



**HARÇLARIN BASINÇ DAYANIMLARININ
MİKRODALGA KÜR YÖNTEMİ
VE YAPAY SİNİR AĞLARI
KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ
OKAY YILDIZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
Dr. Öğr. Üyesi Şahin SÖZEN
Aralık - 2019
Her hakkı saklıdır**

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARÇLARIN BASINÇ DAYANIMLARININ MİKRODALGA KÜR
YÖNTEMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİN
EDİLMESİ

OKAY YILDIZ

TOKAT
Aralık - 2019

Her hakkı saklıdır

Okay YILDIZ tarafından hazırlanan ‘‘Harçların Basınç Dayanımlarının Mikrodalga Kr Yöntemi ve Yapay Sınır Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi’’ adlı tez çalışmasının savunma sınavı 22 KASIM 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İNŞAAT MüHENDİSLİğİ ANA BİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi şahin SÖZEN

Şahin Sözen

ye
Doç. Dr. Varol KOÇ

Varol Koç

ye
Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ

Murat avuş

ONAY

Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Okay YILDIZ

5 Aralık 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARÇLARIN BASINÇ DAYANIMLARININ MİKRODALGA KÜR YÖNTEMİ VE YAPAY SINIR AĞLARI KULLANILARAK TAHMİN EDİLMESİ

OKAY YILDIZ

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞAHİN SÖZEN)

Beton, günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Betonun en önemli mekanik özelliği olan basınç dayanımı, üretiminden 28 gün sonra yapılan deneylerle belirlenmektedir. Şartnamelerde betonun kalitesini ve sınıfını belirleyen basınç dayanımının bu kadar geç öğrenilmesi önemli bir sorundur. Betonun basınç dayanımının, erken dayanım değerlerinden yararlanılarak önceden tahmin edilmesi mümkündür. Bu çalışmada mikrodalga ile hızlandırılmış kür uygulanmış harç numunelerinden elde edilen deney verileri kullanılarak, normal kür koşullarındaki numunelerin basınç dayanımlarını tahmin edecek yapay sinir ağı (YSA) modeli ve bu modelin etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. İki farklı çimento çeşidi kullanılarak mineral katkı (uçucu kül ve silis dumanı) ve katkısız, kimyasal katkı (akışkanlaştırıcı) ve katkısız olmak üzere, farklı karışım oranlarında hazırlanmış 46 adet harç numunesine, mikrodalga ve normal kür uygulanmıştır. Mikrodalga (MD) kür uygulanan numunelerde, ağırlık ölçümü, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. YSA çalışmalarında, MD ile kürlenmiş deney örneklerinden elde edilen veriler giriş, normal kür edilmiş numunelerden elde edilen 28 günlük basınç dayanımı çıkış olacak şekilde düzenlenmiştir. YSA'nın en uygun ağ topolojisinin bulunabilmesi amacıyla, gizli katmandaki nöron sayısı 1'den 50'ye kadar birer artırılarak eğitimler gerçekleştirilmiştir. Eğitim için Levenberg-Marquard (LM), Ölçeklendirilmiş Eşlenik Gradyant (SCG) ve Bayes Düzenleme (BR) geri yayılım algoritmaları kullanılmıştır. Her üç eğitim algoritması için en uygun YSA yapısı ayrı ayrı araştırılmıştır. BR algoritması ile eğitilen, gizli katmanında 3 nöron bulunan ağın, 0.9149 regresyon (R) değeri ile diğerlerine göre en başarılı ağ olarak tespit edildiği ifade edilmelidir.

2019, 54 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Basınç Dayanımı, Yapay Sinir Ağları, Mikrodalga Kür

ABSTRACT

MASTER THESIS

ESTIMATION OF THE COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTARS USING MICROWAVE CURING METHOD AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

OKAY YILDIZ

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:)ASST. PROF. DR. ŞAHİN SÖZEN

Concrete is the most widely used building material today. Compressive strength, which is the most important mechanical property of concrete, is determined by experiments conducted 28 days after its production. In the specifications, it is an important problem to learn the compressive strength that determines the quality and class of concrete so late. It is possible to estimate the compressive strength of concrete by using early strength values. In this study, it is aimed to evaluate the artificial neural network (ANN) model and its effectiveness which can predict the compressive strength of samples under normal curing conditions using experimental data obtained from mortar samples cured by microwave. Microwave and normal curing were applied to 46 mortar samples prepared in different mixing ratios, with or without mineral additives (fly ash and silica fume), and with or without chemical additives (plasticizers), using two different cement types. Microwave (MD) cured samples were subjected to the weight measurement, ultrasonic pulse velocity, bending strength and compressive strength tests. In the study of artificial neural networks, the data obtained from the MD cured test samples were arranged as the input data, and the 28 days compressive strengths obtained from normally cured samples were assigned as output data. In order to find the optimal network topology of ANN, training was carried out by increasing the number of neurons in the hidden layer from 1 to 50. Levenberg-Marquard (LM), Scaled Conjugate Gradient (SCG) and Bayesian Regulation (BR) backpropagation algorithms were used for training. The optimal ANN structure for each of the three training algorithms was investigated separately. It should be noted that the neural network with 3 neurons in its hidden layer, which was trained with the BR algorithm was identified as the most successful network with the 0.9149 correlation (R) value.

2019, 54 PAGES

KEYWORDS: Compressive Strength, ANN, Microwave Curing

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda, yardımları ile çalışmama destek olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Şahin SÖZEN'e, laboratuvar çalışmalarında bilgi ve birikimiyle her konuda yardımcı olan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat Çavuş'a ve jüri üyesi sayın hocam Doç. Dr. Varol Koç'a tezime olan katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Laboratuvar kullanımını için her türlü kolaylığı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin BAŞDEMİR'e ve Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi çalışanlarına teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere malzeme tedarik etmemde yardımcı olan ADOÇİM Tokat çalışanları Taner VAROL ve Okan BAĞLAYAN'a, DRACO Yapı Kimyasalları üretim sorumlusu Rıza SÜKSEL'e ve ETİ Elektrometalurji Antalya tesisi çalışanlarına teşekkür ederim.

Uzun laboratuvar çalışmalarım boyunca bana sabırla yaklaşan, mesleki ve akademik gelişimim için tüm imkan ve desteği sunan değerli çalışma arkadaşlarım PRYM Gayrimenkul Yatırım A.Ş. Yöneticisi İnş. Müh. Mustafa TUNA'ya, Miraç İnşaat Yetkilisi Öbedullah BOZYEL'e ve İnş. Müh. Alper TONBUL'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında olduğu gibi, bu süreçte de beni yalnız bırakmayan ve destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Okay YILDIZ

5 Aralık 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Hızlandırılmış Kür Yöntemleri	3
2.2. Mikrodalga Enerjisi ve Mikrodalga Kür Yöntemi	5
2.2.1. Mikrodalgalar	5
2.2.2. Mikrodalga ile ısıtma teorisi	6
2.2.3. Mikrodalga ile hızlandırılmış kür yöntemi	8
2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
3.1. Numunelerin Üretilmesi	15
3.1.1. Kullanılan malzemeler	16
3.1.2. Numunelerin hazırlanması	19
3.1.3. Mikrodalga ile hızlandırılmış kürün uygulanması	21
3.2. Deneyler	24
3.2.1. Ultrases geçiş hızı deneyi	25
3.2.2. Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri	26
3.3. Yapay Sinir Ağlarının Oluşturulması	27
4. BULGULAR	31
4.1. Mikrodalga Kür ve Normal Kür Basınç Deneyi Sonuçları	33
4.2. Yapay Sinir Ağı Çalışmaları	34
4.2.1. Levenberg-Marquard algoritması ile YSA çalışması	34
4.2.2. Ölçeklendirilmiş eşlenik gradiyant ile YSA çalışması	37
4.2.3. Bayes düzenleme ile YSA çalışması	39
4.2.4. MD giriş kümesi için ağ topolojileri	41
4.2.5. Tüm giriş kümeleri için ağ topolojileri	41
5. SONUÇ	43
6. KAYNAKLAR	46
7. EKLER	49
8. ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

°	Derece
°C	Santigrad derece

Kısaltmalar

Açıklama

BR	“Bayes Düzenleme” geri yayılım algoritması
Ghz	Gigahertz
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
kN	Kilonewton
LM	“Levenberg-Marquard” geri yayılım algoritması
MD	Mikrodalga
MHz	Megahertz
MPa	Megapascal
MSE	Hata kareleri ortalaması
N	Newton
NK	Normal kür
SCG	“Ölçeklendirilmiş Eşlenik Gradyant” geri yayılım algoritması
YSA	Yapay sinir ağları

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrumda mikrodalgalar (Sefil, 2019)	6
Şekil 2.2 MD enerjisi ile ısıtma mekanizmaları (Makul ve ark., 2009)	7
Şekil 2.3 MD – Malzeme etkileşim çeşitleri (İnce, 2012)	8
Şekil 2.4 Sınır Hücresi Çizimi (Zippo, 2011).....	10
Şekil 2.5 Yapay nöron modeli (Hagan ve ark., 1996)	11
Şekil 2.6 Eğitim süresince hatalardaki değişim (Yıldız, 2016)	14
Şekil 3.1 Numunelerin isimlendirilmesinde izlenen yol	15
Şekil 3.2 Hazırlanan numuneler ve oranları	16
Şekil 3.3 Orta hassaslıktaki elektronik terazi.....	19
Şekil 3.4 TS EN 196-1 Standardına uygun karıştırıcı	19
Şekil 3.5 Kullanılan metal kalıplar	20
Şekil 3.6 MD kür için tasarlanan kalıp çizimi	21
Şekil 3.7 MD kür için üretilen HDPE kalıp.....	21
Şekil 3.8 Ev tipi MD fırın	22
Şekil 3.9 Mikrodalga kür için zamanlayıcı cihaz	23
Şekil 3.10 Numuneler için kullanılan kür havuzu	24
Şekil 3.11 Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı	26
Şekil 3.12 Eğilme ve basınç deneyleri için kullanılan elektronik deney presi	27
Şekil 4.1 LM eğitimi için ortalama, en çok ve en az MSE değerleri.....	35
Şekil 4.2 LM algoritması için en iyi ağın eğitim süreci.....	36
Şekil 4.3 LM için en başarılı ağın regresyon grafiği	36
Şekil 4.4 SCG ile eğitilen ağların ortalama, en çok ve en az MSE değerleri	37
Şekil 4.5 SCG algoritması için en iyi ağın eğitim süreci	38
Şekil 4.6 SCG için en başarılı ağın regresyon grafiği.....	38
Şekil 4.7 BR ile eğitilen ağların ortalama, en çok ve en az MSE değerleri.....	39
Şekil 4.8 BR algoritması için en iyi ağın eğitim süreci	40
Şekil 4.9 BR için en başarılı ağın regresyon grafiği	40

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Hızlandırılmış kür yöntemleri gerekleri (TS 3323).....	4
Çizelge 3.1 Kullanılan kumun elek analizi	17
Çizelge 3.2 Silis dumanı kimyasal ve fiziksel özellikleri	18
Çizelge 3.3 Çatalağzı uçucu külü kimyasal analizi (Türker ve ark., 2009).....	18
Çizelge 3.4 MD kür çevrimini belirlemek için yapılan ön deney sonuçları	23
Çizelge 3.5 Giriş kümelerinin isimlendirmesi ve giriş sayıları	28
Çizelge 4.1 Numunelerin deney sonuçları	31
Çizelge 4.1 Numunelerin deney sonuçları (devam).....	32
Çizelge 4.2 MD giriş kümesiyle eğitim algoritmaları için eğitim özellikleri	41
Çizelge 4.3 Giriş kümeleri ve eğitim algoritmaları için en iyi ağ özellikleri	42
Çizelge 5.1 Elde edilen en iyi yapıdaki ağların sonuçları.....	43

1. GİRİŞ

Beton, çimento, agrega, su ve ilave katkı malzemelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen ve hidrasyon adı verilen kimyasal tepkimeler sonucunda yüksek basınç dayanımı kazanan, kompozit bir yapı malzemesidir. Ekonomik olması, şekil verilebilme özelliği, istenilen boyutlarda imalatlara olanak tanınması ve kimyasal etkilere dayanıklı olması gibi özellikleri sayesinde, günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesi olmuştur.

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Basınç dayanımının, betonun diğer mekanik özellikleri ile paralellik gösterdiği bilinmektedir. Betonda kalite denetiminde evrensel bir büyüklük olan basınç dayanımı, betonun sınıflandırılmasında ve betonarme elemanların boyutlandırılmasında temel alınan değerdir. TS 500/T3 (2014) “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” standardına göre basınç dayanımı, standartlara uygun kür koşullarında (20 ± 1 °C, kirece doymuş su içerisinde) saklanmış 28 günlük silindir veya küp numunelerin, TS 3068’e uygun biçimde denenmesiyle elde edilir.

Nitelik değerlendirmesi için de kullanılan basınç dayanımının, üretimden 28 gün sonra elde edilebiliyor olması, uygulamada ciddi sorunlara neden olmaktadır. Betonun yerleştirilmesiyle basınç dayanımının saptanması arasında geçen 28 günlük sürede imalatlar genellikle birbirine bağlantılı olarak devam ettiği için, dayanım değerinin standartları sağlamaması durumunda maddi zararın boyutları artmaktadır. İmalat sırasında alınan ve 7 gün sonra eksenel basınç deneyine tabi tutulan numunelerin sonuçları, betonun kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Ancak, bu 7 günlük süre içinde hidrasyonun önemli bir kısmı tamamlanmakta, dayanım değeri beklenen değerden düşükse müdahale imkânı kalmamaktadır. Bu nedenle üretimden kısa bir süre sonra, betonun basınç dayanımının yeterli doğrulukta tahmin edilebilmesi önemlidir.

Betonun dayanımı, hidrasyon için uygun koşulların sağlanması durumunda zamanla artan bir fonksiyondur. Betonun kürü, hidrasyon için gerekli olan suyun muhafaza

edilmesi ve uygun sıcaklığın sağlanmasıdır (Erdoğan, 2003). Yüksek sıcaklıkta kür koşulları sağlayarak betonun erken yaş dayanımını arttırmak mümkündür (Yang K-H ve ark, 2015). Kaynar su kürü, sıcak su kürü, otojen kür yöntemi, yüksek sıcaklık ve basınç yöntemi, TS3323 (2012) ile standartlaştırılmış hızlandırılmış kür yöntemleridir. Bu kür yöntemlerinin, 28 günlük basınç dayanımı tahmininde kullanılmasında en önemli dezavantajı, basınç dayanımı değerlerine 24 saatten uzun sürelerde ulaşılmasıdır.

Mikrodalga (MD) kür yöntemi, son yıllarda alternatif bir hızlandırılmış kür yöntemi olarak araştırılmaktadır. MD kür yöntemi ile diğer yöntemlere göre daha homojen ısınma sağlanabilmekte, 4-8 saat gibi kısa sürelerde alınan erken dayanım değerleri ile betonun ileri yaş basınç dayanımı değerleri tahmin edilebilmektedir.

Yapay Sinir Ağları (YSA), yapay zekâ içerisinde araştırılan ve kullanılan önemli bir yöntemdir (Elmas, 2011). Doğal sinir hücreleri arasındaki bağlantı ve iletişimden esinlenerek geliştirilen YSA, beynin karar alma mekanizmasına benzer şekilde çalışan matematiksel modellerdir. Kullanıcı tarafından sisteme girilen veriler, YSA tarafından problemin öğrenilmesinde ve hedeflenen bilgiye ulaşılmasında kullanılır. YSA, regresyon ve tahmin problemlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, iki farklı çimento çeşidi (CEM I 42,5N ve CEM I 42,5R), iki farklı mineral katkı (uçucu kül ve silis dumanı) ve bir adet kimyasal katkının (akışkanlaştırıcı katkı) farklı oranlarda kullanılması ile hazırlanan 46 numuneye normal kür (NK) ve MD ile hızlandırılmış kür uygulanmıştır. Elde edilen değerler ile 28 günlük basınç dayanımını en başarılı şekilde tahmin edebilecek ağ topolojisi araştırılmıştır. Numunelerin hazırlanmasında kolaylık sağlaması amacıyla, beton numuneler ile benzer özellikler gösteren (Leung ve Pheeraphan, 1997) çimento harç numuneleri kullanılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Hızlandırılmış Kür Yöntemleri

Günümüzde artan üretim taleplerinin hızlı ve ekonomik şekilde karşılanabilmesi için, hazır beton üretimi artmış; prefabrikasyon, prekast, tünel kalıp ve benzeri yöntemler geliştirilmiştir. Bu üretim yöntemlerinde, kısa sürede kalıpların sökülmesi ve kalite denetiminin yapılabilmesi için hızlandırılmış kür yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Hızlandırılmış kür yöntemleri, betonun belirli bir oranda erken dayanım kazanmasını ve mümkün olan en kısa zamanda 28 günlük dayanımın deneysel olarak tahmin edilmesini sağlar. Yöntemlerin kullanılabilmesi için, beton deney numunelerinin hızlandırılmış kür ile normal kür dayanım sonuçları arasında bir bağıntı kurulabiliyor olması gerekir (İnce, 2012). Seçilen kür yöntemi ve betonda kullanılan malzemeler ile bu malzemelerin karışım oranlarına özgü çevrim formüllerinden yararlanılarak, 28 günlük basınç dayanım değerleri yaklaşık olarak hesaplanabilir.

Sıcak su kürü, kaynar su kürü, yüksek sıcaklık ve basınç kürü ile otojen kür TS 3323 (2012)'de tanımlanan hızlandırılmış kür yöntemleridir. Bu yöntemlerin gerekleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Yöntemler özet olarak aşağıda açıklanmıştır.

Sıcak su küründe numuneler, üretiminden hemen sonra 35 °C' deki suya yerleştirilir. 23.5 saat sonunda sudan çıkarılır ve 24 saat sonunda deneyler yapılır. Bu yöntemde, işlem sıcaklığı düşük olduğu ve ısınma yavaş gerçekleştiği için beton bünyesi zarar görmemekte, böylece basınç dayanım değerlerinin genel dağılımı düşük olmaktadır. Uygulaması oldukça kolay olmasına rağmen, işlem sıcaklığının düşüklüğü nedeniyle basınç dayanım değerlerinin düşük olması ve yöntemin kür süresinin 24 saatin üzerinde olması, tahminin hassasiyetini ve süresini olumsuz etkilemektedir. Kaynar su küründe numuneler, üretimden 23 saat sonra kaynar suya yerleştirilmekte, 3.5 saat kürden sonra çıkarılıp 28.5 saat sonunda denenmektedirler. Bu yöntemdeki hızlandırılmış dayanımlarla, standart dayanımlar arasındaki farkın az olması, tahmin başarısını olumlu etkilemektedir. Ancak, numunelerin çok yüksek işlem sıcaklığında ani ısınması ve

soğuması nedeniyle, basınç dayanımı dağılımları nispeten yüksek çıktığından, tahminin hassasiyetini düşürmektedir. Hızlandırılmış dayanımların 28.5 saatlik çevrim süresi sonunda elde edilebiliyor olması, yöntemin diğer bir dezavantajıdır (Kurbetçi ve Öztekin, 2004).

Çizelge 2.1 Hızlandırılmış kür yöntemleri gerekleri (TS 3323)

İşlemler	Kalıplar	Dayanımı hızlandırma aracı	Hızlandırılmış kür sıcaklığı (C°)	Hızlandırılmış küre başlama yaşı	Hızlandırılmış kür süresi	Deney anındaki yaş
A- Sıcak su	Tekrar kullanılabilir veya tek kullanımlık	Hidratasyon ısısı	35	Dökümden hemen sonra	23,5 saat ± 30 dakika	24 saat ± 15 dakika
B- Kaynar su	Tekrar kullanılabilir veya tek kullanımlık	Kaynar su	Kaynama derecesi	Dökümden 23 saat ± 30 dakika sonra	3,5 saat ± 5 dakika	28,5 saat ± 15 dakika
C- Otojen	Tek kullanımlık	Hidratasyon ısısı	Betonun, hidratasyon ısısı ile artırılan başlangıç sıcaklığı	Dökümden hemen sonra	48 saat ± 15 dakika	49 saat ± 15 dakika
D- Yüksek sıcaklık ve basınç	Tekrar kullanılabilir	Harici ısıtma ve basınç	150	Dökümden hemen sonra	5 saat ± 5 dakika	5,25 saat ± 5 dakika

Otojen kür yöntemi, hidratasyon sırasında artan sıcaklıkla sertleştirmeyi hızlandırmayı amaçlamaktadır. Numuneler üretimden hemen sonra yalıtımlı özel kaplara alınır. Kür kabında oluşacak en yüksek ve en düşük sıcaklık kaydedilir. 48 saatlik kürün sonunda çıkarılan numuneler 49 saat sonunda denenmektedir. Sonuçların, numunelerin üretimi sırasındaki beton sıcaklığına bağlı olarak değişken olması ve 49 saat gibi uzun bir sürede sonuç alınması önemli dezavantajlarıdır. Yüksek sıcaklık ve basınç yönteminde ise özel bir kür kabine yerleştirilen numuneler 10,3 ± 0,2 MPa basınç ve 149 ± 3°C sıcaklıkta 5 saat süreyle bekletilmekte ve denenmektedir. Yöntemde, yüksek sıcaklık ve basınç altındaki numunelerin iç yapılarında bozulmalar, çatlamlar oluşabilmektedir. Buna bağlı olarak, elde edilen basınç dayanımı değerlerinde değişimler gözlenebilmektedir. Standartlardaki bu hızlandırılmış kür yöntemlerinin, bahsi geçen dezavantajları sebebiyle alternatif kür yöntemleri araştırılmaktadır. Mikrodalga ile hızlandırılmış kür yöntemi de bu alternatif yöntemler arasında incelenmektedir. Bu yöntemi avantajlı kılan başlıca

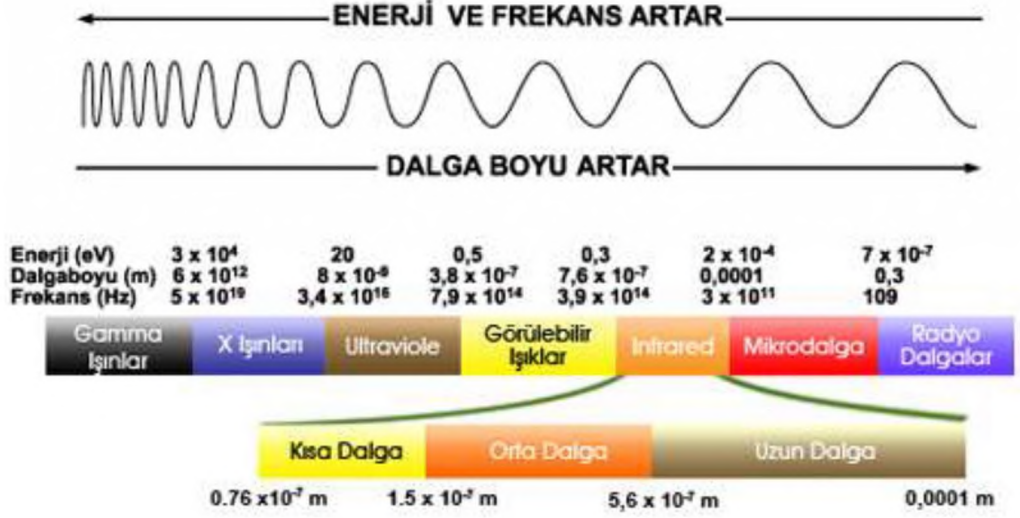
özellikler, homojen bir ısıtma sağlaması, deney süresinin oldukça kısa olması ve farklı boyutlarda numunelerle çalışmaya olanak tanınmasıdır.

2.2. Mikrodalga Enerjisi ve Mikrodalga Kür Yöntemi

2.2.1. Mikrodalgalar

MD teknolojisi 2. Dünya Savaşı sırasında askeri ekipmanların üretimi ve dizaynı üzerine yapılan çalışmalarda keşfedilmiştir. MD teknolojisinin kullanıldığı alanlar; gıda prosesleri (ısıtma, çözme, kalite kontrol), endüstriyel ürünlerin kurutulması (kağıt, odun), kimyasal reaksiyonların hızlandırılması (mikroreaksiyon kontrolü), endüstriyel ürünlerin eritilmesi (cam, lastik, sulu çamur), sinterleme (seramik, maden tozu), plazma üretimi, mineral prosesleri (kaya parçalama, ufalama), atık arıtma ve geri dönüşüm prosesleridir (Gwarek ve Celuch-Marcysiak, 2004).

Mikrodalgalar, 1 mm - 1 m dalga boyu ve 300 MHz - 300 GHz frekans aralığında bulunan, elektromanyetik spektrumun belirli bir kısmını kapsayan iyonize edici olmayan elektromanyetik dalgalardır (Banik ve ark, 2003). İyonize olmayan ışınlar, maddenin moleküler yapısına ve canlı hücrelerin yapısına bir zarar vermezler. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi mikrodalgalar elektromanyetik spektrumda, kızılötesi dalgalar ile radyo dalgaları arasında yer alırlar. Genel olarak ev tipi mikrodalga fırınlarda 2.45 GHz frekansı, endüstriyel proseslerde 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları kullanılmaktadır (Lambert, 1980).



Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrumda mikrodalgalar (Sefil, 2019)

2.2.2. Mikrodalga ile ısıtma teorisi

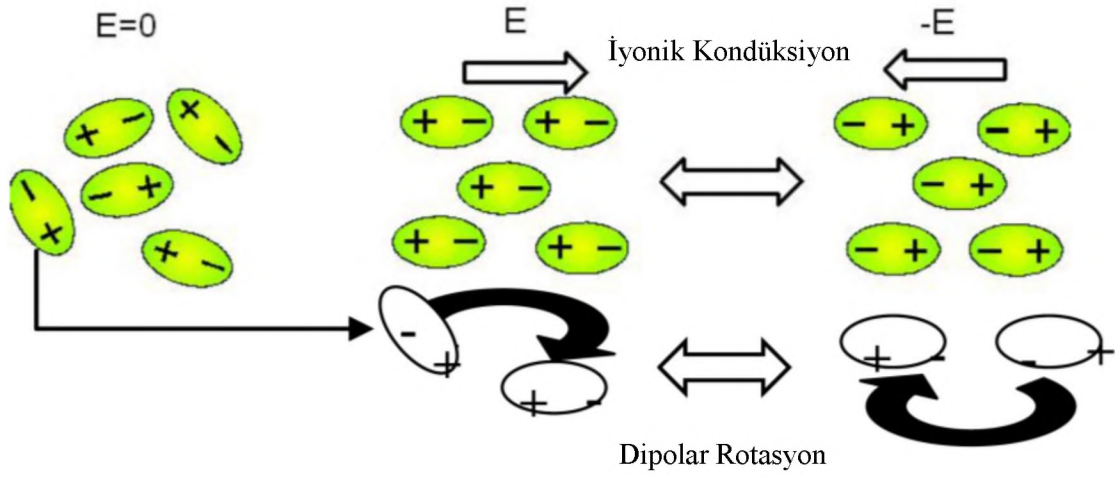
Mikrodalgaların maddelerle etkileşimi, maddenin türüne bağlı olarak üç şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar yansıtma, soğurma ve geçirgenliktir. Elektromanyetik alana maruz kaldıklarında mikrodalgayı soğuran malzemeler ısınır. Maddelerin kimyasal veya fiziksel bağları da mikrodalgayı soğurma derecelerini değiştirmektedir. Malzemelerin MD ile ısınmasında etkili olan dielektrik özellikleri permivite (ϵ) ile ifade edilmektedir (Venkatesh ve Raghavan, 2004).

$$\epsilon = \epsilon' - j \epsilon'' \quad (2.1)$$

Permitivitenin gerçek kısmını oluşturan dielektrik sabiti (ϵ'), materyalin oluşan enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, sanal kısmını oluşturan dielektrik kayıp faktörü (ϵ'') ise materyalin oluşan enerjinin ne kadarını absorbe edip ısıya dönüştürebileceğini belirler. Denklem 2.1'deki j , $\sqrt{-1}$ değerini ifade etmektedir. Mikrodalga enerjisinin bir materyali aşarken uğradığı enerji kaybına, o materyalin kayıp faktörü denilmektedir. Kayıp faktörü yüksek olan malzemeler mikrodalga etkisiyle daha çabuk ısınmaktadır (Konak ve ark., 2009).

MD ile ısıtma, klasik ısıtmadan farklıdır. Klasik ısıtma sistemleri taşınım, iletim ve yayılma gibi standart ısı transferi mekanizmaları ile numuneyi dışarıdan ısıtır (Toraman

ve Depçi, 2007). Mikrodalga proseslerinde ise iyonik kondüksiyon ve dipolar rotasyon olmak üzere iki ısıtma mekanizması vardır (Oliveira ve Franca, 2002). Şekil 2.2’de gösterildiği gibi iyonik kondüksiyonda, elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenler harekete geçer. Dipolar rotasyonda ise uygulanan elektrik alanın genlik değişimine bağlı olarak moleküllerin önce polarize daha sonra depolarize olmaya çalışır (Konak ve ark., 2009). Örneğin, 2450 MHz de çalışan ev tipi mikrodalga fırınlarda elektrik alanın yönü saniyede 2.45 milyar kez değişmektedir (Akdağ, 2007). Bu salınım hareketleri sırasında oluşan sürtünmenin bir sonucu olarak, malzemede sıcaklık artışı gerçekleşmektedir.

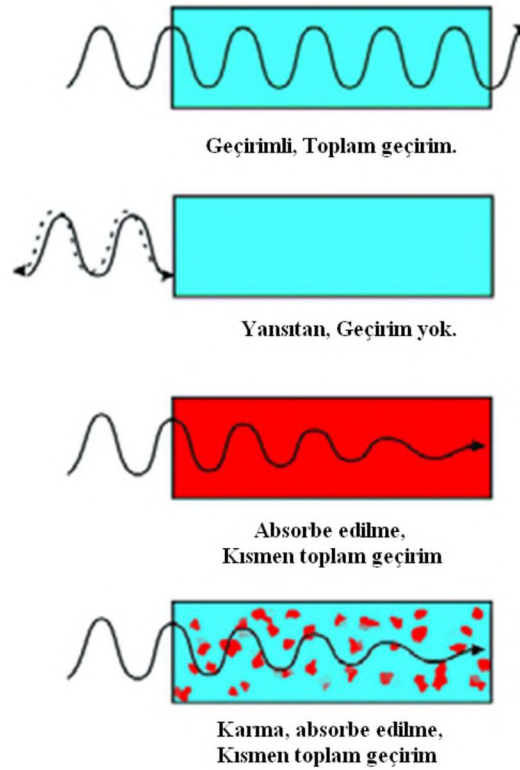


Şekil 2.2 MD enerjisi ile ısıtma mekanizmaları (Makul ve ark., 2009)

MD ısıtmada elektromanyetik enerji, moleküler bazdaki sürtünme neticesinde ısı enerjisine dönüşür. MD’ler materyallerin içine işleyebildiğinden dolayı, hacimsel ısınma sağlayan ısı üretilmiş olur. MD’lerin cisim yüzeyine temasından sonra cisim içerisinde ilerlerken enerjisinin %37’ye düştüğü derinliğe penetrasyon derinliği adı verilmektedir. Penetrasyon derinliği, malzemenin bir özelliği olan ve elektromanyetik alan dalga boyuna göre değişen, zayıflama (attenuation) faktörü ile ters orantılıdır. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir (Vadivambal ve Jayas, 2007).

2.2.3. Mikrodalga ile hızlandırılmış kür yöntemi

Dielektrik özellikleri farklı malzemelere aynı anda MD enerjisi uygulandığında, bu malzemeler enerji kaybı oranı ile orantılı olarak, farklı miktarlarda ısınmaktadır. Bu nedenle, MD'ler malzemelerin seçmeli ısıtılması için kullanılabilir (Das ve ark., 2009). Beton ve harçlar; su, çimento, agrega, kum ve katkıların, belirlenen oranlarda heterojen karışımı ile oluşmaktadır. Bu malzemelerin tamamı dielektrik malzemeler olduğundan, MD enerjisini soğurabilirler (Makul ve ark. 2009). Ancak, dielektrik özellikleri farklı olduğu için MD'lerden farklı oranlarda etkilenirler. Bir malzemenin farklı dielektrik özellikte iki veya daha çok faz içermesi durumunda, Şekil 2.3'de görülen, karma olarak adlandırılabilen dördüncü bir malzeme etkileşimi kategorisi oluşmaktadır (Toraman ve Depçi, 2007).



Şekil 2.3 MD – Malzeme etkileşim çeşitleri (İnce, 2012)

Betonun içerisindeki su, kolaylıkla dipol elektrik yükleri oluşturabildiğinden MD ile ısıtmaya uygundur (Kutbay ve Kuşkonmaz, 2004). MD enerjisinin hacimsel ısıtma avantajı sayesinde numunede hidrasyonun diğer hızlandırılmış kür yöntemlerine göre daha homojen gerçekleşir. Yani hidrasyon süreci, bileşenler birbirlerinin

hidratasyonunu engellemeyecek şekilde, normal seyrine yakındır. Hacimsel ısınan numunede, iç-dış sıcaklık farkından kaynaklı iç gerilmeler oluşmaz. Bütün bunların sonucunda, içyapısı daha kararlı olan numunenin erken yaşlardaki dayanımı ile ileri yaşlardaki dayanımı arasında daha sağlıklı korelasyonlar yapılabilir. Kısacası MD enerjisi ile kısa sürede betonu kür etmek ve sağlıklı sonuçlar almak olasıdır (Uğurlu, 2008).

MD'ler, ev tipi ve endüstriyel fırınlarda, bir anot ve doğrudan ısıtılmış bir katoda sahip magnetron tüpleri ile üretilir. Aynı frekansta üretilen MD'ler, genellikle bir zamanlayıcı sayesinde magnetronun kapatılıp açılmasıyla farklı güçlerde uygulanır. MD kür uygulanacak numunede enerji miktarının doğru seçilmesi gerekmektedir. MD gücü az uygulanırsa hidratasyona etkisi olmazken, çok uygulanırsa suyun aşırı ısınmasına ve hidratasyona katılmadan büyük ölçüde buharlaşmasına neden olur. Uygulanacak MD gücü, ısıtılacak olan numunelerin kütlelerine ve geometrisine göre seçilmelidir.

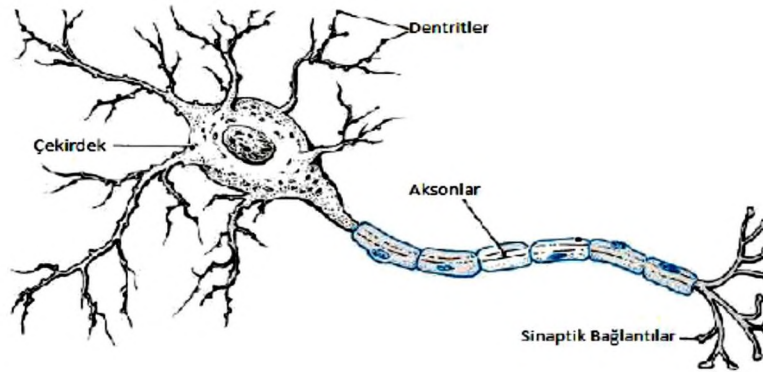
Kür uygulanacak olan numuneler genellikle kalıptan çıkarılabilecek sertliğe ulaşmadığı için MD kür, numune daha kalıptayken uygulanır. Metal malzemeler MD enerjisini yansıttıklarından, kalıp olarak kullanıma uygun değildir. Bu nedenle MD fırınlarda kullanılacak kalıplar, polistiren (Hutchison ve ark., 1991), polietilen (Leung ve Pheeraphan, 1997), cam (Topçu ve Topkara, 2011) ve seramik gibi dielektrik kayıp faktörü düşük, yalıtkan malzemelerden üretilir. Bu malzemelerden üretilen kalıplar MD enerjisinin absorbe edilmeden geçmesini sağladıklarından ve ısınmadıklarından, MD kür ile kullanıma uygundur.

MD etkisindeki numunelerde ısınma, uygulanan MD gücüne ve süreye bağlı olarak tekdüze bir artış şeklinde olmaktadır (Makul ve ark., 2010; Makul ve Agrawal, 2011). Numunenin aşırı ısıtılması, bünyesindeki suyun buharlaşma ile uzaklaşmasına ve aşırı boşluklu bir yapı oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumu önlemek için MD gücü, belirli sürelerde kapat – aç yapılarak numune sıcaklığı istenen seviyelerde tutulur. Kür çevrimi olarak adlandırılan bu yöntemde, kür öncesi bekleme süresi, kür uygulanma ve güç kapalı fırında bekleme süreleri farklılık gösterebilir. En uygun kür çevriminin saptanması için yapılmış çalışmalar mevcuttur (Topçu ve ark., 2008). Ancak kür çevriminin performansı numune bileşimindeki malzemeler ve oranlarına göre farklılık göstermektedir.

Kür süresinin belirlenmesinde başka bir yöntem de sıcaklık kontrollü kür uygulanmasıdır. Numune belirli bir sıcaklığa geldiğinde MD gücü kesilir, istenen sıcaklığa kadar soğuduğunda tekrar başlatılır. MD kür için optimum sıcaklık 40 – 60 °C civarındadır. 80 °C gibi yüksek sıcaklıklar MD kür için uygun değildir (Sohn ve Johnson, 1991).

2.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

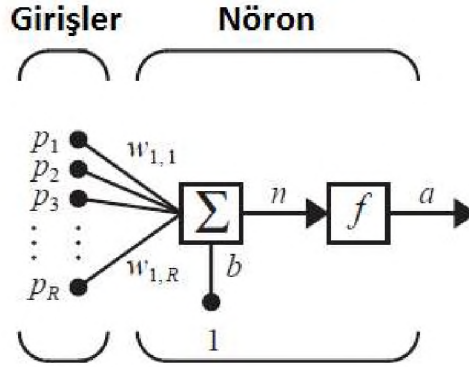
YSA doğal sinir hücrelerinin çalışma prensiplerinden ilham alınarak geliştirilmiş “öğrenebilen” matematiksel modellerdir. YSA kullanılarak lineer veya lineer olmayan regresyon, örüntü tanıma, sınıflandırma, kümeleme ve zaman serisi problemleri çözülebilmektedir (Sağiroğlu ve ark., 2003). Sinir hücrelerin birbiriyle ilişkilerinden esinlenerek geliştirildikleri için YSA olarak adlandırılmışlardır. Ağı oluşturan işlem elemanları, sinir hücrelerine benzediği için “nöron” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.4’de bir nöron hücresi çizimi görülmektedir. Nöronlar, akson ve dentrit denilen bağlantı elemanlarına sahiptirler. Aksonların (çıkış) diğer hücrelerin dentritlerine (giriş) yaptıkları bağlantılara sinaptik bağlantılar denmektedir. Sinirsel sinyaller hücreden hücreye biyokimyasal olarak bu bağlantılar ile aktarılmaktadır.



Şekil 2.4 Sinir Hücresi Çizimi (Zippo, 2011)

Şekil 2.5’de YSA nöron modeli gösterilmiştir. YSA, bu nöron modellerinin birbiri ile bağlantılar yapması ile oluşturulmaktadır. Bu modelin matematiksel gösterimi de Eşitlik 2.2’de verilmiştir. Eşitlikte p girişleri, a ise çıkışı ifade etmektedir. Giriş serileri, w ağırlıkları ile çarpılıp toplanmaktadır. Bu toplam, b eşiği de eklenerek transfer olarak

adlandırılan f fonksiyonuna girmektedir. Fonksiyon sonucu nöronun çıkışı, bir sonraki katmandaki nöron veya nöronların girişidir (Öztemel, 2003). Ağ yapısı ve araştırılan problemin niteliğine göre çeşitli transfer fonksiyonları kullanılmaktadır (Alpaydın, 2010). Sert limit, Simetrik Sert Limit, Lineer, Logaritmik Sigmoid ve Hiperbolik Tanjant Sigmoid fonksiyonları en yaygın kullanılan transfer fonksiyonlarıdır.



Şekil 2.5 Yapay nöron modeli (Hagan ve ark., 1996)

$$a = f\left(\sum_i w_i p_i + b\right) \quad (2.2)$$

Öğrenme, YSA modelinin istenilen çözümü verebilecek kabiliyete gelmesine denilmektedir. Yapay zekâ yöntemleri için danışmalı ve danışmasız öğrenme olarak iki çeşit öğrenme vardır (Alpaydın, 2010). Danışmalı öğrenmede, giriş değerleri için çıkışlar daha önceden elimizdedir. Model ile hesaplanan çıkışların gerçek çıkışlar ile karşılaştırılması ile model eğitilir. Danışmasız öğrenmede eğitim verisinde çıkış değeri yoktur. Olası çıkışlar girişler değerlendirilerek tahmin edilmektedir.

Yapay sinir ağları, ağ yapısı (topolojisi), nöronların bağlantı şekli ve eğitim algoritmaları değerlendirilerek sınıflandırılırlar. Nöron çıkışları, daha önceki katmanlardaki nöronlara da giriş olarak bağlanıyorsa, bu ağlar geri beslemeli ağlar olarak adlandırılırlar. Nöron çıkışları sadece sonraki nöronlara bağlanıyorsa, bunlara da ileri beslemeli ağlar denir.

Ağ topolojisi katman sayısını ve katmanlarda bulunan nöron sayısını ifade etmektedir. YSA içerisinde nöronlar katmanlar halinde bulunmaktadır. Her YSA modelinde, giriş çeşidi kadar nörona sahip bir giriş katmanı ve hesaplanacak çıkış çeşidi kadar nörona

sahip bir çıkış katmanı vardır. Giriş ve çıkış katmanları arasındaki katmanlara ara katman veya gizli katman denir ve katman sayısı denildiğinde bu katmanların sayısından bahsedilmektedir. YSA'lar ara katman açısından tek katmanlı veya çok katmanlı olabilirler. İleri beslemeli ve çok katmanlı ağlar, kaskat ve hiyerarşik olarak iki tür bağlantı yaparlar. Hiyerarşik ağlar sadece kendinden bir sonraki katmana bağlanırken, kaskat ağlar daha sonraki katmanlara da bağlantı yapabilmektedir.

Gizli katman ve gizli katmandaki nöron sayısı YSA'nın başarımını doğrudan etkileyen bir etmendir. İki gizli katmanlı ağlarda nöron sayılarını belirlemek daha karmaşık ve zaman alan bir işlemdir. Bu tip ağlarda işlem yükü artmakta ama daha az nöronla etkili sonuçların alınması da mümkün olmaktadır. İki'den fazla gizli katman, eğitimi çok zor olduğu için kullanışlı olmamaktadır (Hagan ve ark., 1996).

YSA'da öğrenmenin sağlanmasına eğitim denmektedir. Eğitim için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların temel işlevi, en doğru sonucu veren modeli elde etmek için ağırlık katsayılarını belirlemektir. Danışmalı öğrenme için en yaygın eğitim yöntemi geri yayılımdır. Bu yöntemde, eğitim için kullanılan verinin giriş değerleri ağa uygulanarak çıkış hesaplanır. Hesaplanan çıkış ile gerçek çıkışlar arasındaki fark hatayı vermektedir. Nöronların ağırlıkları, hata değerleri kullanılarak hatayı en küçük hale getirecek şekilde geriye doğru hesap edilip, girişler tekrar modele uygulanır. Yeni hesaplanan hata değerleri ile işlem tekrar edilir. Her tekrar bir devir olarak adlandırılmaktadır. Her devirde optimum yapıya biraz daha yaklaşmış olur. YSA eğitiminde hata değeri genel olarak Ortalama Hata Kareleri veya Ortalama Mutlak Hata fonksiyonları ile hesaplanmaktadır. Eğitim algoritmaları bu hata fonksiyonunun türevini kullanarak ağırlık ve eşik değerlerini güncellemektedir.

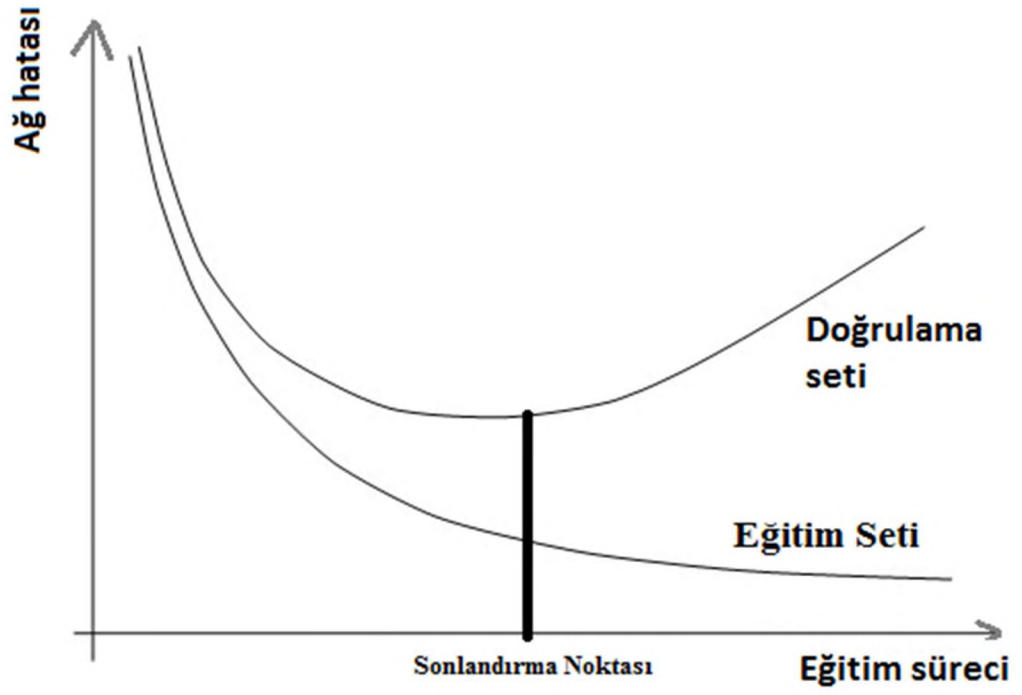
Eğitim algoritmalarındaki temel farklılık, ağırlıkların güncellenme şeklidir. Yaygın olarak kullanılan üç geri yayılım algoritmasının başarılı olduğu bildirilmiştir (Bishop, 1995). Bunlar Levenberg-Marquard Geri Yayılım (Marquardt, 1994), Bayes Düzenleme Geri Yayılım (MacKay, 1992), ve Ölçeklendirilmiş Eşlenik Eğitim Geri Yayılım (Moller, 1993) algoritmalarıdır. Levenberg-Marquard algoritması, lineer olmayan regresyon problemlerinin çözümünde diğerlerinden daha hızlı ve düşük hata oranıyla çalışmaktadır (Hagan ve Menhaj, 1994). Sınıflandırma problemlerinde ise en iyi çözümü

ölçeklendirilmiş eşlenik eğitim geri yayılım algoritması vermektedir (Moller, 1993; Bishop, 1995).

Farklı skalalardaki girişlerin doğrudan ağı uygulanması eğitimi olumsuz etkilediği için girişlerin eğitim öncesinde -1 ve +1 arasına normalizasyonu yapılmaktadır.

YSA'nın sürekli eğitimi bir aşamadan sonra ağı aşırı öğrenme denilen bir duruma getirerek performansını olumsuz etkilemektedir. Bu durum, modelin tamamen eğitim kümesini ezberleyip farklı girişleri tanımamasının sonucudur. Bu nedenle modelin, ezbere gitmeden eğitimin sonlandırılması gerekmektedir. Bazı çalışmalarda eğitim devri belirli bir sayıyla sınırlandırılarak (örneğin 100) ezberin önüne geçilmeye çalışılmıştır (Erentürk ve Erentürk, 2007). Devir sayısına göre sonlandırma eğitimin tam olarak gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin anlaşılmasını engeller. Ezberden sakınarak tam öğrenmeyi sağlamanın en iyi yolu doğrulama yapmaktır (Hagan ve ark., 1996).

Doğrulama yapılabilmesi için gerekli doğrulama seti genelde veri büyüklüğü test seti kadar olacak şekilde rasgele ayrılmaktadır. Eğitimin her devrinde, doğrulama setinin hatası kaydedilmektedir. Eğitim devam ederken bu hata bir önceki devire göre düşmez artış gösterirse buna "doğrulama hatası" denir. Şekil 2.6'da eğitim süresince test ve doğrulama setlerinden alınan hatanın değişimi gösterilmektedir.



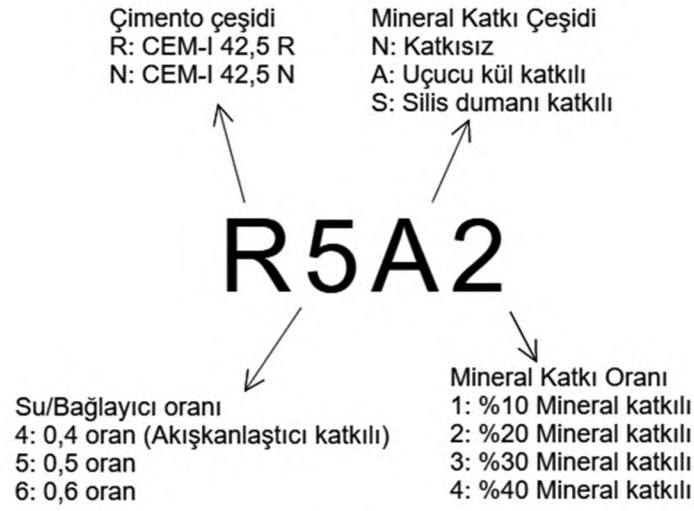
Şekil 2.6 Eğitim süresince hatalardaki değişim (Yıldız, 2016)

Belirli bir sayıda doğrulama hatası üst üste alındığında model ezber durumuna girmeden eğitim sonlandırılır. Doğrulama hatalarından önceki ağ en başarılı ağ olarak seçilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

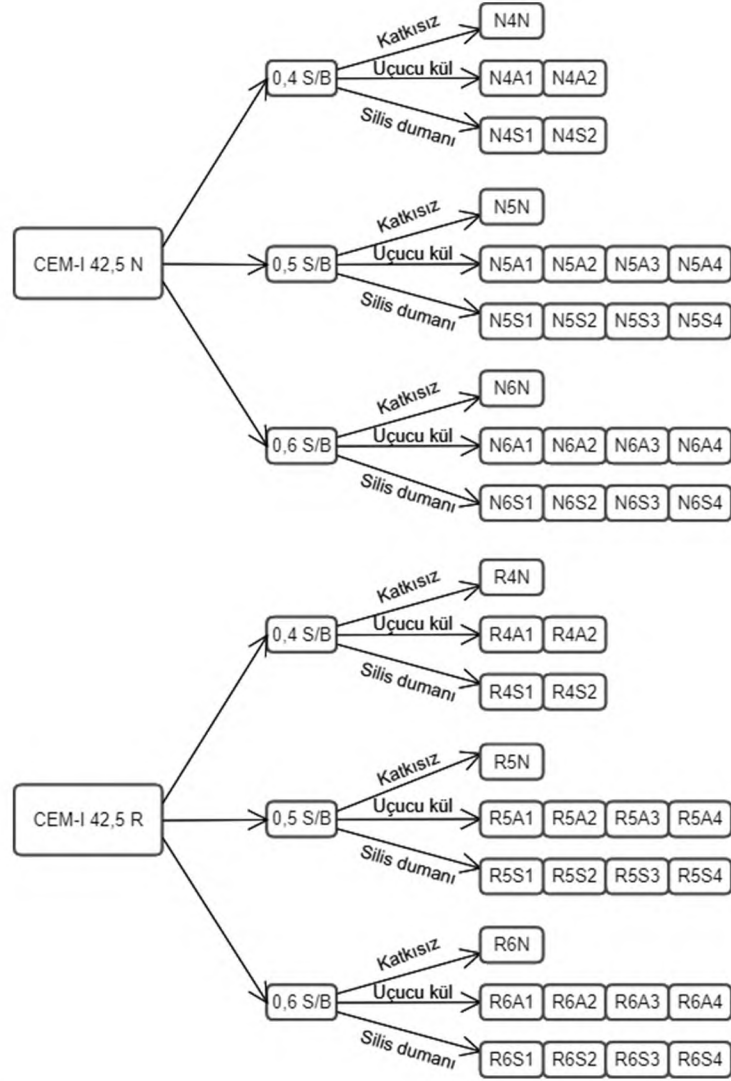
3.1. Numunelerin Üretilmesi

Bu çalışmada TS EN 196-1’de boyut özellikleri verilen 4x4x16 cm prizmatik harç numuneleri kullanılmıştır. İki farklı çimento çeşidi, akışkanlaştırıcı katkı ve iki farklı mineral katkının değişik oranlarda karışıma katılması ile 46 numune üretilmiştir. Numunelerin isimlendirilme yöntemi Şekil 3.1’ de açıklanmıştır.



Şekil 3.1 Numunelerin isimlendirilmesinde izlenen yol

Her bir karışım oranı için biri MD kür, diğeri NK uygulanmak üzere iki farklı numune hazırlanmıştır. Uygulanan küre göre numune isimlendirmesi sonuna MD veya NK kısaltmaları eklenmiştir. Numune isimlendirmesine göre hazırlanan karışımlar ve karışım oranları Şekil 3.2’ deki diyagramda belirtilmiştir.



Şekil 3.2 Hazırlanan numuneler ve oranları

Numunelerin üretiminde kullanılan malzemeler, kalıplar, numunelerin saklanma koşulları ve uygulanan kür yöntemleri bu bölümde açıklanmıştır.

3.1.1. Kullanılan malzemeler

Numune serilerinin hazırlanmasında CEM-I 42,5 N ve CEM-I 42,5 R olmak üzere iki farklı portlant çimentosu çeşidi kullanılmıştır. Mineral katkıların etkilerinin daha iyi görülebilmesi için, ana bileşeninde %95-100 oranında klinker bulunan portlant çimentosu uygundur. CEM-I 42,5 R sınıfındaki çimento Kavçim Çimento Sanayi T.A.Ş.'nin Kavak/Samsun üretim tesisinden, CEM-I 42,5 N sınıfındaki çimento ise Mardin Çimento Sanayi

ve Ticaret A.Ş.'nin Mardin'deki üretim tesisinden 50 kg lık torbalar halinde temin edilmiştir. Çimentolar, laboratuvarında deney için kullanılacakları zamana kadar hava ve nem almayacak şekilde, torbaların içerisinde muhafaza edilmiştir.

Karışım suyu olarak, içilebilir nitelikteki Tokat ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.4 0.5 ve 0.6 olarak seçilmiştir. 0.4 su/bağlayıcı oranı ile üretilen numunelerde akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Karışımlarda, Tokat ili sınırları içerisindeki Ecdar firmasına ait kum ocağından elde edilen 0-3 ince dere kumu kullanılmıştır. Numunelerde bir birim çimento için iki buçuk birim kum kullanılmıştır. Kum için yapılan elek analizi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan kumun elek analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Elekten Gecen (%)	100	96	83	61	19	4	0

Mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı, ETİ Elektrometalurji A.Ş' nin Antalya tesislerinden temin edilmiştir. Ferro siliko krom üretimi sırasında açığa çıkan bir atık olan silis dumanı, özel toz tutucu baca filtreleri ile elde edilmektedir. Kullanılan silis dumanının, üretici firma tarafından belirtilen kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Karışımlarda kullanılan diğer mineral katkı olan uçucu kül, Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali'nden kuru olarak elektro filtrelerle toplanmıştır. Çatalağzı uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un altında olması nedeniyle TS EN 197-1 standardına göre V sınıfına (silissi uçucu kül) girmektedir. Ayrıca ASTM C618 standardına göre SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ değerinin %70'in üzerinde olması ve CaO miktarının %10'dan az olması (%1.46) nedeniyle F sınıfına (düşük kireçli) dâhil olmaktadır. Çatalağzı uçucu külüne ait kimyasal özellikler ve standartların sınır değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Silis dumanı kimyasal ve fiziksel özellikleri

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	Kızdırma Kaybı %	Tayin Edilemeyen %	Çözünmeye n Kalıntı %	Özgül Ağırlık(g/cm ³)
94,94	0,70	0,60	0,83	0,71	0,21	-	1,48	2,16	2,36

Çizelge 3.3 Çatalağzı uçucu külü kimyasal analizi (Türker ve ark., 2009)

Standartlara Uygunluk Sınırları							
Oksit (%)	Uçucu Kül	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618	
			V	W		F	C
SiO ₂	58.75						
Al ₂ O ₃	25.24						
Fe ₂ O ₃	5.76						
S+A+F	89.75				>70.00	>70.00	>50.00
CaO	1.46						
MgO	2.22				<5.00		
SO ₃	0.08	<3.00			<5.00	<5.00	<5.00
K ₂ O	4.05						
Na ₂ O	0.60						
KK	1.12	<5.00	<5.00	<5.00	<10.00	<5.00	<6.00
Cl	0.015	<0.10					
Serb. CaO	0.13	<1.00					
Reak. SiO ₂	34.18	>25.00	>25.00	>25.00			
Reak. CaO	0.65		<10.00	>10.00			

Su/bağlayıcı oranı 0.4 olan tüm numunelerde kimyasal katkı olarak DRACO FLUICON 200 süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Yüksek molekül ağırlıklı, sentetik polimer esaslı akışkanlaştırıcı katkı, %20 - %30 oranında su azaltma özelliğine sahiptir. Harç numuneleri için -üretici firmanın önerisi ile- karışımdaki çimento ağırlığının %2'si oranında, karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır.

3.1.2. Numunelerin hazırlanması

Numunelerin üretiminde kullanılacak malzemeler, karışımdaki miktarlarına göre $\pm 0,5$ gr hassasiyetli elektronik terazide (Şekil 3.3) tartılarak hazırlanmıştır. Harçların karıştırılması Şekil 3.4’de gösterilen mekanik karıştırıcı kullanılarak, TS EN 196-1 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Orta hassaslıktaki elektronik terazi



Şekil 3.4 TS EN 196-1 Standardına uygun karıştırıcı

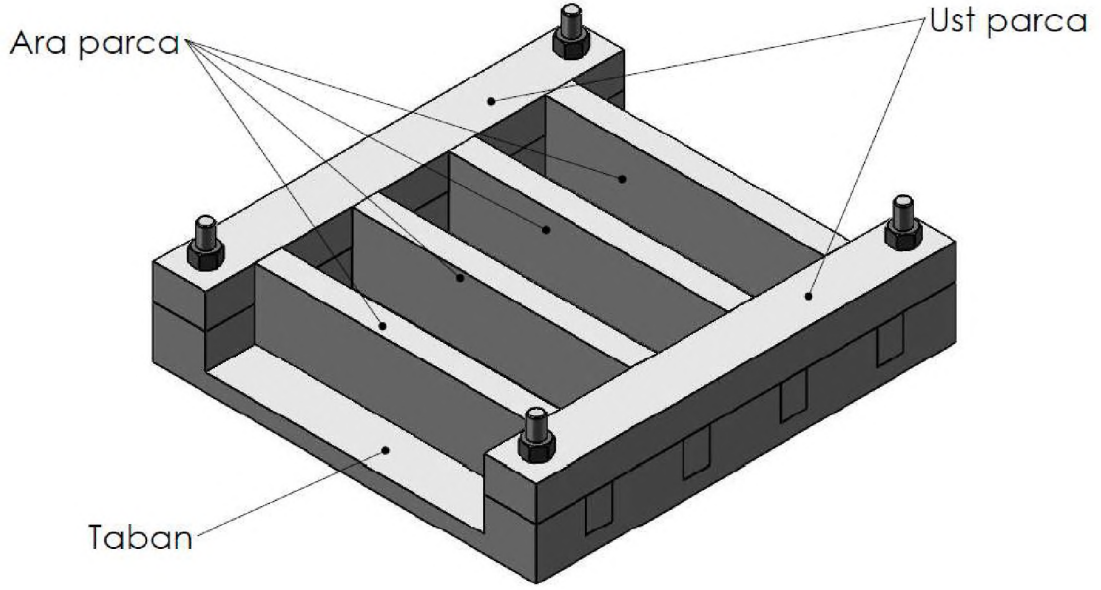
Harç karışımları hazırlandıktan hemen sonra, sarsma tablası üzerindeki kalıp yağı ile yağlanmış kalıpların doldurulmasına başlanmıştır. İlk aşamada kalıpların her üç bölmesi de yarısına kadar doldurulduktan sonra sarsma cihazı çalıştırılmıştır. 0.6 su/bağlayıcı oranına sahip numuneler için 40 kez, 0.5 ve 0.4 su/bağlayıcı oranına sahip numuneler için 60 kez düşürme gerçekleştirildikten sonra sarsma cihazı durdurulmuştur. Ardından numune bölmeleri tamamen doldurularak ilk aşamadaki düşürme sayıları tekrarlanıp kalıp üzerindeki fazla harç, metal sıyırıcı yardımıyla alınmıştır.

Normal koşullarda kür uygulanacak numuneler için Şekil 3.5’de verilen, TS EN 196-1 standardına uygun, üç adet prizma numunenin aynı anda hazırlanabileceği en kesiti 40×40 mm ve uzunluğu 160 mm olan üç yatay bölümden oluşan çelik kalıplar kullanılmıştır.

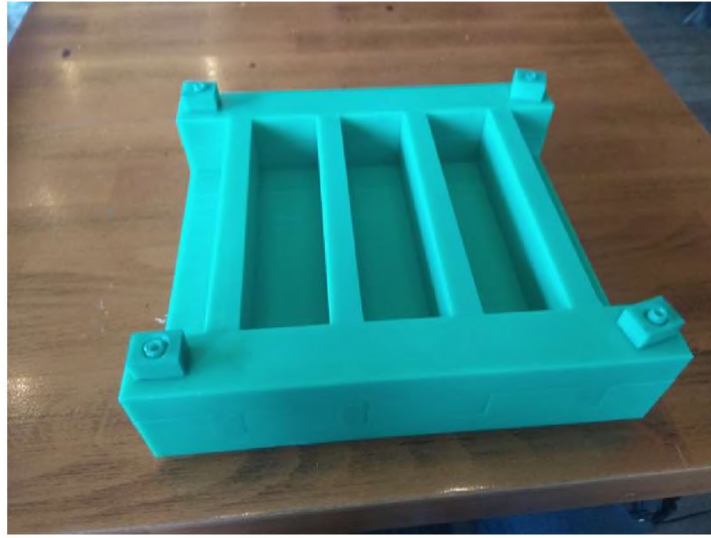


Şekil 3.5 Kullanılan metal kalıplar

MD kür sırasında yansıma yapacağı için metal kalıplar yerine, aynı sayıda ve geometrik özellikte numunelerin üretilebileceği yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kalıplar imal edilmiştir. Solidworks 2018 programı ile tasarlanan ve çizimleri hazırlanan (Şekil 3.6) kalıpların üretiminde, 0.1 mm boyut hassasiyetini sağlayabilmek amacıyla CNC makineler kullanılmıştır. HDPE, 80 °C sıcaklığa kadar uzun süreli çalışma imkânı sağlayan, dielektrik kayıp faktörü düşük, mikrodalga kür için kullanılması uygun bir malzemedir. Ayrıca düşük su emme özelliği ve kaygan dış yapısı nedeniyle kalıbın kolay temizlenebilmesi diğer avantajlarıdır. Kalıplar sökölüp takılabilir şekilde üretildiğinden tekrar kullanıma uygundur. Üretilen kalıplar Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.6 MD kür için tasarlanan kalıp çizimi



Şekil 3.7 MD kür için üretilen HDPE kalıp

3.1.3. Mikrodalga ile hızlandırılmış kürün uygulanması

Çalışmada hızlandırılmış mikrodalga kür için, 900W güce sahip magnetron ile çalışan, 5 farklı güç ayarı bulunan, 34lt iç hacme sahip ev tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır (Şekil 3.8). MD enerjisinin düzgün dağılımını sağlamak için mikrodalga fırında döner tabla kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Ev tipi MD fırın

Zamanlayıcı cihaz, Arduino geliştirme kartı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.9). Güç ünitesine bağlanan röle yardımıyla kullanıcının belirlediği zaman aralıklarında mikrodalga fırının kontrolünü sağlar. İlk açılışta kullanıcının adım sayısını ve her bir adım için çalışma ve bekleme sürelerini cihazın tuş takımını kullanarak girmesi gerekmektedir. Cihaza en fazla 10 adım ve her adım için her biri en fazla 255 dakika olabilecek bir çalışma, bir bekleme süresi kaydedilebilmektedir. Ayrıca istenirse ek bir ön bekleme süresi de belirlenebilir. Adım sayısı, çalışma ve bekleme süreleri programlandıktan sonra mikrodalga fırın bu sürelerle çalışmaktadır. Adım geçişlerinde ve çalışma-bekleme geçişlerinde sesli uyarı veren cihazın üzerindeki LCD ekrandan anlık bulunduğu adım ve kalan süre okunabilmektedir.



Şekil 3.9 Mikrodalga kür için zamanlayıcı cihaz

MD kür uygulanacak olan HDPE kalıp içindeki numuneler, kalıplar doldurulduktan sonra üzerleri naylon poşetle kapatılarak kür çevrimi başlayana kadar (ön bekleme süresince) mikrodalga fırın içerisinde bekletilmiştir.

Uygulanacak olan MD kür çevriminin belirlenmesi için, 1 birim (450gr) CEM-I 42.5 R sınıfı çimento, 0.5 birim su ve 3 birim kumdan üretilen numuneler üzerinde ön deneyler yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelenerek (Leung ve Pheeraphan, 1997; Akdağ, 2007; Topkara, 2009; İnce, 2012) oluşturulan kür çevrimleri ve sonuçları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Ön deneylerin sonuçları ve uygulama kolaylığı nedeniyle 30 dakika ön bekleme süresi, 15 dakika MD kür ve aralarda 10 dakika güç kapalı bekleme olacak şekilde toplam 45 dakika MD kür, tüm numunelere uygulanmıştır. Mineral katkı numunelerin erken dayanım değeri düşük olacağından, deney yaşı 8 saat alınmıştır.

Çizelge 3.4 MD kür çevrimini belirlemek için yapılan ön deney sonuçları

Num. Adı	Ön Bekleme (dakika)	MD Kür Süresi (dakika)	Den. Yaşı (saat)	Basınç Day. (MPa)
MWC1	45	15,15,15-15B*	8	11,04
MWC2	45	20,15,10-15B	8	11,22
MWC3	45	20,15,10-10B	8	11,11
MWC4	45	15,15,15-10B	8	11,49
MWC5	60	15,15,15-10B	8	12,46
MWC6	30	15,15,15-10B	8	12,89

* Ara bekleme süreleri (dakika)

MD kr çevirimi biten numuneler deney zamanına kadar nemli bezle sarılarak plastik torba içerisinde muhafaza edilmiştir.

28 günlük basınç dayanımı belirlenecek olan numuneler üretildikten sonra, 24 saat boyunca nemli ortamda kalıp içerisinde tutulmuştur. Daha sonra kalıptan çıkarılarak, deney zamanına kadar Şekil 3.10'da görülen 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymun su içerisinde bekletilmiştir.



Şekil 3.10 Numuneler için kullanılan kr havuzu

3.2. Deneyler

MD ile hızlandırılmış kr uygulanan numuneler üretimlerinden 8 saat sonra kalıplarından çıkarılmıştır. Kalıptan ıkarılan numuneler ± 0.5 gr hassasiyete sahip terazi ile tartılmış ve

üç prizmatik numunenin ağırlıklarının aritmetik ortalaması numune ağırlığı olarak kaydedilmiştir.

Normal kür uygulanan numuneler 28. günde basınç dayanımı deneyine tabi tutulurken, MD kür uygulanan numunelere ultrases geçiş hızı deneyi, eğilme deneyi ve basınç deneyi yapılmıştır.

3.2.1. Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases geçiş hızı, deney cihazı yardımıyla üretilen ultrases dalgalarının katı bir madde içinde yayılma süresi ölçülerek hesaplanmaktadır. Ultrases dalgalarının ilerleme hızı, numunenin iç yapısı ve yoğunluğu hakkında fikir verir. Duyulamayacak frekanslardaki ultrases dalgaları malzemenin iç yapısında boşluklarla karşılaşır. Ses dalgaları bu boşluklarda ilerleyemediğinden çevresini dolaşarak kat ettiği mesafeyi arttırmış olur. Bu nedenle ultrases dalgaların geçiş süresi artar, geçiş hızı azalır. Yoğunluğu fazla olan betonların dayanımları da yüksek olduğundan ultrases geçiş hızının fazla olması, yüksek dayanımlı bir betonu ifade eder. Ultrases geçiş hızı düşük ise, numunenin boşluklu bir iç yapısı olduğu düşünülebilir.

Ultrases geçiş hızı değerleri, dalganın iki verici arasında geçiş süresi ve vericilerin arasındaki numune boyutuna göre Denklem 3.1'deki gibi hesaplanır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.1)$$

Burada V (km/sn), ultrases geçiş hızını; L(mm), numunedeki vericiler arası mesafeyi; t (µs), numunedeki ultrases geçiş süresini gösterir. Şekil 3.11'de görülen ultrases deney cihazı ile, TS EN 12504-4 (2012) standardında belirtildiği şekilde okumalar yapılmıştır.



Şekil 3.11 Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı

MD kür uygulanan numunelerde her bir numune için 6 adet ultrases geçiş hızı okuması yapılmıştır. Her karışım oranı için toplamda 18 adet okumanın aritmetik ortalaması alınarak kaydedilmiştir.

3.2.2. Eğilme ve basınç dayanımı deneyleri

Üretilen harç numunelerine Şekil 3.12’de görülen elektronik deney presi ile TS EN 196-1 (2016) standardına uygun şekilde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Eğilme deneyinde, mesnet silindirleri arasındaki mesafe 100 mm olan üç eksenli deney düzeneğine aksenal kaçıklık olmayacak şekilde yerleştirilen prizmatik deney numuneleri 50 N/sn hızla yüklenmiştir. Kırılma anındaki yük değerine bağlı olarak eğilme dayanımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Eşitlik 3.2).

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (3.2)$$

Burada R_f (MPa), eğilme dayanımını; b (mm), prizma numunenin kare kesitinin kenar uzunluğunu; F_f (N), prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanmış olan kuvveti; l (mm) ise mesnet silindirleri arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.

Basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1 (2016) standardına uygun şekilde gerçekleştirilir. Eğilme dayanımı deneyi sonunda her birisi iki parçaya ayrılan numuneler 4 x 4 cm boyutlarındaki başlıklar arasına, kalıp yan yüzleri gelecek şekilde yerleştirilir. 2.4 kN/sn hızla yüklenen preste göçme gerçekleştiğindeki yük değerine bağlı olarak basınç dayanımı değeri Denklem 3.3 yardımıyla hesaplanır.

$$R_c = \frac{F_c}{A_c} \quad (3.3)$$

Denklemden R_c (Mpa), basınç dayanımını; F_c (N), kırılma anındaki yükü; A_c (mm^2), başlıkların tekinin numuneye temas eden yüzey alanını ifade etmektedir.



Şekil 3.12 Eğilme ve basınç deneyleri için kullanılan elektronik deney presi

3.3. Yapay Sinir Ağlarının Oluşturulması

YSA çalışmalarında kullanılan veriler, MD kür yöntemi uygulanan numuneler ile yapılan ağırlık ölçümü, ultrases hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneylerinin sonuçları

giriş, aynı orandaki normal kür numuneden 28 gün sonra elde edilen basınç dayanımı çıkış olacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca katkı oranlarının ve çimento çeşidinin YSA başarısına etkisinin incelenmesi amacıyla üç farklı giriş kümesi oluşturularak eğitimler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan giriş kümeleri Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Giriş kümelerinin isimlendirmesi ve giriş sayıları

Giriş Kümesi	Girişler	Giriş Sayısı
A	Mikrodalga kür numunesi deney sonuçları	4
B	Mikrodalga kür numunesi deney sonuçları Mineral katkı çeşidi Mineral katkı oranı Akışkanlaştırıcı katkı muhtevası	7
C	Mikrodalga kür numunesi deney sonuçları Mineral katkı çeşidi Mineral katkı oranı Akışkanlaştırıcı katkı muhtevası Çimento çeşidi	8

Eğitimler sırasında veri setini oluşturan 46 örneğin %20’si test, %60’ı eğitim, %20’si doğrulama olacak şekilde veri setlerine rasgele ayrılmışlardır. Eğitime girmeden önce tüm girişlerin ve çıkışın -1 ve +1 arasına normalizasyonu yapılmıştır. Eşitlik 3.4’de normalizasyon için kullanılan denklem verilmiştir.

$$P_n = 2(P - P_{min}) \div (P_{max} - P_{min}) - 1 \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4’de P gerçek girişi, P_{min} giriş serisinin en küçük değerini, P_{max} en büyük değerini ifade etmektedir. Eşitliğin sonucu P_n , normalize edilmiş giriş değerini ifade eder.

Regresyon gibi danışmalı öğrenme problemleri için en yaygın kullanılan YSA, ileri beslemeli çok katmanlı geri yayılım ağlarıdır (Alpaydın, 2010). 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarının tahmini için tek gizli katmana sahip ileri beslemeli hiyerarşik YSA ile çalışılmıştır. İlk katmanda girişler için giriş sayısı kadar, son katmanda çıkış için (basınç dayanımı tek çıkış olduğundan) bir nöron olan YSA’nın, en uygun ağ

topolojisinin bulunabilmesi için gizli katmandaki nöron sayısı 1'den 50'ye kadar birer arttırarak eğitimler gerçekleştirilmiştir. Eğitim için Levenberg-Marquard (LM), Ölçeklendirilmiş Eşlenik Gradyant (SCG) ve Bayes Düzenleme (BR) geri yayılım algoritmaları kullanılmıştır. Her üç eğitim algoritması için en uygun YSA yapısı ayrı ayrı araştırılmıştır.

Ağlar eğitilirken her bir devirde elde edilen ağ doğrulama kümesi kullanılarak ağ performansı hesaplanmıştır. Eğitimin bir önceki devrine göre daha kötü performans gösteren ağın doğrulama hatası kaydedilmiş ve üst üste altı doğrulama hatası veren ağın eğitimi sonlandırılmıştır. Eğitilmiş ağ olarak ilk doğrulama hatası veren devirden önceki ağ seçilmiştir. Bu şekilde modelin aşırı öğrenme yapması engellenmiştir.

Eğitim algoritmasının sonlandırma devir sınırı 1000 olarak seçilmiştir. Hedef performans ölçütü 0 seçilmiştir. Hesaplanan eğitim hatası 0 olursa eğitim durdurulacaktır. Hata fonksiyonunun gradyanının alabileceği en küçük değer 1×10^{-7} , öğrenme katsayısı olan μ 'nun alacağı en küçük değer 1×10^{-10} olarak belirlenmiştir. Bu sınırlar aşıldığında eğitim sonlanacak şekilde ayarlanmıştır.

En iyi ağ yapısının seçiminde, test seti ile hesaplanan "R" değeri ve performans değerleri kullanılmıştır. Performans fonksiyonu olarak hata kareleri ortalaması (MSE) kullanılmıştır. MSE değeri ne kadar küçükse ağ o kadar başarılı demektir. Ağlar oluşturulurken giriş ve ara katman nöronları için Hiperbolik Tanjant Sigmoid, çıkış nöronu için Lineer transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

YSA'lar ilk ağırlıkların rasgele atanması sebebiyle her eğitimde farklı sonuç verebilmektedirler. Ayrıca, eğitim, test ve doğrulama setlerinin seçimi de benzer şekilde sonuçları değiştirir. Bu durumdan dolayı bir ağ yapısının genel başarısı hesaplanırken, birden fazla eğitim yapıp performans ortalaması alınmıştır. Ardışık olarak nöron sayıları arttırılan her bir ağ 100 kez tekrar eğitilip MSE ortalamaları alınmıştır. Ortalama MSE değeri en düşük olan ağ yapısı, kullanılan eğitim algoritması için en başarılı yapı olarak belirlenmiştir. Bu yapı için tekrar edilen eğitimler ile elde edilen ağlar içinde MSE değeri en küçük olan ağ bu eğitim algoritmasının en başarılı YSA ağı olarak kaydedilmiştir.

Daha sonra bu YSA ağları ile elde edilen modelin test seti tahminleri kullanarak R sayıları hesaplanmıştır. YSA alışmaları MATLAB yazılımı ve NN-Tool eklentisi kullanarak yapılmıştır.

4. BULGULAR

MD ile hızlandırılmış kür uygulanan numuneler üzerinde yapılan ağırlık ölçümü, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı deneyi ve basınç dayanımı deneyi sonuçları ile normal kür uygulanan şahit numunelere ait 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Numunelerin deney sonuçları

Numune Adı	MD				NK
	Ağırlık (gr)	Ultrases Geçiş Hızı (m/sn)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)
N5N	579	3553	5.01	21.89	55.25
N5A1	571	3483	4.3	19.02	55.57
N5A2	569	3489	4.12	17.64	52.03
N5A3	565	3234	2.91	12.2	47.37
N5A4	555	2935	1.84	8.2	39.07
N5S1	567	3494	4.53	18.59	61.79
N5S2	553	3459	3.91	17.78	58.2
N5S3	541	3262	3.69	13.62	58.36
N5S4	533	2864	2.64	8.11	53.35
N6N	557	3332	3.73	13.56	46.83
N6A1	556	3173	3.5	11.98	46.18
N6A2	550	3135	3.22	10.2	43.7
N6A3	547	2712	1.98	6.44	40.19
N6A4	547	2774	1.73	5.17	35.5
N6S1	551	3175	3.36	11.93	51.43
N6S2	530	3044	3.17	10.19	48.32
N6S3	514	2717	2.31	6.84	44.31
N6S4	501	2399	1.93	4.57	39.13
R5N	574	3154	3.85	16.72	56.34
R5A1	573	3270	3.64	14.93	57.52
R5A2	563	3287	3.33	12.51	54.23

Çizelge 4.1 Numunelerin deney sonuçları (devam)

Numune Adı	MD				NK
	Ağırlık (gr)	Ultrases Geçiş Hızı (m/sn)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)
R5A3	556	3093	2.51	9.36	48.02
R5A4	553	2817	1.76	6.62	32.28
R5S1	565	3274	3.6	14.85	61.26
R5S2	551	3195	3.53	13.28	59.88
R5S3	535	2982	3.09	10.23	54
R5S4	534	2628	2.21	6.34	49.24
R6N	560	3003	3.01	11.35	49.27
R6A1	562	3103	3.29	9.55	47.28
R6A2	559	3044	2.87	9.27	44.39
R6A3	552	2753	2.11	6.45	38.47
R6A4	556	2450	1.32	3.76	34.64
R6S1	549	3046	3.08	10.47	50.18
R6S2	532	2891	2.8	8.84	49.43
R6S3	516	2618	2.27	6.23	45.33
R6S4	504	2078	1.28	2.74	40.6
N4N	584	3153	3.19	12.92	69.3
N4A1	571	2837	1.57	5.99	66.57
N4A2	569	2244	0.77	2.75	47.95
N4S1	577	2962	1.83	6.23	79.33
N4S2	575	2778	1.41	4.14	81.84
R4N	573	3153	2.9	10.8	71.66
R4A1	566	2648	1.45	4.7	67.33
R4A2	562	2353	0.99	3.39	62.38
R4S1	575	2867	1.65	5.54	79.59
R4S2	570	2581	1.24	3.41	79.08

4.1. Mikrodalga Kür ve Normal Kür Basınç Deneyi Sonuçları

Tüm numunelerin basınç dayanım değerleri dikkate alındığında, MD kürlü numunelerin basınç dayanımları ortalaması, NK numunelerin basınç dayanımları ortalamasının %18.84'ü kadardır. NK numunelerin içerisinde en yüksek basınç dayanımı değeri, 81.84 MPa ile N4S2 numunesine aittir. R5A4 numunesi için NK basınç dayanımı değeri 32.28 MPa'dır. Bu değer NK basınç dayanımları arasındaki en düşük değerdir. MD kürlü numunelerde en yüksek basınç dayanımına ulaşan numune, 21.89 MPa ile N5N'dir. En düşük basınç dayanımı ise 2.74 MPa ile R6S4 numunesine aittir.

N sınıfı çimentolu numunelerde MD ile kürlenmiş örneklerin basınç dayanımları 2.75 – 21.89 MPa aralığındayken, R sınıfı çimentolu MD kürlü örneklerin basınç dayanımları ise 2.74 – 16,72 MPa aralığındadır. NK numunelerin basınç dayanımları, N sınıfı için 35.5 – 81.84 MPa, R sınıfı için 32.28 – 79.59 MPa aralığındadır.

Beklenilenin aksine, N sınıfı çimento içeren MD kürlü numunelerin basınç dayanımları, R sınıfı çimento içeren numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde R ve N sınıfı çimentoların MD kür performansının karşılaştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Temin edilen çimentoların 2 günlük basınç dayanımları, TS EN 196-1'e göre (CEN kumu ile) yapılan deneylerde, N sınıfı için 26.47 MPa, R sınıfı için 27.64 MPa olarak hesaplanmıştır. Erken dayanım değerlerinde belirgin bir fark bulunmadığı halde, N sınıfı çimentonun MD kür yönteminde daha başarılı sonuçlar vermesinin, ancak çimentoların kimyasal analizleri ve incelik değerleri saptandıktan sonra yorumlanabileceği düşünülmüştür. CEM-I 42.5 N ve CEM-I 42.5 R sınıfı çimento içeren numunelerin MD kür ve NK basınç dayanımları, 0.5 s/b içeren numuneler için Ek 1'de, 0.6 s/b içeren numuneler için Ek 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Mineral katkı olarak uçucu kül kullanılan numunelerde hem NK hem de MD basınç dayanımı değerleri düşük çıkmıştır. Numunelerin uçucu kül oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Bu sonuçlar, daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarını doğrular niteliktedir (Akdağ, 2007; Topkara, 2009; İnce, 2012). Silis dumanı içeren numunelerde uçucu kül içerenlerde olduğu gibi MD basınç dayanımı, katkı oranı arttıkça azalmaktadır. Ancak %10 ve %20 silis dumanı içeren NK ile kürlenmiş numunelerin basınç dayanım

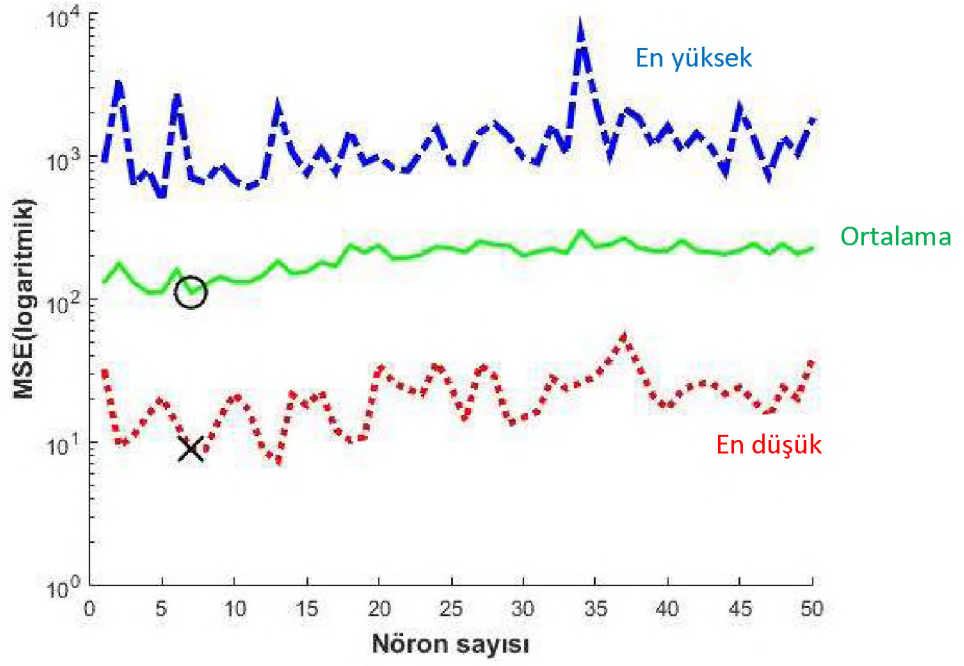
değerinde artış olduğundan, silis dumanı içeren numunelerde NK ve MD basınç dayanım değerleri arasındaki fark daha fazladır. Uçucu kül içeren numunelerin basınç dayanımları Ek 3’de, silis dumanı içeren numunelerin basınç dayanımları ise Ek 4’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Akışkanlaştırıcı katkı içeren numunelerde, NK numunelerin basınç dayanımları artmış, MD kürlü numunelerinki ise oldukça düşük çıkmıştır. Akışkanlaştırıcı kullanımı sonrası azaltılan suyun kür sırasındaki buharlaşma ile daha da azaldığı, hidrasyon için gereken su miktarı sağlanamadığı için basınç dayanımı değerinin oldukça düşük çıktığı tahmin edilmektedir. Literatürde, akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile MD kür basınç dayanımı ilişkisinin farklı sonuçlandığı çalışmalar mevcuttur. Topkara (2009)’ya göre, akışkanlaştırıcı katkı MD kür dayanımını olumsuz etkilemiştir. İnce’nin 2012 yılındaki çalışmasının sonuçlarına göre ise, akışkanlaştırıcı katkı kullanımı MD kür dayanımını arttırmıştır. Akışkanlaştırıcı çeşidinin ve kullanım oranının değiştirilmesi ile bu etkilerin daha net yorumlanabileceği düşünülmektedir. Akışkanlaştırıcı katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımı sonuçları karşılaştırmalı olarak Ek 5’de sunulmuştur.

4.2. Yapay Sinir Ağı Çalışmaları

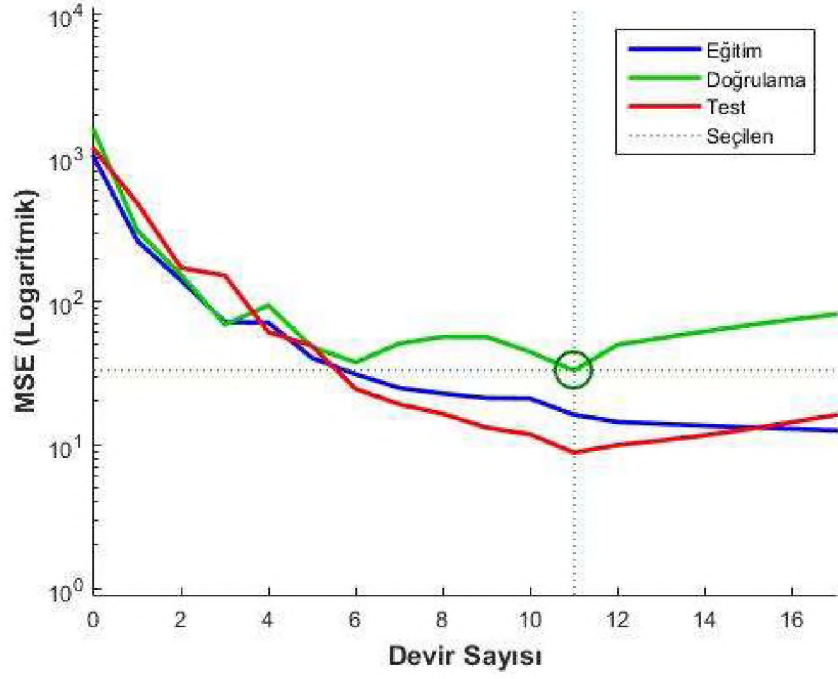
4.2.1. Levenberg-Marquard algoritması ile YSA çalışması

MD kür uygulanan numuneler ile yapılan deneylere ait sonuçların giriş olarak seçildiği, LM algoritması ile yapılan eğitimlerin sonuçları Şekil 4.1’de verilmiştir. Gizli katmanında 7 nöron bulunan ağ 8.8157 ortalama MSE ile en başarılı olarak bulunmuştur. Bu değer, grafikte ortalama değer çizgisi üzerinde “○” ile işaretlenmiştir. Aynı tekerrür grubunda seçilen en başarılı ağ “×” ile işaretlenmiştir.

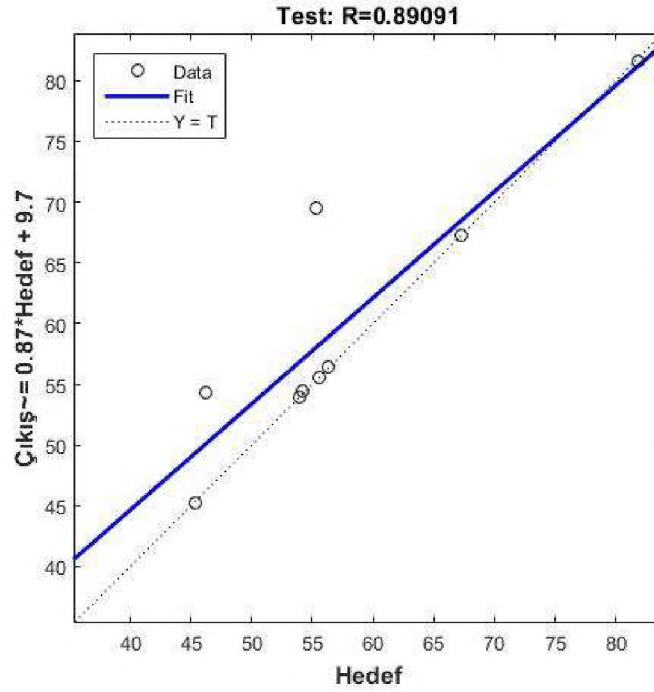


Şekil 4.1 LM eğitimi için ortalama, en çok ve en az MSE değerleri

Seçilen en iyi modelin eğitimi, 17. devirde doğrulama hatası ile sonlanmış ve en iyi doğrulama performansı, doğrulama hatasının başlamadığı 11. devirde 32.9965 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2). Regresyon grafiği Şekil 4.3’de gösterilen bu YSA’nın test seti ile oluşturulan R değeri 0.8909 olarak hesaplanmıştır.



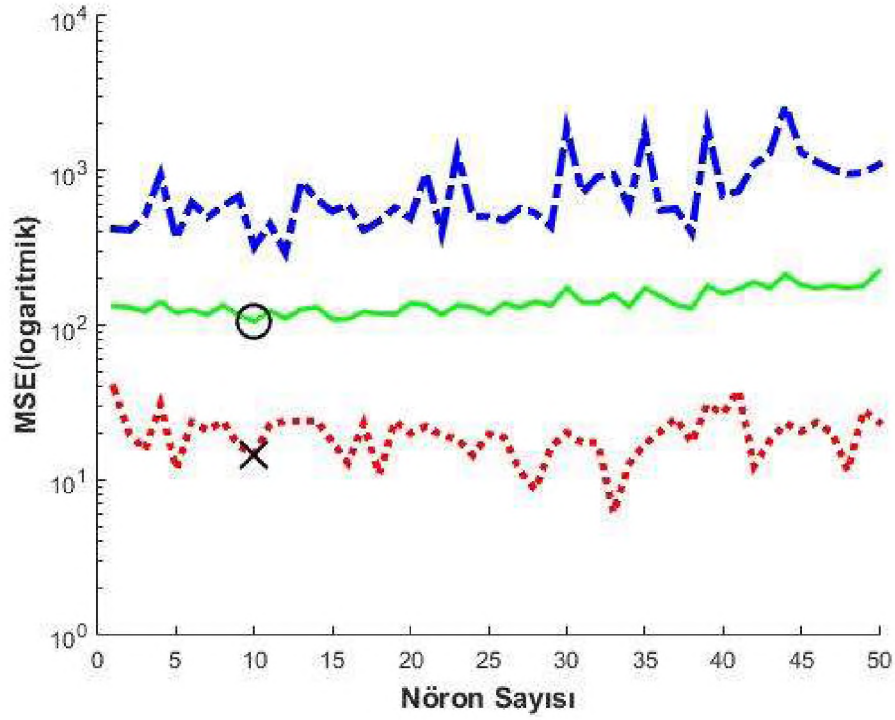
Şekil 4.2 LM algoritması için en iyi ağın eğitim süreci



Şekil 4.3 LM için en başarılı ağın regresyon grafiği

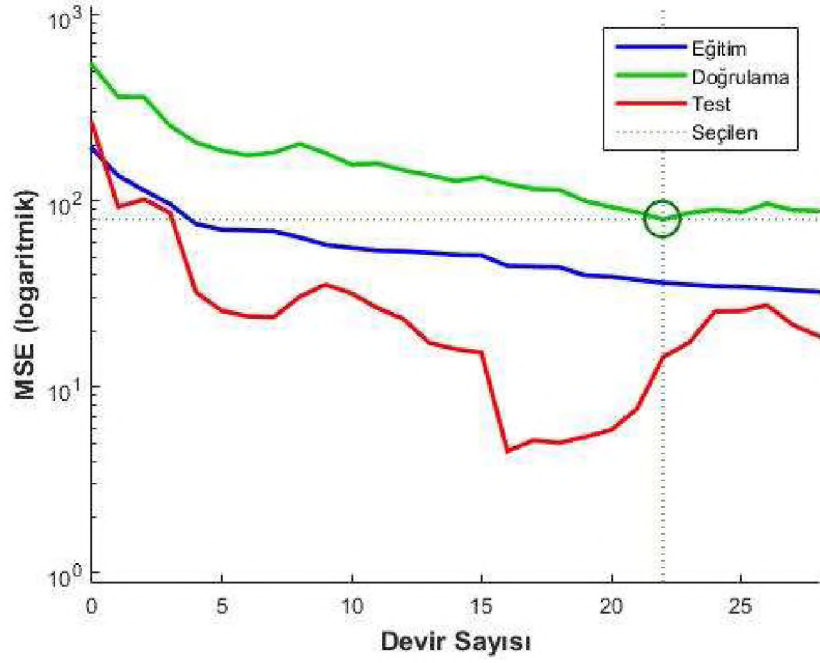
4.2.2. Ölçeklendirilmiş eşlenik gradyant ile YSA çalışması

Şekil 4.4’de SCG algoritması ile yapılan eğitimlerin sonuçları görülmektedir. Gizli katmanında 10 nöron bulunan ağ 14.4758 ortalama MSE değeri ile bu algoritma için en başarılı yapı olarak bulunmuştur.



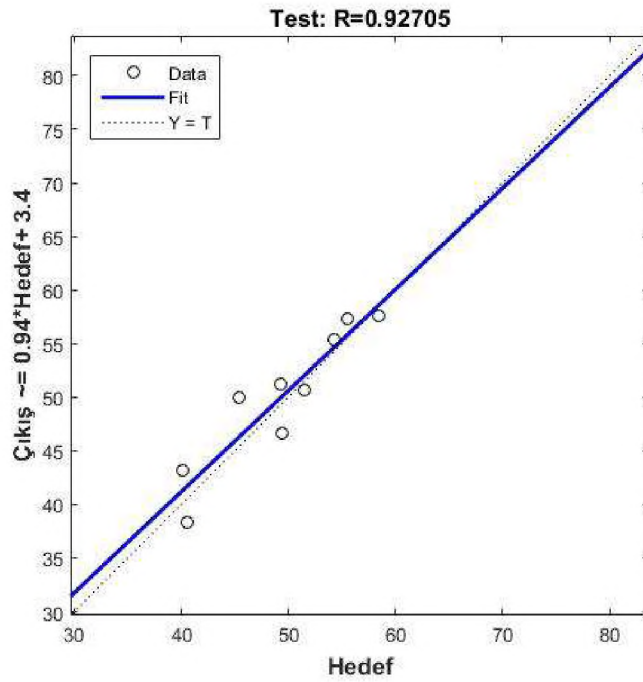
Şekil 4.4 SCG ile eğitilen ağların ortalama, en çok ve en az MSE değerleri

Şekil 4.5’de en başarılı ağın eğitim süreci görülmektedir. Bu ağın eğitimi 28. devirde doğrulama hatası ile sonlanmıştır. En iyi doğrulama performansı 79.524 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 SCG algoritması için en iyi ağı eğitimi süreci

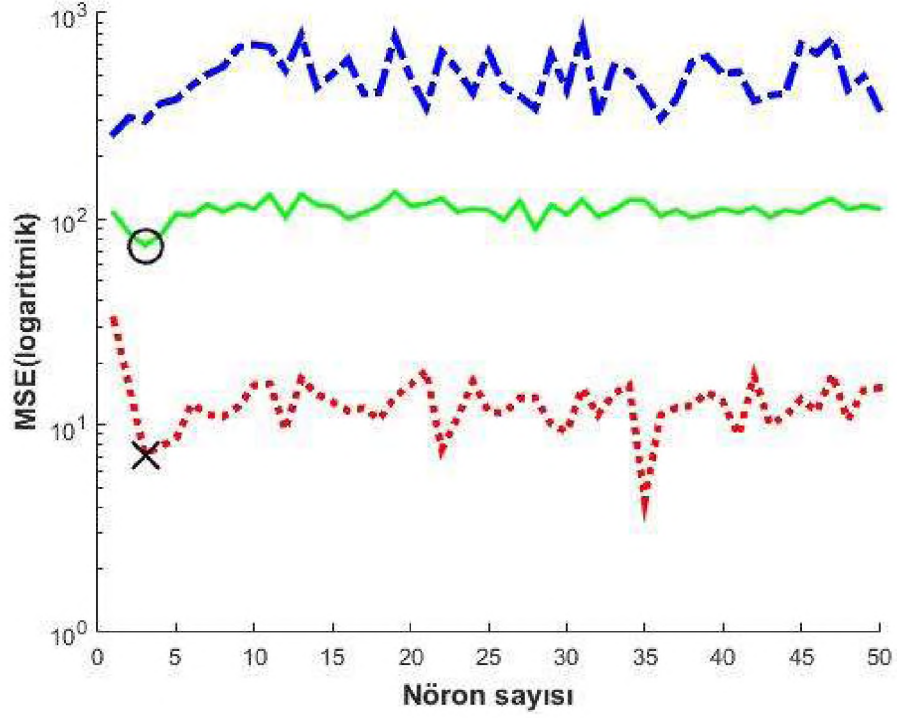
Test seti için R değeri 0.92705 hesaplanmış ve regresyon grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 SCG için en başarılı ağı regresyon grafiği

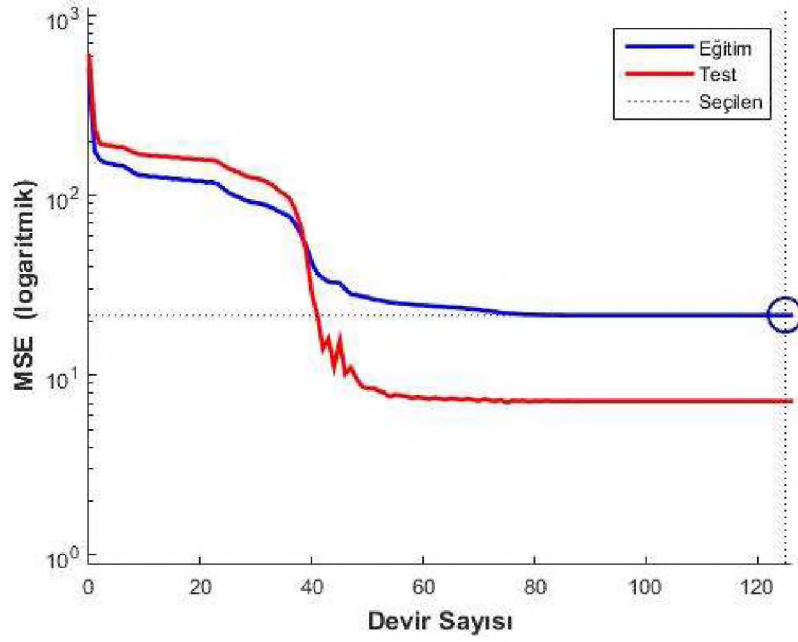
4.2.3. Bayes düzenleme ile YSA çalışması

BR algoritması için yapılan çalışmada gizli katmanında 3 nöron bulunan ağ 7.1922 ortalama MSE değeri ile en başarılı ağ yapısı olarak seçilmiştir (Şekil 4.7).



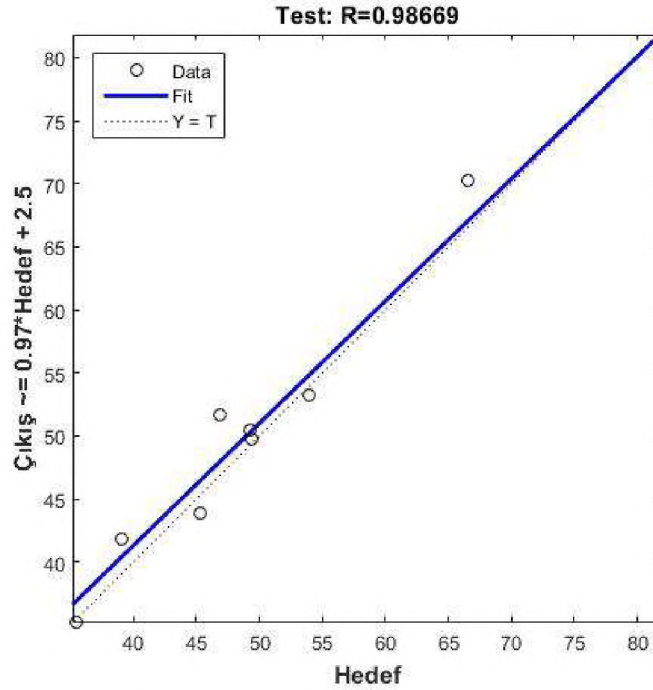
Şekil 4.7 BR ile eğitilen ağların ortalama, en çok ve en az MSE değerleri

En başarılı ağın eğitim süreci Şekil 4.8'de görülmektedir. Devir sayısı 126 olduğunda Mu katsayısı en yüksek sınıra ulaştığından ağın eğitimi durmuş ve 21.573 en iyi eğitim performansı ile 125. devirdeki ağ eğitilmiş olarak seçilmiştir.



Şekil 4.8 BR algoritması için en iyi ağın eğitim süreci

BR algoritması için en başarılı ağın test seti R değeri 0.98669 hesaplanmıştır. Regresyon grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 BR için en başarılı ağın regresyon grafiği

4.2.4. MD giriş kümesi için ağ topolojileri

Çizelge 4.2’de MD kür sonrası yapılan deneylerin giriş olarak alındığı, üç farklı eğitim algoritması ile yapılan eğitimlerde elde edilen modeller için bulunan bazı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 MD giriş kümesiyle eğitim algoritmaları için eğitim özellikleri

Eğitim Algoritması	LM	SCG	BR
Nöron Sayısı	7	10	3
En küçük MSE	8,8157	14,4758	7,1922
Eğitim durdurma sebebi	Doğrulama Hatası	Doğrulama Hatası	En Yüksek Mu Değeri
Seçilen eğitim devri	11. devir	22. devir	125. devir
En iyi eğitim-doğrulama performansı	32,9965	79,524	21,573

Çizelgede LM ve SCG eğitimlerinde doğrulama performansı verilmiş iken BR için eğitim performansı verilmiştir. Bunun nedeni BR ile eğitim yapılırken algoritma gereği doğrulama yapılmaması bunun yerine tüm eğitilen ağlarda en düşük doğrulama hatası veren ağı eğitilmiş ağ olarak seçilmesidir.

4.2.5. Tüm giriş kümeleri için ağ topolojileri

MD kür sonrası yapılan deneyler ve numunelerin akışkanlaştırıcı katkı muhtevası, mineral katkı çeşidi ve oranı, çimento çeşidi gibi bilinen özelliklerinden farklı kombinasyonlar oluşturularak hazırlanan girişlerle elde edilen en iyi ağların yapısal özellikleri ve performans değerleri Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

Çizelge 4.3 Giriş kümeleri ve eğitim algoritmaları için en iyi ağ özellikleri

Giriş Kümesi	Eğitim Algoritması	Ağ Yapısı	Eğitim durdurma sebebi	Seçilen eğitim devri	Tüm R	Test R	Seçilen MSE	Min. Ort. MSE
A	LM	4-7-1	Doğrulama hatası	11	0.9007	0.8909	8.8157	110.8271
	SCG	4-10-1	Doğrulama hatası	22	0.8968	0.9271	14.4758	105.1587
	BR	4-3-1	En Yüksek Mu	125	0.9149	0.9867	7.1922	74.2923
B	LM	7-7-1	Doğrulama hatası	3	0.9822	0.9422	7.0184	31.5102
	SCG	7-9-1	Doğrulama hatası	31	0.9390	0.7945	5.0926	29.6097
	BR	7-33-1	En Yüksek Mu	216	0.9677	0.9954	4.6212	15.4767
C	LM	8-6-1	Doğrulama hatası	4	0.8482	0.9654	2.5170	37.6569
	SCG	8-6-1	En Düşük Gradiyen	8	0.9059	0.9625	5.7540	35.2671
	BR	8-8-1	En Yüksek Mu	210	0.9822	0.9945	3.8135	17.0465

Çizelge 4.3’de ağ yapısı sırasıyla; giriş miktarı kadar giriş nöron sayısını, ara katman nöron sayısını ve çıkış nöron sayısını ifade edecek şekilde gösterilmiştir. “Min Ort. MSE” ağ yapısında ifade edilen gizli katmandaki nöron sayısı ile yapılan 100 eğitimin her biri için hesaplanan MSE değerlerinin ortalamasını, “Seçilen MSE” ise bu 100 eğitim tekrarı içerisinde MSE’nin en düşük değerini ifade etmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada mikrodalga kür yöntemi sonucu elde edilen numunelerle yapılan çeşitli deney sonuçları kullanılarak, aynı özellikteki 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarını tahmin edebilecek en uygun YSA modelinin geliştirilmesi sağlanmıştır. En uygun ağ yapısı üç farklı eğitim algoritması için ayrı ayrı denenerek bulunmuştur. Çizelge 5.1’de her giriş kümesi için yapılan ağ eğitimlerinde en iyi sonucu veren ağların regresyon sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.1 Elde edilen en iyi yapıdaki ağların sonuçları

Giriş Kümesi	Eğitim Algoritması	Ağ yapısı (giriş-ara-çıkış nöron sayıları)	MSE	R
A	BR	4-3-1	7.1922	0.9149
B	BR	7-33-1	4.6212	0.9677
C	BR	8-8-1	3.8135	0.9822

Sadece MD kür uygulanan numunelerin deney sonuçlarının ağa giriş olarak verildiği A giriş kümesi için en başarılı sonucu veren ağ, gizli katmanında 3 nöron bulunan ağ olarak belirlenmiştir. Mineral ve akışkanlaştırıcı katkı bilgilerinin girişe dahil edildiği B ve bunların yanında çimento çeşidinin de girişe dahil edildiği C giriş kümeleri için bu değer sırasıyla 33 ve 8’dir. Üç giriş kümesi için de en başarılı eğitim algoritması BR olmuştur. R değeri A kümesi için 0.9149, B kümesi için 0.9177 ve en başarılı sonucu veren C kümesi için 0.9822 olarak hesaplanmıştır.

Tüm giriş kümeleri için BR ile eğitilen ağlar diğer eğitim algoritmalarına göre çok daha başarılıdır. Fakat BR algoritmaları ağların eğitimleri, diğer eğitim algoritmalarına göre daha fazla devir sayısında tamamlanabilmektedir. Bu durum eğitim için geçen süreyi ve ihtiyaç duyulan bilgisayar performansını arttırmaktadır. Nöron sayılarının genellikle diğer eğitim algoritmalarına göre daha fazla olması, daha karmaşık olmasına ve daha çok hafızaya ihtiyaç duymasına sebep olmaktadır.

Ağa verilen girişlerin artması, problemi tanımlayan farklı değişkenlerin ağ tarafından algılanmasını kolaylaştırmıştır. Bu nedenle giriş sayısının çoğalması, ağ performansının iyileşmesini sağlamıştır. A giriş kümesi için 0.9149 hesaplanan R değeri, Beton karışımındaki katkılar ve oranları hakkında bilgi sahibi olunmadığı durumlarda dahi YSA ile yeterli doğruluğa sahip bir tahmin yapılabileceğini göstermektedir.

CEM-I 42.5 N sınıfı çimentolu numunelerin MD ile hızlandırılmış kür sonrası basınç dayanımları, CEM-I 42.5 R sınıfına göre yüksek çıkmıştır. İleriki çalışmalarda, N ve R sınıfı çimentoların ve kür sonrası harçların kimyasal analizleri yapılarak bu duruma neden olan özellikler daha iyi anlaşılabilir. Aynı zamanda kullanılan çimentoların tane inceliği tespit edilerek, MD kür sonuçları ile arasında bir ilişki kurulabilir.

Akışkanlaştırıcı katkı kullanılan MD kürlü numunelerin basınç dayanımlarında belirgin bir azalma olmuştur. Bu durumun azaltılan s/b oranı ve MD ile ısıtma sonucu buharlaşmanın artması nedeniyle, hidrasyon için gerekli su moleküllerinin yetersiz kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Akışkanlaştırıcı katkı kullanılan numunelerde, MD kür erken dayanımı ile 28 günlük NK dayanımı arasındaki farkın diğer numunelere göre oldukça fazla olması, akışkanlaştırıcı katkı kullanımının girişlerde belirtilmediği A giriş kümesi başarısının diğer giriş kümelerine göre düşük çıkmasında en önemli etkidir.

MD kür sonuçlarına göre, mineral katkılar mikrodalga kür sonuçlarını olumsuz etkilemektedirler. Silis dumanı ve uçucu kül katkı miktarı arttıkça MD kür dayanım değerleri düşmüştür. Aynı şekilde su/bağlayıcı oranının artması MD kür yöntemi basınç dayanımı değerlerini olumsuz etkilemiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda, numunelerin NK uygulanmış ileri yaş dayanımları ile MD kür uygulanmış ileri yaş dayanımları karşılaştırılabilir. Akışkanlaştırıcı katkı çeşidinin ve oranının değiştirilmesi ile, akışkanlaştırıcıların MD kür performansı daha kapsamlı bir şekilde araştırılabilir. Priz hızlandırıcı, priz geciktirici gibi diğer kimyasal katkıların MD kür başarısına etkileri incelenebilir. Çimento harç numunelerine uygulanan bu yöntem, benzer özellik gösteren (Leung ve Pheeraphan, 1997) beton numunelerine uygulanarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

MD kr yöntemi ile YSA kullanılarak betonların 28 günlük basınç dayanımı, 8 saat gibi kısa bir sürede yeterli doğrulukla tahmin edilebilmektedir. rnek sayısının arttırılması ile doğruluğu daha yüksek YSA modellerinin elde edilmesi mümkündür.

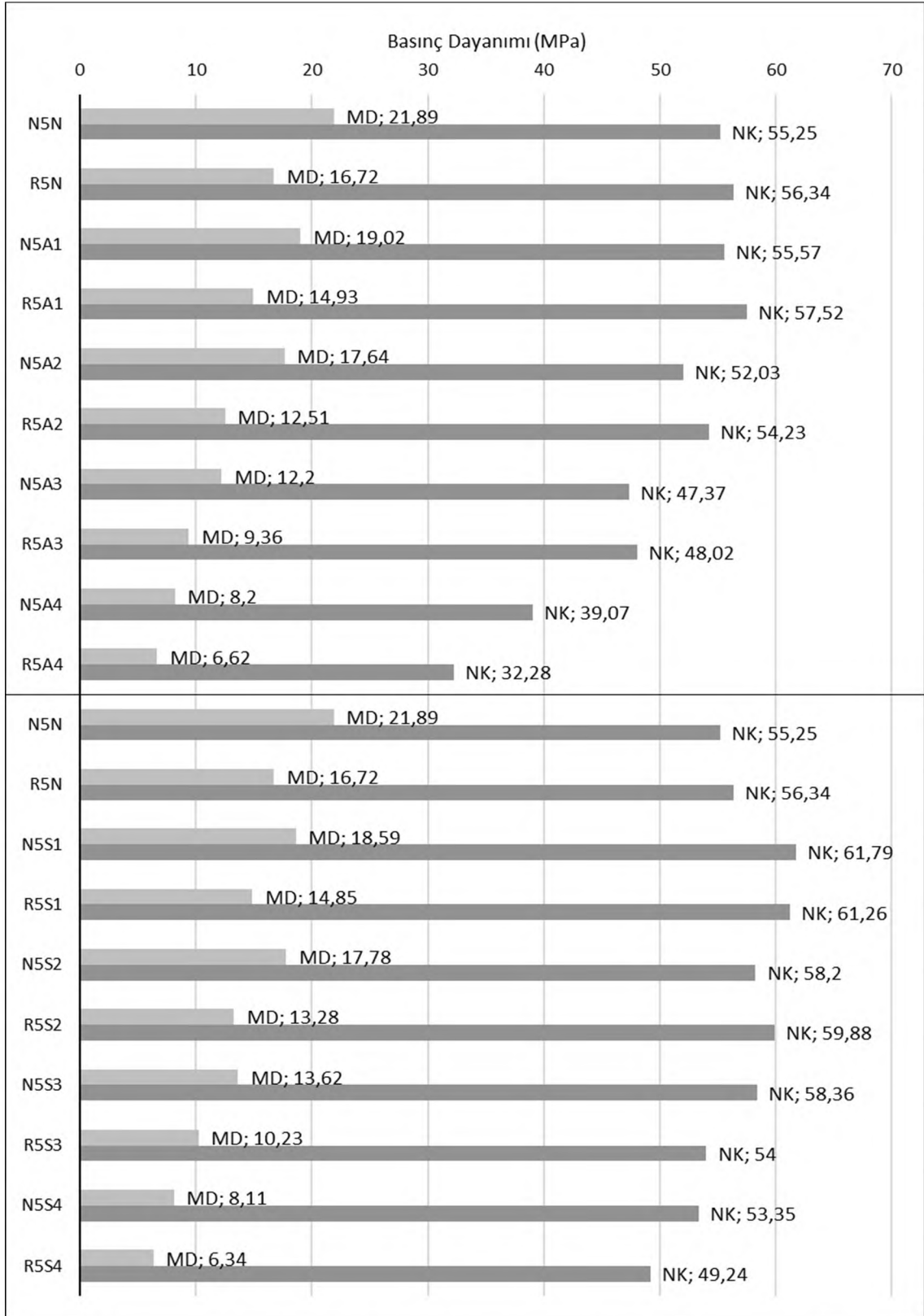
6. KAYNAKLAR

- Akdağ, D., 2007. Mineral Katkılı Harçlarda Mikrodalga ile Uygulanan Hızlandırılmış Kürde En Uygun Kür Çevriminin Belirlenmesi. (Y.Lisans Tezi), Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Alpaydın, E., 2010. Introduction to Machine Learning, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- ASTM C 618, 1998. Standard Specification for Use as a Mineral Admixture in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, USA.
- Banik, S., Bandyopadhyay, S. ve Ganguly, S. 2003. Bioeffects of microwave-a brief review. Bioresource Technol, 87, 155-159.
- Bishop, C. M., 1995. Neural Network for Pattern Recognition. Clarendon, Oxford.
- Das, S., Mukhopadhyay, A.K., Datta, S. ve Basu, D., 2009. Prospects of microwave processing: An overview. Bulletin of Materials Science, 32 (1), 1-13.
- Elmas, Ç., 2011, Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTU Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara.
- Erentürk, S. ve Erentürk, K., 2007. Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. Journal of Food Engineering, 78(3), 905-912
- Gwarek, W.K. ve Celuch-Marcysiak, M. 2004. A Review of Microwave Power Applications in Industry and Research. Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2004. 15th International Conference, 3, 843-848.
- Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M. B. ve De Jesus, O., 1996. Neural Network Design (2nd Edition). PWS Publishing, Boston, ABD.
- Hagan, M. T. ve Menhaj, M. B., 1994. Training Feedforward Networks with the Marquardt Algorithm. IEEE Transactions on Neural Networks, 5(6), 989-993.
- Hutchison, R.G., Chang, J.T., Jennings, H.M ve Brodwin, M.E., 1991. Thermal Acceleration of Portland Cement Mortars with Microwave Energy, Cement and Concrete Research, 21, 795-799.
- İnce, H.H., 2012. Mikrodalga ile Hızlandırılmış Kür Yönteminin Katkılı Harçlar Üzerindeki Etkisi. (Doktora Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Konak, İ.K., Certel, M. ve Helhel, S. Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi 2009, 4(3) 20-31
- Kurbetçi, Ş. ve Öztekin, E., 2004. Değiştirilmiş Sıcak Su Yöntemiyle Beton Basınç Dayanımının Tahmini. İMO Teknik Dergi, 211, 3145-3153.
- Kutbay I. ve Kuşkonmaz, N., 2004. Mikrodalga Isıtmanın Seramik Üretiminde Kullanımı. Metalurji, 137, 52-56.
- Lambert, J.P., 1980. Biological Hazards of Microwave Radiation. Journal of Food Protection: August 1980, 43 (8), 625-628.
- Leung, C.K.Y. ve Pheeraphan, T., 1997. Determination of Optimal Process for Microwave Curing of Concrete. Cement Concrete Research, 27 (3), 463-472.
- MacKay, D. J. C., 1992. Bayesian Interpolation. Neural Computation, 4(3), 415-447.
- Makul, N., Chatveera, B. ve Ratanadecho, P., 2009. Use of microwave energy for accelerated curing of concrete: a review. Songklanakarın Journal of Science and Technology, 31 (1), 1-13.

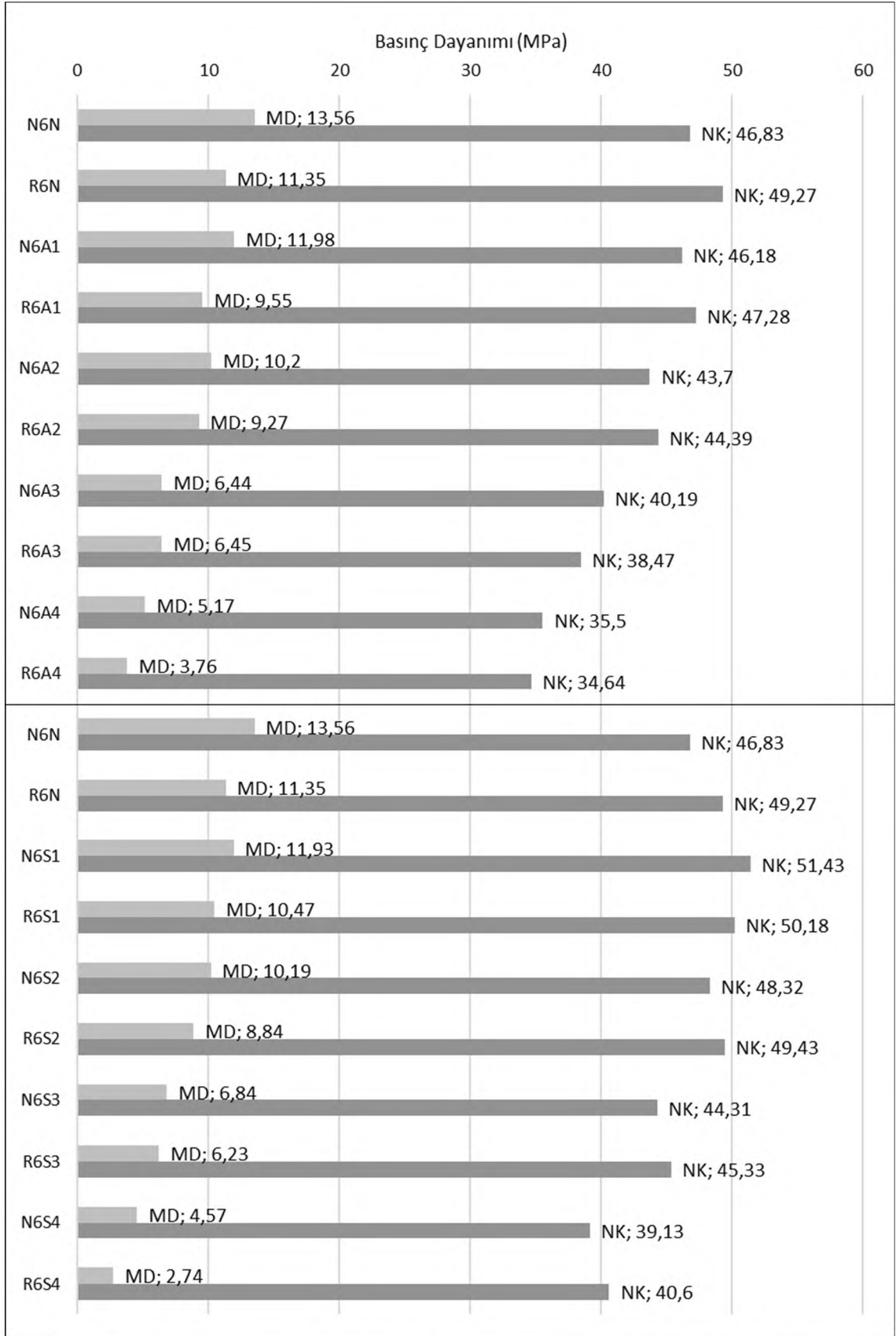
- Makul, N., Rattanadecho, P. ve Agrawal, D.K., 2010. Microwave curing at an operating frequency of 2.45 GHz of Portland cement paste at early-stage using a multi-mode cavity: Experimental and numerical analysis on heat transfer characteristics. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37, 1487-1495.
- Makul, N. ve Agrawal, D.K., 2011. Influence of microwave-accelerated curing procedures on the microstructure and strength characteristics of Type I Portland cement pastes. *Journal of Ceramic Processing Research*, 12 (4), 376-381.
- Marquardt, D., 1994. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11(2), 431-441.
- Moller, M., 1993. A Scaled Conjugate Gradient Algorithm for Fast Supervised Learning. *Neural Networks*, 6(1993), 525-533.
- Oliveira, M.E.C. ve Franca, A.S., 2002. Microwave heating of foodstuffs. *J Food Eng*, 53, 347-359.
- Öztemel, E., 2003. *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Sağiroğlu, S., Beşdok, E. ve Erler, M., 2003. *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I: Yapay Sinir Ağları*. Ufuk Kitabevi, Kayseri.
- Sefil, T., 2019. Elektromanyetik Spektrum. <https://slideplayer.biz.tr/slide/1911396/> (Erişim tarihi: 10.09.2019)
- Sohn, D. ve Johnson, D.L., 1999. Microwave curing effects on the 28-day strength of cementitious materials. *Cement Concrete Research*, 29, 241-247.
- Topçu, İ.B., Toprak, M.U. ve Akdağ, D., 2008. Determination of optimal microwave curing cycle for fly ash mortars. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(4), 349-357.
- Topçu, İ.B. ve Topkara, Y.Ö., 2011. Mikrodalga Kürün Uçucu Küllü Harçların Basınç Dayanımına Etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, XXIV(1), 109-118.
- Topkara, T.Ö., 2009. Mikrodalga İle Hızlandırılmış Kürün Uçucu Küllü Harç Özelliklerine Etkisi. (Y.Lisans Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Toraman, Ö. ve Depçi, T., 2007. Kömürde Mikrodalga ile Önileşim Uygulamaları. *Madencilik*, 46(39), 43-53.
- TS 3323, 2012. Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500/T3, 2014. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12504-4, 2012. Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- TS EN 196-1, 2016. Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento – Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker P., Erdoğan B., Katnaş F. ve Yeğinoğlu A., 2009. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, AR-Ge Y03-03*, Ankara.
- Uğurlu A., 2008. Mikrodalga Enerji Yöntemi ile Hızlandırılmış Kür Uygulaması. *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 88, 13-20.
- Vadivambal, R. ve Jayas, D.S., 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products. *Biosyst Eng*, 98, 1-16.

- Venkatesh, M.S. ve Raghavan, G.S.V., 2004. An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. *Biosyst Eng*, 88 (1), 1-18.
- Yang, K-H., Mun, J-S. ve Cho, M-S., 2015. Effect of Curing Temperature Histories on the Compressive Strength Development of High-Strength Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, Article ID 965471, 12s.
- Yıldız, A. K. 2016. Büyükbaş Hayvanlarda Kızgınlığın (Östrus) Hareketlilik ve Çevre Verilerinden Yararlanarak Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. (Doktora Tezi), Tokat Gaziosmanpaşa Ün., Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı. Tokat.
- Zippo, A. G., 2011. *Neuronal Ensemble Modeling and Analysis with Variable Order Markov Models*. Ledizioni LediPublishing, Milan-İtalya

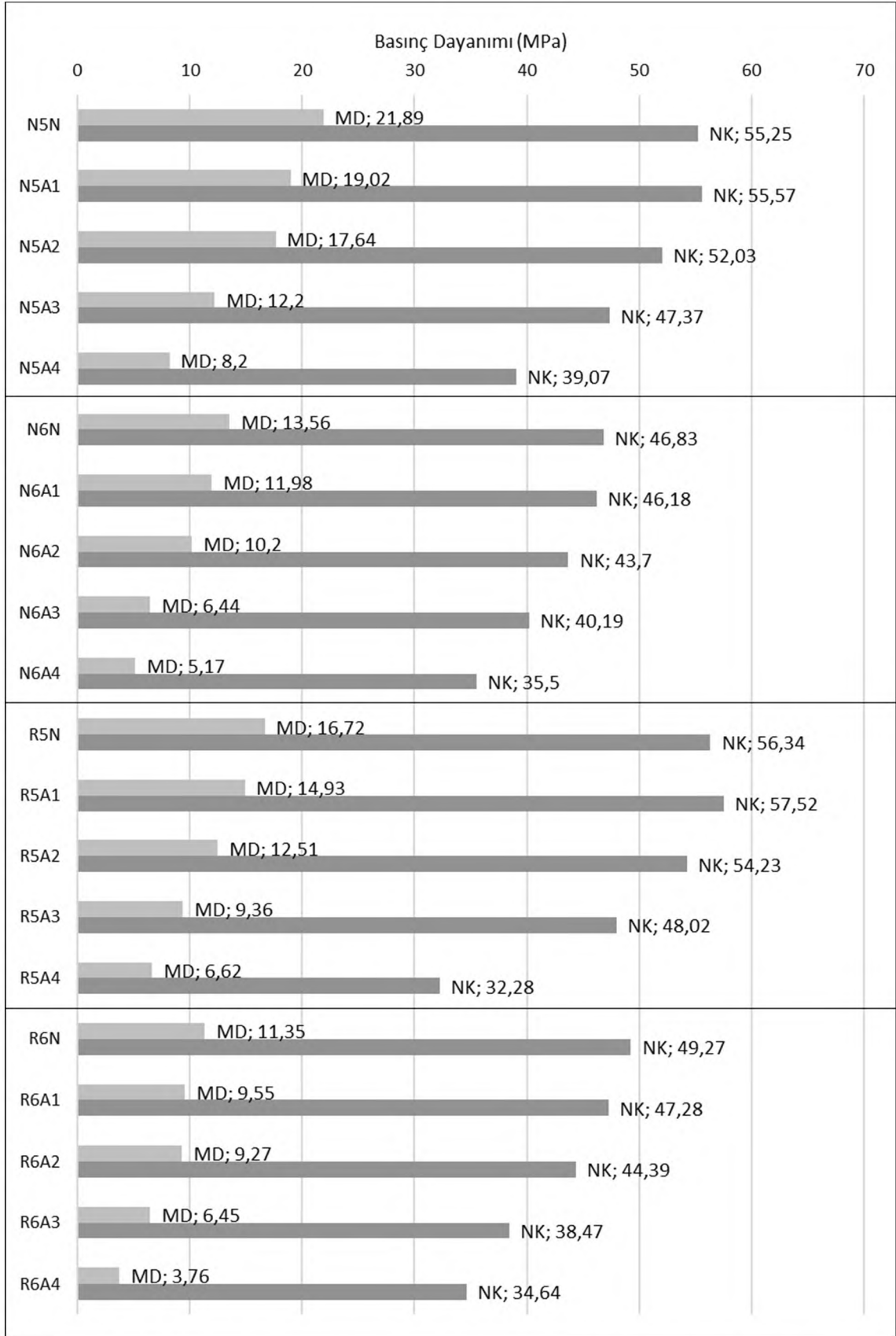
7. EKLER



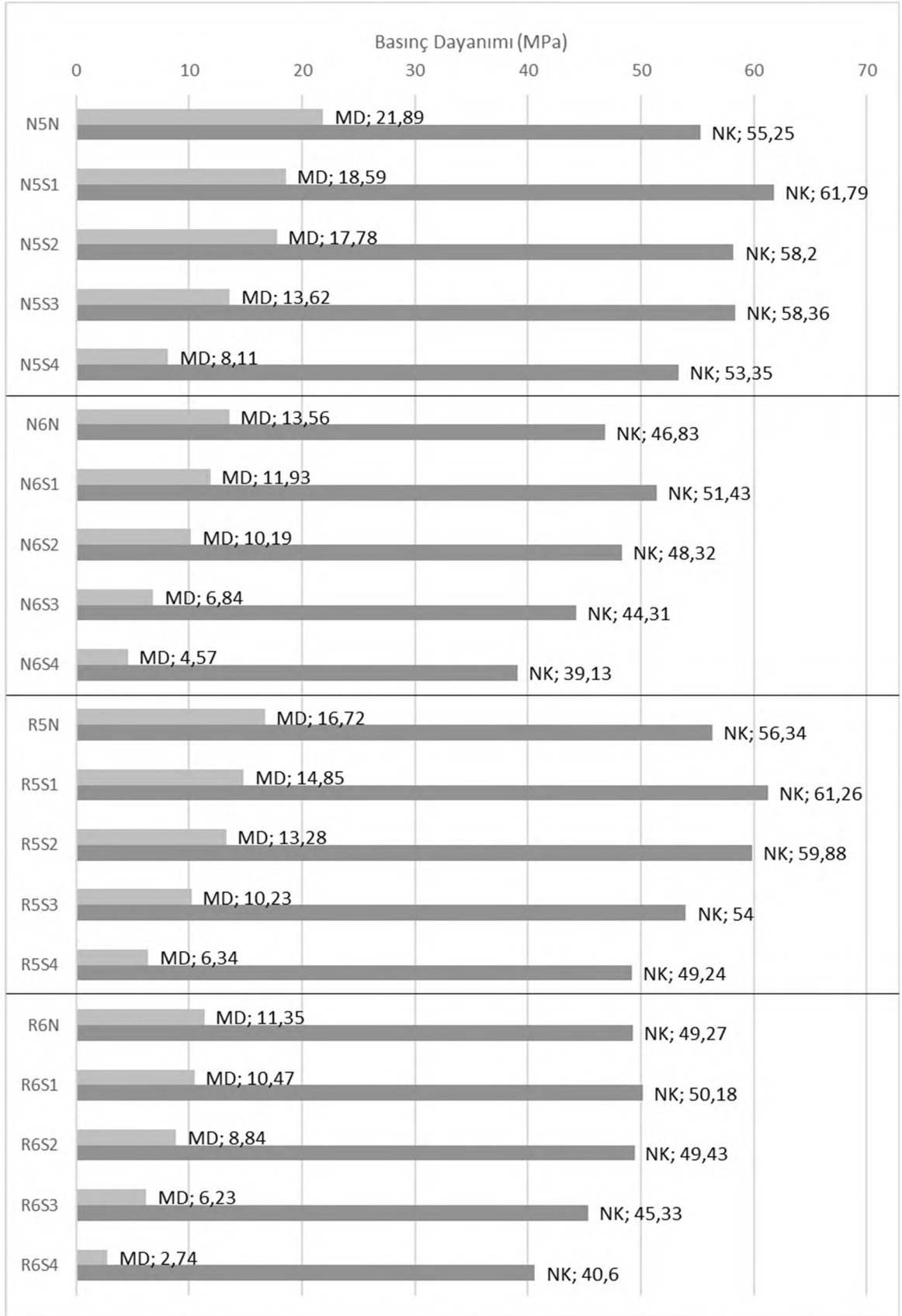
Ek 1 0.5 s/b oranına sahip R ve N numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı grafiği



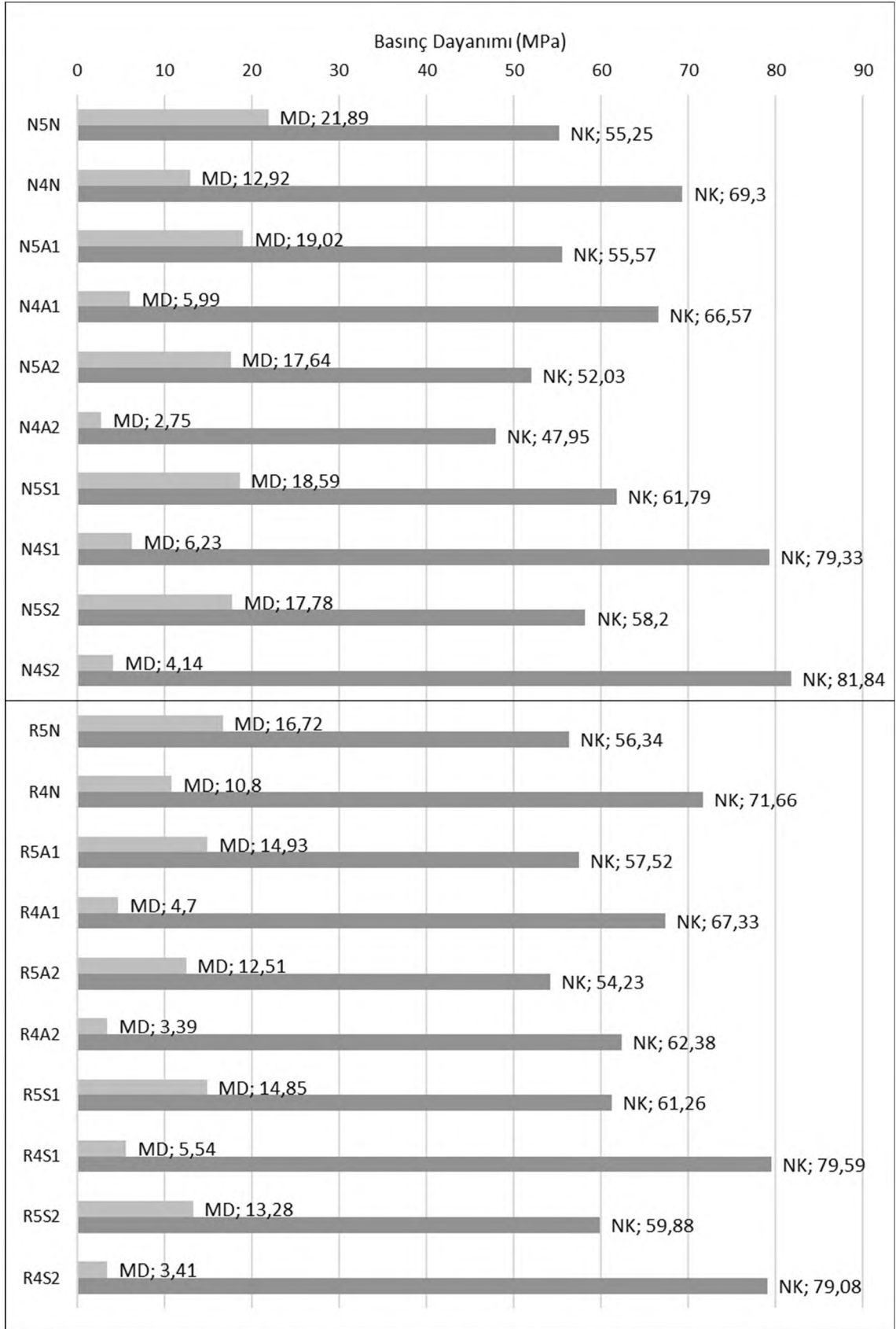
Ek 2 0.6 s/b oranına sahip R ve N numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı grafiği



Ek 3 Uçucu kül katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı grafiği



Ek 4 Silis dumanı katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımları karşılaştırmalı grafiği



Ek 5 Akışkanlaştırıcı katkılı ve katkısız numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırmalı grafiği

8. ÖZGEÇMİŞ

Okay YILDIZ

Doğum Tarihi: 1987

Doğum Yeri: Niksar/TOKAT

Lisans: Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
(Mezuniyet Yılı: 2013)