

LASTİKLİ BETON ÖZELİKLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI VE BULANIK MANTIKLA BELİRLENMESİ

İlker Bekir TOPÇU¹, Mustafa SARIDEMİR², Halil NOHUTÇU³

ÖZET: Bir endüstriyel atık olan lastiklerin, beton özelliklerini geliştirmek amacıyla betonun içine katılması oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada atık otomobil lastikleri betona iki farklı boyutta katılarak ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deney numuneleri değişik miktarlardaki malzemeler ile hazırlanmış ve 28 gün sonra sertleşmiş beton üzerinde ultrases geçiş hızı ve silindirik basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Üretilen lastikli betonların laboratuvar da elde edilen özelliklerinin, yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık (BM) kullanılarak bulunması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, YSA ve BM modellerinden elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum gözlenmiştir. Beton karışım bilgilerine sahip olduğunda, YSA ve BM yöntemlerinde oluşturulan modeller kullanarak deney yapmadan çok az bir hatayla çok kısa bir sürede beton özellikleri tahmin edilebilir.

ANAHTAR KELİMELE: Lastikli beton, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı.

PREDICTION OF RUBBERIZED CONCRETE PROPERTIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK ANDFUZZY LOGIC

ABSTRACT: The use of industrial waste rubbers to improve properties of concrete is quite common. In this study, ultrasound pulse velocity and compressive strength experiments were made by adding waste automobile rubber to concrete in two different sizes. Test specimens mix proportions were prepared and after 28 days ultrasound pulse velocity and compressive strength experiments were made on hardened concrete. The properties of rubberized concretes produced in laboratory were found by using Artificial Neural Network (ANN) and Fuzzy Logic (FL). As a result of studies, the accommodation was observed between ANN, FL results and experimental results. Having in hand the mix proportion, concrete properties may be predicted with a small error in a short time by using models constitute in ANN and FL systems without laboratory experiments.

KEYWORDS: Rubberized concrete, ultrasound pulse velocity, compressive strength.

^{1, 2, 3} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR.

I. GİRİŞ

Endüstriyel atık olan otomobil lastiklerinin değerlendirilmesi ve aynı zamanda çevre kirliliğinin önlenmesi oldukça önemli bir konudur. Atık otomobil lastiklerinin beton içine katılmasıyla lastikli betonlar üretilmektedir. Lastikli beton özellikle çarpma etkisiyle karşı karşıya olan yapılarda kullanılmaktadır [1]. Çarpma anında meydana gelebilecek hasar ve yaralanmaların azaltılabilmesi ve betonun esnek hale getirilmesi için betonda lastik agregalarının kullanılması gerekmektedir [2]. Lastiklerin agrega olarak betonda kullanılması çevre kirliliği, yakıldığında hava kirliliği ve çeşitli problemlere neden olan bir atık malzemenin de ortadan kaldırılmasını sağlamaktadır. Lastikli beton üretimi günümüzde çok yaygınlaşmıştır [3,4].

Lastik agregalı beton; yüksek trafik hacimli kesimlerde, orta refüjün aşıldığı yerlerde, uçurum kenarlarında, demiryollarındaki betonarme traverslerde, korunması gereken tesislerin önünde, dere, nehir ve su yataklarının olduğu kesimlerde, tehlikeli engellerin önünde, demiryolu raylarının zemine montesinde, çivi çakılabilen giydirme yüzeylerde, kaplama gibi mimari uygulamalarda, düşük birim ağırlıkları nedeni ile iç bölgelerde, kaldırımlarda, yol kenarlarında, parklarda, ses bariyerleri ve titreşim kesme elemanlarında rahatlıkla kullanılabilceği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir [2-14].

Lastikli betonlarla ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalardan yararlanılarak, deneysel sonuçları tahmin edebilmek için yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık (BM) yöntemlerinde modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin giriş katmanında (% olarak) lastik oranı, çimento, su, kum, ince kırmataş-I (İK-I), İri kırmataş-II (İK-II), ince lastik-I (İL-I), iri lastik-II (İL-II) kullanılmıştır. Çıkış katmanında da 28 günlük sertleşmiş beton özelliklerinden olan ultrases geçiş hızı (UGH) ve silindir basınç dayanımı (SBD) değerlerinin girilmesinden sonra ağlar eğitilip testler yapılmış gerçek değerlere yakın değerler elde edilmiştir.

YSA sisteminde kullanılan ağ çok katmanlı, ileri beslemeli ve hatanın geriye dağılım algoritmasının kullanıldığı bir modeldir. BM sisteminde kullanılan ağ ise, Sugeno-tipi modeldir. Sugeno-tipi model, Takagi, Sugeno ve Kang

tarafından geliştirilen ve giriş-çıkış uzayından sistematik olarak bulanık kurallar çıkartan bir modeldir [15,16].

II. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalar, atık otomobil lastiklerinin betonda agrega olarak kullanılabilmesi için yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda CEM-II/B-P tipi çimento, dere yatağından alınmış 0-4 mm tane boyutlarında yıkanmış kum, 1-16 (ince) ve 1-31.5 (iri) mm tane boyutlarında kırmataş, şehir şebeke suyu, lastik olarak da 0-1 (ince) ve 1-4 (iri) mm öğütülmüş iki ayrı tane boyutuna ayrılmış lastik agregaları kullanılmıştır.

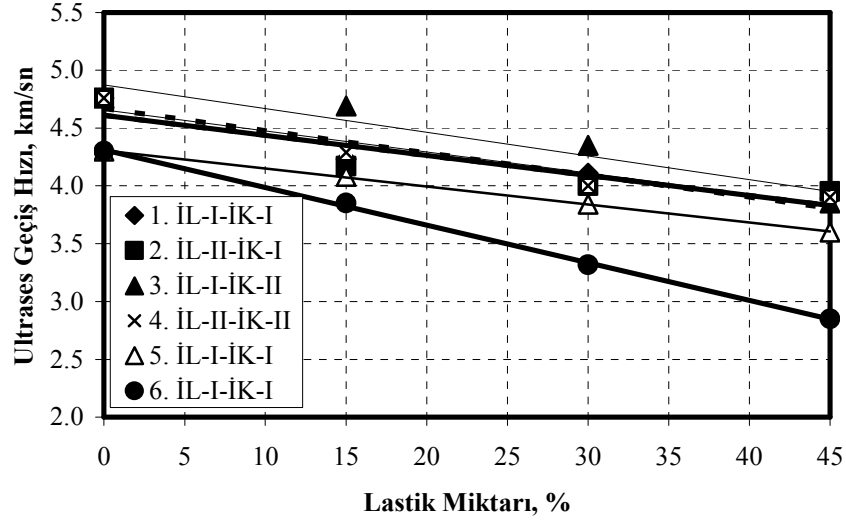
Betonla ilgili deneysel çalışmalarda, kontrol betonu ile İK-I ve İK-II yerine hacimce % 15, 30 ve 45 oranlarında İL-I ve İL-II kullanılarak seriler halinde 21 beton üretilmiştir. Bu serilerden sadece normal beton serisinin karışım hesabı mutlak hacimler yöntemi ile yapılmıştır. Lastikli diğer seriler ise normal beton serisindeki ince ve iri agregaların, hacimce % 15, 30 ve 45 oranlarda azaltılıp, yerine azaltılan hacim kadar 0-1 ve 1-4 mm tane çaplarında ince ve iri lastik agregalar ilave edilmesi suretiyle hazırlanmıştır. Karışım oranlarının belirlenmesi için, ince ve iri kırmataşlı betonların karışım hesaplarında 1 m³ beton karışımı içinde bulunan malzemelerin, mutlak hacim ve ağırlık değerleri Çizelge 1'deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 1. Teorik beton karışım miktarları.

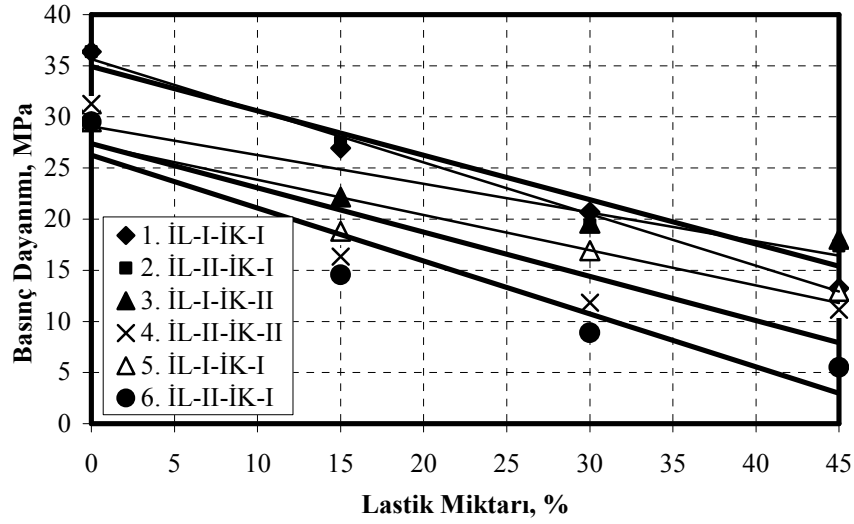
Karışım		Çimento	Kum	İnce kırmataş	İri kırmataş	Su
Karışım 1	kg	426.76	853.84	893.25	----	202.76
	dm ³	135.47	328.40	328.40	----	202.76
Karışım 2	kg	367.57	548.86	767.57	559.42	174.64
	dm ³	116.70	211.10	281.86	211.10	174.64
Karışım 3	kg	357.75	609.00	1148.10	----	222.40
	dm ³	113.50	230.70	428.40	----	222.40

Deneysel çalışmalar sırasında lastiksiz normal beton ve % 15, 30 ve 45 oranlarında 0-1 mm İL-I'li ve 1-4 mm İL-II'li toplam yedi seri beton üretilmiş ve üretilen seri betonlar NB, İL-II5, İL-I30, İL-I45, İL-II15, İL-II30 ve İL-II45 şeklinde kodlanmıştır. Karışıma girecek malzemelerden çimento ve agregalar

düsey eksenli cebrik karıştırma 30 dm³ kapasiteli karıştırıcıda iki dakika süre ile kuru olarak karıştırılmıştır. Daha sonra karışıma su ilave edilmiş ve aynı karıştırıcı ile iki dakika daha karıştırılarak kalıplara dökülmeye hazır hale getirilmiştir. Üretilen betonlar, içleri önceden yağlanmış olan üçer adet $\phi 15 \times 30$ cm boyutlarındaki silindir kalıplara vibrasyon masasında sıkıştırılarak doldurulmuştur. Kalıplarda oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra çıkarılan numuneler 28 gün süreyle % 95±5 bağıl nem ve 20±2 °C'deki kür havuzunda tutulduktan sonra çıkartılmış ve oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1. Ultrases geçiş hızının lastik miktarı ile değişimi.



Şekil 2. Basınç dayanımının lastik miktarı ile değişimi.

Deney çalışmalarda basınç dayanımı için üretilen numuneler üzerinde UGH deneyleri yapılmıştır. Numunelerin lastik miktarlarının artmasıyla UGH, Şekil 1’de görüldüğü gibi azalmaktadır. Ultrases geçiş hızındaki azalma İK-I agregalı betona göre İK-II agregalı betonlarda daha belirgin olarak gözlenmiştir. Basınç dayanımı deneyi için üretilen normal ve lastik agregalı betonların $\phi 15 \times 30$ cm boyutlu silindirlere elde edilen SBD değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Lastik ilaveleri sonucunda betondaki SBD değerleri lastik miktarı arttıkça düşmektedir. SBD değerleri İL-I betonlara göre İL-II betonlarda daha fazla düşmektedir. Bu durum lastik miktarı ve boyutunun artmasının betonun SBD değerlerini olumsuz etkilediğini göstermektedir. SBD değerinin azalmanın nedeni olarak da atık lastik kırıntıları ve çimento arasındaki birbirine bağlanmanın eksikliği gösterilmektedir. Elde edilen lastikli betonların regresyon denklemleri ve düzeltilmiş korelasyon katsayıları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Betonların regresyon denklemleri ve korelasyon katsayıları.

$y = ax + b$		R^2
Ultrases Geçiş Hızları		
1. İL-I-İK-I	$y = -0.0182x + 4.657$	0.9096
2. İL-II-İK-I	$y = -0.0173x + 4.610$	0.8137
3. İL-I-İK-II	$y = -0.0205x + 4.873$	0.9096
4. İL-I-İK-II	$y = -0.0191x + 4.668$	0.9233
5. İL-I-İK-I	$y = -0.0156x + 4.306$	0.9996
6. İL-II-İK-I	$y = -0.0325x + 4.312$	0.9991
Silindir Basınç Dayanımları		
1. İL-I-İK-I	$y = -0.5047x + 35.66$	0.9933
2. İL-II-İK-I	$y = -0.4341x + 34.933$	0.9419
3. İL-I-İK-II	$y = -0.2810x + 29.075$	0.8478
4. İL-II-İK-II	$y = -0.4321x + 27.368$	0.7995
5. İL-I-İK-I	$y = -0.3439x + 27.276$	0.8854
6. İL-II-İK-I	$y = -0.5174x + 26.259$	0.8936

III. YAPAY SİNİR AĞLARI VE GERİ ÖĞRENME ALGORİTMASI

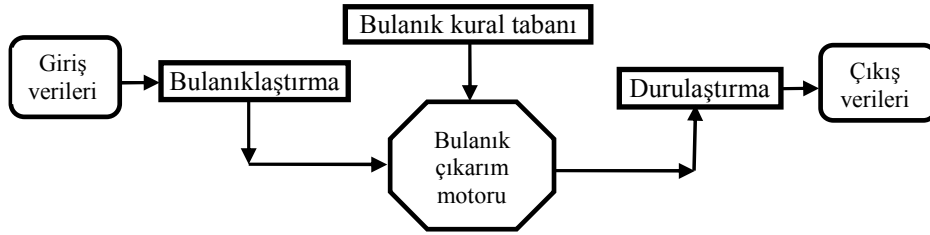
Deneyler, malzemenin ve elemanların belirli özelliklerini test etmek için yapılır. Bu, araştırmacı için uzun zaman almaktadır. Amacımız deney girdileri ve çıktıları arasında bir bağıntı kurup sonuçları deney yapmadan tahmin edebilmektir. Bunun için birçok algoritma ve formülasyon geliştirilmiştir. YSA da bunlardan birisidir. Bu yöntemi ilk olarak 1943 yılında McCulloch ve Pitts ortaya çıkarmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle 1980 yılından sonra YSA yönteminin kullanımı daha verimli hale getirilmiştir [17-20]. YSA yönteminde, girdiler ve çıktılar arasında pek çok hücre ve çok sayıda bağ vardır. Sinir hücreleri arasındaki bu bağlantılar, ilişkiye göre bir aktarım değeri almakta ve buna ağırlık denmektedir. Ağırlıklar girilen tüm yeni veriler için yenilenmekte ve dinamik yapıdadırlar. Mevcut bir veri tabanı öğretimi yapıldıktan sonra, ileride elde edilecek verilerle sistem kolayca güncellenebilmektedir [20-22].

Yapay sinir ağları temel olarak 3 tabakadan oluşmaktadır. Bunlar girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakasıdır. Bu üç tabakadaki her bir hücre birbiri ile bağlantılıdır. Bu bağlantılar verileri belli oranlarda bir sonraki hücreye taşımaktadır. Gizli tabakadaki hücreler kendileriyle ve girdi tabakasındaki her bir

hücre ile bağlıdır. Gizli tabakadaki bir hücreye bu şekilde aktarılan veriler toplanır ve gelen sinyal, aktivasyon fonksiyonu denilen bir fonksiyonu tetikler. Bu fonksiyon belli bir eşik üzerindeki değerleri çıktı olarak verir ve çıkış değeri genelde 0-1 aralığındadır. Çıktı tabakasındaki hücrelerde gizli tabakadaki her bir hücreye bağlı durumdadır ve gizli tabakadaki her bir hücreden yine ağırlık katsayılarına göre veri toplarlar, toplanan bu verileri yine aktivasyon fonksiyonları ile çıktı olarak sonuçlandırır. Çıktı olarak bulunan bu değer gerçek çıktı değerine göre kabul edilebilir bir değerde ise sonuç kabul edilir. Değilse, bu fark hata kabul edilerek işlem bu defa sondan başa doğru öncekine yakın bir mantık ile ağırlık katsayılarının düzeltilmesinde kullanılır. İleri-geri olan bu işlem hata toleransı kabul edilebilir bir sınır düzeyine gelinceye kadar tekrar edilir [17-23].

IV. BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

Günlük hayatta kesin olarak bilinmeyen birçok durumla karşılaşılır. Bunlara ancak bir takım deneysel çalışma sonuçları ve bazı kabullerle kesinlik kazandırıldığı bilinmektedir. Ama gerçekte kesin gibi görünen bazı kabullerin bir yaklaşıklık içerdiği ve belirli sınırlar içerisinde olduğu da bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla genel anlamda, bu tür yaklaşımlara her zaman gerek duyulur. Bilgisayarlar ise bu tür belirsizlikleri işleyemezler ve bir takım sayısal değerlere gereksinim duyarlar. BM yaklaşımında sistem Şekil 3'te gösterildiği gibi temel olarak 4 bileşene sahiptir. Bunlar; bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırma. Ayrıca giriş verileri ve çıkış verileri de vardır [22-25].



Şekil 3. Bulanık bir denetleyicinin yapısı.

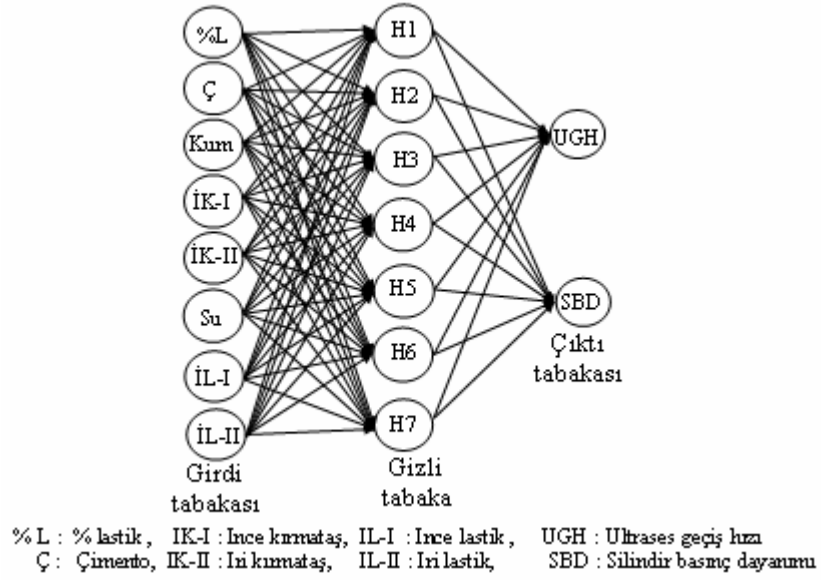
Bulanık mantıktaki giriş verileri incelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Bulanıklaştırma, veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü oluşturur. Bu kuralların yazılmasında girdi verileri ile çıktı verileri arasında olabilecek tüm aralık bulanık küme bağlantıları olarak düşünülür. Böylece, her bir girdi uzayının bir parçası çıktı uzayına mantıksal olarak bağlanır. İşte bu bağlantıların tümü kural tabanını oluşturur [26]. Bulanık çıkarım motoru, bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerinin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemleri içeren bir mekanizmadır. Durulaştırma, bulanık çıkarım motorunun, bulanık küme çıkışlarında ölçek değiştirerek gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir. Çıktı verileri, bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoruyla etkileşimi sonucu oluşan değerlerdir [17,25-27].

BM yönteminde belirsizlik durumları, bu durumu temsil eden küme elemanlarına üyelik fonksiyonları verilmesi ile tanımlanır. En büyük dereceye sahip olan ögelere 1 değeri atanırsa, diğerleri 0 ile 1 arasında değişim gösterir. İşte bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öge için değerine üyelik derecesi ve bunun alt küme içindeki değerine de üyelik fonksiyonu denilmektedir [27-30]. BM yönteminde kullandığımız model Sugeno-tipi bir sonuç çıkarma modelidir. Bu modelin tipik kural yapısı; A ve B bulanık kümeleri ve $z = f(x,y)$ çıkıştaki duru fonksiyonu gösterir. $f(x,y)$; x ve y giriş değişkenlerine bağlı birçok terim içerir ve girişler tarafından belirlenen bulanık bölgeyi tanımlar. Sugeno-tipi bulanık sonuç çıkarma modelinde her kuralın çıkışı durudur ve toplam çıkış ağırlıklı ortalama ile bulunmaktadır [15,16,30].

V. MODEL OLUŞTURULMASI

Bu çalışmada, YSA ve BM modellerinde toplam 21 adet deney sonucu işlemlerde kullanılmıştır. Deneylerde karışım olarak dikkate alınan % lastik oranı, çimento, kum, İK-I, İK-II, su, İL-I, İL-II miktarları olmak üzere toplam 8 özellik giriş katmanında, UGH ve SBD değerleri çıkış katmanında kullanılmıştır.

YSA modelinde bir adet gizli tabaka seçilmiş ve gizli tabakada 7 hücre belirlenmiştir. Gizli tabaka ve çıkış tabakasındaki hücre çıkışlarında doğrusal olmayan bir yapıya sahip olan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Momentum oranı 0.9, öğrenme oranı 0.9 olarak bulunmuş ve iterasyonlarla ağ eğitilmiştir. Eğitilen ağ girdi değerleriyle test edilmiş ve deney sonuçlarına çok yakın değerler bulunmuştur.



Şekil 4. YSA modelinde kullanılan sistem.

Çizelge 3. Deney sonuçları ile YSA ve BM sonuçlarının karşılaştırılması.

Deneysel Sonuçları		YSA Sonuçları				BM Sonuçları			
UGH km/sn	SBD MPa	UGH km/sn	SBD MPa	UGH % hata	SBD % hata	UGH km/s	SBD MPa	UGH % hata	SBD % hata
4.76	36.38	4.74	36.57	0.41	0.53	4.76	36.48	0.05	0.29
4.23	26.94	4.24	27.06	0.31	0.46	4.23	26.98	0.02	0.14
4.11	20.66	4.10	20.76	0.27	0.46	4.11	20.68	0.03	0.09
3.89	13.24	3.89	13.28	0.01	0.28	3.89	13.22	0.04	0.15
4.17	27.50	4.18	27.67	0.14	0.61	4.18	27.43	0.12	0.24
4.00	19.41	4.00	19.60	0.12	0.97	3.99	19.62	0.16	1.09
3.95	17.37	3.96	17.55	0.15	1.05	3.95	17.40	0.02	0.19
4.76	31.25	4.76	31.82	0.06	1.82	4.76	31.18	0.00	0.24
4.69	22.13	4.71	22.85	0.39	3.28	4.69	22.12	0.03	0.07
4.35	19.58	4.35	19.94	0.10	1.85	4.35	19.52	0.01	0.03
3.85	18.05	3.86	18.25	0.22	1.08	3.85	18.00	0.02	0.27
4.29	16.35	4.30	16.94	0.34	3.62	4.28	16.46	0.12	0.65
4.00	11.83	4.01	12.35	0.25	4.39	4.00	11.65	0.11	1.53
3.90	11.15	3.92	11.50	0.42	3.17	3.90	11.17	0.05	0.15
4.30	29.50	4.31	29.77	0.18	0.91	4.31	29.48	0.16	0.05
4.08	18.80	4.08	19.03	0.10	1.22	4.08	18.83	0.06	0.15
3.84	16.92	3.84	17.14	0.10	1.28	3.84	16.92	0.01	0.01
3.60	12.93	3.59	12.93	0.20	0.04	3.60	12.93	0.01	0.02
3.85	14.55	3.86	14.84	0.20	1.96	3.85	14.55	0.00	0.02
3.32	8.91	3.33	9.15	0.34	2.74	3.32	8.91	0.00	0.02
2.85	5.51	2.86	5.63	0.35	2.22	2.85	5.51	0.00	0.00

UGH: Ultrases Geçiş hızı, SBD: Silindir basınç dayanımı

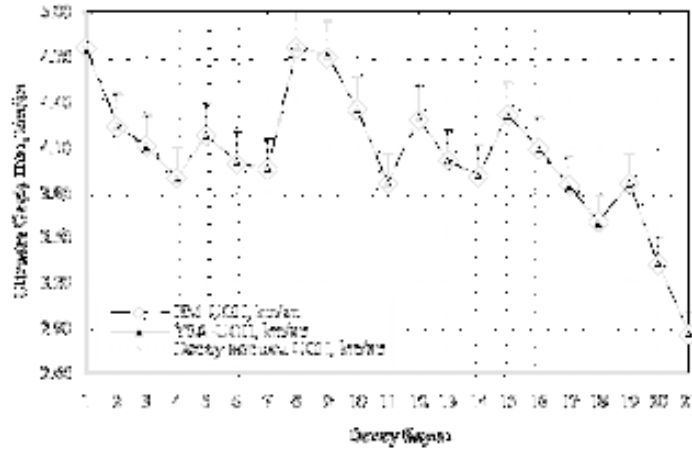
Deneylerdeki 21 adet deney numunesi YSA ve BM modellerine uygulanmış ve lastikli betonların 28 günlük UGH ve SBD değerleri bulunmuştur. Deney sonuçlarından, YSA ve BM modelinden elde edilen UGH ve SBD değerleri ve mutlak hata oranı değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. YSA modelinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te de görüldüğü gibi hata oranlarına göre değerlendirilirse, UGH için geometrik hata ortalaması % 0.178, mutlak hata ortalaması ise % 0.222'dir. SBD için de geometrik hata ortalaması için % 1.103, mutlak hata ortalaması % 1.617 olarak bulunmuştur. Ayrıca BM modelinden elde edilen sonuçları Çizelge 4'te görüldüğü gibi hata ortalamalarına göre değerlendirecek olursak UGH için geometrik hata ortalaması % 0.07, mutlak hata ortalaması ise % 0.05 ve SBD için de geometrik hata ortalaması için % 0.15, mutlak hata ortalaması % 0.27 olarak bulunmuştur. Ayrıca YSA ve BM modellerinden elde

edilen en büyük ve en küçük mutlak hata oranı değerleri de Çizelge 4'te verilmiştir. Hata ortalamalarından da görüldüğü gibi deney sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile YSA ve BM modellerinden elde edilen sonuçlar arasında çok küçük farklar vardır. YSA modelinden elde edilen sonuçların hata ortalamaları ile BM modelinden elde edilen sonuçların hata ortalamaları karşılaştırılırsa BM sonuçlarının hata ortalamaları daha düşüktür. Bu da BM model sonuçlarının deney sonuçlarına daha yakın olduğunu göstermektedir.

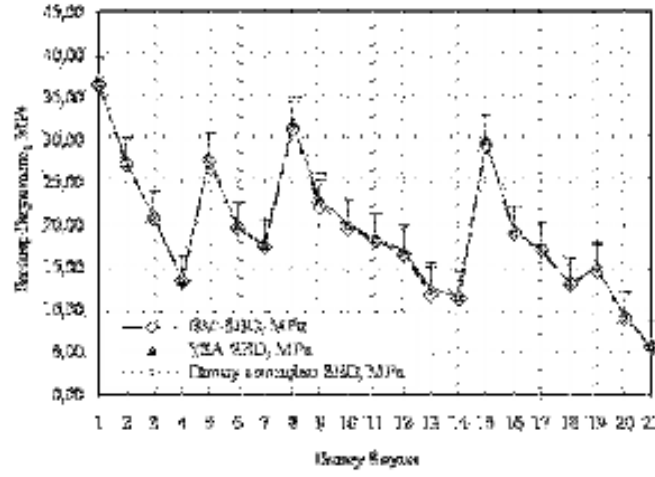
Çizelge 4. YSA ve BM sonuçlarındaki % hata oranları.

Hata Tipi		YSA		BM	
		UGH	SBD	UGH	SBD
Geometrik hata ortalaması		0.178	1.103	0.07	0.15
Mutlak hata	En küçük	0.013	0.038	0.00	0.00
	Ortalama	0.222	1.617	0.05	0.27
	En büyük	0.424	4.394	0.16	1.53

Deney sonuçları, YSA ve BM modellerinden elde edilen UGH değerleri Şekil 5'te hata çubuklarıyla gösterilmiştir. UGH deney sonuçları, YSA ve BM sonuçlarıyla karşılaştırıldığında Şekil 5'te de görüldüğü gibi birbirlerine çok yakın değerlerdir. Bu durum deney sonuçları ile YSA ve BM sonuçlarının uyum içinde olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda YSA ile BM değerleri de birbirlerine çok yakın değerlerdir ve aralarında çok küçük farklar bulunmaktadır.



Şekil 5. Deneyel sonuçların YSA ve BM sonuçlarıyla karşılaştırılması.



Şekil 6. Deneysel sonuçların YSA ve BM sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Deneysel sonuçlar, YSA ve BM modellerinden elde edilen SBD değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Deneylerden elde edilen SBD değerleri ile YSA ve BM modellerinden elde edilen SBD değerleri Şekil 6'daki hata çubuklarından da görüldüğü gibi birbirine çok yakın değerlerdir. Bu durum SBD deney sonuçlarının, YSA ve BM sonuçlarıyla uyum içinde olduğunu göstermektedir.

VI. SONUÇLAR

Betonların içine agrega olarak lastik katılması, hem atık lastiklerin değerlendirilebilmesi için, hem de esnek bir beton oluşturulabilmesi için deneysel olarak incelenmiştir. Betonun içine katılan lastik miktarı arttıkça betonun silindir basınç dayanımı değerleri düşmektedir. Aynı şekilde ultrases geçiş hızı da düşmektedir. Silindir basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızındaki düşme, ince lastikli betonlara göre iri lastikli betonlarda daha fazladır. Deneysel çalışmalarla birlikte lastikli betonların 28 günlük ultrases geçiş hızı ve silindir basınç dayanımlarını tahmin edebilmek için YSA ve BM modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller test edilmiş ve test sonucunda hedeflenen değerlere yakın değerler elde edilmiştir. Sonuç olarak deney yapmaksızın karışım oranları bilinen lastikli betonun basınç dayanımları ile ultrases geçiş hızları YSA ve BM ile oldukça düşük hata ile belirlenebileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

[1]