



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2012, Volume: 7, Number: 2, Article Number: 2A0075

NWSA-TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: March 2012

Accepted: April 2012

Series : 2A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Cengiz Özel

Oktar Soykan

Başak Zengin

Suleyman Demirel University

cengizozel@sdu.edu.tr

oktar_soykan@hotmail.com

zenginbasak@gmail.com

Isparta-Turkey

**FİLLER OLARAK MERMER TOZU İÇEREN BETON ÖZELLİKLERİNİN BULANIK MANTIK
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada, sabit çimento dozajında (400 kg/m³), iki farklı Su/Çimento (S/Ç) oranı (0.50 ve 0.55) ve çimento tipi (CEM I 42.5 R ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N) ile üretilen betonların içine farklı oranlarda filler olarak kullanılan mermer tozunun (MT) taze (çökme) ve sertleşmiş beton (basınç dayanımı, elastisite modülü, yarma dayanımı, aşınma ve donma çözünme sonrası basınç dayanımı) özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Mermer tozu oranı, S/Ç oranı, çimentonun mukavemeti ve çökme değerlerinin girdi olarak kullanıldığı sertleşmiş özelliklerinin tahmin edildiği (basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, aşınma ve donma-çözünme sonrası basınç dayanımı) bulanık mantık modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile deneysel sonuçlar arasında yüksek belirleyici katsayıları (0.9903-0.9995) elde edilmiştir. Filler oranı ve bazı temel parametreler kullanılarak sertleşmiş beton özelliklerinin bulunması için bulanık mantığın kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Filler, Mermer Tozu, Bulanık Mantık,
Taze Beton Özellikleri,
Sertleşmiş Beton Özellikleri

**DETERMINATION OF PROPERTIES OF MARBLE DUST CONTAINING CONCRETE AS
FILLER MATERIAL BY FUZZY LOGIC**

ABSTRACT

In this study, the amount of marble dust "MD" as filler was investigated that effect to fresh (slump "S") and hardened (compressive strength "CS", modulus of elasticity "EM", splitting tensile strength "STS", wear "WS" and resistance of freezing and thawing "RFT") properties of concrete, at constant dosage of cement (400 kg/m³) two different cement type (CEM I 42.5 R and CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N) and water/cement "w/c") rations (0.50 and 0.55). The fuzzy logic model was developed that of MD ratio, w/c ratio, strengths of cements "SC", S were used as input, and the hardened properties (CS, EM, STS, WS and RFT) were used output parameters. It was obtained that high determination coefficient (0.9903-0.9995) from relationships between model results with experimental results. It is concluded that fuzzy logic is usable for estimated of hardened properties using filler rations and some main parameters such as w/c, SC, S etc.

Keywords: Filler, Marble Dust, Fuzzy Logic,
Fresh Properties of Concrete,
Hardened Properties of Concrete

1. GİRİŞ (INRODUCTION)

Beton günümüzde yapı endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Taşıyıcı, dekoratif ve yalıtım elemanlarının inşasında kullanılabilen betonun diğer malzemelere göre üretimi için ileri teknoloji gerektirmemesi, özelliklerinin ayarlanabilmesi, kısmi ucuzluğu ve şekil verilebilirliği yaygın kullanımının en temel sebeplerindendir. Gelişen teknolojik ihtiyaçlara paralel olarak betondan beklenen özellikler her geçen gün artmakta ve değişmektedir. Betondan beklenen bu performansların karşılanmasında bileşenlerin iyileştirilmesi (agrega tür ve özellikleri, bağlayıcı tür ve özellikleri vb.) ve karışım dizaynlarının geliştirilmesi (Su/Çimento "S/Ç" oranının düşürülmesi, karıştırma sürecinin kontrol edilmesi vb.) yöntemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Betonda istenilen özelliklerin geliştirilmesi için mineral, kimyasal ve fiber katkı maddelerinin kullanımı en pratik yöntemlerden biridir. Beton katkı sektöründeki büyük ilerleme, beton bileşenlerinde farklı bileşen oranlarına imkân vermekte, betonun taze ve sertleşmiş özelliklerini kontrol etme imkânı sağlamaktadır. Betonda filler kullanımı ise akışkanlaştırıcıların gelişmesiyle her geçen gün daha da yaygınlaşmakta ve önem kazanmaktadır.

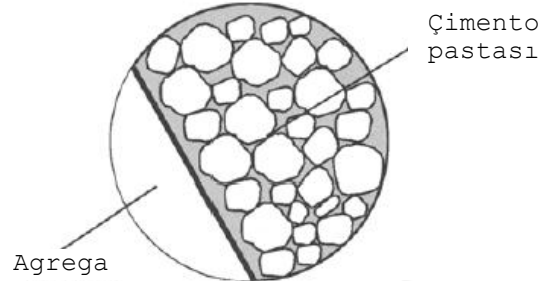
Teknolojik gelişmelere ve ihtiyaçlara paralel olarak filler malzeme, bağlayıcı çimento hidrasyonunun geliştirilmesi [1, 2 ve 3] ve çimentonun daha az [4 ve 5] kullanılmasının yanı sıra, özellikle düşük çimento dozajlı karışımlarla yoğun donatılı yapıların inşasında işlenebilirliği ve betonun stabilitesini [6, 7 ve 8] geliştirmek amacıyla da kullanılmaktadır. Literatür çalışmaları silis dumanı, uçucu kül vb. puzolanik özellikli mineral katkılar üzerinde yoğunlaşsa da, puzolanik özelliği olmayan fillerinin agrega-harç ara yüzeyindeki boşlukların doldurulmasında önemli rol oynadığını, betonun geçirimsizliği ve bunun sonucu olarak dürabilitesi için yararlı sonuçlar verdiğini belirten taşunu [9 ve 14] ve mermer tozunun betonda kullanılabilirliği ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [15 ve 19].

Vlahovic vd. [20], fillerin beton özelliklerine etkisini temelde tane şekli ve boyut etkisine bağlı olduğunu belirtmesine rağmen, Moosberg-Bustnes vd. [21], en büyük boyutu 125 mikron olan filler malzemenin fiziksel boyutta çimento taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompazitesini geliştirdiğini, kimyasal düzeyde çimento taneleri ile bütünleşerek nükleasyon (hidrate elemanların kristalleşmesini veya meydana gelmesi) gibi hareket ederek hidrasyonu geliştirdiği ve çimentonun bileşenleri ile reaksiyona girerek (örneğin kalsiyum hidroksit ile) çimento jeli formunu aldığını belirtmiştir.

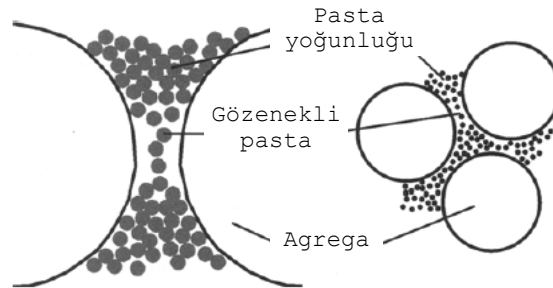
Beton içindeki boşluklar; iri parçalar ile ince parçalar arasındaki boşluklar ve iri parçalar arasında oluşan boşluklar olmak üzere iki farklı durumda oluşur. Taşdemir ve Atahan [9], fillerinin agrega-harç ara yüzeyindeki boşlukların doldurulmasında önemli rol oynadığını, betonun geçirimsizliği ve bunun sonucu olarak dürabilitesi için yararlı sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir.

Bununla birlikte, ince parçacıklar ile iri parçacıklar arasındaki boşlukları doldurmak için gerekli su miktarı, pasta içinden daha yüksek olursa büyük agregaların çevresinde çimento tanelerinin boyutları azalır, agregalara yaklaştıkça küçük çimento tanelerinin miktarı artar bir duvar formunda (wall effect) oluşur (Şekil 1). Bu duvar etkisi yüksek S/Ç oranında daha düşük yoğunluk ve daha poroz pasta oluşmasına sebep olur, böylece betonun mukavemeti azalır. Betona filler malzeme ilavesiyle çimento ile agrega arasındaki küçük boşlukların doldurulması sağlanır ve yığılma azalır. Bu aynı zamanda hidrasyon ürünlerinin daha geniş alanlarda yayılmasına da sebep olur. İri parçacıklar arasındaki dar bölgedeki küçük parçacıklar için boşluk eksikliği de tıkanmaya (blocking) sebep olur. Agregalar

birbirlerine yaklaştıkları zaman, su parçacıklar arasındaki boşluklara geçecektir. Ancak suyun hareket ettiği açıklıklar çimento taneleri sayesinde çok küçük olacaktır. Bu olay çift duvar etkisi "two-wall effect" veya filtreleme etkisi "filtering effect" olarak da tanımlanmaktadır (Şekil 2) [21].



Şekil 1. Duvar etkisi [21]
(Figure 1. The wall effect [21])



Şekil 2. Çift duvar etkisi [21]
(Figure 2. The two-wall effect [21])

Mermer tozu, ısı, basınç ve sulu çözeltilerin etkisiyle CaCO_3 (kireçtaşı) ya da $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ [dolomitin], metamorfoza uğraması sonucunda yeniden kristalleşmesiyle ortaya çıkan kayaların (kristalize kalker), düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi sürecinde elde edilmektedir.

Bileşimlerinin %90-98'i CaCO_3 'ten oluşurken, düşük oranda MgCO_3 içermektedir. CaCO_3 kristallerinden oluşan mermerlerde esas mineral "Kalsit" tir. Aynı zamanda az miktarda silis, silika, feldspat, demiroksit, mika, florin ve organik maddeler bulunabilir. Renkleri genellikle beyaz ve grimsidir. Fakat yabancı maddeler nedeniyle sarı, pembe, kırmızı, mavimsi, esmerimsi ve siyah gibi renklerde de olabilirler. Mikroskop altında incelendiğinde, birbirine iyice kenetlenmiş Kalsit Kristalleri'nden oluştuğu görülür [22].

Türker vd. [23], farklı oranlarda mermer tozu kullanarak ürettikleri çimentolarda CH morfolojisinin portland çimentosundan tamamen farklı olduğunu ve reaksiyon ürünlerinin kalsit kristallerinin çevresinde toplandığını belirtmişlerdir.

Fillerin kullanıldığı betonlarda Sabit S/Ç oranında filler ile hava içeriği ve çökme arasında ters ilişki olduğunu [12], geçirgenlik, su emme ve porozite değerlerinde özelliklerinde iyileşmeler [10] basınç mukavemetinde 500 kg/m^3 çimento dozajının altındaki betonlarda %10-20 oranında kullanımında önemli bir değişiklik olmamasına karşılık azalma eğiliminde olduğu [24 ve 25], rapor eden çalışmalar varsa da cam lif katkılı betonlarda ve hafif agregalı (pomza) betonlarda %10 mermer tozu kullanımının basınç dayanımı arttırdığı, %20 oranında ise azalttığı [19], 500 kg/m^3 çimento dozajlı normal betonlarda ise arttığı belirtilmiştir [26].

Sabit çökme araştırmalarında ise S/Ç oranı, çimento tipi ve dozajına bağlı olmakla birlikte [25] kumla yer değiştirmenin yaklaşık %35 basınç mukavemetinde, %15 eğilme, yarmada çekme dayanımında ve elastisite modülü artış sağlanabildiği [11 ve 25], su emme %25.8, aşınma kaybını %8.4 ve donma çözülme sonrası mukavemet kaybını %87.7 azaltılabildiği [15, 25, 27, 28 ve 29] çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir.

Mermer tozu çimento ve beton imalatının yanı sıra parke taşı üretiminde [27], karayolunda asfalt betonu inşasında [30, 31 ve 32], tuğla endüstrisinde [33 ve 34], kerpiç üretiminde [35], zeminlerin iyileştirilmesinde [36] kalsine dolomit üretimi, curuf yapıcı malzeme, refrakter malzeme, asit nötrleştirmede, cam üretiminde, kağıt üretiminde, şeker rafinasyonunda, baca gazından kükürdün gideriminde [37], seramik, plastik, gübre hayvan yemi ve boya endüstrisinde [16 ve 38] katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

2. ÇALIşMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, iki farklı çimento türü ve iki farklı S/Ç oranında hazırlanan betonlarda mermer tozunun filler malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mermer tozu oranı "MT" , S/Ç oranı, Çimento mukavemeti (basınç dayanımı) "ÇM", Çökme "ÇY" değerlerine bağlı olarak, 28 günlük sertleşmiş betonun mekanik özelliklerinin (Basınç dayanımı "BD", Elastisite modülü "EM", Yarma dayanımı "YD", Aşınma dayanımı "AD", Donma-çözünme sonrası dayanım "DÇD") önceden tahmini için bulanık mantık (fuzzy logic) "BM" kullanılarak model geliştirilmiştir.

Deneyssel olarak elde edilen mekanik özellikler ile modelden elde edilen özellikler karşılaştırılarak geliştirilen modellerin geçerlilikleri değerlendirilmiştir.

3. DENEYSSEL ÇALIşMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

Bu çalışmada, Afyon-İscehisar'da bulunan mermer işleme tesislerinden temin edilen mermer tozu atıkları ve doğal agrega kullanılarak beton üretilmiştir. Hazırlanan bütün karışımlarda çimento dozajı sabit tutulmuş olup (400 kg/m^3) iki farklı çimento türü (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R) kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentolara ait bazı özellikler
(Table 1. Some properties of the cements)

Çimento Tipi	SiO ₃	Cl ⁻	Blaine	Priz Başlama	Genleşme	Mukavemet değeri (MPa)	
	(%)	(%)	(cm ² /g)	(dakika)	(mm)	2 günlük	28 günlük
32.5	3.21	0.044	4230	170	1	14.7	39.6
42.5	2.69	0.009	3560	145	1	25.3	51.7

Her çimento türü için iki farklı S/Ç oranı (0.50 ve 0.55) kullanılarak üretilen betonlarda, mermer tozu karışımdaki agrega ile hacimce yer değiştirilerek (%10-20-30-40) kullanılmıştır (Tablo 2). Üretilen beton serilerinde mermer tozu sıfır çökme (slump) elde edilinceye kadar yer değiştirmeye devam edilmiştir.

Tablo 2. 1 m³ beton için bileşen miktarları
(Table 2. Amounts of components for 1 m³ concrete)

Karışım No	Çimento Tipi	S/Ç Oranı	Çimento Miktarı (kg)	MT Miktarı (kg)	İnce Agrega Miktarı (kg)	İri Agrega Miktarı (kg)
1	32.5	0.50	400	0	859.8	866.4
2	32.5	0.50	400	177.9	773.8	779.8
3	32.5	0.55	400	0	833.7	840.1
4	32.5	0.55	400	172.5	750.3	756.1
5	32.5	0.55	400	345.0	667.0	672.1
6	32.5	0.55	400	517.5	583.6	588.1
7	42.5	0.50	400	0	863.6	870.3
8	42.5	0.50	400	178.7	777.3	783.2
9	42.5	0.50	400	357.4	690.9	696.2
10	42.5	0.55	400	0	837.5	844.0
11	42.5	0.55	400	173.3	753.8	759.6
12	42.5	0.55	400	346.6	670.0	675.2
13	42.5	0.55	400	519.9	586.3	590.8
14	42.5	0.55	400	693.1	502.5	506.4

Üretilen beton serilerinde;

- TS EN 12350-2'ye [39] göre çökme,
- TS EN 12390-3'e [40] göre basınç dayanımı tayini,
- TS EN 12390-6'ya [41] göre yarmada çekme dayanımının tayini,
- TS 699'a göre [42] ve TS 2824 EN 1338'e [43] göre aşınma deneyi,
- TS 3449'a [44] ve ASTM C 666/C 666M'a [45] göre donma çözülme dayanımının belirlenmesi deneyi ve
- Sekant Yöntemi kullanılarak Elastisite Modülü tayini [46] deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel sonuçlar
(Table 3. Experimental results)

Karışım No	BD (MPa)	EM (GPa)	YD (MPa)	AD (gr/50cm ²)	DÇD (MPa)	ÇÖKME (mm)
1	28.76	45.13	3.77	633.3	24.19	10
2	27.87	46.14	3.89	631.0	24.49	0
3	24.07	40.40	3.99	617.4	17.85	190
4	30.08	36.06	4.53	615.3	22.80	170
5	26.91	41.12	4.14	611.8	22.04	10
6	24.97	42.11	3.66	609.7	23.09	0
7	36.14	52.60	5.01	595.3	30.60	190
8	45.71	48.06	5.10	592.9	42.02	135
9	47.83	50.18	5.26	589.1	44.29	5
10	36.82	46.09	4.70	585.5	32.01	200
11	40.61	46.57	4.76	579.3	35.37	190
12	41.63	52.93	5.22	570.7	38.17	150
13	36.03	48.01	4.83	560.2	34.99	40
14	34.03	53.11	4.80	536.1	33.48	0

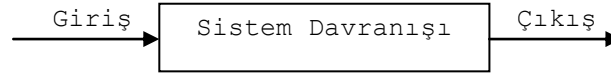
4. BULANIK MANTIK VE MODEL KURULUMU (FUZZY LOGIC AND MODEL SETUP)

Dünyada meydana gelen olayların bir sırası ya da bir kuralı yoktur. Bu olağan dışılık, düşünce ve karar merciğinden kaynaklanır. Bilgisayar ortamında olaylar belirsizliklerini yitirir. Bilgisayarın çalışması için kesin sayısal verilere ihtiyaç vardır. İnsanın özgür

düşünme ve karar verme yetisi bilgisayarda yoktur. Bu nedenle; Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh [47], gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelemeye alınır, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir [48].

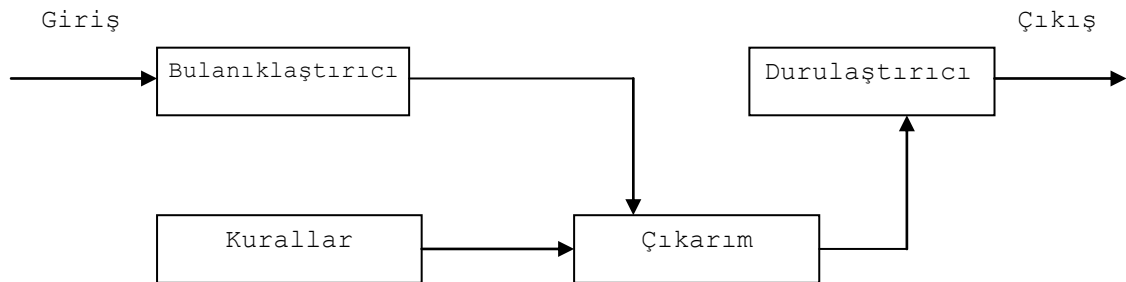
Bulanık mantık (fuzzy logic), adından anlaşılacağı gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) mantıkta, "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0"lar kombinasyonları bulunmaktadır, oysa bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yerde olan önermelere veya ifadelere izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantık klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur [49]. Bulanık mantık (BM) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley üniversitesinden. Lotfi A. Zadeh'in [47] bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyulmuştur. Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir [50].

Genel olarak klasik bir sistem giriş, sistem davranışı ve çıkıştan meydana gelmektedir (Şekil 3). Mühendislikte birçok girdi çıktı değerinin belirsiz olduğu boyutlandırma emniyetli tarafta kalmak için emniyet katsayısı gibi değerler kullanılarak belirli hale getirilmektedir. Bulanık mantıkta ise bu değerlerin büyük bir çoğunluğunu ve oluşum derecelerini dikkate almak mümkün olmaktadır.



Şekil 3. Klasik sistem [50]
(Figure 3. Classical system [50])

Genel olarak bir bulanık mantık işlemindeki akış diyagramı Şekil 4'deki gibi verilebilir. Bunlar, giriş verileri veya veri tabanı, bulanıklaştırma, çıkarım motoru, kural tabanı ve durulaştırma işlemlerinden meydana gelmektedir [51].



Şekil 4. Bulanık mantığın temel elemanları [50]
(Figure 4. The basic elements of fuzzy logic [50])

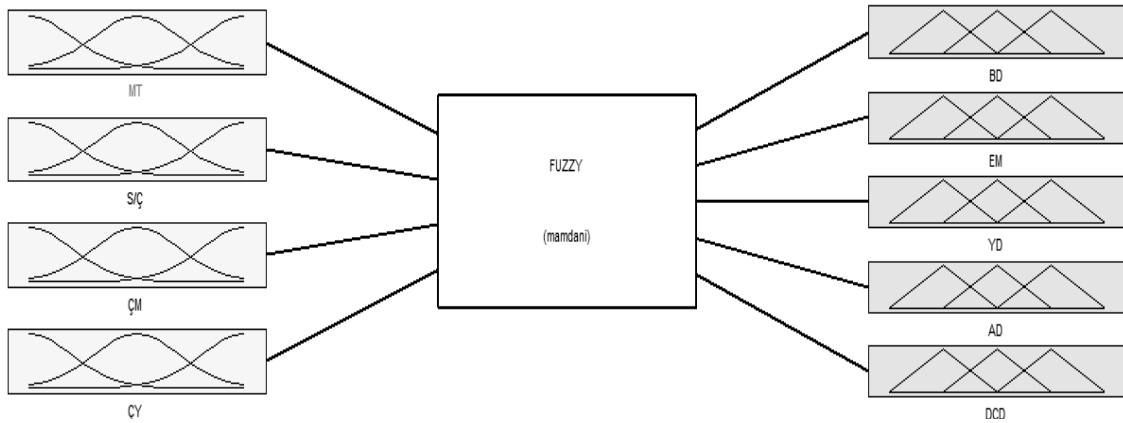
- **Giriş/Veri Tabanı:** İncelenecek olan olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca giriş adı da verilir. Genel veri tabanı

denilmesinin nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

- **Bulanıklaştırıcı:** Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı bölümdür.
- **Bulanık Kural Tabanı:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, EĞER-İSE (IF - THEN) türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık bağlantıları (rule base) düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.
- **Bulanık Çıkarım:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
- **Durulaştırma:** Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir.
- **Çıkış:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir [52].

Bulanık mantık ile girdi ve çıktı parametreleri arasındaki ilişkilerin araştırılması birçok bilimsel alanda başarılı bir şekilde uygulanmış ve kurulan modellerin geçerliliği ispatlanmıştır [53 ve 60].

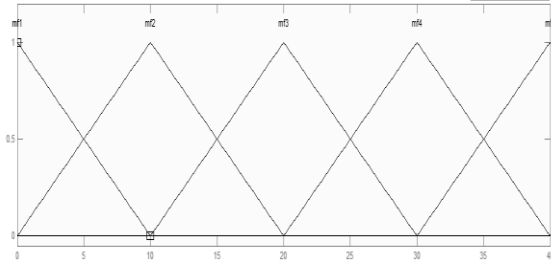
Geliştirilen modelde deneysel ölçümler yapılmadan sonuçlara ulaşılabilmesi hedeflenmiştir. Şekil 5'de gösterildiği gibi modelde MT oranı, S/Ç oranı, ÇM, ÇY miktarı girdi parametresi olarak, 28 günlük BD, EM, YD, AD, DÇD çıktı parametreleri olarak tanımlanmıştır.



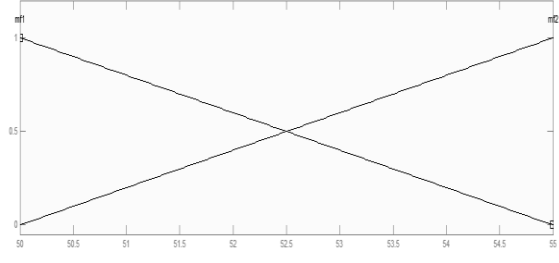
Şekil 5. Model yapısı
(Figure 5. Structure of model)

Girdi parametreleri olan MT, S/Ç, ÇM, ÇY ya ait üyelik fonksiyonları Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'daki üyelik fonksiyonların küme aralıkları deneysel verilere dayanılarak oluşturulup, MT için 5 üyelik fonksiyonu, S/Ç için 2 üyelik

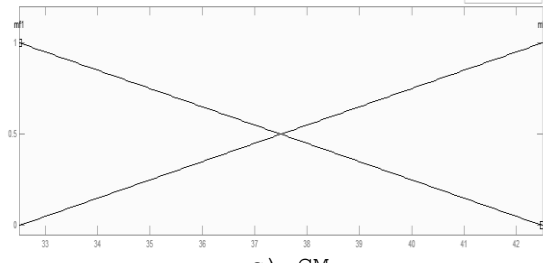
fonksiyonu, ÇM için 2 üyelik fonksiyonu, ÇY için ise 22 üyelik fonksiyonu yazılmıştır. Fonksiyonlar eşit aralıklarla yazılmış olup çökme verilerinde ilk 3 üyelik fonksiyonunda sıkılaştırma yapılmıştır. Üyelik fonksiyonları ile çıktı arasındaki kurallar "VE" bağlacı ile bağlanıp, çıktıları sistemin tahmin etmesi için durulaştırma işlemi yapıлып, bu durulaştırma işlemi için ağırlık merkezi seçilmiştir.



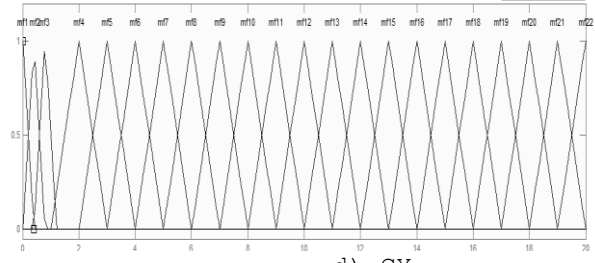
a) MT



b) S/Ç



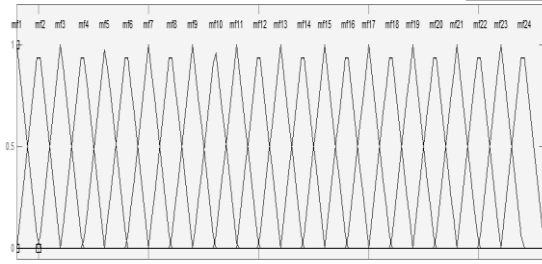
c) ÇM



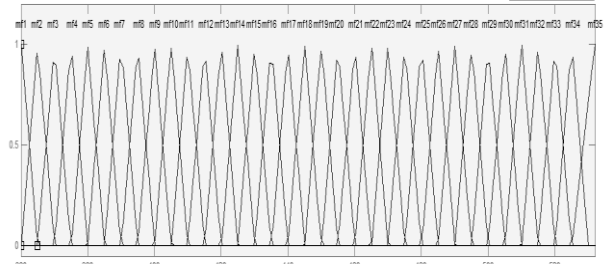
d) ÇY

Şekil 6. Girdi parametreleri
(Figure 6. Input parameters)

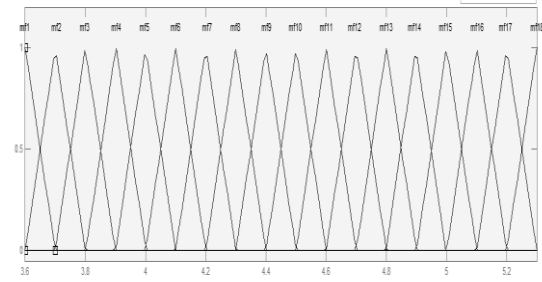
Şekil 7'de gösterilen çıktılar için üyelik fonksiyonların küme aralıkları deneysel verilere dayanılarak oluşturulup, oluşturulan üyelik fonksiyonlar eşit aralıklarla atanmıştır. Deneysel veriler doğrultusunda; BD için 24 üyelik fonksiyonu, EM için 35 üyelik fonksiyonu, YD için 18 üyelik fonksiyonu, AD için 21 üyelik fonksiyonu, DÇD için 26 üyelik fonksiyonu yazılmıştır.



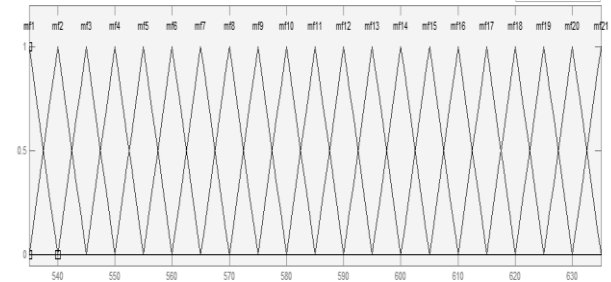
a) BD



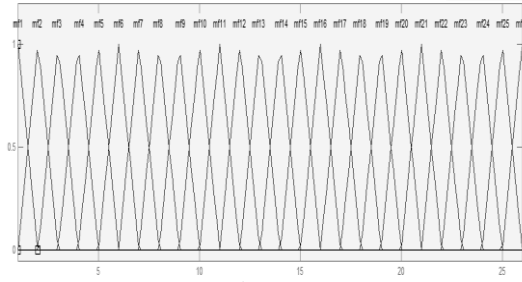
b) EM



c) YD



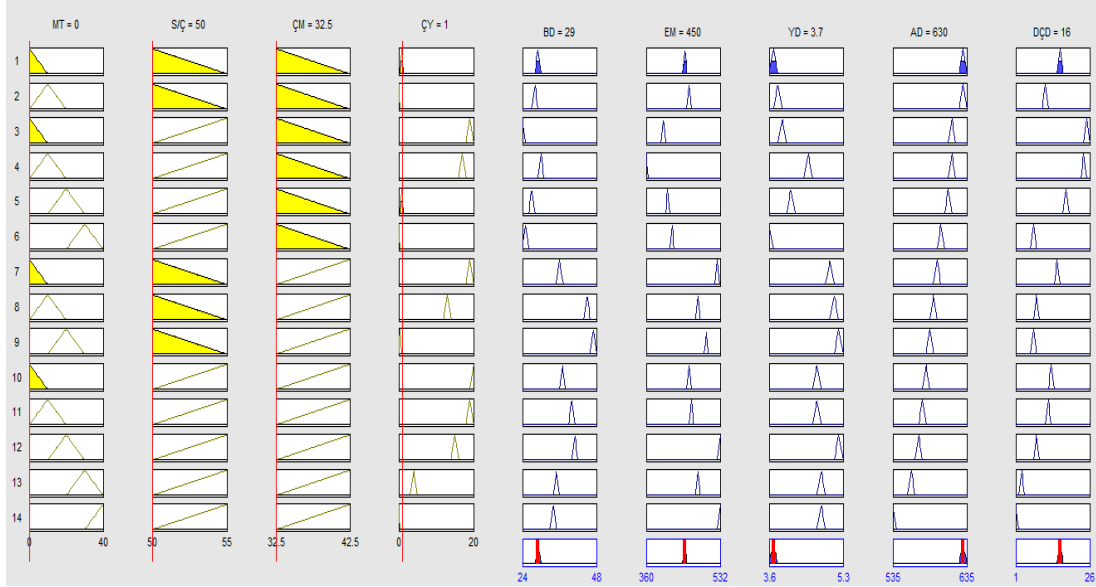
d) AD



e) DÇD

Şekil 7. Çıktı parametreleri
(Figure 7. Output parameters)

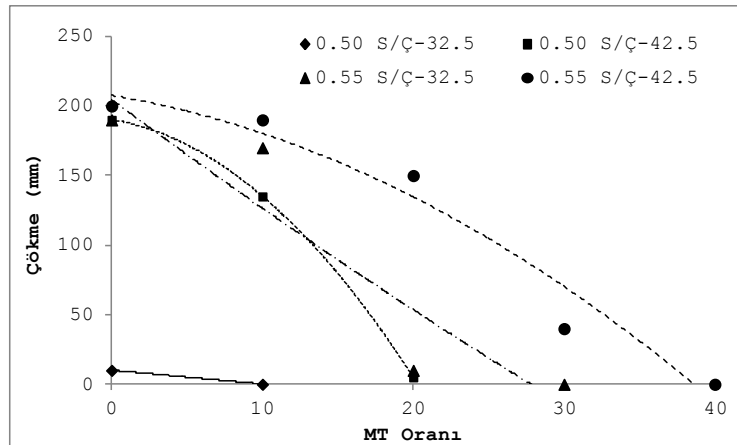
Bu verilere ulaşmak için yazılan kural tabanlarında üyelik fonksiyonlarının bağlı olduğu seriler göz önüne alınmış ve bu bağlamda kurallar oluşturulmuştur. Ağırlık merkezine hesaplatılmış ara yüzey elemanlar şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Ağırlık merkezi hesaplama sistemi
(Figure 8. The center of gravity calculation system)

5. DENEYSEL VE MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF EXPERIMENTAL AND MODEL RESULTS)

DeneySEL çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre S/Ç ve çimento tipine göre elde edilen çökme davranışları değişmesine karşılık, MT oranı artmasıyla tüm serilerde çökme kaybı artışı elde edilmiştir. Şekil 9'dan görüldüğü gibi en yüksek çökme değerleri 0.55 S/Ç oranlı CEM I 42.5 R'li serilerden elde edilmişken, 0.50 S/Ç oranlı CEM I 42.5 R'li seri ile 0.55 S/Ç oranlı CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li serinin çökme kaybı değerlerinde değişim benzer elde edilmiştir.



Şekil 9. MT ve S/Ç oranlarına göre Çökme değerlerinin değişimi
(Figure 9. Changes of Slump according to marble dust and water/cement rates)

Serleşmiş betonun mekanik özelliklerinin belirlendiği deneylerden elde edilen değerlerin değişimleri Şekil 10'da gösterilmiştir.

CEM I 42.5 R'li serilerin basınç dayanımı CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li serilere göre daha yüksek, 0.50 S/Ç'li serilerden ise 0.55 S/Ç'li serilerden daha yüksek elde edilmiştir (Şekil 10-a). CEM I 42.5 R'li serilerde %20 MT oranından sonra basınç dayanımında azalma

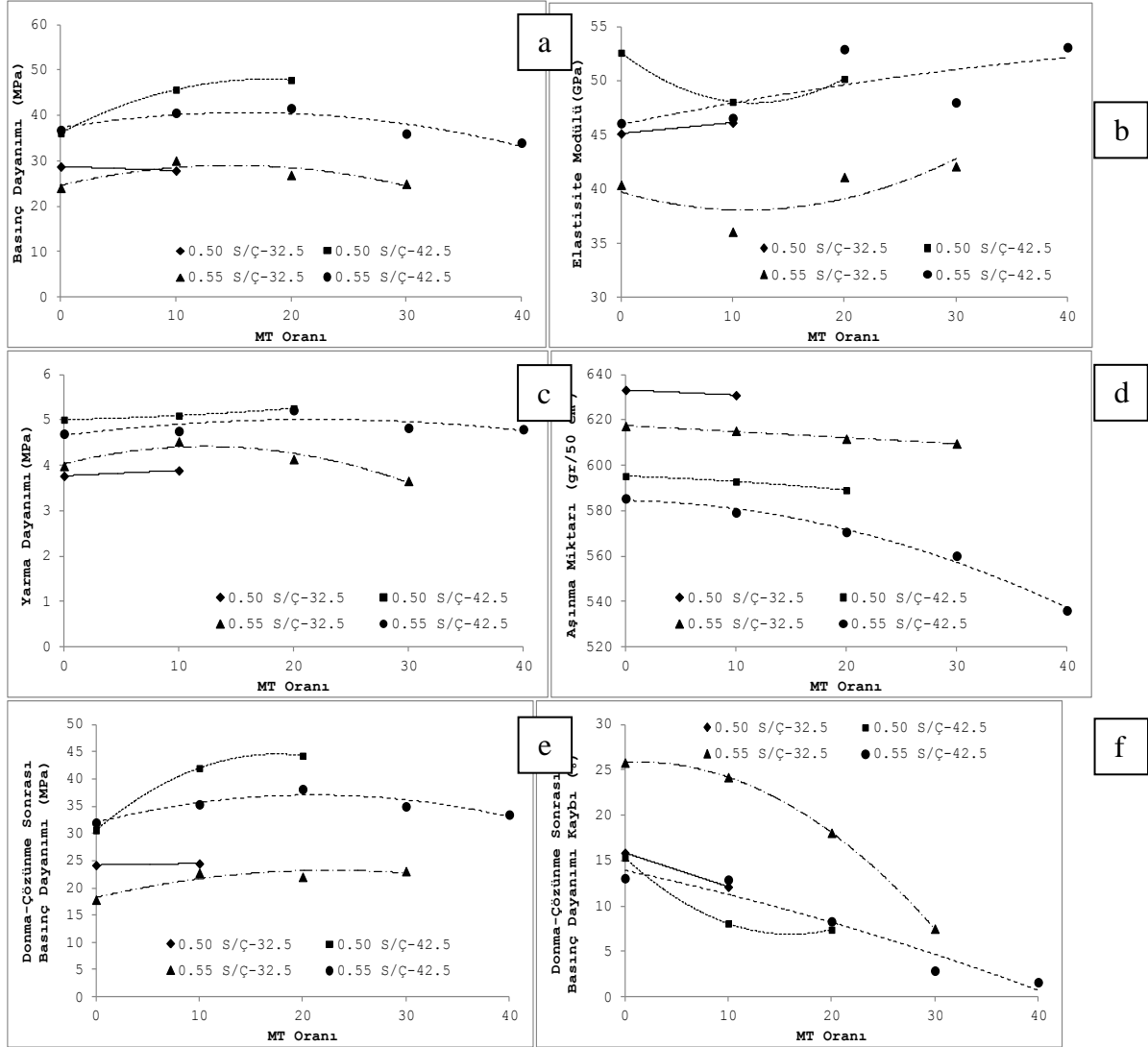
gözlemlenmişken 0.55 S/Ç ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li seride bu değer %10'dur.

EM değerlerindeki değişim BD değerlerindeki değişime benzer olmasına karşılık 0.50 S/Ç-CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve 0.55 S/Ç-CEM I 42.5 R serilerinden benzer davranış (MT artışı ile EM artışı) ve yaklaşık değer elde edilmiştir. 0.50 S/Ç-CEM I 42.5 R ve 0.55 S/Ç-CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N serilerde ise başlangıçta (%10 MT) EM değerlerinde azalma elde edilmişken MT'nun artan oranlarında EM değeri azda artmaktadır (Şekil 10-b).

YD değerlerine bakıldığında genel olarak BD değerlerine benzer davranış elde edilmesine rağmen (Şekil 10-c) BD den farklı olarak en küçük değer 0.50 S/Ç-CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li seriden elde edilmiştir. Yine CEM I 42.5 R'li serilerde %20 MT oranından sonra yarma dayanımında azalma gözlemlenmişken CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li seride bu değer %10'dur.

AD değerlerinde YD değerlerinin tam tersi bir davranış elde edilmiştir. En düşük YD değerli seri en yüksek, en yüksek YD değerli, seriler ise en küçük aşınma miktarı göstermişlerdir (Şekil 10-d). MT oranının artmasıyla tüm serilerin aşınma miktarlarında azalma elde edilmiştir.

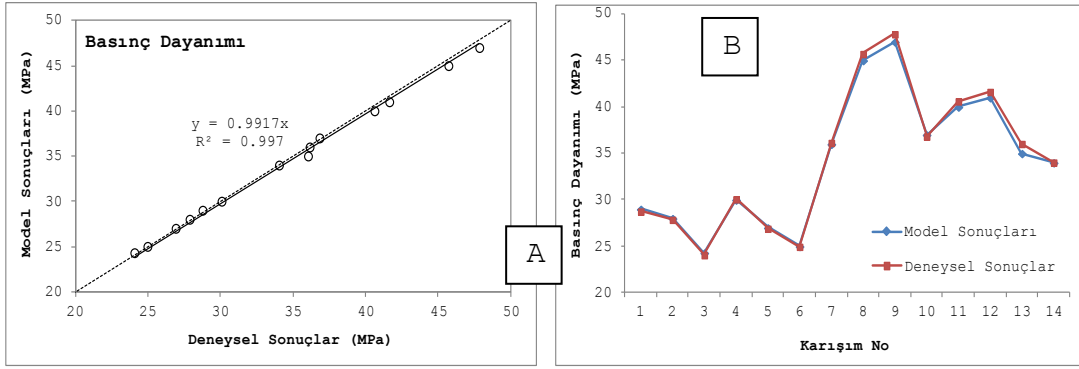
Donma çözünme deneyi sonrasında BD değerlerinin değişimine benzer sonuçlar elde edilmesine karşılık (Şekil 10-e), MT oranının artmasıyla Donma-Çözünme deneyi sonrası basınç kayıpları değerlerinde azalmalar elde edilmiştir (Şekil 10-f). 0.55 S/Ç-CEM I 42.5 R'li serilerin yüksek MT oranlarında Donma-Çözünmeden en az etkilenme elde edilmiştir.



Şekil 10. MT ve S/Ç oranlarına göre mekanik özelliklerin değişimi
(Figure 10. Changes of mechanical properties of concretes according to
marble dust and water/cement rates)

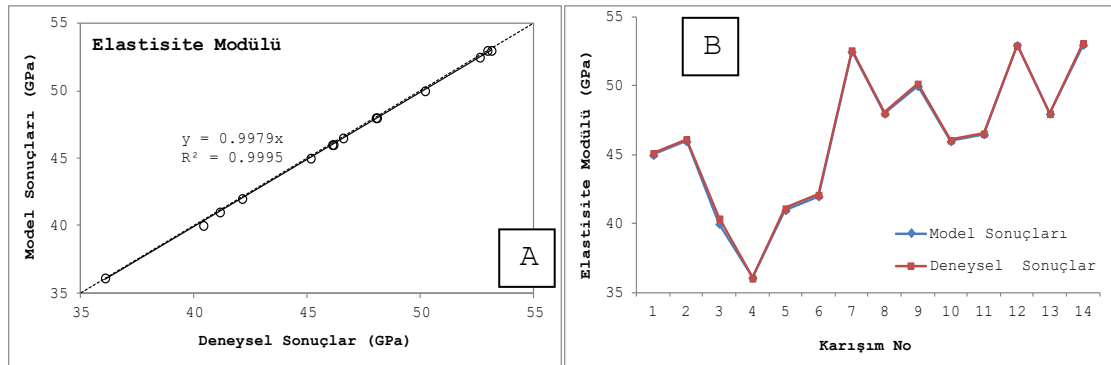
Geliştirilen BM modelinde deneme yanılma yolu kullanılıp, üyelik fonksiyonlarının atanması deneysel veri aralıkları göz önünde bulundurularak atanmıştır. Geliştirilen bulanık model sertleşmiş beton özellikleri için deneysel sonuçlar ve tahmin sonuçları Şekil 11-15'de verilmiştir.

Şekil 11'de BD deneysel sonuçlarının ile model sonuçlarının değişimleri gösterilmiştir. Gerçek değerle model sonuçları arasındaki belirleyicilik katsayısının yüksek ($R^2= 0.997$) olduğu görülmektedir. Gerçek değerler ile model sonuçları arasında %0.1-2.87 arasında farklılıklar elde edilmiştir (Şekil 11-b). En yüksek hata değeri 0.55 S/Ç-CEM I 42.5 R ve %30 MT kullanılan betondan elde edilmiştir. Yine CEM I 42.5 R içeren 0.50 ve 0.55 S/Ç'li serilerde genel olarak hata payı diğer serilere göre daha yüksektir.



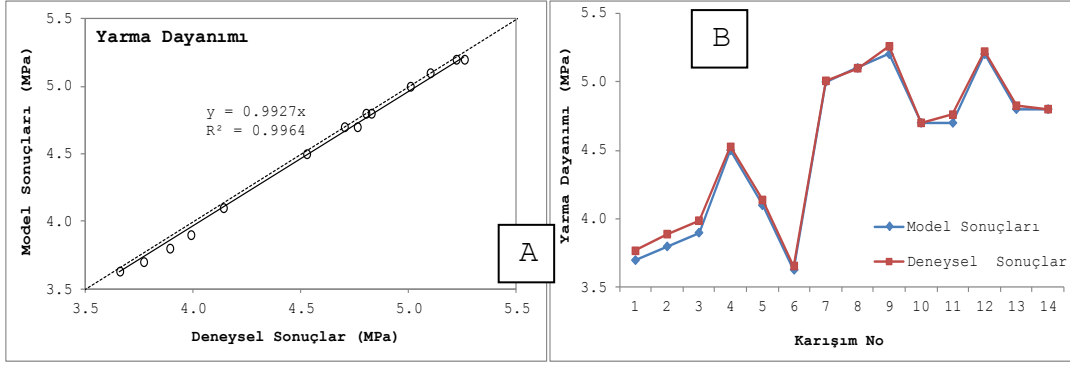
Şekil 11. BD için deneysel-model sonuçları ilişkisi
(Figure 11. The relations between the model results with the experimental results for Compressive Strength)

Şekil 12'de EM deneysel sonuçlarının model sonuçlarıyla karşılaştırılması gösterilmiştir. Belirleyicilik katsayısının (R^2) ise 0.9995 olduğu görülmektedir. Gerçek değerler ile model sonuçları arasında %0.03-0.98 aralığında farklılıklar elde edilmiştir. En büyük farklılık 0.50 S/Ç-CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve MT içermeyen seriden elde edilmiştir.



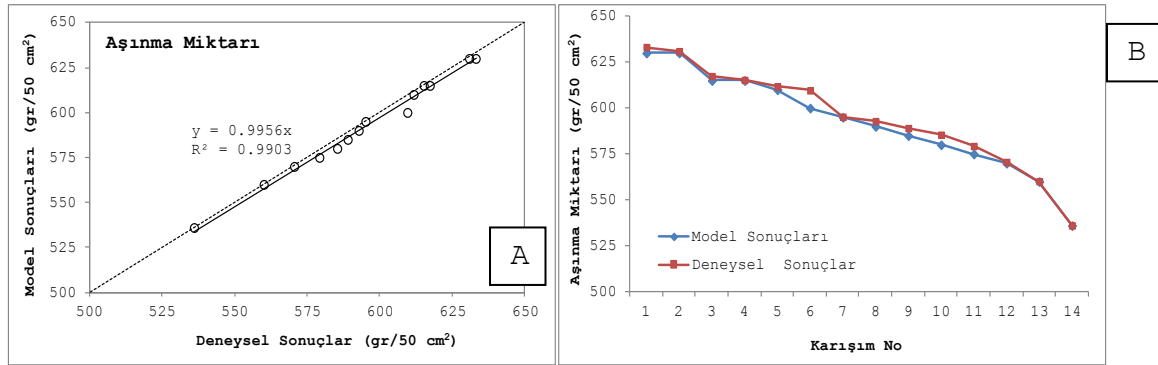
Şekil 12. EM için deneysel-model sonuçları ilişkisi
(Figure 12. The relations between the model results with the experimental results for elasticity module)

Şekil 13'de YD deneysel sonuçları ile model sonuçları arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Belirleyicilik katsayısının (R^2) 0.9964 elde edildiği ilişkide, gerçek değerler ile model sonuçları arasında %0-2.3 aralığında farklılıklar elde edilmiştir. Bu farklılıklardaki en yüksek 0.50 S/Ç-CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve %10 MT içeren seriden elde edilmiştir. Tüm serilere bakıldığında yine CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N içeren betonlarda hata oranı daha yüksektir.



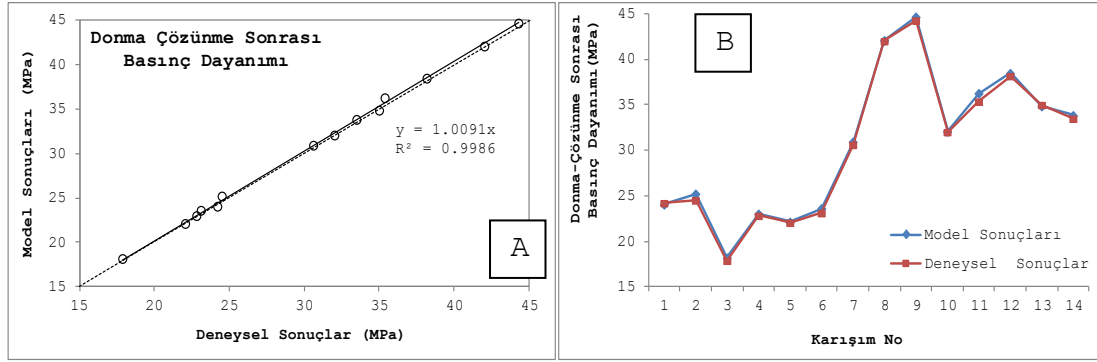
Şekil 13. YD için deneysel-model sonuçları ilişkisi
(Figure 13. The relations between the model results with the experimental results for splitting tensile strength)

Şekil 14'de AD deneysel sonuçları ile geliştirilen modelden elde edilen sonuçların ilişkisi gösterilmiştir ($R^2 = 0.9903$). Gerçek değerler ile model sonuçları arasında %0.02-1.59 aralığında farklılıklar elde edilmiştir. En büyük farklılık 0.55 S/Ç- CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve %30 MT içeren seriden elde edilmesine rağmen 9.-10. ve 11. karışımlarda küçükte (CEM I 42.5 R içeren) olsa farklılıklar gözlemlenmiştir.



Şekil 14. AD için deneysel-model sonuçları ilişkisi
(Figure 14. The relations between the model results with the experimental results for amount of wear)

Şekil 15'de Donma-çözünme sonrası yapılan basınç mukavemeti deney sonuçlarının geliştirilen model sonuçlarıyla karşılaştırılması gösterilmiştir. Elde edilen belirleyicilik katsayısı $R^2 = 0.9986$ olarak elde edilmiştir. Deneysel değerler ile model sonuçları arasında %0.20-2.96 aralığında farklılıklar elde edilmiştir. En yüksek farklılık değeri YD analizinde olduğu gibi 0.50 S/Ç-CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve %10 MT içeren seriden elde edilmiştir. Bununla birlikte diğer serilerde daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 15. DÇD için deneysel-model sonuçları ilişkisi
(Figure 15. The relations between the model results with the experimental results for resistance of freezing and thawing)

6. SONUÇLAR (RESULTS)

Yapılan çalışma sonucunda, mermer tozu oranının artmasıyla tüm serilerde çökme kaybı miktarı artmıştır. Çökme kaybının artma nedeni, mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan kolloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 μm 'nin altında olan mermer taneciklerinin köşeli tane yapısına sahip olmaları olabileceği belirtilmiştir [16].

Basınç dayanımı ve yarma dayanımı değerleri açısından incelendiğinde CEM I 42.5 R'li serilerde %20 mermer tozu oranından sonra azalma gözlemlenmişken CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li seride bu değer %10'dur. Elastisite modülü değerlerindeki değişim basınç dayanımı değerlerindeki değişime benzer olmasına karşılık mermer tozunun %10 ilavesinde elastisite modülü değerinde azalma, mermer tozunun artan oranlarında ise azda olsa bir artış elde edilmiştir.

Aşınma dayanımı değerlerinde ise basınç dayanımı ve yarma dayanımı değerlerinin tersine bir davranış elde edilmiştir. Mermer tozu oranının artmasıyla tüm serilerin aşınma miktarlarında azalma elde edilmiştir. Donma çözünme deneyi sonrasında basınç dayanımı değerlerinin değişimine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, MT oranının artmasıyla donma-çözünme deneyi sonrası basınç kayıpları değerlerinde kayda değer azalmalar elde edilmiştir. Bu değerlerdeki azalma, mermer tozu oranının artışına bağlı olarak betonun kompozitesindeki artışa paralel değişim göstermiştir.

Yapılan bu çalışmada bulanık mantık yönteminin gerçek deneysel verileri tahmin edebilirliği araştırılmış, önerilen, malzeme ve beton üretim maliyetinden kaynaklı israfı önleyip uzun zaman gerektiren deneyler yerine model kullanıp tahminler yapıp avantajlı hale getirmek hedeflenmiştir. Bileşenler ve taze beton deneyi olan çökme (slump) miktarına bağlı olarak sertleşmiş beton deneylerinin bulunmasında kullanılmıştır. Bulanık mantık sonuçları grafiksel deney sonuçları ile karşılaştırıldığında yüksek belirleyicilik katsayıları elde edilmiştir.

Bulanık mantık kullanılarak geliştirilen model ile deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiyi gösteren belirleyicilik katsayıları, basınç dayanımı için $R^2 = 0.997$, elastisite modülü için $R^2 = 0.9995$, yarma dayanımı için $R^2 = 0.9964$, aşınma dayanımı için $R^2 = 0.9903$ ve donma çözünme dayanımı için $R^2 = 0.9986$ yüksek elde edilmiştir. Mermer tozu oranı, Su/Çimento oranı, çimento mukavemeti ve çökme (slump) değerlerinin girdi olarak kullanıldığı sertleşmiş özelliklerinin tahmin edildiği bulanık mantık çözümlemesinin doğru sonuca ulaşmada kullanılabilecek bir yaklaşım olduğu bu çalışmada görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gutteridge, W.A. and Dalziel, J.A., (1990). Filler cement: the effect of the secondary component on the hydration of Portland cement. *Cement and Concrete Research*:20,778-82.
2. Bonavetti, V., Donza, H., Menendez, G., Cabrera, O., and Irassar, E.F., (2003) Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of energy. *Cement and Concrete Research*: 33,865-71.
3. Aruntas, H.Y., Guru, M., Dayi, M., and Tekin, I., (2010). Utilization of waste marble dust as an additive in cement. *production Materials and Design*:31, 4039-4042.
4. Güneyisi, E., Gesoglu, M., and Ozbay, E., (2009). Effects of marble powder and slag on the properties of self-compacting mortars. *Materials and Structures*:42, 813-826.
5. Aruntaş, H.Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R. ve Şimşek, O., (2007). Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi. 2. Yapılarda Kimyasal Katkı Sempozyumu: Ankara, 174 -180.
6. Alyamac, K.E. and Ince, R., (2009). A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders. *Construction and Building Materials*:23, 1201-1210.
7. Topcu, İ.B., Bilir, T., and Uygunoğlu, T., (2009). Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*:23, 1947-1953.
8. El Hilali, A., Ghorbel, E., and Gonnon, P., (2006). Influence des fillers sur l'ouvrabilité des bétons autoplaçants. Actes 24èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil, 1-2 Juin 2006, La Grande Motte, Construire:Les nouveaux Défis.
9. Taşdemir, C. ve Atahan, H.N., (1996). Filler Malzemelerin Betonun Mekanik Özelliklerine Ve Durabilitesine Etkisi. I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul:251-265.
10. Uğurlu, A., (1996). Taşunu kullanımının beton özellikleri üzerindeki etkisi. I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul: 303-323.
11. Topçu, İ.B. ve Yakaroğlu, S., (1998). Taş unu kullanımının beton özelliklerine etkisi. *Hazır Beton*:67-70.
12. Şimşek, O. ve Erdal, M., (2001). Kalker ve andezit taşunlarının betonun basınç dayanımına etkisi. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 16. Teknik Kongre ve Sergisi*:Ankara, 206-217.
13. Özgan, E., (2005). Kırmataş Agrega İçerisindeki Taş-Unu Miktarının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*:21 (1-2), 198-205.
14. Özgan, E., (2008). Taş Unu Miktarının Beton Basınç Dayanımına Etkisinin Bulanık Mantıkla İncelenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy, Natural and Applied Sciences*:3, (4), A0101, 600-609.
15. Ünal, O. ve Kibici, A., (2001). Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*(Mersem '2001) Afyon:Bildiriler Kitabı 3-5.
16. Görhan, G., Kahraman, E., Demir İ. ve Başpınar, M.S., (2008). Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması. *Türkiye VI. Mermer ve Doğal Taş Sempozyumu*:Afyon, 327-333.
17. Binici, H., Shah, T., Aksogan, O., and Kaplan, H., (2008). Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. *journal of materials processing technology*:208, (1-3), 299-308.

18. Ergün, A., (2011). Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*:25, 806-812.
19. Yıldız, T., Yıldız, S. ve Keleştemur, O., (2011). Cam Lif Katkılı Betonda Filler Malzemesi Olarak Atık Mermer Tozunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*: 1A0239, 6, (4), 1315-1326.
20. Vlahovic, M.M., Martinovic, S.P., Boljanac, T.D., Jovanic, P.B., and Volkov-Husovic, T.D., (2011). Durability of sulfur concrete in various aggressive environments. *Construction and Building Materials*:25 (10), 3926-3934.
21. Moosberg-Bustnes, H., Lagerblad, B., and Forssberg, E., (2004). The function of fillers in concrete. *Materials and Structures / Matériaux et Constructions*:Vol. 37, 74-81.
22. Tanyıldızı, H. ve Coşkun, A., (2011). Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*:27(2), 150-154.
23. Turker, P., Erdogan, B., and Erdogdu, K., (2002). Mermer tozunun çimentonun hidrasyonuna ve mikroyapısına etkileri. *Çimento ve Beton Dünyası*:7(38), 50-62.
24. Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., (2004). Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu:İzmir, Türkiye 6 sayfa* 13-14.
25. Filiz, M., Özel, C., Soykan, O. ve Ekiz, Y., (2010). Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*:6(2) 57-72.
26. Demirel, B. ve Yazıcıoğlu, S., (2010). İnce Malzeme Olarak Kullanılan Atık Mermer Tozunun Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *International Sustainable Buildings Symposium. Ankara, Bildiriler Kitabı*: 173-176.
27. Gencel, O., Özel, C., Erdogmuş, E., Koksall, F., Martínez-Barrera, G., and Brostow, W., (2012). Properties of concrete paving blocks made with waste marble. *Journal of cleaner production*:21, 62-70.
28. Ünal, O. and Uygunoğlu, T., (2003). Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Afyon: Bildiriler Kitabı* 18-19.
29. Felekoğlu, B., (2007). Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case). *Resources, Conservation and Recycling*:51, 4, 770-791.
30. Terzi, S., (2000). Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi. Isparta:Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
31. Akbulut, H. ve Gürer, C., (2006). Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregat Olarak Değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*:261 3943 -3960.
32. Karasahin, M. ve Terzi, S., (2007). Evaluation of marble dust in the mixture of asphaltic concrete. *Construction and Building Materials*:21, 616-620.
33. Saboya, Jr. F., Xavier, G.C., and Alexandre, J., (2007). The use of the powder marble by-product to enhance the properties of brick ceramic. *Construction and Building Materials*:21 1950-1960.

34. Bilgin, N., Yeprem, H.A., Arslan, S., Bilgin, A., Gunay, E., and Marsoglu, M., (2012). Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials*:29, 449-457.
35. Can, Ö. ve Yaprak, H., (2006). Mermer Tozu Katkılı Kerpiçin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. *e-journal of New World Sciences Academy*:1 (2), 98-108.
36. Zorluer, İ. ve Usta, M., (2003). Zeminlerin Atık Mermer Tozu ile İyileştirilmesi. *Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM '2003) Bildiriler Kitabı*:305-311.
37. Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, Y.İ. ve Sarılışık, A., (1996). Mermer Teknolojisi. SDÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü: 242 Isparta.
38. Tur, Ş., (2007). Afyonkarahisar'da Mermer Artıklarının Depolanması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
39. TS EN 12350-2, (2002). Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. *Türk Standartları Enstitüsü:Ankara*, 5 s.
40. TS EN 12390-3, (2003). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü:Ankara*, 12 s.
41. TS EN 12390-6, (2002). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü:Ankara*, 6 s.
42. TS 699, (2009). Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri. *Türk Standartları Enstitüsü:Ankara*, 42 s.
43. TS 2824 EN 1338, (2005). Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları:Ankara, 58 s.
44. TS 3449, (1980). Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanırlılık Faktörü Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü:Ankara*, 7 s.
45. ASTM C 666/C 666M, (2003). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. *Annual Book of ASTM Standards:USA*, p. 6.
46. Erdoğan, T.Y., (2003). Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık:Ankara.
47. Zadeh, L.A., (1965). Fuzzy sets. *Inform Control*:8:338-353.
48. Şen, Z., (2001). Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri. *Bilge Kültür Sanat:İstanbul*.
49. Durmuş, G. ve Can, Ö., (2009). Polikarboksilat Bazlı Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Betonun Yüksek Sıcaklıktaki Basınç Dayanımın Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini. *Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergisi*:8, 3, 272 - 286.
50. Terzi, S., (2004). Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi. *Doktora Tezi. Isparta:Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
51. Demir, F., (2005). Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi İçin Bir Bulanık Yaklaşım. *Deprem Sempozyumu:Kocaeli*, 1353-1358.
52. Uygunoğlu, T. ve Ünal, O., (2005). Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi:Afyon*, (1) 13-20.
53. Dubois, D. and Prade, H., (1980). *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. Academic Pres. Inc. Ltd: London.
54. Do, J.Y., 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.

55. Do, J.Y., (2006). Fuzzy inference based cover thickness estimation of reinforced concrete structure quantitatively considering salty environment impact. Computers Concrete:3(2), 145-162.
56. Topçu, 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.
57. Ramezaniyanpour, A.A., Shahhosseini, V., and Moodi, F., (2009). A fuzzy expert system for diagnosis assessment of reinforced concrete bridge decks. Computers Concrete:6(4), 281-303.
58. Terzi, Ö., Keskin, M.E., and Taylan, E.D., (2006). Estimating Evaporation Using ANFIS. J. Irrigation Drainage Eng:132(5), 503-507.
59. Chen, C.W. and Huang, S.T., (2011). Implementing KM programmes using fuzzy QFD. Total Qual Man Business Excel:22(4), 387-406.
60. Özel C. ve Polat H., (2011). Polipropilen Fiber İçeren Betonlarının Elastisite Modülünün Bulanık Mantık Kullanılarak Belirlenmesi. e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences: 1A0197, 6, (4), 789-807.