

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDEN
YOLA ÇIKILARAK BETON DAYANIMLARININ
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KESTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Okan ÖZBAKIR

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDEN
YOLA ÇIKILARAK BETON DAYANIMLARININ
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KESTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Okan ÖZBAKIR
(505972052)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. S. Erkin NASUF

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505972052 numaralı Doktora Öğrencisi **Okan ÖZBAKIR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDEN YOLA ÇIKILARAK BETON DAYANIMLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KESTİRİLMESİ**”başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. S. Erkin NASUF**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali Kahriman**
Okan Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan Tunçdemir
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Atilla Cuneyt Öztürk
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Erdem Bilgili
Piri Reis Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması sırasında bana yol gösteren ve yardımları ile çalışmalarımı yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Erkin NASUF' ve Yrd. Doç. Dr. Atilla ÖZTÜRK' teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışma boyunca yardım ve katkılarından dolayı Sayın Hurşit BOLAT', teşekkür ederim.

Ayrıca bana göstermiş oldukları sabır, sevgi ve saygıdan dolayı çoğu zaman ilgilenemediğim aileme, eşime ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Okan Özbakır
Maden Yük. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
2.1 Deneysel Çalışmalar.....	5
2.2 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar	8
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE VERİ HAZIRLAMA	15
3.1. Agregata	15
3.1.1 Agregaların kaynağına göre sınıflandırılması	16
3.1.2 Birim ağırlıklarına veya özgül ağırlıklarına göre sınıflandırılması	16
3.1.3 Dane büyüklüğüne göre sınıflandırılması	16
3.1.4 Dane şekline göre sınıflandırılması.....	17
3.1.5 Jeolojik orijinlerine göre sınıflandırılması.....	17
3.2 Beton Yapımında Kullanılan Agregada Aranacak Özellikler	18
3.2.1 Beton yapımında kullanılan agregaların olması gereken standartlar	21
3.3 Çalışma Sahası	23
3.3.1 Lokasyon ve jeoloji	23
3.3.2 Minerolojik ve petrografik derecelenme	24
3.4 Agregata Deneyleri	26
3.4.2 Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler	26
4. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	37
4.1 Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri	41
4.2 Basit YSA Modelleri ve Öğrenme Kuralları	42
4.3 Eğitici Öğrenme Yöntemleri	50
4.3.1 Tek tabakalı Perceptron ağı	51
4.3.2. Perceptron öğrenme kuralı	51
4.3.3 Adaline öğrenme kuralı.....	52
4.4 Geriye Yayılma (Back Propagation)	53
4.4.1 BP algoritması.....	57
4.4.2 Geriye yayılma algoritmasında öğrenme faktörleri	58
5. MODEL ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
5.1. YSA Modelinin Oluşturulması.....	63
5.2. Beton Dayanımının YSA ile Belirlenmesi	64
5.3 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.....	67
5.4 Sonuçların mutlak hatalarının değerlendirilmesi	111
6.SONUÇLAR	113

KAYNAKLAR.....	115
EKLER.....	119
EK A	119
ÖZGEÇMİŞ	135

KISALTMALAR

KK	: Kırma kum
KK1	: İnce Kırma kum
KK 2	: Kalın Kırma kum
LA	: Los Angeles aşınma oranı
BP	: Back Propagation
YSA	: Yapay sinir ağıları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	: Beton Kumları ve İri Agrega Standartları	22
Çizelge 3.2	: Minerolojik Bileşim.	25
Çizelge 3.3	: Minerolojik Bileşim	26
Çizelge 3.4	: Kırmakum (KK) numuneleri elek analizi sonuçları	27
Çizelge 3.5	: İnce agregası (K1) numuneleri elek analizi sonuçları.....	28
Çizelge 3.6	: İri agregası (K2) numuneleri elek analizi sonuçları.....	28
Çizelge 3.7	: Kumun mineral bileşimi	33
Çizelge 3.8	: Çimentonun fiziksel özellikleri.	34
Çizelge 3.9	: Çimentonun kimyasal özellikleri.....	34
Çizelge 3.10	: Kimyasal katkının özellikleri	34
Çizelge 3.11	: Beton numunelerini oluşturan elemanların ağırlıkça dağılımı	35
Çizelge 5.1	: 1. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	68
Çizelge 5.2	: 1. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney Sonuçları	69
Çizelge 5.3	: 1. Bölge YSA ve Lineer Regresyon sonuçları	70
Çizelge 5.4	: 1. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	70
Çizelge 5.5	: 2. Bölge YSA ve LR sonuçları	72
Çizelge 5.6	: 2. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	73
Çizelge 5.7	: 2. Bölge YSA modelin test işleminde kullanılan deney Sonuçları	74
Çizelge 5.8	: 2. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	75
Çizelge 5.9	: 3. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	76
Çizelge 5.10	: 3. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	77
Çizelge 5.11	: 3. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney Sonuçları	78
Çizelge 5.12	: 3. Bölge YSA ve LR sonuçları	79
Çizelge 5.13	: 4. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	81
Çizelge 5.14	: 4. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları ..	82
Çizelge 5.15	: 4. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	83
Çizelge 5.16	: 4. Bölge YSA ve LR sonuçları	83
Çizelge 5.17	: 5. Bölge YSA ve LR sonuçları	85
Çizelge 5.18	: 5. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.....	85
Çizelge 5.19	: 5. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	86
Çizelge 5.20	: 5. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları ..	87
Çizelge 5.21	: 6. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	89
Çizelge 5.22	: 6. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	90
Çizelge 5.23	: 6. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları ..	91
Çizelge 5.24	: 6. Bölge YSA ve LR sonuçları	92
Çizelge 5.25	: 7. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	94
Çizelge 5.26	: 7. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları ..	95
Çizelge 5.27	: 7. Bölge YSA ve LR sonuçları	96

Çizelge 5.28 : 7. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	96
Çizelge 5.29 : 8. Bölge YSA ve LR sonuçları	98
Çizelge 5.30 : 8. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	99
Çizelge 5.31 : 8. Bölge YSA modelin test işleminde kullanılan deney sonuçları ..	100
Çizelge 5.32 : 8. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	101
Çizelge 5.33 : 9. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	102
Çizelge 5.34 : 9. Bölge YSA modelin test işleminde kullanılan deney sonuçları ...	103
Çizelge 5.35 : 9. Bölge YSA modelin test işleminde kullanılan deney sonuçları ..	104
Çizelge 5.36 : 9. Bölge YSA ve LR sonuçları	105
Çizelge 5.37 : 10. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları	107
Çizelge 5.38 : 10. Bölge YSA modelinin test işlemi sonuçları	108
Çizelge 5.39 : 10. Bölge YSA ve LR sonuçları	109
Çizelge 5.40 : 10. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti	109
Çizelge 5.41 : Mutlak hata değerleri.....	111
Çizelge A.1 : Agregalara ait incelik modüller	119
Çizelge A.2 : K-1 ve K-2 numunelerine ait Yassılık İndeksi değerleri	120
Çizelge A.3 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Kuru Birim Ağırlığı.....	121
Çizelge A.4 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Kuru Birim Ağırlığı.....	122
Çizelge A.5 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Sıkı Birim Ağırlığı	123
Çizelge A.6 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Sıkı Birim Ağırlığı	124
Çizelge A.7 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Gevşek Birim Ağırlığı.....	125
Çizelge A.8 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Gevşek Birim Ağırlığı.....	126
Çizelge A.9 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Özgül Ağırlık Değerleri	127
Çizelge A.10 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Özgül Ağırlık Değerleri	138
Çizelge A.11 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Su Emme Oranları	139
Çizelge A.12 : KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Su Emme Oranları	130
Çizelge A.13 : K-2 numunelerine ait Los Angeles Değerleri.....	131
Çizelge A.14 : 1,2,3,4 ve 5. Bölgere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri..	132
Çizelge A.15 : 6,7,8,9 ve 10. Bölgere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri	133

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Betonun gerilme – şekil değiştirme eğrisi.....	19
Şekil 3.2 : Agrega ocaklarının yoğunca bulunduğu Gebze bölgesi.....	23
Şekil 3.3 : Kırmakum (KK) numuneleri elek analizi gradasyon eğrisi.	27
Şekil 3.4 : İnce agrega (K1) numuneleri elek analizi gradasyon eğrisi.	28
Şekil 3.5 : İri agrega (K2) numuneleri elek analizi gradasyon eğrisi.	29
Şekil 4.1 : Perceptron modeli.....	39
Şekil 4.2 : Çok katmanlı ağ yapısı	45
Şekil 4.3 : Farklı ağ bağlantıları	46
Şekil 4.4 : Eğitici öğrenme.....	49
Şekil 5.1 : YSA ile oluşturulan model ...	65
Şekil 5.2 : 1. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması ..	71
Şekil 5.3 : 1. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	71
Şekil 5.4 : 1. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması	71
Şekil 5.5 : 2. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması ..	75
Şekil 5.6 : 2. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	75
Şekil 5.7 : 2. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması	76
Şekil 5.8 : 3. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması ..	79
Şekil 5.9 : 3. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	80
Şekil 5.10 : 3. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması ...	80
Şekil 5.11 : 4. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	84
Şekil 5.12 : 4. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	84
Şekil 5.13 : 4. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması ...	84
Şekil 5.14 : 5. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	85
Şekil 5.15 : 5. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	85
Şekil 5.16 : 5. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması ...	89
Şekil 5.17 : 6. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	92
Şekil 5.18 : 6. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	93
Şekil 5.19 : 6. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması ...	93
Şekil 5.20 : 7. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	97
Şekil 5.21 : 7. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	97

Şekil 5.22 :	7. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması ...	97
Şekil 5.23 :	8. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	101
Şekil 5.24 :	8. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	101
Şekil 5.25 :	8. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması	102
Şekil 5.26 :	9. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	105
Şekil 5.27 :	9. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	106
Şekil 5.28 :	9. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması	106
Şekil 5.29 :	10. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	110
Şekil 5.30 :	10. Bölge 28günlükbeton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması	110
Şekil 5.31 :	10. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması	110

AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDEN YOLA ÇIKILARAK BETON DAYANIMLARININ YAPAY SİNİR AĞLARIYLA KESTİRİLMESİ

ÖZET

Agreganın sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklerin betonun dayanım özelliklerine etkisinin belirlenmesi ancak yapılan deneylerle mümkündür. Deneysel çalışmalar, uzun süreçlerde yapılabilen, malzeme harcanan ve ekonomik yükümlülük getiren, aynı zamanda teknik personel gerektiren çalışmalardır. Bu yüzden yapay sinir ağları bu kayıpların ve gereksinimlerin daha az indirgenebilir olduğunu gösterilmiştir. Bu çalışmada Marmara bölgesinin farklı lokasyonların dan elde edilmiş farklı köken ve özelliklere sahip agregaların fiziksel özellikleri laboratuarda belirlenmiştir. Elde edilen agregalardan üretilen betonların basınç dayanımları laboratuvar deneyleri ile tespit edilmiştir. Bu deney sonuçları geliştirilecek modelde girdileri oluşturacağı için düzenlenmiş ve kullanılabilir bir forma sokulmuştur.

Betonun dayanım özelliklerinin belirlenmesi için daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalardan yararlanılarak oluşturulan değişik yöntemler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada İstanbul Anadolu yakasında değişik 10 ayrı ocaktan elde edilmiş agregaların fiziksel özellikleri, yapılan deneylerle belirlenmiştir. Fiziksel özellikleri belirlenen agregalarla beton örnekleri hazırlanmış ve bu beton örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Betonlu oluşturan agreganın dışındaki bütün beton bileşenleri sabit tutularak değişen agregalarda betonun basınç dayanımı izlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen değerlerin kestirimi için, Yapay Sinir Ağları Yöntemi kullanılarak modeller geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

YSA tekniği kullanılarak yeni bir model geliştirilmiş ve bu modelle betonun basınç dayanımını agreganın fiziksel özelliklerinden yola çıkılarak kestirilmesi amaçlanmıştır. Oluşturan modelde agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri 21 farklı parametre ile temsil edilmiştir. Agreganın özelliklerini belirleyen bu parametreler yapay sinir ağı modelinde giriş parametreleri olarak kullanılmıştır. Dolayısı ile 7 günlük ve 28 günlük beton dayanımlarını belirleyen YSA giriş katmanı 21 YSA hücresinden oluşturulmuştur. YSA çıkışında çıkış parametresi olarak yalnızca beton dayanımı bulunduğundan çıkış katmanında yalnızca bir hücre oluşturulmuştur.

Geliştirilen modelle deney yapmadan agreganın özelliklerinin girilmesi ile elde edilecek betonun basınç dayanımı tahmin edilebildiği gösterilmiştir. YSA modeli ile tahmin sonuçları ayrıca lineer regresyon yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. YSA sonuçları ile, deneysel veriler karşılaştırıldığında; YSA sonuçlarının % 2.8 gibi küçük bir hata oranıyla deneysel sonuçlarla uygunluk gösterdiği görülmüştür. YSA sonuçları ile lineer regresyon sonuçlarından daha başarılı olduğu ve %97'lere varan yakınlıkta tahminin gerçekleştirildiği gözlenmiştir.

PREDICTION OF CONCRETE STRENGTH WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS BY USING PHYSICAL PROPERTIES OF AGGREGATES

SUMMARY

The effect of physical and mechanical properties of aggregate on concrete strength can only be determined with experiments. Experimental studies may take a long time to complete, create economic burden, require materials and technical personnel. Artificial Neural Network has shown us that these losses and requirements can be reduced. In this study, aggregate with different roots and properties were collected indifferent locations of Marmara region and their physical properties were specified. Acquired aggregate was used to create concrete and then their compressive strength was determined in laboratory experiments. The results of this experiment were organised and changed to a format that can be used as model input.

Aggregate is one of the main raw materials used in the mixed concrete production. Therefore, aggregate quality carries a great importance for the mixed concrete producers. Grain size, grain shape, organic and alkali matter contents and mineralogical compositions are important material properties on the industrial evaluation of the aggregate deposits.

Determination of the effect of the physical and mechanical properties of aggregates that have considerable effect on concrete strength is only possible by conducting a series of experimental studies. These studies take long time and mostly are not economic. Therefore, different methods formed by utilizing the experimental studies done before are used to determine the strength characteristics. In this study, the impact of physical properties of aggregates and using 7-day and 28-day cured concrete has been researched. Then a model has been developed by using artificial neural network which the results obtained from the tests. The values determined experimentally have been estimated by developing models in Artificial Neural Network method. It has been observed at the comparisons that the training and test results in the models can be estimated.

Artificial Neural Networks are a family of statistical learning models inspired by biological neural networks (the central nervous systems of animals, in particular the brain) and are used to estimate or approximate functions that can depend on a large number of inputs and are generally unknown. Artificial neural networks are generally presented as systems of interconnected "neurons" which send messages to each other. The connections have numeric weights that can be tuned based on experience, making neural nets adaptive to inputs and capable of learning.

Artificial Neural Networks are processing devices (algorithms or actual hardware) that are loosely modeled after the neuronal structure of the mamalian cerebral cortex but on much smaller scales. A large Artificial Neural Network might have hundreds or thousands of processor units, whereas a mamalian brain has billions of neurons with a corresponding increase in magnitude of their overall interaction and emergent

behavior. Although Artificial Neural Network researchers are generally not concerned with whether their networks accurately resemble biological systems, some have.

Examinations of humans' central nervous systems inspired the concept of artificial neural networks. In an artificial neural network, simple artificial nodes, known as "neurons", "neurodes", "processing elements" or "units", are connected together to form a network which mimics a biological neural network.

There is no single formal definition of what an artificial neural network is. However, a class of statistical models may commonly be called "Neural" if it possesses the following characteristics:

- Contains sets of adaptive weights,
- Capability of approximating non-linear functions of their inputs.

The adaptive weights can be thought of as connection strengths between neurons, which are activated during training and prediction.

Neural networks are similar to biological neural networks in the performing of functions collectively and in parallel by the units, rather than there being a clear delineation of subtasks to which individual units are assigned. The term "neural network" usually refers to models employed in statistics, cognitive psychology and artificial intelligence. Neural network models which emulate the central nervous system are part of theoretical neuroscience and computational neuroscience.

The word network in the term 'artificial neural network' refers to the inter-connections between the neurons in the different layers of each system. An example system has three layers. The first layer has input neurons which send data via synapses to the second layer of neurons, and then via more synapses to the third layer of output neurons. More complex systems will have more layers of neurons, some having increased layers of input neurons and output neurons. The synapses store parameters called "weights" that manipulate the data in the calculations.

An Artificial Neural Networks is typically defined by three types of parameters:

- The interconnection pattern between the different layers of neurons
- The learning process for updating the weights of the interconnections
- The activation function that converts a neuron's weighted input to its output activation.

Training a neural network model essentially means selecting one model from the set of allowed models that minimizes the cost criterion. There are numerous algorithms available for training neural network models; most of them can be viewed as a straightforward application of optimization theory and statistical estimation. Most of the algorithms used in training artificial neural networks employ some form of gradient descent, using backpropagation to compute the actual gradients. This is done by simply taking the derivative of the cost function with respect to the network parameters and then changing those parameters in a gradient-related direction. The backpropagation training algorithms are usually classified into three categories: steepest descent, quasi-Newton and conjugate gradient.

In this study, aggregate samples had been taken from 5 different Gebze rock quarries and 5 different Ömerli quarries which is in Anatolian site of İstanbul.

In this study two different prediction models have been developed and compared to determine crushed aggregate concrete compressive strength using Regression Technique and Artificial Neural Network method. Experimental data which obtained from aggregate concretes used for developing both Artificial Neural Network and Regression Technique models. While developing the models to predict of compressive strength of concretes aggregates physical properties used. Predicted concrete compressive strengths using developed models compared with the experimental compressive strengths so the reliability of models tested.

A new model was developed using Artificial Neural Network technique and this technique aims to calculate concrete compressive strength from aggregates physical properties. In the created model, 21 different parameters are used to identify aggregates physical and mechanical properties. These parameters that specify aggregate properties are used as input in artificial neural network. As a result, Artificial Neural Network input layer consists of 21 Artificial Neural Network cells when determining 7day and 28 day concrete strength. In Artificial Neural Network output, only given output parameter is concrete strength and this results in a single cell output.

The developed model indicates that without making an experiment, providing input on properties of aggregate allows us to estimate concrete compressive strength. Artificial Neural Network model estimations and linear regression results are also compared. According to this comparison between Artificial Neural Network results and experiment data; it was seen that Artificial Neural Network result has a really small error margin of 2.8% percentage in difference. Artificial Neural Network results are observed to be more successful then linear regression results and estimations are close to 97%.

1.GİRİŞ

Hızla gelişmekte olan dünyamızda yapı malzemelerine duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu ihtiyaç da en yaygın yapı malzemesi hammadresi konumunda olan agreganın önemini artırmaktadır. Agregada yüksek binalar, iş merkezleri, metrolar, kanallar, yollar ve köprüler gibi yapıların inşa edilmesinde kullanılan betonun %65-75'ini oluşturmakla birlikte demir yollarının yapımında balast malzemesi olarak kullanılan vazgeçilmez bir hammadde ve/veya nihai üründür. Kullanım alanı çok geniş olan bu yapı malzemelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi mühendislik açısından çok önemlidir.

Ana bileşenleri agregada, kum, çimento ve su olan betonun çok basit gibi görünen yapısı aslında çok karmaşıktır ve bileşenlerinin çok iyi analiz edilmesi gerekir. Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmek amacıyla değişik mineral veya kimyasal katkıları ilave edilmektedir. Beton bileşenlerinin özellikleri ve kullanım miktarları da betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirebilmektedir. Bu nedenle, beton bileşenini oluşturan malzemelerin özelliklerinin de çok iyi araştırılması gerekmektedir. Betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini daha çok beton bileşeninin yaklaşık %70'ini oluşturan agregalar etkilemektedir. Agregada maliyetinin çimentoya göre daha düşük olması beton içinde agregada kullanımının tek sebebi değildir. Agregada betonun dayanımı ile birlikte davranışını da etkilemektedir. Agregada, betona daha iyi bir hacim sabitliği sağladığı gibi, aynı zamanda betonun çevresel etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Bunların yanı sıra, betonun işlenebilirliği, pompalanabilmesi ve beton içindeki hava miktarı da agregada tarafından belirlenir.

Agreganın sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklerin betonun dayanım özelliklerine etkisinin belirlenmesi ancak yapılan deneylerle mümkündür. Bu çalışmalar uzun zaman almakta ve çoğu zamanda ekonomik olmamaktadır. Bundan dolayı dayanım özelliklerinin belirlenmesi için daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalardan yararlanılarak oluşturulan farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerin başında gelen yapay sinir ağları, günümüzde kayaç sınıflandırmaları ve betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi de dahil olmak üzere pek çok konuda hızla büyüyen bir ilgi alanı oluşturmaktadır. Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağları (YSA) betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlendiği deneysel yöntemler dışında kullanılan diğer yöntemler arasındadır. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalardan yararlanılarak YSA ile geliştirilen modellerle betonun fiziksel ve mekanik özellikleri çok kısa bir zamanda tahmin edilebilmekte ve genelleştirme yapılabilmektedir. Bu nedenle, deneysel çalışmalara katkı sağlamak ve deneysel çalışmalar sırasında ortaya çıkabilecek hataları azalmak için, akıllı sistemler olarak bilinen YSA yönteminin kullanılması bu tür bir eksikliği gidermiştir.

Yıllardır bir çok araştırmacı YSA yöntemini ile oluşturulan modellerle betonun davranış özelliklerini tahmin etmeye çalışmış yapılan deneylerle de modellerin doğruluğunu kanıtlama yoluna gitmişlerdir. Lai ve Serra (1997) oluşturduğu modelde giriş tabakasında; çimento tipi, ince kum, kalın kum, ince agrega, iri agrega, çimento ağırlığı, su çimento oranı ve süper akışkanlaştırıcıyı, çıkış tabakasında ise basınç dayanımını kullanmışlardır. Elde ettikleri basınç dayanımı sonuçlarının deney sonuçlarıyla birbirine çok yakın olduğunu belirtmişlerdir. Yine Mukherjee ve Biswas (1997), Yeh (1998), Hong-Guang ve Ji-Zong (2000) ve Öztas (2006) gibi araştırmacılar betonun dayanım özelliklerini tahmin etmek amacı ile beton karışımını oluşturan elemanların oranlarını ve/veya fizik-mekanik özelliklerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçların yüksek oranda deneylerden elde edilen sonuçlara çok yakın olduğunu bildirmişlerdir.

Betonu oluşturan bileşenlerin betonun dayanımına olan etkisinin belirlenmesine yönelik yapılan deneyler bazen ekonomik olamamakta, bazen de çok fazla zaman almaktadır. Bu durumlarda da, YSA yöntemiyle geliştirilen modeller sayesinde hem veri üretimi sağlanarak agregaların sınıflandırılması gerçekleştirilebilecek hem de ekonomiklik ve zaman bakımından büyük kazanımlar sağlayacaktır. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır.

Kayaç özelliklerinin bilinmesi kaliteli agrega üretiminde çok önemli olmakla beraber yapılan deneysel çalışmalar sonucunda basınç dayanımı düşük agreganın sadece

betonun dayanımını sınırlamakla yetinmeyip, istenmeyen özelliklere sahip olmaları dayanım ve yapısal performansını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Alexander ve Milne (1995) değişen su/çimento oranının agrega türüne bağlı olarak 20 MPa kadar değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Tasong (1998) yaptıkları çalışmada agrega yüzeylerinde kırılma veya çatlak olup olmadığına bağlı olarak, farklı mineral yapıya sahip agregalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Yeğinboğalı (1999) köseli ve yüzeyi pürüzlü agregaların, yuvarlak taneli agregalara göre, çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğunu ve agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda bu bağın, çimento taneleri tarafından daha da güçlendirildiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada Marmara bölgesinin farklı lokasyonlarından elde edilmiş farklı köken ve özelliklere sahip agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri dikkate alınarak oluşturulan YSA modelleri ile betonun basınç dayanımına olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan agregaların fiziksel ve mekanik parametreleri, oluşturulan modellerde girdi olarak kullanılmış betonu oluşturan diğer bileşenler standart kalması sağlanarak agrega özelliklerinin değişmesiyle elde edilen betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır.

Elde edilen modellerle hem deney yapmadan agrega özelliklerinin girilmesi o agreganın kullanılması ile elde edilecek betonun basınç dayanımı tahmin edilmiş olacak hem de oluşturulan modellerle sınır değerleri girilerek oluşturulacak veri kümeleri ile agregaların fiziksel ve mekanik değerlerine bağlı sınıflandırma yapılabilecektir. Deneysel çalışmalar sırasında ortaya çıkan hatalar da, YSA yönteminden yararlanılarak daha da azaltılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ana kayaç özelliklerinin bilinmesinin kaliteli agrega üretiminde önemi büyüktür. Örneğin silis içeren tridimit ve andezit gibi mineraller alkali agrega reaksiyonuna neden olduğundan, beton için uygun görülmemektedir. Siyah ve beyaz kireçtaşı, granit, bazalt ve siyenit gibi doğal taslardan da kaliteli beton agregası elde edilebilmektedir.

2.1 Deneysel Çalışmalar

Kaplan (1959) 13 farklı kökenli agrega kullanarak 3 ayrı beton karışımı ürettiği araştırmada, aynı karışım oranları kullanılmasına rağmen basınç dayanımlarının % 30, eğilme dayanımlarının ise % 40 oranında değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Agreganın yüzey yapısı, şekli ve elastisite modülü gibi özelliklerinin betonun mekanik davranışında oldukça etkili olduğunu ve dayanımın artması durumunda bu mekanik özelliklerin öneminin arttığını belirtmiştir.

Murdock (1991), tortul kayaç olan kireçtaşının, kalsiyum karbonattan oluştuğunu, sert ve yoğun türlerinin betonda en uygun kayaç türü olduğunu belirtmiştir. Daha yumuşak ve yoğunluğu daha düşük olitik kireçtaşlarının dona ve aşınmaya dayanıklılıklarının düşük olması nedeniyle, özellikle aşınmaya ve atmosfer etkilerine maruz karayolu kaplama betonları, dolu savak betonları ile köprü tabliye betonları için uygun olmadığını, tebeşir türü kireçtaşlarının ise çok yumuşak olması nedeniyle betonda kullanılamayacağını ifade etmiştir. Yüksek oranda magnezyum karbonat içeren dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak uygunluğunu belirtmektedir.

Kawakami (1992)'nin 5 farklı agrega kullanarak yaptığı çalışmada; su emme oranları yüksek olan agregaların çimento hamuru ile aderansı dışa açık boşluklarda hidrasyon ürünlerinin gelişmesine bağlı olarak yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Aderans mukavemeti, taşın basınç mukavemeti ve elastisite modülü ile ters orantılıdır. Su emmesi yüksek ve rijitliği düşük agregalar kullanılarak aderans

mukavemetinin ve betonun basınç mukavemetindeki şekil değiştirmenin artacağı ancak betonun basınç mukavemetinin ise azalacağı beklenmektedir.

Giaccio (1992) , bazalt, granit ve kireçtaşı kullanarak yaptıkları çalışmada, elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme ve eğilme deneyleri sonuçlarına göre betonun iç bağındaki çözümler ve süreksizlik sınırlarını incelemişlerdir. Beton iç bağındaki çözümlerin nedenini, agreganın temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agreganın türüne göre değiştiği süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği iddia edilmiştir. Bununla birlikte daha sert kayalardan elde edilen agregaların mukavemet değerlerinin de yüksek çıktığı sonucuna ulaşmışlardır.

Gutierrez ve Canovas (1993) 6 farklı türden agreganın kullanarak yaptıkları çalışmada kullanılan agreganın betonun kıvamına ve basınç dayanımına olan etkilerini incelemişlerdir. Beton kıvamını etkileyen en önemli faktör agreganın su emmesi olduğu için, su emmesi yüksek olan agregalarda işlenebilirliğin azaldığını, düşük olan agregalarda ise işlenebilirliğin arttığını göstermişlerdir. Yakın su emme değerlerine sahip agregalarda ise; granülometri, tane şekli ve maksimum tane boyutu işlenebilmeyi etkileyen diğer özelliklerdir. Mekanik özellikleri birbirine yakın olan iki tip agregadan, kireçtaşı ile üretilen betonun daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bu sonucu ise, kireçtaşının çimento hamuru ile arasındaki epitaksi bağının iyi olmasına bağlamışlardır.

Alexander ve Milne (1995) yaptıkları çalışmada, dört çeşit çimento karışımı ile yapılan betonlarda agreganın çeşitlerinin beton mukavemetine etkisini incelemiştir. Dolomit ve andezit agregaları ile portland çimentosu kullanılarak üretilen betonlarda mukavemet değerinin yüksek çıktığını, granit ve kuvarsit agregaları ile üretilen betonlarda özellikle erken yaşlardaki elastisite modülünün düşük çıktığını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, değişen su/çimento oranının agreganın türüne bağlı olarak 20 MPa kadar değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Dört farklı agreganın kullanılarak yapılan araştırmada, agreganın ile çimento geçiş bölgelerinin, agreganın doğal yapısına göre değişik özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Neville A.M (1996) agreganın betonla ilintili tarifi gereği betonun $\frac{3}{4}$ 'ünü oluşturmaya karşın kalitesinin çok daha önemli olduğunu açıklamaktadır. Agreganın sadece betonun dayanımını sınırlamakla yetinmeyip, istenmeyen özellikleri içermeleri halinde dayanım ve yapısal performansını negatif yönde etkilemesi beklenmelidir. Betonda düşük dayanım yaratabilecek mineraller (mikalar, kil, feldspat, sülfat veya

demir oksit mineralleri gibi) agrega olarak kullanılan kayaçların (magmatik, metamorfik ve sedimanter) mineral bileşimlerini ve bu minerallerin ayrışma dereceleri betonun taşıma gücü yönünden fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilediğini belirtmektedir.

Özturan ve Çeçen (1997)'in bazalt, beyaz kalker ve çakıl kullanarak yaptıkları çalışmada, düşük beton sınıfında kalker içeren betonun, yüksek beton sınıfında ise bazalt içeren betonun en yüksek dayanıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Çakıl kullanılarak üretilen betonlar ise, tüm sınıflarda en düşük dayanımı vermiştir. Beton karışım oranlarını değiştirmeden, sadece daha yüksek dayanımlı çimento kullanarak çakılla da yüksek dayanım elde etmeye çalışmışlar, ancak bağlayıcı kalitesini arttırmanın basınç dayanımını pek etkilemediğini, sadece eğilme ve yarma dayanımlarını % 30 civarında yükselttiğini görmüşlerdir.

Tasong (1998) yaptıkları çalışmada agrega yüzey yapısı için bahsedilen yüzey parametrelerinin ölçümler, agrega yüzeylerinde kırılma veya çatlak olup olmadığına bağlı olarak, farklı mineral yapıya sahip agregalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Kayaç yapısı ve kimyasal reaksiyonların beton dayanımında önemli bir fonksiyon olduğunu belirtmişlerdir.

Carrasquillo ve Çetin (1998) özgül ağırlıkları $2,5 - 3,14 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen beş farklı agrega kullanarak, 0,28 su/çimento oranıyla agrega türünün ve hacim konsantrasyonunun etkilerini inceledikleri çalışmada, çakıl içeren betonların en düşük basınç dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak ise çakılın yüzey yapısı ve şeklinin mekanik kenetlenmeye müsait olmamasını göstermişlerdir. Daha küçük agrega içeren betonların daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Taşdemir (1998) yaptıkları araştırmada, beyaz ve gri kalker kullanılarak üretilen betonlarda beyaz kalkerle üretilen betonların daha yüksek dayanım gösterdiği belirtilmiştir. Buna sebep olarak beyaz kalkerin elastik olarak daha uyumlu olması ve agrega-matris ara yüzeyinde üniform gerilme dağılımları oluşturması gösterilmiştir.

Yeğinboğalı (1999) , köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların, yuvarlak taneli agregalara göre, çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğunu ve agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda bu bağın, çimento taneleri tarafından daha da

güçlendirildiğini belirtmiştir. Ayrıca agreganın mineralojik yapısının da bu bağda etkili olduğunu ifade etmiştir.

Şengül (2000) 4 farklı agrega kullanarak C18'den C90'a 6 ayrı beton sınıfında üretimler yaptığı çalışmada, bütün beton sınıflarında en düşük elastisite modülünü kumtaşı ile ürettiği betonlarda elde etmiştir. Özellikle yüksek dayanımlı beton sınıflarında en iyi basınç mukavemetine sahip agreganın bazalt olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi olarak ise; yüksek dayanımlı betonlarda, normal dayanımlı betonlara göre ara yüzeylerin daha kuvvetli olduğunu göstermiştir.

Çalışkan (2003)'ın yaptığı çalışmada, agregalar ile bağlayıcılar arasında zayıf ara yüzey olduğunu ve bu ara yüzey boyunca çatlakların ilerlediğini belirtmiştir. Ara yüzeylerin beton performansında oldukça etkili olduğunu ve zayıf ara yüzeye önlem olarak, ara yüzey bölgesinin agrega ile çimento matrisinin güçlü bir aderans yapacak şekilde yoğun olması gerektiğini belirtmiştir.

Özkahraman ve Işık (2005)'ın kullanılan malzeme ve karışım oranlarının aynı fakat kimyasal ve mineralojik yapıları farklı olan 10 agrega çeşidiyle yaptıkları araştırmada, en iyi beton özelliklerini % 80-95 oranında SiO₂ (silisyum dioksit) ve en az % 0,5-3,4 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) içeren agregalarda elde ettiklerini belirtmişlerdir.

2.2 Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar

Farklı karışım oranlarındaki betonların 28 günlük basınç dayanımını YSA teknikleriyle geliştirilen model ile tahmin eden ve YSA modelinin giriş tabakasında; çimento cinsi, kum, kalın kum, ince agrega, iri agrega, çimento ağırlığı, su çimento oranı ve akışkanlaştırıcıyı, çıkış tabakasında ise basınç dayanımını kullanan Lai and Serra (1997) farklı karışımlardan elde ettikleri 31 deney numunesinin 17 tanesini modelin eğitimde 14 tanesini de modelin testinde kullanmışlardır. Farklı öğrenme oranlarında, farklı ağ bağlantılarda ve farklı ağ hücrelerde basınç dayanımı değerlerini elde etmişler ve sonuçların birbirine çok yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Otomatik bilgi kazanma sistemine dayanarak model üç farklı modelden oluşturan Ji-Zong(1999) modelleri: karışım tasarım modeli, çökme tahmin modeli ve dayanım tahmin modelidir. İlk olarak model sistemin çekirdeğini oluşturmaktadır ve diğer iki modelde çekirdekle desteklenmektedir. Farklı karışımlarla modeli eğitmiş ve 12

farklı karışımla da modeli test etmişlerdir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalarda modellerden elde ettikleri çökme ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarının, modellerden elde edilen sonuçlara yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Yüksek sıcaklıktaki betonun mekanik davranışını tahmin etmek için ileri beslemeli ağ ve geri yayılma algoritmaları kullanan Mukherjee and Biswas (1997) iki gizli tabakalı her bir tabakada beş hücre olan bir YSA modeli oluşturmuşlardır. Modelin girdi tabakasında ilk birim şekil değiştirme, sıcaklık, sıcaklıktaki elastisite modülü, sıcaklıktaki basınç dayanımı ve sıcaklıktaki son birim şekil değiştirme çıktı tabakasında ise basınç dayanımı değerlerini kullanmışlardır. YSA modellerinde malzemenin basınç şekil değiştirme ilişkisini tahmin etmişler ve tahmin ettikleri sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yeh (1998) yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için YSA kullanmışlardır. Girdi tabakasında çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, su, süper akışkanlaştırıcı, ince agrega, kalın agrega ve gün, çıkış tabakasında ise betonun basınç dayanımını kullanmıştır. Modelde deneysel çalışmalardan elde edilen farklı karışımlardaki yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımı değerlerini tahmin etmiştir ve sonuçların birbirine çok yakın olduğu belirtmişlerdir. Farklı zaman aralıklarında beton basınç dayanımlarını YSA kullanarak tahmin etmek amacıyla modeller oluşturan Lee (2003) modellerde farklı girdi değişkenlerine göre, farklı zaman aralıklarında elde ettiği basınç dayanımı değerleri ile deneylerden elde ettiği değerleri karşılaştırmıştır. Deney sonuçları ile modellerden elde ettiği sonuçlarının birbirine çok yakın olduğunu ifade etmişlerdir.

Çok tabakalı ileri beslenmeli YSA modeli kullanan Hong-Guang ve Ji-Zong (2000) betonun basınç dayanımını tahmin etmek için modeller geliştirmiştir. Girdi tabakasında su çimento oranı, çimento tipi, su miktarı, çimento miktarı, en büyük agrega boyutu, kumun incelik modülü, kum agrega oranı, agrega çimento oranı, çökme, kimyasal katkı etkisi ve kimyasal katkı miktarı, çıktı tabakasında da 28 günlük basınç dayanımı değerlerini kullanmışlardır. Modelde 7 hücreye sahip bir gizli tabaka belirlemişlerdir. İlk olarak deneysel çalışmalardan elde ettikleri 65 farklı karışımdaki numunenin 50 tanesini eğitim için 15 tanesini de test için kullanmışlardır. ikinci olarak topladıkları 100 farklı karışımdaki numunenin 85 tanesini eğitim için 15 tanesini de test için kullanmışlardır. Modellerden elde ettikleri

28 günlük basınç dayanımı değerlerinin hedeflenen değerlere çok yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Çimento harçlarının basınç dayanımını YSA ile tahmin etmek için model geliştiren Akkurt (2003) üç tabakalı ileri beslenmeli bir model oluşturmuştur. Girdi tabakasında çimento yapısıyla ilgili 20 farklı değişken, çıktı tabakasında ise 28 günlük çimento harçlarının basınç dayanımını kullanmışlardır. Çalışmalarında 150 deney sonucunun 100 tanesiyle YSA modelini eğitmişler ve 50 tanesiyle de testini gerçekleştirmişlerdir. Çok küçük hata oranlarıyla çimento harçlarının basınç dayanımının YSA modeliyle tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Betonun dayanımını ve çökme değerlerini tahmin etmek amacıyla hazır beton ve yüksek basınç dayanımlı betonlar üzerinde çalışan Dias ve Pooliyadda (2001) kimyasal katkılar ve/veya mineral katkıların kullanıldığı geri beslemeli iki ayrı model oluşturmuşlardır. Farklı kaynaklardan elde ettikleri 137 farklı karışımdan 93 tanesini modelin eğitimi için 44 tanesini de modelin testi için ayırmışlardır. Birinci modelin giriş tabakasında çimento miktarı, su miktarı, ince agrega miktarı, iri agrega ve priz geciktirici katkı miktarlarını çıkış tabakasında ise 28 günlük basınç dayanımı ve çökme değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır İkinci olarak yüksek dayanımlı betonlar için ise literatür çalışması yapmışlar ve elde ettikleri verileri 75 farklı karışımdan 50 tanesini modelin eğitilmesinde, 25 tanesini de modelin test edilmesinde kullanmışlardır. Girdi tabakasında çimento miktarı, su miktarı, ince agrega, iri agrega, silis dumanı ve akışkanlaştırıcı miktarlarını çıkış tabakasında ise basınç dayanımı ve çökme değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuçları regresyon tekniğiyle elde ettikleri sonuçlarla karşılatırmışlardı. Sonuç olarak YSA tekniğiyle elde ettikleri sonuçların deneylerde elde edilen sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür. Çökme ve sıkıştırma faktörlerini oluşturdukları modellerle tahmin etmek amacıyla metakaolin ve uçucu kül kullanan Bai (2003) modellerin performansını değerlendirmek için R ve RMS istatistiksel değerlerini kullanmışlar ve metakaolin ve uçucu kül kullanılan betonların çökme ve sıkıştırma faktörleri değerlerinin hedeflenen değerlere çok yakın olarak tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Yüksek basınç dayanımına sahip betonların dayanımlarını ve çökme değerlerini tahmin etmek için birincide 5, ikincide 3 hücre bulunan iki gizli tabakalı bir YSA modeli geliştiren Öztaş (2006) literatürden elde ettikleri 187 farklı beton karışım

deney sonuçlarını YSA modelinde kullanmışlardır. Kullanılan girdiler su bağlayıcı oranı, su içeriği, ince agrega oranı, uçucu kül içeriği, hava sürükleyici katkı, süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı miktarlarıdır. Çıktı olarak ise basınç dayanımı ve çökme değerlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğunu göstermişlerdir.

Betonun basınç dayanımı değerlerini tahmin etmek için geri yayımlı YSA modeli oluşturmuşşturan Ince (2004) giriş tabakasında basınç dayanımı, en büyük agrega boyutu, su çimento oranı ve agrega tipi, çıktı tabakasında ise basınç dayanımını kullanmıştır. Literatürden topladığı 40 farklı veriden 22 tanesini modelin eğitiminde, 18 tanesini de test etmek için kullanmıştır. Deneysel çalışmalardan bulunan sonuçlar ile modelden elde edilen sonuçları karşılaştırılmıştır ve sonuçların birbirine çok yakın oldukları gözlenmiştir.

Baykasoglu (2004) oluşturduğu modelde YSA, gen anlatım teknikleri ve çoklu regresyon analizi yöntemlerinden yararlanmışlardır. Çimentonun 28 günlük basınç dayanımlarını tahmin etmek için, giriş tabakasında 19 farklı girdi kullanmışlardır. Geliştirdikleri modelden elde ettikleri sonuçların deneysonuçlarına yakın olduklarını ifade etmişlerdir

Geri yayılma algoritmasını kullanarak geliştirdikleri YSA modelinde çok tabakalı ileri beslemeli modelle çok iyi sonuçlar elde eden Sakla (2005) betona bağlı donatının çekme kuvvetini tahmin etmeye çalışmıştır. Oluşturduğu modelde kullanmak amacıyla literatürden faydalanmış ve elde ettikleri sonuçları modelde kullanmışlardır. 1143 farklı deney sonucunun 1009 tanesini modelin eğitiminde, 134 tanesini de modelin testinde kullanmışlardır. Giriş tabakasında 7 farklı değişken çıktı tabakasında ise donatının çekme kuvvetini kullanmışlardır. YSA modelinden elde ettikleri sonuçların deneyde elde edilen sonuçlara çok yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Beton kirişlerin kesme dayanımını tahmin etmek için YSA tekniğiyle iki model geliştiren Adhikary and Mutsuyoshi (2006) modellerde de kayma dayanımı değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Literatürden elde ettikleri 70 veriyi modelin eğitiminde, 15 veriyi ise modelin test edilmesinde kullanmışlardır. İlk modelde giriş tabakasında beton dayanımı, kesme açıklığı, derinlik oranı, boyuna güçlendirme oranı ve derinlik etkisi, ikinci modelin giriş tabakasında birinci modelde kullanılan değişkenlere ek olarak fiber etkisini, modellerin çıktı tabakasında ise kesme dayanımını kullanmışlardır. Ayrıca, kesme dayanımlarını literatürde bulunan

formüllerle de hesaplamışlardır. Deneylerden elde edilen kesme dayanımları ile YSA ve formüllerden bulunan kesme dayanımlarını karşılaştırmışlardır. Formüllerden hesaplanan kesme dayanımlarına göre, YSA modellerinden tahmin edilen kesme dayanımlarının deney sonuçlarına daha yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Portland çimentolu harçların sülfat genişleme düzeyini tahmin etmek amacıyla ysa tekniğini kullanan Goktepe (2006) girdi tabakasında; C3A yüzdesi, C3S/C2S oranı, mineral katkı yüzdesi ve sodyum sülfat yüzdesini, çıktı tabakasında ise sülfat genişmesi değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarla 27 farklı harç karışımlarından 45 farklı numune üretmişlerdir. Bu numunelerin sülfat genişme değerlerini deneysel olarak, lineer regresyon denklemleri, nonlineer regresyon denklemleri ve YSA ile elde etmişlerdir. Tüm yöntemlerle bulunan sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğunu çalışmalarında göstermişlerdir.

Betonun basınç dayanımı üzerine uçucu kül ve silis dumanının uzun süreli etkilerini tahmin etmek için YSA tekniğini kullanan Pala (2007) modelde 24 farklı karışımdan oluşan 144 farklı numuneyi literatürden toplamışlardır. Oluşturdukları modelin eğitim ve testinde 3, 7, 28, 56 ve 180 günlük uçucu kül ve silis dumanı içeren beton kullanmışlardır. YSA modelinde kullanılan girdi verileri; uçucu kül yer değişim oranı, silis dumanı yer değişim oranı, toplam çimento esaslı malzeme, ince agrega, iri agrega, su içeriği, yüksek oranda su azaltıcı katkı ve numune yasını içerecek bir formatta 8 parametrelilik olarak düzenlemişlerdir. Çıktı verisi olarak da beton basınç dayanımını kullanmışlardır. Bu girdi ve çıktı verileriyle ileri ve geri beslenme algoritmalarının kullanıldığı bir gizli tabakaya sahip çok tabakalı bir YSA modeli oluşturmuşlardır. Modelin eğitiminde 130 deney verisini, modelin testinde ise 14 deney verisini kullanmışlardır. YSA modelinin değerlendirmek için istatistiksel değerleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda basınç dayanımlarının tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Ultrases geçiş hızı değerlerinden basınç dayanımı değerlerini tahmin etmek için YSA tekniğini kullanarak oluşturdukları modelde deneysel çalışmalar sonucunda 864 farklı karışımlardan elde edilmiş 7, 28, 183 ve 365 basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızlarını kullanan Kewalramani ve Grupta (2006) giriş tabakasında; ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerini, çıkış tabakasında ise basınç dayanımı değerlerini kullanmışlardır. Basınç dayanımı değerlerini deneysel olarak ve regresyon analizi ile

de hesaplamışlardır. YSA sonuçlarının deneysel sonuçlara daha yakın olduğunu çalışmalarında belirtmişlerdir.

Güçlendirilmiş beton kirişlerin kayma direncinin modellenmesi ve simülasyonunda yapay sinir ağlarını kullanan Abdalla (2006) çalışmalarında giriş tabakasında kiriş derinliği, kiriş genişliği, beton basınç dayanımı, yanal donatı, boyuna donatı ve kesme açıklığı derinlik oranı çıkış tabakasında ise kayma dayanımını kullanmışlardır. Literatürden alınan 194 deney sonucunun 164 tanesini modelin eğitiminde, 30 tanesini de modelin test edilmesi aşamasında kullanmışlardır. Hesaplayarak elde ettikleri kayma dayanımı sonuçlarını YSA modelinden elde ettikleri sonuçlarla karşılaştırmışlar ve YSA sonucunda elde edilen sonuçların deney sonuçlarına hesaplanan sonuçlardan daha yakın olduğu nu göstermişlerdir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE VERİ HAZIRLAMA

3.1. Agreg

Agrega, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, pişmiş kil ve uçucu kül gibi yapay kaynaklı malzemelerin 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerde kırılmış veya kırılmamış danelerinin bir yığındır.

Agrega, konut, sanayi tesisleri, hastane gibi her türlü bina inşaatını; yol, köprü, su yapıları, boru hattı gibi altyapı çalışmalarını kapsayan geniş bir faaliyet alanına sahip olan inşaat sektörünün bir parçası olan beton imalatının ve asfalt üretiminin en önemli hammaddesidir.

Agregaların ekonomik ve dayanıklı olmaları beton yapımında kullanılmalarının en önemli nedenlerindendir. Agreg

Agrega betonun dayanımı ile birlikte davranışını da etkilemektedir. Betonun kısa veya uzun süreli performansında aderansın etkisi büyüktür. Agreg

3.1.1 Agregaların kaynağına göre sınıflandırılması

a) Doğal agregalar

Nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi doğal kaynaklardan elde edilmiş fakat konkasörde kırma, eleklerden eleyerek değişik dane boyu sınıflarına ayırma ve yıkama işlemleri dışında, doğadaki yapılarında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmamış agregalardır .

b) Yapay agregalar

Bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen agregalardır.

3.1.2 Birim ağırlıklarına veya özgül ağırlıklarına göre sınıflandırılması

a) Normal ağırlıklı agregalar

Özgül ağırlığı 2,4-2,8 arasında olan agregalar normal ağırlık agregaları olarak kabul edilir. Kum, çakıl, kırmataş bu sınıfa dahildir .

b) Hafif agregalar

Özgül ağırlığı 2,4 küçük olan agregalarıdır. Genelleştirilmiş kil, genelleştirilmiş perlit gibi agregalar hafif agregalardır .

c) Ağır agregalar

Özgül ağırlıkları 2,8'den büyük olan agregalardır. Hematit, magnetit, barit gibi demir cevherleri ağır agregalardır.

3.1.3 Dane büyüklüğüne göre sınıflandırılması

a) İnce agregalar (Kum)

İnce agregalar, doğal kum, kırma kum veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklı kare delikli elekten geçen agregadır. İnce agregalar taneleri, sert ve sağlam olmalıdır .

b) İri agregat (Çakıl)

Doğal çakıl, kırma taş veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

c) Tuvenan agregat

Doğal agregat ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agregat karışımıdır.

d) Filler agregat

0,25 mm'den daha küçük danelere sahip olan agregaya filler denilmektedir.

3.1.4 Dane şekline göre sınıflandırılması**a) Yuvarlak agregalar**

Daneleri küresel şekilde veya küresel şekle yakın olan agregalardır. Nehir yataklarından elde edilen çakıllar genellikle bu şekildedir .

b) Köşeli agregalar

Kırmataş agregalarında olduğu gibi danelerin yüzeyinde kırılma işlemi nedeniyle köşeler bulunan agregalardır.

c) Yassı agregalar

İki boyutu geniş fakat yüksekliği çok az olan (demir paraya benzer) şekle sahiptir.

d) Uzun agregalar

İki boyutu dar fakat yüksekliği çok olan (kaleme benzer) şekle sahiptir

3.1.5 Jeolojik orijinlerine göre sınıflandırılması

a) Volkanik Orijinli Agregat

b) Tortul Orijinli Agregat

c) Metamorfik Orijinli Agregat .

3.2 Beton Yapımında Kullanılan Agregada Aranılan Özellikler

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Beton, çimento su, iri ve ince agregadan oluşan gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkı maddelerinin katıldığı kompozit bir malzemedir. Agregada maliyetinin çimentoya göre daha düşük olması beton içinde agregada kullanımının tek sebebi değildir. Agregada betonun dayanımı ile birlikte davranışını da etkilemektedir. Agregada, betona daha iyi bir hacim sabitliği sağladığı gibi, aynı zamanda betonun çevresel etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Bunların yanı sıra, betonun işlenebilirliği, pompalanabilmesi ve beton içindeki hava miktarı da agregada tarafından belirlenir

Betonda agregada kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında; sertleşen betonun “hacim değişikliği” önlemesi veya azaltılması, sertleşmiş betonun “aşınmaya karşı” dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı “dayanıklılığını” artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli “dayanımı” sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agregada bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kuruması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlamlar agregada tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur.

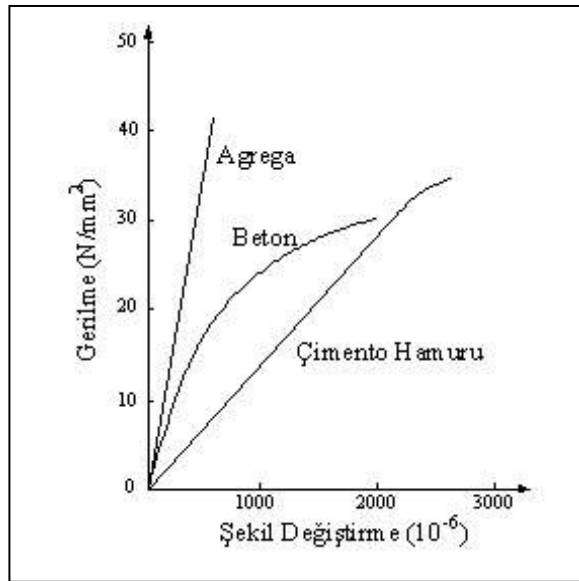
Hangi amaç için üretilirse üretilsin, betonda bulunması gereken üç ana özellik vardır. Bunlar taze halde iken işlenebilme, sertleşmiş halde iken mekanik dayanım ve çevre koşullarına dayanıklılık yani durabilitedir.

İşlenebilirlik; taze beton kolay karıştırılmalı, taşıma veya yerleştirme sırasında ayrışmamalı ve homojenliğini yitirmemelidir. İşlenebilme özelliği, beton içerisindeki her bileşenden ve üretim esnasındaki her türlü koşuldan etkilenir. Bunlar; çimento miktarı ve özellikleri, su miktarı, agregada gradasyonu, ince ve kaba agreganın tane şekli ve yüzey yapısı, sürüklenmiş hava miktarı, kimyasal ve mineral katkıların tipi ve miktarı, ortam sıcaklığı ve beton karışımının sıcaklığı, karıştırma prosedürü ve zamana bağlıdır.

Agregada bileşeninin uygun bir tane boyu dağılımı (granülometri) göstermesi çok önemlidir. İyi bir granülometreye sahip agregada içindeki hava boşluğu, daha az olacaktır. Dolayısı ile, yoğunluğu da artacaktır. Bu şekilde, toplam beton hacmi içinde çimento-su harcı daha ekonomik olarak kullanılabilir ve beton istenilen yere kolaylıkla, kalitesi bozulmadan yerleştirilebilir.

Agrega gradasyonu (tanelerin dağılım oranları) iyi olmayan betonlar, belirli bir işlenebilmeye sahip olabilmek için, daha çok miktarda karışım suyuna ihtiyaç duymaktadır. Daha çok miktarda karışım suyu kullanılan betonlar ise daha boşluklu olmakta ve daha düşük dayanım göstermektedirler. Agregatanelerinin yüzeylerinin kil, silt, taş unu gibi çok ince malzemelerle kaplı olması, agrega taneleriyle çimento hamuru arasındaki yüzeyde çatlaklar oluşmakta ve böylece betonun dayanımı daha az olmaktadır.

Mekanik dayanım; mukavemeti iyi olmalıdır, beton taşıyıcı bir malzeme olduğu için projede öngörülen mukavemeti güvenle taşıyabilmelidir. Agregat ve hidrat olmuş çimento hamurunun yük altındaki davranışları lineer elastik bir cismin davranışına benzer. Agregat basınç dayanımı betonunkinden daima yüksektir. Ancak **Şekil 3.1**'de görüldüğü gibi betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi lineer değildir. Bu nonlineer davranış, agrega-çimento hamuru ara yüzeyinin varlığının ve bu yüzeyde mikro çatlakların olmasının sonucudur.



Şekil 3.1 : Betonun gerilme – şekil değiştirme eğrisi.

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler; iç ve dış faktörler olarak iki grupta incelenebilir. İç faktörler betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, su/çimento oranı, agrega özellikleri, kimyasal veya mineral katkıları, betonun boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç

faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir (Erdoğan, 1996).

Kırmataş agrega yüzeylerinin pürüzlü olması nedeniyle çimento hamuru ile agrega arasında kuvvetli bir bağ oluşur. Pürüzlü yüzeyin büyük olması, kırmataş agrega ile çimento hamurunun temas yüzeyinin de o kadar geniş olmasını sağlar. Bu sebepten dolayı kırmataş agrega ile üretilen betonlarda dayanımın arttığı görülmektedir. Ayrıca agrega tanelerinin olabildiğince küp veya küre biçimine yakın olması, beton için elverişli bir durum oluşturmaktadır. Bu şekilde agregalar beton içinde daha iyi bir biçimde yerleşir ve daha az boşluklu bir yapı meydana gelir.

Segregasyon diye ifade edilen ve betonda agrega ile harcın ayrışması durumu agrega yüzeylerinin harçla kenetlenmesini engelleyecek kadar yabancı madde içermesi sonucu ağır olan agrega aşağı kısımda kalırken ince harç ve su betonun üst kısmında toplanır. Dolayısı ile beton arzu edilen dayanıklılığa erişilemez.

Durabilite; dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Beton dış etkilere (hava, su, kimyasal çevre gibi), fiziksel etkilere (donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi) ve içyapısından kaynaklanan agrega ile çimento arasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelen bozulmalara karşı direnç göstermelidir.

En uygun şekilli agrega taneleri küre ve küp şekline mümkün olduğu kadar yaklaşanlardır. Bu şekillerden çok ayrılan elemanlara kusurlu taneler denir. Bunlar uzun ve yassı taneler olmak üzere 2 şekilde bulunur. Her iki çeşit tanelerin betonda fazla miktarda bulunması agreganın kompazitesini ve dolayısıyla betonun kompazitesini önemli ölçüde azaltır ve bu suretle düşük mukavemetli betonların üretilmesine yol açar. Kusurlu tanelerin fazla miktarda oluşu sadece betonun dayanımını düşürmekle kalmaz, beton bileşiminde kullanılacak uzun taneler kolaylıkla esneyebileceği ve bükülme gösterebileceği için karışımın ince malzeme ihtiyacı gerekenden fazla olacaktır. Bu durum da çimento ihtiyacını artırır (Fookes, 1980).

Betonda yer alabilecek yassı tanelerse açık boşluklar oluşturarak, zayıf kesimler oluşturur ve yine çimento ihtiyacını artırır. Ayrıca yassı ve uzun tanelerin fazlalığı, betonda işlenebilmeyi olumsuz yönde etkiler ve dolayısıyla da çimento, kum ve su ihtiyacı artar. Agrega eldesinde kullanılan kırıcı tipi agrega şeklini önemli ölçüde etkiler. Çeneli kırıcı kullanılması durumunda sağlanacak agregalarda uzun ve yassı

tane oranı fazla olacaktır. Bu bakımdan konik kırıcıların tercih edilmesi bu riski önlemede önemlidir. Ancak çok yuvarlak taneler de çimento ile agregası arasındaki bağın (aderans) sağlamlığı konusunda sıkıntılar yaratabilir. Yüksek aderans beton mukavemetinin artması demektir (Erdoğan, 1996).

Aşınmaya karşı mukavemeti yüksek betonların dayanımı da yüksek olmaktadır. Yapılan deneylere göre aşınmaya karşı mukavemeti yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksektir ve bunlarla üretilen betonun basınç ve eğilme mukavemetleri de büyük değerler almaktadır.

Çok ince malzeme; agregası içerisindeki 63 mikrondan daha ince taneler olarak tanımlanmaktadır. İnce agregası içerisinde %3'ten daha fazla olması durumunda çok ince malzemenin kalitesinin araştırılması önerilmektedir. Bu maddeler agregası kırılması sırasında oluşan taş unu ve agregası içerisine karışan kil ve silt tanelerinden meydana gelmektedir. Çok ince malzemenin fazla olması durumunda betonda olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu malzemeler agregası tanelerinin etrafını sararak çimento hamuru ile arasındaki bağı zayıflamasına ve aderansın azalmasına neden olmaktadır. Beton karma suyu miktarını arttırarak betonun dayanım ve durabilitesine olumsuz etki eder. Ayrıca betonda büzülmeyi arttırmaktadır. Bu olumsuz etkilerin yanı sıra betonun islenmesinde ve yerleştirilmesinde olumlu bir rol oynar.

3.2.1 Beton yapımında kullanılan agregaların olması gereken standartlar

Agregası danelerinin biçimi, büyüklüğü, dokusu ve dağılımı üretilecek betonun dayanımını etkilediği gibi içerisinde bulundurduğu maddelerin çimento ile yapacağı zararlı bileşiklerle donatıya verebileceği zarar önceden kestirilebilir. Ayrıca agregasının düşük dayanıma sahip olması kolay aşınır ve ayrışır olması beton kalitesini ciddi oranda etkileyecektir. Bundan dolayı iyi bir beton üretimi için gerekli olan agregası özellikleri standartlara bağlanmıştır. Çizelge 3.1'de TSE'nin verdiği agregası standartları görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Beton Kumları ve İri Agrega Standartları.

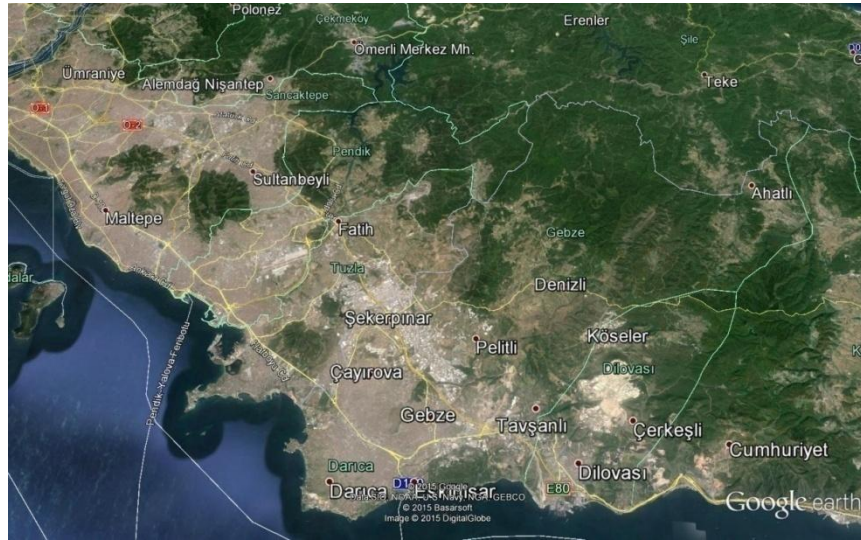
STANDARTLAR	KUM	İRİ AGREGA
Gevşek Birim Ağırlık(TS3529)	En Düşük 1350 kg/m ³	En Düşük 1350 kg/m ³
Özgül Ağırlık (TS3529)	En Düşük 1350 kg/m ³	En Düşük 1350 kg/m ³
Su Emme Miktarı (TS-3526)	En Büyük %2	En Büyük %2
Dona Dayanıklılık (TS-3655)	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %15 olmalı.	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %15 olmalı.
Alkaliye Duyarlı Taneler (TS-3332, TS-2517)	Çimentoda eşdeğer alkali oksit değeri %0,6'dan büyükse kumda, alkaliye duyarlı taneler ağırlıkça %0,5'den az olmalı.	-
Tane Şekli (TS-3614)		8 mm üzerindeki yassı ve uzun taneler ağırlıkça %50'den çok olmamalı.
Sertleşmeye Zarar Veren Maddeler (TS-3821)		Şeker, mika ve çözünen tuzlar mevcut olmayacak.
Aşınma Miktarı (TS-3694)		Bilyalı tamburda yapılan aşınma deneyi sonunda tayin edilen malzeme kaybı 500 devir sonunda en çok %45 olmalı.
Çeliğe Zarar Veren Maddeler (TS-3732)		Suda çözünen klorürler klor olarak saptandığında max %0.2 olmalıdır
Hafif Maddeler (TS-3528)		Kömür veya diğer şişen malzemeler 20 kg/dm ³ sıvıda yüzdürüldüğünde ağırlıkça %0.5'den fazla olmayacak.

3.3 Çalışma Sahası

3.3.1 Lokasyon ve jeoloji

Deneyler için hazırlanan agrega numuneleri Gebze ve Ömerli bölgesinde faaliyet gösteren on ayrı agrega üreticisinden beton üretimi için hazırlanan rutin numunelerden temin edilmiştir. Gebze bölgesinde yer alan Demtaş (1. Bölge), Kancataş (2. Bölge), TCT (3. Bölge), Madeks (4. Bölge), ve Kibsaş (5. Bölge), ile Ömerli bölgesinde bulunan Koç (6. Bölge), Soyak (7. Bölge), Entegre (8. Bölge), Hastaş (9. Bölge), ve Yazlar (10. Bölge), agrega ocaklarından alınan numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Çalışma Demtaş Beton Sanayi A.Ş. tarafından sürekli yapılan beton deneyleri ile paralel yürütülmüştür.

Gebze agrega ocakları; Kocaeli - Gebze ilçesi Tavşanlı Köyü Taşkaldıran Mevkiinde bulunmaktadır. Saha İstanbul - İzmit E-5 Devlet Karayolunun kuzeyinde, Gebze ilçesinin doğusunda (Gebze-Tavşanlı Köyü arasında) yer almakta olup İstanbul'a yaklaşık 50 km. mesafededir. Agrega Ocakları kireçtaşının yayılım gösterdiği Taşkaldıran alçağı ile Suçıktı Deresi'nin batı ve doğu yamaçlarında faaliyet göstermektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Agrega ocaklarının yoğunca bulunduğu Gebze bölgesi.

Ömerli agrega ocakları; Ömerli bölgesinde Hüseyinli ve Sarıpınar mevkiinde bulunmaktadır. Triyas yaşlı Ömerli, Ahmetli, Şile doğu-batı hattı boyunca küçük yüzeylenmeler halinde dizilmiş, daha sonra K-G yönünde daha geniş yüzeylenmeler veren formasyon dolomit ve dolomitik kireçtaşları ile karakterize edilir.

Bölgede en önemli yapısal unsurlar katmanlaşma kırık, çatlak ve faylar şeklinde görülen süreksizliklerdir. KD-GB doğrultusunda uzanan Hereke formasyonu genellikle orta ve kaim katmanlıdır. Bölgenin maruz kaldığı tektonizma sebebiyle Hereke formasyonu kıvrılmış ve kırılanmıştır. Bu hareketler neticesinde doğan gerilmeler kireçtaşıda bir takım faylanma ve kırılanmalara neden olmuştur. Tabaka ve çatlak yüzeyleri boyunca yer yer erime boşlukları görülmektedir. İrili ufaklı bu karst boşluktan ve çatlak araları demiroksitli, kırmızı renkli kil ve siltli malzemeler ile doldurulmuştur. Yer yer faylanma ve kırılanma ile oluşan ezik zonlar agrega ocakları aynalarında açıkça görülmektedir. Bu zonlar boyunca ayrışma olayları ileri derecede etkili olmuş ve derinlere doğru inen topraklaşma ve karşılaşma formasyona yer yer zayıf, dayanıksız, ezik ve bozuk malzeme özelliğini kazandırmıştır. Ayrıca agrega ocaklarında çok sayıda küçük ölçekli fay izlemek mümkündür. Bu faylar boyunca ufalanma, ezilme ve ayrışma zonları gelişmiştir.

Bölgede Paleozoik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Triyas yaşlı birimler Karbonifer serileri üzerine transgresif olarak açılı bir diskordansla gelirler. Altınlı ve diğ.(1970) tarafından Hereke çevresindeki Triyas yaşlı litolojiler; Kapaklı, Erikli, Hereke ve Tepecik formasyonları olarak adlandırılmıştır. Kretaseyi ise Kutluca ve Şemsettin formasyonları temsil eder. Erikli formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Hereke formasyonu beyazımsı - koyu gri-siyahımsı kireçtaşıdan oluşur. Çok ince, ince, orta ve kalın tabakalardan oluşan birim dolomitik kireçtaşı ve dolomit seviyelerinde ihtiva eder. Birim genelde GB - KD gidişli olup GD'ye eğimlidir. Batı da 30°-35° arasında olan eğim, doğu ve kuzeydoğuya doğru 10°-15° ye düşmektedir. Alt-orta Triyas yaşındaki birimin kalınlığı 200-1000 m arasında değişmektedir.

3.3.2 Minerolojik ve petrografik derecelenme

Gri siyah renkli ve sertliği 3 Mohs olan Gebze formasyonu sert masif ve homojen özelliktedir. Genel olarak ince tanelenmiştir. Ancak ikincil çatlakları iri taneli beyaz renkli kalsitler doldurmuştur. Numuneler asit (HCl) ile muamelede kuvvetli reaksiyon gösterirler (Akman, 1984).

Taneler mikritik kalsit matriksi içinde eş taneli dağılmış iri taneli kalsit-kuvars ve feldispatlardan oluşur ve matriks kahve renklidir. Kayaç mikritik-kriptokristalen kalsit mineralli ve yanı sıra önemli oranda kuvarsta içeren kireçtaşıdır. Ana kayada

kireçtaşı- kumtaşı geçişleri az da olsa mevcuttur. Kuvarsların tane boyutları 0,02-0,1 mm aralığında kalır. İri kalsitlerde benzer tane boyutuna sahiptir. Mikritik kalsitlerde de belirgin bir alterasyon izlenmez. İkincil çatlaklar yer yer demir oksit dolgulu, çoğunlukla ikincil kalsitlidir. Bölgeye ait numunelerin petrografik bileşim aralıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Minerolojik Bileşim.

Mineral/ Bileşen	Oran (%)
Kalsit (Mikritik-Birincil özellikte)	50-55
Kalsit (İri taneli + İkincil, Rekristalize Kalsit)	33-35
Kuvars	8-10
Feldispat	2-3
Opak mineral(Hematit, Limonit)	2-3

Ömerli bölgesine ait agrega taneleri gri, bej, siyah renkli ince orta taneli, ayrışma izlenmeyen karbonat kayaçlarıdır. Birden fazla yönlü ikincil çatlaklar içerirler. Bunlar ince kalın ikincil kalsit dolgulu kırıklardır. Sertlikleri 3.0 Mohs dur. Tane boyut dağılımı homojendir. Yüzeyler temiz herhangi bir erime boşluğu ve demir oksit dolgusu içermezler. Numuneler asit (HCl) ile muamelede kuvvetli reaksiyon gösterirler. Bundan karbonat grubuna ait oldukları anlaşılır.

Numuneler incelendiğinde bütünüyle kristalize orta-iri taneli kalsitler içerdiği görülür. Fosil içermezler. Tane boyutları 0,03-1,0 mm aralığında değişir. Opak mineralleri ince tanelidir. Çatlakları dolduran kalsitlerde ince tanelidir. Silis içermedikleri gözlenmiştir. Bölgeye ait numunelerin petrografik bileşim aralıkları Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Minerolojik Bileşim.

Mineral/ Bileşen	Oran (%)
Kalsit (Kristalize-Birincil özellikte)	83-87
Kalsit (İkincil - Kristalize Kalsit)	10-12
Kuvars	2-3
Opak mineral(Hematit, Limonit)	1-2

3.4 Agrega Deneyleri

Beton üretiminde kullanılan agrega beton bileşimi içinde en büyük paya sahip olduğundan kalitesinin de betonun performansı açısından büyük önemi vardır. Bu etki sadece agreganın mineralojik-petrografik özelliklerinden kaynaklanmayıp fiziksel ve dayanım özelliklerinden de kaynaklanabilir. Bu amaçla 10 ayrı ocaktan alınan numunelerin laboratuvar ortamında fiziksel özellikleri araştırılmıştır.

3.4.2 Fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler

Agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek üzere başta dane özellikleri yassılık indeksi, elek analizi, kuru birim ağırlığı, sıkı birim ağırlığı, gevşek birim ağırlığı, özgül ağırlık, su emme oranları ve LA aşınma deneyleri yapılmıştır.

3.4.2.1 Elek analizi

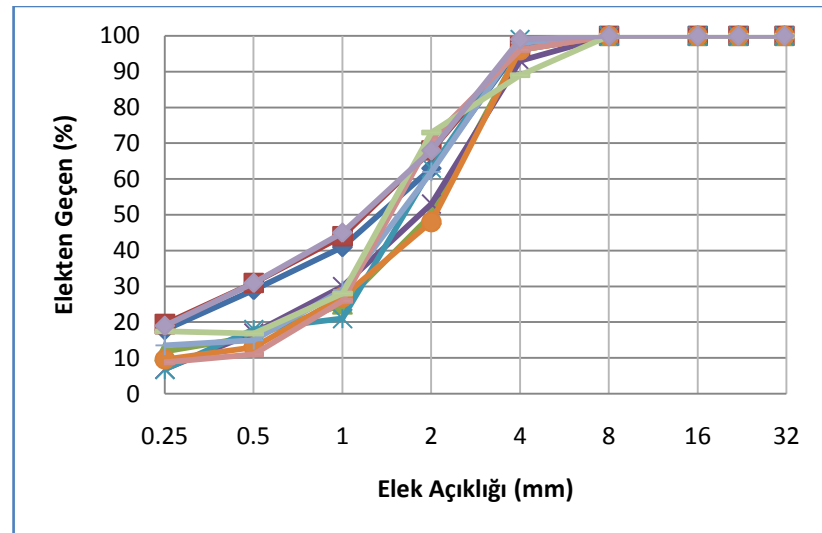
Agrega numuneleri içerisindeki danelerin büyüklüklerine göre dağılımını yani gradasyonunu belirlemek için bir seri elek analizleri yapılmış ve bu sonuçlara gradasyon eğrileri (Şekil 3.3, 3.4, 3.5)hazırlanmıştır.

Agrega granülometrisi taze haldeki betonda işlenebilme, sertleşmiş betonda mekanik dayanım, kompasite, geçirimsizlik, durabilite, rötre gibi özellikleri üzerinde etkilidir. Agrega granülometrisi doluluk oranını arttıracak şekilde az boşluklu olmalıdır. Tek bir tane büyüklüğü kullanılması durumunda sağlanabilecek doluluk belli bir değerden fazla olamaz. Aradaki boşlukları doldurmak için daha küçük taneler gereklidir. Ancak tane boyutları küçüldükçe toplam yüzey alanı artar ve bunun sonucu su ihtiyacı fazla olur.

On ayrı bölgeden alınan tüvenan agrega kırma ve eleme tesislerinden geçirildikten sonra elde edilen kırmakum KK, ince agrega K1 ve iri agrega K2 numunelerinin elek analizleri Çizelge 3.4, 3.5, 3.6' de verilmiştir. olarak kurutulduktan sonra, agrega numunesi önce 4 mm elekten elenerek iri ve ince agrega olarak ikiye ayrılır. 4 mm elek üzerinde kalan çakıl boyutundaki malzeme 8, 16, 22, 31,5 mm kare delikli elekler kullanarak elenmiş. Eleme işlemi bitikten sonra elekler tel fırçayla temizlenerek her elek üzerinde kalan malzeme tartılmıştır. 4 mm elek altında kalan ince agrega (kırmakum) 2, 1, 0,5 ve 0,25 mm eleklerden elenmiştir.

Çizelge 3.4 : Kırmakum (KK) numuneleri elek analizi sonuçları.

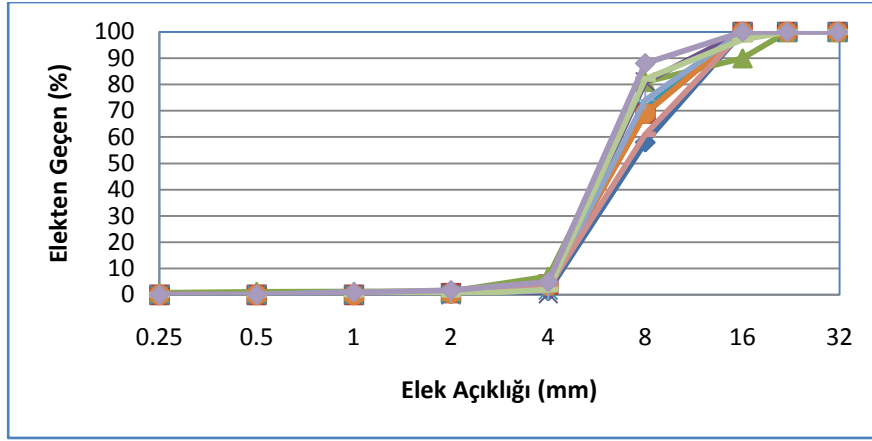
Elek Açıklığı (mm)	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge	10. Bölge
31,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	97	97	96	93	99	96	98	96	89	99
2	63	68	50	53	63	48	62	71	73	68
1	41	44	25	30	21	27	29	26	28	45
0,5	29	31	16	17	18	13	15	11	16,8	31
0,25	17,8	19,5	11,8	6,9	6,8	9,6	13,5	8,8	17,5	19



Şekil 3.3 : Kırmakum (KK) numuneleri elek analizi gradasyon eğrisi.

Çizelge 3.5 : İnce agrega (K1) numuneleri elek analizi sonuçları.

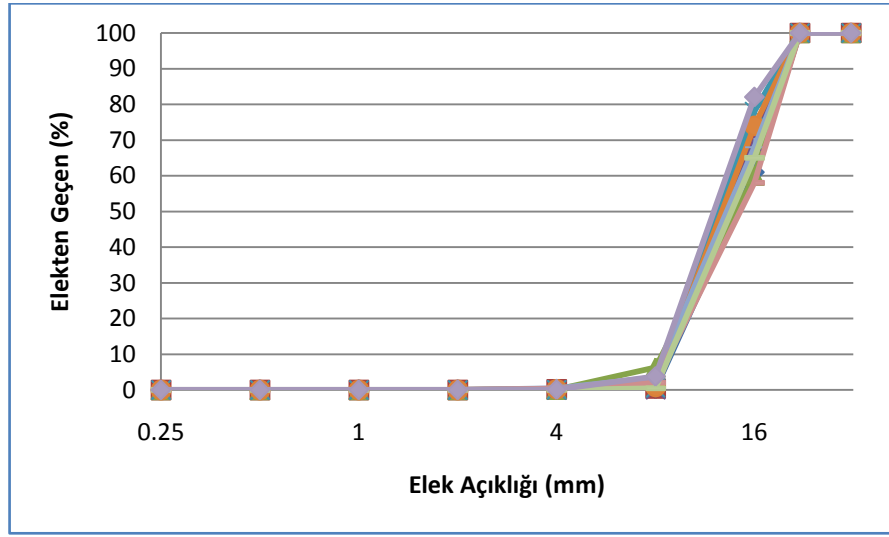
Elek Açıklığı (mm)	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge	10. Bölge
31,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	100	100	90	100	100	100	100	100	97	100
8	58	69	81	81	71	69	74	61	82	88
4	1,4	4	7	0,5	1,8	3,5	1,6	2,9	2	4,9
2	0,4	0,7	1,4	0,1	0,2	0,6	0,6	0,2	0,1	1,8
1	0,2	0	1,3	0	0	0	1,2	0	0	0,9
0,5	0	0	1,1	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 3.4 : İnce agrega (K1) numuneleri elek analizi gradasyon eğrisi.

Çizelge 3.6 : İri agrega (K2) numuneleri elek analizi sonuçları.

Elek Açıklığı (mm)	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge	10. Bölge
31,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	61	70	60	69	78	74	68	58	65	82
8	0,3	0,4	6,3	0,1	0,6	0,9	3,5	2,1	0,5	3,8
4	0,1	0,2	0,1	0	0,1	0,2	0,5	0,4	0	0,1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 3.5 : İri agrega (K2) numuneleri elek analizi gradasyon eğrisi.

Elek analizi sonucunda her elekten geçen yığışımlı ağırlık yüzdeleri hesaplanarak toplam ağırlığın yüzdesi haline çevrilerek elekten geçen ağırlık yüzdesi bulunmuştur. Buna göre kırma kum numunelerinin beton üretiminde 4mm lik elekten %99 u geçmektedir. İnce agrega tamamı 16 mm lik elekten geçerken en büyük tane boyutu 14 mm boyutlarına çıkmakta iri agregada ise bu değer 21 mm civarında olmaktadır.

3.4.2.2 İncelik modülü

İncelik modülü agreganın gradasyonunun bileşimi hakkında bilgi veren tek değerdir. İncelik modülü delik açıklığı birbirinin iki misli artan elekler üzerinde kalan malzemenin yığışımlı yüzdeler toplamının yüze bölünmesiyle elde edilen rakamlardır.

Yapılan deneylerde elde edilen incelik değerleri Çizelge A. 1' de verilmiştir.

3.4.2.3 Dane şekli yassılık indeksi (%)

En uygun şekilli agrega taneleri küre ve küp şekline mümkün olduğu kadar yaklaşanlardır. Bu şekillerden çok ayrılan elemanlara kusurlu taneler denir. Bunlar uzun ve yassı taneler olmak üzere 2 şekilde bulunur. Her iki çeşit tanenin betonda fazla miktarda bulunması agreganın kompasesini ve dolayısıyla betonun kompasesini önemli ölçüde azaltır ve bu suretle düşük mukavemetli betonların üretilmesine yol açar. Betonda yer alabilecek yassı tanelerse açık boşluklar oluşturarak, zayıf kesimler oluşturur ve yine çimento ihtiyacını artırır kusurlu

tanelerin fazla miktarda oluşu sadece betonun dayanımını düşürmekle kalmaz, beton bileşiminde kullanılacak uzun taneler kolaylıkla esneyebileceği ve bükülme gösterebileceği için karışımın ince malzeme ihtiyacı gerekenden fazla olacaktır.

Agrega eldesinde kullanılan kırıcı tipi agregâ şeklini önemli ölçüde etkiler. Çeneli kırıcı kullanılması durumunda sağlanacak agregalarda uzun ve yassı tane oranı fazla olacaktır. Bu bakımdan konik kırıcıların tercih edilmesi bu riski önlemede önemlidir. Ancak çok yuvarlak taneler de çimento ile agregâ arasındaki bağın (aderans) sağlamlığı konusunda sıkıntılar yaratabilir. Yüksek aderans beton mukavemetinin artması demektir

On ayrı bölgeden alınan numuneler K1 ince agregâ ve K2 iri agregâ numuneleri her bölge için ayrı ayrı sınıflandırılarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge A. 2 'de verilmiştir.

Agregâ daneciklerinin düz ve yassı oluşu beton karışımındaki kum yüzdesini dolayısıyla su ve çimento yüzdesini arttıracığından pek arzu edilmez. Düz ve yassı danelerin çok oluşu maliyeti artırır ve işlenebilme özelliği kötüleşir. Küre şeklindeki malzeme, küp şeklindeki malzemeye oranla daha az kompasiteye sahiptir. Küp ve küre şeklindeki danelerin dışındaki malzemeler kusurlu malzeme olarak adlandırılır.

3.4.2.4 Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık deneyi, doğal veya yapay agregaların sıkışık ve/veya gevşek birim ağırlıklarını, belirleyebilmek için uygulanan deney yöntemlerini kapsar. Birim ağırlık, agregâ tanelerinin belirli bir hacim içerisinde bir araya gelerek ne kadar sıkı bir paket oluşturabileceğini gösterir. Ayrıca birim ağırlık deneyi, beton karışım hesabında ve boşlukların tayininde kullanılır.

Agreganın birim ağırlığı granülometri bileşimi, boşluk miktarı, kusurlu malzeme varlığı hakkında bir fikir verir. Kusurlu tanelerin oranı fazla olursa, beton bileşimindeki boşluklar da fazla olacaktır ki bu da betonun da birim ağırlığının azalmasına neden olur.

Kuru birim ağırlığı deneyleri KK kırmakum, K1 ince agregâ ve K2 iri agregâ numuneleri her bölge için ayrı ayrı yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge A. 3 ve Çizelge A. 4'de verilmiştir.

3.4.2.5 Sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneyi

Çalışma bölgelerinden alınan agregaların genel olarak sıkı ve gevşek birim ağırlıkları arasındaki farkın büyük olmadığı görülmüş bu durumun da agregaların arasında büyük boşlukların olmayacağına dolayısıyla betonun işlenebilirlik özelliğini olumsuz etkilenmeyeceği sonucuna varılmıştır. Sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge A. 5, Çizelge A. 6, Çizelge A. 7, Çizelge A. 8.' de verilmiştir.

3.4.2.4 Özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi

Özgül ağırlık, agreganın işgal ettiği gerçek birim hacme isabet eden ağırlıktır. Bu özellik agregalar içinde bulunan su miktarı ile de yakından ilgilidir. Ayrıca agreganın kökeni hakkında da bir fikir verebilir. Agreganın özgül ağırlığının yüksek olması kayacın daha kompakt olması anlamına gelir ki, bu da kayacın boşluk içeriğinin az olması nedeniyle kimyasal ve mekanik etkilere dayanıklı olması demektir. Bu agregaların kullanılması betonda da bu özelliklerin sağlanabileceğini belirtir. Ancak özgül ağırlığı yüksek olan agregalar betonda, segregasyon ve güç pompalanma gibi etkilere yol açabilir. Bir agreganın özgül ağırlığının beton karışım hesaplarının yapılabilmesi açısından da bilinmesi gerekir.

Agregalara ait, özgül ağırlık kuru, özgül ağırlık doymun yüzey kuru, özgül ağırlık görünür deneyi sonuçları Çizelge A. 9 ve Çizelge A. 10' da sunulmuştur.

3.4.2.5 Agreganın su emme oranı deneyi

Agrega su emme oranı esas olarak beton karışım hesabında kullanılmaktadır. Agreganın su emme oranı, agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerine ve dayanıklılığa etki eder. Dayanım, donma-çözülme ve dolayısıyla durabiliteye etkileyeceğinden bu değerin bilinmesi ile sakıncalı etkilerin varlığı yönünde değerlendirmeler yapılabilir. Su emme değeri yüksek agregalar beton karışım suyu miktarını arttıracığından mukavemet düşüklüğüne sebep olur. Genelde düşük su emme oranına sahip agregalar mekanik etkilere ve ayrışmaya dayanıklıdır. Aşağıda Çizelge A. 11 ve Çizelge A. 12' de sonuçları gösterilen su emme deneylerinde agreganın boyutu arttıkça su emme oranlarının düştüğü anlaşılmıştır.

3.4.2.6 Los Angeles (Aşınma) deneyi

Bu deney agreganın darbeli aşınmaya karşı dayanımını saptamak amacıyla yapılır. Özellikle havaalanı pistleri, karayolu kaplamaları, kaldırım örtü ve bina içi parkeleri gibi dinamik zorlamalı ortamlarda agregalar betonun aşınması açısından büyük önem taşımaktadır.

Testin esası; standart boyutlardaki agregaların çelik bir silindirin dönmesi sonucu içindeki bilyeler vasıtasıyla aşınmaya, darbeye ve parçalanmaya karşı dayanımının belirlenmesidir. Deneye sonucunda ufalanan malzeme parçalanma sonucu kaybı belirlemek amacıyla eleme işlemine tabi tutulur. Bu test yöntemi, benzer mineral içeriğine sahip agregaların göreceli kalitesinin veya yeterliliğinin belirteci olarak kullanılır. Agregaların Los Angeles aşınma dayanımına etki eden en önemli faktörler; kayacın mineralojisi, kayaca etkiyen ayrışmanın derecesi ve diğer mekanik özellikleridir.

Deneyisel veriler agregalarına ait aşınma dayanımı, ASTM C 131 (1996)'daki yöntemlere uygun olarak Los Angeles aletiyle 100 ve 500 devir sonucu aşınma oranının belirlenmesi esasına dayanılarak elde edilmiştir (Çizelge A. 13).

3.4.2.6 Beton numunelerinin hazırlanması ve basınç dayanımı deneyleri

Heterojen bir içyapıya sahip olan betonun özellikleri, betonda kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin %60-80'ini agregaya bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. İyi bir beton elde edilebilmesi için uygun agregaya kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agregaya, gereken mukavemete sahip olmalı ve dış etkenlere dayanabilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür.

Bu çalışmada temel olarak agregaya, dere kumu, çimento, su, katkı maddesi ve kül kullanılarak elde edilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen veriler kullanılmıştır.

Beton üretiminde kullanılan agregalar temel olarak 10 ayrı agrega ocağından temin edilmiş olup her bir agrega numunesi beton üretim standardına uygun olarak 3 ayrı boyut aralığında değerlendirilmiştir. Betonlu oluşturan agregalar Kırnakum (KK) -4 mm boyutunda, Kırnakat 1 (K1) 4-8 mm boyutunda ve daha büyük daneliler için Kırnakat 2 (K2) olarak temsil edildiğinden bu üç boyut sınıfına ait fiziksel özellikler modellemede esas alınmıştır. Bu üç boyuttaki agrega iyi bir betonun ağırlıkça yaklaşık %75'ini teşkil etmektedir.

Kullanılan kum numuneleri genel olarak İstanbul Akpınar'dan temin edilmiş dere kumu olup özgül ağırlığı 2,65 gr/cm³ ve kuma ait mineralojik ve petrografik analiz sonuçları Çizelge 3.7'te verilmiştir. Kum boyutlu (ince taneli) çakılı olmayana malzeme, sarımsı kahve tonlarında, boyut olarak eş taneli görünümlüdür. % 10'luk HCl (asit) ile muamelede köpürme oluşmamıştır. Bu bakımdan karbonat minerali bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kil boyutlu bileşen görülmemiştir. Malzeme tümüyle kum boyutludur. Kum taneleri yarı yuvarlak, yarı köseli ve berrak haldedir. Ayrıca temiz, berrak taneler üzerinde çok az manyetit, demiroksit sıvımaları mevcuttur. Genel olarak kum malzeme temiz, berrak altere olmamış tanelerden oluşmakta, silisçe "kuvars" kumudur.

Çizelge 3.7 : Kumun mineral bileşimi.

Mineral Bileşim	%
Kuvars	86-92
Feldispat	6-8
Amfibol+Piroksen	1-2
Gröna	0,5
Manyetit-Demiroksit	0,5-1
Kayaç parçası	1

Deneylerin tamamında, Akçansa Çimento fabrikasında üretilmiş olan CEM I 42,5R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri **Çizelge 3.8'**de, kimyasal özellikleri **Çizelge 3.9'**te ve basınç dayanımları 7 günlük 40.5 N/mm² ve 28 günlük ise 53,4 N/mm² değerlerindedir.

Çizelge 3.8 : Çimentonun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	Birim	Analiz Sonuçları
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	3,17
Özgül Yüzey-Blaine	cm ² /gr	3620
90 µm elek kalıntısı	%	0,6
45 µm elek kalıntısı	%	7,2
Hacim Genlesmesi	mm	1
Piriz Başlangıcı	saat	02:42
Piriz Sonu	saat	03:18

Çizelge 3.9 : Çimentonun kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Analiz Sonuçları %
Çözünemeyen Kalıntı	0,37
Kızdırma Kaybı	1,44
MgO	1,23
Cl	0,04
SO ₃	2,36

Bu çalışmanın tamamında agrega kökeninin farklılığı öne çıkması için tek tip kimyasal katkı kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkı modifiye lignosülfonat esaslı bir normal akışkanlaştırıcı katkı olup bütün üretimlerde aynı oranda kullanılmıştır. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10 : Kimyasal katkının özellikleri

Katkının Özellikleri	Değerler
Yogunluk (gr/cm ³)	1,16
Ph	6
Renk-Görünüm	Koyu Kahverengi
Köpüklenme	0,1
Katı Madde	34,6
Homojenite	Homojen

Beton karışımında kullanılan kül fırın cürüfö olup çimentonun belirli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması, ince agreganın belirli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması veya hem ince agreganın hem de çimentonun belirli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması gibi üç ayrı yöntemle yapılmaktadır.

Bütün harç üretimleri düşey eksenli karıştırıcı, kendi eksenini etrafında ortalama 1,5 devir/saniye hızla dönen karıştırma makinesinde yapılmıştır. Çimento ve agregadan oluşan kuru karışım 1 dakika boyunca kuru halde mikserde karıştırılmış, ardından kullanılacak olan suyun yarısı eklenerek 1 dakika süre ile karıştırılmaya devam edilmiş ve son olarak kullanılan kimyasal katkı kalan karışım suyunun içine katılarak harç karışımına eklenmiştir. Toplamda 5 dakika sonunda betonun karışması tamamlanmış olup yeterli homojenlik sağlandıktan sonra numuneler kalıplara alınmıştır.

Beton numunelerini oluşturan elemanlar ağırlıkça Çizelge 3.11’de verilmiştir. Uygun olan karışımlardan 150x150x150 mm boyutlarında küp şeklinde numuneler alınmıştır. Her bir üretimden alınan numuneler 24 saat sonra kalıplarından çıkarılmış, sıcaklığı 21 ± 2 0C olan kür havuzunda saklanmıştır. 7. ve 28. günlerin sonunda numuneler sudan çıkarılmış ve tek eksenli basınç deneyleri uygulanmıştır elde edilen sonuçlar Çizelge A. 14 ve Çizelge A. 15’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Beton numunelerini oluşturan elemanların ağırlıkça dağılımı

Malzeme	Miktar Kg/m ³	Malzeme	Miktar Kg/m ³
Çimento	260-275	Su	185-195
Kül	67-72	Kırma Kum I.	550-565
Dere Kumu	565-573	Kırma Kum II.	485-490
Kırma Kum	200-210	Katkı	2,7

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağı (YSA) girişine verilen bilgiyi öğrenme, daha önce öğrendiği bilgiyi hatırlama, ve eğitim deseni veya veri kümelerini giriş olarak kabul edip bu bilgilerden yararlanarak genelleştirme yapabilme, yorum yapabilme yeteneği gösteren ümit vaat eden yeni kuşak bir bilgi işleme sistemidir. YSA bilinçli olarak insan beyninin çalışma sistemini taklit etmek maksadıyla geliştirilen bir tekniktir. Desen tanıma, sınıflandırma, fonksiyon kestirimi, optimizasyon işlemleri ve verilerin kümelendirilmesi, gruplandırılması işlemlerinin gerçekleştirilmesinde çok iyi bir performans sergilemektedir (Ölmez,1995). Biyolojik sistemler, sayısal bilgisayarlar karşısında aritmetik işlemlerde kıyaslanmayacak kadar güçsüz olmalarına karşın, görüntü ve ses işleme gibi bozulmuş, tam tanımlı olmayan yüksek veri yoğunluğuna sahip bilgilerin işlenmesinde sayısal bilgisayarlara göre çok hızlı ve yüksek doğrulukta çalışırlar. Bilgisayarların ses ve görüntü gibi işaretlerin işlenmesinde yapısal olarak güçsüz olduğunun görülmesi 80'li yıllarda çeşitli bilim dallarından büyük bir araştırmacı kitlesinin YSA'na büyük ilgi duymalarına sebep olmuştur.

1943 yılında Mc Culloch ve Pitts biyolojik sinir hücresinden esinlenerek geliştirdikleri bir yapay sinir hücre modeli ile VE, VEYA gibi mantık işlemlerinin yapılabileceğini gösterdiler. Böylece canlıların sinir sistemlerinin incelenmesi ve bunlara benzer şekilde çalışan yapay sinir ağı modellerinin geliştirilmesi çok farklı bilim dalından araştırmacıların ortak olarak çalıştığı bir bilim dalı olmuştur.

YSA alanında yapılan araştırmalar 60'lı yılların ortalarından 80'li yılların başına kadar bir durgunluk dönemi yaşadı. Bunun en önemli sebebi bilgi işlemede YSA 'nın alternatifi olan bilgisayarların yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler ile kapasiteli,ucuz ve güvenilir gerçekleştirme olanağı bulmasıdır.Seri olarak çalışan hızlı birimlerden oluşmuş sayısal bilgisayarlar aritmetik işlemlerde yüksek hız kapasite ve güvenilirlik sağlamışlardır.

YSA, birbirleriyle çok sayıda iç bağlantıları olan büyük miktarda hücre adı verilen işlem elemanlarından oluşur. Bilgi ağ içerisinde paralel işlenir. İnsan beyninde

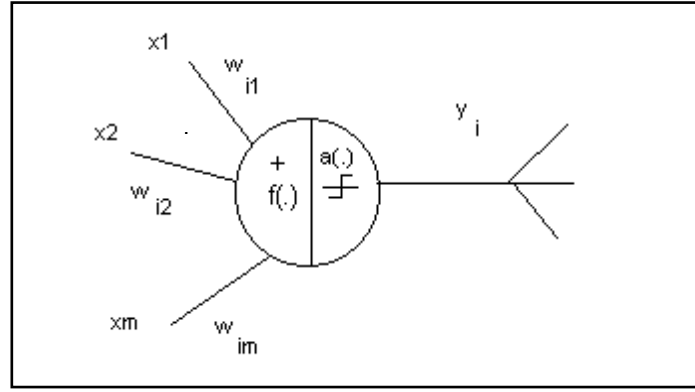
olduğu gibi YSA'nında etkileşimli ve kolektif çalışması öğrenme ve öğrenilen bilginin hatırlanmasına, yorum yapmaya imkan tanır. YSA'nın özelliklerinden bahsetmeden önce insan beyninin çalışma sistemine bir göz atmakta fayda vardır. İnsan beyninde yaklaşık 10^{11} civarında farklı yapılarda sinir hücresi bulunduğu bilinmektedir. Biyolojik sinir hücresi üç ana kısımdan oluşur. Bunlar;

1. Soma adı verilen hücre gövdesi ki hücre çekirdeğinin bulunduğu bölgedir.
2. Dendritler
3. Akson

Her bir sinir hücresine diğ er hücrelerden bilgi ileten sinir tellerine dendrit adı verilir. Hücrenin akson adı verilen tek bir çıkışı vardır ve bu çıkıştan komşu sinir hücrelerine bilgi taşıyan binlerce dendrit bağıdır. Aksona bağı her bir dendritteki iletilen bilgi aynıdır. Yani bilginin iletim sırasında zayıflaması söz konusu değildir. Hücre girişine bilgi taşıyan dendritler sinaps adı verilen bağlantı noktalarında hücreye bağlanırlar.

Dendritlerde iletilen ve sinapslara ulaş an sinyaller elektrik darbeleridir. Bağlantı noktası (sinaps) tarafından salınan özel iletim maddeleriyle gerçekleştirilen, karmaşık kimyasal işlemleri içeren, bir işaret iletim sistemi söz konusudur. Bu maddeler Na ve K iyonlarıdır. Bu maddelerin konsantrasyonun değ işmesi ile hücre içi elektrik potansiyeli azalır veya artar. Alıcı hücrenin elektriksel potansiyeli, o hücreye ilişkin eşik değ erini geçerse hücre ateşlenir, aktif hale geçer. Hücre çıkışındaki aksonda sabit şiddette ve sabit süreli bir elektrik darbesi oluşur. Bu işaret akson boyunca iletilir ve akson ucuna bağı olan diğ er hücrelere bilgi taşıyan dendritlere aktarılır. Hücreye yeni bir gelinceye kadar hücre dinlenir. Bu zamana bekleme veya dinlenme zamanı 'refractory period' denir. Sinapslar eğer alıcı hücrenin ateşlenmesine sebep olacak sinyalleri geçiriyorsa bu sinapslara uyarıcı (excitatory) sinaps adı verilir. Eğer alıcı hücrenin ateşlenmesini engelleyici sinyallerin geçmesine izin veriyorlarsa bu tip sinapslara, engelleyici (inhibitory) sinaps adı verilir.

Şekil 4.1'de yukarıda anılan özellikleri gerçekleştiren, Mc Culloch ve Pitts(1943) tarafından ileri sürülen ve genellikle M-P sinir hücresi adı verilen, biyolojik sinir hücresinin basit bir matematik modeli görölmektedir.



Şekil 4.1 : Perceptron modeli.

Bu modelde i . işlem elemanı girişlerin ağırlıklı toplamını hesaplar ve bu toplam eşik değerinden büyükse çıkışta $y_i=1$ olur yani hücre ateşlenir. Aksi halde $y_i=0$ olur yani hücre ateşlenmez.

Burada aktivasyon fonksiyonu başka bir deyişle hücrenin transfer fonksiyonu ;

$$a(f) = \begin{cases} 1 & f \geq 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

şeklinde tanımlı birim basamak fonksiyonudur.

W_{ij} ağırlığı, j . nöronu i . nörona bağlayan sinapsın uyarma şiddetini yada bağlantının ağırlık katsayısını gösterir. Pozitif ağırlıklar sinapsın uyarıcı olduğunu, negatif ağırlıklar uyarmayı engelleyici bir rol üstlendiğini gösterir. $W_{ij} = 0$ olması iki hücre arasında bir bağlantının olmadığını gösterir. Eşitlikte t ve $t+1$ anları arasında birim gecikme olduğu farz edilmiştir.

Mc Culloch ve Pitts modeli, uygun ağırlık katsayıları verilmesi durumunda AND, OR ve NOT işlemlerini gerçekleştirir. Çok değişkenli, kombinyonel bir mantık fonksiyon, bu basit mantık işlemlerle gerçekleştirildiğinden, bu tip sinir hücrelerinin eşzamanlı çalışmasıyla geleneksel bilgisayarların yaptığı bütün işlemler YSA ile gerçekleştirilebilir.

Bütün bu özellikleri özet olarak aşağıdaki gibi sıralayarak YSA'nın bir tanımını yapabiliriz.

- 1.Sinir sisteminden esinlenerek oluşturulmuş bir matematik modeldir.
- 2.Birbirleriyle bağlantıları olan çok sayıda işlem elemanından oluşur.
- 3.Bağlantıları (ağırlık katsayıları) bilgiyi tutar, hafızayı temsil eder.

4. İşlem elemanı girişindeki uyarıyı hemen yanıtlayabilir. Ve bu çıkış cevabı hücrenin yerel bilgisine bağlıdır. Başka bir deyişle hücrenin çıkış cevabı, gelen bilgiye ve hücredeki yerel bellekteki bilgiye(ağırlık katsayısı ve eşik değeri) bağlıdır.

5. Yeni bağlantı ağırlıkları atayarak yada bağlantı katsayılarını değiştirerek eğitim verilerini genelleştirebilme, öğrenme ve hatırlama yeteneğine sahiptir.

6. Hücrelerin kollektif, birbirleriyle etkileşimli çalışması hesaplama gücünü artırır. Belirli bir bilgiyi taşıyan özel bir hücre yoktur. Bilgi bütün sisteme dağılmıştır.

Bu özelliklerden dolayı YSA için *paralel,dağıtılmış bilgi işleme modeli, (paralel distributed processing models),bağlantılı model(connectionist model),kendi kendine öğrenen model(self-organizing systems),neurocomputing ve neuromorphic systems* adları da yaygın olarak kullanılır.

C. Güzeliş bugüne kadar verilen çeşitli YSA modellerinin ortak özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamıştır (Güzeliş,1993).

1. Hücreler, genelde çok girişli ve tek çıkışlı yüksek dereceden lineer olmayan alt devrelerdir.
2. Tek olan hücre çıkış işareti, çoğullanarak dışarıya çıkış olarak alınabilir veya diğer hücrelere giriş olacak şekilde (genelde gecikmeler ile) kullanılabilir.
3. Bir hücre; dış girişleri (gecikme ile ulaşmış olabilir), komşu hücre çıkışlarını, ve bir eşik değerini giriş olarak kabul eder.
4. Hücrenin lineer dinamik birimi herhangi bir dereceden olabilir.
5. Hücre çıkışında lineer olamayan cebrik işlev 1-giriş 1-çıkışlıdır ve özel olarak lineer olabilen herhangi bir işlevdir.
6. Hücre parametreleri hücreden hücreye değişebilir.
7. Ağ, genelde çok boyutlu katmanların ileri veya geri beslemeli olacak şekilde bağlanmasından oluşmuştur.
8. Ağdaki her bir katman (layer), hücrelerin çok boyutlu bir dizisidir.
9. Katman içinde, her bir hücre komşularına (belirli bir metrik uyarınca) aynı şekilde bağlıdır. Böylece katman içi bağlantı geometrisi düzgündür.
10. Katmanlar arası bağlantı bir metrik ile tanımlı düzgün bir geometriye sahiptir.

11. Ağda yalnızca bağlantı ağırlıkları değişebilir.
12. Bağlantı ağırlıkları; ya eğitici bir öğrenme kuralı ile yada eğitici bir öğrenme kuralı değiştirilir yada önceden tasarlanan değerlerde sabit tutulur.
13. Eğitici bir öğrenme kuralı (eğer varsa); giriş - (istenilen) çıkış örnek çiftlerinin alındığı, bilinmeyen bir giriş işlevine bu örnekler yardımıyla yaklaşılmasını sağlayan bir bağlantı ağırlıkları değişim kuralıdır.
14. Eğitici bir öğrenme kuralı (eğer varsa); giriş örneklerinin kümelendirilmesini sağlayan bir bağlantı ağırlıklarının değişim kuralıdır.

4.1 Yapay Sinir Ağlarının Üstünlükleri

YSA modelleri biyolojik sinir ağlarının çalışma biçimini açıklayan modeller olmaktan çok, biyolojik sinir ağlarından esinlenerek yaratılmıştır. YSA' lar, biyolojik olmayan yapı taşlarının düzgün bir mimari ile birbirine yoğun olarak bağlanmalarından oluşmaktadırlar. Sinir ağlarında bilgi işlemenin alternatif bilgi işleme yöntemlerine göre üstünlükleri maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

Paralellik: Alışlagelmiş bilgi işlem yöntemlerinin çoğu seri işlemlerden oluşmaktadır. Bu da hız ve güvenilirlik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Seri bir işlem gerçekleşirken herhangi bir birimin yavaş oluşu tüm sistemi doğrudan yavaşlatırken, paralel bir sistemde yavaş bir birimin etkisi çok azdır. Nitekim, seri bir bilgisayarın bir işlem elemanı beyne göre binlerce kez daha hızlı işlem görmesine rağmen, beynin toplam işlem hızı seri bir bilgisayara göre kıyaslanmayacak kadar yüksektir. YSA' nın paralel çalışması hız avantajıyla birlikte yüksek hata toleransı da sağlamaktadır. Seri bilgi işlem yapan bir sistemde herhangi bir birimin hatalı çalışması, hatta bozulmuş olması tüm sistemin hatalı çalışmasına veya bozulmasına sebep olacaktır. Halbuki paralel bilgi işleme yapan bir sistemin ayrı ayrı işlem elemanlarından meydana gelecek olan hatalı çalışma veya hasar, sistemin performansında keskin bir düşüşe yol açmadan, performansın sadece hatalı birimlerin bir oranınca düşmesine sebep olur.

Yerel Bilgi İşleme: YSA'larda her bir bilgi işleme birimi, çözülecek problemin tümü ile ilgilenmek yerine, sadece problemin bir parçasını işlemektedir. Hücrelerin çok basit işlemler yapmalarına rağmen, sağlanan görev paylaşımı sayesinde, çok karmaşık ve zor problemler çözülebilmektedir.

Gerçeklenme Kolaylığı: YSA'ların basit işlemler gerçekleyen türdeş hücrelerden oluşması ve bağlantıların düzgün olması, bu ağların fiziksel gerçeklenmesinde bu açıdan kolaylık sağlamaktadır.

Öğrenebilirlik: Alışlagelmiş veri işleme yöntemlerinin çoğu programlama yolu ile hesaplamaya dayanmaktadır. Bu yöntemler ile tam tanımlı olmayan bir problem çözülemez. Ayrıca herhangi bir problemin çözümü için probleme yönelik bir algoritma geliştirmek gerekir. Oysa YSA' larda örneğin eğitici öğrenmede giriş ve çıkış çiftleri verildikten sonra bunlar arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere bir algoritma geliştirmeye gerek yoktur. İlgili bağıntıyı YSA bağlantı katsayılarını değiştirerek belirler. Zaten öğrenme denilen işlemde başka bir şey değildir. YSA'da bilgi bağlantı katsayıları ile tutulur.

4.2 Basit YSA Modelleri ve Öğrenme Kuralları

Bir YSA modelinin karakteri üç temel kriterle belirlenir.

1. İşlem elemanları sinir modelleri,
2. Sinaptik iç bağlantılar ve bağlantı yapıları,
3. Bağlantı katsayılarını güncellemek için kullanılan eğitim ve öğrenme algoritmaları.

İşlem Elemanları: Daha önce açıklanan M-P sinir modelinin çalışma şekli, gerçekleştirdiği fonksiyon diğer yapay sinir modellerini içine alacak şekilde genelleştirilebilir. Bir işlem elemanı girişler ve çıkışlar olmak üzere iki kısımdan oluşur. Hücre girişindeki bilgi diğer hücrelerden gelen bilgilerin ağırlıklı toplamıdır. Bu giriş işareti M-P modelinde olduğu gibi genelde X_j girişlerinin doğrusal bir fonksiyonudur.

$$f_i = net_i = \sum_{j=1}^M w_{ij} X_j(t) - \theta_i \quad (4.2)$$

Burada θ_i hücrenin eşik değeridir. Daha karmaşık toplama fonksiyonlarının olması da söz konusudur. Sık kullanılan fonksiyonlar şunlardır:

1. Karesel Fonksiyon (Quadratic function):

$$f_i = \sum_{j=1}^M w_{ij} X_j^2 - \theta_i \quad (4.3)$$

Karesel fonksiyonun kullanılması durumunda giriş işareti komşu sınır hücrelerindengelen işaretlerin karelerinin ağırlıklı toplamından elde edilir.

2. Silindirik Fonksiyon (Spherical function)

$$f_i = \rho^{-2} \sum_{j=1}^M (X_j - w_{ij})^2 - \theta_i \quad (4.4)$$

Burada ρ , silindirin yarıçapı, w_{ij} ise merkezini göstermektedir.

3. Polinom fonksiyon(Polynomial Function)

$$f_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m w_{ij} x_j x_k + x_j^\alpha + x_k^\beta - \theta_i \quad (4.5)$$

Burada w_{ijk} , j . ve k . hücreyi, i . hücreye bağlayan bağlantının ağırlık katsayısı, α ve β reel sabitlerdir. Bu eşitlikte daha yüksek dereceden terimlerin olması da mümkündür. Bu fonksiyonu gerçekleştiren hücreye *sigma-pi* ($\Sigma\Pi$) birimi adı verilir. İşlem elemanının (hücrenin) ikinci bir işlevi, giriş işaretini transfer fonksiyonundan diğer adıyla aktivasyon fonksiyonundan $a(f)$ geçirerek, girişin fonksiyonu olan bir çıkış değeri üretmektir. Sıkça kullanılan transfer fonksiyonları ise aşağıdaki fonksiyonlardır.

1. Basamak fonksiyonu (Step function)

$$a(f) = \begin{cases} 1 & f \geq 0 \\ 0 & f < 0 \end{cases} \quad (4.6.)$$

2. Keskin sınırlayıcı fonksiyonu (Hard limiter, threshold function)

$$a(f) = \text{sgn}(f) = \begin{cases} 1 & f \geq 0 \\ -1 & f < 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

Burada $\text{sgn}(\bullet)$, signum fonksiyonudur.

3. Rampa fonksiyonu (Ramp function)

$$a(f) = \begin{cases} 1 & f > 1 \\ f & 0 \leq f < 1 \\ 0 & f < 0 \end{cases} \quad (4.8.)$$

3. Unipolar sigmoid fonksiyonu

$$a(f) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda f}} \quad (4.9)$$

4. Bipolar sigmoid fonksiyonu

$$a(f) = \frac{2}{1 + e^{-\lambda f}} - 1 \quad (4.10)$$

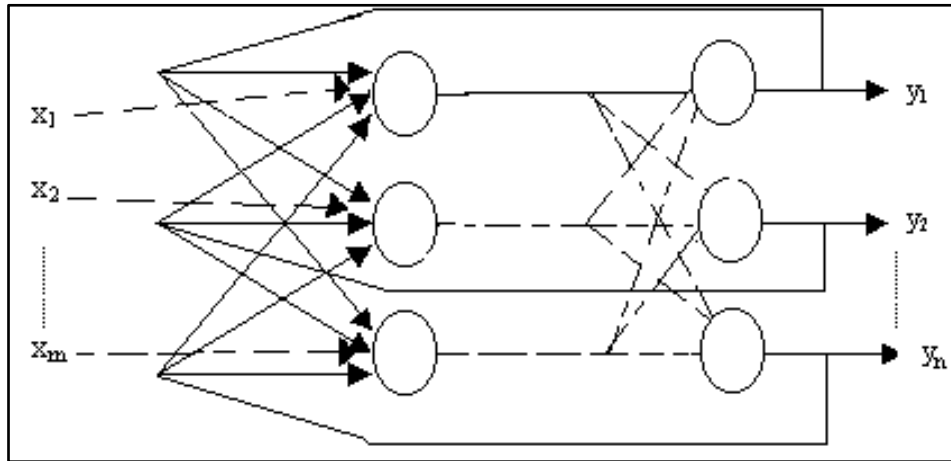
Eşitlik (4.9) ve Eşitlik (4.10) da $\lambda > 0$ olduğunda, $f = 0$ civarında, $a(f)$ sürekli fonksiyonunun adım aralığını belirler. $\lambda \rightarrow \infty$ olması durumunda eşitlik (4.9), (4.6) eşitliğine; yani unipolar sigmoid fonksiyonu basamak fonksiyonuna, Eşitlik (4.10) ise (4.7) eşitliğine; yani bipolar sigmoid fonksiyonu, keskin sınırlayıcı fonksiyonuna dönüşür. Keskin sınırlayıcı transfer fonksiyonuna ve lineer toplayıcı birimine sahip olan bir işlem elemanına, doğrusal eşik birimi (linear threshold unit, LTU), sigmoid transfer fonksiyonuna ve doğrusal toplayıcıya sahip işlem elemanına doğrusal eğimli birim (linear graded unit, LGU) adı verilir. LTU ve LGU çok yaygın kullanılan işlem elemanlarıdır.

Girişlerin toplanmasında doğrusal olmayan fonksiyonların kullanılması, karar sınırları adı verilen sınırlarla öznitelik uzayının karmaşık bölgeler şeklinde belirlenmesine imkan tanır. Bununla birlikte, toplama fonksiyonu karmaşıktıkça ve güçlendikçe, ağ yapısının da karmaşık olması kaçınılmazdır. Nasıl bir transfer fonksiyonu kullanılması gerektiği ve toplama fonksiyonun lineer olup olmaması, tamamen problemin yapısına bağlıdır.

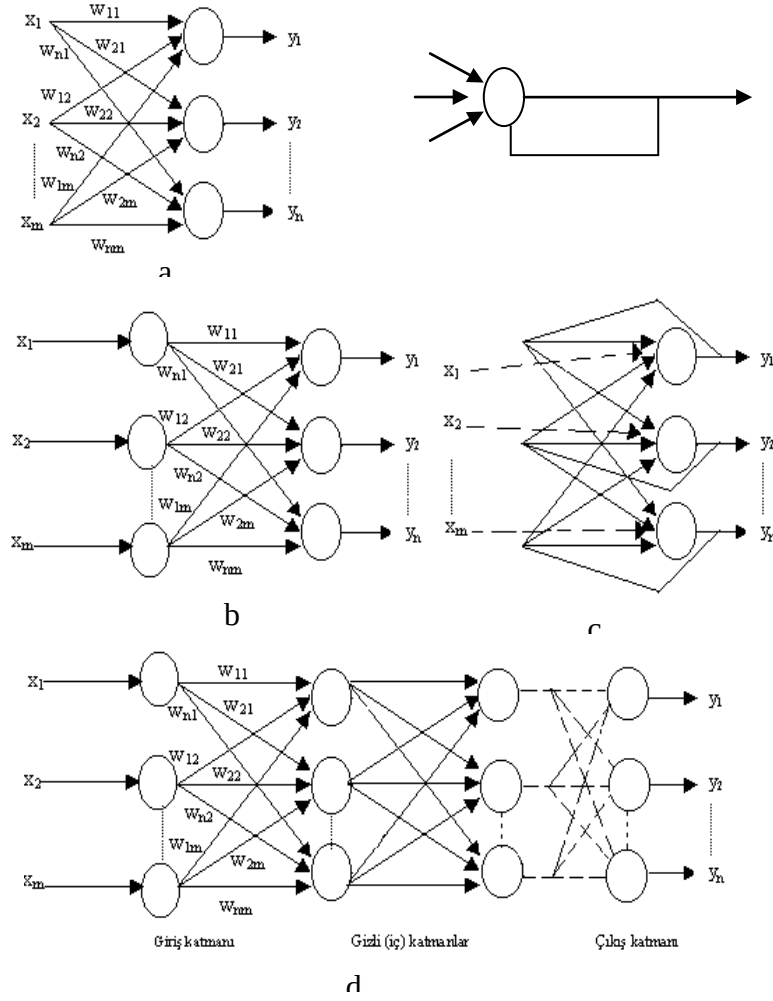
Bağlantılar: Bir YSA çok yoğun bağlantıları olan işlem elemanları (hücreler) kümesinden oluşur. Hücreler birbirlerine veya kendilerine bağlantı ağırlıkları üzerinden bağlıdırlar. Bağlantı yapısı gecikme ve geri kalmaya imkan tanır. Bu nedenle ağıın bağlantı yapısının ve hücreler arası bağlantı geometrisinin, çok büyük bir önemi vardır. İşlem elmanın transfer fonksiyonunun ve toplama birimi türünün yanında bağlantıların nerede başladığı ve nerede sonlandığı, bağlantı biçimi, ağıın karakterini belirlemektedir. Mümkün beş farklı ağ geometrisi söz konusudur. Ağ yapısı Şekil 4.3' de görüldüğü gibi bir katmandan oluşuyorsa, bu tip bir ağa tek tabakalı ileri beslemeli ağ adı verilir. Girişler işlem elemanlarına bağlantı katsayıları üzerinden bağlıdır. Görüldüğü gibi her bir hücrenin bir tek çıkışı vardır. Bu şekilde daha fazla katman arasında bağlantılar oluşturarak çok tabakalı ileri beslemeli ağ elde edilir. Girişlerin bağlı olduğu tabakaya giriş katmanı adı verilir. Giriş tabakası veriler üzerinde herhangi bir işlemde bulunmaz. Sadece verilerin ağa girilmesinde

ara yüz görevi yapar. Ağın çıkışları çıkış tabakası adı verilen katmandan alınır. Giriş ve çıkış katmanları arasında bir veya birden fazla katman bulunabilir. Bu katmanlara saklı, gizli katman adı verilir. Bu katmandaki verilere doğrudan erişme imkanı yoktur. Bir katmandaki her bir hücrenin bir sonraki katmandaki bütün hücrelerle bağlantısı varsa bu tip bir ağa tam bağlantılı (fully connected) ağ adı verilir. Aksi durumda bir katmandaki hücrelerden en az birinin, bir sonraki katmandaki hücrelerden biriyle veya birkaçıyla bağlantısı yoksa bu tip bir bağlantı tam bağlantılı değildir.

Eğer bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir önceki katmandaki hücrelere giriş olarak bağlanmıyorsa, böyle bir ağa, ileri beslemeli ağ (feedforward networks) adı verilir. Geriye doğru bağlantıların olması geri besleme anlamına geldiğinden böyle bir ağa ise, geri beslemeli ağ (recurrent networks) denilmektedir. Eğer bir katmandaki çıkış, aynı katmana giriş olarak geri dönüyorsa, bu tip geri beslemeye yanal geri besleme veya daha doğru bir tabir ile kendi üstüne geri besleme adı verilir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Çok katmanlı ağ yapısı.



Şekil 4.3 : Farklı ağ bağlantıları.

Öğrenme Kuralları: Bir YSA'yı tanımlamada üçüncü önemli unsur öğrenme kuralıdır. Öğrenme kuralları iki ana gruba ayrılır. Bunlardan birincisi parametrik öğrenme dediğimiz ağ parametrelerinin değişmesiyle gerçekleştirilen öğrenme yöntemleri, diğeri ise yapısal öğrenme denilen ağ yapısının değiştirilmesi ile gerçekleştirilen öğrenme yöntemleridir. Yapısal öğrenmede, her bir eğitim aşamasında, ağa yeni hücreler katılır veya o an için mevcut olan, fakat ağ performansını etkilemeyen hücreler ağdan çıkarılır. Bir başka yöntem de, ağda yeni bağlantıların oluşturulması veya var olan bağlantıların kaldırılmasına dayanmaktadır. Bu işlemleri gerçekleştiren algoritmalar ise genetik algoritmalarlardır. Tez içerisinde parametrik öğrenme yöntemleri kullanıldığından ve genelde uygulamalarda parametrik öğrenme yöntemleri yaygın olduğundan, yapısal algoritmalar üzerinde daha fazla durulmayacaktır.

Parametrik öğrenme kurallarında değiştirilen ağ parametreleri ağı bağlantı katsayılarıdır. Bağlantı katsayılarını içeren ağırlık matrisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$W = \begin{bmatrix} w_1^T \\ w_2^T \\ \vdots \\ w_n^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \cdots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \cdots & w_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & w_{n2} & \cdots & w_{nm} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Öyleki $i = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere, $w_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im})^T$, i . işlem elemanının ağırlık vektörüdür. w_{ij} 'ler ise j . hücrenin (kaynak), i . hücreye (hedef) olan bağlantısının ağırlık katsayısıdır. Öğrenme; girişlerle, çıkışlar arasında cebrik bir ilişki sağlayan, uygun ağırlık matrisinin bulunması işlemidir. Dolayısıyla öğrenme kuralı, ağırlık matrisinin, her eğitim aşamasında güncellenmesini sağlayan bir algoritmadır. Parametrik öğrenme kurallarını üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar:

1. Eğitici Öğrenme (Supervised learning)
2. Eğitici Öğrenme (Unsupervised learning)
3. İşaretçi vasıtası ile Öğrenme (Reinforcement learning)

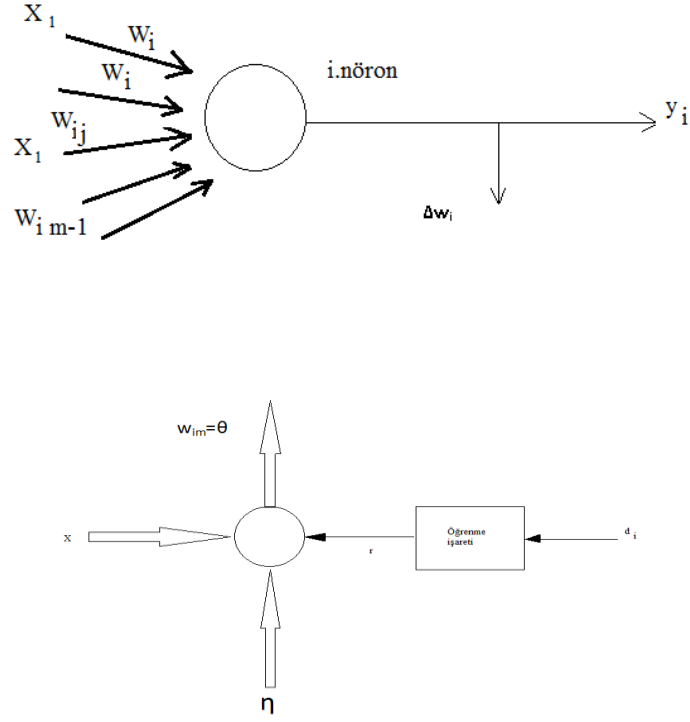
Eğitici Öğrenme: Eğitici öğrenmede her bir adımda giriş verilerini içeren bir X giriş vektörü ile bu giriş vektörüne ilişkin çıkışta görülmesi beklenen çıkış değerlerini içeren d çıkış vektörü ağı yüklenir. Dolayısıyla ağ çıkışı, ilgili girişe ilişkin çıkış değerini tam olarak bilmektedir. Daha açıkçası, eğitici öğrenmede, YSA örnek giriş-çıkış çiftleri $(x^{(1)}, d^{(1)}), (x^{(2)}, d^{(2)}), \dots, (x^{(k)}, d^{(k)}), \dots$, ile eğitilir. Her bir $x^{(k)}$ vektörü YSA girişine verilirken aynı anda bu vektöre ilişkin çıkışta görülmesi beklenen $d^{(k)}$ vektörü de YSA'ya yüklenir. Her bir eğitim aşamasında YSA ürettiği mevcut çıkış değeri ile beklenen çıkış değerini karşılaştırarak bir hata sinyali üretir. Bu hata sinyaline göre de ağ parametreleri yani, ağırlık matrisi güncellenir. Eğitim işlemi, çıkışta arzu edilen değer belirinceye kadar ya da söz konusu değere istenilen tolerans da ulaşıncaya kadar devam edilir.

İşaretçi vasıtasıyla öğrenme: Eğitici öğrenmede her giriş deseni için çıkışta ulaşılacak hedef desen, tam doğru bir şekilde bilinmektedir. Fakat bazı durumlarda, oldukça kısıtlı bilgiye sahip olunması söz konusudur. Uç bir durum olarak, ulaşılan sonucun sadece doğru yada yanlış olduğunu gösteren, yalnızca bir bitlik geri

besleme bilgisi, ağ parametrelerini güncellemek için kullanılır. Böyle bir kritik bilgiyi temel alarak gerçekleştirilen öğrenme algoritmasına işaretçi vasıtalı (reinforced) öğrenme algoritması denir. Bu algoritma, ağın bir geri besleme sinyali ile ağırlık katsayılarını güncellemesinden dolayı eğitici öğrenme yöntemine benzemektedir. Ancak eğitici öğrenmede hedef deseninin kesin bir biçimde bilinmesine rağmen burada sadece o anki ağ çıkışındaki bilginin doğru mu yoksa yanlış mı olduğu bilinmektedir.

Eğitici öğrenme: Eğitici öğrenme de ise, eğitici öğrenmenin aksine bir öğretici yoktur. Eğitici öğrenmede örnek giriş-çıkış desen çiftleri bir öğretici gibi ağa verilerek ağın eğitimi yapılır (Şekil 4.4). Bu öğrenme yönteminde ise herhangi bir giriş desenine karşı çıkış deseninin ne olması gerektiği belli değildir. Ağ böyle bir bilgiyle donatılmamıştır. Dolayısıyla ağın o andaki sahip olduğu ağırlık matrisiyle giriş desenine karşılık elde edilen çıkış deseninin doğru olup olmadığı bilinmemektedir. Ağ girişindeki verilere ait çıkış desenini, bu girişlere ait öznitelikleri, her bir desen arasındaki ilişkiyi, verilerin dağılımını ve söz konusu örnekleri gruplandırmayı kendi kendine keşfetmek zorundadır. Bu işlemleri yapmak, gerçekleştirmek için sürekli belli bir kural dahilinde ağ parametrelerini değiştirir. Bu işleve kendi kendini yönetme denir. Giriş desenlerinin başka bir bilgiye ihtiyaç duyulmadan gruplandırılması, kümelendirilmesi bu tür uygulamalara örnek olarak verilebilir. Desenler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar ağ tarafından keşfedilerek her bir desenin ait olduğu sınıf belirlenir (Lin, 1995).

Genelleştirilmiş Öğrenme Kuralı: Üç temel öğrenme kuralı göz önüne alınarak genelleştirilmiş bir öğrenme kuralı çıkarılabilir. Genelleştirilmiş öğrenme kuralında w ağırlık matrisindeki değişme miktarı Δw , $r(t)$ öğrenme işareti ile $x(t)$ giriş işaretinin çarpımıyla orantılıdır. Yani



Şekil 4.4 : Eğitici öğrenme.

$$\Delta w_i(t) \propto r \cdot x(t) \quad \text{veya} \quad \Delta w_i(t) = \eta \cdot r \cdot x(t) \quad (4.12)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada η öğrenme oranını gösteren pozitif bir sayıdır ve öğrenme sabiti denir. r ise w_i, x ve eğer eğitici öğrenme söz konusu ise d' 'ye bağlı olan öğrenme işaretini gösterir. Yani;

$$r = f_r(w_i, x, d_i) \quad (4.13)$$

Dolayısıyla, genelleştirilmiş öğrenme kuralına göre her hangi bir andaki w_i ağırlık matrisi ;

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \eta \cdot f_r(w_i(t), x(t), d_i(t)) \cdot x(t) \quad (4.14)$$

dolayısıyla;

$$w_i^{(t+1)} = w_i^{(t)} + \eta \cdot f_r(w_i^{(t)}, x^{(t)}, d_i^{(t)}) \cdot x^{(t)} \quad (4.15)$$

yazılabilir.

Eşitlik (4.14) öğrenmenin ayrık zamandaki ifadesidir. Sürekli zaman için herhangi bir t anındaki ağırlık matrisindeki değişim;

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = \eta \cdot r \cdot x(t) \quad (4.16)$$

ifadesiyle gösterilir.

Eşitlik (4.15) ve (4.16) de görüldüğü gibi öğrenme işlemine başlamadan önce bir başlangıç ağırlık matrisi (genelde rastgele ağırlıklar içeren) belirlenmelidir.

Genelleştirilmiş öğrenme kuralı kullanılarak eğitici veya eğitici olmayan pek çok öğrenme kuralı türetilir. Eğitici öğrenmede, öğrenme işareti r , d_i 'ye bağlı iken eğitici olmayan öğrenmede beklenen çıkış değerleri söz konusu olmadığından d_i belli değildir, dolayısıyla öğrenme işareti, x giriş işareti ve y çıkış işaretine bağlıdır.

Hebb öğrenme yasasının genelleştirilmiş öğrenme kuralına uyarlırsak, Hebb öğrenme kuralında öğrenme işareti r 'nin tanımı aşağıdaki gibidir.

$$r = a(w_i^T x) = y_i \quad (4.17)$$

Burada $a(\bullet)$ hücrenin transfer fonksiyonunu göstermektedir. Görüldüğü gibi Hebb öğrenme yasasında, öğrenme işareti hücrenin çıkış işaretidir. Dolayısıyla ağırlık matrisindeki değişim için;

$$\Delta w_{ij} = \eta \cdot a(w_i^T x) \cdot x_j = \eta \cdot y_i \cdot x_j \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4.18)$$

Bu bağlamda Hebb öğrenme yasasının eğitici olmayan bir öğrenme kuralı olduğu görülmektedir. Çünkü öğrenme işareti ağırlık giriş değerleri ile çıkış değerlerine bağlıdır. Şayet giriş ile çıkış işaretinin çarpımı pozitif ise, ağırlık katsayıları artarken, negatif olması durumunda ise ağırlık katsayıları azalacaktır.

Bu çalışmada yalnızca eğitici öğrenme yöntemleri kullanıldığından diğer öğrenme yöntemleri üzerinde daha fazla durulmayacaktır.

4.3 Eğitici Öğrenme Yöntemleri

YSA örnek giriş-çıkış çiftleri ile eğitilerek bir eğitim aşamasından geçiyorsa bu tip bir öğrenme yöntemine eğitici öğrenme adı verildiği daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Bu bölümde sıklıkla kullanılan eğitici öğrenme yöntemine haiz YSA modelleri tanıtılacaktır. Özellikle tez içerisinde kullanılan geriye yayılma algoritması (backpropagation) ve çağrışimli bellek yapısı gösteren Hopfield ağ modelleri üzerinde durulacaktır.

4.3.1 Tek tabakalı Perceptron ağırları

Tek tabakalı perceptron ağlarında girişler ağırlık katsayıları üzerinden hücrelere bağlıdır. Eğitimci öğrenme söz konusu olduğundan bazı örnek giriş değerleri için çıkış değerleri bilinmektedir ve ağ bu giriş çıkış çiftleri ile eğitilir. Şekilde görüldüğü gibi $x^k = [x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_m^{(k)}]^T$, giriş değerleri için beklenen çıkış deseni $d^k = [d_1^{(k)}, d_2^{(k)}, \dots, d_n^{(k)}]^T$, olmalıdır. Eğitim işlemi sonucunda ulaşılan $y^k = [y_1^{(k)}, y_2^{(k)}, \dots, y_n^{(k)}]^T$, aktif çıkış değerleri, beklenen $d^{(k)}$, çıkış desenine eşit olmalıdır. Burada m girişlerin sayısı, n çıkışların sayısı, k ise örnek sayısıdır.

$$y_i^{(k)} = a(w_i^T \cdot x^{(k)}) = a\left(\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j\right) = d_i^{(k)} \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p \quad (4.19)$$

$a(\bullet)$ transfer fonksiyonu bir eşik fonksiyonu veya sürekli sigmoid fonksiyonu olabilir. İşlem elemanının türüne göre uygulanacak öğrenme kuralı da değişir. İşlem elemanı LTU ise perceptron öğrenme kuralı, LGU ise Widrow-Hoff öğrenme kuralı kullanılır.

4.3.2. Perceptron öğrenme kuralı

Transfer fonksiyonu olarak signum fonksiyonunu kullanan perceptron ağının çıkışında beklenen değerler $d_i^{(k)}$, ancak ∓ 1 olabilir. Dolayısıyla çıkış için;

$$y_i^{(k)} = \text{sgn}(w_i^T \cdot x^{(k)}) = d_i^{(k)}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p \quad \text{yazılır.} \quad (4.20)$$

Bu ilişkiyi sağlayabilmek için oluşturulacak w ağırlık matrisini güncelleyebilmek için gerekli öğrenme işareti, beklenen çıkış ile aktif çıkış arasındaki farktan elde edilir.

$$r = d_i - y_i \quad (4.21)$$

Beklenen çıkış d_i değerleri ∓ 1 olacağından ağırlık matrisindeki değişim için ;

$$\Delta w_{ij} = \eta [d_i - \text{sgn}(w_i^T \cdot x)] x_j = \begin{cases} 2\eta \cdot d_i x_j & y_i \neq d_i \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4.22)$$

bağıntısı geçerlidir.

Buradaki η öğrenme sabitinin büyük değerler alması öğrenmeyi hızlandırır. Çok fazla büyük değerler alması durumunda ise eğitim işleminin, yerel optimumlara

takılması durumu ile karşılaşılır. Bu nedenle öğrenme sabitinin alacağı en uygun değer her problemde farklılıklar gösterir.

4.3.3 Adaline öğrenme kuralı

Eğitim kümesinin ve çıkışta beklenen değerlerin ayrık değerlerden değilde sürekli işaretlerden oluşması durumunda işlem elemanlarının (hücrelerin) aktivasyon fonksiyonları da buna uygun seçilmelidir. Bilindiği gibi sigmoid fonksiyonu gibi operasyonlar belli bir aralıkta sürekli değerler üretilmesine imkan tanır.

Tek tabakalı lineer aktivasyon fonksiyonuna sahip ağa adaptif lineer element denir ve kısaca ADALINE ismiyle anılır. ADALINE ağında girişlerle çıkışlar arasındaki ilişki lineerdir. Eğitici öğrenmede $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)})$ giriş örneklerine ait çıkışta $(d^{(1)}, d^{(2)}, \dots, d^{(p)})$ çıkış desenlerinin olacağı ağa eğitim aşamasında yüklenir. Burada ulaşılmak istenen hedef, bu ilişkiyi sağlayacak w_i matrisinin bulunmasıdır. Öyleki

$$\sum_{j=1}^m w_j x_j^{(k)} = d^{(k)} \quad k = 1, 2, \dots, p. \quad (4.23)$$

eşitliği sağlanmalıdır.

Eğer giriş desenleri $(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)})$ lineer bağımsız olursa, eşitliği sağlayan w^* matrisi bulunur. Giriş desenleri $x^{(i)}$ lerin boyu m ise, p adet farklı desen arasındaki lineer bağımsızlık şartı için gerek şart $p \leq m$ olmalıdır.

Eşitlik (4.23) den ağırlık matrisini elde etmek için önce sistemin hatasını ölçen bir hata fonksiyonu $E(w)$ tanımlamak gereklidir.

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p (d^{(k)} - y^{(k)})^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p (d^{(k)} - w^T x^{(k)})^2 \text{ ve}$$

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^p \left(d^{(k)} - \sum_{j=1}^m w_j x_j^{(k)} \right)^2 \quad (4.24)$$

Açıkça görüldüğü gibi $E(w)$ normalde pozitiftir ve $y^{(k)}, x^{(k)}$, ya yaklaştıkça sıfıra yaklaşır. $E(w)$ küçüldükçe ideal w değerine ulaşılabileceği görülmektedir. O halde yapılması gereken ortalama karesel hatayı yani $E(w)$ değerini minimize etmektir.

Yapay sinir ağlarındaki öğrenme işlemini diğer geleneksel işlemlerden ayıran belki de en önemli özellik budur. Yani w matrisini bulmak için analitik çözümler yapmak yerine w 'nın rasgele bir başlangıç değerinden yola çıkarak en uygun çözümü buluncaya kadar w matrisini güncelleme işlemini gerçekleştirecek bir öğrenme algoritması kullanılmasıdır. Sık kullanılan algoritmalarından birisi Eğilim düşme (Gradient -descent) Öğrenme Algoritmasıdır. Bu yöntemle ağırlık matrisinin güncellenmesinde kullanılan Δw değişim miktarının bulunmasında, $E(w)$ fonksiyonun gradientinin ters işaretlisi kullanılır.

$$\Delta w = \eta \nabla_w E(w). \quad (4.25)$$

$$\Delta w_j = \eta \frac{\partial E}{\partial w_j} = \eta \sum_{k=1}^p (d^{(k)} - w^T x^{(k)}) x_j^{(k)} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4.26)$$

Eğer bütün sınıflar topluca değil de sırayla ağırlık eğitimi için ağırlık katsayılarındaki değişim;

$$\Delta w_j = \eta (d^{(k)} - w^T x^{(k)}) x_j^{(k)} \quad (4.27)$$

eşitliğindeki gibi olacaktır.

Yukarıdaki eşitliğe Adaline öğrenme kuralı veya Widrow-Hoff öğrenme kuralı adı verilir. Bu aynı zamanda en düşük kareler ortalaması (LMS) yöntemi adını alır. Genelleştirilmiş öğrenme kuralı ile karşılaştırıldığında burada öğrenme sinyali;

$$r = d - y \quad \text{alınmıştır.}$$

Tez içerisinde Hopfield ve Backpropagation algoritmaları kullanıldığından bundan sonraki bölümlerde bu algoritmalar üzerinde durulacaktır.

4.4 Geriye Yayılma (Back Propagation)

Sinir ağlarının tarihsel gelişimi içinde en önemli öğrenme algoritmalarından birisi geriye yayılma (back propagation) algoritmasıdır (Bryson ve Ho,1969, Werbos,1974, LeCun, 1985, Parker,1985, Rumelhart ve diğ, 1986). Bu öğrenme algoritması çok tabakalı ileri beslemeli ağlar ile birleştirildiğinde elde edilen yapay sinir ağına geriye yayılma ağı adı verilir. Eğitim kümesindeki $\{x^{(k)}, d^{(k)}\}$ giriş-çıkış çiftleri verildiğinde geriye yayılma ağının giriş desenlerini doğru bir şekilde sınıflandırabilmesi için öğrenme kuralı vasıtasıyla ağırlık matrisi değiştirilir. Ağırlıkların güncellenmesi, perceptron ağlarında kullanılan eğim düşümü (gradient-

descent) algoritmasına dayanır. Geriye yayılma ağında iki yönlü bilgi akışı söz konusudur. İlk olarak giriş deseni $x^{(k)}$, ağ girişinden ağ çıkışına doğru gönderilir. Bu giriş desenine karşılık çıkışta oluşan $y^{(k)}$ çıkış deseni ile çıkışta görülmesi beklenen $d^{(k)}$ deseni arasındaki fark, yani hata sinyali çıkıştan geriye, giriş tabakasına doğru iletilir. Ağ parametrelerinin güncellenmesi bu hata sinyali ile yapılır. Bunları daha açık olarak görmek amacıyla şekildeki geriye yayılma ağını dikkate alınırsa, sürekli çizgiler giriş işaretinin ileriye doğru yayılmasını, kesikli çizgiler ise hata işaretinin geriye doğru yayılmasını göstermektedir.

İfadeleri basitleştirmek için k indisi kaldırılmış bir giriş- çıkış eğitim çifti (x, d) ele alınırsa, verilen x giriş deseni için saklı tabakadaki q işlem elemanın alacağı toplam giriş işareti aşağıdaki gibi olur.;

$$net_q = \sum_{j=1}^m v_{qj} x_j \quad (4.28)$$

ve hücre çıkışında üretilen işaret;

$$z_q = a(net_q) = a\left(\sum_{j=1}^m v_{qj} x_j\right) \quad (4.29)$$

olacaktır. Çıkış katmanındaki i . hücrenin girişine ulaşan toplam giriş işareti ise;

$$net_i = \sum_{q=1}^l w_{iq} z_q = \sum_{q=1}^l w_{iq} a\left(\sum_{j=1}^m v_{qj} x_j\right) \quad (4.30)$$

olur ve çıkış işareti;

$$y_i = a(net_i) = a\left(\sum_{q=1}^l w_{iq} z_q\right) = a\left(\sum_{q=1}^l w_{iq} a\left(\sum_{j=1}^m v_{qj} x_j\right)\right). \quad (4.31)$$

Yukarıdaki eşitlikler back propagation ağında ileri doğru yayılma denklemleridir.

Geriye doğru yayılma eşitliklerini elde etmek için ilk olarak hatayı belirlemek gerekir. Toplam karesel hatayı belirleyen hata fonksiyonu;

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [d_i - a(net_i)]^2 \quad \text{ve}$$

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[d_i - a\left(\sum_{q=1}^l w_{iq} z_q\right) \right]^2 \quad (4.32)$$

Eğim düşümü algoritmasına göre, saklı tabakadan çıkış tabakasına doğru bütün ağırlık katsayıları aşağıdaki kuralla güncellenir.

$$\Delta w_{iq} = -\frac{\partial E}{\partial w_{iq}} \quad (4.33)$$

(4.30)-(4.32) eşitlikleri kullanılarak zincir kuralıyla $\partial E / \partial w_{iq}$ için;

$$\Delta w_{iq} = -\eta \left[\frac{\partial E}{\partial y_i} \right] \left[\frac{\partial y_i}{\partial net_i} \right] \left[\frac{\partial net_i}{\partial w_{iq}} \right] = \eta [d_i - y_i] [a'(net_i)] [z_q] = \eta \delta_{oi} z_q \quad (4.34)$$

Bu son eşitlikteki δ_{oi} hata işaretidir ve ikinci indis çıkış tabakasındaki i . hücreyi gösterir. Hata işareti aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\delta_{oi} = -\frac{\partial E}{\partial net_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial y_i} \right] \left[\frac{\partial y_i}{\partial net_i} \right] = [d_i - y_i] [a'(net_i)] \quad (4.35)$$

Bu tanım aynı zamanda delta öğrenme kuralında kullanılan hata işaretinin tanımıdır. Çıkış katmanındaki i . hücreye giren toplam işaret net_i ile gösterilirken $a'(net_i)$ için aşağıdaki tanım yapılır.

$$a'(net_i) = \frac{\partial a(net_i)}{\partial net_i} \quad (4.36)$$

Eşitlikteki z_q ise saklı tabakanın çıkış değeridir. Giriş katmanı ile, saklı tabaka arasındaki ağırlıkların güncellenmesi için de eğim düşümü yöntemi kullanılır. Giriş tabakasındaki j . hücre ile, saklı tabakadaki q . hücre arasındaki bağlantı ağırlığındaki değişim miktarı;

$$\Delta v_{qj} = -\eta \left[\frac{\partial E}{\partial v_{qj}} \right] = -\eta \left[\frac{\partial E}{\partial net_q} \right] \left[\frac{\partial net_q}{\partial v_{qj}} \right] \text{ ve} \\ \Delta v_{qj} = -\eta \left[\frac{\partial E}{\partial z_q} \right] \left[\frac{\partial z_q}{\partial net_q} \right] \left[\frac{\partial net_q}{\partial v_{qj}} \right] \quad (4.37)$$

zincir kuralıyla elde edilir.

Eşitlik (4.32) ' den açıkça görüldüğü gibi her bir hata terimi $[d_i - y_i]$, z_q 'nun fonksiyonudur. Zincir kuralının uygulanmasıyla aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\Delta v_{qj} = \eta \sum_{i=1}^n [(d_i - y_i) \cdot a'(net_i) w_{iq}] a'(net_q) x_j \quad (2.38)$$

Eşitlik (4.35) kullanılarak, bu son eşitlik yeniden yazılabilir;

$$\Delta v_{qj} = \eta \sum_{i=1}^n [d_{oi} w_{iq}] a'(net_q) x_j = \eta \delta_{hq} x_j \quad (2.39)$$

Buradaki δ_{hq} , saklı tabakadaki q . elemana ait hata işaretidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\delta_{hq} = -\frac{\partial E}{\partial net_q} = -\left[\frac{\partial E}{\partial z_q} \right] \left[\frac{\partial z_q}{\partial net_q} \right] = a'(net_q) \sum_{i=1}^n \delta_{oi} w_{iq} \quad (2.40)$$

eşitlikteki net_q saklı tabakadaki q . elemana ait toplam giriş işaretini göstermektedir. Saklı tabakadaki bir hücreye ait hata işaretinin, çıkış tabakasındaki bir hücreye ait hata sinyalinden farklı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı (4.40) da tanımlı olan hata işaretini kullanan ağırlık güncelleme eşitliği, eşitlik (4.38) ve (4.39)'a genelleştirilmiş delta öğrenme kuralı ismi verilir. Görüldüğü gibi saklı tabakadaki hata işareti δ_{hq} , çıkış tabakasındaki hata işareti δ_{oi} 'nin fonksiyonudur. Daha açıkçası hata işareti çıkış tabakasından girişe doğru yayılmaktadır. Eşitlik (4.30) ve (4.32) genelleştirilmiş öğrenme kuralı açısından yaklaşılmca birbirinin aynıdır. Aralarındaki fark $r = \delta$ hata işaretinin tanımlarındadır. Dolayısıyla geriye yayılma ağırlarında, herhangi bir katman için genelleştirilmiş ağırlık güncelleme ifadesi;

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_i x_j = \eta \delta_{i.cikis} x_{j.giris} \quad (4.41)$$

Bu ifadedeki "i. çıkış" ve "j. giriş" ifadeleri j. hücreden i. hücreye doğru olan bağlantının uç noktalarını gösterir. Saklı tabakadaki veya giriş tabakasındaki giriş ucu x_j ile temsil edilirken, δ_i ise son çıkış tabakası için eşitlik (4.35), diğer katmanlar için ise eşitlik (4.40) ile tanımlanan hata işaretidir. Hücrelerde transfer fonksiyonu olarak bipolar sigmoid fonksiyonunun kullanılması durumunda hata işaretine ilişkin ifadeler aşağıdaki ifadeler dönüşür;

$$\delta_{oi} = \frac{1}{2} (1 - y_i^2) [d_i - y_i] \quad (4.42)$$

ve

$$\delta_{hq} = \frac{1}{2} (1 - z_q^2) \sum_{i=1}^n \delta_{oi} w_{iq} \quad (4.43)$$

Sonuç olarak, geri yayılma algoritması aşağıdaki BP algoritmasıyla adım adım işletilir.

4.4.1 BP algoritması

Q adet tabakaya sahip bir ağ tasarlanmış olsun . $q=1,2,\dots,Q$ ve ${}^q net_i$ ve ${}^q y_i$ q . katmandaki i . hücrenin sırasıyla toplam girişi ve çıkışı olsun. Ağ m adet giriş ve n adet çıkış hücresi olsun. ${}^q w_{ij}$ ise, ${}^{q-1} y_j$ hücresi ile ${}^q y_i$ hücresi arasındaki bağlantının ağırlık katsayısı olsun.

Giriş: Giriş vektörlerinin son elemanı $x_{m+1}^k = -1$ olan , $k=1,2,\dots,p$ için, p adet $\{x^{(k)}, d^{(k)}\}$ örnek giriş-çıkış eğitim çiftleri kümesi, ağ için giriş verileri kabul edilir.

- I. Adım** (Ağı kurulması): Öğrenme sabiti $\eta > 0$ ve izin verilebilir en büyük hata $E_{\max}$ belirlenir. Ağırlık matrislerinin elemanları rastgele küçük değerlerden oluşturulur. $E = 0$ ve $k = 1$ yapılır.
- II. Adım** (Eğitim çevrimi): k . giriş vektörü, giriş katmanına ($q = 1$) uygulanır:

$${}^q y_i = {}^1 y_i = x_i^{(k)} \quad \forall i \text{ için}$$
- III. Adım** (İleri Yayılma) : Aşağıdaki eşitlik kullanılarak işaret,bütün ağ boyunca ileri doğru iletilir.

$${}^q y_i = a({}^q net_i) = a\left(\sum_j {}^q w_{ij} {}^{q-1} y_j\right) \quad (4.44)$$

Bütün q ve i değerleri için , çıkış katmanına ait ${}^Q y_i$ çıkışlarına ulaşıncaya kadar işleme devam edilir.

- IV. Adım** (Çıkış hatasının ölçülmesi): Çıkıştaki hata değeri ve hata işareti ${}^Q \delta_i$ hesaplanır.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(d_i^{(k)} - {}^Q y_i\right)^2 + E \quad (4.45)$$

$${}^Q \delta_i = \left(d_i^{(k)} - {}^Q y_i\right) a'({}^Q net_i) \quad (4.46)$$

- V. Adım** (Hatanın geriye yayılması): Ağırları güncellemek için hata geriye doğru yayılır ve ${}^{q-1}\delta_i$ hata sinyalleri her bir katman için hesaplanır.

$$\Delta^q w_{ij} = \eta \delta_i {}^{q-1}y_i \quad \text{ve} \quad {}^q w_{ij}^{yeni} = {}^q w_{ij}^{eski} + \Delta^q w_{ij} \quad (4.47)$$

$${}^{q-1}\delta_i = a'({}^{q-1}net_i) \sum_j {}^q w_{ji} {}^q \delta_j \quad q = Q, Q-1, \dots, 2. \text{ için} \quad (4.48)$$

- VI. Adım** (Bir eğitim çevrimi): Bütün giriş desenleri tamamlanıncaya kadar $k < p$ olduğu müddetçe $k = k + 1$ yap ve II. adıma dön. Aksi halde VII. Adıma git.
- VII. Adım** (Toplam hata kontrolü): Toplam hatanın izin verilen sınırlar içinde olup olmadığını kontrol et: Eğer $E < E_{\max}$ ise eğitim işlemini sonlandır ve o anki bağlantı katsayılarını çıkışa gönder. Aksi halde II. adıma git $E = 0$ ve $k = 1$ yap ve yeni bir eğitim işlemi başlat.

Yukarıdaki algoritmada her bir eğitim desenin ağa sunulmasından sonra ağırlık matrisleri güncellenir. Güncelleme işleminin başka bir yöntemide bütün eğitim desenlerinin ağa sunulmasından sonra eğitim işleminin yapılmasıdır.

4.4.2 Geriye yayılma algoritmasında öğrenme faktörleri

Bu bölümde geriye yayılma ağlarında ağ performansını etkileyen önemli öğrenme faktörleri üzerinde durulacaktır. Bu faktörler şunlardır:

1. Başlangıçtaki ağırlık katsayıları
2. Öğrenme sabiti
3. Hata fonksiyonu
4. Güncelleme kuralı
5. Ağ mimarisi, katman sayısı ve katman başına düşen hücre sayısı
6. Eğitim kümesinin boyutu ve kullanılan özniteliklerin problemi temsil etme yeteneği

Başlangıç ağırlıkları: Çok tabakalı ağlarda ağırlık matrislerinin başlangıçta içerdiği ağırlıkların problemin çözümünde çok büyük önemi vardır. Genelde rasgele küçük değerler atanır. Başlangıçta atanan ağırlıklar çok büyük olamaz. Çünkü bu durumda sigmoid fonksiyonu eğitim işleminin başlangıcında doymaya girebileceğinden,

hatayı ölçen hata fonksiyonunun başlangıç noktasından sonraki ilk yerel minimum noktasında veya ilk düzlükte algoritma tıkanır. Yani asıl minimuma ulaşmak imkansızlaşır. Başlangıç ağırlıklarının uygun değerlerde seçilmesi için önerilen bir yöntem, w_{ij} bağlantı ağırlıklarının $\left[-3/\sqrt{k_i}, 3/\sqrt{k_i}\right]$ aralığında olmasıdır. İfadedeki k_i değeri, i . hücre girişine gelen bağlantı sayısıdır. Başka bir deyişle ağ tam bağlantılı bir ağsa bir önceki katmandaki hücre sayısıdır.

Öğrenme Sabiti: Geri yayılma algoritmasının verimliliğine ve çözüm noktasına yakınsamasına kuvvetli bir etki yapan bir diğer faktör η öğrenme sabitidir. Farklı eğitim aşamaları için uygun tek bir öğrenme sabiti değeri belirlenmemiştir. Uygun öğrenme sabitinin belirlenmesi her bir problem için deneysel olarak belirlenir. Yani öğrenme sabitinin belirlenmesinde bir kriter yoktur. Bununla birlikte bazı genellemeler de yapılabilir. Büyük değerli öğrenme sabiti çözüme ulaşmada algoritmanın hızını artırırken, bağlantı ağırlıklarında olduğu gibi doymaya da sebebiyet verebilir. Öğrenme sabitinin η , 10^{-3} ile 10 arasında aldığı değerlerin başarılı sonuçlar ürettiği deneysel olarak gözlenmiştir.

Öğrenme sabitinin algoritma boyunca sabit tutulması yerine adaptif olarak değiştirilmesi algoritmanın performansını daha da artırmıştır (Vogl ve diğ, 1988, Jacobs, 1988). Bu şekilde her bir noktada en uygun öğrenme sabiti seçilerek, öğrenme sabitine bir esneklik kazandırılmıştır. Güncellenen ağırlıkların ağırlık karesel hatasını azaltması gerekir. Eğer hata fonksiyonu, yani karesel hata her adımda azalıyorsa, bu azalmayı muhafaza ederek, öğrenme sabitinin değerinin daha büyük değerler almasına çalışılır. Özet olarak, öğrenme sabiti aşağıda kurala göre güncellenir (Hertz ve diğ, 1991).

$$\Delta\eta = \begin{cases} +a & \Delta E < 0 \\ -b\eta & \Delta E > 0 \\ 0 & \text{diger} \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{süreklilik} \\ \text{gösteriyorsa} \end{matrix} \quad (4.49)$$

ΔE , hata fonksiyonundaki değişimi gösterirken buradaki a ve b sembolleri ise pozitif sabitlerdir. Bir başka kural ise aşağıda ifade edilen delta-bar-delta kuralıdır.

$$\Delta\eta(t+1) = \begin{cases} +a & \bar{\lambda}(t-1)\lambda(t) > 0 \\ -b\eta(t) & \bar{\lambda}(t-1)\lambda(t) < 0 \\ 0 & \text{diger} \end{cases} \quad (4.50)$$

Burada

$$\lambda(t) = \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad \text{ve} \quad \bar{\lambda}(t) = (1-c)\lambda(t) + c\bar{\lambda}(t-1) \quad (42.51)$$

Şeklinde tanımlanmıştır. Eşitlikte kullanılan sabit c ise $c \in [0,1]$ aralığında bir değere sahiptir.

Hata Fonksiyonları: Yukarıdaki ifadelerde kullanılan karesel fonksiyondan başka hata fonksiyonları da vardır. Hata fonksiyonları genelde L_p normunda $1 < p < \infty$ ifade edilir. Genel tanımı aşağıdaki gibidir.

$$E = \frac{1}{p} \sum_i (d_i - y_i)^p \quad 1 \leq p < \infty \quad (4.52)$$

Özel olarak, karesel hata fonksiyonunda kullanılan en küçük kareler kriteri yani L_2 normu, basitliğinden dolayı en çok kullanılan kriterdir. Bunun yanında L_1 ve L_∞ normlarını esas alan hata fonksiyonları da yaygın olarak kullanılır. Özellikle L_∞ Chebyshev normu olarak adlandırılır.

Momentum: Eğim düşümü algoritması, eğer öğrenme sabiti küçük ise çok yavaş çalışabilir veya öğrenme sabiti çok büyük ise osilasyona sebep olabilir. Büyük değerli öğrenme sabitine sahip, eğim düşümü algoritmasının osilasyona sebep olmaması için algoritmaya momentum terimi ilave edilir. Buna göre ağırlık matrisindeki değişim;

$$\Delta w = -\eta \nabla E(t) + \alpha \Delta w(t-1) \quad (4.53)$$

şeklinde ifade edilir.

İfadedeki α terimi momentum terimidir ve $\alpha \in [0,1]$ aralığında değerler alır. Genelde 0.9 değeri ideal bir seçimdir. Ancak problem türüne göre bu değer değişebilir.

Güncelleme Kuralları: Taylor serisini kullanılarak $E(w)$ fonksiyonu w_0 noktasında seriye açılırsa ;

$$E(w) = E(w_0) + (w - w_0)^T \nabla E(w_0) + \frac{1}{2} (w - w_0)^T H(w) (w - w_0) + \dots \quad (4.54)$$

elde edilir. Eşitlikteki $H(w)$ 'e Hessian matrisi adı verilir ve w_0 noktasındaki ikinci türevdir.

$$H(w) = \nabla^2 E(w) \quad \text{veya} \quad H_{ij} = \frac{\partial^2 E}{\partial w_i \partial w_j} \quad (4.55)$$

$E(w)$ ' nin minimum değeri bu fonksiyonun türevini sıfır yapan noktada olacağından;

$$\nabla E(w) = \nabla E(w_0) + H(w)(w - w_0) + \dots = 0 \quad (4.56)$$

Bu ifadedeki üçüncü ve daha yüksek dereceli terimler ihmal edilirse;

$$w = w_0 - H^{-1}(w) \nabla E(w_0) \quad (4.57)$$

ifadesi elde edilir ve k indisi k . eğitim adımını göstermek üzere aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$w^{(k+1)} = w^{(k)} - H^{-1}(w^{(k)}) \nabla E(w^{(k)}) \quad (4.58)$$

Bu eşitlik, ağırlıkların güncellenmesinde Newton yöntemi olarak bilinir. Çözümün konveks bir fonksiyona benzemesi halinde Newton Yöntemi hızla çözüme yaklaşır. Ancak bu yöntemin bazı mahsurları da vardır. İlk olarak çözüme yaklaşmak için başlangıçta çözüm için iyi bir kestirim yapmak gereklidir. Yani başlangıç ağırlıkların seçimi çok önem taşımaktadır. Bir diğer husus, konveks olmayan bir fonksiyon söz konusu olduğunda, bu yöntemde yerel minimumlara takılmak kaçınılmazdır. En önemli mahsur ise her eğitim aşamasında Hessian matrisinin ve tersinin hesaplanmasının gerekmesidir. Bu oldukça fazla hesaplama yükü demektir ve bunların depolanması büyük yer tutar. Dolayısıyla bu yöntem pek pratik olmayan bir yöntemdir.

Eğitim Kümesi: Her alanda olduğu gibi yapay sinir ağlarında da doğru çözüme ulaşmak için doğru verilere ihtiyaç vardır. Eğer girişteki veri kümesinin problemi temsil etme yeteneği güçlü değilse, hangi algoritma kullanılırsa kullanılsın doğru sonuca ulaşmak mümkün değildir. Yaygın bir kural , bütün giriş uzayını kapsayan verileri kullanarak, bu verilerden rasgele seçilmiş eğitim vektörlerinin eğitim işleminde kullanılmasıdır. Örnek olarak, hiper düzlemlerle lineer olarak ayrıştırılabilir M adet bölgenin sınırlarını belirlemek için kullanılan eğitim vektörlerinin eleman sayısı P ise, $P/M \gg 1$ olmalıdır. Ancak bu tek başına yeterli değildir. Eğitim vektöründe kullanılan elemanların giriş uzayındaki değerlerden seçilmesinde izlenen yol önemlidir. Hatta giriş uzayındaki verilerin kullanılması yerine, bu verileri kullanarak çıkarılan öznitelik vektörlerinin kullanılması eğitim sürecinin daha

verimli olmasını sağlar. Özniteliklerin çıkarılmasında her probleme cevap verebilecek genel bir yöntem yoktur. Bu çalışmadaki yaprak şekillerinin temsil edilmesinde yaprak çevresini oluşturan noktaların yaprak merkezine olan uzaklıkları öznitelik vektörlerinin elemanlarını oluşturmaktadır.

İç Katmandaki hücre sayısı: Saklı katmandaki hücre sayısının çözüme etki ettiği kesindir. Ancak bu etkinin analitik olarak gözlemlenmesi pek mümkün değildir. Dolayısıyla saklı katmandaki hücre sayısı deneysel olarak belirlenir. Özellikle çok sayıda giriş içeren, yani giriş vektörlerinin boyu dolayısıyla giriş katmanındaki hücre sayısı yüzlerce olan problemlerde deneysel olarak elde edilen sonuçlara göre, iç katmandaki hücre sayısı giriş tabakasındaki hücre sayısının çok küçük bir kesri olmalıdır. Eğer mevcut hücre sayısı ile çözüme yaklaşılamıyorsa iç katmandaki hücre sayısı makul ölçülerde artırılmalıdır. Çözüme hızlı bir yakınsama söz konusu olduğunda ise iç tabakadaki hücre sayısı azaltılır. Bu şekilde en optimum çözüm bulununcaya kadar devam edilir (Freeman ve Skapura, 1991).

Giriş katmanı m elemanlı olan M adet lineer olarak ayrıştırılabilir farklı bölge içeren ve girişteki verinin bu M sınıftan hangisine ait olduğunun bulunmasını sağlayacak bir YSA 'daki gizli katman sayısı N_m ise, bu büyüklükler arasında aşağıdaki ilişkiler mevcuttur (Mirchandini ve Cao,1989, Huang ve Huang, 1991).

$$N_m < j \text{ için } \binom{N_m}{j} = 0 \text{ olmak üzere } N_m + 1 \leq M \leq \sum_{j=0}^m \binom{N_m}{j} \quad (4.59)$$

O halde saklı tabakada N_m adet hücre içeren bir ağıın sınıflandırabileceği maksimum sınıf sayısı $M_{\max}$, $N_m > m$ olması halinde aşağıdaki gibidir.

$$M_{\max} = \sum_{j=0}^m \binom{N_m}{j} \quad \text{ve} \quad M_{\max} = 1 + N_m + \frac{N_m(N_m-1)}{2!} + \dots + \frac{N_m(N_m-1)\dots(N_m-j+1)}{m!} \quad (4.60)$$

$N_m \leq m$ olması halinde ise;

$$M_{\max} = 2^{N_m} \quad \text{ve } N_m = \log_2 M_{\max} \quad \text{olur.} \quad (4.61)$$

5. MODEL ÇALIŞMALARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. YSA Modelinin Oluşturulması

Betonun en büyük bileşeni olan agreganın sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklerin betonun dayanım özelliklerine etkisinin belirlenmesi ancak yapılan deneylerle belirlenebilmektedir. Bu çalışmalar uzun zaman almakta ve çoğu zamanda ekonomik olmamaktadır. Bundan dolayı dayanım özelliklerinin belirlenmesi için daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalardan yararlanılarak oluşturulan değişik yöntemler kullanılmaktadır.

Beton davranışını tahmin etmek amacı ile çeşitli yöntemler kullanılarak araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda ekseriyetle daha önce yapılmış deney sonuçları kullanılmıştır. Günümüzde popüler yöntemlerden olan YSA ve BM yöntemlerine dayanan farklı modelleme yöntemleri bir çok mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Akıllı sistemlerin kurulmasında YSA yöntemleri doğal tamamlayıcı araç olmuştur.

YSA yöntemiyle malzeme davranışı için model geliştirmenin temel stratejisi, bu malzemeyi kullanarak yapılan deney sonuçlarından elde edilen verilerle YSA modelinin eğitilmesidir. YSA'dan beklenen deney koşullarını belirleyen giriş parametreleriyle deney sonucunda elde edilen çıkış parametresi arasında bir ilişki kurabilmesidir.

YSA paralel çalışmanın getirdiği hız avantajı, yazılım ve donanımla kolay gerçekleştirilebilir olması, hücrelerdeki bilgi kaybının veya hücre ölümlerinin sistem cevabını önemli ölçüde etkilememesi özellikleri ile sınıflandırma uygulamalarında kullanılan giriş verilerine bir esneklik kazandırmaktadır. Giriş verilerindeki değerler ve hatalar YSA tarafından elimine edilebilmektedir. Ancak ağın öğrenme algoritmasından kaynaklanan yerel optimumlara takılması ağın performansını düşürmektedir.

Bu çalışmada da birçok deneysel çalışmalardan yararlanarak, deneysel sonuçları tahmin edebilmek için YSA yönteminden yararlanılmıştır. Deneysel sonuçları tahmin etmek için YSA yönteminde kullanılan modeller çok katmanlı, geri beslemeli ve hatanın geriye dağılım algoritmasının kullanıldığı modellerdir.

YSA yönteminde oluşturulan modelde belirli sayıdaki deney giriş ve çıkış parametreleri ile modeller eğitilmiştir. Eğitim işlemi sonucunda YSA hücreleri arasındaki bağlantıların ağırlık katsayıları ve hücrelerin bias (ofset) değerleri, deney giriş parametreleri ve çıkış parametresinin büyüklüğüne göre güncellenmiştir. YSA’da giriş parametreleri ile çıkış parametresi arasındaki ilişkiye dair bilgi bağlantı katsayıları ve hücre bias değerlerinde saklanır. Eğitim işleminde kullanılmayan ve önceden test veri seti olarak hazırlanmış deneylerin giriş parametreleri YSA girişine verilerek YSA’nın bu deneylere ilişkin çıkış değerlerini hesaplaması, tahmin etmesi beklenilir. Bu işleme YSA’nın testi denir. Test işlemi sonucunda YSA tarafından elde edilen çıkış değerleri, bu deneylere ilişkin orijinal deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak YSA’nın performansı belirlenir.

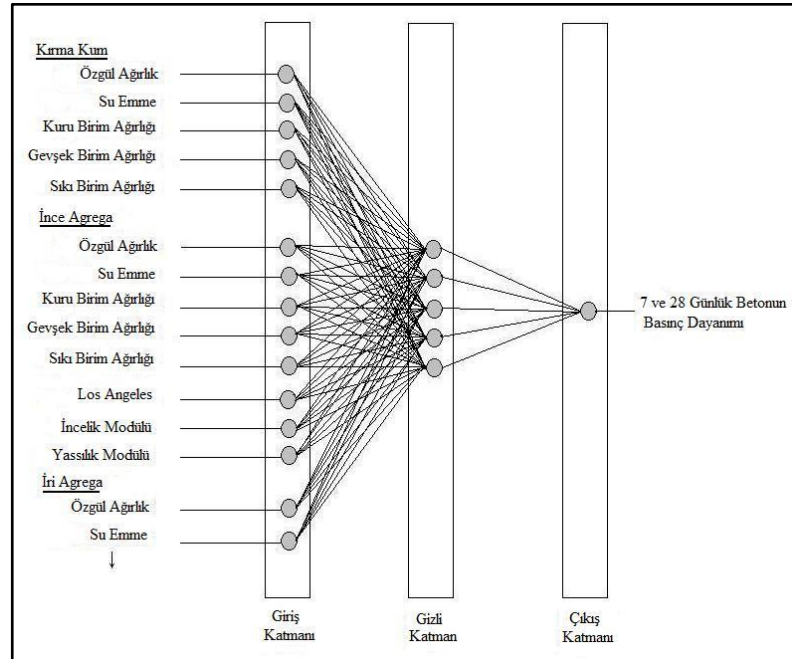
Beton basınç dayanım özelliği yüksek bir malzeme olduğundan dolayı yapıda genellikle basınca maruz kalan bölgelerde kullanılmaktadır. Bir çok araştırmacı YSA yöntemi ile oluşturulan modellerle betonun davranış özelliklerini tahmin etmeye çalışmış yapılan deneylerle de modellerin doğruluğunu kanıtlama yoluna gitmişlerdir. Diğer taraftan araştırmacılar tarafından incelenen konulardan biri de beton basınç dayanımının önceden tahminidir. Bununla ilgili birçok ampirik formül önerilmiştir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber Yapay Zeka ve diğer metotlar kullanılarak mühendislik problemlerine çözümler aranmaktadır. Betonun dayanım özelliklerini tahmin etmek amacı ile beton karışımını oluşturan elemanların oranlarını ve/veya fizik-mekanik özelliklerini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçların yüksek oranda deneylerden elde edilen sonuçlara çok yakın olduğunu bildirilmektedir.

5.2. Beton Dayanımının YSA ile Belirlenmesi

Yapılan deneylerde betonun dayanımları, beton hazırlandıktan 7 gün ve 28 gün sonra ölçülerek elde edilmiştir. YSA ile yapılan çalışmada 7 günlük ve 28 günlük beton dayanımlarını tahmin etmek maksadı ile 2 farklı YSA modeli kullanılmıştır. Çalışmada, bu tür problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan güvenilirliği

yapılan bilimsel çalışmalarla ispatlanmış Çok Katmanlı İleri Beslemeli YSA modelinin kullanılması tercih edilmiştir.

Çok katmanlı ileri beslemeli YSA modellerinde YSA katmanlar halinde tasarlanır. Giriş parametrelerini temsil eden hücrelerin bulunduğu ilk katmana giriş katmanı çıkış parametrelerinin temsil edildiği hücrelerin bulunduğu son katmana ise çıkış katmanı denir. Dolayısı ile YSA'nın giriş katmanındaki hücre sayısı giriş parametrelerinin sayısına, çıkış katmanındaki hücre sayısı ise çıkış parametrelerinin sayısına eşittir. Çok katmanlı YSA'nın öğrenme kapasitesini artırmak maksadı ile her iki katman arasında gizli katmanlar kullanılır. Gizli katman sayısı problemin zorluğuna göre bir tane olabileceği gibi birden fazlada olabilir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde birden fazla gizli katman kullanmak yerine tek gizli katmanlı modelin tercih edildiği, ağ performansını artırmak için gizli katman sayısını artırmak yerine gerekirse tek gizli katmandaki hücre sayısının artırıldığı görülmüştür. Bundan dolayı bu çalışmada tek gizli katmanlı YSA kullanılmış başlangıçta gizli katmandaki hücre sayısı yeterince büyük seçilmiş (15 gizli katman hücresi), farklı modeller denenerek 5 hücreli gizli katmanlı modelin öğrenme kapasitesinin problemi çözmeye kafi geldiği görülmüştür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : YSA ile oluşturulan model.

YSA'nın eğitiminde ise Geriye Yayılma Öğrenme algoritması kullanılmıştır. Geriye yayılma algoritmasında ağ parametreleri güncellenirken, sıralama çıkış katmanından giriş katmanına doğrudur. Eğitim sürecinin herhangi bir aşamasında yapay sinir ağının mevcut ağ parametreleri (ağırlık katsayıları ve biaslar) ve giriş parametre değerlerini kullanarak hesaplanmış olduğu çıkış parametresi değeri orijinal çıkış parametresi değeri ile karşılaştırılır bulunan hatayı azaltmak için önce gizli katmanla çıkış katmanı arasında ki bağlantı katsayıları güncellenir daha sonra giriş katmanı ile gizli katman arasında ki bağlantı katsayıları güncellenir. Güncellenmiş yeni ağırlık katsayıları kullanılarak ağ girişinde bulunan giriş parametreleri için çıkış tekrar hesaplanır. Ağ çıkışı ile deney sonucunda gözlemlenen orijinal çıkış parametresi arasındaki fark önceden belirlenmiş hata değerinin altına düşünceye kadar bu işleme devam edilir. Ağ parametrelerinin güncellenmesinde takip edilen sıra çıkıştan girişe doğru olduğu içinde bu öğrenme algoritmasına geriye yayılma algoritması denir. Geriye yayılma algoritmasında ağın öğrenme performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi öğrenme katsayısıdır. Öğrenme katsayısının çok büyük olması durumunda algoritmanın yerel optimumlara takılması söz konusu olup öğrenme hızında ciddi bir artış gözlenmesine rağmen öğrenme performansında düşüş olması muhtemeldir. Aksi durumda, öğrenme katsayısının çok küçük olması durumunda ise ağın öğrenme performansında bir artış söz konusu olmakla beraber öğrenme işlemi çok zaman almaktadır. Bu nedenle öğrenme katsayısı için optimum bir değer belirlenmesi geriye yayılma algoritmasında çok önemli bir husustur. Bu çalışmada yukarıda anılan her iki husustan kaynaklanan dezavantajları bertaraf edebilmek için öğrenme katsayısının adaptif olarak belirlendiği adaptif öğrenme katsayılı geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Momentum katsayısı ise 0,90 olarak seçilmiştir.

Betonu oluşturan agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri 21 farklı parametre ile temsil edilmiştir. Agregâ özelliklerini belirleyen bu parametreler her iki yapay sinir ağı modelinde giriş parametreleri olarak kullanılmıştır. Dolayısı ile 7 günlük ve 28 günlük beton dayanımlarını belirleyen her iki YSA giriş katmanı 21 YSA hücresinden oluşmaktadır. YSA çıkışında çıkış parametresi olarak yalnızca beton dayanımı bulunduğundan, her iki yapay sinir ağı modelinde çıkış katmanında yalnızca bir hücre bulunmaktadır. Gizli katmandaki hücre sayısının belirlenmesi için kati bir analitik kural bulunmadığından gizli katmandaki hücre sayısı deneysel olarak farklı sayılarda gizli katman hücre sayısı denendikten sonra beş hücreli gizli katmanlı

YSA modelinin en iyi performansı gösterdiği gözlenmiş dolayısı ile gizli katman hücre sayısı her iki YSA modeli için de 5 olarak belirlenmiştir. Gizli katman hücre sayısı 5'den yüksek seçildiğinde YSA'nın eğitim aşamasında performansı yüksek iken test verileri ile çalıştırıldığında performansının ciddi oranda düştüğü gözlenmiştir. Gizli katman hücre sayısı 5 den daha az seçildiğinde ise eğitim aşamasında ağırlık toplam karesel hatası belli bir değerin altına düşmemiştir. Dolayısı ile ağırlık gizli katmanı 5 den daha az hücre ile dizayn edildiğinde ağırlık öğrenme kapasitesinin problemde kullanılan giriş parametreleri ile çıkış parametresi arasındaki ilişkiyi öğrenmeye yetmediği kanaatine varılmıştır.

5.3 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

1. Bölge için elde edilen deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar modelde eğitimde kullanılan 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçlar Çizelge 5.1' de verilmiştir. Ayrıca oluşturulan modelin test edilmesi amacıyla kullanılan deneyler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

1. Bölgeden çalimsalar ile modellerden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin YSA sonuçları ve Lineer Regresyon sonuçları ile birlikte karşılaştırılması sırasıyla Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir. YSA modellerindeki eğitim ve testlerden elde edilen değerler Çizelge 5.3 ve 5.4 ile ayrıca karşılaştırmalı olarak Şekil 5.2 ve 5.3 'de 7 ve 28 günlük basınç dayanımları YSA'dan alınan sonuçlar ile deney sonuçlarını karşılaştırmaktadır. Şekil 5.4'te de LR sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi YSA'dan alınan sonuçlar deney sonuçlarına çok yakındır ve R^2 değeri 7 günlük için 0.684, 28 günlük için ise 0.764 olmuştur. 7 günlük LR sonucunda alınan R^2 ise 0.575, 28 günlük ise 0.438 olmuştur.

Çizelge 5.1 : 1. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Bir. A. (gr/cm3)			Gevşek Bir. A. (gr/cm3)			Sıkı Bir. A. (gr/cm3)			L A	İncelik M. (%)	Yasslık İ. (%)	B. D. (Mpa)	
KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-2	7 gün	28 gün
2.74	2.72	2.75	1.68	0.41	0.28	2.67	2.68	2.74	1.47	1.36	1.34	1.63	1.67	1.64	21.7	6.79	10	32	43.2
2.68	2.73	2.72	1.24	0.78	0.42	2.65	2.71	2.7	1.28	1.29	1.41	1.49	1.53	1.77	19.7	6.59	9	30.3	42.4
2.75	2.73	2.71	0.95	0.48	0.36	2.68	2.69	2.74	1.47	1.47	1.45	1.62	1.74	1.82	18.2	6.81	14	27.2	36.4
2.64	2.67	2.68	2.15	0.92	1.56	2.61	2.78	2.75	1.75	1.48	1.43	1.83	1.75	1.81	26.3	6.2	11	26.8	37.1
2.71	2.73	2.71	1.09	0.32	0.19	2.69	2.73	2.69	1.69	1.39	1.46	1.79	1.71	1.77	15.6	6.72	13	30.5	42.5
2.77	2.71	2.71	1.65	0.82	0.25	2.68	2.69	2.75	1.32	1.36	1.51	1.52	1.61	1.81	18.3	6.79	16	31.1	41.9
2.69	2.68	2.7	1.32	0.53	0.26	2.65	2.68	2.72	1.57	1.41	1.36	1.72	1.63	1.69	24.5	7.08	14	30.3	40.1
2.66	2.68	2.74	0.92	0.88	0.37	2.66	2.72	2.7	1.63	1.49	1.39	1.75	1.76	1.71	22.3	6.28	12	29.2	38
2.61	2.71	2.67	1.62	0.52	0.27	2.63	2.75	2.73	1.64	1.47	1.36	1.76	1.81	1.88	22.5	6.42	9	30.1	37.6
2.72	2.74	2.69	1.44	0.59	0.19	2.67	2.68	2.7	1.39	1.43	1.25	1.55	1.69	1.52	29.1	6.44	17	31.3	42.7
2.61	2.71	2.65	2.01	0.28	0.66	2.62	2.63	2.74	1.66	1.35	1.36	1.74	1.56	1.66	16.2	6.82	16	29.9	38.4
2.67	2.79	2.71	1.15	1.03	0.65	2.68	2.66	2.69	1.72	1.45	1.42	1.81	1.72	1.81	25.3	7.02	14	28.6	40.6
2.59	2.65	2.68	0.84	0.45	0.32	2.59	2.72	2.7	1.27	1.27	1.32	1.48	1.47	1.66	17.6	7.89	12	32.1	38.6
2.68	2.68	2.74	2.31	0.39	0.28	2.61	2.84	2.71	1.35	1.25	1.39	1.54	1.49	1.72	21.8	6.79	17	28.3	38
2.72	2.72	2.71	1.24	0.83	0.42	2.69	2.68	2.72	1.64	1.51	1.42	1.75	1.83	1.93	29.5	7.15	16	30.3	40
2.66	2.66	2.73	1.56	0.89	0.61	2.65	2.72	2.73	1.42	1.36	1.59	1.59	1.67	1.73	26.5	6.76	10	28.4	37.4
2.68	2.68	2.71	1.51	0.28	0.28	2.68	2.68	2.7	1.55	1.29	1.56	1.71	1.53	1.76	23.1	6.22	13	26.3	37.4
2.74	2.67	2.74	1.31	0.53	0.53	2.69	2.66	2.74	1.59	1.28	1.29	1.72	1.48	1.59	24.3	6.33	11	26.5	38.4

Çizelge 5.2 : 1. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

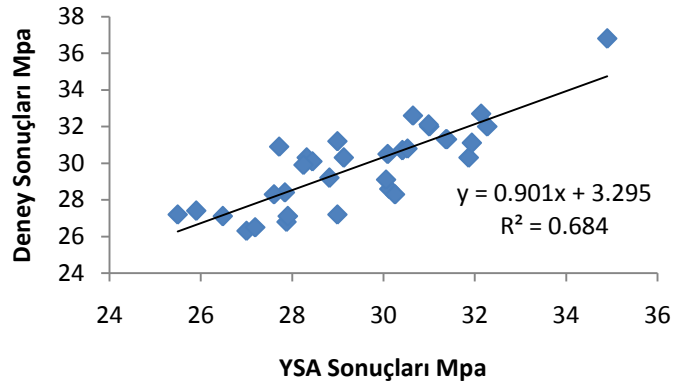
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Bir. A. (gr/cm3)			Gevşek Bir. A. (gr/cm3)			Sıkı Bir. A. (gr/cm3)			L A	İncelik M. (%)	Yasslık İ. (%)	B. D. (Mpa)	
KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-2	7 gün	28 gün
2.69	2.59	2.69	1.28	1.07	0.62	2.72	2.74	2.72	1.24	1.31	1.53	1.45	1.56	1.77	22.3	5.81	11	29.6	37.7
2.69	2.71	2.7	1.38	0.75	0.74	2.69	2.66	2.7	1.73	1.49	1.58	1.81	1.72	1.81	25.3	8.07	10	28	40.3
2.7	2.67	2.68	1.52	0.68	0.29	2.63	2.68	2.72	1.51	1.34	1.52	1.66	1.59	1.76	27.3	5.93	15	30	39
2.74	2.67	2.71	1.25	0.85	0.24	2.66	2.69	2.73	1.62	1.38	1.41	1.74	1.69	1.68	24.1	7.4	16	28.3	38.6
2.71	2.75	2.71	1.24	1.15	0.47	2.67	2.71	2.69	1.32	1.42	1.29	1.53	1.68	1.62	19.2	6.25	11	30.8	39.8
2.66	2.68	2.68	1.51	1.21	0.51	2.66	2.72	2.74	1.77	1.41	1.33	1.82	1.64	1.77	20.5	6.48	13	28.4	37.6
2.64	2.68	2.68	1.62	0.72	0.53	2.76	2.7	2.75	1.63	1.35	1.44	1.74	1.66	1.81	20	6.55	12	26.8	37.8
2.7	2.81	2.71	1.24	0.48	0.72	2.66	2.76	2.69	1.48	1.46	1.49	1.63	1.79	1.68	23.5	7.17	16	26.5	38.5

Çizelge 5.3 : 1. Bölge YSA ve Lineer Regresyon sonuçları.

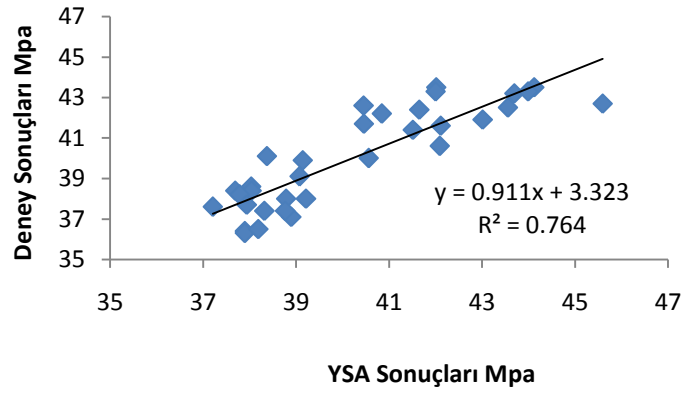
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
32	43.2	31.0023434	43.69273277	34.1942	41.22906892
30.3	42.4	31.8680637	41.65278579	29.4554	45.38885685
27.2	36.4	28.98734332	37.89776665	23.3166	30.4089334
26.8	37.1	27.87678898	38.8988777	26.305	29.9044892
30.5	42.5	30.09442448	43.55678635	30.0715	38.27285461
31.1	41.9	31.93145342	43.0167992	30.7829	37.4328032
30.3	40.1	28.31391336	38.37298262	31.9603	47.00806953
29.2	38	28.81615923	38.78280321	29.3352	34.86878716
30.1	37.6	28.44040596	37.20999423	32.8548	39.16002307
31.3	42.7	31.39006043	45.59652654	31.5131	31.11389385
29.9	38.4	28.24495348	37.68791158	31.8787	41.24835366
28.6	40.6	30.12317469	42.0912222	25.3421	34.6351112
32.1	38.6	30.98788877	38.0351986	32	40.8592056
28.3	38	30.25028444	39.21546239	28.927	33.13815042
30.3	40	29.1271477	40.55959648	30.4422	37.76161408
28.4	37.4	27.8403686	38.32110854	28.7118	33.71556586
26.3	37.4	26.99887887	38.76758727	24.2741	31.92965093
26.5	38.4	27.19136909	38.04513899	24.3834	39.81944402
27.4	39.1	25.898776	39.07424429	30	39.20302285
27.2	43.5	25.49287662	44.12406273	23.6537	41.00374908
36.8	42.6	34.89887777	40.45426199	43.7512	51.18295206
32.6	43.5	30.64381598	42.01544456	29	49.43822176
32	41.4	32.27490301	41.51493017	32.7534	40.94027934
31.3	43.3	31.36627573	43.98867666	30.2639	40.54529336
30.7	41.6	30.41266438	42.11065703	31.5488	39.55737189
27.1	36.3	27.90496421	37.89768544	24.4996	29.90925824
27.1	36.5	26.4810477	38.1900162	25.3758	29.73993521
31.2	41.7	28.9887776	40.45608272	25	46.67566912
30.9	42.2	27.712792	40.84435401	32.8754	47.62258395
30.8	39.9	30.52521725	39.14160174	32.127	42.93359306
29.1	38.2	30.05402393	37.78927796	28.3286	39.84288817
28.3	37.7	27.60551408	37.9417452	29.6966	36.73301922
32.7	43.3	32.13896859	41.9997234	25	48.5011064

Çizelge 5.4 : 1.Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

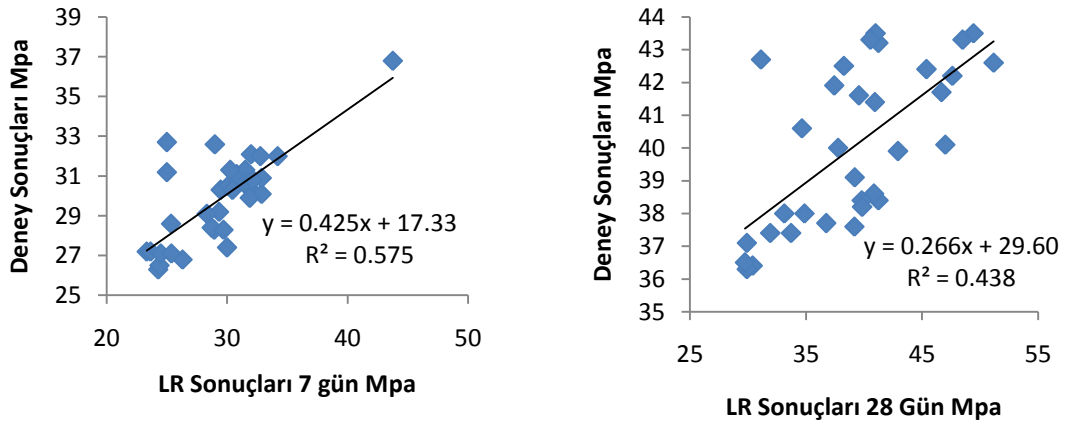
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
29.6	37.7	27.15925834	37.99766471
28	40.3	28.47011332	41.02707316
30	39	29.05160282	38.87238461
28.3	38.6	27.34977007	39.02499133
30.8	39.8	31.26402446	42.7064872
28.4	37.6	28.13002196	38.09280859
26.8	37.8	28.57638342	37.76807527
26.5	38.5	30.13540199	39.97258153



Şekil 5.2 : 1. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.3 : 1. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması.



Şekil 5.4 : 1. Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması.

2. Bölgeden elde edilen veriler 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin YSA sonuçları ve Lineer Regresyon sonuçları Çizelge 5.5'de verilmiştir. YSA ve LR (Lineer Regresyon) modellerindeki eğitim ve testlerde kullanılan değerler Çizelge

5.6 ve 5.7 yer almaktadır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları YSA'dan alınan sonuçlar ile deney sonuçlarını karşılaştırmalı olarak Sekil 5.5 ve 5.6 'de verilmiştir. Şekil 5.7'da da LR sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bunlara göre YSA' dan alınan sonuçlar deney sonuçlarına çok yakındır ve R^2 değeri 7 günlük için 0.870, 28 günlük için ise 0.706 olmuştur. LR sonucunda alınan R^2 ise 7 günlük 0.509 ve 28 günlük 0.521 olmuştur.

Çizelge 5.5 : 2. Bölge YSA ve LR sonuçları.

Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
28.4	39.1	28.55548267	40.09429435	33.2794	45.4275
26.4	43.1	26.98778723	42.0235703	31.4737	45.0836
36	42.7	34.91866213	43.52685214	33.7152	47.2227
32.9	44	31.82045326	43.26481825	32.6603	46.8927
32.4	41.8	30.89889877	41.23883468	32.2655	45.3175
32	43.8	31.17679948	43.79460691	34.0675	48.4163
31.1	41.8	32.0744991	41.20976604	32.2213	45.4097
27.2	36.3	27.58593524	37.99387071	26.4619	35.4545
27	36.6	27.90508071	38.07726352	26.2678	34.3133
31.1	42.1	31.61980634	40.89337083	27.7176	40.7222
31	42.1	30.32930831	41.36274608	32.6751	45.7796
31	39.9	30.17384231	39.40311558	27.4532	35.8968
28.9	38.7	28.8945513	39.85670182	31.569	35.7753
30.4	37.8	28.78665556	38.80557005	26.9765	33.007
31.9	43.2	32.11479269	41.59325023	32.1488	35.6956
30.1	38.5	29.7938525	37.76286	26.8321	34.9551
28.1	40.4	28.766778	40.50590112	27.3374	40.0579
30	38.9	30.44785733	38.41832117	32.4491	40.2522
28.8	38.4	28.92937041	38.71186556	27.5104	35.5031
30.6	40.5	31.00144021	40.42985459	31.977	40.7804
28.5	37.2	28.98787756	40.61931934	32.1896	40.6237
25.9	37.6	26.99887877	39.83626006	23.9767	40.1241
26.7	38.1	28.12232443	39.17897612	24.7855	40.096
27.6	39.5	28.98855434	39.17914012	27.6658	35.1138
26.5	43.4	28.3455455	41.28691389	25.0129	45.3515
35.4	43	32.4566565	41.80996869	36.0056	46.3187
32.8	43.8	31.62767187	41.66680998	33.0967	45.93
31.9	41.3	32.70724994	43.33550514	33.0495	47.5716

Çizelge 5.6 :2. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

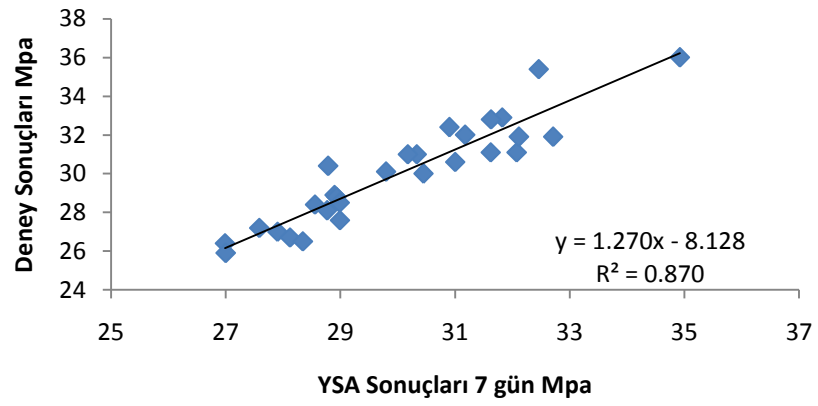
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yasslık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	KK- 1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K- 1	K- 2	7 gün	28 gün
2.73	2.79	2.72	1.18	0.42	0.61	2.68	2.73	2.71	1.41	1.24	1.56	1.64	1.48	1.66	15.3	5.79	16	13	28.4	39.1
2.71	2.75	2.7	1.52	0.66	0.72	2.59	2.7	2.7	1.82	1.35	1.54	1.89	1.56	1.82	18.9	6.51	17	14	26.4	43.1
2.68	2.78	2.73	1.28	0.63	0.86	2.69	2.69	2.72	1.42	1.26	1.49	1.61	1.51	1.86	23.8	6.79	15	13	36	42.7
2.67	2.72	2.74	1.63	0.67	0.38	2.63	2.71	2.74	1.40	1.36	1.58	1.54	1.68	1.83	21.2	7.17	16	14	32.9	44
2.69	2.73	2.72	1.26	0.61	0.74	2.73	2.7	2.7	1.80	1.49	1.59	1.82	1.76	1.81	18.2	6.78	14	13	32.4	41.8
2.72	2.83	2.69	1.51	0.82	0.29	2.71	2.68	2.72	1.59	1.41	1.47	1.68	1.63	1.79	14.6	6.37	11	9	32	43.8
2.71	2.71	2.66	1.52	0.91	0.22	2.7	2.67	2.73	1.43	1.42	1.43	1.55	1.68	1.74	18.3	6.16	13	11	31.1	41.8
2.71	2.65	2.71	1.26	0.94	0.32	2.69	2.69	2.73	1.59	1.41	1.48	1.68	1.72	1.82	26.3	8.39	15	12	27.2	36.3
2.72	2.66	2.73	1.35	1.02	0.91	2.59	2.71	2.74	1.51	1.32	1.28	1.64	1.57	1.69	29.5	7.12	16	13	27	36.6
2.69	2.73	2.68	1.24	0.01	0.63	2.56	2.69	2.69	1.53	1.35	1.51	1.68	1.58	1.88	26.4	5.8	12	11	31.1	42.1
2.71	2.75	2.71	1.28	0.59	0.59	2.69	2.66	2.7	1.59	1.41	1.53	1.75	1.68	1.91	27.5	5.95	15	13	31	42.1
2.71	2.69	2.72	1.63	0.87	0.63	2.74	2.73	2.72	1.53	1.35	1.46	1.68	1.69	1.79	13.5	6.22	21	17	31	39.9
2.7	2.68	2.65	1.24	0.42	0.68	2.68	2.72	2.7	1.54	1.37	1.57	1.69	1.64	1.95	18.2	6.15	15	13	28.9	38.7
2.78	2.56	2.72	1.19	1.26	0.34	2.68	2.74	2.69	1.55	1.4	1.63	1.71	1.62	1.75	14.6	6.21	9	9	30.4	37.8
2.72	2.59	2.71	1.24	0.86	0.88	2.72	2.68	2.72	1.64	1.45	1.52	1.81	1.72	1.61	19.2	6.83	14	8	31.9	43.2
2.71	2.68	2.71	1.31	0.89	0.29	2.59	2.71	2.7	1.42	1.29	1.29	1.55	1.59	1.72	18.5	6.92	15	12	30.1	38.5
2.71	2.73	2.68	1.55	0.18	0.18	2.82	2.7	2.74	1.31	1.34	1.34	1.42	1.59	1.55	17.2	7.15	18	15	28.1	40.4

Çizelge 5.7 : 2. Bölge YSA modelin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

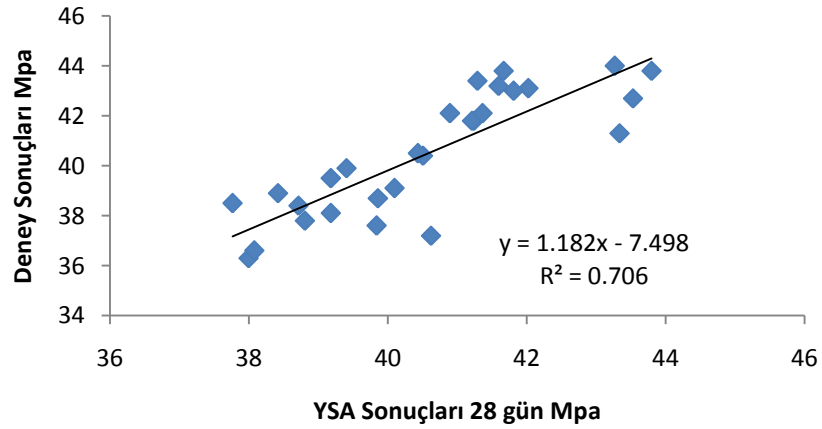
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.71	2.66	2.69	1.13	0.92	0.83	2.73	2.7	2.71	1.50	1.41	1.46	1.73	1.72	1.81	22.5	6.73	16	11	27.3	37.3
2.58	2.73	2.63	1.19	0.78	0.25	2.74	2.68	2.66	1.47	1.26	1.59	1.55	1.54	1.78	16.5	7.23	19	16	31.6	43.8
2.63	2.65	2.66	1.53	1.02	0.71	2.71	2.65	2.74	1.43	1.38	1.31	1.62	1.68	1.72	14.9	7.51	18	15	27.2	37.2
2.67	2.72	2.71	1.52	0.82	0.63	2.66	2.69	2.69	1.48	1.28	1.35	1.68	1.58	1.74	25.6	7.07	14	13	31.9	41.3
2.67	2.75	2.74	1.41	0.55	0.88	2.74	2.71	2.72	1.40	1.29	1.48	1.58	1.49	1.58	23.5	7.4	19	14	30.9	41
2.63	2.73	2.68	1.72	0.43	0.52	2.74	2.73	2.7	1.50	1.45	1.64	1.71	1.69	1.78	22.8	6.87	18	15	31.9	43.5
2.69	2.73	2.68	1.52	0.19	0.48	2.7	2.69	2.72	1.45	1.67	1.59	1.62	1.82	1.84	22.9	7.78	10	8	30.8	41.8
2.72	2.75	2.73	1.42	0.32	0.77	2.73	2.61	2.71	1.23	1.58	1.39	1.35	1.87	1.79	25.4	6.8	11	9	36.5	44.5

Çizelge 5.8 : 2. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

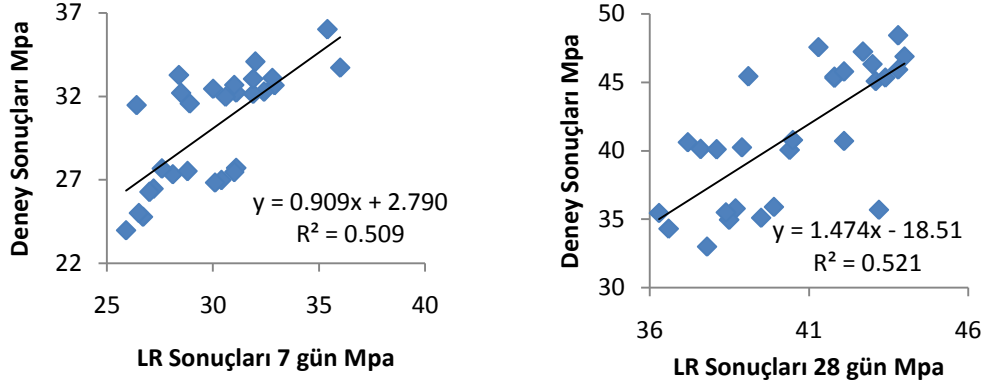
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
27.3	37.3	28.62749287	38.21621298
31.6	43.8	32.54891046	43.59405937
27.2	37.2	28.22400175	38.43377252
31.9	41.3	30.2973808	40.71172683
30.9	41	30.25989779	39.92336831
31.9	43.5	31.03883626	42.46646203
30.8	41.8	30.3735523	42.72019194
36.5	44.5	35.47777313	43.49499514



Şekil 5.5 : 2. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarını karşılaştırılması.



Şekil 5.6 : 2. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.7 : 2.Bölge 7 ve 28 günlük beton deney sonuçları ile LR sonuçlarının karşılaştırılması.

3. Bölgeden elde edilen deney sonuçları eğitim ve testlerde kullanılacak 7 ve 28 günlük basınç dayanımı Çizelge 5.10 ve 5.11’de verilmiştir. YSA ve LR (Lineer Regresyon) modellerindeki eğitim ve testlerden elde edilen değerler Çizelge 5.9 ve 5.12’de yer almaktadır.

3. Bölge için YSA modelinden elde edilen sonuçlarla deney sonuçları karşılaştırılmış aralarındaki ilişki Şekil 5.8 ve 5.9’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 28 günlük dayanım değeri R^2 0.699 oranında başarı ile tahmin edilmiştir.

LR denklemi ile elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları Şekil 5.10’da karşılaştırılmış ve aralarındaki çoklu belirleyicilik katsayısının 0.163 ve 0.771 olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.9: 3. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
28.1	42.7	30.93658282	41.84793133
32.6	43.7	32.71757744	41.01960828
32.7	43.9	31.96235128	42.13550179
32.1	43.7	30.43855827	42.27767716
31.9	44.3	33.2465566	42.66482321
31.1	42.6	31.51441686	40.98202071
32.7	44.5	33.31304288	43.71342826
33.3	44.2	33.39030459	43.23624803

Çizelge 5.10: 3. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

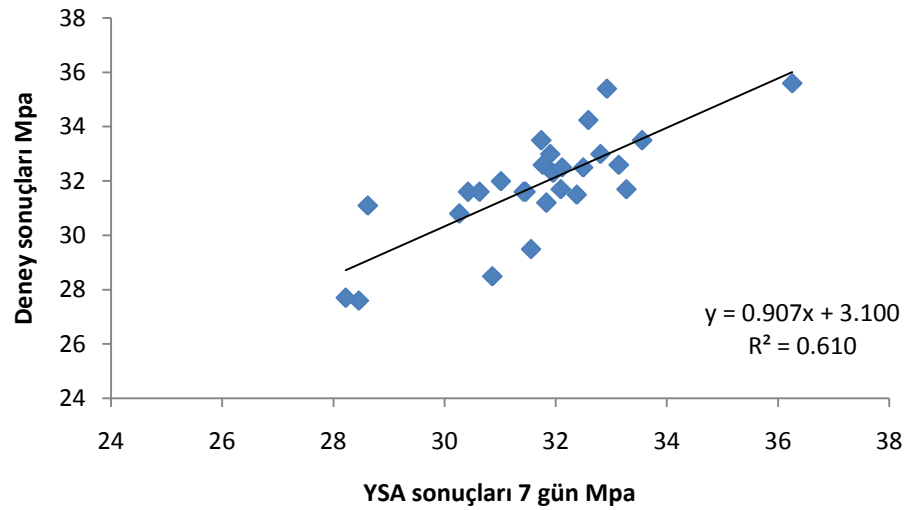
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.68	2.76	2.74	1.28	0.75	0.52	2.71	2.74	2.72	1.44	1.48	1.25	1.58	1.58	1.72	17.6	6.52	9	10	32.6	43.6
2.69	2.83	2.71	1.66	0.62	0.71	2.69	2.68	2.7	1.29	1.67	1.34	1.64	1.78	1.93	19.4	6.57	13	12	35.6	45
2.68	2.75	2.72	1.52	0.58	0.56	2.68	2.69	2.71	1.16	1.35	1.28	1.25	1.71	1.68	21.5	6.69	12	11	32.3	44.4
2.67	2.77	2.68	1.59	0.93	0.55	2.65	2.67	2.69	1.70	1.29	1.52	1.72	1.42	1.76	22.6	6.7	14	12	31.6	43.4
2.7	2.73	2.71	1.24	0.65	0.59	2.61	2.71	2.74	1.68	1.57	1.52	1.68	1.86	1.58	20.8	6.66	19	15	29.5	43.1
2.69	2.77	2.71	1.28	0.86	0.77	2.59	2.69	2.75	1.45	1.72	1.45	1.73	1.81	1.68	27.2	6.67	16	14	33.5	45.1
2.67	2.74	2.66	1.27	0.52	0.42	2.69	2.71	2.7	1.57	1.54	1.61	1.72	1.82	1.72	22.6	6.97	12	11	32.5	43.8
2.68	2.74	2.68	1.62	0.89	0.39	2.64	2.71	2.69	1.28	1.36	1.41	1.53	1.69	1.83	19.5	6.79	11	10	32	43
2.62	2.71	2.68	1.25	0.96	0.89	2.65	2.76	2.72	1.79	1.62	1.52	1.81	1.89	1.69	24.1	6.8	20	16	31.6	43.9
2.72	2.72	2.71	1.44	0.26	0.27	2.65	2.59	2.7	1.65	1.53	1.48	1.72	1.84	1.91	28.5	6.74	18	14	30.8	42.4
2.7	2.73	2.69	1.52	0.99	0.63	2.7	2.6	2.71	1.72	1.46	1.47	1.84	1.84	1.78	21.3	6.64	12	11	32.6	44.3
2.61	2.73	2.68	1.29	0.82	0.29	2.73	2.69	2.69	1.27	1.48	1.58	1.56	1.74	1.77	25.6	6.79	14	11	33	43.6
2.71	2.69	2.71	1.31	0.53	0.29	2.76	2.66	2.71	1.59	1.59	1.52	1.68	1.89	1.78	18.2	7.59	19	15	33.5	42
2.67	2.7	2.71	1.52	0.44	0.39	2.69	2.68	2.73	1.50	1.55	1.43	1.62	1.86	1.82	17.9	6.65	15	13	28.5	39.9
2.74	2.72	2.75	1.41	0.8	1.05	2.84	2.69	2.75	1.62	1.65	1.55	1.71	1.79	1.72	21.6	6.72	10	9	32.5	42.9
2.71	2.68	2.71	1.58	0.58	0.43	2.69	2.67	2.73	1.61	1.59	1.38	1.72	1.84	1.78	23.8	6.89	18	14	27.6	37.7
2.69	2.75	2.68	1.26	0.55	0.29	2.64	2.66	2.7	1.52	1.35	1.56	1.53	1.82	1.68	20.5	6.34	16	11	31.5	43.6
2.68	2.66	2.71	1.53	0.92	0.86	2.77	2.69	2.7	1.59	1.58	1.42	1.61	1.87	1.74	19.1	6.2	12	12	27.7	36.9

Çizelge 5.11: 3. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

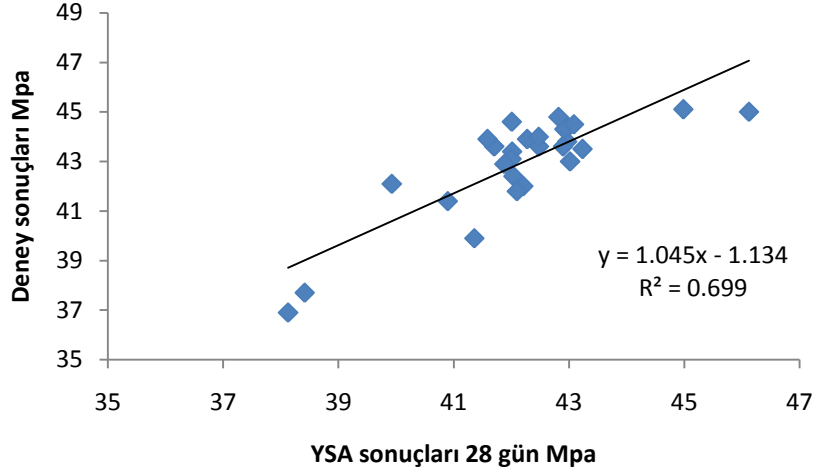
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Betón Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.66	2.72	2.68	1.51	0.8	0.35	2.72	2.72	2.72	1.68	1.64	1.62	1.89	1.85	1.75	21.9	7.04	18	13	28.1	42.7
2.63	2.76	2.67	1.44	0.73	0.63	2.74	2.74	2.7	1.61	1.41	1.46	1.77	1.78	1.64	17.3	7.23	16	12	32.6	43.7
2.67	2.72	2.66	1.24	0.3	0.45	2.49	2.51	2.68	1.63	1.38	1.38	1.81	1.84	1.77	20.1	7.31	13	10	32.7	43.9
2.69	2.7	2.69	1.18	0.35	0.29	2.69	2.7	2.72	1.52	1.59	1.52	1.66	1.84	1.75	23.6	6.75	13	9	32.1	43.7
2.7	2.69	2.71	1.34	0.36	0.82	2.65	2.69	2.72	1.44	1.52	1.36	1.59	1.72	1.69	19.9	6.67	21	16	31.9	44.3
2.67	2.59	2.73	1.26	1.05	0.66	2.75	2.68	2.74	1.58	1.35	1.52	1.69	1.59	1.68	13.9	7.78	13	11	31.1	42.6
2.74	2.77	2.72	1.28	0.71	0.33	2.74	2.71	2.71	1.50	1.58	1.56	1.75	1.81	1.72	18.2	7.13	15	13	32.7	44.5
2.67	2.76	2.68	1.43	0.73	0.53	2.78	2.69	2.69	1.45	1.66	1.32	1.81	1.88	1.63	23.5	6.47	18	14	33.3	44.2

Çizelge 5.12: 3. Bölge YSA ve LR sonuçları.

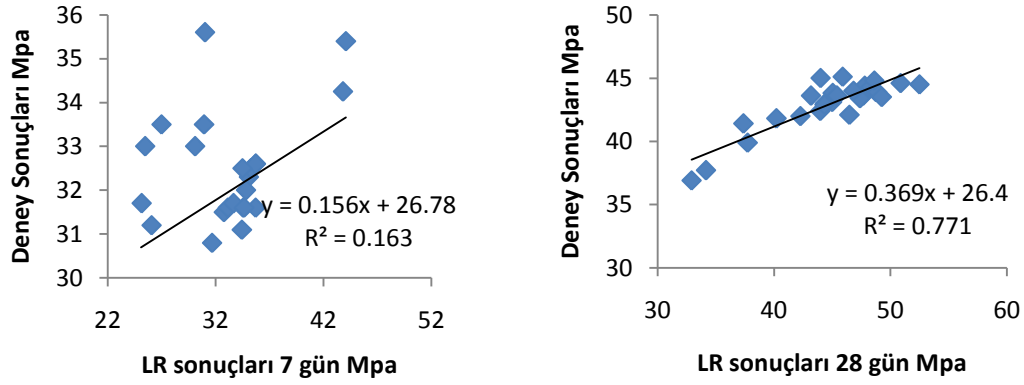
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
32.6	43.6	31.77	41.70530786	35.7354	47.6468
35.6	45	36.26	46.12393827	31.02	43.9854
32.3	44.4	31.95	42.98871432	35.0826	47.7904
31.6	43.4	30.42	42.01234392	34.5486	47.3816
29.5	43.1	31.56	42.0045899	27.9712	44.9842
33.5	45.1	33.56	44.9856013	30.94	45.8794
32.5	43.8	32.5	42.96619183	35.2518	45.0496
32	43	31.01	43.0199932	34.8148	44.3698
31.6	43.9	31.46	41.58574739	35.7	48.7468
30.8	42.4	30.27	42.0345478	31.6726	43.9548
32.6	44.3	33.14	42.916765	35.7	48.3162
33	43.6	32.81	42.89665596	25.46	43.1616
33.5	42	31.74	42.20720961	26.98	42.2578
28.5	39.9	30.86	41.3567095	25.0896	37.7322
32.5	42.9	32.11	41.88172629	34.477	44.3216
27.6	37.7	28.46	38.41301836	35.888	34.1522
31.5	43.6	32.38	42.47816878	32.779	45.4018
27.7	36.9	28.22	38.12734075	25.57	32.8992
31.6	41.8	30.63	42.098882	33.109	40.206
31.2	41.4	31.84	40.89712322	26.06	37.3742
31.7	43.9	33.27	42.27593997	33.6482	48.8474
31.1	42.1	28.62	39.92806585	34.4412	46.4734
34.25	44.5	32.59	43.08663549	43.7988	52.4936
33	44	31.9	42.47540325	30.1	46.8314
35.4	44.8	32.92	42.82000614	44.0818	48.6098
31.7	44.6	32.1	42.00809179	25.14	50.8602
31.6	43.5	31.43	43.2343329	34.6432	49.2532



Şekil 5.8: 3. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.9 : 3. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 10 : 3.Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile LR sonuçlarının karşılaştırılması.

Çizelge 5.13 ve 5.14’de 4. Bölge için YSA modelde kullanılan deney sonuçları ve modeli test için kullanılacak deney sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.15 ve 5.16 ‘da ise deney sonuçları ile YSA tahmin sonuçları ve LR sonuçları verilmiştir. 4. Bölge için YSA sonuçları Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. YSA’ dan alınan sonuçlar deney sonuçlarına çok yakın olmakla beraber ve R^2 değeri 7 günlük için 0.715, 28 günlük için ise 0.634 olmuştur. LR sonucunda alınan R^2 ise 0.899 ve 0.718 olmuştur.

Çizelge 5.13 : 4. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.63	2.68	2.69	1.29	0.42	0.45	2.71	2.69	2.7	1.38	1.31	1.35	1.51	1.72	1.81	21.8	6.54	19	16	33.2	42.7
2.71	2.76	2.75	1.51	0.43	0.61	2.64	2.71	2.74	1.69	1.56	1.39	1.84	1.82	1.83	18.9	7.16	16	14	29.8	39.9
2.64	2.71	2.74	1.22	0.82	0.43	2.65	2.73	2.75	1.49	1.56	1.53	1.62	1.78	1.82	19.6	6.65	14	12	32.6	43.1
2.69	2.68	2.73	1.35	0.58	0.41	2.73	2.69	2.77	1.51	1.63	1.25	1.72	1.88	1.71	15.2	6.64	13	11	28.2	37.3
2.72	2.73	2.68	1.25	0.78	0.82	2.59	2.68	2.73	1.67	1.24	1.36	1.86	1.49	1.52	16.9	7.46	15	12	32.1	43.6
2.68	2.69	2.71	1.53	0.36	0.26	2.65	2.65	2.7	1.61	1.32	1.41	1.77	1.57	1.69	21.7	6.69	18	14	27.9	37.1
2.68	2.72	2.67	1.43	0.3	0.43	2.64	2.68	2.69	1.58	1.65	1.35	1.76	1.88	1.75	19.2	6.54	16	14	32	41.9
2.74	2.73	2.73	1.52	0.28	0.57	2.71	2.64	2.72	1.62	1.28	1.49	1.73	1.61	1.83	23.3	7.81	12	11	31.3	41.2
2.71	2.77	2.71	1.68	0.93	0.39	2.71	2.69	2.65	1.47	1.64	1.52	1.66	1.81	1.69	26.5	7.05	19	15	31.2	44
2.67	2.71	2.65	1.29	0.83	0.49	2.73	2.68	2.69	1.67	1.53	1.44	1.81	1.88	1.84	23.9	7.73	12	10	31.2	42.4
2.71	2.73	2.7	1.55	0.78	0.13	2.71	2.67	2.74	1.53	1.46	1.53	1.64	1.75	1.72	15.6	7.1	14	12	35.8	44.3
2.73	2.76	2.68	1.62	0.73	0.71	2.71	2.71	2.7	1.54	1.55	1.56	1.66	1.81	1.69	16.2	6.77	15	13	33.1	43.9
2.68	2.68	2.68	1.37	0.58	0.62	2.73	2.73	2.72	1.41	1.59	1.59	1.72	1.84	1.67	17.8	6.98	13	10	34.8	45
2.72	2.66	2.71	1.28	0.92	0.53	2.54	2.74	2.71	1.50	1.52	1.58	1.71	1.81	1.68	22.1	6.49	14	13	32	44
2.71	2.58	2.75	1.41	1.07	0.37	2.38	2.69	2.73	1.58	1.35	1.41	1.77	1.71	1.75	20.5	7.28	11	9	31.5	43.3
2.64	2.71	2.68	1.34	0.82	0.51	2.53	2.74	2.7	1.54	1.62	1.59	1.68	1.88	1.84	22.1	7.32	18	12	28	42.9
2.61	2.73	2.72	1.47	0.78	0.35	2.36	2.75	2.73	1.45	1.62	1.54	1.78	1.84	1.75	22.9	7.43	13	11	32.8	43.9
2.62	2.67	2.65	1.52	0.4	0.63	2.66	2.73	2.68	1.51	1.55	1.58	1.72	1.81	1.76	21.3	6.95	15	13	32.4	43.9

Çizelge 5.14 : 4. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

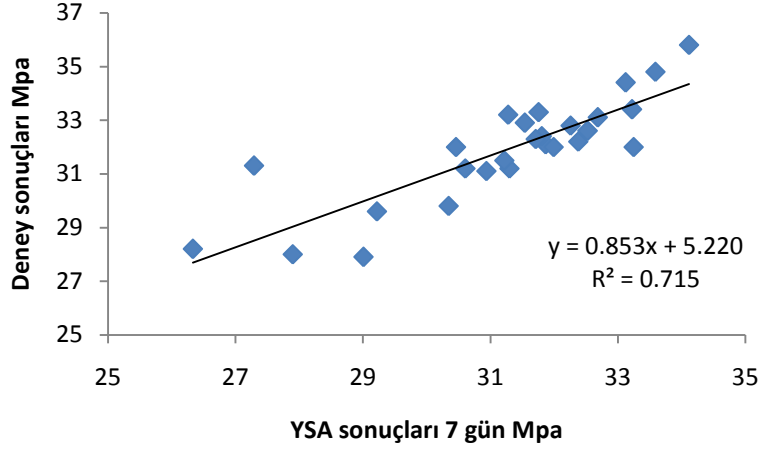
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yasslık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.68	2.69	2.68	1.23	0.82	0.51	2.71	2.69	2.7	1.52	1.48	1.33	1.73	1.68	1.76	21.9	6.82	13	10	32.2	43.38
2.68	2.76	2.69	1.62	0.73	0.39	2.69	2.66	2.73	1.57	1.31	1.45	1.81	1.71	1.68	26.5	6.89	16	13	31.1	46.65
2.7	2.74	2.71	1.51	0.95	0.88	2.78	2.68	2.74	1.69	1.53	1.51	1.88	1.59	1.78	28.3	6.91	16	8	33.9	45.34
2.67	2.73	2.72	1.29	0.62	0.29	2.69	2.71	2.71	1.55	1.36	1.49	1.68	1.65	1.69	24.1	6.83	13	16	28.89	45.6
2.68	2.79	2.73	1.52	0.89	0.63	2.73	2.69	2.72	1.50	1.38	1.52	1.69	1.51	1.83	22.1	6.86	9	17	34.5	50.4
2.7	2.78	2.68	1.53	0.69	0.28	2.68	2.64	2.68	1.38	1.54	1.41	1.55	1.85	1.77	21.5	7.16	18	15	29.2	45.79
2.69	2.69	2.72	1.44	0.83	0.36	2.66	2.71	2.71	1.61	1.68	1.49	1.72	1.78	1.69	15.8	6.91	13	11	29.02	38.64
2.71	2.81	2.73	1.73	1.03	0.26	2.66	2.72	2.72	1.50	1.58	1.51	1.64	1.87	1.62	19.2	7.05	14	10	31.75	48.15

Çizelge 5.15: 4. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

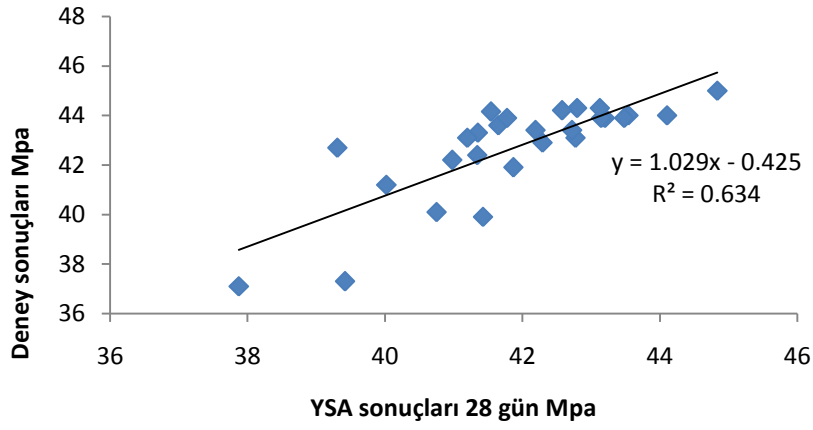
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
32.2	43.38	32.93305136	41.7457725
31.1	46.65	32.45267344	42.46846172
33.9	45.34	33.0443842	42.45393792
28.89	45.6	30.04571088	42.98645508
34.5	50.4	33.58571219	45.40504513
29.2	45.79	30.50202773	45.64196563
29.02	38.64	29.93553372	39.91865318
31.75	48.15	32.12247384	46.50944962

Çizelge 5.16: 4. Bölge YSA ve LR sonuçları.

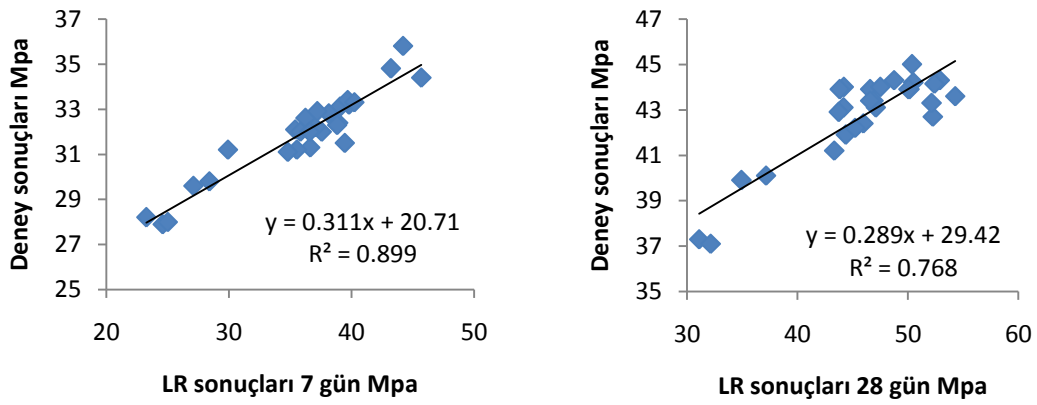
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
33.2	42.7	31.27644719	39.30617964	39.8	52.2577
29.8	39.9	30.34315664	41.42709187	28.4047	34.9335
32.6	43.1	32.5231293	42.77205996	36.2279	44.1515
28.2	37.3	26.32922626	39.41725988	23.2611	31.0897
32.1	43.6	31.86279714	41.64923362	35.4	54.2809
27.9	37.1	29.00500743	37.87408836	24.5949	32.1539
32	41.9	30.45890471	41.86888028	37.5608	44.3624
31.3	41.2	27.28670497	40.02089469	36.625	43.3381
31.2	44	30.60506674	44.1042275	29.9196	44.1983
31.2	42.4	31.29549116	41.34078174	35.5413	45.9688
35.8	44.3	34.11485735	42.79682575	44.2	48.7499
33.1	43.9	32.68349295	43.20203398	39.0628	46.5727
34.8	45	33.58724166	44.83850981	43.2	50.3589
32	44	33.24347208	43.54279541	35.8094	47.4854
31.5	43.3	31.21611082	41.35191952	39.4392	52.1437
28	42.9	27.89486152	42.29086889	25	43.728
32.8	43.9	32.2560322	43.47998391	38.1574	43.8073
32.4	43.9	31.80273119	43.14598409	38.9082	50.1466
32.2	43.4	32.37564461	42.72402046	37.0534	46.8857
32	44.2	31.99043443	42.57537556	36.5723	50.4889
31.1	42.2	30.9347614	40.97903656	34.7969	45.2156



Şekil 5.11 : 4. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.12 : 4. Bölge 28 günlük deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 13 : 4.Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması

5. Bölge YSA modelinin eğitiminde kullanılan deney sonuçları Çizelge 5.19 da, test için kullanılan deney sonuçları ise Çizelge 5.20’ de verilmiştir. YSA modelinden elde edilen basınç dayanımı değerleri ile LR denkleminde elde edilen veriler ise Çizelge 5.17 ve 5.18’da verilmiştir. Sonuçlar Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16’ da YSA çıktıları ile deney sonuçları arasındaki ilişki incelenmiş ve 28 günlük basınç için R^2 değeri 0.926 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.17 : 5. Bölge YSA ve LR sonuçları.

Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
33.22	44.26	32.12725789	42.9363137	36	42.0289
26.77	38.68	28.26225714	39.69422591	23	36.4405
36.25	43.36	35.27807213	42.73748118	35.115	37.9167
35.23	52.2	35.08225829	47.48414092	37.0095	50.6997
36.35	43.24	34.49804368	41.44805031	37	37.1263
27.96	42.6	31.05077833	40.73274924	25.5514	36.5178
25.55	36.66	27.30355324	38.94977761	22	35.6329
30.22	47.22	27.34044116	45.41257893	35.7458	48.2434
30.82	47.78	28.98598356	44.57943099	36.2002	43.8375
29.28	46.25	29.54870803	43.92838776	35.3236	43.6781
26.2	37.59	24.67426176	39.79234982	25.142	36.223
29.58	37.08	29.08801988	38.60778493	25.2295	36.1972
32.18	47.37	32.01457842	45.12464464	35.322	48.1497

Çizelge 5.18 : 5. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

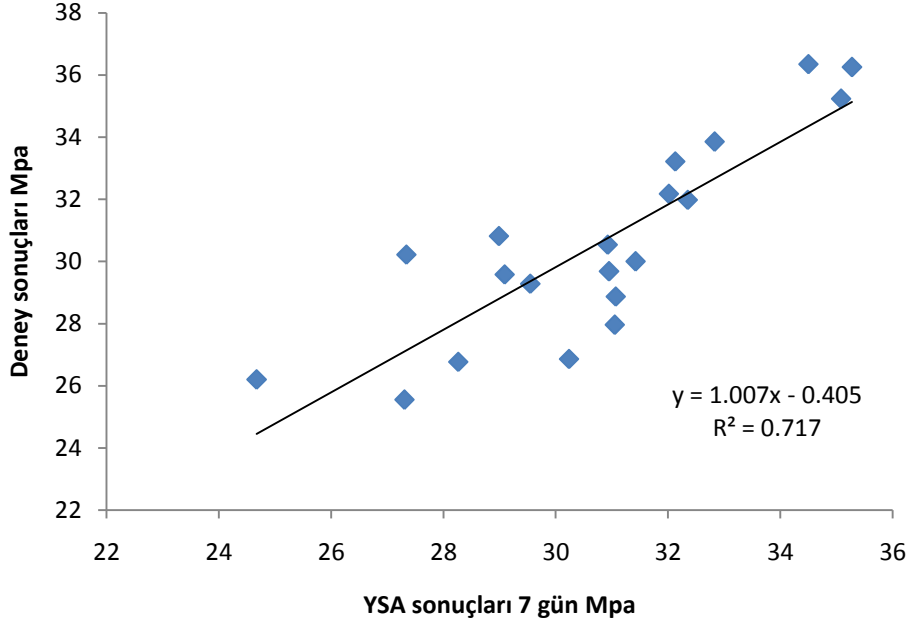
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
30.63	37.84	29.01738972	37.85534069
34.5	43.48	33.21113939	42.25822824
31.5	44.05	32.50756688	43.71097482
33.4	45.3	33.15053637	44.84212314
34.5	44.05	32.58852649	43.23331374
28.05	43	27.13388517	44.09431926
29.3	42.56	30.60873879	43.87468628
28.77	44.91	31.45664482	42.66651345

Çizelge 5.19 : 5. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

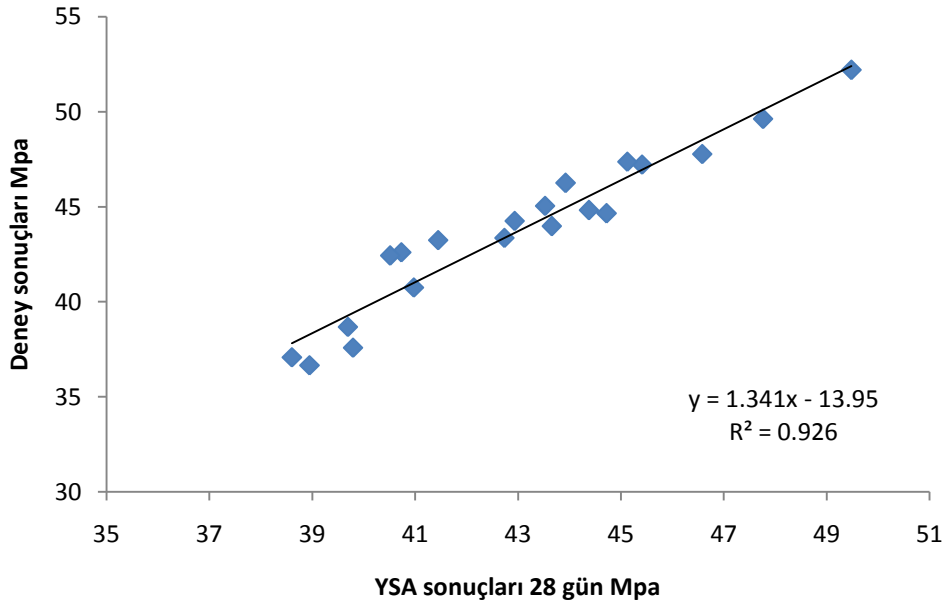
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yasslık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.71	2.73	2.68	1.32	0.79	0.41	2.71	2.75	2.7	1.55	1.53	1.42	1.64	1.85	1.84	16.2	6.92	16	14	33.22	44.26
2.74	2.69	2.77	1.67	0.6	0.69	2.69	2.71	2.74	1.63	1.69	1.44	1.81	1.88	1.65	19.2	6.82	19	15	26.77	38.68
2.59	2.76	2.73	1.59	0.23	0.93	2.83	2.69	2.71	1.52	1.48	1.52	1.68	1.69	1.68	19.6	6.97	21	9	36.25	43.36
2.73	2.81	2.74	1.38	0.43	0.52	2.63	2.67	2.72	1.48	1.61	1.65	1.64	1.86	1.88	17.6	7.26	15	13	35.23	52.2
2.58	2.73	2.72	1.52	0.28	0.92	2.72	2.66	2.71	1.55	1.61	1.39	1.71	1.75	1.83	18.2	6.79	12	10	36.35	43.24
2.61	2.71	2.71	1.53	0.52	0.43	2.65	2.73	2.71	1.37	1.35	1.28	1.48	1.73	1.82	23.6	6.95	14	11	27.96	42.6
2.68	2.64	2.72	1.24	0.46	0.66	2.76	2.7	2.77	1.48	1.62	1.44	1.68	1.91	1.56	25.3	6.55	16	12	25.55	36.66
2.71	2.75	2.71	1.44	0.42	0.34	2.65	2.69	2.71	1.37	1.45	1.58	1.48	1.75	1.66	19.3	6.59	16	13	30.22	47.22
2.68	2.76	2.68	1.36	0.73	0.58	2.68	2.69	2.68	1.45	1.52	1.43	1.59	1.81	1.49	21.3	6.4	12	9	30.82	47.78
2.79	2.75	2.69	1.46	0.46	0.28	2.68	2.69	2.74	1.41	1.41	1.62	1.48	1.67	1.83	17.8	7.57	9	8	29.28	46.25
2.68	2.67	2.67	1.33	0.88	0.55	2.65	2.72	2.73	1.61	1.76	1.44	1.78	1.78	1.68	18.6	6.5	11	11	26.2	37.59
2.67	2.68	2.68	1.64	0.56	0.73	2.73	2.7	2.72	1.35	1.45	1.49	1.39	1.74	1.89	20.5	7.27	14	12	29.58	37.08
2.64	2.76	2.65	1.47	0.73	0.63	2.64	2.73	2.7	1.44	1.48	1.63	1.55	1.71	1.73	18.9	6.64	14	12	32.18	47.37
2.61	2.74	2.64	1.52	0.46	0.51	2.59	2.74	2.68	1.54	1.62	1.45	1.69	1.87	1.64	21.8	6.75	18	15	33.85	49.62
2.59	2.71	2.66	1.53	1.09	0.75	2.74	2.69	2.69	1.58	1.46	1.62	1.72	1.71	1.68	23.5	6.79	16	13	26.86	40.75
2.72	2.74	2.72	1.25	0.32	0.39	2.69	2.69	2.72	1.55	1.65	1.59	1.69	1.88	1.72	20.4	7.12	11	11	29.68	43.98
2.71	2.73	2.71	1.33	0.73	0.31	2.68	2.73	2.73	1.49	1.62	1.58	1.68	1.88	1.82	17.8	6.36	9	8	30	44.82
2.66	2.74	2.69	1.43	0.76	0.61	2.63	2.71	2.72	1.49	1.62	1.58	1.68	1.85	1.69	16.2	6.68	18	14	31.98	44.65
2.71	2.72	2.71	1.53	0.51	0.42	2.68	2.72	2.69	1.67	1.57	1.53	1.72	1.83	1.78	22.5	6.79	16	12	30.54	42.43

Çizelge 5.20 : 5. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

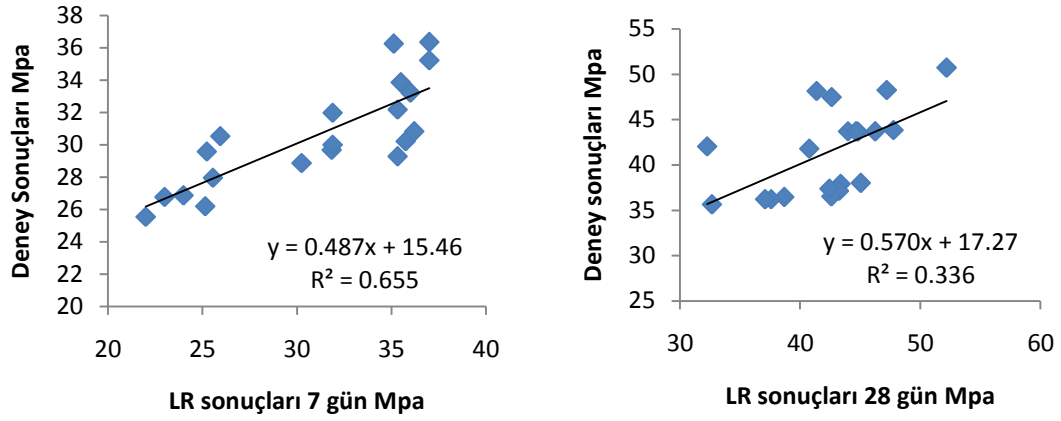
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yasslık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.73	2.68	2.68	1.56	0.38	0.61	2.7	2.71	2.7	1.55	1.42	1.44	1.67	1.66	1.86	21.6	6.82	18	14	30.63	37.84
2.66	2.76	2.71	1.48	0.42	0.39	2.68	2.67	2.68	1.44	1.46	1.44	1.61	1.75	1.76	22.6	6.61	13	12	34.5	43.48
2.69	2.75	2.7	1.53	0.46	0.43	2.63	2.68	2.71	1.47	1.61	1.51	1.65	1.87	1.69	23.5	6.5	9	9	31.5	44.05
2.75	2.74	2.74	1.52	0.76	0.58	2.68	2.71	2.73	1.45	1.52	1.55	1.49	1.88	1.76	17.8	7.25	10	10	33.4	45.3
2.68	2.73	2.68	1.48	0.78	0.32	2.69	2.69	2.7	1.40	1.51	1.53	1.44	1.78	1.81	14.2	6.97	14	11	34.5	44.05
2.69	2.76	2.69	1.42	0.73	0.48	2.65	2.7	2.71	1.55	1.62	1.61	1.69	1.88	1.82	18.2	6.32	18	16	28.05	43
2.62	2.79	2.69	1.62	0.68	0.65	2.64	2.69	2.71	1.67	1.67	1.45	1.77	1.71	1.85	26.5	6.38	15	13	29.3	42.56
2.71	2.73	2.71	1.53	0.72	0.76	2.77	2.72	2.72	1.42	1.42	1.64	1.62	1.53	1.79	25.8	6.51	14	12	28.77	44.91



Şekil 5.14 : 5. Bölge 7 günlük deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.15: 5. Bölge 28 günlük deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 16 : 5.Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nın karşılaştırılması

6. Bölgeden elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.22 ve test için kullanılan deney sonuçları Çizelge 5.23'de verilmiştir. Geliştirilen YSA modelinden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımları değerleri ile LR denkleminde elde edilen sonuçlar ise Çizelge 5.21 ve 5.24 ' verilmiştir. YSA'dan alınan 7 ve 28 günlük basınç dayanımları sonuçları ile deney sonuçlarını Şekil 5.17 ve 5.18 'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 5.19'de de LR sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi YSA' dan alınan sonuçlar deney sonuçlarına çok yakındır ve R^2 değeri 7 günlük için 0.876, 28 günlük için ise 0.768 olmuştur. LR sonucunda alınan R^2 ise 0.632 ve 0. 387 olmuştur.

Çizelge 5.21 : 6. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
29.55	41.66	30.32534188	40.44377208
28.97	40.16	28.41902094	40.24141703
26.78	38.26	30.46139296	39.61298898
24.69	37.55	24.94563912	39.20023713
34.35	40.41	30.91098097	41.00900639
27.53	39.74	30.32522443	42.05144902
34.1	44.99	34.72715181	46.31216652

Çizelge 5.22 : 6. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

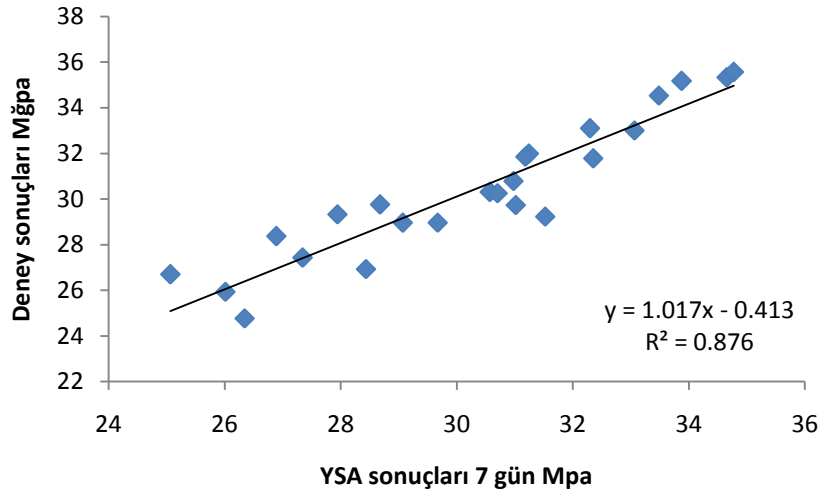
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.72	2.7	2.68	1.32	0.29	0.43	2.65	2.76	2.72	1.53	1.61	1.45	1.73	1.67	1.69	21.7	6.55	15	14	30.3	40.22
2.64	2.77	2.67	1.56	0.46	0.33	2.38	2.69	2.7	1.45	1.44	1.53	1.71	1.88	1.72	19.8	6.5	18	15	31.99	47.67
2.61	2.73	2.71	1.19	0.28	0.44	2.64	2.74	2.72	1.58	1.51	1.35	1.74	1.62	1.78	18.7	6.81	20	16	35.32	43.74
2.71	2.68	2.66	1.24	0.38	0.68	2.69	2.71	2.69	1.58	1.31	1.33	1.66	1.78	1.91	21.3	6.89	13	11	25.93	37.46
2.61	2.79	2.69	1.41	0.19	0.36	2.65	2.69	2.71	1.61	1.36	1.58	1.71	1.73	1.78	23.4	7.11	9	9	28.36	43.51
2.68	2.76	2.65	1.28	0.23	0.49	2.69	2.68	2.69	1.69	1.56	1.54	1.84	1.57	1.88	19.7	6.64	9	8	34.53	44
2.74	2.73	2.71	1.43	0.78	0.73	2.71	2.69	2.72	1.50	1.56	1.57	1.65	1.83	1.69	21.8	6.6	14	12	35.56	42.76
2.72	2.72	2.73	1.44	0.82	0.49	2.59	2.69	2.73	1.48	1.58	1.39	1.59	1.88	1.81	18.3	6.75	17	14	27.42	42.72
2.6	2.68	2.68	1.52	0.88	0.88	2.81	2.7	2.7	1.42	1.38	1.33	1.48	1.45	1.74	19.1	7.15	18	15	24.76	37.24
2.6	2.56	2.69	1.18	1.26	0.39	2.73	2.69	2.69	1.40	1.35	1.51	1.51	1.59	1.66	15.3	7.18	14	12	31.85	45.2
2.7	2.59	2.74	1.62	1.05	0.52	2.72	2.72	2.72	1.48	1.52	1.59	1.68	1.58	1.69	22.5	7.29	17	14	31.77	46.76
2.69	2.76	2.74	1.66	0.95	0.61	2.71	2.71	2.74	1.57	1.69	1.46	1.72	1.72	1.62	15.9	6.88	11	11	30.78	42.6
2.67	2.65	2.71	1.73	0.98	0.76	2.75	2.73	2.72	1.38	1.46	1.59	1.55	1.55	1.75	14.6	6.89	9	9	26.92	36.89
2.66	2.7	2.72	1.52	0.38	0.83	2.68	2.72	2.7	1.45	1.61	1.52	1.63	1.88	1.75	18.3	6.96	18	14	29.75	39.68
2.71	2.76	2.71	1.49	1.06	0.45	2.65	2.69	2.73	1.51	1.51	1.42	1.59	1.75	1.59	20.6	6.9	17	13	33.09	44.1
2.7	2.75	2.7	1.39	0.61	0.92	2.71	2.71	2.72	1.57	1.66	1.49	1.73	1.89	1.69	17.6	6.78	16	12	33	42.6
2.67	2.71	2.72	1.34	0.88	0.44	2.68	2.71	2.68	1.42	1.54	1.44	1.51	1.82	1.74	18.6	6.71	14	11	26.69	39.75
2.66	2.68	2.68	1.62	0.92	0.61	2.65	2.7	2.67	1.63	1.62	1.55	1.69	1.87	1.79	25.4	7.15	19	14	28.95	41.67

Çizelge 5.23 : 6. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

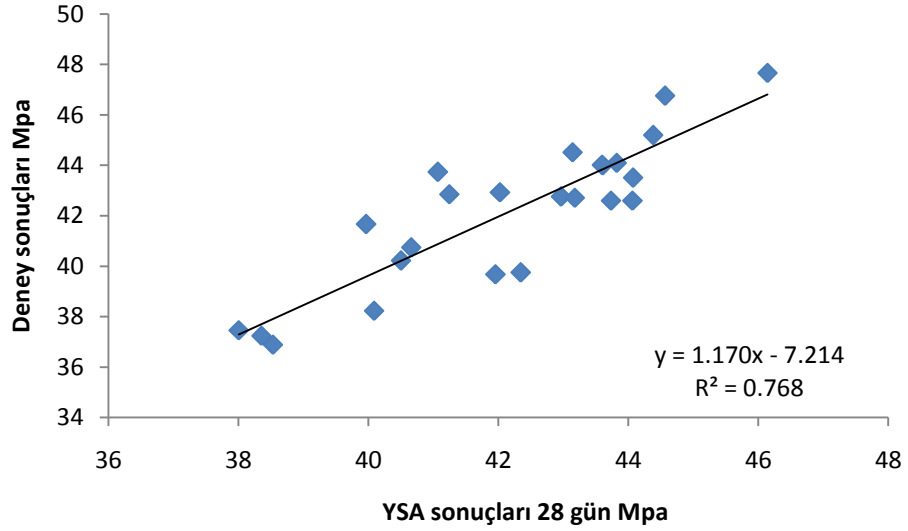
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.67	2.72	2.65	1.55	0.79	0.51	2.72	2.73	2.69	1.49	1.44	1.39	1.59	1.59	1.76	19.3	6.64	15	13	29.55	41.66
2.71	2.71	2.69	1.39	0.72	0.28	2.65	2.74	2.67	1.62	1.54	1.49	1.82	1.82	1.88	16.5	6.6	12	10	28.97	40.16
2.64	2.68	2.68	1.35	0.89	0.44	2.69	2.72	2.69	1.54	1.52	1.39	1.69	1.76	1.74	19.6	6.66	14	13	26.78	38.26
2.65	2.67	2.69	1.36	0.91	0.49	2.66	2.71	2.75	1.37	1.53	1.33	1.45	1.81	1.62	25.8	6.64	13	11	24.69	37.55
2.68	2.73	2.71	1.52	0.68	0.52	2.68	2.69	2.72	1.37	1.35	1.51	1.42	1.48	1.76	18.3	6.65	17	13	34.35	40.41
2.67	2.68	2.72	1.55	0.19	0.64	2.65	2.69	2.73	1.37	1.53	1.53	1.47	1.82	1.82	20.4	6.8	16	14	27.53	39.74
2.64	2.84	2.68	1.54	0.18	0.24	2.69	2.68	2.69	1.48	1.52	1.61	1.67	1.75	1.77	20.9	7.21	15	12	34.1	44.99
2.65	2.72	2.65	1.35	0.29	0.19	2.7	2.7	2.69	1.57	1.57	1.52	1.73	1.82	1.76	17.4	6.68	13	11	33.96	43.24

Çizelge 5.24 : 6. Bölge YSA ve LR sonuçları.

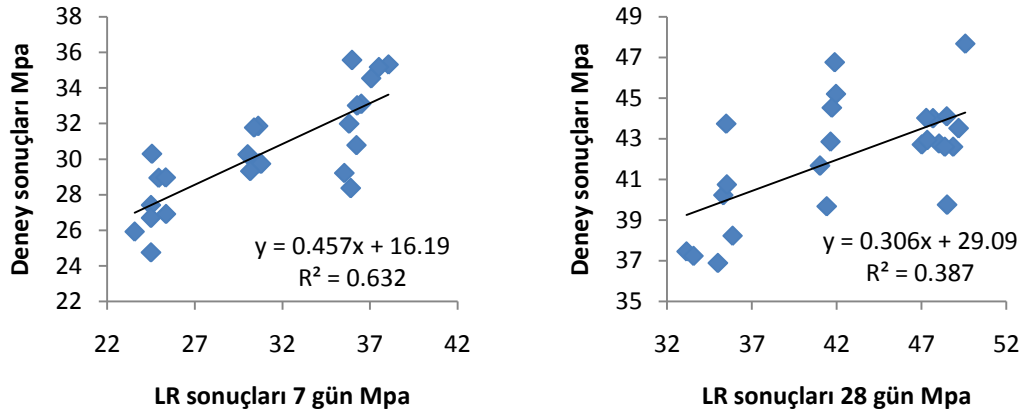
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
30.3	40.22	30.57286767	40.50255031	24.5598	35.3168
31.99	47.67	31.24182911	46.14260802	35.8162	49.5881
35.32	43.74	34.65677777	41.07133698	38.06	35.498
25.93	37.46	26.01234366	38.00785847	23.5694	33.1496
28.36	43.51	26.88883375	44.075243	35.9063	49.2013
34.53	44	33.48258854	43.60579608	37.06	47.6776
35.56	42.76	34.77768787	42.96764389	35.9763	48.0471
27.42	42.72	27.34540704	43.17835372	24.5	47.0155
24.76	37.24	26.34333233	38.35523622	24.5073	33.5592
31.85	45.2	31.18116359	44.38570968	30.6129	41.9624
31.77	46.76	32.35378569	44.56665654	30.3821	41.8928
30.78	42.6	30.9768019	43.73363069	36.2292	48.8731
26.92	36.89	28.43597947	38.53345258	25.3503	35.0056
29.75	39.68	28.67546656	41.95882689	30.6764	41.4255
33.09	44.1	32.29752965	43.82325669	36.5	48.498
33	42.6	33.06423899	44.06710304	36.2707	48.3844
26.69	39.75	25.06579058	42.34687765	24.5	48.5205
28.95	41.67	29.07050175	39.96820638	24.9464	41.0238
30.25	44.52	30.70470735	43.14235665	30.0219	41.7275
35.17	42.86	33.87778898	41.24752516	37.5	41.6373
29.73	42.93	31.01773051	42.02664375	30.7788	47.3436



Şekil 5.17 : 6. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.18 : 6. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 19 : 6.Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması.

7. Bölgeden elde edilen veriler Çizelge 5.25 ve 5.26'de verilmiştir. YSA ve LR (Lineer Regresyon) çıktıları ise Çizelge 5.27 ve 5.28'de yer almaktadır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları YSA'dan alınan sonuçlar ile deney sonuçlarını karşılaştırmalı olara Şekil 5.20ve 5.21 'de verilmiştir. Şekil 5.22'de de LR sonuçları ile deney sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bunlara göre YSA'dan elde edilen 7 günlük betonun basınç dayanımı ile deney sonuçları R^2 0.749 , 28 günlük için ise 0.769 olmuştur. LR sonucunda alınan R^2 ise 0.375 ve 0.592 olmuştur.

Çizelge 5.25 : 7. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.68	2.74	2.68	1.32	0.26	0.71	2.65	2.72	2.75	1.58	1.69	1.44	1.82	1.79	1.74	18.2	6.68	11	9	29.67	42.62
2.67	2.68	2.7	1.53	0.66	0.62	2.71	2.73	2.74	1.42	1.42	1.55	1.48	1.68	1.69	16.7	6.65	9	9	26.14	40.14
2.72	2.73	2.73	1.25	0.68	0.31	2.66	2.69	2.7	1.49	1.52	1.52	1.68	1.65	1.77	15.2	6.59	15	11	32.61	42.6
2.72	2.71	2.74	1.66	0.82	0.29	2.68	2.69	2.73	1.71	1.53	1.66	1.86	1.81	1.59	20.6	6.8	16	12	30.74	41.79
2.69	2.68	2.71	1.53	0.88	0.51	2.72	2.72	2.72	1.57	1.68	1.62	1.71	1.71	1.71	18.2	7.05	14	13	32.53	38.94
2.66	2.64	2.68	1.52	0.93	0.35	2.68	2.69	2.73	1.37	1.47	1.49	1.49	1.53	1.82	20.9	6.63	9	8	28.77	38.84
2.65	2.72	2.67	1.68	0.71	0.49	2.72	2.73	2.7	1.61	1.59	1.52	1.81	1.59	1.81	22.3	6.62	18	14	30.22	42.91
2.7	2.71	2.71	1.36	0.8	0.62	2.69	2.69	2.72	1.52	1.54	1.69	1.54	1.82	1.79	21.5	6.7	10	10	30.34	41.87
2.72	2.71	2.71	1.61	0.81	0.23	2.69	2.72	2.72	1.58	1.71	1.52	1.74	1.72	1.82	16.2	6.42	12	10	26.01	40.58
2.62	2.68	2.67	1.53	0.79	0.72	2.64	2.74	2.7	1.51	1.53	1.49	1.68	1.64	1.76	17.6	7.05	14	12	31.44	39.44
2.67	2.64	2.72	1.49	0.96	0.38	2.65	2.73	2.7	1.64	1.58	1.45	1.79	1.77	1.88	26.5	6.9	13	11	29.37	38.97
2.68	2.7	2.7	1.63	0.81	0.57	2.71	2.71	2.71	1.47	1.42	1.39	1.64	1.58	1.73	24.8	6.36	14	12	29.13	39.35
2.59	2.66	2.65	1.59	0.99	0.33	2.68	2.75	2.69	1.64	1.42	1.48	1.83	1.82	1.81	16.5	7.14	14	13	27.2	36.9
2.66	2.67	2.71	1.48	0.9	0.42	2.72	2.73	2.73	1.67	1.48	1.56	1.88	1.86	1.75	13.2	7.41	16	13	28.68	39.06
3.68	2.68	2.68	1.54	0.93	0.87	2.7	2.74	2.7	1.55	1.54	1.53	1.72	1.71	1.81	21.4	6.69	17	14	28.62	39.34
2.69	2.69	2.73	1.62	1.24	0.76	2.58	2.71	2.73	1.63	1.51	1.52	1.82	1.85	1.66	16.5	6.47	13	11	29.2	39.56
2.68	2.68	2.71	1.29	0.19	0.58	2.59	2.69	2.72	1.54	1.52	1.49	1.71	1.74	1.69	17.2	6.63	13	12	28.96	39.13
2.69	2.72	2.72	1.18	0.36	0.45	2.67	2.72	2.67	1.58	1.48	1.35	1.76	1.81	1.91	19	6.47	18	16	26.55	41.45

Çizelge 5.26 : 7. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

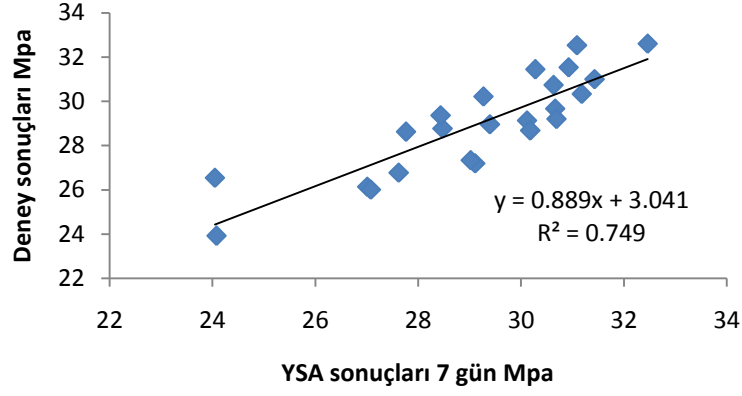
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.66	2.72	2.71	1.39	0.81	0.36	2.66	2.71	2.72	1.57	1.68	1.33	1.77	1.76	1.59	19.2	6.55	14	12	34.4	42.86
2.71	2.71	2.64	1.52	0.71	0.43	2.69	2.71	2.69	1.55	1.36	1.59	1.65	1.49	1.81	16.8	7	16	13	29.95	41.86
2.59	2.7	2.69	1.64	0.88	0.77	2.71	2.74	2.71	1.38	1.62	1.51	1.69	1.65	1.78	20.6	6.81	17	14	26.35	39.76
2.64	2.73	2.71	1.35	0.72	0.68	2.68	2.71	2.72	1.58	1.52	1.41	1.77	1.73	1.74	22.5	6.46	19	15	32.5	41.85
2.68	2.75	2.64	1.38	0.46	0.88	2.65	2.74	2.7	1.61	1.42	1.51	1.79	1.76	1.62	23.5	6.55	14	12	30.22	42.33
2.67	2.7	2.69	1.44	0.83	0.32	2.63	2.72	2.71	1.41	1.55	1.61	1.58	1.55	1.71	22.1	6.78	12	10	32.08	40.09
2.65	2.68	2.68	1.52	0.78	0.52	2.66	2.73	2.69	1.49	1.33	1.51	1.69	1.64	1.74	20.9	6.6	17	14	27.13	36.87
2.68	2.71	2.67	1.56	0.82	0.42	2.59	2.74	2.7	1.51	1.29	1.55	1.62	1.59	1.81	16.4	6.69	13	11	31.67	44.87

Çizelge 5.27 : 7. Bölge YSA ve LR sonuçları.

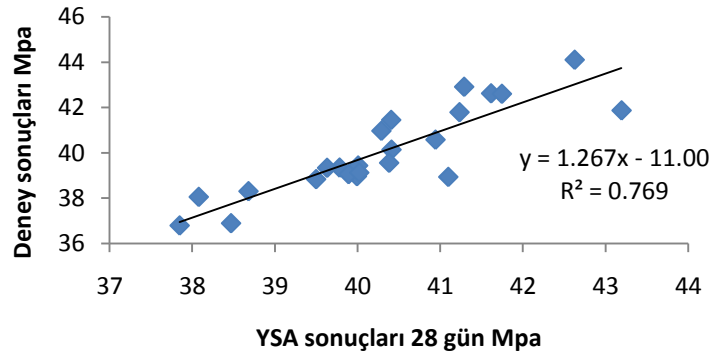
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
29.67	42.62	30.66314451	41.61327148	34.944	47.1591
26.14	40.14	27.01278378	40.40831789	34.8707	47.0914
32.61	42.6	32.4613725	41.74398982	36.4784	48.3196
30.74	41.79	30.63010197	41.23110094	35.5161	48.1938
32.53	38.94	31.08997655	41.09518941	35.3709	47.6048
28.77	38.84	28.47457093	39.49664271	34.7095	40.3039
30.22	42.91	29.26851903	41.28739561	35.1768	46.9993
30.34	41.87	31.17861165	43.1915473	36.3633	49.4256
26.01	40.58	27.07998767	40.94065058	35.4698	47.503
31.44	39.44	30.27622962	40.00464798	34.6548	40.4079
29.37	38.97	28.43789434	39.99053896	29.0189	33.85
29.13	39.35	30.1174022	39.7804461	29.4501	40.0969
27.2	36.9	29.11022246	38.4678922	23.4916	33.3242
28.68	39.06	30.18166306	39.8893925	33.9406	40.4826
28.62	39.34	27.76146501	39.62937452	23.326	33.7379
29.2	39.56	30.69005173	40.37974516	35.0841	47.433
28.96	39.13	29.39575676	40.01823619	34.9866	40.5391
26.55	41.45	24.04567533	40.40466245	29.3601	40.4204
27.34	36.8	29.01893865	37.84599586	22.726	32.0829
23.92	38.06	24.07873343	38.07688496	22.9464	32.2767
31.54	40.97	30.92509268	40.28635297	34.6688	40.0498

Çizelge 5.28 : 7. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

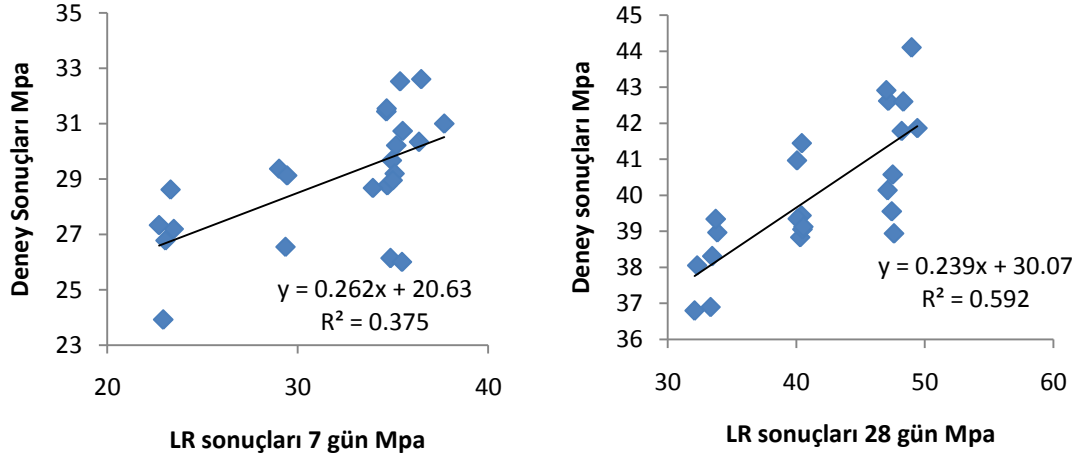
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
34.4	42.86	33.28115753	42.07978245
29.95	41.86	31.03992628	40.91865009
26.35	39.76	28.90923266	40.57167661
32.5	41.85	30.41325056	40.82533091
30.22	42.33	30.42308786	42.81352728
32.08	40.09	30.38427602	41.33263003
27.13	36.87	29.16281318	38.5422843
31.67	44.87	30.86586131	42.00462431



Şekil 5.20 : 7. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.21 : 7. Bölge 28 günlük beton deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması.



Şekil 5. 22 : 7.Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması.

8. Bölgeden elde edilen ve eğitim ve testlerde kullanılacak deney sonuçları Çizelge 5.30 ve 5.31'de verilmiştir. YSA ve LR (Lineer Regresyon) modellerindeki eğitim ve testlerden elde edilen değerler Çizelge 5.29 ve 5.32'de yer almaktadır.

8. Bölge için YSA modelinden elde edilen sonuçlarla deney sonuçları karşılaştırılmış aralarındaki ilişki Şekil 5.23 ve 5.24’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 28 günlük dayanım değeri R^2 0.778 oranında başarı ile tahmin edilmiştir.

LR denklemi ile elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları Şekil 5.25’da karşılaştırılmış ve aralarındaki çoklu belirleyicilik katsayısının 0.208 ve 0.346 olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.29 : 8. Bölge YSA ve LR sonuçları.

Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
29.89	41.37	31.07758763	42.64309471	35.9672	47.4251
28.22	41.08	30.04545322	42.41713783	34.982	48.9345
30.82	39.68	32.24715923	39.05268978	36.6138	34.5847
28.24	38.3	30.02701263	39.7932564	34.8496	40.4948
29.71	38.72	30.31414968	39.32992559	29.4265	33.4813
27.34	35.26	28.04232027	36.88834915	23.6863	33.8039
29.04	39.48	31.30175926	39.78008041	36.5999	34.4284
28.18	39.48	29.04532879	39.77502856	28.9772	34.3645
27.53	39.14	26.86885442	40.80567066	28.8947	34.8273
29.81	41.85	31.01113665	43.5965633	36.1479	47.7131
29.2	39.14	29.7454001	39.74867972	24.1388	34.569
30.54	40.31	32.63907327	40.37355206	35.1918	40.7213
27.67	39.34	26.88969101	38.92554822	28.9324	34.2211
27.74	39.06	28.25078146	39.36784333	29.2921	40.1258
27.79	39.24	29.06149735	40.35710888	34.762	40.6897
27.28	39.16	27.06413597	39.55703156	24.4961	40.4335
29.07	40.04	30.43582319	40.6295458	34.993	40.8318
28.84	39.14	29.98343187	40.25650296	35.5126	41.5172
28.32	38.54	28.50276685	39.59776735	34.8635	40.2916
28.76	40.62	29.73590407	41.8736633	34.5758	40.6264
28.68	38.32	29.07932415	38.1420825	29.4178	33.4637
28.74	39.58	29.4679856	39.71865583	24.0362	40.159

Çizelge 5.30 :8. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları

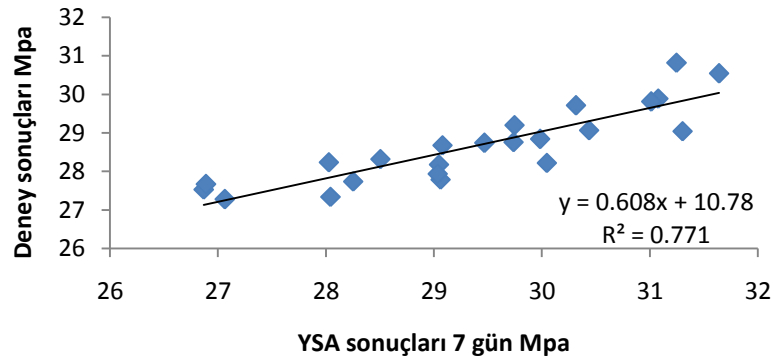
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.67	2.72	2.71	1.73	0.81	0.81	2.65	2.72	2.72	1.50	1.59	1.57	1.66	1.88	1.72	13.9	6.87	15	12	29.89	41.37
2.74	2.77	2.7	1.52	0.24	0.75	2.63	2.73	2.71	1.58	1.58	1.62	1.77	1.75	1.69	17.2	6.32	14	12	28.22	41.08
2.74	2.68	2.74	1.57	0.19	0.39	2.72	2.69	2.67	1.64	1.45	1.41	1.81	1.79	1.66	17.2	6.99	17	14	30.82	39.68
2.68	2.69	2.68	1.42	0.36	0.62	2.71	2.71	2.69	1.45	1.42	1.55	1.56	1.74	1.82	18.7	7.4	16	13	28.24	38.3
2.71	2.67	2.65	1.59	0.42	0.43	2.8	2.72	2.7	1.55	1.52	1.29	1.69	1.86	1.79	19.1	7.29	19	15	29.71	38.72
2.75	2.64	2.72	1.57	0.42	0.53	2.71	2.69	2.72	1.54	1.28	1.63	1.59	1.57	1.72	18.3	6.95	11	9	27.34	35.26
2.72	2.59	2.71	1.54	0.98	0.58	2.7	2.72	2.75	1.65	1.64	1.47	1.81	1.89	1.77	23.5	6.95	21	17	29.04	39.48
2.75	2.66	2.71	1.39	0.72	0.42	2.68	2.71	2.74	1.63	1.48	1.35	1.83	1.81	1.65	26.2	6.81	16	13	28.18	39.48
2.65	2.68	2.66	1.81	0.38	0.28	2.72	2.71	2.69	1.52	1.34	1.36	1.65	1.64	1.68	24.3	7.07	15	12	27.53	39.14
2.68	2.73	2.69	1.42	0.28	0.53	2.71	2.72	2.72	1.58	1.39	1.56	1.72	1.71	1.74	20.3	6.7	13	11	29.81	41.85
2.65	2.65	2.68	1.36	0.84	0.73	2.7	2.73	2.7	1.69	1.55	1.52	1.84	1.82	1.81	21.9	7.16	19	14	29.2	39.14
2.71	2.7	2.71	1.28	0.81	0.51	2.7	2.71	2.73	1.65	1.51	1.44	1.81	1.85	1.76	13.9	7.12	12	10	30.54	40.31
2.74	2.69	2.68	1.46	0.86	0.93	2.71	2.69	2.71	1.62	1.42	1.41	1.77	1.74	1.82	13.8	7.12	16	12	27.67	39.34
2.61	2.67	2.68	1.38	0.96	0.41	2.69	2.69	2.71	1.58	1.42	1.47	1.73	1.74	1.74	26.5	6.96	13	11	27.74	39.06
2.69	2.7	2.68	1.34	0.94	0.71	2.69	2.71	2.71	1.67	1.48	1.53	1.82	1.81	1.68	21.3	6.79	11	9	27.79	39.24
2.68	2.67	2.66	1.72	0.86	0.64	2.7	2.69	2.7	1.56	1.54	1.66	1.62	1.58	1.77	19.8	6.78	14	11	27.28	39.16
2.69	2.71	2.71	1.38	0.39	0.28	2.65	2.71	2.69	1.57	1.62	1.41	1.71	1.69	1.69	20.6	6.7	11	9	29.07	40.04
2.67	2.72	2.68	1.25	0.3	0.62	2.51	2.71	2.71	1.48	1.47	1.59	1.62	1.71	1.72	19.2	7.23	16	12	28.84	39.14

Çizelge 5.31: 8. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

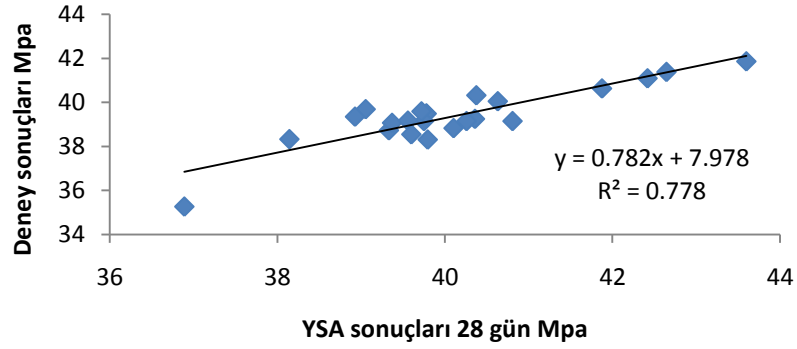
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yasslık İndeksi (%)		Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-2	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.68	2.73	2.68	1.54	0.26	0.53	2.72	2.74	2.71	1.61	1.72	1.42	1.75	1.77	1.82	19.3	6.73	18	14	27.92	38.94
2.64	2.76	2.7	1.53	0.91	0.94	2.64	2.71	2.72	1.52	1.57	1.58	1.65	1.69	1.78	22.6	6.82	19	15	27.2	38.68
2.68	2.78	2.68	1.62	0.69	0.68	2.69	2.73	2.71	1.54	1.62	1.49	1.69	1.68	1.74	17.5	6.85	17	14	28.18	39.64
2.63	2.77	2.67	1.44	0.71	0.62	2.7	2.71	2.73	1.67	1.51	1.41	1.84	1.85	1.61	14.9	7.09	10	8	27.68	37.52
2.75	2.73	2.72	1.28	0.68	0.74	2.71	2.72	2.73	1.58	1.42	1.44	1.72	1.74	1.78	17.6	6.61	14	11	27.44	37.9
2.65	2.76	2.67	1.29	0.48	0.76	2.64	2.71	2.7	1.67	1.48	1.51	1.84	1.81	1.62	22.8	6.92	17	14	31.08	38.82
2.72	2.71	2.68	1.65	0.29	0.52	2.71	2.69	2.71	1.65	1.52	1.53	1.82	1.86	1.82	24.6	6.85	19	15	28.84	38.62
2.69	2.73	2.66	1.38	0.41	0.38	2.75	2.69	2.68	1.67	1.52	1.37	1.85	1.82	1.88	20.9	7.03	12	10	27.68	38.66

Çizelge 5.32: 8. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

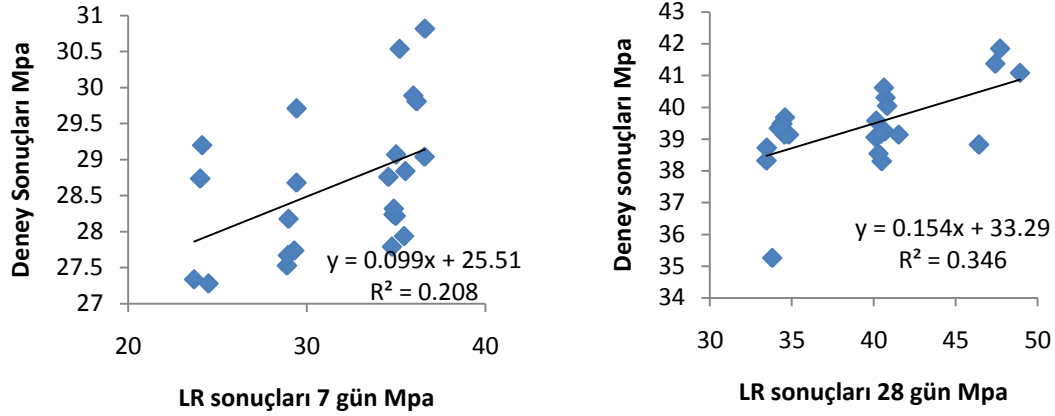
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
27.92	38.94	27.03998988	39.32814424
27.2	38.68	28.52957026	40.08148706
28.18	39.64	30.07558225	40.26296378
27.68	37.52	28.04632046	39.16304185
27.44	37.9	28.43024415	38.70673245
31.08	38.82	29.13128414	39.94764885
28.84	38.62	28.78002044	39.15561416
27.68	38.66	28.90738668	39.71853101



Şekil 5.23: 8. Bölge 7 günlük deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.24: 8. Bölge 28 günlük deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 25 : 8.Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması.

Çizelge 5.34 ve 5.35’de 9. Bölge için modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları ve test için kullanılacak deney sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.33 ve 5.36’de ise deney sonuçları ile YSA tahmin sonuçları ve LR sonuçları verilmiştir. 9. Bölge için YSA sonuçları Şekil 5.26, 5.27 ve 5.28’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. YSA’ dan alınan sonuçlar deney sonuçlarına çok yakın olmakla beraber ve R^2 değeri 7 günlük için 0.547, 28 günlük için ise 0.645 olmuştur. LR sonucunda alınan R^2 ise 0.274ve 0.692 olmuştur.

Çizelge 5.33 : 9. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
29.76	39.23	28.61672942	38.30269473
28.19	38.76	29.2353316	42.36386155
28.44	42.54	31.35688345	43.75711451
27.88	37.58	31.21328913	41.58464631
27.68	38.24	30.726753	39.74740284
31.32	38.96	27.87382102	37.71687136
28.25	38.44	27.07108288	37.78267812
28.02	39.05	30.44660599	40.60340068

Çizelge 5.34 : 9. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

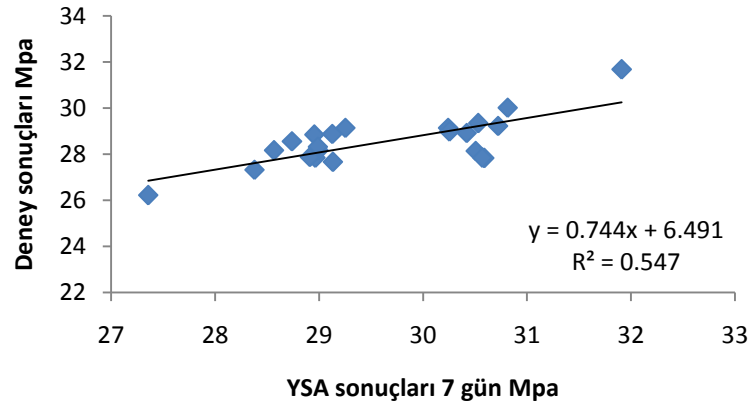
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)	Betón Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.68	2.68	2.68	1.23	0.99	0.96	2.69	2.68	2.71	1.65	1.36	1.44	1.81	1.69	1.81	18.5	5.62	13	27.84	38.26
2.72	2.68	2.71	1.28	1.05	0.43	2.71	2.69	2.73	1.52	1.49	1.31	1.66	1.84	1.82	17.8	5.49	14	28.14	38.64
2.68	2.7	2.67	1.52	0.84	0.85	2.68	2.73	2.69	1.51	1.28	1.45	1.61	1.72	1.76	17.3	5.14	11	28.84	38.67
2.71	2.69	2.71	1.49	0.86	0.36	2.69	2.7	2.73	1.61	1.4	1.32	1.73	1.86	1.79	20.9	5.67	15	29.14	38.56
2.66	2.73	2.66	1.43	0.35	0.92	2.69	2.69	2.7	1.69	1.52	1.40	1.87	1.82	1.85	14.5	5.81	12	29.14	38.64
2.64	2.69	2.68	1.55	0.98	0.82	2.7	2.67	2.71	1.60	1.44	1.43	1.75	1.77	1.91	21.5	4.92	11	29.22	39.13
2.72	2.68	2.67	1.24	0.91	0.72	2.68	2.7	2.72	1.52	1.33	1.55	1.64	1.74	1.66	18.9	4.95	12	29.34	38.84
2.68	2.71	2.78	1.52	0.72	0.61	2.66	2.72	2.76	1.45	1.43	1.29	1.76	1.82	1.71	17.6	5.32	15	28.16	39.26
2.66	2.81	2.74	1.36	0.53	0.42	2.71	2.69	2.74	1.54	1.36	1.51	1.68	1.68	1.75	16.3	5.58	13	31.67	42.27
2.7	2.71	2.72	1.18	0.72	0.51	2.74	2.73	2.69	1.58	1.4	1.44	1.73	1.77	1.89	25.3	5.78	12	28.98	39.36
2.74	2.71	2.73	0.68	0.19	0.38	2.69	2.69	2.72	1.58	1.39	1.32	1.71	1.72	1.92	18.2	5.51	14	28.92	40.46
2.72	2.78	2.71	1.53	0.19	0.42	2.75	2.71	2.73	1.62	1.38	1.42	1.77	1.71	1.75	20.3	6.12	9	27.83	39.56
2.72	2.79	2.72	1.29	0.71	0.62	2.68	2.74	2.7	1.55	1.35	1.29	1.66	1.68	1.83	22.6	5.68	14	28.16	39.18
2.68	2.68	2.67	1.24	1.02	0.53	2.69	2.68	2.7	1.61	1.41	1.42	1.72	1.64	1.69	24.3	4.95	12	27.84	39.02
2.71	2.71	2.71	1.26	0.81	0.55	2.7	2.72	2.73	1.49	1.34	1.49	1.64	1.71	1.82	19.5	5.28	12	27.66	39.3
2.67	2.72	2.7	1.28	0.92	0.28	2.69	2.69	2.7	1.54	1.36	1.39	1.68	1.68	1.69	18.6	5.64	10	26.22	39.88
2.74	2.69	2.71	1.18	0.86	0.42	2.68	2.68	2.73	1.44	1.29	1.51	1.59	1.59	1.83	16.2	5.53	11	27.88	39.42

Çizelge 5.35 : 9. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

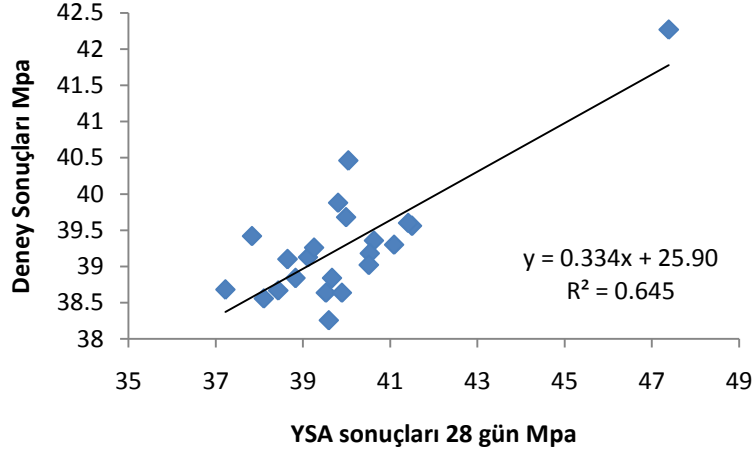
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)	Yassılık İndeksi (%)	Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-1	K-2	7 gün	28 gün
2.62	2.69	2.68	1.63	0.79	0.62	2.71	2.7	2.69	1.64	1.47	1.63	1.81	1.75	1.81	16.2	5.14	13	29.76	39.23
2.71	2.77	2.71	1.38	0.69	0.83	2.69	2.69	2.72	1.70	1.42	1.59	1.75	1.72	1.72	15.6	5.19	15	28.19	38.76
2.65	2.72	2.71	1.54	0.81	0.46	2.72	2.71	2.69	1.45	1.31	1.36	1.61	1.68	1.68	18.2	5.43	11	28.44	42.54
2.74	2.75	2.75	1.27	0.46	0.34	2.71	2.69	2.75	1.61	1.42	1.42	1.79	1.71	1.82	22.1	5.38	14	27.88	37.58
2.66	2.73	2.67	1.29	0.78	0.45	2.74	2.68	2.71	1.54	1.37	1.59	1.69	1.74	1.88	19.3	5.62	16	27.68	38.24
2.76	2.77	2.71	1.32	0.53	0.55	2.8	2.69	2.73	1.48	1.34	1.32	1.65	1.69	1.78	19.2	5.74	9	31.32	38.96
2.66	2.69	2.65	1.28	0.89	0.42	2.69	2.69	2.7	1.60	1.36	1.26	1.68	1.75	1.81	26.3	5.68	10	28.25	38.44
2.66	2.69	2.66	1.35	0.92	0.62	2.71	2.7	2.69	1.71	1.39	1.33	1.71	1.72	1.93	20.3	5.68	12	28.02	39.05

Çizelge 5.36 : 9. Bölge YSA ve LR sonuçları

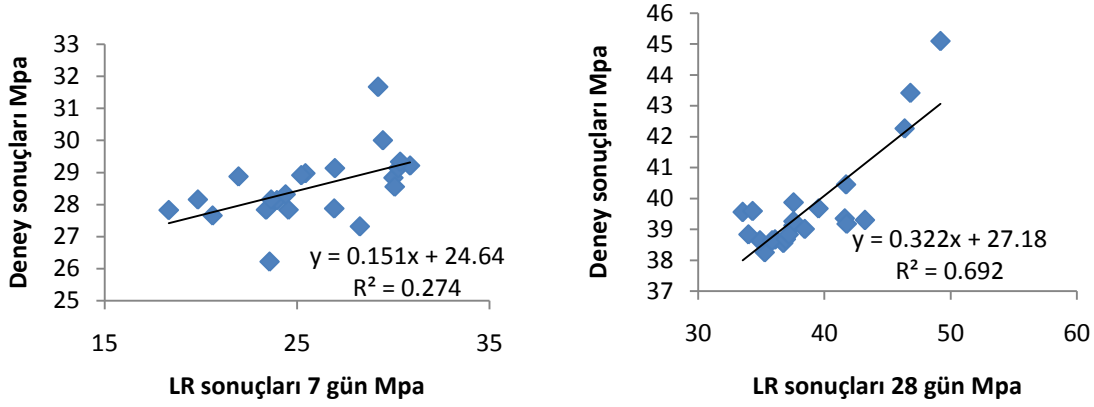
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
27.84	38.26	28.96512001	39.5902	23.3883	35.2657
28.14	38.64	30.50577188	39.5281	23.9397	34.8912
28.84	38.67	28.95326732	38.4338	29.9977	36.087
29.14	38.56	30.24253852	38.0997	30.2557	36.7336
29.14	38.64	29.25281493	39.8895	26.9608	35.856
29.22	39.13	30.72059247	39.1137	30.8655	37.5574
29.34	38.84	30.53088818	39.6623	30.3561	33.9716
28.16	39.26	28.56524228	39.2534	23.6396	37.562
31.67	42.27	31.91083367	44.3909	29.2073	46.358
28.98	39.36	30.25430041	40.6261	25.4187	41.6035
28.92	40.46	30.42020937	40.0365	25.2114	41.708
27.83	39.56	30.5895123	41.4998	18.3284	33.5054
28.16	39.18	28.99440259	40.5311	19.8284	41.7697
27.84	39.02	30.57085945	40.5124	24.5505	38.4335
27.66	39.3	29.13250586	41.0894	20.5992	43.2013
26.22	39.88	27.35605038	39.805	23.5578	37.5565
27.88	39.42	28.91018983	37.8269	26.9296	46.8069
28.56	38.68	28.73992384	37.2202	30.0759	36.9349
30.01	39.6	30.81247756	41.4149	29.4493	34.3131
28.32	38.84	28.98794279	38.828	24.3996	37.169
28.88	39.68	29.12738934	39.9876	21.9515	39.5235
27.32	39.1	28.37887782	38.6482	28.2566	49.1929



Şekil 5. 26 : 9. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 27 : 9. Bölge 28 günlük deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5. 28 : 9.Bölge 7 ve 28 günlük deney sonuçları ile LR'nin karşılaştırılması.

10. Bölge YSA modelinin eğitiminde kullanılan deney sonuçları Çizelge 5.37' de, test için kullanılan deney sonuçları ise Çizelge 5.38' de verilmiştir. YSA modelinden elde edilen basınç dayanımı değerleri ile LR denkleminde elde edilen veriler ise Çizelge 5.39 ve 5.40'da verilmiştir. Sonuçlar Şekil 5.29, 5.30 ve 5.31 da YSA çıktıları ile deney sonuçları arasındaki ilişki incelenmiş 7 ve 28 günlük basınç dayanımı için YSA ile R^2 değerleri 0.793 ve 0.715 iken LR ile ise 0.504 ve 0.664 değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.37 :10. Bölge YSA modelin eğitiminde kullanılan deney sonuçları.

Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)		Yassılık İndeksi (%)	Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-1	K-2	K-2	7 gün	28 gün
2.68	2.72	2.68	1.29	0.68	0.53	2.74	2.71	2.71	1.61	1.41	1.42	1.73	1.81	1.62	22.1	5.29	7.03	13	28.16	38.54
2.58	2.71	2.66	1.56	0.81	0.42	2.66	2.69	2.68	1.61	1.44	1.39	1.77	1.67	1.69	25.1	5.46	6.8	13	28.48	38.86
2.73	2.73	2.71	1.58	0.72	0.82	2.68	2.72	2.73	1.42	1.25	1.32	1.55	1.62	1.74	19.8	5.61	6.88	13	29.26	38.77
2.59	2.72	2.65	1.64	0.65	0.51	2.71	2.69	2.68	1.45	1.31	1.41	1.65	1.71	1.82	20.3	5.29	7.25	12	29.32	38.52
2.69	2.71	2.72	1.67	0.82	0.35	2.64	2.69	2.72	1.55	1.36	1.29	1.68	1.69	1.71	16.7	5.71	7.35	10	29.26	38.72
2.69	2.72	2.71	1.61	0.31	0.45	2.66	2.71	2.73	1.48	1.31	1.51	1.62	1.51	1.85	17.5	5.48	6.74	11	29.36	38.94
2.68	2.67	2.67	1.39	0.41	0.68	2.69	2.72	2.69	1.61	1.37	1.33	1.69	1.69	1.74	22.5	5.92	6.9	14	29.62	38.75
2.64	2.69	2.69	1.46	0.36	0.69	2.65	2.73	2.73	1.60	1.45	1.41	1.79	1.54	1.73	18.3	5.28	6.99	11	28.37	38.44
2.65	2.73	2.67	1.48	0.29	0.25	2.71	2.69	2.7	1.65	1.47	1.32	1.81	1.72	1.69	19.2	5.64	7.25	12	30.99	40.04
2.71	2.77	2.72	1.29	0.71	0.83	2.63	2.74	2.67	1.38	1.24	1.21	1.49	1.49	1.72	18.5	5.63	6.78	14	27.85	38.82
2.69	2.75	2.69	1.66	0.46	0.53	2.69	2.71	2.72	1.67	1.49	1.41	1.83	1.74	1.74	24.6	5.42	6.8	12	27.52	38.72
2.68	2.74	2.67	1.53	0.28	0.46	2.72	2.69	2.72	1.45	1.35	1.45	1.67	1.56	1.88	24.5	5.51	6.85	14	29.2	38.56
2.73	2.73	2.71	1.54	0.95	0.45	2.68	2.71	2.7	1.51	1.34	1.47	1.66	1.54	1.73	17.8	5.59	6.73	10	29.39	40.4
2.7	2.72	2.72	1.28	0.43	0.25	2.71	2.7	2.74	1.55	1.39	1.51	1.71	1.62	1.85	20.4	5.81	6.79	9	28.86	38.52
2.64	2.75	2.68	1.63	0.43	0.38	2.68	2.69	2.69	1.54	1.37	1.42	1.69	1.59	1.81	21.6	5.84	7.16	12	28.16	38.22
2.67	2.73	2.69	1.52	0.41	0.68	2.69	2.68	2.73	1.42	1.38	1.51	1.59	1.62	1.84	19.8	5.92	7.05	11	27.24	42.35
2.74	2.67	2.73	1.41	0.27	0.49	2.72	2.69	2.73	1.57	1.41	1.67	1.73	1.63	1.66	16.4	5.62	6.9	12	27.14	38.29
2.76	2.7	2.76	1.29	0.83	0.35	2.76	2.7	2.75	1.61	1.43	1.65	1.76	1.66	1.83	15.5	4.78	6.79	11	28.76	39.83

Çizelge 5.38 : 10. Bölge YSA modelinin test işleminde kullanılan deney sonuçları.

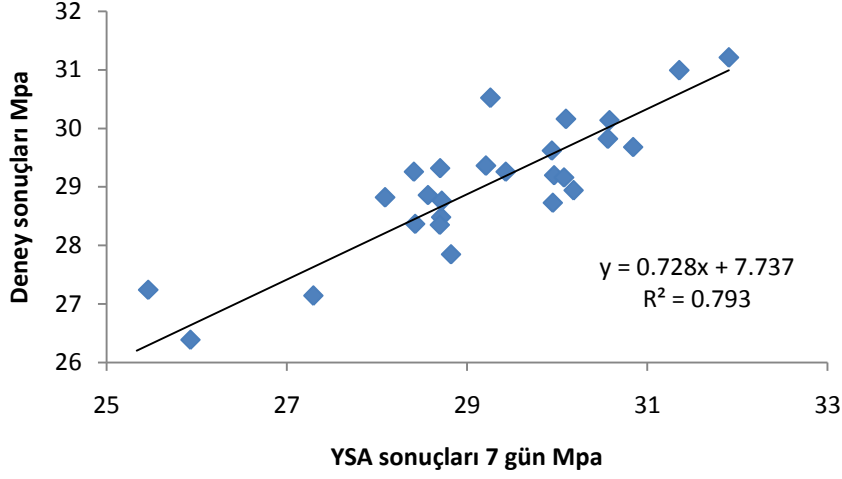
Özgül Ağırlık(gr/cm3)			Su Emme (%)			Kuru Birim Ağırlık (gr/cm3)			Gevşek Birim Ağırlık (gr/cm3)			Sıkı Birim Ağırlık (gr/cm3)			Los Angeles	İncelik Modülü (%)		Yassılık İndeksi (%)	Beton Basınç Dayanımı (Mpa)	
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	500 (%)	K-1	K-2	K-2	7 gün	28 gün
2.67	2.68	2.71	1.41	0.39	0.29	2.7	2.71	2.7	1.35	1.15	1.52	1.42	1.64	1.75	19.4	5.62	6.96	9	29.2	38.76
2.66	2.62	2.68	1.44	0.31	0.55	2.59	2.68	2.72	1.45	1.28	1.43	1.58	1.69	1.88	14.5	5.48	7.01	13	27.94	37.86
2.72	2.72	2.71	1.29	0.59	0.58	2.69	2.69	2.72	1.47	1.29	1.38	1.58	1.68	1.76	22.6	5.28	6.82	12	27.68	40.9
2.7	2.71	2.71	1.53	0.32	0.42	2.72	2.68	2.7	1.41	1.51	1.28	1.84	1.81	1.74	20.5	5.49	6.4	11	27.26	37.74
2.69	2.59	2.73	1.27	1.05	0.95	2.71	2.69	2.74	1.43	1.18	1.51	1.45	1.42	1.69	16.9	5.42	6.84	14	28.52	39.91
2.7	2.72	2.72	1.38	0.86	0.82	2.69	2.71	2.72	1.62	1.36	1.39	1.68	1.61	1.74	16.2	5.3	7.11	9	29.7	39.73
2.72	2.73	2.72	1.42	0.75	0.72	2.68	2.7	2.74	1.49	1.26	1.45	1.55	1.45	1.92	24.3	5.39	7.06	11	28.36	38.14
2.63	2.58	2.67	1.42	1.07	0.43	2.69	2.72	2.7	1.47	1.31	1.52	1.56	1.63	1.81	19.3	5.41	7.39	13	30.48	39.46

Çizelge 5.39 : 10. Bölge YSA ve LR sonuçları.

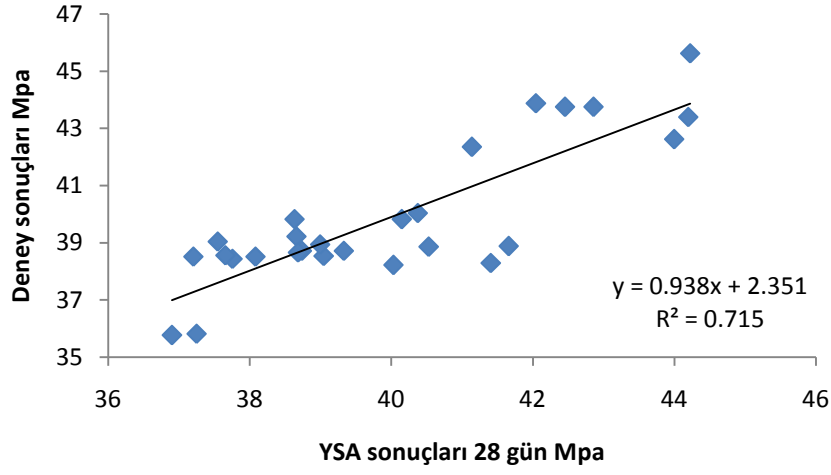
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
30.16	38.54	30.09838926	39.04724953	33.44	35.07
28.48	38.86	28.712285	40.52985773	26.76	41.39
29.26	35.77	28.40871405	36.90324563	31.54	34.3
29.32	38.52	28.70051121	37.20341082	29.6	34.05
29.26	38.72	29.43054509	38.73535428	31.54	36.25
29.36	38.94	29.21015095	38.99499958	30.64	39.47
29.62	43.75	28.9404932	42.85824842	29.9	47.28
28.37	38.44	28.42330233	37.75731033	25.65	34.75
30.99	40.04	31.35579492	40.37339164	32.27	43.57
27.85	35.82	28.82101197	37.24958432	26.13	39.35
30.52	38.72	29.2607227	39.33001392	33.8	37.25
29.2	38.56	29.96455559	37.65435541	26.48	35.09
26.39	43.4	25.93107642	44.19760443	28.67	46.93
28.86	38.52	28.56720655	38.08171341	29.14	37.05
29.16	38.22	30.07686052	40.02936195	26.44	37.75
27.24	42.35	25.46316761	41.13902999	29.52	42.88
25.14	38.29	25.33431083	41.40763033	25.42	38.82
28.76	39.83	28.71904427	38.63209073	29.04	42.36
29.82	43.75	30.56363744	42.4554638	30.1	44.28
30.14	43.88	30.57996817	42.04569895	35.42	49.41
27.14	39.22	27.29452891	38.65960712	23.42	44.75

Çizelge 5.40 : 10. Bölge deney sonuçları ile YSA test seti.

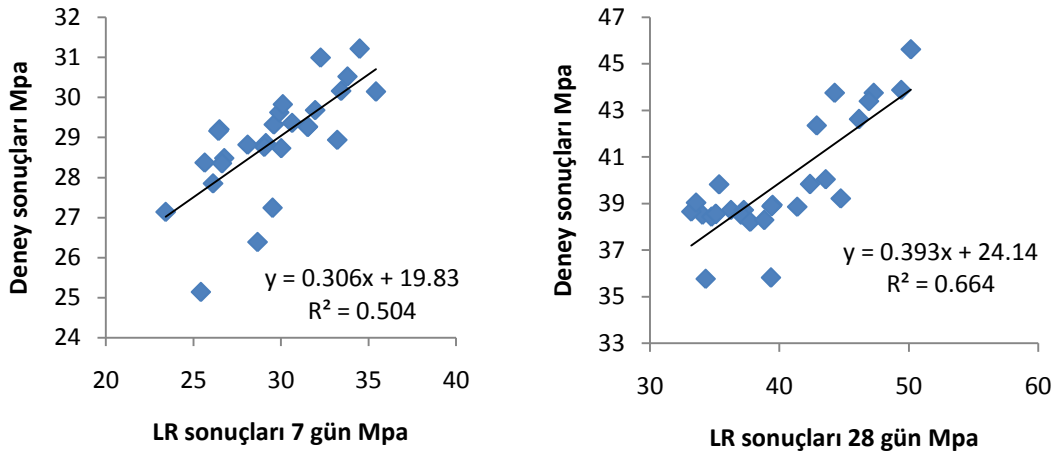
Deney Sonuçları		YSA Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
29.2	38.76	28.94595498	37.5481123
27.94	37.86	28.94672837	37.26872777
27.68	40.9	30.49297387	39.62766662
27.26	37.74	28.75700285	38.57381606
28.52	39.91	28.80554683	37.4455291
29.7	39.73	30.73452643	40.374015
28.36	38.14	28.43569481	37.03716423
30.48	39.46	29.70867588	37.43225177



Şekil 5.29 : 10. Bölge 7 günlük beton deney sonuçları ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 5.30 : 10. Bölge 28 günlük deney sonuçları ile YSA'nın karşılaştırılması.



Şekil 5.31 : 10. Bölge deney sonuçları ile LR sonuçlarının karşılaştırılması.

5.4 Sonuçların mutlak hatalarının değerlendirilmesi

YSA modelinden ve lineer regresyondan elde edilen sonuçların mutlak hataları deki hesaplanmış ve her bir bölge için Çizelge 5.41’de verilmiştir..

Çizelge 5.41: Mutlak hata değerleri.

Bölge	7 Gün YSA Mutlak Hata%	28 Gün YSA Mutlak Hata %	7 Gün LR Mutlak Hata %	28 Gün LR Mutlak Hata%
1.Bölge	3.8	2.5	7.1	10.2
2.Bölge	4.5	3.4	7.8	6.3
3.Bölge	3	2.6	12.8	6.8
4.Bölge	5.6	3.7	14	9.8
5.Bölge	4.6	4	9.4	6.7
6.Bölge	2.9	2.8	8.9	9.7
7.Bölge	3.3	2.1	14	10.5
8.Bölge	3	2.15	15.9	8.8
9.Bölge	3.8	2.7	15.06	12.5
10.Bölge	2.0	2.7	6.9	7.4

YSA ile geliştirilen modelden elde edilen 7 günlük basınç dayanım değerleri sonuçlarının gerçek değerleri ortalama %96.2 değerle temsil ettiği görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımı değerleri ise YSA modelinde %2.8 hata değeri ile tahmin edilmiş buda %97.2 doğruluk değeri ile sonuçlar tahmin edilmiş anlamına gelmektedir. Ancak hata değerleri lineer regresyonda 7 günlük içinde %11.6, 28 günlük değerlerde ise %9’un üzerine çıkmıştır.

6.SONUÇLAR

İstanbul Anadolu yakası on ayrı bölgesinden elde edilen agregalardan üretilen betonların basınç dayanımları laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Yapılan deneylerde betonun dayanımları, beton hazırlandıktan 7 gün ve 28 gün sonra ölçülerek elde edilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar geliştirilen YSA modeli ile tahmin edilmiş ayrıca sonuçlar lineer regresyon yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla deneysel olarak elde edilen 330 veriden 250 tanesi tahmin modellerini geliştirmede 80 tanesi ise geliştirilen modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada, bu tür problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan güvenilirliği yapılan bilimsel çalışmalarla ispatlanmış Çok Katmanlı İleri Beslemeli YSA modelinin kullanılması tercih edilmiştir. YSA'nın eğitiminde ise Geriye Yayılma Öğrenme algoritması kullanılmıştır.

YSA sonuçları ile, deneysel veriler karşılaştırıldığında; YSA sonuçlarının % 2.8 gibi küçük bir hata oranıyla deneysel sonuçlarla uygunluk gösterdiği görülmüştür. Hata analizi, yüzdeler mutlak hata esas alınarak yapılmıştır.

Aynı şekilde, lineer regresyon analizi ile yapıldığında, lineer regresyon sonuçlarının deney sonuçlarına göre yüzdeler ortalama mutlak hata oranının %11.62 olduğu görülmüştür.

Elde edilen veriler arasındaki korelasyon incelendiğinde lineer regresyon tekniği ile deney sonuçlarının arasındaki R^2 değeri ortalama 0.479 – 0.551 oranları arasında, yapay sinir ağları yöntemi ile 7 günlük için R^2 değeri 0.733, 28 günlük için ise 0.740 değerleri arasında başarı ile tahmin edilebildiği görülmüştür.

Çalışma sonuçları modelin güvenilirliği açısından değerlendirilirse tahmin değerleri ile deneysel değerler arasındaki korelasyon kabul edilebilir düzeydedir. Fakat modellemede daha fazla veri seti kullanılmasının modelin öğrenme ve tahmin etme

aşamalarının geliştirilmesi ve daha iyi sonuçların alınabilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak deneysel çalışmalar, uzun süreçlerde yapılabilen, malzeme harcanan ve ekonomik yükümlülük getiren, aynı zamanda teknik personel gerektiren çalışmalardır. Bu yüzden, yapay sinir ağları gibi yapay zeka modellerinin kullanılabilirliği üzerine yapılacak çalışmalarla deneysel çalışmalardaki bu kayıplar ve gereksinimler daha aza indirgenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdalla, J.A. Elsanosi, A. and Abdelwahab, A.** (2007), Modeling and Simulation of Shear Resistance of R/C Beams Using Artificial Neural Network, *Journal of The Franklin Institute*, USA. 344(5), 741-756.
- Adhikary, B.B. and Mutsuyoshi, H.** (2006), Prediction of shear strength of steel fiber RC beams using neural networks, *Construction and Building Materials*, 20(9), 801-811.
- Akkurt, S. Ozdemir, S. Tayfur, G. and Akyol, B.** (2003),The use of GA-ANNs in the modelling of compressive strength of cement mortar, *Cement and Concrete Research*, 33(7), 973-979.
- Akkurt, S., Tayfur, G. and Can, S.,** (2004), Fuzzy logic model for the prediction of cement compressive strength, *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1429-1433.
- Akman, M. S.** (1984). Beton Agregaları, Fiziksel, Petrografik ve Kimyasal Nitelikleri, Beton Semineri, *Devlet Su İşleri Yayını*, Ankara, 6-10 Şubat.
- Alexander, M.G. Milne, T.I.,** (1995). Influence of Cement Blend and Aggregate Type on Stress- Strain Behavior and Elastic Modulus of Concrete, *ACI Materials Journal*, Volume 92, May-June, pp 227–235
- Altınlı, I. E. Soytürk, N ve Sakak.** (1970), Hereke Tavşanlı - Tavşanlı Tepecik Alanının Jeolojisi, *I.Ü. Fen Fak. Mecmu. Seri B. Cilt XXXV, Sayı 1- 2*, S. 69 -67.
- Bai, J. Wild, S. Ware J.A. and Sabir, B.B.** (2003), Using neural Networks to predict workability of concrete incorporating metakaolin and fly ash, *Advances in Engineering Software*, 34(11-12), 663-669.
- Baykasoglu, A. Dereli, T. and Tanis, S.** (2004), Prediction of cement strength using soft computing techniques, *Cement and Concrete Research*, 34(11), 2083-2090.
- Bryson A.E.** (1969,) Ho Y.C. Applied optimal control, Blaisdell, New York.
- Çalışkan, S.,** (2003).Agrega Cinsi ve Tane Boyunun Arayüzey Aderans Dayanımına Etkisi, *Çimento ve Beton Dünyası*, Sayı:41, s.65–66, Ankara.
- Çetin, A. Carrasquillo R.L.** (1998). High Performance Concrete, Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties, *ACI Materials Journal*, Volume 95, pp. 252–161, May-June.
- Demir, F.** (2005), A new way of prediction elastic modulus of normal and high strength concrete-fuzzy logic, *Cement and Concrete Research*, 35(8),1531-1538.

- Erdogan, Y.T.** (1996). Betonun Oluşturan Malzemeler Agregalar, *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını*, İstanbul.
- Dias, W.P.S. ve Pooliyadda, S.P.** (2001), Neural networks for predicting properties of concretes with admixtures, *Construction and Building Materials*, 15(7), 371-379.
- Fookes, P. G.** (1980), An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 23, 207-229.
- Freeman J.A. Skapura D.M.** (1991), Neural networks: algorithms, applications and programming techniques, MA, Addison-Wesley.
- Güzeliş C.** (1993), Genelleştirilmiş hücresel yapay sinir ağları, EMO 5. Ulusal Kongresi, Trabzon, pp:7-12.
- Giaccio, G. Rocco, C. Violini, D. Zappitelli, J. Zeerbino, R.** (1992). High Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates, *ACI Materials Journal*, Volume 89, pp.242–247, May-June.
- Gutierrez, P.A. Canovas, M.F.** (1996). High Performance Concrete: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning, *ACI Materials*, Volume 93, pp. 233–141, May-June.
- Goktepe, A.B. Inan, G. Ramyar, K. and Sezer, A.** (2006), Estimation of sulfate expansion level of PC mortar using statistical and neural approaches, *Construction and Building Materials*, 20(7), 441-449.
- Hertz J.A. Palmer R.G.** (1991), Introduction to the theory of neural computation, Addison-Wesley, New York,.
- Hopfield J.J.** (1983). Unlearning has a stabilizing effects in collective memories, *Nature* 304:158.
- Hong-Guang, N. ve Ji-Zong, W.** (2000), Prediction of compressive strength of concrete by neural networks, *Cement and Concrete Research*, 30(8), 1245-1250.
- Huang, S.C. Huang, Y.F.** (1991), Bounds on the number for hidden neurons in multilayer perceptrons, *IEEE Trans. Neural Networks* Volume 2(1):47-5,.
- Ince, R.** (2004), Prediction of fracture parameters of concrete by artificial neural networks, *Engineering Fracture Mechanics*, 71, 2143-2159.
- Jacobs R.A.** (1988), Increased raised of convergence through learning rate adaptation. *Neural Networks* Volume 1: 295-307,.
- Kaplan, M.F.** (1959). Flexural and Compressive Strength of Concrete as Affected by the Properties of Coarse Aggregates, *Journal of American Concrete Institute*, May, pp. 1193 1208 72.
- Kawakami, H.** (1992). Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concrete, *Interfaces in Cementitious Composites*, J.C.Masa (Ed) Toulouse, pp. 179–186.

- Kewalramani, A.M. and Gupta, R.** (2006), Concrete compressive strength using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks, *Automation in Construction*, 15(3), 374-379.
- Lee G.C.S. Lin C.T.** (1995), Neural fuzzy systems, Prentice Hall, New Jersey.
- Lee Cun Y.** (1985), A learning procedure for asymmetric network, *Cognitiva* 85: 599-604, Paris.
- Lai, S. and Sera, M.** (1997), Concrete strength prediction by mean of neural networks, *Construction and Building Materials*, 11(2), 93-98.
- Lee, S.-C.** (2003), Prediction of concrete strength using artificial neural networks, *Engineering Structures*, 25(7), 849-857.
- McCulloch W.S. and Pitts W.** (1943). A Logical Calculus Of The Ideas Immanent In Nervous Activity *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5, pp. 115-133.
- Murdock, L.J. and Dig.** (1991). Concrete Materials and Practice, 26, London.
- Mukherjee, A. and Biswas, S.N.** (1997), Artificial neural networks in prediction of mechanical behavior of concrete at high temperature, *Nuclear Engineering and Design*, 178(1), 1-11.
- Mirchandini G. Cao W.** (1989), On hidden nodes in neural nets, *IEEE Trans. Circuit Systems* Volume 36(5): 641-664,.
- Neville, A.M.** (1996). *Properties Of Concrete*, Fourth and Final Edition, John Wiley, G.Sons. pp. 56-80.
- Özger, M. and Sen, Z.** (2007), Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach, *Ocean Engineering*, 34(3-4), 460-469.
- Özkahraman, H.T. Isık, E.C.** (2005). The Effect of Chemical and Mineralogical Composition of Aggregates on Tensile Adhesion Strength of Tiles, *Construction and Building Materials*, Vol: 9, No:4. pp.251-255.
- Özturan, T. Çeçen, C.** (1997). Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths, *Cement and Concrete Research*, 27, No: 2, s. 165-170.
- Ölmez T.** (1995), *Yapay sinir ağları yardımıyla biyomedikal dokuların sınıflandırılması*, İTÜ Merkez Kitaplığı no:44082.
- Öztas, A. Pala, M. Özbay, E. Kanca, E. Çağlar, N. And Asghar Bhatti, M.** (2006), Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network, *Construction and Building Materials*, 20(9), 769-775.
- Pala, M. Özbay, E. Öztas, A. and Yuce, M.I.** (2007), Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks, *Construction and Building Materials*, 21(2), 384-394.
- Parker D.B.** Learning logic, MIT, no:TR-47, Cambridge.
- Rumelhart D.E. Hinton G.E. Williams R.J.** (1986), *Learning representations by back propagation errors*, *Nature* 323:533-536, (a).

- Rumelhart D.E., Hinton G.E., Willias R.J.** (1986), Learning internal represations by error propagation, *Paralell distrubuted processing Volume 1*: Chapter 8, Cambridge, MA, (b).
- Sakla, S.S.S. ve Ashour, A.F.** (2005), Prediction of tensile capacity of single adhesive anchors using neural networks, *Computer and Structures* 83(21-22), 1792-1803.
- Sengül, Ö.** (2000). *Agrega Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tasdemir, C. ve dig.** (1998). The Influence of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concrete, *Proceedings of the 12. ERMCO Congress*, pp.633–640, Lisbon.
- Tasang, W.A. Lynsdale, C.J. Crpp, C.** (1998). Aggregate-Cement Paste Interface II: Influence of Aggregates Physical Properties, *Cement and Concrete Research*, 28, pp.1453-1465
- Tigdemir, M. Karasahin M. and Sen, Z.** (2002), Investigation of fatigue behaviour of asphalt concrete pavements with fuzzy-logic approach, *International Journal of Fatigue*, 24(8), 903-910.
- TS 706**, (1980). Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Werbos P.J.** (1974), *Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences*, Harward University.
- Vogl T.P. Mangis J.K. Rigler A.K.** (1988), Accelarating the convergence of the backpropagation method, *Biol. Cybern. Volume 59*:257-263.
- Yeginbogalı, A.** (1999). *Betonun İç Yapısı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Notları*, No:3, Ankara.
- Yeh, I.C.** (1998), Modeling of strength of high-performance concrete using ANN, *Cement and Concrete Research*, 28(12), 1797-1808.
- Zhao, Z. and Chen, C.** (2001), Concrete bridge deterioration diagnosis fuzzy inference system, *Advances in Engineering Software*, 32(4), 317-325.

EKLER

EK A

Çizelge A.1: Agregalara ait incelik modülleri.

1. B	2.B	3. B	4.B	5. B	6.B	7. B	8.B	9. B	10.B
6.79	5.79	6.52	6.54	6.92	6.55	6.68	6.87	6.87	7.03
6.59	6.51	6.57	7.16	6.82	6.5	6.65	6.32	6.72	6.8
6.81	6.79	6.69	6.65	6.97	6.81	6.59	6.99	6.73	6.88
6.2	7.17	6.7	6.64	7.26	6.89	6.8	7.4	7.25	7.25
6.72	6.78	6.66	7.46	6.79	7.11	7.05	7.29	6.88	7.35
6.79	6.37	6.67	6.69	6.95	6.64	6.63	6.95	6.65	6.74
7.08	6.16	6.97	6.54	6.55	6.6	6.62	6.95	6.48	6.9
6.28	8.39	6.79	7.81	6.59	6.75	6.7	6.81	6.55	6.99
6.42	7.12	6.8	7.05	6.4	7.15	6.42	7.07	6.46	7.25
6.44	5.8	6.74	7.73	7.57	7.18	7.05	6.7	7.31	6.78
6.82	5.95	6.64	7.1	6.5	7.29	6.9	7.16	7.42	6.8
7.02	6.22	6.79	6.77	7.27	6.88	6.36	7.12	7.08	6.85
7.89	6.15	7.59	6.98	6.64	6.89	7.14	7.12	6.9	6.73
6.79	6.21	6.65	6.49	6.75	6.96	7.41	6.96	6.69	6.79
7.15	6.83	6.72	7.28	6.79	6.9	6.69	6.79	6.74	7.16
6.76	6.92	6.89	7.32	7.12	6.78	6.47	6.78	7.21	7.05
6.22	7.15	6.34	7.43	6.36	6.71	6.63	6.7	7.25	6.9
6.33	6.49	6.2	6.95	6.68	7.15	6.47	7.23	6.95	6.79
6.56	6.26	7.31	6.45	6.79	7.1	6.79	6.5	7.04	6.67
6.59	6.71	6.24	6.77	6.92	6.88	6.7	6.74	7.23	6.91
6.44	7.29	7.02	6.45	6.82	6.92	6.81	7.31	6.95	7.06
6.55	7.49	6.38	6.68	6.61	6.77	6.78	6.65	6.78	6.54
7.15	7.44	6.49	6.41	6.5	7.22	6.6	7.03	6.7	6.89
6.79	7.09	6.52	7.09	7.25	6.72	6.55	6.73	7.01	6.85
6.81	7.06	6.88	7.05	6.97	6.64	7	6.82	6.84	7.14
6.69	7.09	6.57	6.85	6.32	6.6	6.81	6.85	6.89	7.35
6.5	7.16	7.09	6.79	6.38	6.66	6.46	7.09	6.74	6.92
6.79	6.85	7.04	6.82	6.51	6.64	6.55	6.61	6.69	6.96
7.39	6.73	7.23	6.89		6.65	6.78	6.92	6.86	7.01
6.59	7.23	7.31	6.91		6.8	6.6	6.85	7.21	6.82
6.82	7.51	6.75	6.83		7.21	6.69	7.03		6.4

Çizelge A.2: K-1 ve K-2 numunelerine ait Yassılık İndeksi değerleri (%).

1. Bölge		2. Bölge		3. Bölge		4. Bölge		5. Bölge		6. Bölge		7. Bölge		8. Bölge		9. Bölge		10. Bölge	
K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2	K-1	K-2
11	10	16	13	9	10	19	16	16	14	15	14	11	9	15	12	16	13	15	13
12	9	17	14	13	12	16	14	19	15	18	15	9	9	14	12	18	14	16	13
16	14	15	13	12	11	14	12	21	9	20	16	15	11	17	14	13	11	17	13
15	11	16	14	14	12	13	11	15	13	13	11	16	12	16	13	19	15	16	12
13	13	14	13	19	15	15	12	12	10	9	9	14	13	19	15	17	12	13	10
15	16	11	9	16	14	18	14	14	11	9	8	9	8	11	9	14	11	12	11
14	14	13	11	12	11	16	14	16	12	14	12	18	14	21	17	14	12	18	14
15	12	15	12	11	10	12	11	16	13	17	14	10	10	16	13	19	15	14	11
13	9	16	13	20	16	19	15	12	9	18	15	12	10	15	12	16	13	15	12
18	17	12	11	18	14	12	10	9	8	14	12	14	12	13	11	13	12	17	14
16	16	15	13	12	11	14	12	11	11	17	14	13	11	19	14	17	14	18	12
15	14	21	17	14	11	15	13	14	12	11	11	14	12	12	10	10	9	16	14
11	12	15	13	19	15	13	10	14	12	9	9	14	13	16	12	18	14	13	10
18	17	9	9	15	13	14	13	18	15	18	14	16	13	13	11	16	12	12	9
17	16	14	8	10	9	11	9	16	13	17	13	17	14	11	9	15	12	15	12
10	10	15	12	18	14	18	12	11	11	16	12	13	11	14	11	13	10	14	11
15	13	18	15	16	11	13	11	9	8	14	11	13	12	11	9	14	11	16	12
12	11	13	12	12	12	15	13	18	14	19	14	18	16	16	12	13	10	14	11
19	16	12	11	14	12	16	12	16	12	18	16	17	14	18	14	16	12	15	12
14	13	15	13	18	14	14	14	16	14	10	10	12	10	16	13	14	10	14	10
16	12	16	14	18	13	19	15	18	14	15	12	17	14	19	14	11	9	12	9
14	13	14	14	12	11	18	16	13	12	17	14	16	13	17	15	18	14	11	13
16	15	15	12	16	13	10	9	9	9	19	16	18	14	14	11	16	13	18	14
13	12	14	9	15	12	17	13	10	10	14	12	14	12	18	14	18	15	16	12
19	11	12	10	18	14	11	10	14	11	15	13	16	13	19	15	14	11	14	11
11	10	15	12	13	10	18	14	18	16	12	10	17	14	17	14	18	14	18	15
14	9	13	11	14	12	13	11	15	13	14	13	19	15	10	8	21	16	16	13
16	12	14	14	18	13	13	10	14	12	13	11	14	12	14	11	11	9	12	9
14	11	16	11	16	12	16	13			17	13	12	10	17	14	13	10	17	13
15	9	19	16	13	10	16	8			16	14	17	14	19	15	18	12	15	12
18	8	18	15	13	9	13	16			15	12	13	11	12	10			13	11
13	12	14	13	21	16	9	17			13	11							18	14
17	15	19	14	13	11	18	15											12	9
12	11	18	15	15	13	13	11											15	11
12	10	10	8	18	14	14	10											17	13
18	15	11	9																

Çizelge A.3: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Kuru Birim Ağırlığı (gr/cm³).

1. Bölge			2. Bölge			3. Bölge			4. Bölge			5. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
2,67	2,68	2,74	2,68	2,73	2,71	2,71	2,74	2,72	2,71	2,69	2,7	2,71	2,75	2,7
2,65	2,71	2,7	2,59	2,7	2,7	2,69	2,68	2,7	2,64	2,71	2,74	2,69	2,71	2,74
2,68	2,69	2,74	2,69	2,69	2,72	2,68	2,69	2,71	2,65	2,73	2,75	2,83	2,69	2,71
2,61	2,78	2,75	2,63	2,71	2,74	2,65	2,67	2,69	2,73	2,69	2,77	2,63	2,67	2,72
2,69	2,73	2,69	2,73	2,7	2,7	2,61	2,71	2,74	2,59	2,68	2,73	2,72	2,66	2,71
2,68	2,69	2,75	2,71	2,68	2,72	2,59	2,69	2,75	2,65	2,65	2,7	2,65	2,73	2,71
2,65	2,68	2,72	2,7	2,67	2,73	2,69	2,71	2,7	2,64	2,68	2,69	2,76	2,7	2,77
2,66	2,72	2,7	2,69	2,69	2,73	2,64	2,71	2,69	2,71	2,64	2,72	2,65	2,69	2,71
2,63	2,75	2,73	2,59	2,71	2,74	2,65	2,76	2,72	2,71	2,69	2,65	2,68	2,69	2,68
2,67	2,68	2,7	2,56	2,69	2,69	2,65	2,59	2,7	2,73	2,68	2,69	2,68	2,69	2,74
2,62	2,63	2,74	2,69	2,66	2,7	2,7	2,6	2,71	2,71	2,67	2,74	2,65	2,72	2,73
2,68	2,66	2,69	2,74	2,73	2,72	2,73	2,69	2,69	2,71	2,71	2,7	2,73	2,7	2,72
2,59	2,72	2,7	2,68	2,72	2,7	2,76	2,66	2,71	2,73	2,73	2,72	2,64	2,73	2,7
2,61	2,84	2,71	2,68	2,74	2,69	2,69	2,68	2,73	2,54	2,74	2,71	2,59	2,74	2,68
2,69	2,68	2,72	2,72	2,68	2,72	2,84	2,69	2,75	2,38	2,69	2,73	2,74	2,69	2,69
2,65	2,72	2,73	2,59	2,71	2,7	2,69	2,67	2,73	2,53	2,74	2,7	2,69	2,69	2,72
2,68	2,68	2,7	2,82	2,7	2,74	2,64	2,66	2,7	2,36	2,75	2,73	2,68	2,73	2,73
2,69	2,66	2,74	2,68	2,69	2,73	2,77	2,69	2,7	2,66	2,73	2,68	2,63	2,71	2,72
2,72	2,75	2,75	2,72	2,66	2,72	2,69	2,77	2,71	2,39	2,68	2,74	2,68	2,72	2,69
2,72	2,74	2,7	2,66	2,69	2,68	2,69	2,64	2,72	2,66	2,67	2,7	2,72	2,69	2,73
2,74	2,71	2,73	2,69	2,65	2,7	2,73	2,69	2,73	2,69	2,72	2,72	2,7	2,71	2,7
2,77	2,69	2,7	2,65	2,59	2,68	2,74	2,68	2,7	2,71	2,73	2,69	2,68	2,67	2,68
2,68	2,7	2,74	2,73	2,68	2,73	2,73	2,68	2,73	2,79	2,59	2,67	2,63	2,68	2,71
2,72	2,69	2,72	2,7	2,66	2,74	2,74	2,67	2,7	2,71	2,65	2,74	2,68	2,71	2,73
2,68	2,7	2,72	2,69	2,72	2,71	2,68	2,71	2,65	2,68	2,64	2,72	2,69	2,69	2,7
2,53	2,73	2,7	2,72	2,71	2,69	2,69	2,71	2,69	2,74	2,69	2,69	2,65	2,7	2,71
2,62	2,64	2,72	2,73	2,76	2,7	2,71	2,73	2,66	2,68	2,67	2,68	2,64	2,69	2,71
2,65	2,68	2,74	2,72	2,72	2,7	2,72	2,72	2,72	2,71	2,69	2,7	2,77	2,72	2,72
2,68	2,69	2,7	2,73	2,7	2,71	2,74	2,74	2,7	2,69	2,66	2,73			
2,65	2,68	2,72	2,74	2,68	2,66	2,49	2,51	2,68	2,78	2,68	2,74			
2,67	2,71	2,72	2,71	2,65	2,74	2,69	2,7	2,72	2,69	2,71	2,71			
2,53	2,73	2,7	2,66	2,69	2,69	2,65	2,69	2,72	2,73	2,69	2,72			
2,59	2,69	2,74	2,74	2,71	2,72	2,75	2,68	2,74	2,68	2,64	2,68			
2,72	2,74	2,72	2,74	2,73	2,7	2,74	2,71	2,71	2,66	2,71	2,71			
2,69	2,66	2,7	2,7	2,69	2,72	2,78	2,69	2,69	2,66	2,72	2,72			
2,63	2,68	2,72	2,73	2,61	2,71									

Çizelge A.4: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Kuru Birim Ağırlığı (gr/cm³).

6. Bölge			7. Bölge			8. Bölge			9. Bölge			10. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
2,65	2,76	2,72	2,65	2,72	2,75	2,65	2,72	2,72	2,69	2,68	2,71	2,74	2,71	2,71
2,38	2,69	2,7	2,71	2,73	2,74	2,63	2,73	2,71	2,71	2,69	2,73	2,66	2,69	2,68
2,64	2,74	2,72	2,66	2,69	2,7	2,72	2,69	2,67	2,68	2,73	2,69	2,68	2,72	2,73
2,69	2,71	2,69	2,68	2,69	2,73	2,71	2,71	2,69	2,69	2,7	2,73	2,71	2,69	2,68
2,65	2,69	2,71	2,72	2,72	2,72	2,8	2,72	2,7	2,69	2,69	2,7	2,64	2,69	2,72
2,69	2,68	2,69	2,68	2,69	2,73	2,71	2,69	2,72	2,7	2,67	2,71	2,66	2,71	2,73
2,71	2,69	2,72	2,72	2,73	2,7	2,7	2,72	2,75	2,68	2,7	2,72	2,69	2,72	2,69
2,59	2,69	2,73	2,69	2,69	2,72	2,68	2,71	2,74	2,66	2,72	2,76	2,65	2,73	2,73
2,81	2,7	2,7	2,69	2,72	2,72	2,72	2,71	2,69	2,71	2,69	2,74	2,71	2,69	2,7
2,73	2,69	2,69	2,64	2,74	2,7	2,71	2,72	2,72	2,74	2,73	2,69	2,63	2,74	2,67
2,72	2,72	2,72	2,65	2,73	2,7	2,7	2,73	2,7	2,69	2,69	2,72	2,69	2,71	2,72
2,71	2,71	2,74	2,71	2,71	2,71	2,7	2,71	2,73	2,75	2,71	2,73	2,72	2,69	2,72
2,75	2,73	2,72	2,68	2,75	2,69	2,71	2,69	2,71	2,68	2,74	2,7	2,68	2,71	2,7
2,68	2,72	2,7	2,72	2,73	2,73	2,69	2,69	2,71	2,69	2,68	2,7	2,71	2,7	2,74
2,65	2,69	2,73	2,7	2,74	2,7	2,69	2,71	2,71	2,7	2,72	2,73	2,68	2,69	2,69
2,71	2,71	2,72	2,58	2,71	2,73	2,7	2,69	2,7	2,69	2,69	2,7	2,69	2,68	2,73
2,68	2,71	2,68	2,59	2,69	2,72	2,65	2,71	2,69	2,68	2,68	2,73	2,72	2,69	2,73
2,65	2,7	2,67	2,67	2,72	2,67	2,51	2,71	2,71	2,71	2,72	2,72	2,76	2,7	2,75
2,63	2,74	2,71	2,64	2,73	2,7	2,69	2,71	2,7	2,69	2,71	2,71	2,73	2,71	2,75
2,65	2,71	2,73	2,63	2,69	2,72	2,68	2,7	2,73	2,68	2,71	2,72	2,65	2,69	2,7
2,68	2,69	2,69	2,68	2,69	2,73	2,64	2,71	2,71	2,72	2,69	2,7	2,59	2,68	2,72
2,71	2,69	2,71	2,72	2,72	2,71	2,63	2,71	2,74	2,71	2,7	2,74	2,71	2,72	2,7
2,72	2,71	2,72	2,71	2,73	2,74	2,71	2,69	2,72	2,71	2,7	2,69	2,73	2,71	2,69
2,63	2,73	2,71	2,66	2,71	2,72	2,72	2,74	2,71	2,69	2,69	2,72	2,71	2,72	2,73
2,72	2,73	2,69	2,69	2,71	2,69	2,64	2,71	2,72	2,72	2,71	2,69	2,68	2,69	2,69
2,65	2,74	2,67	2,71	2,74	2,71	2,69	2,73	2,71	2,71	2,69	2,75	2,71	2,71	2,73
2,69	2,72	2,69	2,68	2,71	2,72	2,7	2,71	2,73	2,74	2,68	2,71	2,69	2,7	2,71
2,66	2,71	2,75	2,65	2,74	2,7	2,71	2,72	2,73	2,8	2,69	2,73	2,7	2,71	2,7
2,68	2,69	2,72	2,63	2,72	2,71	2,64	2,71	2,7	2,69	2,69	2,7	2,59	2,68	2,72
2,65	2,69	2,73	2,66	2,73	2,69	2,71	2,69	2,71	2,71	2,7	2,69	2,69	2,69	2,72
2,69	2,68	2,69	2,59	2,74	2,7	2,75	2,69	2,68				2,72	2,68	2,7
2,7	2,7	2,69										2,71	2,69	2,74
												2,69	2,71	2,72
												2,68	2,7	2,74
												2,69	2,72	2,7

Çizelge A.5: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Sıkı Birim Ağırlığı (gr/cm³).

1. Bölge			2. Bölge			3. Bölge			4. Bölge			5. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
1,63	1,67	1,64	1,64	1,48	1,66	1,58	1,58	1,72	1,51	1,72	1,81	1,64	1,85	1,84
1,49	1,53	1,77	1,89	1,56	1,82	1,64	1,78	1,93	1,84	1,82	1,83	1,81	1,88	1,65
1,62	1,74	1,82	1,61	1,51	1,86	1,25	1,71	1,68	1,62	1,78	1,82	1,68	1,69	1,68
1,83	1,75	1,81	1,54	1,68	1,83	1,72	1,42	1,76	1,72	1,88	1,71	1,64	1,86	1,88
1,79	1,71	1,77	1,82	1,76	1,81	1,68	1,86	1,58	1,86	1,49	1,52	1,71	1,75	1,83
1,52	1,61	1,81	1,68	1,63	1,79	1,73	1,81	1,68	1,77	1,57	1,69	1,48	1,73	1,82
1,72	1,63	1,69	1,55	1,68	1,74	1,72	1,82	1,72	1,76	1,88	1,75	1,68	1,91	1,56
1,75	1,76	1,71	1,68	1,72	1,82	1,53	1,69	1,83	1,73	1,61	1,83	1,48	1,75	1,66
1,76	1,81	1,88	1,64	1,57	1,69	1,81	1,89	1,69	1,66	1,81	1,69	1,59	1,81	1,49
1,55	1,69	1,52	1,68	1,58	1,88	1,72	1,84	1,91	1,81	1,88	1,84	1,48	1,67	1,83
1,74	1,56	1,66	1,75	1,68	1,91	1,84	1,84	1,78	1,64	1,75	1,72	1,78	1,78	1,68
1,81	1,72	1,81	1,68	1,69	1,79	1,56	1,74	1,77	1,66	1,81	1,69	1,39	1,74	1,89
1,48	1,47	1,66	1,69	1,64	1,95	1,68	1,89	1,78	1,72	1,84	1,67	1,55	1,71	1,73
1,54	1,49	1,72	1,71	1,62	1,75	1,62	1,86	1,82	1,71	1,81	1,68	1,69	1,87	1,64
1,75	1,83	1,93	1,81	1,72	1,61	1,71	1,79	1,72	1,77	1,71	1,75	1,72	1,71	1,68
1,59	1,67	1,73	1,55	1,59	1,72	1,72	1,84	1,78	1,68	1,88	1,84	1,69	1,88	1,72
1,71	1,53	1,76	1,42	1,59	1,55	1,53	1,82	1,68	1,78	1,84	1,75	1,68	1,88	1,82
1,72	1,48	1,59	1,64	1,58	1,71	1,61	1,87	1,74	1,72	1,81	1,76	1,68	1,85	1,69
1,43	1,42	1,82	1,58	1,51	1,77	1,61	1,87	1,88	1,64	1,79	1,68	1,72	1,83	1,78
1,51	1,36	1,66	1,56	1,57	1,59	1,49	1,83	1,82	1,63	1,71	1,75	1,75	1,87	1,82
1,67	1,63	1,55	1,68	1,65	1,66	1,73	1,88	1,74	1,48	1,66	1,83	1,67	1,66	1,86
1,62	1,56	1,77	1,66	1,59	1,75	1,77	1,84	1,78	1,61	1,77	1,79	1,61	1,75	1,76
1,69	1,64	1,89	1,69	1,66	1,81	1,79	1,84	1,68	1,68	1,47	1,71	1,65	1,87	1,69
1,58	1,72	1,91	1,58	1,59	1,72	1,59	1,79	1,68	1,68	1,71	1,76	1,49	1,88	1,76
1,82	1,67	1,49	1,65	1,68	1,71	1,72	1,84	1,72	1,73	1,51	1,73	1,44	1,78	1,81
1,65	1,49	1,63	1,69	1,81	1,82	1,81	1,81	1,82	1,75	1,59	1,78	1,69	1,88	1,82
1,63	1,68	1,41	1,72	1,67	1,82	1,77	1,65	1,68	1,75	1,77	1,69	1,77	1,71	1,85
1,75	1,72	1,83	1,81	1,75	1,66	1,89	1,85	1,75	1,73	1,68	1,76	1,62	1,53	1,79
1,83	1,58	1,77	1,73	1,72	1,81	1,77	1,78	1,64	1,81	1,71	1,68			
1,62	1,55	1,75	1,55	1,54	1,78	1,81	1,84	1,77	1,88	1,59	1,78			
1,52	1,56	1,79	1,62	1,68	1,72	1,66	1,84	1,75	1,68	1,65	1,69			
1,65	1,52	1,59	1,68	1,58	1,74	1,59	1,72	1,69	1,69	1,51	1,83			
1,59	1,52	1,62	1,58	1,49	1,58	1,69	1,59	1,68	1,55	1,85	1,77			
1,45	1,56	1,77	1,71	1,69	1,78	1,75	1,81	1,72	1,72	1,78	1,69			
1,81	1,72	1,81	1,62	1,82	1,84	1,81	1,88	1,63	1,64	1,87	1,62			
1,66	1,59	1,76	1,35	1,87	1,79									

Çizelge A.6: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Sıkı Birim Ağırlığı (gr/cm³).

6. Bölge			7. Bölge			8. Bölge			9. Bölge			10. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
1,73	1,67	1,69	1,82	1,79	1,74	1,66	1,88	1,72	1,81	1,69	1,81	1,73	1,81	1,62
1,71	1,88	1,72	1,48	1,68	1,69	1,77	1,75	1,69	1,66	1,84	1,82	1,77	1,67	1,69
1,74	1,62	1,78	1,68	1,65	1,77	1,81	1,79	1,66	1,61	1,72	1,76	1,55	1,62	1,74
1,66	1,78	1,91	1,86	1,81	1,59	1,56	1,74	1,82	1,73	1,86	1,79	1,65	1,71	1,82
1,71	1,73	1,78	1,71	1,71	1,71	1,69	1,86	1,79	1,87	1,82	1,85	1,68	1,69	1,71
1,84	1,57	1,88	1,49	1,53	1,82	1,59	1,57	1,72	1,75	1,77	1,91	1,62	1,51	1,85
1,65	1,83	1,69	1,81	1,59	1,81	1,81	1,89	1,77	1,64	1,74	1,66	1,69	1,69	1,74
1,59	1,88	1,81	1,54	1,82	1,79	1,83	1,81	1,65	1,76	1,82	1,71	1,79	1,54	1,73
1,48	1,45	1,74	1,74	1,72	1,82	1,65	1,64	1,68	1,68	1,68	1,75	1,81	1,72	1,69
1,51	1,59	1,66	1,68	1,64	1,76	1,72	1,71	1,74	1,73	1,77	1,89	1,49	1,49	1,72
1,68	1,58	1,69	1,79	1,77	1,88	1,84	1,82	1,81	1,71	1,72	1,92	1,83	1,74	1,74
1,72	1,72	1,62	1,64	1,58	1,73	1,81	1,85	1,76	1,77	1,71	1,75	1,67	1,56	1,88
1,55	1,55	1,75	1,83	1,82	1,81	1,77	1,74	1,82	1,66	1,68	1,83	1,66	1,54	1,73
1,63	1,88	1,75	1,88	1,86	1,75	1,73	1,74	1,74	1,72	1,64	1,69	1,71	1,62	1,85
1,59	1,75	1,59	1,72	1,71	1,81	1,82	1,81	1,68	1,64	1,71	1,82	1,69	1,59	1,81
1,73	1,89	1,69	1,82	1,85	1,66	1,62	1,58	1,77	1,68	1,68	1,69	1,59	1,62	1,84
1,51	1,82	1,74	1,71	1,74	1,69	1,71	1,69	1,69	1,59	1,59	1,83	1,73	1,63	1,66
1,69	1,87	1,79	1,76	1,81	1,91	1,62	1,71	1,72	1,63	1,69	1,75	1,76	1,66	1,83
1,72	1,74	1,75	1,49	1,59	1,82	1,73	1,74	1,81	1,69	1,72	1,74	1,58	1,49	1,77
1,74	1,7	1,76	1,59	1,55	1,76	1,69	1,66	1,76	1,71	1,69	1,66	1,54	1,53	1,62
1,69	1,84	1,89	1,61	1,59	1,77	1,54	1,49	1,82	1,77	1,68	1,75	1,68	1,68	1,71
1,77	1,85	1,78	1,73	1,71	1,69	1,55	1,52	1,75	1,69	1,62	1,69	1,44	1,58	1,77
1,68	1,81	1,81	1,66	1,63	1,76	1,62	1,64	1,82	1,81	1,75	1,81	1,68	1,69	1,82
1,81	1,68	1,91	1,77	1,76	1,59	1,75	1,77	1,82	1,75	1,72	1,72	1,71	1,64	1,71
1,59	1,59	1,76	1,65	1,49	1,81	1,65	1,69	1,78	1,61	1,68	1,68	1,69	1,69	1,82
1,82	1,82	1,88	1,69	1,65	1,78	1,69	1,68	1,74	1,79	1,71	1,82	1,77	1,81	1,79
1,69	1,76	1,74	1,77	1,73	1,74	1,84	1,85	1,61	1,69	1,74	1,88	1,72	1,72	1,66
1,45	1,81	1,62	1,79	1,76	1,62	1,72	1,74	1,78	1,65	1,69	1,78	1,42	1,64	1,75
1,42	1,48	1,76	1,58	1,55	1,71	1,84	1,81	1,62	1,68	1,75	1,81	1,58	1,69	1,88
1,47	1,82	1,82	1,69	1,64	1,74	1,82	1,86	1,82	1,71	1,72	1,93	1,58	1,68	1,76
1,67	1,75	1,77	1,62	1,59	1,81	1,85	1,82	1,88				1,84	1,81	1,74
1,73	1,82	1,76										1,45	1,42	1,69
												1,68	1,61	1,74
												1,55	1,45	1,92
												1,56	1,63	1,81

Çizelge A.7: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Gevşek Birim Ağırlığı (gr/cm³).

1. Bölge			2. Bölge			3. Bölge			4. Bölge			5. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
1,47	1,36	1,34	1,41	1,24	1,56	1,44	1,48	1,25	1,38	1,31	1,35	1,55	1,53	1,42
1,28	1,29	1,41	1,82	1,35	1,54	1,29	1,67	1,34	1,69	1,56	1,39	1,63	1,69	1,44
1,47	1,47	1,45	1,42	1,26	1,49	1,16	1,35	1,28	1,49	1,56	1,53	1,52	1,48	1,52
1,75	1,48	1,43	1,40	1,36	1,58	1,70	1,29	1,52	1,51	1,63	1,25	1,48	1,61	1,65
1,69	1,39	1,46	1,80	1,49	1,59	1,68	1,57	1,52	1,67	1,24	1,36	1,55	1,61	1,39
1,32	1,36	1,51	1,59	1,41	1,47	1,45	1,72	1,45	1,61	1,32	1,41	1,37	1,35	1,28
1,57	1,41	1,36	1,43	1,42	1,43	1,57	1,54	1,61	1,58	1,65	1,35	1,48	1,62	1,44
1,63	1,49	1,39	1,59	1,41	1,48	1,28	1,36	1,41	1,62	1,28	1,49	1,37	1,45	1,58
1,64	1,47	1,36	1,51	1,32	1,28	1,79	1,62	1,52	1,47	1,64	1,52	1,45	1,52	1,43
1,39	1,43	1,25	1,53	1,35	1,51	1,65	1,53	1,48	1,67	1,53	1,44	1,41	1,41	1,62
1,66	1,35	1,36	1,59	1,41	1,53	1,72	1,46	1,47	1,53	1,46	1,53	1,61	1,76	1,44
1,72	1,45	1,42	1,53	1,35	1,46	1,27	1,48	1,58	1,54	1,55	1,56	1,35	1,45	1,49
1,27	1,27	1,32	1,54	1,37	1,57	1,59	1,59	1,52	1,41	1,59	1,59	1,44	1,48	1,63
1,35	1,25	1,39	1,55	1,4	1,63	1,50	1,55	1,43	1,50	1,52	1,58	1,54	1,62	1,45
1,64	1,51	1,42	1,64	1,45	1,52	1,62	1,65	1,55	1,58	1,35	1,41	1,58	1,46	1,62
1,42	1,36	1,59	1,42	1,29	1,29	1,61	1,59	1,38	1,54	1,62	1,59	1,55	1,65	1,59
1,55	1,29	1,56	1,31	1,34	1,34	1,52	1,35	1,56	1,45	1,62	1,54	1,49	1,62	1,58
1,59	1,28	1,29	1,32	1,37	1,33	1,59	1,58	1,42	1,51	1,55	1,58	1,49	1,62	1,58
1,22	1,19	1,34	1,40	1,25	1,41	1,42	1,62	1,52	1,49	1,61	1,43	1,67	1,57	1,53
1,30	1,27	1,42	1,38	1,33	1,38	1,37	1,45	1,62	1,51	1,46	1,37	1,57	1,58	1,45
1,52	1,32	1,28	1,48	1,36	1,32	1,58	1,68	1,31	1,38	1,38	1,43	1,55	1,42	1,44
1,46	1,33	1,49	1,45	1,35	1,42	1,48	1,59	1,59	1,48	1,48	1,33	1,44	1,46	1,44
1,54	1,38	1,59	1,49	1,37	1,52	1,77	1,58	1,36	1,52	1,32	1,39	1,47	1,61	1,51
1,38	1,41	1,38	1,40	1,28	1,28	1,54	1,36	1,59	1,51	1,36	1,45	1,45	1,52	1,55
1,72	1,41	1,42	1,49	1,39	1,34	1,63	1,62	1,55	1,58	1,42	1,53	1,40	1,51	1,53
1,50	1,26	1,29	1,50	1,41	1,48	1,72	1,64	1,42	1,50	1,41	1,59	1,55	1,62	1,61
1,48	1,48	1,38	1,52	1,41	1,44	1,60	1,39	1,41	1,59	1,45	1,44	1,67	1,67	1,45
1,62	1,51	1,52	1,59	1,48	1,58	1,68	1,64	1,62	1,52	1,48	1,33	1,42	1,42	1,64
1,74	1,33	1,48	1,50	1,41	1,46	1,61	1,41	1,46	1,57	1,31	1,45			
1,45	1,34	1,38	1,47	1,26	1,59	1,63	1,38	1,38	1,69	1,53	1,51			
1,32	1,31	1,36	1,43	1,38	1,31	1,52	1,59	1,52	1,55	1,36	1,49			
1,52	1,23	1,39	1,48	1,28	1,35	1,44	1,52	1,36	1,50	1,38	1,52			
1,39	1,28	1,45	1,40	1,29	1,48	1,58	1,35	1,52	1,38	1,54	1,41			
1,24	1,31	1,53	1,50	1,45	1,64	1,50	1,58	1,56	1,61	1,68	1,49			
1,73	1,49	1,58	1,45	1,67	1,59	1,45	1,66	1,32	1,50	1,58	1,51			
1,51	1,34	1,52	1,23	1,58	1,39									

Çizelge A.8: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Gevşek Birim Ağırlığı (gr/cm³).

6. Bölge			7. Bölge			8. Bölge			9. Bölge			10. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
1,53	1,61	1,45	1,58	1,69	1,44	1,50	1,59	1,57	1,65	1,36	1,44	1,61	1,41	1,42
1,45	1,44	1,53	1,42	1,42	1,55	1,58	1,58	1,62	1,52	1,49	1,31	1,61	1,44	1,39
1,58	1,51	1,35	1,49	1,52	1,52	1,64	1,45	1,41	1,51	1,28	1,45	1,42	1,25	1,32
1,58	1,31	1,33	1,71	1,53	1,66	1,45	1,42	1,55	1,61	1,4	1,32	1,45	1,31	1,41
1,61	1,36	1,58	1,57	1,68	1,62	1,55	1,52	1,29	1,69	1,52	1,40	1,55	1,36	1,29
1,69	1,56	1,54	1,37	1,47	1,49	1,54	1,28	1,63	1,60	1,44	1,43	1,48	1,31	1,51
1,50	1,56	1,57	1,61	1,59	1,52	1,65	1,64	1,47	1,52	1,33	1,55	1,61	1,37	1,33
1,48	1,58	1,39	1,52	1,54	1,69	1,63	1,48	1,35	1,45	1,43	1,29	1,60	1,45	1,41
1,42	1,38	1,33	1,58	1,71	1,52	1,52	1,34	1,36	1,54	1,36	1,51	1,65	1,47	1,32
1,40	1,35	1,51	1,51	1,53	1,49	1,58	1,39	1,56	1,58	1,4	1,44	1,38	1,24	1,21
1,48	1,52	1,59	1,64	1,58	1,45	1,69	1,55	1,52	1,58	1,39	1,32	1,67	1,49	1,41
1,57	1,69	1,46	1,47	1,42	1,39	1,65	1,51	1,44	1,62	1,38	1,42	1,45	1,35	1,45
1,38	1,46	1,59	1,64	1,42	1,48	1,62	1,42	1,41	1,55	1,35	1,29	1,51	1,34	1,47
1,45	1,61	1,52	1,67	1,48	1,56	1,58	1,42	1,47	1,61	1,41	1,42	1,55	1,39	1,51
1,51	1,51	1,42	1,55	1,54	1,53	1,67	1,48	1,53	1,49	1,34	1,49	1,54	1,37	1,42
1,57	1,66	1,49	1,63	1,51	1,52	1,56	1,54	1,66	1,54	1,36	1,39	1,42	1,38	1,51
1,42	1,54	1,44	1,54	1,52	1,49	1,57	1,62	1,41	1,44	1,29	1,51	1,57	1,41	1,67
1,63	1,62	1,55	1,58	1,48	1,35	1,48	1,47	1,59	1,44	1,32	1,29	1,61	1,43	1,65
1,58	1,53	1,49	1,37	1,35	1,29	1,58	1,68	1,55	1,54	1,37	1,61	1,44	1,28	1,52
1,55	1,47	1,39	1,41	1,26	1,28	1,55	1,57	1,39	1,58	1,39	1,44	1,41	1,25	1,51
1,54	1,62	1,51	1,47	1,52	1,28	1,44	1,38	1,29	1,64	1,44	1,51	1,55	1,36	1,61
1,58	1,63	1,49	1,57	1,28	1,44	1,44	1,41	1,34	1,65	1,37	1,29	1,37	1,16	1,58
1,49	1,56	1,51	1,48	1,48	1,61	1,48	1,44	1,66	1,64	1,47	1,63	1,48	1,36	1,37
1,58	1,55	1,42	1,57	1,68	1,33	1,61	1,72	1,42	1,70	1,42	1,59	1,58	1,39	1,41
1,49	1,44	1,39	1,55	1,36	1,59	1,52	1,57	1,58	1,45	1,31	1,36	1,57	1,37	1,27
1,62	1,54	1,49	1,38	1,62	1,51	1,54	1,62	1,49	1,61	1,42	1,42	1,62	1,45	1,37
1,54	1,52	1,39	1,58	1,52	1,41	1,67	1,51	1,41	1,54	1,37	1,59	1,57	1,41	1,44
1,37	1,53	1,33	1,61	1,42	1,51	1,58	1,42	1,44	1,48	1,34	1,32	1,35	1,15	1,52
1,37	1,35	1,51	1,41	1,55	1,61	1,67	1,48	1,51	1,60	1,36	1,26	1,45	1,28	1,43
1,37	1,53	1,53	1,49	1,33	1,51	1,65	1,52	1,53	1,71	1,39	1,33	1,47	1,29	1,38
1,48	1,52	1,61	1,51	1,29	1,55	1,67	1,52	1,37				1,41	1,51	1,28
1,57	1,57	1,52										1,43	1,18	1,51
												1,62	1,36	1,39
												1,49	1,26	1,45
												1,47	1,31	1,52

Çizelge A.9: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Özgül Ağırlık Değerleri (gr/cm³).

1. Bölge			2. Bölge			3. Bölge			4. Bölge			5. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
2,74	2,72	2,75	2,73	2,79	2,72	2,68	2,76	2,74	2,63	2,68	2,69	2,71	2,73	2,68
2,68	2,73	2,72	2,71	2,75	2,7	2,69	2,83	2,71	2,71	2,76	2,75	2,74	2,69	2,77
2,75	2,73	2,71	2,68	2,78	2,73	2,68	2,75	2,72	2,64	2,71	2,74	2,59	2,76	2,73
2,64	2,67	2,68	2,67	2,72	2,74	2,67	2,77	2,68	2,69	2,68	2,73	2,73	2,81	2,74
2,71	2,73	2,71	2,69	2,73	2,72	2,7	2,73	2,71	2,72	2,73	2,68	2,58	2,73	2,72
2,77	2,71	2,71	2,72	2,83	2,69	2,69	2,77	2,71	2,68	2,69	2,71	2,61	2,71	2,71
2,69	2,68	2,7	2,71	2,71	2,66	2,67	2,74	2,66	2,68	2,72	2,67	2,68	2,64	2,72
2,66	2,68	2,74	2,71	2,65	2,71	2,68	2,74	2,68	2,74	2,73	2,73	2,71	2,75	2,71
2,61	2,71	2,67	2,72	2,66	2,73	2,62	2,71	2,68	2,71	2,77	2,71	2,68	2,76	2,68
2,72	2,74	2,69	2,69	2,73	2,68	2,72	2,72	2,71	2,67	2,71	2,65	2,79	2,75	2,69
2,61	2,71	2,65	2,71	2,75	2,71	2,7	2,73	2,69	2,71	2,73	2,7	2,68	2,67	2,67
2,67	2,79	2,71	2,71	2,69	2,72	2,61	2,73	2,68	2,73	2,76	2,68	2,67	2,68	2,68
2,59	2,65	2,68	2,7	2,68	2,65	2,71	2,69	2,71	2,68	2,68	2,68	2,64	2,76	2,65
2,68	2,68	2,74	2,78	2,56	2,72	2,67	2,7	2,71	2,72	2,66	2,71	2,61	2,74	2,64
2,72	2,72	2,71	2,72	2,59	2,71	2,74	2,72	2,75	2,71	2,58	2,75	2,59	2,71	2,66
2,66	2,66	2,73	2,71	2,68	2,71	2,71	2,68	2,71	2,64	2,71	2,68	2,72	2,74	2,72
2,68	2,68	2,71	2,71	2,73	2,68	2,69	2,75	2,68	2,61	2,73	2,72	2,71	2,73	2,71
2,74	2,67	2,74	2,69	2,79	2,69	2,68	2,66	2,71	2,62	2,67	2,65	2,66	2,74	2,69
2,75	2,68	2,71	2,73	2,68	2,72	2,71	2,71	2,71	2,65	2,71	2,71	2,71	2,72	2,71
2,72	2,74	2,72	2,69	2,71	2,71	2,72	2,75	2,73	2,69	2,74	2,69	2,71	2,74	2,74
2,77	2,72	2,68	2,67	2,73	2,68	2,61	2,73	2,68	2,68	2,75	2,68	2,73	2,68	2,68
2,77	2,63	2,69	2,67	2,65	2,67	2,63	2,63	2,64	2,68	2,73	2,66	2,66	2,76	2,71
2,7	2,76	2,73	2,71	2,68	2,71	2,72	2,7	2,74	2,62	2,8	2,64	2,69	2,75	2,7
2,75	2,73	2,74	2,69	2,69	2,68	2,68	2,73	2,68	2,71	2,73	2,73	2,75	2,74	2,74
2,68	2,75	2,74	2,71	2,73	2,73	2,65	2,75	2,69	2,67	2,7	2,68	2,68	2,73	2,68
2,65	2,81	2,67	2,71	2,71	2,68	2,61	2,74	2,66	2,67	2,74	2,69	2,69	2,76	2,69
2,69	2,66	2,68	2,68	2,76	2,71	2,64	2,73	2,65	2,7	2,69	2,7	2,62	2,79	2,69
2,69	2,73	2,69	2,68	2,75	2,68	2,66	2,72	2,68	2,68	2,69	2,68	2,71	2,73	2,71
2,72	2,72	2,72	2,71	2,66	2,69	2,63	2,76	2,67	2,68	2,76	2,69			
2,72	2,68	2,71	2,58	2,73	2,63	2,67	2,72	2,66	2,7	2,74	2,71			
2,71	2,65	2,7	2,63	2,65	2,66	2,69	2,7	2,69	2,67	2,73	2,72			
2,61	2,58	2,66	2,67	2,72	2,71	2,7	2,69	2,71	2,68	2,79	2,73			
2,68	2,71	2,69	2,67	2,75	2,74	2,67	2,59	2,73	2,7	2,78	2,68			
2,69	2,59	2,69	2,63	2,73	2,68	2,74	2,77	2,72	2,69	2,69	2,72			

Çizelge A.10: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Özgül Ağırlık Değerleri (gr/cm³).

6. Bölge			7. Bölge			8. Bölge			9. Bölge			10. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
2,72	2,7	2,68	2,68	2,74	2,68	2,67	2,72	2,71	2,68	2,68	2,68	2,68	2,72	2,68
2,64	2,77	2,67	2,67	2,68	2,7	2,74	2,77	2,7	2,72	2,68	2,71	2,58	2,71	2,66
2,61	2,73	2,71	2,72	2,73	2,73	2,74	2,68	2,74	2,68	2,7	2,67	2,73	2,73	2,71
2,71	2,68	2,66	2,72	2,71	2,74	2,68	2,69	2,68	2,71	2,69	2,71	2,59	2,72	2,65
2,61	2,79	2,69	2,69	2,68	2,71	2,71	2,67	2,65	2,66	2,73	2,66	2,69	2,71	2,72
2,68	2,76	2,65	2,66	2,64	2,68	2,75	2,64	2,72	2,64	2,69	2,68	2,69	2,72	2,71
2,74	2,73	2,71	2,65	2,72	2,67	2,72	2,59	2,71	2,72	2,68	2,67	2,68	2,67	2,67
2,72	2,72	2,73	2,7	2,71	2,71	2,75	2,66	2,71	2,68	2,71	2,78	2,64	2,69	2,69
2,6	2,68	2,68	2,72	2,71	2,71	2,65	2,68	2,66	2,66	2,81	2,74	2,65	2,73	2,67
2,6	2,56	2,69	2,62	2,68	2,67	2,68	2,73	2,69	2,7	2,71	2,72	2,71	2,77	2,72
2,7	2,59	2,74	2,67	2,64	2,72	2,65	2,65	2,68	2,74	2,71	2,73	2,69	2,75	2,69
2,69	2,76	2,74	2,68	2,7	2,7	2,71	2,7	2,71	2,72	2,78	2,71	2,68	2,74	2,67
2,67	2,65	2,71	2,59	2,66	2,65	2,74	2,69	2,68	2,72	2,79	2,72	2,73	2,73	2,71
2,66	2,7	2,72	2,66	2,67	2,71	2,61	2,67	2,68	2,68	2,68	2,67	2,7	2,72	2,72
2,71	2,76	2,71	3,68	2,68	2,68	2,69	2,7	2,68	2,71	2,71	2,71	2,64	2,75	2,68
2,7	2,75	2,7	2,69	2,69	2,73	2,68	2,67	2,66	2,67	2,72	2,7	2,67	2,73	2,69
2,67	2,71	2,72	2,68	2,68	2,71	2,69	2,71	2,71	2,74	2,69	2,71	2,74	2,67	2,73
2,66	2,68	2,68	2,69	2,72	2,72	2,67	2,72	2,68	2,67	2,69	2,69	2,76	2,7	2,76
2,65	2,72	2,69	2,67	2,65	2,7	2,76	2,68	2,71	2,61	2,67	2,68	2,74	2,69	2,75
2,68	2,73	2,71	2,64	2,67	2,71	2,74	2,72	2,73	2,67	2,69	2,72	2,67	2,7	2,7
2,61	2,71	2,72	2,68	2,71	2,72	2,64	2,68	2,68	2,66	2,71	2,68	2,68	2,59	2,72
2,69	2,73	2,69	2,64	2,68	2,69	2,67	2,72	2,71	2,69	2,71	2,73	2,74	2,62	2,69
2,67	2,68	2,72	2,75	2,73	2,71	2,61	2,69	2,73	2,62	2,69	2,68	2,66	2,69	2,69
2,69	2,71	2,7	2,66	2,72	2,71	2,68	2,73	2,68	2,71	2,77	2,71	2,66	2,71	2,68
2,67	2,72	2,65	2,71	2,71	2,64	2,64	2,76	2,7	2,65	2,72	2,71	2,63	2,75	2,69
2,71	2,71	2,69	2,59	2,7	2,69	2,68	2,78	2,68	2,74	2,75	2,75	2,68	2,82	2,71
2,64	2,68	2,68	2,64	2,73	2,71	2,63	2,77	2,67	2,66	2,73	2,67	2,62	2,83	2,68
2,65	2,67	2,69	2,68	2,75	2,64	2,75	2,73	2,72	2,76	2,77	2,71	2,67	2,68	2,71
2,68	2,73	2,71	2,67	2,7	2,69	2,65	2,76	2,67	2,66	2,69	2,65	2,66	2,62	2,68
2,67	2,68	2,72	2,65	2,68	2,68	2,72	2,71	2,68	2,66	2,69	2,66	2,72	2,72	2,71
2,64	2,84	2,68	2,68	2,71	2,67	2,69	2,73	2,66				2,7	2,71	2,71
2,65	2,72	2,65										2,69	2,59	2,73

Çizelge A.11: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Su Emme Oranları (%).

1. Bölge			2. Bölge			3. Bölge			4. Bölge			5. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
1,68	0,41	0,28	1,18	0,42	0,61	1,28	0,75	0,52	1,29	0,42	0,45	1,32	0,79	0,41
1,24	0,78	0,42	1,52	0,66	0,72	1,66	0,62	0,71	1,51	0,43	0,61	1,67	0,6	0,69
0,95	0,48	0,36	1,28	0,63	0,86	1,52	0,58	0,56	1,22	0,82	0,43	1,59	0,23	0,93
2,15	0,92	1,56	1,63	0,67	0,38	1,59	0,93	0,55	1,35	0,58	0,41	1,38	0,43	0,52
1,09	0,32	0,19	1,26	0,61	0,74	1,24	0,65	0,59	1,25	0,78	0,82	1,52	0,28	0,92
1,65	0,82	0,25	1,51	0,82	0,29	1,28	0,86	0,77	1,53	0,36	0,26	1,53	0,52	0,43
1,32	0,53	0,26	1,52	0,91	0,22	1,27	0,52	0,42	1,43	0,3	0,43	1,24	0,46	0,66
0,92	0,88	0,37	1,26	0,94	0,32	1,62	0,89	0,39	1,52	0,28	0,57	1,44	0,42	0,34
1,62	0,52	0,27	1,35	1,02	0,91	1,25	0,96	0,89	1,68	0,93	0,39	1,36	0,73	0,58
1,44	0,59	0,19	1,24	0,01	0,63	1,44	0,26	0,27	1,29	0,83	0,49	1,46	0,46	0,28
2,01	0,28	0,66	1,28	0,59	0,59	1,52	0,99	0,63	1,55	0,78	0,13	1,33	0,88	0,55
1,15	1,03	0,65	1,63	0,87	0,63	1,29	0,82	0,29	1,62	0,73	0,71	1,64	0,56	0,73
0,84	0,45	0,32	1,24	0,42	0,68	1,31	0,53	0,29	1,37	0,58	0,62	1,47	0,73	0,63
2,31	0,39	0,28	1,19	1,26	0,34	1,52	0,44	0,39	1,28	0,92	0,53	1,52	0,46	0,51
1,24	0,83	0,42	1,24	0,86	0,88	1,41	0,8	1,05	1,41	1,07	0,37	1,53	1,09	0,75
1,56	0,89	0,61	1,31	0,89	0,29	1,58	0,58	0,43	1,34	0,82	0,51	1,25	0,32	0,39
1,51	0,28	0,28	1,55	0,18	0,18	1,26	0,55	0,29	1,47	0,78	0,35	1,33	0,73	0,31
1,31	0,53	0,53	1,28	0,17	0,66	1,53	0,92	0,86	1,52	0,4	0,63	1,43	0,76	0,61
1,37	1,06	0,24	1,64	0,83	0,72	1,38	0,82	0,42	1,39	0,32	0,29	1,53	0,51	0,42
1,72	0,85	0,19	1,58	0,64	0,35	1,44	0,42	0,32	1,54	0,76	0,63	1,55	0,26	0,82
1,05	0,95	0,71	1,61	0,82	0,86	1,42	0,67	0,26	1,26	0,55	0,67	1,56	0,38	0,61
0,92	0,38	0,62	1,24	0,59	0,39	1,71	1,23	0,82	1,43	0,78	0,77	1,48	0,42	0,39
1,21	0,65	0,29	1,26	0,62	0,59	1,55	0,54	0,59	1,62	0,65	0,29	1,53	0,46	0,43
1,32	0,93	0,24	1,38	0,92	0,84	1,29	0,78	0,74	1,33	0,79	0,61	1,52	0,76	0,58
1,51	1,06	0,47	1,36	0,78	0,33	1,63	0,56	0,47	1,25	0,81	0,28	1,48	0,78	0,32
1,32	0,35	0,61	1,29	1,32	0,32	1,34	0,76	0,45	1,48	0,76	0,44	1,42	0,73	0,48
1,51	0,86	0,28	1,24	0,73	0,29	1,28	0,48	0,66	1,62	0,59	0,38	1,62	0,68	0,65
1,42	0,35	0,98	1,53	0,92	0,32	1,51	0,8	0,35	1,23	0,82	0,51	1,53	0,72	0,76
1,46	0,42	0,61	1,13	0,92	0,83	1,44	0,73	0,63	1,62	0,73	0,39			
1,45	0,62	0,28	1,19	0,78	0,25	1,24	0,3	0,45	1,51	0,95	0,88			
1,26	1,09	0,53	1,53	1,02	0,71	1,18	0,35	0,29	1,29	0,62	0,29			
1,18	1,12	0,24	1,52	0,82	0,63	1,34	0,36	0,82	1,52	0,89	0,63			
1,32	0,18	0,19	1,41	0,55	0,88	1,26	1,05	0,66	1,53	0,69	0,28			
1,28	1,07	0,62	1,72	0,43	0,52	1,28	0,71	0,33	1,44	0,83	0,36			
1,38	0,75	0,74	1,52	0,19	0,48	1,43	0,73	0,53	1,73	1,03	0,26			
1,52	0,68	0,29	1,42	0,32	0,77									

Çizelge A.12: KK-1, K-1 ve K-2 numunelerine ait Su Emme Oranları (%).

6. Bölge			7. Bölge			8. Bölge			9. Bölge			10. Bölge		
KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2	KK-1	K-1	K-2
1,32	0,29	0,43	1,32	0,26	0,71	1,73	0,81	0,81	1,23	0,99	0,96	1,29	0,68	0,53
1,56	0,46	0,33	1,53	0,66	0,62	1,52	0,24	0,75	1,28	1,05	0,43	1,56	0,81	0,42
1,19	0,28	0,44	1,25	0,68	0,31	1,57	0,19	0,39	1,52	0,84	0,85	1,58	0,72	0,82
1,24	0,38	0,68	1,66	0,82	0,29	1,42	0,36	0,62	1,49	0,86	0,36	1,64	0,65	0,51
1,41	0,19	0,36	1,53	0,88	0,51	1,59	0,42	0,43	1,43	0,35	0,92	1,67	0,82	0,35
1,28	0,23	0,49	1,52	0,93	0,35	1,57	0,42	0,53	1,55	0,98	0,82	1,61	0,31	0,45
1,43	0,78	0,73	1,68	0,71	0,49	1,54	0,98	0,58	1,24	0,91	0,72	1,39	0,41	0,68
1,44	0,82	0,49	1,36	0,8	0,62	1,39	0,72	0,42	1,52	0,72	0,61	1,46	0,36	0,69
1,52	0,88	0,88	1,61	0,81	0,23	1,81	0,38	0,28	1,36	0,53	0,42	1,48	0,29	0,25
1,18	1,26	0,39	1,53	0,79	0,72	1,42	0,28	0,53	1,18	0,72	0,51	1,29	0,71	0,83
1,62	1,05	0,52	1,49	0,96	0,38	1,36	0,84	0,73	0,68	0,19	0,38	1,66	0,46	0,53
1,66	0,95	0,61	1,63	0,81	0,57	1,28	0,81	0,51	1,53	0,19	0,42	1,53	0,28	0,46
1,73	0,98	0,76	1,59	0,99	0,33	1,46	0,86	0,93	1,29	0,71	0,62	1,54	0,95	0,45
1,52	0,38	0,83	1,48	0,9	0,42	1,38	0,96	0,41	1,24	1,02	0,53	1,28	0,43	0,25
1,49	1,06	0,45	1,54	0,93	0,87	1,34	0,94	0,71	1,26	0,81	0,55	1,63	0,43	0,38
1,39	0,61	0,92	1,62	1,24	0,76	1,72	0,86	0,64	1,28	0,92	0,28	1,52	0,41	0,68
1,34	0,88	0,44	1,29	0,19	0,58	1,38	0,39	0,28	1,18	0,86	0,42	1,41	0,27	0,49
1,62	0,92	0,61	1,18	0,36	0,45	1,25	0,3	0,62	1,69	0,35	0,35	1,29	0,83	0,35
1,55	0,67	0,65	1,23	0,44	0,39	1,51	0,4	0,45	1,53	0,82	0,62	1,58	0,84	0,62
1,49	0,82	0,29	1,37	0,4	0,41	1,39	0,71	0,28	1,29	0,41	0,72	1,53	0,84	0,42
1,63	0,82	0,43	1,43	0,72	0,77	1,53	0,89	0,65	1,28	0,32	0,47	1,28	1,03	0,55
1,66	0,76	0,83	1,25	0,93	0,19	1,54	0,81	0,36	1,29	0,83	0,58	1,53	0,37	0,42
1,43	0,88	0,82	1,54	0,78	0,59	1,53	0,76	0,25	1,63	0,79	0,62	1,27	0,56	0,68
1,59	0,91	0,71	1,39	0,81	0,36	1,54	0,26	0,53	1,38	0,69	0,83	1,24	0,81	0,53
1,55	0,79	0,51	1,52	0,71	0,43	1,53	0,91	0,94	1,54	0,81	0,46	1,35	0,42	0,52
1,39	0,72	0,28	1,64	0,88	0,77	1,62	0,69	0,68	1,27	0,46	0,34	1,37	0,61	0,33
1,35	0,89	0,44	1,35	0,72	0,68	1,44	0,71	0,62	1,29	0,78	0,45	1,37	0,59	0,31
1,36	0,91	0,49	1,38	0,46	0,88	1,28	0,68	0,74	1,32	0,53	0,55	1,41	0,39	0,29
1,52	0,68	0,52	1,44	0,83	0,32	1,29	0,48	0,76	1,28	0,89	0,42	1,44	0,31	0,55
1,55	0,19	0,64	1,52	0,78	0,52	1,65	0,29	0,52	1,35	0,92	0,62	1,29	0,59	0,58
1,54	0,18	0,24	1,56	0,82	0,42	1,38	0,41	0,38				1,53	0,32	0,42
1,35	0,29	0,19										1,27	1,05	0,95
												1,38	0,86	0,82
												1,42	0,75	0,72
												1,42	1,07	0,43

Çizelge A.13: K-2 numunelerine ait Los Angeles Değerleri (%).

1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge	10. Bölge
21,7	15,3	17,6	21,8	16,2	21,7	18,2	13,9	18,5	22,1
19,7	18,9	19,4	18,9	19,2	19,8	16,7	17,2	17,8	25,1
18,2	23,8	21,5	19,6	19,6	18,7	15,2	17,2	17,3	19,8
26,3	21,2	22,6	15,2	17,6	21,3	20,6	18,7	20,9	20,3
15,6	18,2	20,8	16,9	18,2	23,4	18,2	19,1	14,5	16,7
18,3	14,6	27,2	21,7	23,6	19,7	20,9	18,3	21,5	17,5
24,5	18,3	22,6	19,2	25,3	21,8	22,3	23,5	18,9	22,5
22,3	26,3	19,5	23,3	19,3	18,3	21,5	26,2	17,6	18,3
22,5	29,5	24,1	26,5	21,3	19,1	16,2	24,3	16,3	19,2
29,1	26,4	28,5	23,9	17,8	15,3	17,6	20,3	25,3	18,5
16,2	27,5	21,3	15,6	18,6	22,5	26,5	21,9	18,2	24,6
25,3	13,5	25,6	16,2	20,5	15,9	24,8	13,9	20,3	24,5
17,6	18,2	18,2	17,8	18,9	14,6	16,5	13,8	22,6	17,8
21,8	14,6	17,9	22,1	21,8	18,3	13,2	26,5	24,3	20,4
29,5	19,2	21,6	20,5	23,5	20,6	21,4	21,3	19,5	21,6
26,5	18,5	23,8	22,1	20,4	17,6	16,5	19,8	18,6	19,8
23,1	17,2	20,5	22,9	17,8	18,6	17,2	20,6	16,2	16,4
24,3	15,9	19,1	21,3	16,2	25,4	19	19,2	19,8	15,5
28,6	16,2	18,3	18,8	22,5	19,3	16,2	18,6	20,4	23,9
25,1	18,5	22,4	21,3	20,8	22,1	23,5	16,7	19,3	28,4
22,5	16,9	16,8	16,5	21,6	21,3	24,6	20,3	20,1	18,2
20,3	22,5	18,2	19,2	22,6	16,8	28,5	24,5	19,6	20,4
13,5	16,5	21,3	15,2	23,5	20,5	25,4	19,8	16,2	23,5
16,5	19,5	20,4	18,6	17,8	17,9	19,2	19,3	15,6	18,7
25,2	23,5	20,2	22,6	14,2	19,3	16,8	22,6	18,2	16,7
23,2	19,5	23,9	19,2	18,2	16,5	20,6	17,5	22,1	19,2
24,6	25,6	17,2	14,6	26,5	19,6	22,5	14,9	19,3	18,6
21,6	28,4	21,9	21,9	25,8	25,8	23,5	17,6	19,2	19,4
28,3	22,5	17,3	26,5		18,3	22,1	22,8	26,3	14,5
13,1	16,5	20,1	28,3		20,4	20,9	24,6	20,3	22,6
15,2	14,9	23,6	24,1		20,9	16,4	20,9		20,5
19,6	25,6	19,9	22,1		17,4				16,9
25,6	23,5	13,9	21,5						16,2
22,3	22,8	18,2	15,8						24,3
25,3	22,9	23,5	19,2						19,3
27,3	25,4								

Çizelge A.14: 1,2,3,4 ve 5. Bölgere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.

1. Bölge		2. Bölge		3. Bölge		4. Bölge		5. Bölge	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
32	43.2	28.4	39.1	32.6	43.6	33.2	42.7	33.22	44.26
30.3	42.4	26.4	43.1	35.6	45	29.8	39.9	26.77	38.68
27.2	36.4	36	42.7	32.3	44.4	32.6	43.1	36.25	43.36
26.8	37.1	32.9	44	31.6	43.4	28.2	37.3	35.23	52.2
30.5	42.5	32.4	41.8	29.5	43.1	32.1	43.6	36.35	43.24
31.1	41.9	32	43.8	33.5	45.1	27.9	37.1	27.96	42.6
30.3	40.1	31.1	41.8	32.5	43.8	32	41.9	25.55	36.66
29.2	38	27.2	36.3	32	43	31.3	41.2	30.22	47.22
30.1	37.6	27	36.6	31.6	43.9	31.2	44	30.82	47.78
31.3	42.7	31.1	42.1	30.8	42.4	31.2	42.4	29.28	46.25
29.9	38.4	31	42.1	32.6	44.3	35.8	44.3	26.2	37.59
28.6	40.6	31	39.9	33	43.6	33.1	43.9	29.58	37.08
32.1	38.6	28.9	38.7	33.5	42	34.8	45	32.18	47.37
28.3	38	30.4	37.8	28.5	39.9	32	44	33.85	49.62
30.3	40	31.9	43.2	32.5	42.9	31.5	43.3	26.86	40.75
28.4	37.4	30.1	38.5	27.6	37.7	28	42.9	29.68	43.98
26.3	37.4	28.1	40.4	31.5	43.6	32.8	43.9	30	44.82
26.5	38.4	30	38.9	27.7	36.9	32.4	43.9	31.98	44.65
27.4	39.1	28.8	38.4	31.6	41.8	32.2	43.4	30.54	42.43
27.2	43.5	30.6	40.5	31.2	41.4	32	44.2	28.87	45.05
36.8	42.6	28.5	37.2	31.7	43.9	31.1	42.2	30.63	37.84
32.6	43.5	25.9	37.6	31.1	42.1	32.3	44.3	34.5	43.48
32	41.4	26.7	38.1	34.25	44.5	33.4	43.9	31.5	44.05
31.3	43.3	27.6	39.5	33	44	33.3	43.1	33.4	45.3
30.7	41.6	26.5	43.4	35.4	44.8	29.6	40.1	34.5	44.05
27.1	36.3	35.4	43	31.7	44.6	32.9	43.4	28.05	43
27.1	36.5	32.8	43.8	31.6	43.5	34.4	44.15	29.3	42.56
31.2	41.7	31.9	41.3	28.1	42.7	32.2	43.38	28.77	44.91
30.9	42.2	27.3	37.3	32.6	43.7	31.1	46.65		
30.8	39.9	31.6	43.8	32.7	43.9	33.9	45.34		
29.1	38.2	27.2	37.2	32.1	43.7	28.89	45.6		
28.3	37.7	31.9	41.3	31.9	44.3	34.5	50.4		
32.7	43.3	30.9	41	31.1	42.6	29.2	45.79		
29.6	37.7	31.9	43.5	32.7	44.5	29.02	38.64		

Çizelge A.15: 6,7,8,9 ve 10. Bölgere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.

6. Bölge		7. Bölge		8. Bölge		9. Bölge		10. Bölge	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
30.3	40.22	29.67	42.62	29.89	41.37	27.84	38.26	28.16	38.54
31.99	47.67	26.14	40.14	28.22	41.08	28.14	38.64	28.48	38.86
35.32	43.74	32.61	42.6	30.82	39.68	28.84	38.67	29.26	38.77
25.93	37.46	30.74	41.79	28.24	38.3	29.14	38.56	29.32	38.52
28.36	43.51	32.53	38.94	29.71	38.72	29.14	38.64	29.26	38.72
34.53	44	28.77	38.84	27.34	35.26	29.22	39.13	29.36	38.94
35.56	42.76	30.22	42.91	29.04	39.48	29.34	38.84	29.62	38.75
27.42	42.72	30.34	41.87	28.18	39.48	28.16	39.26	28.37	38.44
24.76	37.24	26.01	40.58	27.53	39.14	31.67	42.27	30.99	40.04
31.85	45.2	31.44	39.44	29.81	41.85	28.98	39.36	27.85	38.82
31.77	46.76	29.37	38.97	29.2	39.14	28.92	40.46	27.52	38.72
30.78	42.6	29.13	39.35	30.54	40.31	27.83	39.56	29.2	38.56
26.92	36.89	27.2	36.9	27.67	39.34	28.16	39.18	29.39	40.4
29.75	39.68	28.68	39.06	27.74	39.06	27.84	39.02	28.86	38.52
33.09	44.1	28.62	39.34	27.79	39.24	27.66	39.3	28.16	38.22
33	42.6	29.2	39.56	27.28	39.16	26.22	39.88	27.24	42.35
26.69	39.75	28.96	39.13	29.07	40.04	27.88	39.42	27.14	38.29
28.95	41.67	26.55	41.45	28.84	39.14	28.56	38.68	28.76	39.83
30.25	44.52	27.34	36.8	28.32	38.54	30.01	39.6	29.82	38.75
35.17	42.86	23.92	38.06	28.76	40.62	28.32	38.84	28.14	37.88
29.73	42.93	31.54	40.97	28.68	38.32	28.88	39.68	30.14	39.22
29.22	44.02	26.78	38.31	28.74	39.58	27.32	39.1	28.94	38.66
29.32	38.23	31	44.1	27.94	38.82	29.76	39.23	31.21	39.82
28.96	40.74	34.4	42.86	27.92	38.94	28.19	38.76	28.35	39.04
29.55	41.66	29.95	41.86	27.2	38.68	28.44	42.54	27.68	38.88
28.97	40.16	26.35	39.76	28.18	39.64	27.88	37.58	28.82	38.62
26.78	38.26	32.5	41.85	27.68	37.52	27.68	38.24	28.73	40.62
24.69	37.55	30.22	42.33	27.44	37.9	31.32	38.96	29.2	38.76
34.35	40.41	32.08	40.09	31.08	38.82	28.25	38.44	27.94	37.86
27.53	39.74	27.13	36.87	28.84	38.62	28.02	39.05	27.68	40.9
34.1	44.99	31.67	44.87	27.68	38.66			27.26	37.74
33.96	43.24							28.52	39.91
								29.7	39.73
								28.36	38.14
								30.48	39.46

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Okan ÖZBAKIR
Doğum Yeri ve Tarihi : Erzurum 22/05/1973
E-Posta : okanozbakir@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1994 İTÜ, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 1997, İTÜ, Maden Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR:

- **Özbakır, O.** Nasuf, S.E. Bilgili, E. 2011. Estimation Of The Concrete Strength Setting Off From The Physical Properties Of The Aggregates By Artificial Neural Network And Linear Regression Method And Comparison Of The Results. *Engineerig Symposium June 17-20, 2011, Iashe, Romania*.
- **Özbakır, O.** Nasuf, S.E. 2015. Agregaların Fiziksel Özelliklerinden Yola Çıkılarak Beton Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları İle Kestirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 15(3).
- **Özbakır, O.** Nasuf, S.E. 2009, Avrupa Birliği Ülkelerinde Agrega Üretimi ve Madencilik Mevzuatı 5. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Eylül 21-24, 2009 İstanbul, Türkiye*.