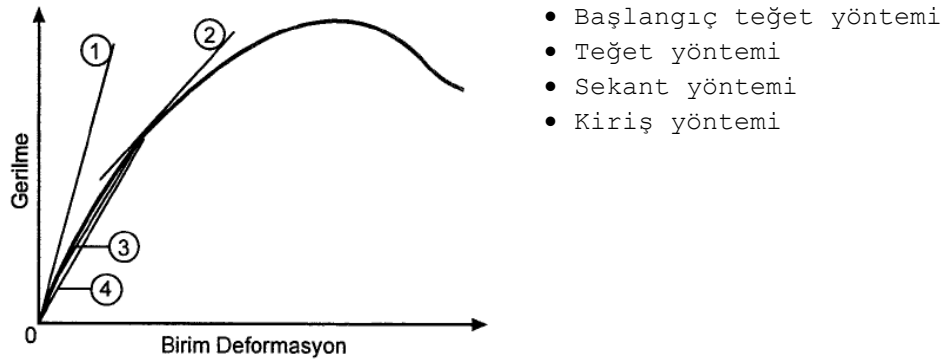
Fiber katkılı betonlar üzerinde yapılan çalışmalarda bazı araştırmacılar yüksek performanslı fiber katkılı betonlar hem fiziksel hem de kimyasal etkilere karşı normal betonlara kıyasla daha iyi bir dayanıklılığa sahip olduğunu belirtse de [6], birçok araştırmacı beton basınç dayanımı (BD) üzerine önemli bir katkısı olmadığını buna karşılık betonun çekme, eğilme mukavemetini arttırdığını, rötrenin ve büzülme çatlaklarında genel olarak azalmalara sebep olduğunu, betonun terleme miktarını azalttığını, aşınma ve darbe direncini arttırdığını belirtmişlerdir [7, 8 ve 9]. Bu değişik bulguların temel nedeni kullanılan fiber katkılarının boy, çap (veya geometrileri), kullanım oranı ve malzeme kökenlerinin (cam, çelik, polimer vb.[10]) farklılık göstermesidir. Betonda fiber katkı kullanılmasıyla genel olarak betonda oluşabilecek performans değişim oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Fiber katkılı betonlarda bazı özelliklerin değişim oranı [11]
(Table 1. The change rates of some properties on fiber containing concrete [11])

Özellik	Değişim oranı (%)
Tokluk	100 ~ 1200
Çarpma dayanımı	100 ~ 1200
İlk çatlak dayanımı	25 ~ 100
Eğilmede çekme dayanımı	25 ~ 200
Çekme dayanımı	25 ~ 150
Yorulma dayanımı	50 ~ 100
Şekil değiştirme oranı	50 ~ 300
Basınç dayanımı (BD)	-25 ~ 25
Kavitasyon/Erozyon direnci	200 ~ 300
Elastisite modülü (EM)	-25 ~ 25
Sehim	20 ~ 500

Betonun mekanik özelliklerinin bilinmesi, betonarme elemanların tasarımı aşamasında oldukça önemlidir. Bu özelliklerin en önemlilerinden bir tanesi de betonun Elastisite Modülü'dür (EM). EM, betonun davranışında özellikle eğilme etkisindeki elemanlarda BD kadar etkili olmaktadır [12]. Özellikle elastik hesaplamaların dikkate alındığı yapısal tasarımlarda şekil ya da yer değiştirmelerin belirlenebilmesi için betonun EM'nün bilinmesi gerekir. Değişik yükler altında şekil değiştirebilen bir yapıya sahip bütün malzemeler gibi beton da üzerine gelen yükün tipinden, büyüklüğünden ve süresinden etkilenecek belirli ölçüde şekil değiştirme ya da başka bir deyişle deformasyon gösterir [13].

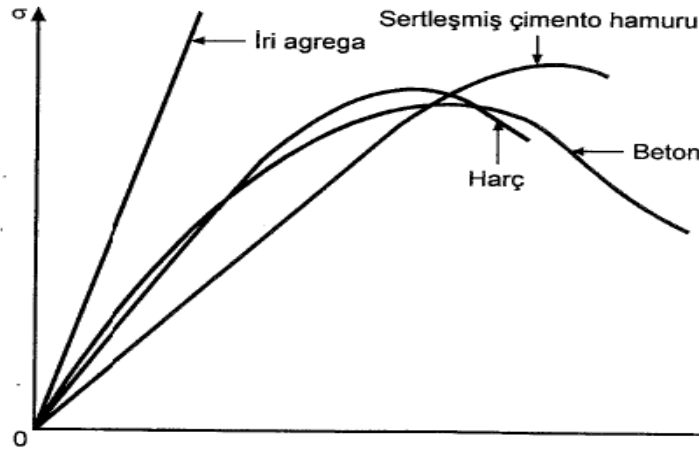
Betonun elastiklik modülünü belirleyebilmek için betonun " σ - ϵ " ilişkisi sanki doğrusal bir ilişkiymiş gibi kabul edilmekte ve gerçek olan eğriyi temsil ettiği varsayılan böyle bir doğru çizginin eğimi ile hesaplanabilmektedir. Bu amaçla Şekil 1'de gösterilen dört değişik yöntemden birisi kullanılır [14].



Şekil 1. Betonun elastiklik modülünün belirlenmesinde kullanılan yöntemler [14]

(Figure 1. Used methods for determination of elastic modulus of concrete [14])

Betonun dayanımı betonu oluşturan malzemelerin dayanımından daha az olmakla birlikte (Şekil 2), betonun σ - ϵ eğrisinin kuyruk kısmının bileşenlerine göre daha fazla olması, betonun bileşenlerine göre sünek bir malzeme gibi davranış gösterdiğini belirtmektedir. Uygulanan kuvvet sonucu oluşan çekme gerilmeleri betondaki katı parçacıkların arasının açılmasına yol açmakla birlikte, kayma yüzeyi hemen ayrılma göstermemektedir. Parçacıklar arasındaki adezyonun kopması sonucunda parçacıklar başka parçacıklarla yeni bir adezyona girmekte böylece kayma olayı aniden oluşmamaktadır [14].



Şekil 2. Beton ve betonu oluşturan malzemelerin σ - ϵ eğrileri [14]
(Figure 2. σ - ϵ curves of concrete and concrete components [14])

Betonun basınç, eğilme, yarma dayanımı gibi mekanik özellikleri kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilirken, EM'nün belirlenebilmesi için ilave cihaz (deformasyon ölçümleri) ve hesaplamalar yapılması gereklidir. Bu nedenle pratikte betonun EM'ü, betonun BD ve/veya birim ağırlığını içeren bağıntılarla belirlenmektedir. Farklı standartlar tarafından önerilen bazı bağıntılar Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. EM'nün belirlenmesinde kullanılan bazı eşitlikler
(Table 2. Some of the equations used to determine the elasticity modulus)

ACI 318-95 [12]	$E_c = 4.73 (\sigma)^{1/2}$
TS 500 [12]	$E_c = 3.25 (\sigma)^{1/2} + 14$
CEB 90 [12]	$E_c = 10 (\sigma + 8)^{1/3}$
NS 3473 [12]	$E_c = 9.5 (\sigma)^{0.3}$
ACI 363 [12]	$E_c = 3.32 (\sigma)^{1/2} + 6.9$
BSI [15]	$E = 9100 (\sigma)^{1/3}$
CI 318-92 [15]	$E = 0.043 \omega^{3/2} \sigma^{1/2}$

E_c = Elastisite Modülü (GPa) ω = Birim Ağırlık (kg/m^3)
 σ = Basınç Dayanımı (MPa),

Ancak bu bağıntılar genellikle katkısız normal betonlar için geliştirilmiştir. Özellikle lifli betonlarda maksimum gerilmeye ulaşan bir lif, artan birim deformasyon nedeniyle gerilmeyi başka liflere aktarabilmektedir [14]. Bu nedenle lifli betonlardan elde edilen sonuçlar için yanıltıcı olabilir.

Bu nedenle bu çalışmada fiber içeren betonların deneysel olarak elde edilen EM değerlerinin çimento dozajı, hava içeriği ve fiber miktarına bağlı olarak bulanık mantık kullanılarak belirlenebilmesi amaçlanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada farklı çimento dozajındaki betonlarda polipropilen fiber oranına bağlı olarak hava içeriği, BD ve EM değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen deneysel parametrelerden çimento dozajı, fiber oranı ve hava içeriğine bağlı olarak EM değerlerinin önceden tahmini için bulanık mantık kullanılarak model geliştirilmiştir.

Deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerleri ile modelden elde edilen ve bazı standartlar tarafından önerilen analitik formüllerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

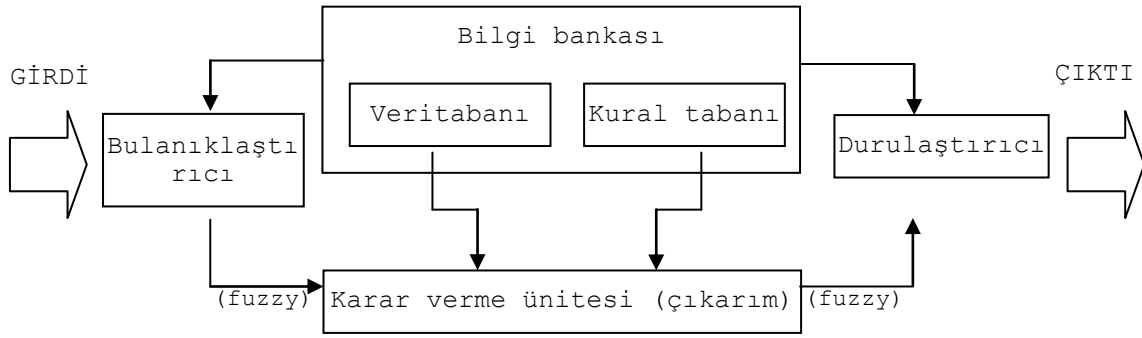
3. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC)

Son yıllarda beton ve yapı sektöründe "Sezgisel" (Heuristics) metotların ve yapay zeka tekniklerinin kullanımı hızla artmaktadır. Bu metot ve teknikler kullanılarak oldukça başarılı tahmin ve modellemeler geliştirilmektedir. Bulanık mantık (fuzzy logic "FL") en önemli sezgisel metotlardan biridir. Fuzzy ilk olarak Zadeh [16] tarafından Ariston'nun ikili mantığının yerine yeni bir matematiksel yöntem olarak ileri sürülmüştür. Bu yöntem, "kısa adam", "güzel kadın" veya 1'den daha büyük gerçek sayılar" gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlamıştır. O zamandan günümüze, bulanık kümeler kuramı hem Zadeh'in kendisi, hem de sayısız araştırmacı tarafından hızlı bir biçimde geliştirilmiş ve oldukça geniş bir bilimsel alanlarda başarılı bir şekilde uygulanmıştır [17 ve 24].

FL sistemlerin ve modellerin tanımlanmasında ve kontrol edilmesinde geniş çapta kullanılan bir sistemdir [25]. Bulanık modeller, değişkenler arasındaki ilişkileri kurallar yardımıyla tanımlamaya yarar. Bulanık modellerin kapalı kutu modellerden (sinir ağları, genetik algoritmalar gibi) en önemli farkı; sistem tanımlamayı basitleştirmesi ve saydam analizler yapılmasına olanak tanınmasıdır [26].

FL kavramı rastgele değişkenlerin varlığından daha ziyade kesin tanımlanmış kriterlerin bulunmadığı, belirsizlik kaynaklarındaki problemlerle ilgili doğal bir çözüm yolu sağlar. FL yaklaşım ilgili olayların kontrol mekanizmasında önemli rol oynayan sözel belirsizlikleri dikkate alır. Burada belirsizlikler sayısal verilere dayanan rastgele, olasılık veya stokastik değişkenler anlamına gelmemektedir [26]. "Olasılık" ta olayların oluşum şartları, oluşum olasılığı söz konusu iken "belirsizlik" de oluşum dereceleri ve içerdiği yaklaşıklık ifade edilmektedir [12]. Zadeh çalışmasında, insan düşüncesindeki temel unsurların numaralarlardan değil belirsizlik seviyelerinden oluştuğunu ileri sürmüştür [27].

FL modelleme sayısal test sonuçları açısından sonuçlar uygun görünmesine rağmen, kurallar kümesi aracılığı ile oluşan bağlantı ve üyelik fonksiyonları (membership functions "MFs") açısından girdi ve çıktı değişkenleri ile ilgili fiziksel yapılandırma gerektirir. Bulanık çıkarım sistemleri (Fuzzy inference systems "FIS"), FL ve sözel bulanık kurallar yardımıyla lineer olmayan davranışların tanımlanması için kullanılan araçlardır. FIS kesin nicel analizler olmaksızın gerçekleşen süreçleri ve insan bilgisinin nitel yönleri ile modellenebilen "EĞER-İSE" (IF-THEN) bulanık kurallarını kullanır. Bulanık önermeler, yani EĞER-İSE ifadeleri, bir sistemin durumunu tanımlamak için kullanılır ve önermenin doğruluk değeri sistemin doğru çalışmasının ölçüsüdür [27]. FIS için "Mamdani" ve "Sugeno" olmak üzere iki ana yaklaşım vardır. "maksimum-minimum" FIS kuralları, Mamdani yaklaşımında uygulanır ve sonuçlar bulanık küme olarak görülür. Mamdani sitili dört adımda gerçekleştirilir ve kullanılır (Şekil 3): girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması, kural değerlendirilmesi, çıkarım motoru (veya kural çıkışıların toplaması) ve son olarak durulaştırma'dır [28].

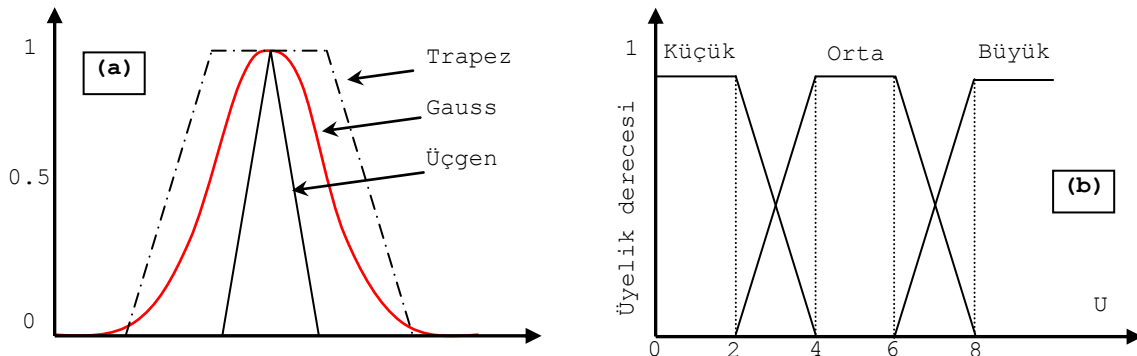


Şekil 3. Bulanık çıkarım sistemi [28]
(Figure 3. Fuzzy inference system [28])

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılırken FL sistemlerde ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın çıkarım ünitesi, bulanık kümeler içinde haritalanır. Durulaştırma esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Seçilen sonuç değeri çoğunlukla ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir [29].

Üyelik fonksiyonları, değişken olarak tanımlanan sürekli evrendeki söylemin normal ve konveks bulanık dizilimidir. Şekil 4a'da en yaygın kullanımı bulunan üçgen, trapez ve Gauss şekilli üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Bir sözel değişken, bir üyelik fonksiyonu değeri olan değişken olarak kabul edilebileceği gibi üyelik fonksiyonları sözel terimlerle yakın ilişkisi olmayan sayısal değişkenleri de temsil edebilir [30].

FL'de ana fikir bir bütünden daha ziyade farklı alt kümelerinin bir kısmına ait olan bilgileri de hesaba katmaktır. Kurulumun bir kısmına aitlik, 0 ile 1 arasını kapsayan varsayılan değerlerin oluşturduğu üyelik fonksiyonu tarafından sayısal olarak tanımlanabilir. Örneğin Şekil 4b'de boyut sınıflaması (U), küçük, orta ve büyük için üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. Ölçümler net miktar olarak yapılsa bile bulanıklaştırılabilir. Eğer ölçümlerin kesin olmamasından dolayı belirsizlik ortaya çıkarsa, o zaman değişken zaten bulanıktır ve üyelik fonksiyonu tarafından temsil edilebilir [26].

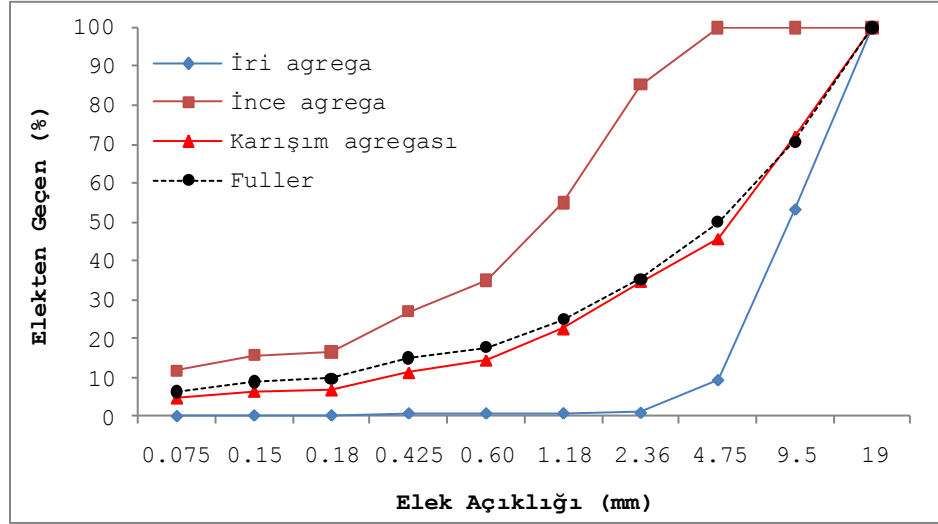


Şekil 4. Tipik bulanık üyelik fonksiyonu (a) [30] ve bulanık altküme (b) [26]
(Figure 4. Typical fuzzy membership functions (a) [30] and fuzzy subsets (b) [26])

Mamdani metodu uzman bilgi elde edilmesi için yaygın olarak kullanılır. Mamdani sezgisel ve insansı bir şekilde uzmanlık tanımlamasına imkan vermesine karşılık, Mamdani tipi FIS önemli bir hesaplama yükü getirir. Diğer taraftan Sugeno metodu, özellikle dinamik lineer olmayan sistemler ve kontrol problemlerinde çok etkili olan optimizasyon ve uyarlanabilir tekniklerle uyumlu çalışır ve hesaplamada etkilidir [31].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Çalışmada kullanılan agregaların granülometrik değerleri Şekil 5'de [32], bazı fiziksel özellikleri ise Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 5. Agregaların ve karışımın gradasyon eğrileri [32]
(Figure 5. Grading curves of aggregates and mixture [32])

Tablo 3. Agregaların fiziksel özellikler
(Table 3. Physical properties of aggregates)

Agrega türü	Yoğunluk (gr/cm ³)			Su Emme (%)	İncelik Modülü
	Görünür	Etüv kuru	Doygun kuru yüzey		
İnce agrega [33]	2.71	2.66	2.68	1.005	6.3
İri agrega [34]	2.70	2.63	2.65	0.565	2.8
Karışım					4.9
Fuller					4.8

Yapılan çalışmada CEM I 42.5 R çimento kullanılmıştır. TS EN 196-1 [35], TS EN 196-3 [36] ve TS EN 197-1 [37]'e göre belirlenen çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler sırasıyla Tablo 4 ve 5'de verilmiştir.

Tablo 4. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri
(Table 4. Physical and mechanical properties of cement)

Basınç Mukavemeti (MPa)		Eğilme Mukavemeti (MPa)		Priz başlama (dakika)	Priz sona erme (dakika)	Le Chatelier (mm)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
2 günlük	28 günlük	2 günlük	28 günlük					
25.2	51.0	4.3	7.8	150	200	1	3.18	3470

Tablo 5. Çimentonun kimyasal özellikleri (% ağırlık)
(Table 5. Chemical properties of cement (% by weight))

Toplam SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl ⁻	Kızdırma kaybı	Serbest CaO
20.12	4.33	3.45	64.93	1.47	2.39	0.005	2.72	1.45
C ₃ S		C ₂ S		C ₃ A		C ₄ AF		
67.69		5.47		5.63		10.50		

Kullanılan polipropilen fiber lifin ortalama boyu 12 mm ve çapı ise 18 mikron'dur. Diğer özellikleri ise Tablo 6'da verilmiştir.

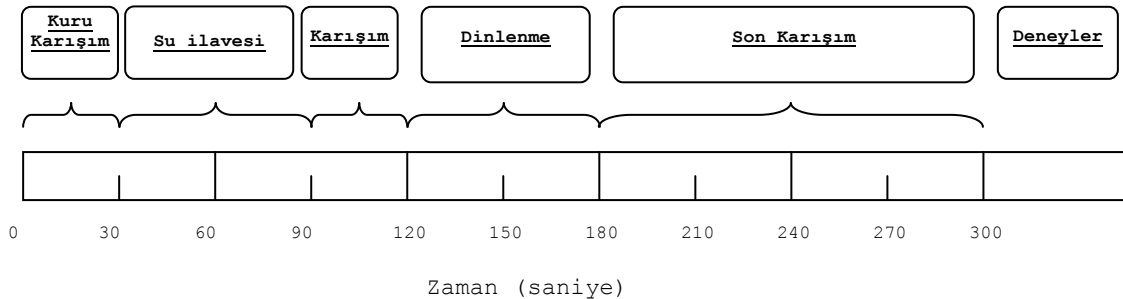
Tablo 6. Polipropilen fiber katkının özellikleri [38]
(Table 6. Properties of polypropylene fiber admixtures [38])

Özgül Ağırlık	Ergime Noktası	Tutuşma Sıcaklığı	Özgül Yüzey Alanı	Alkali Direnci	Çekme Dayanımı	Elastiklik Modülü
0.91 g/cm ³	160 °C	365 °C	250 m ² /kg	%100	300 - 400 N/mm ²	~ 4000 N/mm ²

Daha önceki çalışmalarımızda [39] 300 dozlu karışımlarda veya 0.50 s/ç oranının altındaki karışımlarda segregasyon oluşumu gözlemlendiği için s/ç oranı 0.50 ve en küçük çimento dozajı 350 kg/m³ olarak seçilmiştir. Üretilen betonlar için üç farklı çimento dozajı 350, 400 ve 450 kg/m³ kullanılmıştır. Her bir çimento dozajında üretilen betona sırasıyla 0-300-600-900-1200 gr/m³ olacak şekilde polipropilen fiber katkı sıra ile ilave edilmiştir.

Beton karışımlarının hazırlanmasında 50 lt etkili kullanım kapasiteli (toplam kapasite 60 lt) düşey eksenli cebri karıştırıcı mikser kullanılmıştır.

Karılma işlemi Şekil 6'da gösterildiği gibi, 30 sn kuru (iri agrega, ince agrega, bağlayıcı madde), 90 sn ıslak karışım (ilk 1 dk'da su ilavesi), 60 sn dinlenme ve 120 sn son karışım olmak üzere toplam 300 sn'de (5 dk) yapılmıştır.



Şekil 6. Betonun karılma işlem aşamaları [39]
(Figure 6. Steps of mixing procedure of concrete [39])

Taze betonun yoğunluk tayini TS EN 12350-6'ya göre [40] ve taze betonda hava içeriği tayini TS EN 12350-7'e göre [41] yapılmıştır. Hazırlanan her karışımdan BD için 150 mm küp kalıplara, EM'nün tayini için 150x300 mm ebatlı silindir kalıplara alınan numuneler ASTM C511 [42]'e göre kür edilmiştir. BD, ASTM C39 [43]'e göre ve EM deneyi ASTM C469 [44]'e göre yapılmıştır. EM belirlenirken basınç dayanımı değerlerinin %40'ına karşılık gelen gerilme değerine kadar yükleme yapılmış ve sekant modülü metoduna göre belirlenmiştir. 1 m³ beton için karışım bileşenleri Tablo 7'de verilmiştir.

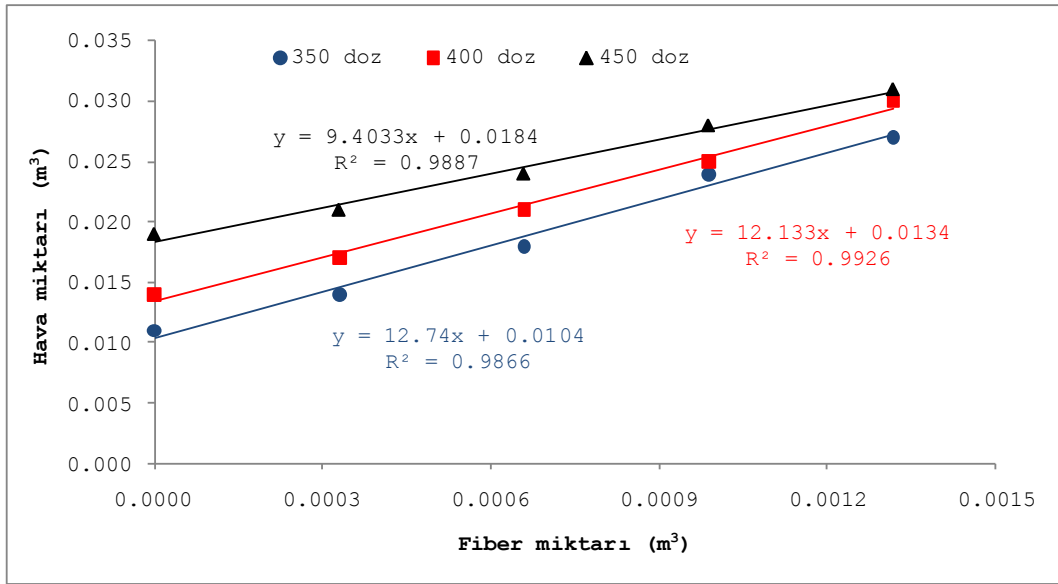
Tablo 7. 1 m³ beton için karışım bileşenleri
(Table 7. Components of the mixture for concrete of 1 m³)

Karışım No	Çimento (kg)	İri agrega (kg)	İnce agrega (kg)	Fiber (kg)	Su (kg)	Toplam (kg)
1	350	1127.7	760.3	0	175	2413.0
2	350	1122.4	756.7	0.3	175	2404.3
3	350	1115.4	752	0.6	175	2393.0
4	350	1105.3	745.1	0.9	175	2376.3
5	350	1100.0	741.5	1.2	175	2367.7
6	400	1057.7	713.0	0	200	2370.7
7	400	1052.3	709.4	0.3	200	2362.1
8	400	1045.4	704.8	0.6	200	2350.8
9	400	1038.5	700.1	0.9	200	2339.4
10	400	1029.9	694.3	1.2	200	2325.4
11	450	984.4	663.6	0	225	2323.1
12	450	980.7	661.1	0.3	225	2317.1
13	450	975.3	657.5	0.6	225	2308.5
14	450	968.4	652.9	0.9	225	2297.2
15	450	963.1	649.3	1.2	225	2288.5

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE MODEL KURULUMU (EVALUATION OF TEST RESULTS AND MODEL SETUP)

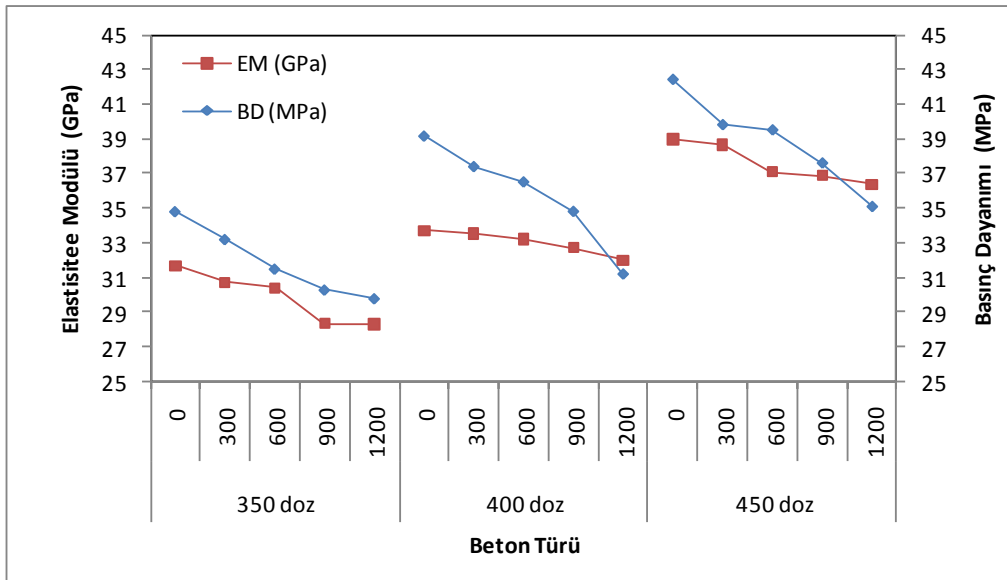
Üretilen betonlardan elde edilen deney sonuçları Şekil 7-10'da verilmiştir.

Elde edilen taze beton sonuçlarına göre (Şekil 7) çimento dozajı arttıkça beton içerisindeki hava hacmi de artmıştır. Ancak fiber miktarının artışı göz önüne alındığında, çimento dozajı arttıkça fiber miktarına bağlı hava içeriği artış oranı azalmaktadır.



Şekil 7. Fiber miktarı ve çimento dozajına bağlı olarak hava içeriğinin değişimi
(Figure 7. Changes of air content depend on the amount of fiber and cement dosage)

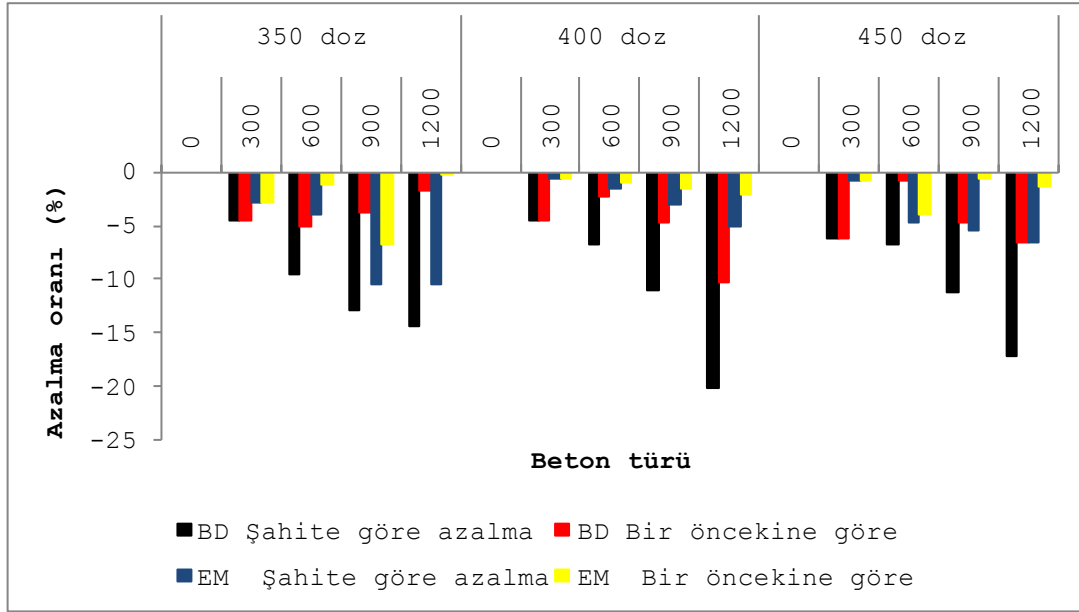
Sertleşmiş beton deney sonuçları incelendiğinde, tüm serilerde fiber kullanım oranı arttıkça BD ve EM değerlerinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 8). Bu azalmanın nedeni Şekil 7'de görüldüğü gibi hava içeriği artışına bağlı olabilir. Ancak azalma oranlarına bakıldığında hava içeriği, çimento dozajı ve fiber miktarı ile ilişki kurulamamıştır.



Şekil 8. BD ve EM değişimleri
(Figure 8. Changes of the compressive strength (CS) and the modulus of elasticity (EM))

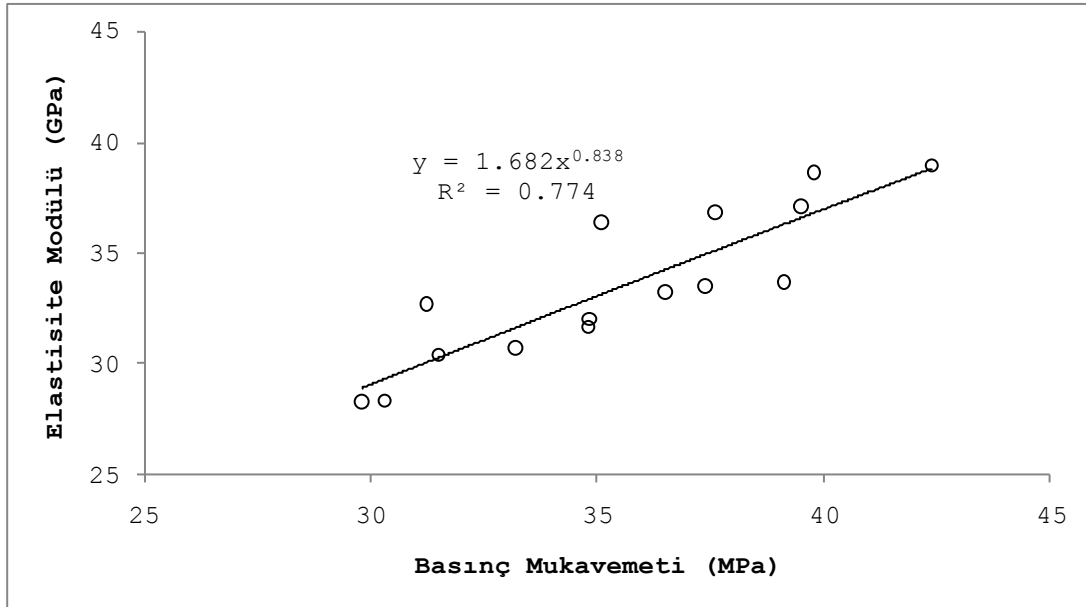
Fiberin kullanıldığı betonlardaki fiber katkısız betonlara göre en fazla azalma oranı sıralaması; BD için 400 dozlu betonlarda (%20.23) > 450 dozlu betonlarda (%17.22) > 350 dozlu betonlarda

(%14.37), EM için ise 350 dozlu betonlardan (%10.59) > 450 dozlu betonlardan (%6.64) > 400 dozlu betonlardan (%5.04) elde edilmiştir (Şekil 9).



(Şekil 9. BD ve EM değerlerindeki değişim oranları)
(Figure 9. The rate of change in the CS and EM values)

BD ve EM arasındaki ilişkiler ise Şekil 10'da verilmiştir. Bu ilişki kurulurken X eksenine bağlı (basınç dayanımına) ilişki düzeyleri araştırılmış ve en yüksek determinasyon katsayısı üstsel fonksiyondan elde edilmiştir ($R^2 = 0.774$).



Şekil 10. BD ve EM arasındaki ilişki
(Figure 10. Relationship between CS and EM)

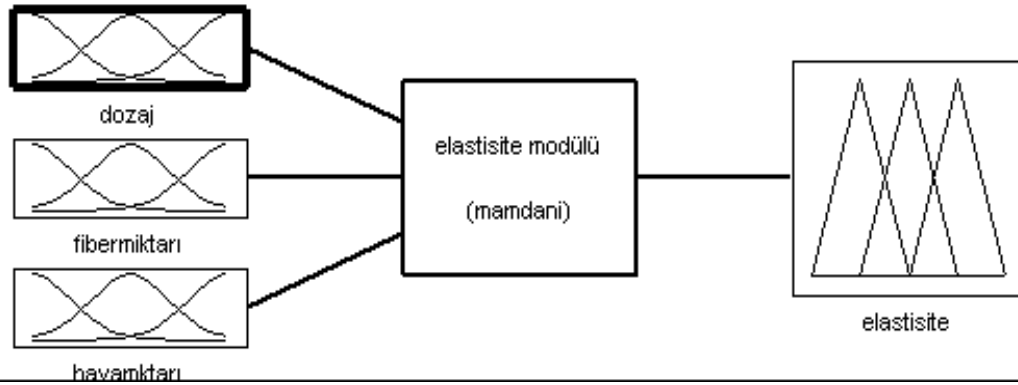
Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak EM'nün tahmini için bulanık mantık (fuzzy) modeli kurulmuştur. Model kurulduğunda çimento

dozajı, hava içeriği ve fiber miktarına bağlı olarak EM tahmin edilmiştir. Model kurulurken kullanılan deney sonuçları Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar
(Table 8. Experimental results obtained from tests)

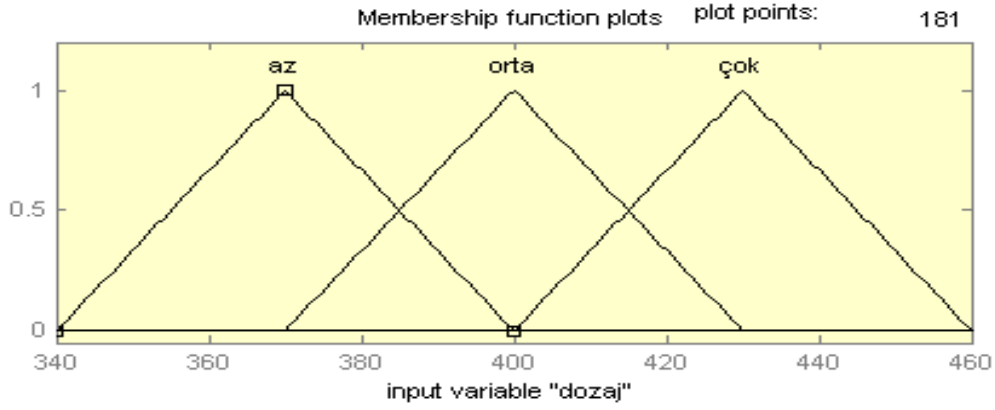
Karışım No	Hava Miktarı (%)	Basınç Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
1	1.1	34.8	31.666
2	1.4	33.2	30.733
3	1.8	31.5	30.399
4	2.4	30.3	28.32
5	2.7	29.8	28.313
6	1.4	39.1	33.718
7	1.7	37.4	33.529
8	2.1	36.5	33.225
9	2.5	34.8	32.703
10	3.0	31.2	32.017
11	1.9	42.4	38.968
12	2.1	39.8	38.653
13	2.4	39.5	37.096
14	2.8	37.6	36.871
15	3.1	35.1	36.381

Modelde dozaj miktarı, fiber miktarı ve hava miktarı girdi parametresi; EM çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Şekil 11'de modelin genel yapısı görülmektedir.

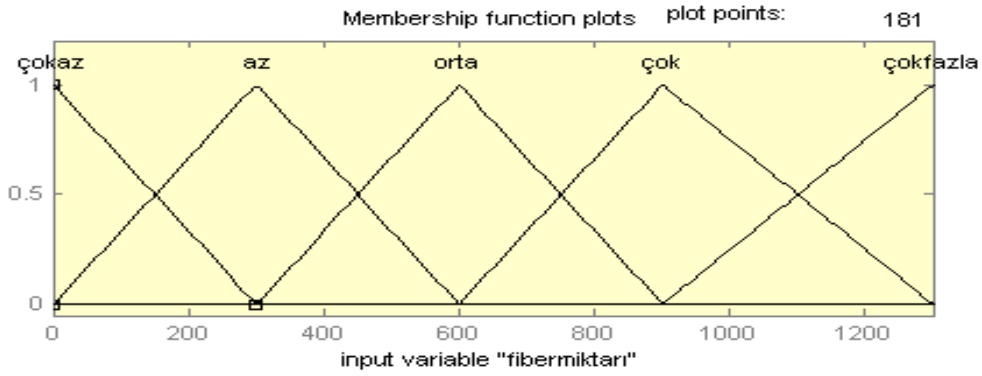


Şekil 11. Geliştirilen modelin genel yapısı
(Figure 11. The overall structure of the developed model)

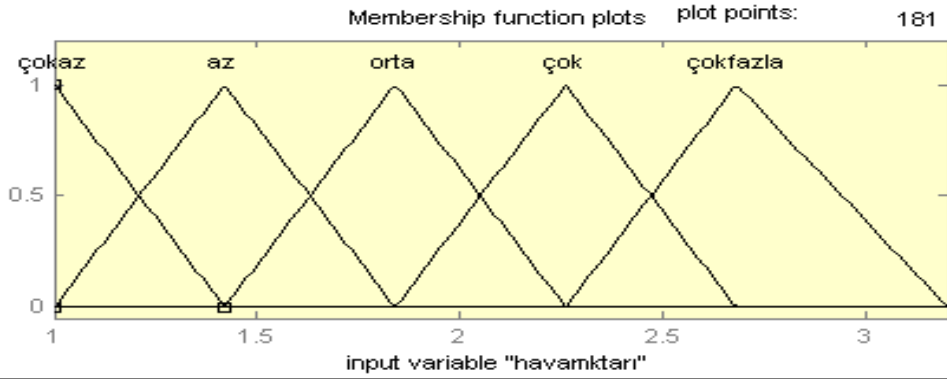
Modellemede girdi parametresi olarak üç çeşit dozaj miktarı kullanıldığından dozaj miktarı 3, (az, orta, çok) fiber miktarı 0 (şahit) 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 kg olarak kullanılmış ve buna bağlı olarak 5, (çok az, az, orta, çok, çok fazla) hava miktarı da 5, (çok az, az, orta, çok, çok fazla), çıktı parametresi olarak elastisite modülü (11 parametre) tanımlanmıştır. Girdiler ve çıktıya ait üyelik fonksiyonları verilmiştir (Şekil 12-15).



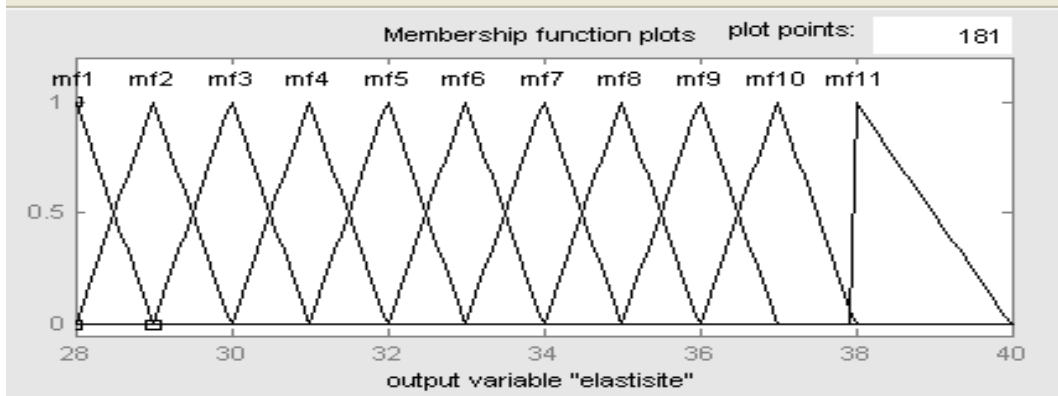
Şekil 12. Çimento dozajına ait üyelik fonksiyonları
(Figure 12. Membership functions of the cement dosage)



Şekil 13. Fiber miktarına ait üyelik fonksiyonları
(Figure 13. Membership functions of the amount of fiber)



Şekil 14. Hava miktarına ait üyelik fonksiyonları
(Figure 14. Membership functions of the amount of air)

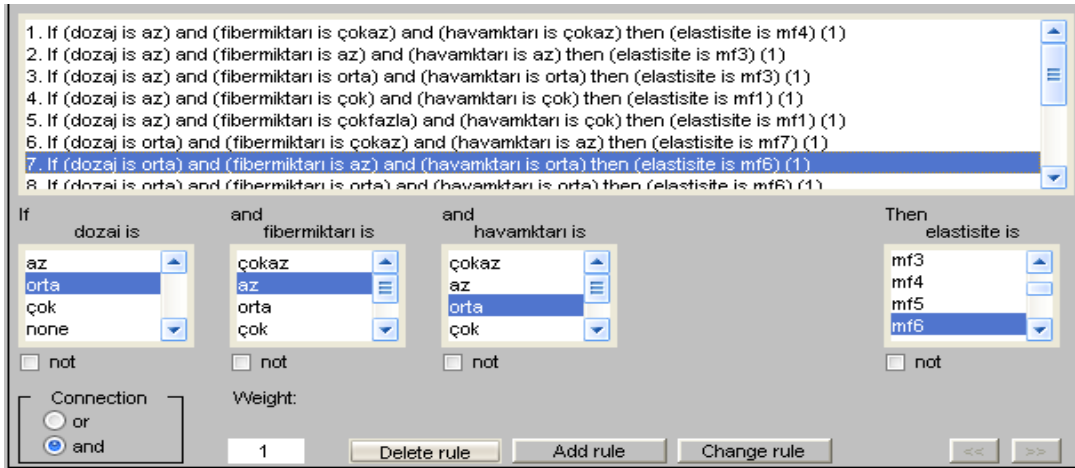


Şekil 15. EM'ne ait üyelik fonksiyonları
(Figure 15. Membership functions of the EM)

Bulanık mantıkta, "If-Then" kuralları bulanık mantığı oluşturan şartların formüle edilebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, "If-Then" kuralları aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

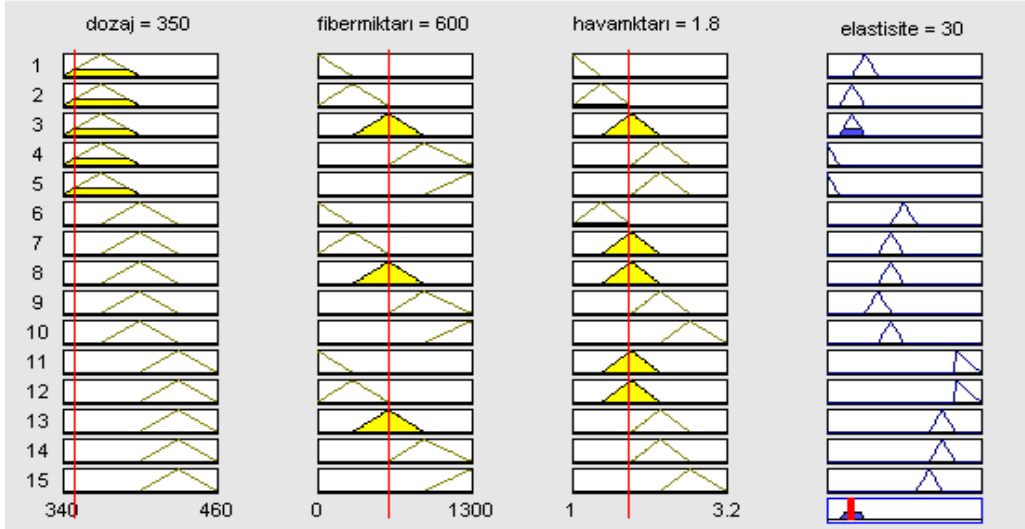
"If çimento dozajı is az and fiber miktarı is az and hava miktarı is az Then Elastisite modülü"

Bulanık mantık modelinde sistemin çalışmasını sağlayan kuralların bir kısmı bilgisayar ekranında olduğu haliyle gösterilmiştir (Şekil 16).



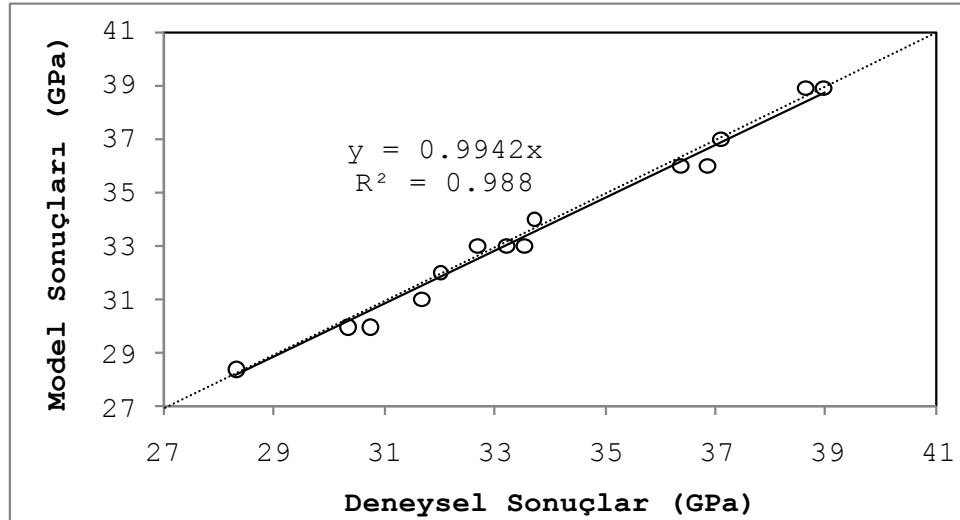
Şekil 16. Kuralların bir kısmı
(Figure 16. Some of the rules)

Bu çalışmada, durulama işlemi için üyelik fonksiyonlarıyla oluşturulan alanların ağırlık merkezlerine göre işlem yapan ve en çok kullanılan yöntem olan "ağırlık merkezi yöntemi" kullanılmıştır. Hangi kuralın aktif olduğu ya da üyelik fonksiyonlarının elastisite modülü sonuçlarını nasıl etkilediği elde edilmiş olup bu ara yüzeyin bilgisayar ekranında görülen kısmı gösterilmiştir (Şekil 17).



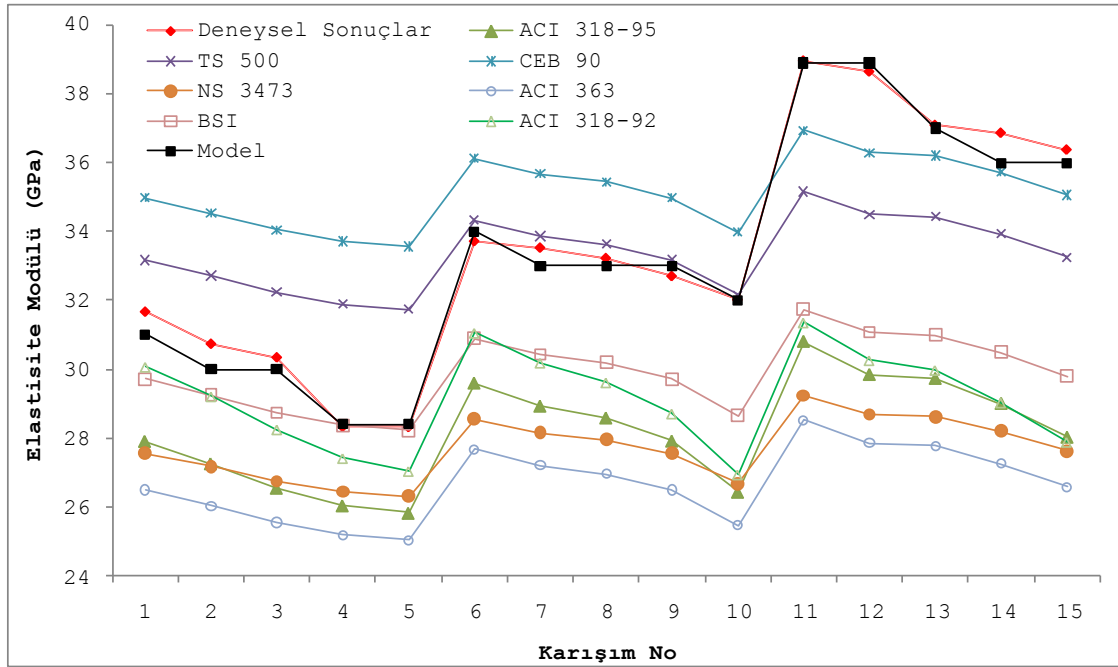
Şekil 17.EM'nün modellenmesi için yazılan kurarların bir kısmı
(Figure 17. Some of the rules for modeling of EM)

Bulanık mantık kullanılarak elde edilen model ile deneysel olarak elde edilen EM değerleri arasındaki ilişki Şekil 18'de gösterilmiştir. Elde edilen ilişki katsayısı ($R^2 = 0.988$) bu girdiler kullanılarak polipropilen lifli betonların EM değerlerinin sertleşme beklenmeksizin başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 18.Deney sonuçları ile model sonuçları arasındaki ilişki
(Figure 18. The relationship between the model results and experimental results)

Standartlar tarafından önerilen eşitliklere göre (bkz Tablo 2) elde edilen EM değerleri ile model ve deneysel sonuçlar Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 19. Elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması
(Figure 19. Comparison of modulus of elasticity)

Şekil 19'dan görüleceği gibi standartlar tarafından önerilmiş tüm formüllerden elde edilen EM değerleri ile deneysel sonuçlar arasında eğim davranışı olarak benzerlik elde edilmiştir. Yani fiber oranı arttıkça EM değerleri azalmaktadır. Ancak formüllerden elde EM değerlerinin sayısal değerlerinde yaklaşık %34 oranında farklılıklar elde edilmiştir (örn. CEB değerleri ACI 363'e göre sayısal değer olarak %34 daha fazladır).

Deneysel sonuçlara en yakın değerler çimento dozajına bağlı olarak 350 dozlu betonlar için BSI ve ACI 318-92'den, 400 dozlu betonlarda TS 500'den elde edilmişken 450 dozlu karışımlar için tüm standartlar gerçek değerlerin altında olmak şartıyla CEB 90'dan elde edilmiştir. Bu sonuç önerilen analitik değerlendirmelerin belirli sınırlar içinde (çimento dozajı veya BD ya da birim ağırlık değerlerinde) geçerli olabileceğini göstermektedir.

Model sonuçlarından ise yukarıdaki etkenlerden bağımsız olarak hem benzer davranış hem de nicelik değeri elde edilmiştir. Daha hassas sonuçlar almak için girdi parametreleri ölçülebilen diğer büyüklüklerle arttırılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RE COMMENDATIONS)

Bu çalışmada farklı çimento dozajındaki betonlarda (350,400 ve 450 kg/m³) polipropilen fiber oranına bağlı olarak (0, 300, 600, 900, 1200 gr/m³) fiziksel ve mekanik özelliklerin değişimi araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre;

- Çimento dozajı arttıkça betonda hava içeriği artmaktadır.
- Fiber oranı arttıkça betonda hava içeriği artmakta ve dolayısıyla da betonun birim hacim ağırlığı azalmaktadır.
- Yüksek çimento dozajında fiber miktarına bağlı hava içeriğindeki artış oranı azalmaktadır.
- BD ile EM değerleri arasında kabul edilebilir bir ilişki ($R^2=0.774$) ilişki vardır ve fiber oranı arttıkça BD ile EM değerleri azalmaktadır. Bu azalma eğim olarak benzetilmeye de oransal olarak birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bu

özelliklerdeki azalma ile çimento dozu veya fiber oranı arasında anlamlı ilişkiler kurulamamıştır. 1200 gr/m³ fiberli serilerde fiber katkısız betonlara göre en yüksek azalma oranı BD için 400 dozlu betonlarda (%20.23), EM için ise 350 dozlu betonlardan (%10.59) elde edilmiştir.

Çimento dozajı, fiber miktarı ve hava içeriğinin girdi, EM değerlerinin çıktığı olarak kullanılmasıyla bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelden elde edilen EM değerleri ile deneyden elde edilen EM değerleri arasında yüksek ilişki katsayısı ($R^2=0.988$) elde edilmiştir. Yani geliştirilen model gerçek deney sonuçlarını başarılı bir şekilde tahmin etmektedir. Bu sonuçlar EM hesaplanması için bazı standartlar tarafından önerilen analitik formül sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

Standartlar tarafından önerilen formüllerden elde edilen EM değerleri ile gerçek değerler arasında benzer eğimler elde edilmesine rağmen nicelik değerleri arasında oldukça büyük farklar vardır ve formüller belirli sınırlamalar içinde (çimento dozajına bağlı) geçerlilik göstermiştir.

Bu sonuçlara göre standartlar tarafından önerilen analitik formüller fiber içeren betonlarda yetersiz kalmaktadır. Fiber içeren betonlar için geliştirilecek formüller çimento dozajı ve fiber oranına bağlı olarak geliştirilebilir. Bulanık mantık ise fiber içeren betonların özelliklerini tahmin etmede başarılı bir şekilde kullanılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. TS EN 934-2, (2002). Kimyasal katkıları - Beton, Harç ve Şerbet İçin -Bölüm 2: Beton Katkıları - Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
2. Ekincioğlu, Ö., (2002). Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi. Sika Teknik Bülten, Yıl:5, Sayı:2002/3, 10-17.
3. Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A., (2003). Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. TÇMB, Ankara.
4. Ünal O., Uygunoğlu T. ve Elmacı Ö., (2005). Lif Katkılı Betonun Elastisite Modülü Üzerine Kür Ortamının Etkisi. 6. Ulusal Beton Kongresi (Yüksek Performanslı Betonlar), 15-17, İstanbul.
5. Yan, A., Wu, K. ve Zhan, X., (2002). A Quantitative Study on the Surface Crack Pattern of Concrete With High Content Steel Fiber. Cement and Concrete Research 32, 1371-1375.
6. Taşdemir, M.A., Bayramov, F. ve Yerlikaya, M., (2003). Geleneksel ve Yüksek Performanslı Çelik Donatılı Betonlar. Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl:48/2003-4, Sayı:426, 76-84.
7. Daniel, J.I., Roller, J.J. ve Anderson, E.D., (1998). Polymeric Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete (Portland Cement Association), 22-33, Illinois.
8. Liang, W., Cheng, J., Hu, Y. ve Luo, H., (2002). Improved Properties of GRC Composites Using Commercial E-glass Fibers with New Coatings. Materials Research Bulletin, 37 (2002), 641-646.
9. Ünal, B., Köksal, F. ve Eyyubov, C., (2003). Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Dürabilite Özelliklerine Etkisi. Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul.
10. Yıldırım, S.T. ve İkinci, C.E., (2006). Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (3), 359,366.

11. Ersoy, H.Y., (2001). Kompozit Malzeme. Literatür yayıncılık, İstanbul
12. Demir, F., (2005). Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modülü Belirlenmesi İçin Bir Bulanık Yaklaşımı, Deprem Sempozyumu, 23-24.
13. Topçu, İ.B. ve Uğurlu, A., (2007). Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları için Statik E-Modülünün Kompozit Modellerle Tahmini, İMO Teknik Dergi, 4055-4067, Yazı 268
14. Erdoğan, T.Y., (2003). Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara.
15. Emiroğlu, M., Yıldız, S. ve Özgan, E., (2009). Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Fak. Der, 24 (3), 469-476.
16. Zadeh, L.A., (1965), Fuzzy sets, Inf Control, 8 (3): 338-353.
17. Dubois, D. ve Prade, H., (1980). Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications, Academic Pres. Inc. Ltd., London.
18. Do, J., Song, H., So, S. and Soh, Y., (2005). Fuzzy methodology application for modeling uncertainties in chloride ingress models of RC building structure, Computers and Concrete, 2(4), 325-343.
19. Do, J.Y., (2006). Fuzzy inference based cover thickness estimation of reinforced concrete structure quantitatively considering salty environment impact, Computers and Concrete, 3(2), 145-162.
20. Topcu I.B. and Saridemir, M., (2008). Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic, Computational Materials Science, 41(3), 305-311.
21. Ramezani pour, A.A., Shahhosseini, V., and Moodi, F., (2009). A fuzzy expert system for diagnosis assessment of reinforced concrete bridge decks, Computers and Concrete, 6(4), 281-303.
22. Terzi, S., Morova, N., and Karasahin, M., (2009). Determining of Flexible Pavement Condition Rating Deduct Value with Fuzzy Logic Algorithm, Int Symp on Innov in Intel Syst and App, 161-168, Trabzon, Turkey.
23. Chen, C.W. and Huang, S.T., (2011). Implementing KM programmes using fuzzy QFD, Total Qual Man & Business Excel, 22(4), 387-406.
24. Bilgili, A., Şamandar, A. ve Beycioğlu, A., (2010). Taze Betonun Reolojik Özellikleri Arasındaki İlişkinin Bulanık Mantık Yöntemiyle İncelenmesi, e-Journal of New World Sciences Academy, Engineering Sciences, NWSA (www.newwsa.com), 5 (3), 486-493.
25. Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., (2005). Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımının Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1 (1), ss: 13-20.
26. Dağ, A., Alkan, B. ve Çıra, C.S., (2011). Bulanık modelleme yaklaşımının çimento hammadde sahası kalınlık kestiriminde kullanılabilirliğinin araştırılması, e-Journal of New World Sciences Academy, Engineering Sciences, NWSA (www.newwsa.com), 6 (1), 88-97.
27. Demir, F., (2005). A new way of prediction elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic, Cement and Concrete Research, 35, 1531-1538.
28. Jang, J.S.R., (1993), ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665-685

29. Teodorovic, D. and Vukadinovic, K., (1998). Traffic Control and Transport Planning (A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach), Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
30. Tesfamariam, S., Najjaran, H., (2007). Adaptive network-fuzzy inferencing to estimate concrete strength using mix design", Journal of Materials in Civil Engineering, 19(7), 550-560.
31. Negnevitsky, M., (2005). Artificial Intelligence; A Guide to Intelligent Systems, Second Edition, Addison-Wesley, New York.
32. ASTM C136, (2006). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standards, USA.
33. ASTM C127, (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. Annual Book of ASTM Standards, USA.
34. ASTM C128, (1997). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards, USA.
35. TS EN 196-1, (2002). Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
36. TS EN 196-3, (2002). Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
37. TS EN 197-1, (2002). Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar, Bileşim, Özellikleri ve Uygunluk Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, 25 s., Ankara.
38. Sika, F., (2011). Beton ve Harç İçin Lif, http://www.sika.com.tr/pdf/products/1176797251_tr.pdf
39. Özel, C., (2007), Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
40. TS EN 12350-6, (2002). Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
41. TS EN 12350-7, (2010). Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 7: Hava içeriğinin tayini - Basınç yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
42. ASTM C511, (2006). Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes. Annual Book of ASTM Standards, USA.
43. ASTM C39, (2009). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards, USA.
44. ASTM C469, (2002). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Annual Book of ASTM Standards, USA.