

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SERAMİK SIR ÖZELLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Uğur KUT

Yüksek Lisans Tezi

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak – 2011

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SERAMİK SIR ÖZELLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Uğur KUT

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. İskender IŞIK

Ocak-2011

KABUL ve ONAY SAYFASI

Uğur KUT'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SERAMİK SIR ÖZELLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüste yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

27/01/2011

Üye : Prof. Dr. İskender IŞIK (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Remzi GÖREN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nezahat EDİZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güray KAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyyüp GÜLBANDILAR

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SERAMİK SIR ÖZELLİKLERİNİN TAHMİN EDİLMESİ

Uğur KUT

Seramik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2011

Tez Danışmanı: Prof.Dr. İskender IŞIK

ÖZET

Türk seramik sektörünün bugünkü durumu incelendiğinde sürekli teknolojiye yatırım yaptıkları ve en son yeniliklere uyumlu bir yapı sergiledikleri görülür. Bu kapsamda seramik üretim sektöründe mevcut sıran iyileştirilmesi veya yeni bir sır tasarımında çok sayıda prototipin hazırlanması gerekmektedir. Bu araştırma-geliştirme süreçlerinde işçilik kaybı, zaman kaybı ve bunlara bağımlı olarak maliyetin artması, dolayısıyla da ürün maliyetlerine bir yansıması olmaktadır. Yaşanan bu olumsuzlukları azaltmak düşüncesiyle, üretim prosesinden alınan bazı veriler kullanılarak sırdaki parlaklık ve uygun sır bileşenlerinin tahmin edilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada yıkanmış Uşak kaolini, sülyen ve kuvars üçlü diyagramı kullanılarak reçeteler hazırlanmış ve iki farklı sıcaklıkta (950 °C ve 1150 °C) numuneler pişirilmiştir. Sıcaklık, yüzey gerilim ve genleşme katsayı verileri yapay sinir ağları (YSA) giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. YSA'nın çıkış değişkenleri olarak da sıran bileşen değerleri ve camlaşma değeri alınmıştır. Yapay sinir ağları modeli MatLab 2009 paket programının Toolbox'ı kullanılarak oluşturulmuştur.

Eğitim sonuçları ve test sonuçları gerçek değerlerle karşılaştırılarak ağ performansına bakılmıştır. Eğitim sonucunda camlaşma için regresyon $R^2=0,7856$ % hata 7,02, sır bileşenleri için $R^2=0,8588$ ile $R^2=0,9894$, % hata $8,63 \times 10^{-3}$ ile 0,63 arasında yüksek bir performans göstermiştir. Test sonucunda camlaşma için regresyon $R^2=0,8167$ % hata 7,02, sır bileşenleri için $R^2=0,9996$ ile 0,9986, % hata $8,63 \times 10^{-3}$ ile 0,63 arasındaki değerleriyle eğitimde olduğu gibi ağ performansının yüksek olduğu ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak, geliştirilen yapay sinir ağları modelinin, seramik sektöründe sır ile bünye uyumunun sağlanmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceği saptanmıştır. Aynı zamanda Ar-Ge çalışmalarında maliyeti düşürerek sonuca hızlı bir şekilde ulaşılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Camlaşma, Seramik Sırları, Sır Hataları, Yapay Sinir Ağları, Yüzey Gerilimi ve Genleşme.

PREDICTION OF CERAMIC GLAZE PROPERTIES BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Uğur KUT

Ceramic Engineering, Master Thesis, 2011

Thesis Instructor: Prof.Dr. İskender IŞIK

ABSTRACT

Analyzing the current state of Turkish ceramic sector, it is seen that there is a continuous investment in technology and modern innovations are adopted. In this context, a great number of prototypes are to be developed in ceramic production sector either to improve the current glaze or to design a new glaze. In this research and development process, labour loss, time loss and therefore an increase in cost are reflected to the product cost. In order to minimize these shortcomings, it is aimed to estimate glaze luminosity and appropriate glaze components using data from production processes.

In this study, recipes were prepared using washed kaolinite from Uşak province, lead tetroxide and quartz triple diagram and the samples were fired at two different temperatures (950 °C and 1150 °C). The input variables of artificial neural networks (ANN) were temperature, surface tension and expansion coefficient data. The output variables of ANN were component values of the glaze and vitrification value. The ANN model was designed using Toolbox of MatLab 2009 package program.

The training results and test results were compared to the real values in order to check the network performance. As a result of training, high performance was observed for vitrification at regression value $R^2=0,7856$, fault value 7,02%; for glaze components between values $R^2=0,8588$ and $R^2=0,9894$, fault values $8,63 \times 10^{-3}$ and 0,63%. As a result of the test, as in training, high performance was observed in the network for vitrification at regression value $R^2=0,8167$, fault value 7,02%; for glaze components between values $R^2=0,9996$ and 0,9986, fault values $8,63 \times 10^{-3}$ and 0,63%.

Consequently, it was determined that the artificial neural network model could be used successfully in ceramic sector in achieving harmony between the glaze and the structure. At the

same time, it was shown that it could lead a faster result by decreasing cost in Research & Development activities.

Key Words: Vitrification, Ceramic Glaze, Glaze Faults, Artificial Neural Networks, Surface Tension and Expansion

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde, sahip olduğu bilgi birikimini benimle paylaşp, bana yol gösteren ve tezin bu günlere gelmesini sağlayan Prof. Dr. İskender IŞIK'a, katkıları için Yrd. Doç. Dr. Güray KAYA'ya, yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Eyyüp GÜLBANDILAR'a sonsuz şükran ve saygılarımı sunar, çalışmalarım sırasında değerli destek ve fedakârlarını esirgemeyen eşim ve kızıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
 1. GİRİŞ	 1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.1.1. Seramik ürünlerin sınıflandırması	1
1.1.2. Türk seramik sanayinin mevcut durumu	4
1.1.3. Literatür taraması	11
1.1.4. Projenin amacı	15
 2. SERAMİK SIRLARI	 16
2.1. Seramik Sırları	16
2.2. Bir Sırın İstenilen Sıcaklıkta Erimesini Olumlu yada Olumsuz Etkileyen Faktörler	22
2.2.1. Sırı oluşturan hammaddeler	22
2.2.2. Sırın üzerini kapladığı kil bünyenin bileşimi	23
2.2.3. Bir sırın erimesi için sıcaklık faktörü	24
2.2.3.1. Fırın tipi ve yakıtlar	24
2.2.3.2. Fırın atmosferi	25
2.2.4. Sır uygulaması	27
2.3. Sırların Çeşitli Özellikleri	28
2.3.1. Sırın ham özellikleri	28
2.3.2. Erime özellikleri	29
2.3.3. Pişmiş sır özellikleri	29
2.4. Sırların Renklendirilmesi	30
2.5. Sırlı Pişirim	35
2.5.1. Sırlı pişirimde silika değişimleri	39
2.6. Sır Bileşimlerine Dayalı Sır Hataları	42

2.6.1. Sır çatlaması.....	42
2.6.2. Sır toplanması	44
2.6.3. Devitrifikasyon	45
2.6.4. Parlaklık ve matlıkta değişim.....	47
3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA).....	50
3.1. Yapay Sinir Ağlarına Genel Bakış	50
3.2. Yapay Sinir Ağının Temel Elemanları	54
3.2.1. Girdiler	55
3.2.2. Ağırlıklar	55
3.2.3. Toplama fonksiyonu.....	56
3.2.4. Aktivasyon fonksiyonu.....	57
3.2.4.1. Basamak (Step) fonksiyonu	58
3.2.4.2. Parçalı doğrusal fonksiyonu	58
3.2.4.3. Sigmoid fonksiyonu	59
3.2.4.4. Hiperbolik tanjant fonksiyonu	59
3.2.5. Hücrenin çıkışı.....	60
3.3. Yapay Sinir Ağı Mimarisi	60
3.4. Yapay Sinir Ağ Yapıları.....	64
3.4.1. Adaline	64
3.4.2. Çok katlı (ara katmanlı) perseptronlar (Multilayered Perceptrons).....	65
3.4.3. Radyal tabanlı sinir ağı (RBFNN).....	66
3.4.4. LVQ (Learning Vector Quantisation).....	67
3.4.5. Hopfield ağı	69
3.4.6. Elman ve Jordan ağları	70
3.4.7. Kohonen ağı.....	70
3.4.8. ART (Adaptive Resonance Theory) ağı	71
3.4.9. Olasılık tabanlı YSA (Probabilistic Neural Network)	72
3.4.10. Genel regresyon YSA (General Regression Neural Network).....	72
3.4.11. Çoklu ve modüler YSA (MNN ve ModNN)	73
3.4.12. Mantıksal YSA (Logical Neural Networks-LNN).....	74
3.4.13. GMDH (Group Method of Data Handling) Ağ.....	74
3.5. YSA Öğrenme Algoritmaları.....	75
3.5.1. Hebb kuralı	77
3.5.2. Hopfield kuralı	77
3.5.3. Delta kuralı	77
3.5.4. Kohonen öğrenme kuralı	77
4. MATERYAL VE METOD	78
4.1. Kullanılan Hammaddelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	78
4.1.1. Bünye olarak kullanılacak döküm çamuru	78
4.1.2. Sır denemelerinde kullanılan hammaddeler.....	82
4.2. Deneysel Çalışmalar.....	83

4.2.1. Sır uygulaması yapılacak bisküvi numune plakalarının hazırlanması	83
4.2.2. Sır denemelerinin gerçekleştirilmesi	84
5. DENEYSEL BULGULAR VE YSA MODELİNİN KURULMASI.....	86
5.1. Deneysel Sonuçlar.....	86
5.1.1. Kimyasal bileşimlerin hesaplanması	86
5.1.2. Yüzey gerilim katsayılarının hesaplanması	87
5.1.3. Genleşme katsayısının hesaplanması	87
5.2. Yapay Sinir Ağları İle Tahmin	96
6. SONUÇLAR.....	110
7. ÖNERİLER	110
KAYNAKLAR DİZİNİ	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Seramik sektöründeki girişimlerde yenilik faaliyetleri (%), 2006-2008.....	6
Şekil 1.2 (a) Türkiye'nin toplam ihracatı ve (b) seramik mamül ihracatı, 1996-2010.....	7
Şekil 1.3 (a) Sektörleri göre (b) Harcama gruplarına göre gayri safi yurtiçi Ar-Ge harcama dağılımı, 2009	7
Şekil 1.4 İstihdam edilen on bin kişiye düşen Ar-Ge personel (TZE kişi sayısı).	8
Şekil 1.5 Seramik kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri ihracat rakamları	9
Şekil 2.1 Bir sırtı oluşturan malzemelerin denge görüntüsü.....	17
Şekil 2.2 Silika zincirinin biçimlenmiş parçasında bir kalsiyum atomu	20
Şekil 2.3 Bir silika zincirini sonunda bir sodyum atomu.	21
Şekil 2.4 Fırında iki alev işlemi, osidasyonlu alev, mavi ve redüksiyon alev, sarı-turuncu	27
Şekil 2.5 Silika mineralinin termal genleşmesi	40
Şekil 2.6 Karoda sır çatlağı	43
Şekil 2.7 Sır toplanması	45
Şekil 2.8 Devitrifikasyonlu frit döküm	46
Şekil 2.9 Rutil matı sırtın enlemesine kesiti	48
Şekil 3.1 Biyolojik nöron	51
Şekil 3.2 Nöronlar.....	52
Şekil 3.3 Sinap	53
Şekil 3.4 Yapay nöronun genel yapısı.....	55
Şekil 3.5 Yapay nöron yapısı.....	57
Şekil 3.6 En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları.....	58
Şekil 3.7 Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun çalışma yapısı	59
Şekil 3.8 (a) ileri beslemeli mimari, (b) geri beslemeli mimari.....	61
Şekil 3.9 p-girişli bir nöronun (a) dendrit gösterim, (b) işaret akış grafi gösterimi, (c) blok diyagram gösterimi, (d) detaylı Gösterim	62
Şekil 3.10 Bir perseptron.....	64
Şekil 3.11 MLP yapısı.....	65
Şekil 3.12 RBFNN yapısı.....	67
Şekil 3.13 Bir LVQ ağı.	68
Şekil 3.14 Hopfield ağı	70
Şekil 3.15 Kohonen ağı	70
Şekil 3.16 ART-1 ağı.	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.17 PNN yapısı.....	72
Şekil 3.18 GRNN yapısı.....	73
Şekil 3.19 Çoklu YSA'lar.....	74
Şekil 3.20 Bir GMDH ağı.....	75
Şekil 4.1 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun tane boyut dağılımı ve % hacim eğrisi.....	78
Şekil 4.2 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun dilatasyon eğrisi.....	79
Şekil 4.3 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamuruna ait TG, DTG ve DTA eğrisi.....	81
Şekil 4.4 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun kuru mukavemet değerleri.....	82
Şekil 4.5 (a) 950 °C'de sırlı pişirim programı, (b) 1150 °C'de sırlı pişirim programı.....	85
Şekil 5.1 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramı ve parlaklık değerleri (950 °C).....	89
Şekil 5.2 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır numuneleri (950 °C).....	91
Şekil 5.3 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak sır numuneleri (950 °C).....	92
Şekil 5.4 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak sır numuneleri (950 °C).....	92
Şekil 5.5 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramı ve parlaklık değerleri (1150 °C).....	93
Şekil 5.6 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır numuneleri (1150 °C).....	94
Şekil 5.7 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak sır numuneleri (1150 °C).....	95
Şekil 5.8 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak sır numuneleri (1150 °C).....	96
Şekil 5.9 YSA veri girişi ve çıkış şeması.....	97
Şekil 5.10 YSA modeli yapısı.....	98
Şekil 5.11 Camlaşma çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R ² dağılımı.....	99
Şekil 5.12 Kurşun oksit (PbO) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R ² dağılımı.....	99
Şekil 5.13 Sodyum oksit (Na ₂ O) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R ² dağılımı.....	100

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil	Sayfa
Şekil 5.14 Potasyum oksit (K_2O) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	100
Şekil 5.15 Kalsiyum oksit (CaO) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	101
Şekil 5.16 Magnezyum oksit (MgO) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	101
Şekil 5.17 Alüminyum oksit (Al_2O_3) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	102
Şekil 5.18 Silisyum di oksit (SiO_2) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	102
Şekil 5.19 Demir oksit (Fe_2O_3) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	103
Şekil 5.20 Titan oksit (TiO_2) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	103
Şekil 5.21 Camlaşma çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.	104
Şekil 5.22 Kurşun çıkış (PbO) değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	105
Şekil 5.23 Sodyum oksit (Na_2O) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	105
Şekil 5.24 Potasyum oksit (K_2O) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	106
Şekil 5.25 Kalsiyum oksit (CaO) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	106
Şekil 5.26 Magnezyum oksit (MgO) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	107
Şekil 5.27 Alüminyum oksit (Al_2O_3) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	107
Şekil 5.28 Silisyum dioksit (SiO_2) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	108
Şekil 5.29 Demir oksit (Fe_2O_3) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	108
Şekil 5.30 Titan oksit (TiO_2) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.....	109

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelgeler</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Fasıllara göre ihracat rakamları, 1996-2010	5
Çizelge 1.2 Seramik kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri ihracat rakamları	9
Çizelge 2.1 (a) Zeger formülü, (b) Oksitlerin analiz yüzdesi.	19
Çizelge 2.2 Birim formülden yüzde ağırlık analizine çevirme	19
Çizelge 2.3 Karışım dizisinden sır reçetesinin hesaplanması.	36
Çizelge 2.4 Kuvars modifikasyonları.....	39
Çizelge 3.1 Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzeşimleri	54
Çizelge 3.2 Toplama fonksiyonu örnekleri	56
Çizelge 3.3 YSA'da en çok kullanılan aktivasyon formülleri	60
Çizelge 4.1 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamuru tane boyut ve dağılımı.....	79
Çizelge 4.2 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun kimyasal bileşim (Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San.Tic.A.Ş.).	81
Çizelge 4.3 ESC1 Eczacıbaşı Granül Döküm Çamurunun pişmiş özellikleri ve döküm verileri.	82
Çizelge 4.4 Yıkanmış Uşak kaoleninin fiziksel özellikleri.	82
Çizelge 4.5 Başlangıç hammaddelerinin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %).	83
Çizelge 5.1 Hammaddelerin bileşiminden sır bileşiminin hesaplanması.	86
Çizelge 5.2 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır bileşimlerinin 950 °C'de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.	90
Çizelge 5.3 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak çıkan sır bileşimlerinin 950 °C'de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.	92
Çizelge 5.4 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak çıkan sır bileşimlerinin 950 °C'de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.	92
Çizelge 5.5 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır bileşimlerinin 1150 °C'de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.	93
Çizelge 5.6 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak çıkan sır Bileşimlerinin 1150 °C'de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.	94
Çizelge 5.7 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak çıkan sır bileşimlerinin 1150 °C'de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.	95
Çizelge 5.8 Deneme yapılan YSA yapılarının bileşenleri.	97

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
\$	Dolar
D_q	Kristal alan şiddeti
$x(i)$	YSA Girdi değerler
$w(i)$	YSA Ağırlık değerleri
Π	Çarpım işlevi
Σ	Toplama işlevi
G_i	YSA Girdi değerler
A_i	YSA Ağırlık değerleri
y	YSA Çıktılar
x	YSA Girdiler
θ	YSA eşik değeri
v	YS A birleştirme fonksiyonu
x	Çok boyutlu giriş vektörü
c	Giriş vektörü ile aynı boyutta olan merkez vektörünü
σ	Standart sapma değeri
W_i	Başlangıç değeri
X	Eğitme giriş vektörü
$\hat{W}$	Arakat nöronunun referans vektör ağırlığı
λ	Öğrenme katsayısı
W_{ij}	i işlemci elemanından j işlemci elemanına olan bağlantının ağırlığı
x_i^c	c sınıfı için eğitme giriş deseninin i'inci elemanı
P	Sınıf sayısı
N	İşlemci eleman sayısı
V_i	Test vektörleri
R^2	Regresyon değeri

Kısaltmalar**Açıklama**

ANFIS	Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi
AR-GE	Araştırma Geliştirme
ART	Adaptif Rezonans Teori
AZ31	Mağnezyum Alaşımı
BPN	Geri Yayılmalı Sinir Ağı
CAD-CAM	Bilgisayar Destekli Tasarım-Üretim
CF	Kristal Alan
CFSE	Kristal Alan Stabilizasyon Enerjisi
CMCs	Seramik Matriks Malzemeler
CT	Yük Transferi
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
EBD	Veri Kümesinin İçersindeki En Büyük Sayısal Veri
EKD	Veri Kümesinin İçersindeki En Küçük Sayısal Veri
ESC1	Eczacıbaşı Granül Döküm Çamuru
EUROSTAT	Avrupa Birliği İstatistik Ofisi
FEM	Sonlu Elemanlar Metodu
FFD	Tam Faktöriyel Tasarım
GA	Genetik Algoritma
GD	Gerçek Değeri
GD	Gerçek Değer
GK	Genleşme Katsayısı
GMDH	Group Method of Data Handling
GRNN	Genel Regresyon YSA
GUI	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü
IFS	Kesme Mukavemeti Arayüzü
LM	Levenberg-Marquardt Öğrenme Algoritması
LNN	Mantıksal YSA
LVQ	Vektör Kuantalamalı Öğrenme
MA	Moleküler Ağırlık
MatLab	Veri analizi ve erişimi ile nümerik hesaplama amaçlı bir programlama dili
MLP	Çok Katmanlı Perseptron
MMCs	Metal Matriks Bileşikler

MNN ve ModNN	Çoklu ve Modüler YSA
Mol	Mol Sayısı
MÖ	Milattan Önce
MS	Molekül Sayısı
MSE	Ortalama Karesel Hata
ND	Normalize Değeri
OA	Oksit Ağırlığı
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OKA	Oksitlerin Gerçek Ağırlıkları
PNN	Olasılık Tabanlı YSA
RBFNN	Radyal Tabanlı Sinir Ağı
STANNs	Tek ve Çok Katmanlı Hedef Yapay Sinir Ağı
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TD	Modelin Tahmin Ettiği Değer
TG	Termogravimetri
TZE	Tam Zaman Eşdeğeri
XRF	X –Ray Fluorescence
YG	Yüzey Gerilimi
YSA	Yapay Sinir Ağı
YZ	Yapay Zekâ

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Seramiği kavram olarak “Organik olmayan malzemelerin oluşturduğu bileşimlerin, çeşitli yöntemler ile şekil verildikten sonra, sırlanarak veya sırlanmayarak sertleşip dayanıklılık kazanmasına varacak kadar pişirilmesi bilim ve teknolojisidir” [1] şeklinde tanımlanır.

İçinde yaşadığımız çağda ise teknolojinin gelişimi, yeni malzemelerin bulunması ve yeni ürünlerin geliştirilmesi ile seramik tanımının kapsamı biraz daha genişlemiştir. Dolayısı ile günümüz şartlarında seramik, “metal ve alaşımları dışında kalan, inorganik sayılan tüm mühendislik malzemeleri ve bunların ürünlerinden olan herşey seramiktir” [1] olarak tanımlanır.

Tanımlamadan hareketle seramiğin ateş ile olan bağıntısından dolayı ilk üretimi, MÖ sekizci ve beşinci binlerde, “toprağı pişirerek kaplar yapma” [2] yenitaş çağının buluşudur. Seramik ürünlerin sırlanması ise “odun ve benzeri organik maddelerin küllerinin seramik çamurunun üzerindeki etkilerinin gözlenmesi sonucu keşfedildi” [1]. “İlk sırlı seramiklerinde MÖ 4. bin yıllarında Mısır’da yapıldığı tespit edilmiştir” [3].

1.1.1. Seramik ürünlerin sınıflandırması

Seramik ürünlerin sınıflandırılması, renkleri, yapıları ve şekillendirme yöntemleri gibi buna benzer pek çok ölçüt göz önüne alınarak yapılmaktadır. Ancak birbiri içine geçmiş olan bu seramik ürünleri sınıflandırmada kesin tanımlamaları vermek oldukça zordur. Çiner [4], literatüre göre en yaygın olarak isimlendirmeyi, aşağıdaki gibi yapmıştır;

- Kaba Kil Ürünleri
- Isıya Dayanıklı Malzemeler ve Refrakterler
- İnce Seramik Ürünler
- Özel Seramikler

Çiner [4], bu sınıflandırma içerisinde yer alan ürünleri “geleneksel seramik ürünleri” olarak isimlendirmiştir.

“Geleneksel seramikler kil ve kum gibi doğal hammaddelerden elde edilir. Bu hammaddelere önemli bir ara işlem yapılmadığından teknik seramikler (çağdaş seramikler, mühendislik seramikleri) ise çoğunlukla yapay malzemelerdir, çeşitli hammaddelerin işlenmesi ve kimyasal tepkimeler sonucunda elde edilirler ve geleneksel seramiklere göre daha basit yapılı, daha arındırılır. Seramik malzemelerin metal ve polimer malzemeler göre birçok üstünlüğü vardır. Bunların arasında yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal bozunmaya dayanım, yüksek sertlik ve basma dayanımı, üstün yalıtkanlık gibi çoğu seramikte görülen belli başlı özellikler bulunur. Ancak seramik ürünlerin düşük kırılma dayanımı ve metal ve polimerlere göre yüksek tutarı, kullanımı sınırlandırmaktadır” [5].

“Bugün seramik, taşıdığı özellikler ile elektronik sanayinde birçok diğer malzemelerin yerini almıştır. Seramik dielektrik malzemelerin kapasitans değeri, diğerlerine oranla yaklaşık bin katıdır. Yine ferrit seramikler, manyetik özellikleri ile elektronik sanayinde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Doğada bulunmayan, bazı element bileşikleri, seramik sanayinde yapılabilmekte ve tungsten karbür gibi kesiciler, bor karbür gibi aşındırıcılar, titanatlar gibi kapasitörler kullanıma sunulabilmektedir” [6].

Geleneksel anlamda yukarıda sayıları seramik ürün grupları içerisinde, Türkiye ekonomisine katma değer sağlayan seramik kaplama malzemeleri, seramik sağlık gereçleri, teknik seramikler, refrakter seramikler en önemlileridir.

- 1) Seramik Kaplama malzemeleri, yer kaplamasında kullanılan çoğunlukla ülkemizde seramik karo olarak bilinen “yer karosu” ve yine fayans olarak bilinen duvar kaplama malzemesi olarak kullanılan “duvar karosu”.
- 2) Seramik sağlık gereçleri, renkli ve beyaz olmak üzere, lavabo, lavabo ayakları, helâ taşı, klozet, rezervuar, bide, duş teknesi.
- 3) Teknik seramikler, uygulama alanlarındaki işlevlerine göre iki gruba ayrılırlar.
 - a) Yapısal Teknik Seramikler: yüksek sıcaklığa dayanıklı roket kılıfları, metal filtreleri, tank gövde kaplamaları, kurşungeçirmez yelekler, salmastralar, katalitik konvertör taşıyıcıları, metallerin talaşlı imalatında kullanılan seramik kesici uçları, tekstil makinelerinde kullanılan iplik kılavuzları.

b) Fonksiyonel Teknik Seramikler: Kimi zaman bu grubun alt gruplara ayrıldığı ve elektroseramikler, manyetik seramikler, nükleer seramikler ve biyoseramikler.

4) Refrakter seramikler, sınıflandırma için dikkate alınan kriter değiştikçe yeni bir sınıflandırma ortaya çıkacağından, refrakterlerin sınıflandırılması çok güçtür. Çünkü dikkate alınacak kriterler çok fazladır ve yapılacak sınıflandırmaların birçoğunda bazı sınıflar birbiri içine girmektedir [7] .

i) Kimyasal yapıya göre: refrakterliği veren asıl madde ölçüt alınır.

- (1) Silika bazlılar
- (2) Alümina silikatlar
- (3) Mağnezyum bazlılar
- (4) Kromit bazlılar
- (5) Karbon bazlılar
- (6) Zirkon bazlılar
- (7) Karbid, silişit ve nitrit
- (8) Diğer oksitler

ii) Kimyasal bileşimine göre: metalurji sanayinde curufa göre refrakterler seçilir.

- (1) Asidik
- (2) Nötr
- (3) Bazik

iii) Refrakter hammadde orijinine göre:

- (1) Doğal refrakterler
- (2) Sentetik refrakterler

iv) Refrakterlerin ergime derecesine göre:

- (1) Normal hizmet refrakterleri (1580-1780 °C)
- (2) Ağır hizmet refrakterleri (1780-2000 °C)
- (3) Süper hizmet refrakterleri (>2000 °C)

v) Sıcaklığına dayanımına göre:

- (1) 1430-1522 °C çok düşük refrakterler
- (2) 1541-1621 °C düşük refrakter
- (3) 1640-1699 °C orta refrakter
- (4) 1699-1743 °C yüksek refrakter

(5) 1743 °C çok yüksek refrakter

vi)Uygulama biçimine göre:

- (1) Tuğlalar
 - (a)Pişmiş (yanmış)
 - (b)Kimyasal bağlı
 - (c)Saç kaplı
 - (d) Zift bağlı
- (2) Harçlar ve kaplama malzemeleri
 - (a)Örgü
 - (b)Şekillendirilebilir
 - (c)Döküm
 - (d) Sıcak tamir
- (3) Plastikleme ve tokmaktama karışımları
- (4) Tabanca ile püskürtülen malzemeler [8]

1.1.2. Türk seramik sanayinin mevcut durumu

T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu resmi internet sitesinden alınan veriler kullanılarak hazırlanan Çizelge 1.1’de görüldüğü gibi, 1996 yılı ocak ayı ve 2010 yılı ekim ayı arasındaki dönem içersinde Türkiye'nin yıllara göre dolar bazında 98 adet ürün fasılının toplam ihracat rakamları ile seramik mamullerin ihracat rakamları görülmektedir. Seramik mamullerin toplam ihracat rakamları içersindeki yüzdeleri aritmetik ortalama alma yöntemi ile Microsoft Office, Exel programı kullanılarak hesaplatılmıştır. Tabloda görülen değerler çerçevesinde seramik mamullerin, yıllara göre toplam ihracat içerişindeki yüzdelik diliminde bir düşüş olduğu gözlenmekte ancak toplam ihracata paralel olarak ihracat rakamlarında genel anlamda bir artış görülmektedir. Bunu, toplam ihracat ve seramik mamul ihracatı anlamında karşılaştırdığımızda grafiklerden de yıllara göre artıştaki paralellik görülmektedir.

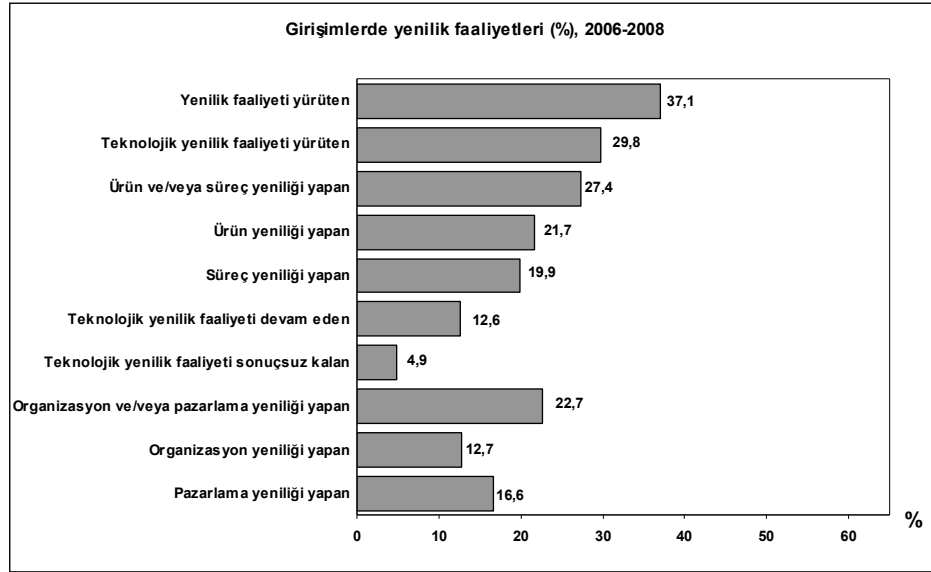
Çizelge 1.1 Fasillara göre ihracat rakamları, 1996-2010 [9].

FASILLARA GÖRE İHRACAT (Değer:000\$)			
Yıllar	Toplam ihracat	Seramik mamüller	Yüzde
1996	23 224 465	242 270	1,04%
1997	26 261 072	263 102	1,00%
1998	26 973 952	270 336	1,00%
1999	26 587 225	295 221	1,11%
2000	27 774 906	193 170	1,06%
2001	31 334 216	325 802	1,04%
2002	36 059 089	393 872	1,09%
2003	47 252 836	503 840	1,07%
2004	63 167 153	640 640	1,01%
2005	73 476 408	683 485	0,93%
2006	85 534 676	692 766	0,81%
2007	107 271 750	823 184	0,77%
2008	132 027 196	868 880	0,66%
2009	102 142 613	675 845	0,66%
2010	92 708 852	653 567	0,77%

T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu resmi internet sitesinden alınan Şekil 1.1’ de görüldüğü gibi yenilik araştırması 2006-2008 konu başlıklı haber bülteninde vurgulanan konular şunlardır: Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (Eurostat) ve OECD metodolojisine uygun olarak Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2009 yılında gerçekleştirilen yenilik araştırması sonuçları bu bülten ile verilmektedir. Bülten 10 ve daha fazla çalışanı olan sanayi ve hizmet sektöründe faaliyet gösteren girişimlerin 2006-2008 yılları arasındaki üç yıllık döneme ait yenilik faaliyetlerine ilişkin bilgileri içermektedir.

2006–2008 yıllarını kapsayan üç yıllık dönemde 10 ve daha fazla çalışanı olan girişimlerin % 37,1’i yenilik faaliyetinde bulunmuştur. Yenilik faaliyetleri girişimlerin büyüklük grubu ile orantılı olarak artmaktadır. 10–49 çalışanı olan girişimlerin % 33,8’i, 50–249 çalışanı olan girişimlerin % 43,7’si ve 250 den daha fazla çalışanı olan girişimlerin % 54,4’ü, yenilik faaliyetinde bulunmuştur.

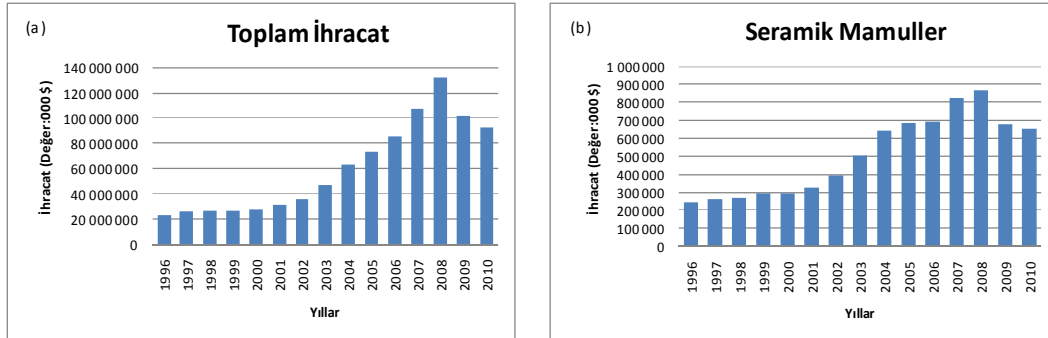
2006–2008 yıllarını kapsayan üç yıllık dönemde girişimlerin % 29,8'i teknolojik yenilik faaliyetinde bulundu. Teknolojik yenilik faaliyeti kapsamında girişimlerin % 27,4'ü ürün veya süreç yeniliği yaparken, aynı dönem içerisinde teknolojik yenilik faaliyeti devam eden girişimlerin oranı % 12,6 ve faaliyeti sonuçsuz kalan girişimlerin oranı ise % 4,9'dur.



Şekil 1.1 Seramik sektöründeki girişimlerde yenilik faaliyetleri (%), 2006-2008 [9].

Girişimlerin % 52,3'ü teknolojik yenilik faaliyetinin en önemli etkisi olarak, mal ve hizmet kalitesinin artması, % 43,1'i ürün veya hizmet çeşidinin artması, % 38,7'si ise mal ve hizmet üretim kapasitesinin artması şeklinde belirtmiştir. Bunları % 32,5 ile teknolojik yenilik faaliyetinin pazar payını arttırıcı etkisi takip etmektedir.

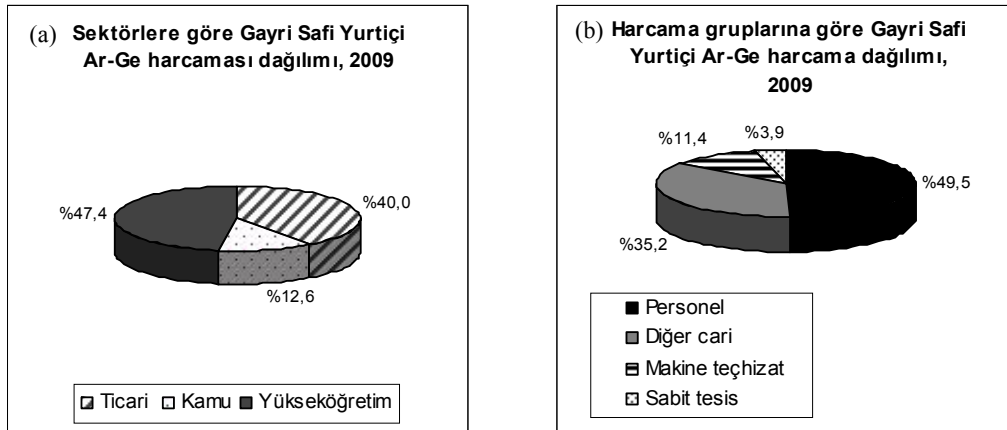
Şekil 1.2'deki grafikler incelendiğinde toplam ihracatla paralel olarak seramik mamullerin ihracatında 2006-2008 yılları arasında belirgin bir artış olduğu gözlenmektedir. Diğer faktörlerin yanında, yukarıda belirtilen 2006-2008 yılları arasında yürütülen teknolojik yenilik faaliyetlerinin ve bu artışa bir etkisi olabileceğini göstermektedir [9].



Şekil 1.2 (a) Türkiye'nin toplam ihracatı ve (b) seramik mamül ihracatı, 1996-2010.

2009 yılı Ar-Ge Faaliyetleri Araştırması sonuçlarına göre kamu kuruluşları, vakıf üniversiteleri ve ticari sektördeki anket sonuçları ile devlet üniversitelerinin bütçe ve personel dökümlerine dayalı olarak Türkiye'de Gayri Safi Yurtiçi Ar-Ge Harcaması 2009 yılında bir önceki yıla göre % 17,3 artarak 8 087 Milyon TL olarak hesaplanmıştır.

2009 yılında Gayri Safi Yurtiçi Ar-Ge harcamalarının % 47,4'ü yükseköğretim, % 40,0'ı ticari kesim ve % 12,6'sı kamu kesimi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir önceki yıl ticari kesim % 44,2 ile ilk sırada yer alırken, bunu % 43,8 ile yükseköğretim, % 12,0 ile kamu kesimi takip etmekteydi.

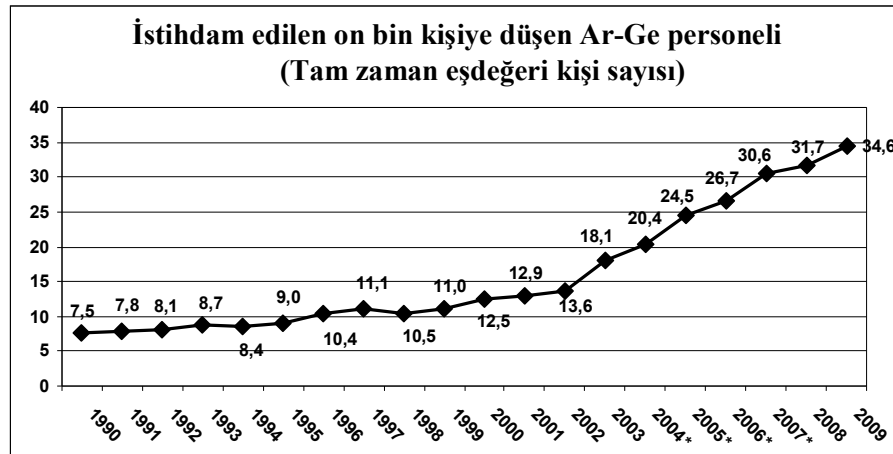


Şekil 1.3 (a) Sektörleri göre (b) Harcama gruplarına göre gayri safi yurtiçi Ar-Ge harcaması dağılımı, 2009 [10].

Şekil 1.3' (a) ve Şekil 1.3 (b)'de Ar-Ge harcamaları, finanse eden kesimler itibarıyla incelendiğinde; harcamaların % 41,0'ı ticari kesim, % 34,0'ı kamu kesimi, % 20,3'ü yükseköğretim kesimi, % 3,7'si yurtiçi diğer kaynaklar ve % 1,1'i yurtdışı kaynaklar tarafından karşılanmıştır.

2009 yılında Tam Zaman Eşdeğeri (TZE) cinsinden toplam 73 521 kişi Ar-Ge personeli olarak çalışmıştır. Bir önceki yıla göre TZE cinsinden Ar-Ge personel sayısındaki artış % 9,3'tür. Sektörler itibarı ile dağılıma bakıldığında, TZE cinsinden toplam Ar-Ge personelinin 2009 yılında % 42,8'i ticari kesimde, % 42,2'si yükseköğretim kesiminde ve % 15,0'ı kamu kesiminde bulunmaktadır.

Teknolojik yenilik faaliyetlerine ek olarak Ar-Ge çalışmalarındaki artış ile ticari kesim ve yükseköğretim kesimi hem harcama alanında hem de bu faaliyetleri finanse etmek anlamında lokomotif durumundadır. Aynı zamanda 1995 yılı itibari ile 2009 yılına kadar olan süreçte Ar-Ge çalışmalarında istihdam edilen personel sayısında da giderek yükselen bir ivme olduğu Şekil 1.5'deki grafikten izlenmektedir [10].

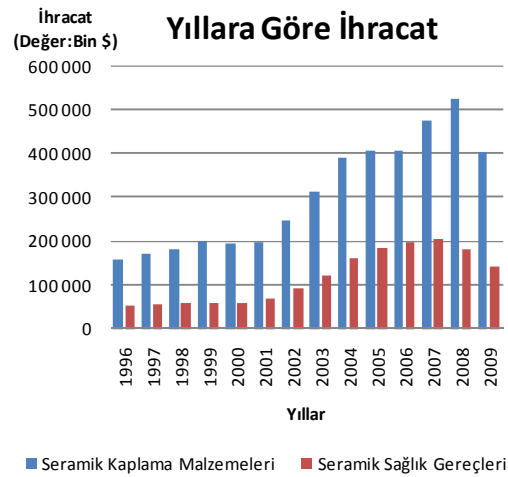


Şekil 1.4 İstihdam edilen on bin kişiye düşen Ar-Ge personel (TZE kişi sayısı) [10].

Çizelge 1.2 Seramik kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri ihracat rakamları [11].

1996-2009 YILLARI ARASI İHRACAT RAKAMLARI (Bin \$)		
Yıllar	Seramik Kaplama Malzemeleri	Seramik Sağlık Gereçleri
1996	159 300	54 300
1997	171 990	55 600
1998	181 950	58 400
1999	200 300	59 500
2000	194 700	58 900
2001	196 700	68 260
2002	246 265	91 650
2003	313 630	122 315
2004	389 520	161 737
2005	407 128	184 312
2006	406 040	197 196
2007	475 000	203 730
2008	525 357	180 245
2009	400 662	142 551

Bu anlamda teknolojik yenilik faaliyetlerinin yanı sıra Ar-Ge çalışmalarının artışıdaki ivmenin – Türk Seramik Federasyonunun “Türk Seramik Sanayi 1990-2009 Yılları” raporundan alınan verilerle oluşturulan Çizelge 1.2’de görülen tablo dikkate alındığında – seramik kaplama malzemeleri ve seramik sağlık gereçleri baz alınarak hazırlanan Şekill 1.6’da ihracat rakamlarına da yansıdığı görülmektedir.



Şekil 1.5 Seramik kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri ihracat rakamları.

Bugün Türk seramik sektörünü zirveye taşıyan en önemli etkenlerden biri firmaların sürekli teknolojiye yatırım yapmaları ve en son yeniliklere uyumlu yapılarıdır. Seramik Kaplama Malzemeleri Sektörü toplam kapasitesinin % 60'ının 1990 yılından sonra kurulmuş olması ve 1990 yılından önce faaliyete geçen firmaların son 10 yıl içinde teknoloji yatırımlarını yenilemiş olması nedeniyle, Türk seramik firmaları teknolojik açıdan rakiplerine göre üstün bir durumdadır.

1980 yıllardan itibaren cirosunun belirli bir oranını araştırma-geliştirme faaliyetlerine ayıran Türk Seramik firmaları daha o yıllarda geleceği kurmanın yollarını aramıştır. Bu bakış açısı Türk Seramik Sektörünü yıllar içinde araştırma-geliştirme faaliyetlerinde öncü konuma taşımıştır.

Türk firmaları genel ticari trendler ve müşteri eğilimlerine dönük projeksiyonlarla ilgili kapsamlı araştırmalar yapmakta ve bunların sonuçlarına uygun faaliyetlerle rekabet gücünü geliştirmektedir.

Araştırma geliştirme çalışmalarının bir diğer önemli ayağını ürün geliştirme çalışmaları oluşturmaktadır. Ürün geliştirme çalışmaları iç ve dış pazardaki verilere göre, pazarlama birimlerinin araştırıp belirlediği ya da müşteri ve tüketiciden doğrudan firmalar ulaşan isteklerin yerine getirilmesine yönelik olarak, yapılacak ürün tasarımlarını, renklemelemlerini, fiyatlar ve günün moda akımlarına göre yapılmasını içermektedir.

Bütün bunlara ek olarak ihracat yapılan 60 ülkedeki müşterilerin zevkleri, istekleri, talep değişiklikleri izlenmekte ve seramik tasarımındaki beğeniler buna göre yeniden değerlendirilmektedir. Bunun için gerekirse üretim teknolojişi geliştirilmekte, yeni ürünler tasarlanmakta ya da uluslararası standartlardaki tasarımlar yaratılarak, üretim bandına sokulmaktadır.

Ürün tasarımında kullanılan CAD-CAM teknolojileri, özellikle seramik sağlık gereçlerinde ürün kalitesini artırmış, tasarım sürecini ise kısaltmıştır. Hem tasarım hem de standartlar açısından her ülkenin kendine özgü alışkanlıkları göz önünde bulundurulduğunda firmalar müşteri isteklerine çok hızlı cevap vererek ihracat konusunda rakiplerine oranla önemli bir avantaj sağlamışlardır [11].

Türk Seramik Federasyonunun, “Türk Seramik Sanayi (1990-2009 yılları)” raporunda: enerji, nakliye, istihdam, teşvikler, yardımcı sanayi, uygulama, Türk lirasının yabancı paralar karşısındaki değeri, hammadde temininde madenlerin işletilmesi gibi sorunların varlığından

bahsedilmiştir. Yine aynı raporda, geniş iç pazar, inşaat sektörünün büyüklüğü, hareketli bir konut sektörü, zengin seramik hammadde kaynakları, hammadde kaynakları yakınındaki yüksek kapasiteli üretim tesisleri, ileri teknoloji, pazara yakınlık, eğitilmiş ve deneyimli işgücü, Avrupa Birliği mevzuatına uyum, işçilik ücretleri, üniversite-sanayi işbirliği, tasarım gücü, güçlü sivil toplum örgütü, Türk seramik imajı gibi çalışmalarını sektörün üstünlükleri arasında sayılmaktadır [12].

1.1.3. Literatür taraması

Huang vd. [13], geliştirilmiş seramik takım malzemelerin bileşimleri ve içerikleri, mekaniksel özelliklerine göre uygunluklarının tasarımı ve simule edilebilir olabileceğini düşünmüşlerdir. Yeni bir seramik takım malzeme geliştirme prosesi, malzemenin simule edilmiş bileşim ve içeriğinin bilgisine dayanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapay sinir ağlarının karakteristikleri ve onun seramik alet malzemelerinin tasarlanmasında kullanılmasını öne sürmüşlerdir. Bileşenler arasındaki ilişkinin non-lineer eşleştirmesini, hammaddelerin bileşim içeriklerini, eğilme mukavemetini, kompozit seramik aletlerin kırılma tokluğunu araştırmışlardır. Alümina matris seramik aletlerin mekaniksel özelliklerinin tahmini için yapay sinir ağları vasıtasıyla bir model oluşturmuşlardır. MatLab’da, yapay sinir ağları toolbox’ına dayanan, seramik aletlerin mekaniksel özelliklerinin tahmini için yapay sinir ağları modeli güvenilir olarak eğitmişler ve gerekli programları derlemişlerdir. $Al_2O_3-(W, Ti)C$ ve $Al_2O_3-TiC-ZrO_2$ gibi iki fazlı ve üç fazlı kompozit seramik aletlerin mekaniksel özelliklerini sunulan modelde doğru bir şekilde tahmin etmişlerdir. Yapay sinir ağlarına dayanarak kurulmuş model, kullanışlı ve simultane edilmiş bileşim içeriğinde etkili ve tahmin edilmiş olan seramik aletlerin mekaniksel özelliklerini, araştırma sonuçlarından kurmuşlardır.

Köker vd. [14] yaptıkları çalışmada, Al-Si-Mg metal matris bileşikler (MMCs) ile güçlendirilmiş taneciklerin eğilme mukavemeti ve sertlik davranışının tahmininde sinir ağlarının öğrenme performansında çeşitli eğitim algoritmalarının etkisini amaçlamışlardır. Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması alüminyum metal matris bileşiklerinin eğilme ve sertlik davranışları için en iyi sonucu verdiğini belirtmektedirler.

Lucon ve Donovan [15] çalışmalarında, bölgesel (mikroskobik) özellikler ve bölgesel geometrisi verilen kompozit malzemelerin global (makroskobik) elastik özelliklerini hesaplamak için geleneksel bir mikro mekaniksel yaklaşımın yerine yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Bu yaklaşımın, bilinen sayısal mikro mekaniksel yaklaşımlardan sayısal olarak

çok daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Bölgesel geometri için sekiz alt hücreli temsili bir miktar element kullanmışlardır. Çok katmanlı hedef yapay sinir ağı ve tek katmanlı hedef yapay sinir ağı (STANNs) en iyisini uygulamış ve % 5 hata veren bir hedef içinde global özellikleri tahmin etmişlerdir. 19,683 farklı mikro yapı için altı global özelliği tahmin etmede tüm altı STANNs için hesaplama zamanı 1.8 saniye olarak bulmuşlardır.

Fernández ve Zaera [16], katıların yüksek hızdaki çarpmalara karşı hafif seramik-metal zırhların tasarımı için yapay sinir ağlarını temel alan yeni bir alet geliştirilmiştir. Zırhın tepkisini doğrudan tahmin eden bir alet geliştirilmiştir: çarpmaya maruz kalan bünye önleme ya da hedef delinme belirlenir ve daha sonraki durum, çarpmaya maruz kalan bünyenin kalan kütlesi ve hız belirlenir. Çarpma durumlarının büyük bir seti, YSA'yı test etmek ve eğitmek için FEM sayısal simulasyon ile oluşturmuşlardır. Farklı çarpmaya maruz kalmış bünye ve hedef geometriler, malzemeler ve hızlar, çok yaygın çarpma durumlarını kaplayan geniş bir sınıflandırmada çeşitlenmiş tüm bu parametreler çarpma durumlarında göz önünde tutmuşlar. Etki altındaki seramik malzemelerin davranışları Cortiés ve diğerleri tarafından geliştirilen modelin modifiye edilmiş bir versiyonu kullanarak simule etmişlerdir. Geliştirilmiş YSA dikkat çekici bir şekilde yeterli bir tahmine sahip olduğunu, bu yüzden geleneksel tasarım metodlarını tamamlayıcı bir metodoloji teşkil ettiğini vurgulamışlardır.

Kappatos vd. [17], magnezyum alaşımı AZ31 için yapısal alaşımların artan gerilmeye ait özellikler üzerinde var olan korozyon hasarının etkisini belirlemek için bir konsept planlanmışlardır. Konsept, radyal temel fonksiyonlu bir sinir ağı kullanılması tabanına dayanır. Metalografik korozyon karakterizasyonlarını ve ön aşındırması yapılmış AZ31 magnezyum alaşım numunelerinin mekaniksel testlerini içeren, eğitilmiş ve geliştirilmiş sinir ağı modelinin tahmin modülü için elde edilen gerekli veriler kullanılarak kapsamlı bir araştırma uygulamışlardır. Önerilen konsept başarılı bir şekilde tahmin için sömürülmüştür: artan korozyona maruz kalmasıyla giderek artan korozyon hasarının sonuçları için alaşım AZ31'in kademeli gerilim özelliğinin indirgenmesinin görüldüğünü vurgulamışlardır.

Malinov vd. [18], yapay sinir ağları (ANN) uygulaması ile titanyum alaşımlarında proses (ısıtıl işlem) parametreleri ile mekaniksel özellikler arasında korolasyonunun analiz ve tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Sinir ağlarının giriş parametreleri alaşımın bileşimi, ısıtıl işlem ve çalışma (test) sıcaklığıdır. NN modelin çıkış parametreleri çekme mukavemeti, gerilme akma mukavemeti, uzama, yüzey çekmesi, darbe dayanımı, sertlik, elasilkiyet modülü, yorulma mukavemeti ve kırılma tokluğu adı verilen en önemli dokuz mekaniksel özelliktir. Model sinir

ağlarının çok katmanlı ileri besleme temeline dayanıyor. NN, hem batı hem de rusya literatüründen toplanmış çok kapsamlı veri kümeleri ile eğitilmiştir. Sinir ağları çok iyi bir performansa eriştiklerini vurgulamışlar. Metalurjik bakış açısından tahmin sonuçlarının bazı tanımlamaları verilmişler. Proses parametrelerinin işlevleri ve ısı işlem döngüleri olarak farklı sıcaklıklarda titanyum alaşımlarının özelliklerinin tahmini için model kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Proses ve ısı işlem optimizasyonu için keza kullanılabileceğini beyan ediyorlar. Grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) modelin kullanımı için geliştirilebileceğini yazmışlardır.

Rao vd. [19] yaptıkları çalışmada, performansda tatmin edici gelişmeler ile yüksek maliyetli ürünlerin dengelendiği pekçok uygulamada seramik matriks malzemeler (CMCs) hızlı bir şekilde diğer malzemelerin yerine konabilirliğini göstermişler. Kesici ve biçimlendirici aletler, mekanizmada aşınan parçalar, püskürtücüler, supap contaları ve mil yatakları, toklukta ve sertlikte gelişme gibi kullanımlar daha uzun ömürlü olmaya çevrilebilir. CMCs'nin gelişim alanlarında son günlerdeki yeniden canlanma uzay taşıma sistemleri, yanmalı motorlar ve diğer enerji dönüştürme sistemleri için onların potansiyel kullanımı yüzündendir. CMCs'inin bu uygulamalar için ideal yapılı malzemelerdir. Bununla birlikte onların kırılma toklukları zayıf olduklarından hassas kırılmalara yatkındırlar. Bu yüzden, CMCs'nin gelişmesinde dikkate alınacak temel unsur onların pekiştirilmesidir. Bunu başarmak, bi metaryel arayüzü zayıf olmalı ve çatlak sapmasında bağların kopmasına ve sonuçlanmaya izin verilmeli. Günümüzdeki çalışmalarda Al_2O_3 (matriks) / SiC (lif) seramik kompozitin gerilme-deformasyona karşılığı analizlerde kesme mukavemeti (IFS) arayüzünün etkisini içeren geri yayılmalı bir sinir ağı kullanılarak simule etmişlerdir. Etkili ve hızlı eğitim için, BPN için ağırlıklar bir genetic algoritma (GA) kullanılmasıyla elde etmişler. GA, 150 gen ve 750 dizgi uzunluğunda kromozomla modellemişlerdir. Ağ simulasyonu sonlu elemanlar analizinden elde edilenlere karşılık gerilim-deformasyon temeline dayandırmışlar. Üç düğümlü bir izoparametrik arayüz elementi sonlu elamanlar analizinde lif ve matriks arayüz model için çalıştırmışlar. Sonlu elemanlar analizleri sadece numunelerin sınırlı bir sayısı için uygulamışlardır.

Bununla birlikte simule edilmiş model bu sınırlanmış bilgilerle bile yeni bir kesme mukavemeti arayüzü için gerilme-deformasyon ilişkisinin tahmini yapabilmektedir. Bu yüzden, sinir ağları modelinin sağlamlık ve yapabilirlik genellemesi göstermişlerdir. Eğitim setinin hazırlanması, bir ağ konfigürasyonunun seçimi, ağ ve test şemasının eğitim vb. gibi GA/BPN modelinin gelişim evreleri uzun uzadıya yayınlarında ele aldıklarını belirtmişlerdir.

Moreschi vd. [20] yaptıkları çalışmada, beş inorganik tozun klavuz bağıl yoğunlukları sinir ağları kullanılarak modellemişler. Bu tozların şekilleri benzer ancak gerçek yoğunlukları farklıdır. Karışımların büyük bir miktarı üç sınıftan (kaba, orta ve ince partiküller) hazırlamış ve modellemişlerdir. Sinir ağlarının girişleri tane boyut dağılımlarının (38-2000 μm) aralıkları ağırlıkça yüzde 23 tür. Tahmin edilen değerler faktöriyel düzenlemeler ile elde edilenlerle karşılaştırmışlar. Nispeten küçük bir sinir ağı ile çok doğru sonuçların elde edildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, sinir ağları en yüksek klavuz bağıl yoğunluğa yol açan karışımın belirlenmesinde kullanmışlar.

Gill ve Singh [21] yaptıkları çalışmada sert ve kırılğan seramik malzemelerin ultrasonik delinmesi doğada kompleks ve genellikle karşılaştırılabilir yavaş malzeme taşıma oranları ile karakterize edilen mekaniksel bir malzeme taşıma prosesi olduğunu vurgulamaktadırlar. Kusursuz bir modelleme yaklaşımı ağır işleyen malzeme taşıma oranlarının karşılık verilen etkisi için ultrasonik delme ile seramiklerin malzeme tanısimlarını simule etmek için gerekli olduğunu belirtmişler. Silimanit seramiğin kararlı ultrasonik delinmesinde malzeme taşıma oranının modelleme ve simule edilmesi için bu makalede uyarlamalı bulanık-mantık arayüz sistem (ANFIS) tekniği kullanmışlar. Penetrasyon derinliği, penetrasyon için zaman ve penetrasyon oranı modelin giriş özellikleri olarak vermişler. Model yapay sinir ağlarının öğrenilebilirliği ile bulanık arayüzünün modelleme fonksiyonu ile birleştirmişler; ve bir kural seti deneysel verilerden doğrudan üretmişlerdir. Önerilen modelleme yaklaşımı gerçek elverişli sonuçlar doğrulama deneyleri ile elde edilmesiyle tahmin edilen sonuçlar karşılaştırılarak doğrulandığını vurgulamışlardır. X^2 -testinin uygulaması önerilen model ile tahmin edilen malzeme taşıma oranlarının değerleri, ağırlığının % 0,1 seviyesinde deneysel değerler ile uygunluğunun iyi olduğunu göstermişlerdir.

Gaitonde vd. [22] sert seramik kesme aleti ile tornalama, soğutucunun elimine edilmesi, proses maliyetinin düşürülmesi, malzeme özelliklerinin geliştirilmesi, enerji tüketiminin düşürülmesi ve verimliliğin artması gibi taşlama prosesi üzerinde birkaç avantaja sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey kalitesine ilişkin verinin eksikliği ve alet aşınması yüzünden tornalama tüm taşlamaların yerine kullanılamayabilir ve bu yüzden yüksek hassasiyet ve yüksek-sertleştirilmiş bileşiklerde işlenebilirlik karakteristikleri çalışmaları bir gereklilik olduğunu bildirmişler. İşleme gücü, enerji, spesifik kesme gücü, yüzey pürüzlülüğü ve CC650, CC65WG ve GC6050WH seramik uçlar ile yüksek kromiyum Al₂O₃ D2 soğuk işleme çelik aletin dönmesi süresince ikinci önerilen matematiksel modeller kullanılarak alet aşınması gibi eşlenebilirlik yönlerinde kesme ve işlenebilirlik zamanının derinliğinin etkileri için bu makalede

bir girişim yapmışlardır. Deneyler tam faktöriyel tasarıma (FFD) başına göre planlamışlar. Parametrik analizlerden, CC650 geleneksel uçlar işlenebilirlik gücü, enerji ve spesifik kesme gücünün azaltılmasında kullanışlı iken CC650WG silici uçlar yüzey pürüzlülüğü ve alet aşınmasına ilişkin daha iyi performansı olduğu meydana çıkarmışlardır.

1.1.4. Projenin amacı

Seramik malzemeler farklı bileşimde kristal ve cam yapılı fazları içermekte ve genellikle porozite ihtiva etmektedir. Bu farklı yapı bileşenlerinin miktarı ve dağılımları seramik malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir [23]. Seramik üretimin bir parçası olan sır, seramik bünyeye fiziksel ve kimyasal bir takım özellikler kazandırmaktadır.

Dokuzuncu beş yıllık kalkınma plan raporunda Dünyada yazılım ve hizmetler alanları bir yandan ekonomide verimlilik artışının en temel unsurlarından biri haline gelirken diğer yandan yoğun bir istihdam alanı olarak ortaya çıktığı belirtilmiş olup teknoparklarda yazılım faaliyetlerinin, bölgesel ve öncelikli endüstrileri destekleyecek şekilde ihtisaslaşmasına yönelik yapı kurulması amaçlanmıştır [24].

Seramik üretim sektöründe mevcut sır veya yeni yapılan bir sır tasarımlarında karşılaşılan sorunlar arasında yer alan parlaklık değerleri, genişleme katsayılarının uyumsuzluğundan dolayı çatlama ya da kabuklanma hatası veya yüzey gerilim katsayısından dolayı pinhole hatası ve ileri safhada krater oluşumu hatası nedeni ile çok sayıda prototipinin üretilmesi gerekmektedir. Bu prototip ürünlerin hazırlanması esnasındaki araştırma-geliştirme süreçlerinde işçilik kaybı, zaman kaybı bunlarla bağıntılı maliyetin artması, dolayısıyla da ürün maliyetlerine bir yansıması olmaktadır. Rekabetçi Pazar şartlarında ürün maliyetlerindeki artış, sektörde üretim yapan şirketleri zorlamaktadır. Bu tezde, seramik sektöründeki prototip üretimleri esnasında yaşanan bu kayıpları azaltmak düşüncesiyle, üretim prosesinden alınan bazı veriler kullanılarak bir bilgisayar yazılımı ile sırdaki parlaklık ve uygun sır bileşimlerinin tahmin edilmesi ve daha tasarım aşamasında iken müdahale edilmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

2. SERAMİK SIRLARI

2.1.Seramik Sırları

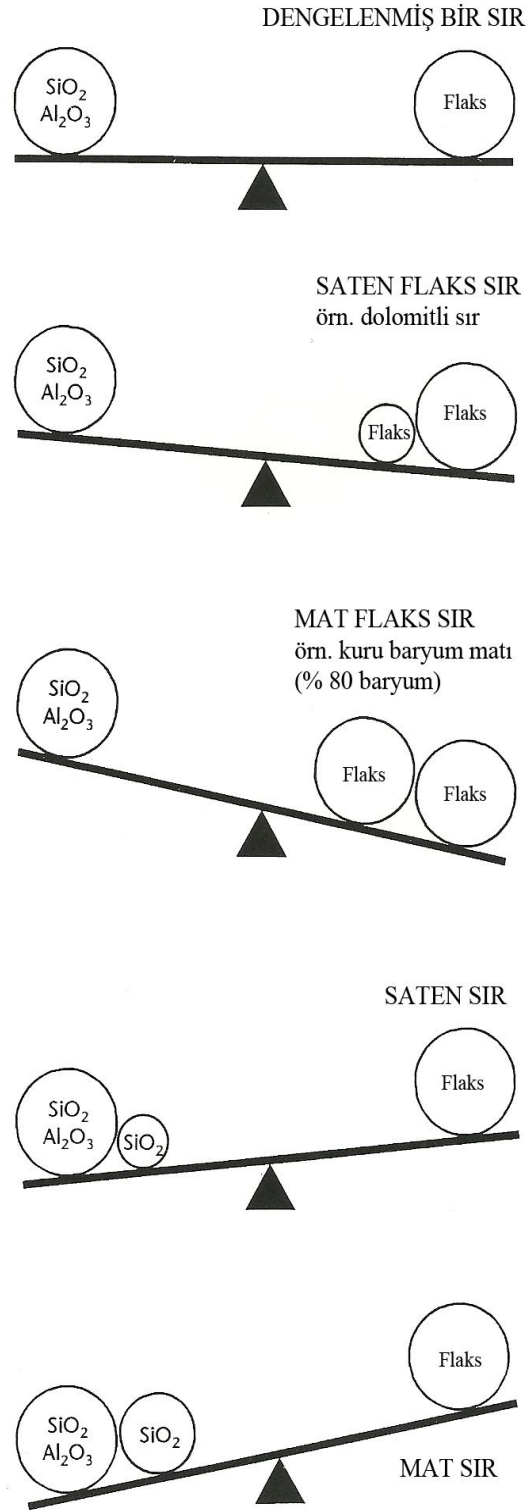
Sır, aslında seramik yüzeyini kaplayan ve dekore eden camsı bir tabakadır. Silisli kum ve borakstan yapılmış olup; çift pişirim teknikleri süresince seramik bünyeyi değiştirmeyen böyle bir yöntemde, karışımın erime derecesini düşürmek için potas, soda ve kurşun oksit ilave edilir [25]. Seramik sırları üzerini kapladığı seramik bünye ile fiziksel ve kimyasal bağlar kurması beklenir. Bu bağların iyi veya kötü olması, sırn başarısında etken olmaktadır.

Seramik bünyeleri sır tabakası ile kaplamanın çeşitli nedenleri vardır. Bu nedenlerin en önemlileri arasında: bünyeyi sıvı ve gazlardan korumak, dışarıdan gelebilecek mekanik etkilere karşı korumak, estetik görünüş açısından parlak, renkli veya dokulu bir yüzey oluşturmak, renkli pişme gösteren bünyeler üzerinde örtücü bir tabaka oluşturmak, sır altı dekorasyonlarını korumayı sayabiliriz.

Sır fonksiyonel gereksinimleri karşılamalıdır. Sır renk ve dokunun estetik gereksinimlerini karşılamalıdır. Sırların nasıl çalıştığı konusunu düşünmek, üç temel bileşene sahip bir sırn gerçekleştirilmesine yardımcı olacaktır: İskelet yapıcı, stabilizatör ve eritici; bunlar bir şekilde dengeye getirilmek zorundadır.

İskelet yapıcı yaklaşık tüm sırlarda silikadır (SiO_2). Yapı iskeleti boyunca veya 3-boyutlu silisile bağ ile çevrili bir şey olarak düşünülen silis ve oksijen atomları arasında bağla bağlanmış bir moleküler yapıyı sağlar. Adından da anlaşılacağı gibi, flaks sırların erimesine yardımcıdır. Örneğin, silikaya sodyum gibi güçlü bir flaks ilave etmeliyiz ve bir cam oluşturmamız. Böylece çok akışkan olacaktır. Stabilizatör, sırn kil yüzeyinde akmasını durdurmak için gereken üçüncü bir bileşendir. Bu genellikle alüminadır (Al_2O_3) [26].

Sırı oluşturan malzemeler bir denge hareketi sergiler; birisi dengenin dışına çıkarsa sır artık temiz ve parlak olmayacaktır ancak sütlü / opak / mat olacaktır. Sırn üç bileşeni, silika, alümina ve flaks; temiz bir sır yaratmak için bileşime sokulduğunda silika ve alüminayı eritmek için flaks doğru bir oranla dengededir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi bu malzemelerin birini dahi arttırsak dengede olmaz ve sır artık transparant olmaz.



Şekil 2.1 Bir sır oluşturan malzemelerin denge görüntüsü [27].

Flaks artırılırsa ekstra flaksla bileşimde silika yetersiz olacaktır bu yüzden çözeltiye alınmayacaktır. Flaks artırıldığında sır opak/mat olacaktır. Silika ve alümina içinde aynı uygulama –sırın içeriğinde silika veya kil (silika/kil) artırılır ve aynı etki yaratılacaktır. Sudaki çözünür tuzlara benzetilebilir: su çözelti içinde daha fazla tuzu kabul etmediği bir noktaya ulaşır ve tuz suda çözünmeyen partiküller olarak kalır. Suyu ısıtırsak daha fazla tuz çözeltide kabul ettirilecektir. Bu sır içinde aynıdır; pişirme ısısı artırılır ve tekrar temiz bir sır elde edilir. Hem tebeşir tozu (flaks, kalsiyum) hem de silika sır içinde harmanladığında mattan satene doğru gider, sonra parlak-temiz ve saten, matta geri döner. Gözlemlediğimiz şey bu kısım karışımlarında bir noktada ötektik oluşumudur. Ötektik, birlikte karışım oluşturulduğunda iki veya daha fazla malzemenin daha düşük erime noktasıdır. Bir kısım karışımında kurşun oksit ve silika benzeri iki malzeme alırsanız karışımın erime sıcaklığını artıran silikanın bir miktar artmış olacağını bekleyebilirsiniz. Bununla beraber, kurşun oksit ve silikanın birlikte ötektik nokta sadece 510 °C (950 °F) iken kurşun oksit için erime noktası 880 °C (1616 °F) ve silikanın erime noktası 1710 °C'dir (3110 °F), aslında kurşunun erime noktasından daha düşüktür. Bu ötektik yaklaşık % 90 kurşun oksit, % 10 silikada ulaşılır [27].

Doğru oranlarda bu üç bileşeni bir araya getirebilirsek mükemmel bir sır oluşturabiliriz. Ancak, bu mükemmel sırı nerede ve nasıl bulabiliriz. Bununla ilgili kurallar olmamasına rağmen, yüzde olarak bileşen malzemelerin ağırlığıyla reçete hazırlanması çok yaygın olarak kabul edilen sistemdir. Bu işlem, bir reçeteyi diğer bir reçete ile karşılaştırmayı çok kolaylaştırır. Sırayla: feldspat, killer, eriticiler ve son olarak silika (kuvars ya da flint) 100 % toplam temel bir sır olarak yaygın bir uygulamadır. Herhangi bir renklendirici veya opaklaştırıcı oksit temel sıra daha sonra ilave olarak katılır.

Potasyum oksit (K_2O) ya da kalsiyum oksit (CaO) 1 eklenen ki ismi 'birim' olarak eritici molekülleriyle birim, kimyasal formülde molekül olarak ilişkilidir. Diğerleriyle ilişkili tüm moleküllerin oranı tam formülü verir. Bu moleküler yöntemde kil oranlanıyorsa, gelenek alüminyum katmak için Çizelge 2.1' (a)'da görüldüğü gibi kolon 1'e eşitlenir. Tabi ki gerçekte, hiçbir şey bir molden daha az olamayabilir ancak önemli olan nokta oranlardır. Şekil 2.1 (b)'de görüldüğü gibi analiz yüzdesinde sırda var olan oksitlerin gerçek kütleleriyle ilgilidir.

Çizelge 2.1 (a) Zeger formülü, (b) Oksitlerin analiz yüzdesi [26].

(a) Bazik Oksit (Flakslar)	Anfoter Oksit (Stabilizatör)	Asit Oksit (Camı Biçimlendiren İskelet Yapıcı)	(b) Oksitler	Ağırlık (%)
0.05 K ₂ O 0.18 Na ₂ O 0.57 CaO 0.01 MgO 0.19 ZnO	0.34 Al ₂ O ₃	3.13 SiO ₂	SiO ₂ Al ₂ O ₃ K ₂ O Na ₂ O CaO MgO ZnO	65.48 12.28 11.22 0.05 5.45 1.67 3.86
1.00 Toplam			Toplam	100.00

Burada gelenek, birincisi silika – bu asidik oksit grubudur, alüminyum oksit ile sonraki – bir anfoter oksit olarak bilinir, sonuncusu alkali ve toprak alkali flakslar – bazik oksitler olarak bilinir. En kullanışlı oranlardan biri analizde silika ve alümina miktarıdır.

Her iki sistem temel olarak aynı şeyi söylüyor, sadece tek fark birim formül moleküllerin sayısı ile ilgilidir ve yüzde analizde oksitlerin gerçek ağırlıkları verilir. Basit bir hesaplama birini diğerine çevirmekten ibarettir.

Birim formül moleküller ve bir ağırlığa sahip moleküller olarak bir sıra analizi verilir, tüm yapmamız gereken oksitlerin gerçek ağırlıklarını bulmak için moleküler ağırlık ile moleküllerin sayısını çarpmaktır. Denklem (2.1) kullanılarak; burada Mol, molekülleri, MA, moleküler ağırlıkları ve OKA, oksitlerin gerçek ağırlıklarını göstermektedir Çizelge 2.2’ de görüldüğü gibi birim formülden yüzde ağırlık analizine çevirebiliriz.

$$Mol * MA = OKA \quad (2.1)$$

Çizelge 2.2 Birim formülden yüzde ağırlık analizine çevirme [26].

Oksitler	Birim formül	Moleküler ağırlık	Gerçek ağırlık	Çevrilmiş yüzde ağırlığı
K ₂ O	0.05	x 94.20	= 4.71	1.64
Na ₂ O	0.18	x 62.00	= 11.16	3.90
CaO	0.57	x 56.10	= 31.98	11.16
MgO	0.01	x 40.30	= 0.40	0.14
ZnO	0.19	x 81.40	= 15.47	5.40
Al ₂ O ₃	0.34	x 02.00	= 34.68	12.10
SiO ₂	3.13	x 60.10	= 188.11	65.66
Toplam			286.51	100.00

Yüzde analizden birim formüle değişim için yukarıdaki prosedürün tersi moleküler ağırlıkları ile oksitlerin ağırlıkları bölünür. Bu moleküllerin mevcut sayısını verir. Denklem (2.1) kullanıldığında % OA oksitin % ağırlığını, MA moleküler ağırlık, MS birim formüle kullanılan moleküllerin sayısını ifade ediyor.

$$\frac{\%OA}{MA} = MS \quad (2.2)$$

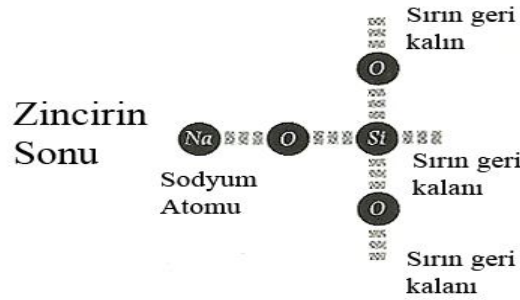
Sır yapmak birçok şeyi göz önüne almayı gerektirir. Denemeleri ve sırları doğru bir şekilde tartmalı dolayısıyla uygun bir terazi esastır. Malzemeler, ince sınıflarımış bir seramik toz olmalı ve en az 80 meshlik bir elekten elenmeli (100 veya 120 mesh daha iyi olur). Stoneware sırlarında kullanılan temel toprak alkali oksitler baryum (BaO), kalsiyum (CaO), magnezyum (MgO), stronsiyum (SrO) ve çinkodur (ZnO).

Bunlar flaks olarak alkali gruptan daha az etkilidir ancak daha düşük genleşme katsayısına sahiptir ve bu yüzden sır/bünye uyumunun gelişmesinde daha büyük bir olanak sağlar. Atomik seviyede sır matrisine girerler ve gerçekte silika zincirinin parçasını biçimlendirirler. Bu yüzden onlar Şekil 2.2’de görüldüğü gibi sır içinde – alümina gibi – silikat moleküler yapı zincir bağlarını sürdürürler; daha büyük bir stabiliteyi desteklerler.



Şekil 2.2 Silika zincirinin biçimlenmiş parçasında bir kalsiyum atomu [26].

Stoneware sırlarında kullanılan alkaliler lityum oksit (LiO₂), potasyum oksit (K₂O) ve sodyum oksittir (Na₂O). Düşük erime noktaları ile etkin ve aktif flakslardır ancak genleşme katsayıları çok yüksektir. Atomik seviyede sır matrislerine girerler ve bir silikon-oksijen zincirinin sonunda biçimlenirler, Şekil 2.3’de görülebilir. Aslında sırnın belkemiği olan silika zincirini kırar. Bu yüzden alkalilerin çok yüksek olduğu sırlar çok akışkan ve akma eğiliminde olabilirler.



Şekil 2.3 Bir silika zincirini sonunda bir sodyum atomu [26].

Sadece doğru alümina:silika dengesi değil aynı zamanda alkali ve toprak alkali flakslar arasında doğru dengeyi kurmakta bir sorundur. 1240 °C’lik transparant sırları tertiplemek için temel parametreler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Birim formülde:

1. Alümina miktarı 0.30 kısma yakın olmalı (0.20 ile 0.40 arasında).
2. Silika miktarı 3.00 kısma yakın olmalı (2.50 ile 3.50 arasında).
3. Toprak alkali miktarı, sırları stabil ve istenen işlevi alabilmek için mümkün olduğu kadar olmalı. Çinko oksidin küçük bir miktarı (reçetede % 10 kadar) önemlidir.
4. Çatlaksız sırlar elde etmek için, alkalilerin miktarı mümkün olduğu kadar düşük olmalı ancak dengenin bilincinde olarak hesap bakiyesi tespit edilmeli ve bazı alkaliler eritme etkilerini ve renk yansımalarını geliştirmek için gereklidir. Alkali flaksların ek bir kaynağı olarak lityum karbonat kullanışlıdır ve reçetinin % 5’i kadarını oluşturur [26].

Sır silikat tekniği içerisinde kompleks bir yapıdadır. Esas yapının temeltaşı silisyum dioksittir (SiO₂). Sır silisyum dioksit ile diğer metal veya metal olmayan oksit bileşiklerinin çeşitli oran ve miktarlardaki bileşimlerinin teşekkülü ile sağlanır. Sır belli sıcaklık ve belli basınç altında eritilmiş ve teknolojinin gerektirdiği şekilde soğutulmaya bırakılmış amorf yapıda bir camdır. Normal şartlarda kristalleşemeyen bir bünyedir, yani izotropdur [28]. Pişme sırasında sıranın erimesi tek bir noktada olmayıp, sıranın oluşturan silikat karışımının zinterleşmesine bağlı olarak, kimyasal bir reaksiyon boyunca yavaş yavaş olur [1].

Sır, yaygın olarak hammadde bileşenlerinin mekaniksel karıştırıcıların ve öğütücülerin kullanılmasını içeren geleneksel metotlarla hazırlanır. Ancak, metot düşük derecelerde sıranın eritmek için gerekli olan çok homojen bir sır yığını üretmede etkili değildir.

Daha düşük eritme sıcaklıklarında alkali ve toprak alkali oksit biçiminde eriticilerin bir alternatifinin bilinmesidir ancak sırların termal özellikleri, yüzey gerilimi ve viskozite esaslı değişimler bu metotta katı bir sınır koyar. Alkali ve kurşun oksit miktarı en yüksek kalitedekilerde en düşük erime sıcaklığında olan pek çok sır yelpazesinin uzun zaman değerli bir bileşeni oldu. Kurşun kullanımına dayanan sır endüstrisine karşın dünyada sağlık riski endişesi, kurşun yönetmeliğinin kısıtlamaları ile sonuçlanır [29].

2.2. Bir Sırın İstenilen Sıcaklıkta Erimesini Olumlu yada Olumsuz Etkileyen Faktörler

Bir sırın istenilen sıcaklıkta erimesini olumlu ya da olumsuz etkileyen faktörleri şu şekilde sayabiliriz.

1. Sırı oluşturan hammaddeler
2. Sırın üzerini kapladığı kil bünyenin bileşimi
3. Bir sırın erimesi için sıcaklık faktörü
4. Sır Uygulaması
5. Sırın kimyasal yapısı

2.2.1. Sırı oluşturan hammaddeler

Bir sır reçetesi yapmak için– feldspat, kobalt oksit/karbonat, kaolin kurşun bisilikat (frit), çinko oksit, tebeşir tozu, silika, demir oksit, talk, borsilikat (frit), bakır oksit/karbonat, ambligonit ((Li, Na) Al [(F, OH) PO₄]), baryum karbonat, rutil, kemik külü, lityum, nepelin siyenit, krom oksit, ball clay, titanyum dioksit, bazalt gibi uzun bir listeden sadece bir kaç – hammaddelere gereksinim duyarız. Bunlardan bir kaç doğal madensel malzemelerdir – feldspat, kaolin ve ball clay en yaygın kullanılan üç hammaddedir. Herhangi bir madensel malzemede olduğu gibi bu hammaddelerin analizleri farklı olacağından flaks, silika ve alümina oranları bir miktar değişecektir ve bu yüzden ilave iz malzemeleri sırın erimesini etkileyebilir.

Bir örnek olarak feldspatı alacak olursak, mineral tedarikçileri çok daha değişmeyen ürünler vermek için iki, üç veya daha çok maden ocağından malzemeleri harmanladığına rastlarız. Feldspat stoneware/porselen sırlarının başlıca bileşeni olarak aldığınız her partide erime testi yapmak çok önemlidir. Bu eski ve yeni feldspatlara paralel testler ile yapılır. Her örnek kalın bir pasta için suyla karıştırılır ve en az 10 cm yüksekliğinde bir karonun üzerinde konik biçiminde ayrılmış olarak şekillendirilerek uygulanır. Sonraki stoneware pişiriminizde onları pişirmek, karşılaştırma yapmak için en kolay ve en hızlı yöntemdir.

Diğer çözüm sır reçetesini yeniden hesaplamaktır. Seğer formülüyle yeniden nasıl hesaplanacağını biliyorsanız bu kolay anlaşılır. Bununla beraber, seger formülü mükemmel ve sır hesaplamasının bilgilendirici anlamı tüm malzemelerin analizlerinin doğruluğuna bağlıdır. Kullandığınız feldspatın bir analizini elde edemiyorsanız örneğin bir kitaptan standart bir analiz kullanıyorsanız bu yaklaşım hatalı hesaplamalara yol açabilir. Tüm malzemeler için bu uygulanır. İçeriğindeki kaolin ve iz elementler bir sırın silika/alümina oranını değiştiren diğer önemli malzemelerdir.

2.2.2. Sırın üzerini kapladığı kil bünyenin bileşimi

Seçtiğiniz kil bünye sırlı pişirmede bitmiş nihai sırın kalite, renk ve görünümünde rol oynayan önemli bir parçadır. Demir içeren bir kil bünye, derinlik ve sırın kendi renginden uzaklaşacak kadar sıra bir zemin rengi verir. Böyle bir bünye üzerinde renklendirilmiş taransparant sır kullanımı koyu kahverengi bir kağıt üzerinde konulmuş bir suluboya tabakasına benzeyecektir. Boya tabakası bir opak sırsa bir guaş gibi, ince olduğu yere doğru akacaktır. Benzer etkiler beyaz kil bünyelerde de görülebilir; bazı killer kurutma kağıdı gibi sırın canlılığını ortaya çıkartacaktır. Bu killer doğada daha refrakter olma eğilimindedir. Porselen tipi bir kil üzerinde sır bir derinlik kalitesine ve canlılığa sahip olmaya eğilimlidir. Mat sırlar daha az etkilenir.

Bünye seçimi keza sır-bünye uyumunu etkiler; burada sır, silika içeriği artırılması yoluyla ya da bünyede silika düşürülmesi ile ve ya bünyeye flaks ilavesi ile düzeltilmiş olabilir. Kil formunda değil sıra silika ilavesi ile silikayı artırmak daha basittir. Kaolin ya da ball clay kullanılarak ilave edilen silika sır üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir.

Bir sırın başarılı bir şekilde erimesi için sır uygulamasında kalınlık faktörü önemlidir. Sır kalınlığını etkileyen faktörler sır süspansiyonu ile seramik numunelerin gözeneklilik yapısıdır. Seramik numunelerin üretiminde uygulanan şekillendirme yönteminde farklı boyutlarındaki tanelerin olabilecek en iyi paketlenme şekli istenmektedir. Tozlar arasında boşluklar mevcuttur. Şekillendirme sırasında seramik malzemenin cinsine, tane boyutuna ve şekillendirme prosesine bağlı olarak % 25-60 mertebesinde gözenek bulunur [30]. Sıvı faz sinterlemesinde, sıvı faz içinde taneler önemli ölçülerde hareket etmektedir. Bu hareket tanelerin tekrar düzenlenmesini ve yoğunlaşmasını sağlamaktadır. Sıvı faz, parçadaki gözeneklerin içine akar ve katı taneleri taşıyarak bu boşlukların yerini alır [31]. Yapıda tane

dağılımı bir başka deyişle gözenek dağılımı homojen ve dar boyut aralığında olursa, sinterleme ve gözenek küçülmesi tüm noktalarda aynı anda olmaktadır [32].

2.2.3. Bir sıranın erimesi için sıcaklık faktörü

Fırın sıcaklığı sırlar üzerinde dramatik bir etkiye sahip olabilir. Küçük bir deneme fırınında sırlar geliştirilir ve sonra büyük bir fırında seramik mamül üzerinde pişirilir. Sırlar deneme fırınında pişmiş olan test numuneleriyle hiçbir şekilde aynı görünmez. Sır malzemelerde eritme ve soğutma sürecinde yapıları ısıtma işlemi yüzündendir.

Tuğla fırınlardan fiber izolasyonlu fırınları gidildiğinde tüm sırlar asla aynı etkiyi vermez. Zaman içinde yeni bir serisi yeni pişirme programına uyarlanmak zorundadır. Pişirmeler daha hızlıdır, hem zaman içinde sıcaklığa hem de soğutmaya ulaşılır. İlk olarak sırlar aynı derinlik ve kaliteden yoksundur ancak pişirmenin biraz daha yükseltilmesi ya da flaks içeriğinin artırılması ile keşfedilir. Nihai kalite geliştirilir. Fiber fırınlarda geliştirilmiş sırlar tuğla fırınlarda pişirilmiş olanlardan farklı bir karakterdedir.

Sır malzemeler üzerinde sıcaklığın etkisi yaygın bir şekilde cones, Bullers halkaları ve Holcroft barları olarak bilinen pyroskopların kullanımı ile kolayca görülebilir. Pirometre fırın içindeki hava sıcaklığını ölçerken, cones sıcaklıkla yapıları işi ölçer. Buna ısıl işlem denir, seramik malzemelerde sıcaklığın bileşime etkisi ve sıcaklığı ifade eder. Örneğin daha düşük bir sıcaklıkta seramik bünyenin ısıtılmasını sürdürmek yüksek bir sıcaklıkta daha kısa bir periyot olduğu gibi benzer bir vitrifikasyon ile sonuçlanabilir.

Ek olarak redüksiyonlu atmosferde eriyen malzemeler oksidasyonlu atmosferde pişirilenlerden daha düşük erime noktasına sahip olacaktır.

Tüm bu faktörler, başlamış olduğumuz pişmiş sır reçetesinde başkalaşmaya götürür. Bazı sırlar, yüksek feldspatlı sırlar gibi, daha yavaş bir erimeye tepki verir. Fırının soğutulması, kristal gelişim sıcaklık bölgesiyle yavaş soğutma gerektiren kristal sırlarının durumunda kritik olabilir; bu kritik noktada birkaç saat gerektirebilir.

2.2.3.1. Fırın tipi ve yakıtlar

Fırının kendisi nihai sır kalitesinde çok büyük bir etkiye sahiptir. Fırınlar tuğladan imal edilebilir (yoğun veya yüksek alümina yalıtkan), arkası yalıtımlı ya da fiber, her faktör özgün fırınlar yaratır. Fırının termal özellikleri kullanılan yakıtla bağlı olarak çeşitlidir.

Yakıtların kendisi sırların çıktılarında etkili olabilir. Uçucu kül (flaks), alev ve hava akımı ile fırına gelen yanma bölgesinde gelen kül, sırn yüzeyini etkiler ve alev yolunda yüzeylerin maruz kalmasına ve kullanılan sıra bağlı farklı alanlar etkilenirken, bir yakıt olarak odun kullanımı nihai sırn kalitesini doğrudan etkiler. Sırlanmış işler 6-8 saat çok hızlı bir şekilde pişirilebilir, ancak 20-30 saat daha uzun pişirimler ateş bölgesinden gelen kül ile birlikte sırların yavaş bir erime sağlanması vasıtasıyla sırlara farklı bir kalite verir. Çökelmiş kül miktarı kullanılan yanma bölgesinin tipine ve seçilen oduna bağlı olacaktır.

Bir yakıt olarak petrol farklı sır kalitesi verebilir ancak popüler değildir. Yağdaki safsızlıklar hoş sonuçlar vermek için sırlarla tepkimeye girebilir. Gaz petrol ile karşılaştırıldığında temiz bir yakıttır; keza verimlidir, kolayca yanar ve bir yakıt olarak odun veya petrolün yaptığı gibi sırlarla reaksiyona girmez.

Kullanılan odun, petrol veya gaz hem oksidasyon redüksiyon atmosferli bir fırın yakımını mümkün kılarken, elektrikle atmosfer sadece oksidasyonlu olabilir. Bir elektrikli fırın gaz veya odun kullanımını düşürebilir ancak redüksiyon çok sık tekrarlanıyorsa elementlerde zararlar sonuçlanacaktır.

2.2.3.2. Fırın atmosferi

Fırın atmosferi keza nihai sırnı değiştirebilir. Bakır kırmızı denilen bir sırn örnek olarak alalım. Redüksiyonlu atmosferde pişirildiğinde renk kırmızı ancak oksidasyonlu atmosferde pişirildiğinde açık yeşil veya tırkuvaz olabilir. Oksidasyonlu atmosferde, pişirim boyunca oksijen varlığına sahibiz. Redüksiyonlu bir atmosfer, mevcut oksijen kadar kullanılan yanmamış yakıtın varlığı ile üretilir. Yanmamış gazlar böylece oksijenden mahrum bırakılır ve sırdaki malzemelerden oksijen alır. Sır içeriğindeki oksijenin birazından mahrum edildiğinde sırn rengini etkileyebilen indirgeme olduğu söylenir. Oksidasyonlu pişirimde % 1-3 demirle feldspatik bir sır kırmızı demir biçiminde, ferik Fe_2O_3 demirli açık bal kahverengi bir olacaktır. Redüksiyonlu pişirimde, renk seladon olarak bilinen bir yeşil olacaktır, demir ferrus FeO biçimine dönüşen bir kısım oksijenini kaybedecektir. Demir ve bakır redüksiyon altında en fazla renk paleti çeşidi veren oksitlerdir, kobalt hem oksidasyonlu hem de redüksiyonlu atmosferde hep aynı mavi rengi verirken renk değişimi için diğer malzemeler tepki veriyor (titanyumlu mavi yeşil, magnezyumlu leylak pembe).

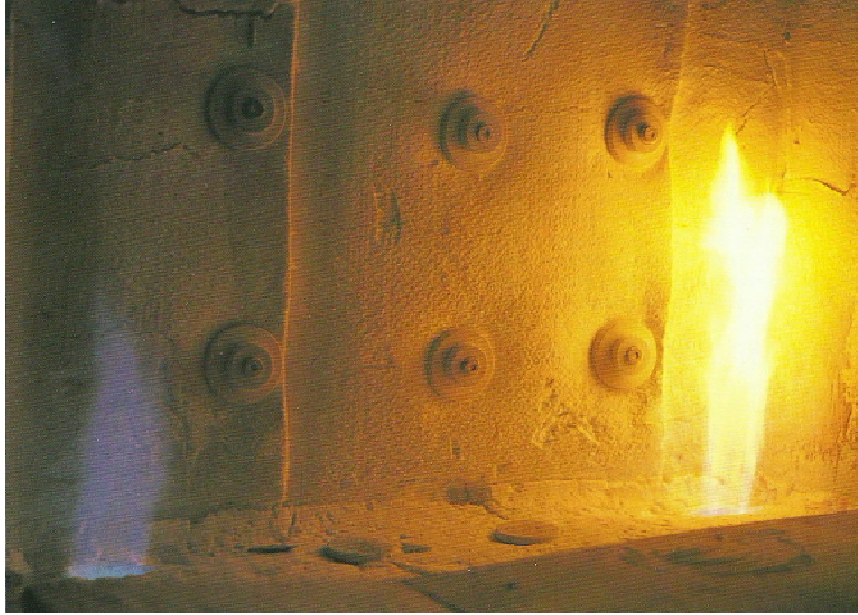
Fırında redüksiyon başladığında öncelikle ısı kaybı olacaktır, sonra ısı tekrar yükselmeye başlayacaktır, ancak genellikle redüksiyon başlamadan önceki kadar hızlı

olmayacaktır. Her fırın farklı bir şekilde hareket eder – bazıları eziyetli bir şekilde yavaşken diğerlerinde zaman kaybı görülmez. Sırların nasıl olduğunu görmek için redüksiyonun yoğunluğu/miktarı ve fırın tecrübesi değişkendir. Pişirim döngüsünde değişimlerin kaydı tutulmalıdır.

25 potasyum feldspat, 25 tebeşir tozu, 25 silika ve 25 kaolinden oluşan Stoneware feldspatik bir sır, örneğin erimeye başlaması için ilk malzeme 1120 °C'de (2048 °F) potasyum feldspattır. Redüksiyon 1080 °C (1976 °F) civarında başlayacaktır. Reçete bir bileşen olarak frit içeriyorsa, redüksiyon fritin erime sıcaklığından sadece biraz altında başlamak zorunda olacaktır, bazı durumlarda 800 °C (1472 °F) kadar düşük, sır erimeye ve biçimlenmeye başladığında malzeme kolayca indirgenemeyebilen nedeni oluşturuyor. Dolayısıyla frit içeren bakır kırmızısı sır 1100 °C'de (2192 °F) indirgendiğinde fırından meydana gelebilir kırmızı rengi veren koloidal bakırda bakırın partikül aktarımı olduğu yerde yeşil ya da belirgin olmayabilir.

Redüksiyon tüm pişirim süresince devam edebilir ancak sonunda bir oksidasyon periyodu sırda renklerin birazını bırakacaktır. Redüksiyon döngüsü için kural yoktur, bazı sırlar bakır kırmızısı için gerekenden daha hafif redüksiyona tepki verir dolayısıyla ne zaman başlayacağı ve ne kadar ağır olacağını bilinmesi redüksiyon göstergesi olabilmesi açısından önemlidir.

Gözetleme deliği ya da baca deliğinden dolayı alevin varlığı olmazsa olmaz anlamında değildir. Pek çok fırın özellikle 1200 °C'den (2012 °F) sonra geri basınç nedeniyle gözetleme deliğinin tepesinden bir alev gösterebilir. Şekil 2.4'de alevin rengi ve nasıl şiddetli dışarı çıktığı bir rehberdir; mavi bir alev, oksidasyonken sarı turuncu bir alev, bazen dumanlı, indirgemedir. Redüksiyona 1000 °C'nin (1832 °F) altında başlanırsa bisküvi pişirimi tüm organik karbon malzemelerin yanmasını kesinleştirmek için 1000 °C'den (1832 °F) daha yüksek bir sıcaklıkta pişirmek gerekir. Bu önlem redüksiyon Stoneware sıcaklığında mamüllerin şişmesine neden olabilir. Ek olarak sır erimeden önce bir kil bünyenin redüksiyonu farklı efektler yaratacaktır. Örneğin yüksek demir içeren bünye demir üzerine talklı bir sır ile vurgulanmış bir efekt ile her tarafına yayılacaktır.



Şekil 2.4 Fırında iki alev işlemi, oksidasyonlu alev, mavi ve redüksiyon alev, sarı-turuncu [27].

Redüksiyonun bu tartışması Stoneware sırları ile sınırlandırılmıştır ancak aynı prensipler malzemelerin erime noktalarından önce redüksiyon başlangıcı herhangi bir sıcaklıkta uygulanabilir. Earthenware sırlarının durumunda bu herhangi bir fritin erime sıcaklığından önce olabilir. Bu sırlarda indirgeme çok yaygın bir uygulama değildir ancak teknik göz ardı edilmemeli, özellikle bakır sırları ve diğer oksitlerle kombinasyonlarında. Hava balonlarına ve pinhole neden olan karbonun hapsolmesi gerçekleşebilirken earthenware sırları ile redüksiyonda daha çok dikkat gereklidir.

2.2.4. Sır uygulaması

Fırından nasıl bir sırn çıkacağını belirleyin diğer faktör çalışmada nasıl bir uygulama yapılacağıdır. Daldırma, akıtma, püskürtme, fırça hatta tuz sırları durumunda fırının içine malzeme atmak. Boyama medyumundan ziyade su kullanarak seramik üzerine sırn fırça ile uygulaması sırn farklı kalınlıklarıyla sonuçlanan düz olmayan bir yüzey verir. Bazı sırlarda bu çeşitli renkler ve yüzey efektleri veren bir artı olabilirken diğer sırlarda yüzey yamalı ve tatmin edici olmayacaktır. Benzer çeşitlemeler bir yüzeye sırn püskürtüldüğünde de görülebilir. Bir püskürtme tabancası kullanmak normalde düz bir yüzey ve arzu edilen bir sırn kalınlığı ile sonuçlanır. Püskürtme tabancasının hava basıncı azaltılması ile sırcama olacak, bazı sırlarla enteresan sonuçlara yaratan düzgün olmayan bir sırn uygulaması yaratılır. Seramik bir sırn içine

daldırıldığında kontrol edilen bir sır kaplaması ve kalınlık elde edilebilir. Kalınlık farklılıklarıyla diğer bir dekoratif efekt elde edilir.

Sır uygulamaları bisküvi pişirimi yapılmış işin porozite içeriğini, çeşitli sıcaklıklar için bisküvi mamül pişirimi veya farklı porozitelere sahip kil bünyelerin kullanım miktarı değişkenlerdir. Hatta aynı sıra daldırdığımızda sırların farklı kalınlıkları farklı yüzey kaliteleri ile sonuçlanan en çok karşılaşılan durumlardır.

Sıra ne kadar su katılacağına bir kuralı yoktur ancak yüksek kil içerikli bir sır küçük bir miktarda olandan daha fazla su gerektirir. Yüksek killi bir sır seramik üzerinde daha uzun bir sürede kurur. Bazı sırlar karışımın suyu kıvamlı olduğunda en iyi sonucu almak için ince bir şekilde uygulanmalıdır, diğerleri krem gibi kalın olmalısı gerekir ve en iyi şekilde sonuçlanması için kalın bir şekilde uygulanmalıdır. Bazen verilen bir sır reçetesi ile çeşitli tutarlılıklarda bir renk paleti yapılabilir. Böyle bir örnek inceyken pas rengi kahverengi, kalınken siyah olan demirli bir Stoneware sırdır [27].

2.3.Sırların Çeşitli Özellikleri

Sır çeşitli özellikleri ile ürünün başarısını ve çeşitli özelliklerini etkiler. Bu özellikler başlangıçta genel olarak üç grup altında toplanırlar:

2.3.1. Sırın ham özellikleri

Bu özelliklerden daha çok, sırın kullanılmaya hazır sıvı durumda iken gösterebileceği özellikler anlaşılır. Örneğin, sırın ince veya kalın atılması, sırlama yöntemi, sırın çökmesi, özgül ağırlığı, tane iriliği gibi [1].

Sır tabakasının sürekli bozukluğu, farklı nedenlerden kaynaklanabilir: sırın yetersiz kimyasal kompozisyonu, onun çok yüksek dağılımı (aşırı öğütme), aşırı kalın sır tabakası, slipten dolayı ıslanmamış yüzey bölgelerinin varlığı, örneklerden gaz emilimi vb.

Dengesiz süreç termodinamikleri, örneğin bazı yaygın özelliklere sahip olan bir hayli dengesiz süreçlerin bir sonucu olarak fiziksel sistemlerin ortaya çıkması, dağılma yapıları olarak bilinen şeyi tanımlar. Bu özellikler, açıklık ve sistemlerin makroskobik doğası, çözümsel simetride bir çeşitlilik için izin verilen nonlinear matematiksel eşitlikler tarafından tanımlanan oluşun mümkünliğini içerir.

Hem içsel hem de dışsal denetim eylemleri sistemin (sır tabakası) davranışını etkileyebilir, sistemin öngörülebilir denetim etkilerinin oluşum yapması için kirlilik seviyesi (içsel dalgalanma ve dışsal bozukluk) aşırıya gitmemelidir [33].

2.3.2. Erime özellikleri

Sırın pişme sırasında termokimyasal reaksiyonlar ile ortaya çıkan özellikleridir. Örneğin, kabarcık oluşuma, toplanma, gaz çıkışı, akma vb. gibi [1].

Sırlamanın kalitesi seramiklerden sır kaplamasına işleyen gaz kabarcıkları ile sonuçlanan, seramikler ile sırların etkileşimine bağlıdır. Bir cam formasyonunun sonucuna, örneğin karbonat ayrışması, çözünenlerin geride kalması ve emilmiş gaz fazları vb. gibi gaz kabarcıklarının belirmesinden sonra kendi kendine sırda yer alan süreçlere bağlıdır [34].

2.3.3. Pişmiş sır özellikleri

Sırın uygulama alanına uygunluğu için gerekli özelliklerdir. Örneğin, sertlik, kimyasal etkilere direnç, yoğunluk gibi [1].

Dış görünüş ve yüksek voltaj porselenlerinden yapılan ürünlerin pek çok teknik karakteristikleri sırlamanın tip ve kalitesinin derecesinin dikkate alınmasına bağlıdır. Sır, seramik ürünleri asit ve alkalilerin etkilerinden korur ve onları su geçirmez yapar. Doğru bir sır kompozisyonu seçimi, sırlanmış porselenlerin mekaniksel mukavemetini % 20'den daha fazla arttırmayı mümkün kılar [35].

Kullanılan hammaddelerin mineralojik bileşimlerinin sırın erime davranışlarını birinci derecede belirlediğini ortaya koymaktadır. Farklılık sadece erime davranışlarında değil aynı zamanda yüzey görüntüsünde (mat-parlak) de kendisini göstermektedir [36].

Formasyonların kristalleşme süreci ve sinterleşme davranışı arasındaki ilişkinin varlığı doğrular. Devitrifikasyon süresince, sinterleme süreci durur, kristal formasyonun doğrulanması fritin sinterleme davranışını etkiler. Bu durumda, nihai ürünün termal özellikleri sadece oksit kompozisyonuna bağlı değil aynı zamanda kristal fazlara da bağlıdır [37].

Kolay temizlenen bir yüzey gerektiğinde seramik yüzeyler kullanılır örneğin hastane ameliyathanelerinde ve endüstriyel dahili temiz odalarda. Ek olarak seramik karolar avrupada ev içersinde banyo ve mutfak zeminlerinde ve yüksek fayda sağlayan diğer alanlarda yaygın olarak

kullanılıyor. Cam seramik karolar onların önde gelen mekaniksel, termal ve kimyasal özelliklerinden dolayı yüzey malzemeleri olarak çok önemlidir. Karo endüstrisinde cam-seramik sırlarının gelişmesi son günlerde çok dikkate alınır çünkü mekanik özelliklerin gelişimi nihai ürünlerde talep ediliyor [38]. Bu ürünler seramik bir taşıyıcı bünye ve genellikle sır olarak bilinen bir cam katmanı biçimi olarak bilinir. Bu üçlü sistem ürünlerinin teknik özellikleri sır karakteristikleri ile belirlenir. Bu malzemelerin geliştirilmesi için mekaniksel özellikler arasında aşınma ve sertlik ön plandadır [39].

Temelde, cam-seramik prosesleri bir camın kristalleşmesinin kontrolü olarak tanımlanabilir. Böyle bir yöntemde özelliklerin çoğu camda iyi dağılmış kristallerin homojen bir şekilde oluşumu esasına dayanır. Cam başlangıcı hem yığın hem de toz olarak işlenebilir. Keza, olumlu bir mikro yapı meydana getiren çekirdeklenme başlangıcındaki bazı partiküller malzeme ile iyi bir kristalizasyona olanak sağlamak için eklenir. Kristalleşmiş sırlar temel kompozisyon faktörlerinin kontrolü, çekirdeklenme etkileri, kristal fazları belirlemede ısıtma işlemi, boyut ve kristallilik ile üretililecektir [40].

Yukarıda sayılan veya bunların dışında ki bazı etmenler ile sırların gösterdiği özelliklerde şu şekilde sayılabilir:

1. Sırın viskozitesi
2. Yüzey gerilimi
3. Genleşme
4. Sertlik
5. Elektriksel özellikler
6. Kimyasal direnç
7. Sırın renk özellikleri

2.4.Sırların Renklendirilmesi

Rastgele bir şekilde renk verici miktarı seçmek bir yöntemdir. Diğer reçetelere bakmak ve ne kadar kullanıldığına bakmak çok yol gösterici olabilir. Ancak planlanmış renk harmanları nispeten küçük bir ağırlık ve karışımla daha büyük sayıda sonuç verecektir. Bu daha kapsamlı ve çok daha muhtelif sonuçlar veren temel bir sır içine birden daha çok oksidi içeren bir yöntemdir. Bir diğerinin rengini değiştirmek için bir oksit kullanılabilir, örneğin kobaltla birlikte küçük bir miktar demir yumuşak bir mavi verecektir. Diğer bir oksitle titanyumun kullanıldığı yerde, renk bozulabilir, benekli bir efekt verir ve aynı zamanda saten bir sır yapar.

Seramikçilerin mavi, kahverengi, yeşil ve beyaz gibi ihtiyacını giderecek geniş bir renk paletine ulaşabilirler. Bu renkler normal temel sırlara renklendirici ya da opaklaştırıcı ilavesi ile gerçekleştirilir ve derinde, değişken gizli renk tonlarıyla duyarlı bir şekilde yayılarak renklendirebilir. Stonware sıcaklığında oksitleyici bir pişirimle yapılması için belirli renkler kobalt (maviler), demir (kahverengiler), bakır (yeşiller), kalay gibi opaklaştırıcılar, titan ve zirkonun (beyaz) ilavesi ile kolaylıkla yapılabilir. Ancak bazı renkleri elde edilmesi çok zordur ve gerçek kırmızılar ve açık sarılar genellikle hazırlanmış ticari boyalar ile sadece mümkün olmaktadır.

Spesifik bir rengi bulmak için gereken özellikle renklendirilmiş oksidin tam miktarı bazı denemeleri gerektirecektir. Daha düşük miktarlar daha açık renkler verirken miktar artırıldığında sonuç olarak mat, metalik etkiler verir. Aşırı yüklü sırlar artistik bir şekilde bir hayli hoş olabilir ancak işlevsel kullanımlarda kaçınılmalıdır.

Bu oksitlerden üretilen renk tonları sırda bulunan flakslara bağlıdır. Genel olarak alkaliler parlak renkleri desteklemektedir ve toprak alkaliler daha yumuşatılmış yansımalar verir. Tartışıldığı gibi çinko oksit 1240 °C'li sırlarda bir flaks olarak oldukça kullanışlıdır ancak burada dezavantajları bazı renkleri tam tersine etkileyebilir. Örneğin, olağan yeşil olması yerine krom oksit pembemsi griye döner. Renklendirilmiş oksitlerin tam etkisi transparant sırlarda parlak olarak ortaya çıkar: mat ve opak sırlar her zaman onların renk tonunu açar.

Gelişim sürecinde kırmızı demir oksidin miktarındaki küçük bir değişim renk üzerinde gözle görülebilir bir etkiye sahip olduğu oldukça açıktır. Örneğin, % 6.0 (yeşil yapar) ve % 8.0 (siyaha yakın yapar) arasırdaki renkte büyük bir değişim yapar. Kırmızı demir oksidin belirlediğiniz kısmının etki derecesi ve tartmadaki doğruluğunuz bu seviyedeki denemelerde oldukça kritik olacaktır. % 10.0 ve % 12.0 arasındaki ilavelerde çok daha az kritiktir.

Dikkate değer ve yararlı durum tüm renklendirici metal oksitler oldukça küçük miktarlarda eklendiği zaman bile gerçekte sır çatlağı direncini arttırırlar. Çünkü renklendirici metal oksitler çatlakları önlemede çok iyidirler ve krakle sırlarda kullanmaması gerekir.

Ayrıca akılda tutulması gereken bir nokta birçok renklendirici oksit toprak alkaliler gibi oksijen ile aynı kompozisyon biçimlerine sahiptir (örneğin, kalsiyum oksit=CaO, kobalt oksit=CoO) dolayısıyla onların davranışları şaşırtıcı değildir ve flaks olarak sınıflandırılır. Keza akışkanlığın artmasına yol açarlar. Açıkçası, çok akışkan sırlar, pişirmede akmasının diye bu evreyi çok kısa tutmak gerekir.

Diğer yandan, alümina Al_2O_3 yanında stabilleştirici oksitler, kırmızı demir oksit Fe_2O_3 anfoterik gruplandırılır. Kırmızı demir oksit, china clay gibi oluşumu refrakter olmamasına rağmen sırlarda pekiştirici bir etkiye sahiptir.

İnce toz olarak üretilen ve pazarlanan inorganik pigmentler pek çok dekoratif ve karoyu kaplamanın tamamlayıcı bir parçasıdır ve sırları ve seramik bünyeleri kapsayan pek çok malzemenin kütle renklendirilmesinde kullanılır. Seramik pigmentler yüksek sıcaklıkta kullanılması için yüksek termal stabiliteye ve kimyasal dirence sahip temel olarak beyaz ve renklendirilmiş malzemelerdir. Son zamanlarda yeni seramik malzemelerin geliştirilmesi $1200^{\circ}C$ 'nin üzerinde stabil pigment araştırmaları ve uygulamalarını teşvik etmiştir. Oksitleri, spinelleri ve alüminatları vb. temel alan seramik pigmentler tozların uygun partikül boyut dağılımıyla, keza mineralleştirici bir işleve sahip olan tuz benzeri halitlerin ve boratların ilavelerini kullanarak başlangıç karışım olarak oksitlerin öğütülmesiyle hazırlanır. Bir renge sahip olan ya da metalik renk vericilerin katılmasıyla renklendirilmiş olacak olan iyi tanımlanmış bir kristal yapıyla bir reaksiyon ürününün elde edilmesinde bu maddelerin karışımları termal işleme maruz bırakılır. Ticari kullanımda şiddetli ortamlar altında yüksek termal ve kimyasal kararlılıkta bir grup olmalıdır. Artan bir termal ve kimyasal kararlılık ile birlikte renklerin renk verici setlerin genişliğine doğru seramik pigment alanında araştırmalara yönelinmiştir.

Seramik endüstrisinde bugüne dek kullanılan klasik kırmızı pigmentler iki tiptir: demir oksit (zirkon matriste Fe_2O_3) ve kurşun oksit (kalay oksit matriste Pb_3O_4). Daha yüksek kalitedeki kırmızı renkler, ne yazık ki zehirli ve $900^{\circ}C$ üzerinde kararlı olmayan kadmiyum sülfoselenit kullanılarak üretilir.

Birkaçı hariç seramik pigmentlerin çoğunluğu inorganik oksit temeline dayanır. Dekorlama süresince karşılaştığı şiddetli şartlara karşı örneğin yüksek sıcaklık ve camlaşmış sıvının aşınma etkisine koyma kapasitesine sahip sadece renklendirilmiş malzemelerdir. Bu şartların şiddeti seramik uygulamalarında ulaşılabilir renk paletini kısıtlar. Seramik pigmentlerin renk yelpazesini genişletmek için pek çok girişim yapılmıştır. Yüksek sıcaklıklı seramik uygulamalarında pigment olarak spinel, sphene, garnet, pyrochlore vb. yapılar içinde zaten genişletme araştırmaları yapılmıştır [41].

Pigmentlerin kimyasında değişiklik yapmaksızın sürekli ve ince bir tabaka üretmek için aynı sıcaklıkta pişirilebilen her renk için doğru pigment ve frit oranını bulmak özel bir dikkat gerektirir [42]. Gerçekte seramik pigmentler günümüzde, uygun maliyetlerle porselen ve

stoneware dekore etmek için kullanılıyor; açık renkli bir bünye, özellikle yarı saydamsa arzu edilen renkleri almak için gerekli pigment miktarının önemli bir biçimde daha az kullanılmasına izin verir.

Bu ihtiyaçları yerine getirmek için birkaç çeşit cam-seramik malzeme, porselen stoneware ürünlerde son yıllarda yaygın olarak kullanılıyor. Karo yapım endüstrisinde (tipik bir şekilde 50-60 dakikada giderek soğutma, dakikada 80 °C kadar ısıtma oranıyla ve dakikada 110 °C kadar soğutma oranıyla 5-10 dakika zinterleme süresi için en fazla 1200-1240 °C sıcaklık) hızlı pişirim döngüsü süresince camlaşma için beklenen seramik fritler gibi hazırlanan vitroz ön maddelerdir. En karmaşık formülasyonlarda bazı ilave bileşenler mevcut olabilmesine rağmen kullanımda cam-seramik sistemin içine giren Na, Mg, K, Ca, Zn, Ba ve Zr'un silikat ve alümina silikatlarıdır [43].

Hem pigmentler hem de camlaştırılmış sırlarda kristallerin tane boyut dağılımı, pişirme sürecinde sırlar ve pigmentler arasındaki kimyasal ve fiziksel etkileşim renklendirme prosesini kontrol etmek için önemlidir. Gerçekte renk için aynı pigment ile hem fırın sıcaklığı hem de sırn kimyasal kompozisyona bağlı farklı renkler geliştirilebilir. Kristalizasyonun kontrolü, sırlarda pigmentlerin çözülümünü engellemek ve pişirme süresince seramik matriks, optimize edilmiş özellikler, görünüş ve ürünlerin üretilebilirliği için önemlidir. Çoklu oksit fritler hızlı pişirim sırlarında baskın malzemelerdir ve zirkon ($ZrSiO_4$) ile dope'lanmış pigmentler çoğunlukla boyarmadde olarak kullanılır. Diğer bileşenlere nazaran frit en az erime sıcaklığına sahiptir ancak seramik pigmentler için en aşındırıcı maddelerdir. White-ware'lerin kaplanması için fritler genellikle temel cam biçimlendirici olarak SiO_2 , temel eriticiler olarak alkaliler (Na_2O ve K_2O), B_2O_3 , ZnO ya da SrO) kaplamaların dayanıklılık ve sertliğini arttırmak için CaO , MgO ve Al_2O_3 içerir. Ek olarak işletmelerde en yaygın kullanılan opak white-ware kaplamalara normal olarak ZrO_2 katılır. Opaklık ve beyazlık zirkonun kristalize olması ile elde edilir.

Zirkon dope'lu pigmentler yaklaşık 1200 °C ye kadar seramik boyarmadde olarak çok fazla stabil olabilir. Zirkon tetragonal yapı vanadyum ve praseodimyum ve küresel hematit ile yer değiştirerek uyum sağlayabilir, onların kimyasal ve termal stabilitesi seramik kaplamada kullanılmalarını ideal yapar. Zirkon üç eksenli sistem renkli endüstriyel sırlarda yaygın bir şekilde kullanılır. Geniş bir renk skalası elde etmek için zirkon-vanadyum (Zr-V) mavi, zirkon-demir mercan kırmızısı zirkon praseodimyum sarı, karışımlarını temel alır. Zirkon pigmentler normal olarak sır yığınlarına % 0,1-5,0 ağırlık oranınca katılırlar ve pişirme süresince frit kompozisyonu ile birlikte onların çözünabilirliği değişime uğrar. Çalışıldığında, sırlarda

pigmentlerin optik davranışları ve opaklaştırıcılar pigmentler, opaklaştırıcılar ve sırlar arasındaki fiziksel etkileşimleri anlamak önemlidir. Zirkon, pigmentlerde kullanıldığında sırlarda aşağıdaki olasılıklar gerçekleşir: sırların pişirilme süreciyle zirkon kristalleri stabil kalabilir ve etkisiz olabilir, çözülmüş kısımlarda ya çözeltide artık kalmasıyla ya da yeniden çökmesiyle zirkon partikülleri, pişme süresince sırlarda kısmen çözünebilir veya zirkon partikülleri tamamen çözülebilir.

Sırların (pigmentler, opaklaştırıcılar, fritten kristal biçimlendiricilere kadar) görünebilir tüm bileşiklerinde her bir frekans için hem bir absorpsiyon hem de sırların optik özelliklerinde her bir katkı için dağılan bir katsayıya sahiptir. Bu nedenle, çok bileşimli optik bir sistemin tüm bileşenlerini göz önünde tutmak önemlidir. Normal olarak, bir rengi belirlemek için sistemin diğer optik elementleri (opaklaştırıcılar ve vitroz fazların kırılma indisi daha büyük olanlarla fritin pişirme süreciyle biçimlenmiş kristal fazlar) eşit bir şekilde önemliyse de başlıca üzerinde durulan nokta pigmentlerde yer alır [44].

Oksit matrisinde kobalt dope'landığında çeşitli renkler verdiği bilinir. Bu geçiş elementi 3d elektronlarının değişkenliği yüzünden camlarda ve seramik pigmentlerde renklendirmede etkili bir faktördür. Düşük kobalt içeriği ile CoO-ZnO sisteminin yeşil renklendirilmiş oksitleri Cr (III) yeşil pigmentlerle onların fiziko-kimyasal özelliklerini karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir. Bu yüzden Co-ZnO oksitler ekolojik duruma uygun renklendirilmiş oksitler olarak dikkat çekmektedir çünkü krom oksitlerin yerine kullanılabilir.

Diğer bir deyişle, son yıllarda Co ile dope'lanmış ZnO oksidin katı çözeltileri onların elektronik ve manyetik özellikleri yüzünden optoelektronik ve termoelektronikler olarak cihaz uygulamalarında büyük bir ilgiye sahiptir.

Co (II)-ZnO sisteminin karışım oksitleri Co (II) düşük konsantrasyonuyla kolayca hazırlanabilir ve karakterize edilebilir, seramik endüstrisinde mavi pigmentler için iyi bir potansiyel olabileceğini göstermişlerdir [45].

Birkaç rutil tabanlı seramik pigment endüstride renk yapan elementlerin kullanılması ile üretilir: krom (turuncu tonları almak için), mangan (kahverengi), nikel (sarı) ve vanadyum (gri). Yüksek alan şiddetiyle ikinci bir element (counterion denen, Sb, Nb veya W) yapının elektronötralliklerini karşılamak için her zaman ilave yapılır, dolayısıyla istenen renk kuvveti elde

edilir ve/veya pigmentlerin teknolojik özellikleri (yüksek sıcaklıklarla bağlantılı kimyasal-fiziksel direnç) geliştirilir.

Şiddetli ve parlak renklere rağmen, 1000 °C üzerinde sırların içinde kısmi çözünübilirlikleri yüzünden rutil pigmentler, düşük sıcaklıklı seramik uygulamalarında ilerleyici bir şekilde hapsedilmiştir. Bu dezavantaj ne yazık ki hem teknolojik (çok yüksek genleşme katsayıları) hem de estetik (yüksek kırılma indeksi, kuvvetli parlaklık) sınırlamaları olan titanca zengin sır formülleri, özellikleri kullanımları mümkün olduğu kadar azaltılabilir.

Titan pigmentlerin renkleri literatürde iddia edildiği gibi bazı sıralı düzenler, anatazdan rutila geçiş ve rutil yapı içinde renk verici atomlar ve karşı iyonlar katı çözünürlüğünde güncel gelişmeler görülür. Bu reaksiyonlar çalışma kapsamında sistemlerin birkaçında bazı katyonların değer değişimiyle olası bir şekilde ilişkilendirilir. Rutil latis içinde çözünmüş renk verici atom iyonlarının artan miktarı kadar ışın dağılımından yük transferine (CT) ve kristal alana (CF) geçişe dayandırmaya çalışmak, her pigment için artan kalsinasyon sıcaklığında optik spektrum ve kalorimetrik gelişim tartışılabilir. Kristal alan şiddeti (D_q) veya kristal alan stabilizasyon enerjisinin (CFSE) tahmin yoluyla değer biçilebilen renk verici elementin etrafını sarmasına bağlıdır. Karşıt iyonların, renk veren maddelerin kristal ortamı ve bu yüzden pigment renginde değişikliğe katkıda bulunan önemli bir rol oynadığı görülür [46].

2.5. Sırlı Pişirim

1220 °C’de olgunlaşacak ya da herhangi bir özel sıcaklık ve bir saten sonuçlanacak bir sırla nasıl formüle edebiliriz. Belirgin parlaklıkla sonuçlanacak bir sır için birkaç yaklaşım vardır. Biri seğir formülü uygulamaktır.

Bir diğeri çok basit bir çözümdür, herhangi bir stoneware sırla ve düşük sıcaklıklı bir firit alınır ve birlikte karışım dizisi uygulanır. Karışım dizisi, malzemelerin miktarlarını çeşitlendirerek iki malzemeyi karıştırmaktır – bir sırla bir malzeme ya da iki sır birlikte. Bu, iki malzeme, malzeme ve sır, sır ve sır arasındaki reaksiyonları basit ve hızlı bir şekilde öğrenmenin mümkün olan en faydalı sistemidir. İstenen olgunlaşma sıcaklığında bu karışım dizisi pişirilir. Karışım dizisinde artımlar % 5’den daha büyük olmazsa karışım dizisinden çıkan parlak, saten ve mat temel sırların en iyi sonuçlarını görmeyi sağlayacaktır. Bu, bir sırla kolay seçimine imkân sağlayan karışım dizisinde gelişen değişimlerin geniş bir bakış açısını verecektir. Firit ilavesi stoneware sırların erime noktasını düşürür. Harmanın ilk iki ya da üç

karoda olgunlaşma sıcaklığı bir ya da iki cones düşebilir, frit katıldığında sır erimesinin daha aktif bir bileşeni olur.

Karışım dizisinin kullanımı herhangi bir sıcaklığa yönelik bir sır reçetesinin gelişimine olanak verir. Aynı karışım dizisinin çoklu setleri yapılabilir ve farklı olgunlaşma sıcaklıklarında pişirilebilir, örneğin 1000 °C, 1080 °C, 1120 °C, 1180 °C, 1240 °C (1832 °F, 1976 °F, 2048 °F, 2156 °F, 2264 °F). Bu temel karışım dizisinden büyük bir miktarda kullanılabilir bir sır elde edilebilir. Gerekirse biri seçilir, sonraki iyi bir ayarlama basit bir konu olacaktır.

Çizelge 2.3’de bir örnek olarak karışım dizisinden bir sır reçetesinin nasıl hesaplanacağını göstermek için % 80 temel sır / % 20 frit ve temel sır % 60 baryum / % 40 kaolindir. Temel sır 100’ün 80 kısmı ya da % 80; yeni bir temel sıra ulaşmak için temel sırda malzemelerin her birinde % 20 çıkartılmalıdır [27].

Çizelge 2.3 Karışım dizisinden sır reçetesinin hesaplanması [27].

Baryum	$(60 - \%20) = 60 - 12 = 48$
Kaolin	$(40 - \%20) = 40 - 8 = 32$
İlave frit 4110	20
Toplam	100

Tüm geleneksel sırlama teknikleri, ham ürün (tek pişirim) ya da pişmiş bünye (çift pişirim) üzerine bir slipin uygulanması ve sır + alt tabakanın pişirilmesini içerir. Bu iki temel dezavantajı belirtmektedir: sırları ve sırlar gibi hemen hemen aynı termal genleşme katsayılı alt tabakayı aynı pişme sıcaklığında pişirmeyi gerektirmektedir. Bu gereklilikler sır kompozisyonlarında sınırları, önlenen yüksek mekaniksel özellikli sistemlerin adaptasyonunu etkiler: gerçekte, yaygın sırlar, sırsız porselenleşmiş stoneware’lerin yüzeysel mekanik özelliklerden daha zayıftır [47].

Bu günlerde endüstride 40 ve 50 dakika süreyle hızlı pişirim süreci yaygın bir şekilde kullanılıyor. Dört elementli $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (CMAS) nominal kompozisyonlarla yeni cam-seramik sırlarının bir miktarı son yıllar içinde sunulmuştur. Cam-seramik malzemeler tek kristal faz olarak diopsit veya kordierit içerikleri, bu kristal fazların birincil faz alanlarına yerleşmiş, ısı altında kontrollü koşullarla camsı kompozisyonlar tarafından geliştirilmiştir. Sırların mekaniksel özelliklerini geliştirmek için cam-seramik sırlarının mullit gelişimi ile ilgilenilecektir. İyi bilindiği gibi, mullit $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ iki elemanlı sistem ve refrakter kristal fazda

sadece stabil fazdır. Camlaşmanın genel çalışmaları, temel kristal fazlar olarak kordierit ve mullit formasyonunun belirlenmiş standart ısıtma programının altında 800 ve 1200 °C arasında farklı sıcaklıklarda pişirildi. İki fazın bağıl miktarı hem final sıcaklığı hem de cam kompozisyonuna bağlıydı. Dahası çok refrakter ve homojen bir erime elde etmek için uzun sürede pişirmek gereklidir. Cam-seramik sırlarında sıcaklık aralığı 1100 ve 1200 °C üzerinde yayılma gelişecektir. Bu şartlar altında elde edilen sonuçları mümkünse sadece hızlı pişirim altında dikkate alacağız.

Mullit, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 - 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ aralığında stabil bir mineral kimya formasyonu aslında katı bir çözüldür. Mullit kristal fazının ortorombik yapısı SiO_2 açısından zengin mullit kristalleri için çok daha büyüktür [48].

Alizadeh vd. [49] Fe_2O_3 ve Cr_2O_3 içeren cam-seramiklerde ($\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO (Na}_2\text{O)}$) istenilen sinterleme davranışlarına sahip olduğunu ve kabul edilebilir bir yoğunluğa ulaştığını bulmuşlardır. Bunun yanında, numunelerin sinterlenebilirliği camların kristalleşme sıcaklığının redüksiyonu yoluyla $\text{CaF}_2 + \text{MoO}_3$ ve/veya $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{MoO}_3$ ilavesiyle indirgemişlerdir. Bu durumda pişirme sıcaklığının artışı metal oksitlerin geçiş redüksiyonlarına ve numunelerde şişkinliğine yol açmıştır. Metal oksitlerin ve CaF_2 ilavesinin sinterleme yoluyla $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO (Na}_2\text{O)}$ hazırlanmış sistemlerde camların kristalleşme yoğunluğunda istenen etkilere sahip olmadığı sonucuna varmışlardır.

En çok gelecek vadeden yöntemlerden biri dolgu malzemelerinin ilavesiyle vitrifikasyondur. Vitrifikasyon, iyi bilinen stabilizasyon tekniklerinden ayrı olarak, yapı ve dekoratif uygulamalar için kullanılabilen camsı ya da cam-seramik ürünler için bir yöntemdir. Karakterizasyon yöntemlerinin böyle bir çeşidinin hayata geçirilmesi için gereken, vitrifikasyon ve devitrifikasyon süreç ürünlerinin niteliklerinden uygulamaya konmuştur. Şöyle ki, çok bileşenli, reaktif ve ikincisi çok fazlı malzemelerdir. Böyle sistemler, homojen olmayan çeşitli tipleri, nihai ürünlerin birbirini etkileyen güçleri ile farklı gözlem seviyelerinde oluşur [50].

Belli elementlerin buharlaşması işleminde alttaki bünye ile reaksiyona girmesinden dolayı sırların kompozisyonu değişir. Aynı zamanda, porozite ve mineralojik kompozisyonun değişmesi yüzünden kuartzın erimesi ve faz formasyonları gibi alt bünye dokusu değişir. Bu dönüşümler alt bünyenin termal ve mekanik özellikleri ve böylece gerilimin varlığı değişir. Hızlı soğutma sürecinde oluşmuş fazlar yavaş soğutmadan farklıdır, dahası sırlar ve alt bünye

sıcaklıkları kalınlık ve termal değişimi derecelerindeki farklılıklar yüzünden endüstriyel soğutma süresince eşit değildir.

Sır kalınlığı ve artan termal gerilimin oluşumu, verilen ısı akışında sıcaklığın düşmesi ile doğrudan orantılı olduğu sır kalınlığı ve biçim olarak seramik malzemelerin termal gerilim direncini bazı faktörlerin etkileyebileceğini bildirilmiştir; zayıf termal gerilim direncinin bulunduğu küçük tabakalı sırlarda kararlı ya da dalgalı şartlar dikkate alınırsa ısı akış özellikleri farklıdır; verilen herhangi bir ısı dağılımında termal genleşme katsayısı termal gerilim ile doğrudan ilişkilidir; sıcaklık artışı olarak elastik özellik, tane sınırlarında yumuşama yüzünden elastiklikte bir düşüş vardır ve sıcaklık yükseltilmeye devam ettiğinde plastiklik ya da viskoz akış yerini alır; soğuduğunda mukavemet en tehlikeli termal gerilim çekilir, ısıtıldığında hem kaynıya hem de çekme gerilimleri en tehlikeli olabilir; sonuçta hiçbir malzeme özelliği ya da şartlarının olmadığı ara tabaka özellikleri tek biçimli olarak alınabilir [51].

Ham sırlar yaygın olarak seniteri, porselen keza dona dayanım durumunda yer karosu için kullanılıyor. Günümüzde, diğer ürünler birkaç saatlik geleneksel pişirim döngüsüne maruz kalırken karolar çoğunlukla 90 dakikadan daha kısa bir sürede hızlı pişiriliyor. İstenen özellikleriyle sırlanmış bir yüzeyin başarılması için bir yığın formülasyon seçildiğinde hem hammaddelerin kinetik reaksiyonu hem de sırların yüksek sıcaklık özelliklerinin anlaşılması zorunludur. Sınırlandırılmış kısa pişirim döngüsü yığın reaksiyonların her zaman tamamlanmadığını önerir. Bu yüzden reaksiyon kinetiklerinin anlaşılması sonuçtaki sır faz kompozisyonları ve yüzey özelliklerinin kontrol edilebilmesi azami derecede önemlidir. Geleneksel pişirimde sırların yüzey kompozisyonu temel olarak erimenin viskozitesi ile kontrol edilir. Sinterleme sonrasında şartların eşitliğine göre kristal fazlar çekirdeklenir ve erimeye büyür. Her ne kadar en fazla sır erimesinin yüksek viskozitesi daha düşük sıcaklık dereceleri için fazların tipik kristalizasyonundan etkili bir şekilde korur. Pişirim çoğunlukla uzun dönemli proses bilgisi ya da deneme-yanılmaya hakim olunan kompleks bir sistemle ham sır yapmayla birlikte seramik bünye kompozisyonları kurmayı gerektirir. Çoğunlukla frit kompozisyonları veya homojen camları için cam-seramik ve sırlarda çekirdeklenme ve kristalizasyon, literatürde yaygın bir şekilde ele alınmıştır. Birkaç değişik proseste ham sır kullanıldığında pişirme döngüsü süreci yer alır örneğin hammaddelerin çözünürlüğü, ya kristal ya da camsı ürünlerde verilen kimyasal reaksiyon ve erimenin çekirdeklenme ve kristalleşmesini izleyen erime. Geleneksel pişirim ürünlerde ham sırların kullanılması iyice anlaşılmış bir uygulamadır. Her ne kadar kısa pişirim döngüsünde ham sırların davranışları literatürde hala yetersiz bir şekilde sunulmaktadır [52].

2.5.1. Sırlı pişirimde silika değişimleri

Silika bol miktarda volkanik kayalarda, bu yüzden killerde (volkanik kayalardan ayrılan ürün), kum taşında ve çakmak taşında oluşur. Tüm seramik killeri hem kil minerali ile birleşik ya da birleşik olmayan (serbest) biçimi ile silika içerir ve ya doğrudan kalsine edilmiş biçimde ve zeminde küçük çakıl taşı ve ya zeminde silika kum şeklinde doğrudan kullanılır.

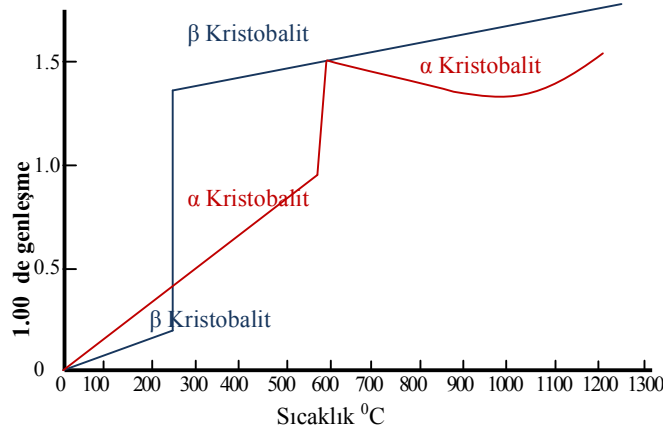
Farklı kristal biçimlerinde Silika bulunur. Doğal olarak meydana gelmiş biçimi kuvarsdır ancak pişirim süresince bazı tridimit ve kristobalite dönüşümleri olur – tüm kimyasal özdeşlikleri (SiO_2). Farklı konumdaki silikon atomları latis yapısında bağlıdır ve pişme süresince kritik bir önemdedir, pişikten sonra başlangıçtakinden daha çok kristobalit (daha az kuvars) vardır diye kuvars fazdan tridimit ve kristobalite ilerlemiş bir dönüşüm vardır. Ek olarak, her bir tipten alt tipe dönüşüm vardır, dönüşüm soğutmanın tersi olan beklenmedik kristal büyümenin nedeni sıcaklık döngüsü süresince belirli noktalarda latisin düzeltilmesiyle beraber dönüşüm vardır. Önemli modifikasyonlar Çizelge 2.4’te izlenebilir:

Çizelge 2.4 Kuvars modifikasyonları [53].

Alfa kuvars	↔	beta kuvars	225 °C (439 °F)
Alfa tridimit	↔	beta tridimit	870 °C (1063 °F)
Alfa kristobalit	↔	beta kristobalit	573 °C (1598 °F)

Pişirim sürecinde alfadan betaya dönüşür ve soğuma sürecinde hızlı bir şekilde tersine döner, silika dönüşümleri olarak bilinir.

Şekil 2.5’te görüldüğü gibi seramik bünyede, beta kuvarsın kristobalite dönüşümü 1000 °C’nin üzerinde başlar ancak, reaksiyon oldukça yavaştır ve sadece çok küçük bir yüzde dönüşür. Bununla beraber, ısıнын artırılması kadar, katalizör etkinin bir sonucu 1200 °C’nin üzerinde hızlı bir artışla dönüşüm gelişir, beta kristobalit faz değişimi çok daha belirgindir. Uzun pişirme döngüsü ya da fırında bekletme hızlı bir pişirme döngüsünden daha fazla dönüşüme neden olacağından faz değişimi zamana bağlıdır.



Şekil 2.5 Silika mineralinin termal genişmesi [53].

Seramik bünyede kristobalit oluşumu yüksek sıcaklıkta pişirim yüzündendir ve bu dönüşüm çok yavaş meydana gelir ve pişirme süresine bağlıdır. Daha büyük bir miktarda kristobalit biçimlenir, bünyenin termal genişmesi daha büyük olacak ve bu yüzden daha büyük çatlak direnci olacaktır.

Sır pişiriminden sonra soğuma sürecinde sır sonuçta daha çok ve ya az katı olana kadar artarak daha viskoz olur. Bu, düşük ısılar ve ya earthenware sırları için araşırıda 550–700 °C’ler yüksek sıcaklıklı sırlar için ve 650–850 °C’ler araşırıda olacaktır. Sır ve bünye arasındaki ara tabakada kalınlık farklılıklarından bu dizi üzerinde yükselen herhangi bir basınç sıran viskoz akışkanlığı ile açığa çıkacak. Ancak, sıran altında çok daha aşırı bir uyum göz önünde tutulabilir. Seramik bünye uygun bir şekilde karışır ve kabul edilen belli bir çalışma sıcaklığı 573 °C ve 225 °C’lerde sınırlı bir şekilde kuvars ve kristobalit dönüşümü nedeniyle ani küçülürse, sonuç, sıra basma gerilmesi uygulanır. Mamul fırından alındığında, bu basınç sırda iz bırakır.

Earthenware durumunda bünyenin içeriğinde serbest silika, özellikle bünye için önerilen sıcaklık aralığında pişirildiğinde gerekli kristobalit miktarı üretmek için gereken belli dönüşüme imkân sağlamak için yüksektir. Stoneware gibi yüksek derecede pişirilmiş bünyeler, çok daha az serbest silika gereklidir çünkü dönüşüm oranı daha hızlıdır ve belli bir kristobalit, çok daha az serbest silika içeriğinden biçimlenebilir. Pek çok doğal oluşmuş kil yüksek sıcaklıklarda belli bir dönüşümü başarabilmek için belli bir serbest silika içerir ve Stoneware bünyelere doğrudan katılmış serbest silika genellikle gerekli değildir. Herhangi bir durumda reaksiyon katmanı earthenware’ler için çok daha üstündür ve çatlama bünye yüzeyi ile daha iyi birleştiği için çok daha az olasılıklıdır. Düşük pişirilmiş bünyelerin durumunda (örneğin, 1000

⁰C’de üretilen bünye F1000 çömlek killeri gibi) dönüşüm oranı çakmak taşının çok büyük kalitede eklenmesi için tek alternatif, bir reçete bileşeni olarak doğrudan kristobalit eklenmesidir.

Bazı diğer faktörlerin belirtilmiş olması gerekir. Partikül boyutu olağan üstü önemlidir sonuçta, zemin silika daha kaba malzemelerden daha kolayca dönüşür. Çakmak taşı earthenware bünyelerde serbest silika kaynağı olarak kuvarsa göre daha çok tercih edilir çünkü onların dönüşüm oranı, kristal büyüklüğü daha iyi olduğundan dolayı ve dönüşümü sağlamak için katalizör olarak etken kalsiyum karbonatın çok az bir (% 5) doğal içeriği çok daha üstündür.

Serbest silika bir cam fazında eritilirse seramik sistemin (örneğin serbest silika termal genişlemeyi artırırken, o termal genişlemeyi daha da düşürür) termal genişlemesine tam olarak karşıt etkisi onu bir silikata dönüştürür. Bir bünyeye katılan silika onun genişlemesini artırır: bir sıra katılan silika ünün genişlemesini düşürür. Sıra, bünyeye, ya da ikiye birden katılan silika bu yüzden çatlama direncinin gelişmesine yardımcı olur. Porselen bünyelerde, bununla birlikte yüksek sıcaklıkta pişirme ve uzun süreli pişirme silikanın çözündüğü bünyede bir cam fazı oluşumu gelişebilir ve sırda çatlaklar üretir. Dolayısıyla, porselen ile yetersiz kristobalit oluşumu olan daha düşük bir pişirme sıcaklığı aramızda bir pencere vardır ve reaksiyon katmanı çatlama olur diye geliştirilir ve çatlama ile sonuçlanan bir silikat fazlalığı cam fazından çözünme eylemine daha yüksek bir pişme sıcaklığına neden olur.

Katalizörler, dönüşüm sürecinin hızı yönüyle önemlidir. Kalsiya ve magnezya en önemlilerinden biri olarak göz önüne alınır ve talklı bünyede sunulan, magnezyum silikat, dolomit (kalsiyum ve magnezyum karbonat) ve tebeşir tozu (kalsiyum karbonat) çatlama direncini arttırmaya yardımcı olur. Demir oksidin varlığı doğrudan termal genişleme ve küçülmeyi etkiler ve endüstriyel earthenware (tipik 1020 C üzerinde kırmızı kil bünyeler karşılaştırıldığında 1100 C üzerinde beyaz earthenware biri) bünyelere gerekli olandan daha az silika içeriği ve çok daha düşük pişirme sıcaklığında iyi bir çatlama direnci geliştirmek için kırmızı kil bünyelere imkân sağlayan kalsiyanın katalizör etkisinin % 4–11 demir oksidin ilavesi ile varlığıdır. Karo ürünleri endüstrisinde kullanılan düşük pişirimli beyaz bünyeler ve silip dökümlü el sanatları seramiklerinde çatlak direnci büyük talk miktarı ile kontrol altına alınabilir (bazı slip döküm bünyelerde çoğunlukla % 50 civarında) [53].

2.6.Sır Bileşimlerine Dayalı Sır Hataları

Seramik üretim prosesinin her aşamasında hatalara neden olabilecek birçok faktör etkindir. Tezimizin konu başlığı açısından burada sadece sır bileşimlerinden kaynaklanan, karşımıza çıkması muhtemel hatalar göz önüne alınacaktır.

Geleneksel sır çok düşük bir aşınma direncine, parlaklık, renk ve yüzey dokusu olarak onun yüzey karakteristiklerini çok kolay kaybetme özelliklerine sahiptir [37].

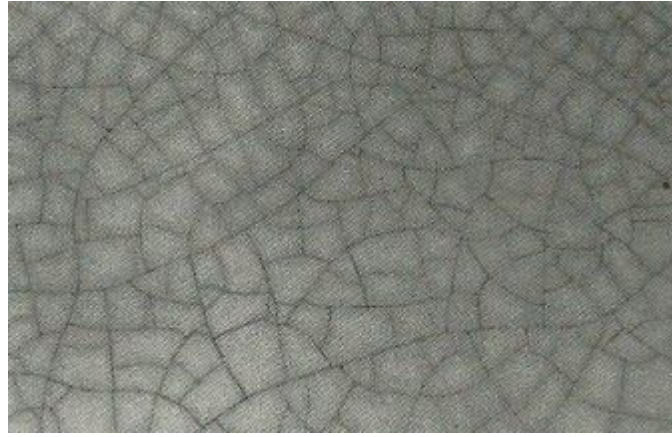
2.6.1. Sır çatlaması

Çatlamanın temel nedenleri bünyeyi örten sır ve bünyenin küçülme dereceleri arasındaki farklılıktır. Bünyenin ve sırtın termal genleşmesi aynıysa, çatlama, teorik olarak asla meydana gelmez. Bununla birlikte çömlek, sıcakta ve soğukta kullanıldığında, bünye ve sır aynı zamanda etkilenmez. Daha dış yüzey (sır) birinci derecede etkilenir, bünyenin içine iletilmesi geçtikten sonra ısı değişir. Bu yolla sır ile bünye yüzeyleri arasında baskı yaratır ve ikisi arasındaki reaksiyon katmanı belirsiz şekilde gelişir sonra Şekil 2.6'da görüldüğü gibi çatlakla sonuçlanabilir.

En gözenekli bünyeler (yüksek talklı olanlar hariç) değeri az olarak zamanla kabarır. Bu sırtı gerilime sokar ve üretimden birkaç gün, hafta ya da ay mamulün çatlamaşırı ertelemesinden sorumludur. Katkıda bulunan faktör donma derecesinin altında soğutulan sıvı, sır pişiriminden sonra soğutma süresince eşit şartlara ulaşamamak, meydana gelen tam küçülmeden önleyen yüksek sır viskozitesi olan sırdır. İlaveten, uyum, pişirim everesi ve sır basıncının düşürülmesi dışında sonra da sürdürülür. Bu etki, bununla birlikte, ziyadesiyle hafif ve önemsiz olarak göze alınabilir.

Sırlar gerilimden daha fazla basınca karşı koyabilirler. Çömlek yüzeyini ani bir şekilde soğutma onu hızlı bir şekilde ısıtmadan daha çok sırtın çatlamaşırı neden olan bir olasılıktır. Bu nedenlerden dolayı, sır ve bünye eşit bir termal genleşmeye sahip olmadığı için ancak sırtın termal genleşmesinin bünyeden daha az olması istenir. Bu başarılırsa, piştikten sonra mamul soğurken, doğal olarak sırtın altında bünyenin daha çok küçülmesi ile sır basınç altında kalır. Nem genleşmesinin bir sonucu olarak, gerilime sokmak yerine sır üzerindeki basınçlı güç biraz azaltıldığı zaman, çatlamadan kaçınılır.

Bir seramik bünynenin termal genişmesi içeriğindeki serbest kuvarsın miktarına ve onun kabul edebildiği ısı işleme bağlıdır ve bunun gibi pek çok detayı göz önüne almak önemlidir.



Şekil 2.6 Karoda sır çatlağı [53].

Çatlamanın Yaygın Nedenleri aşağıdaki gibidir.

1. Farklı en yaygın neden kil bünyelerde belli bir kristobalit gelişimi için yeterince yüksek sıcaklıkta pişmemesi.
Çatlak direnci kadar, mamul bünye için önerilen minimum sıcaklığın üzerinde pişirilmesi şartı ile prosedürler üzerinde uyarlanan küçük sonuçların olmamasıyla ilgilidir. Doğru sıcaklıkta çatlak mamulleri yeniden pişirmek genellikle problemi çözer.
2. Pişirmenin aşırı hızlı yapılması çatlamanın diğer yaygın bir nedenidir. Pişirme bir zaman/sıcaklık süreci.
3. Düşük genişmeli bünynenin kullanımı normal sırların çatlamasının nedeni olacaktır.
4. Sırların termal genişmeleri aşırı yüksekse, çatlama kaçınılmazdır.
5. Sırı daha ince kaplama çatlama direnci için daha iyidir. Aşırı sırlama çatlamanın yaygın bir nedenidir. Uygulanan bünye üzerinde çatlama direnci oldukça iyi olması gereken sırlar çok kalın uygulanırsa yinede çatlayabilir.
6. Silikanın partikül boyutu aynı zamanda frit parçalarının partikül boyutu ve miktarı da çatlamanın nedenlerinden biridir.
7. Bakır oksit, demir oksit, mangan di oksit vb. gibi metal oksitlerin sıra katılması termal genişmeyi artırır. Bal sırları, örneğin, temel sırla içersine demir oksit ilave edilerek üretilen sırdan daha az çatlama direnci eğilimi olacaktır. Sır boyaları hazırlanırken eklenen katkılarında benzer etkileri olabilir çünkü metal pigmentlerin fritlenmiş karışımlarıdır.

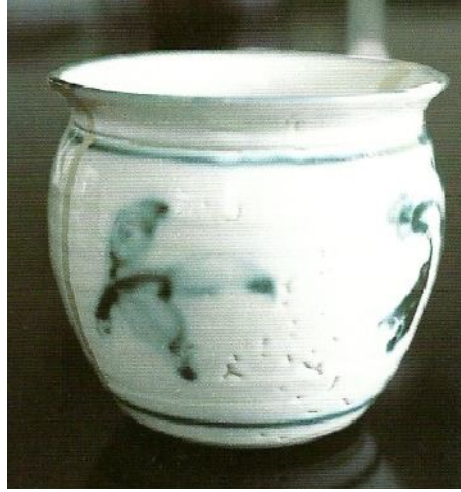
8. İdeal olanı yüklü mamul fırının kapağı açılmadan önce oda sıcaklığına gelinceye kadar beklenmelidir. Sabırsızlık ve merak – ya da meşgul bir atölyenin talepleri – genellikle bu zamandan önce fırının kapağının açılması çatlama anlamındadır. Ancak, çok erken açılan fırın kapağı mamuller için termal şok ile sonuçlanır ve mamul 100 °C'nin üzerinde ise kaynayan su ve diğer ani ısı değişimlerinden kabul edilebilir herhangi birinden daha büyük bir termal şok mümkün olacaktır. Sır yüzeylerindeki şok çatlama ya da darbe nedeniyledir.

Elbette, fırın kapısı açılmamalı ve mamul arabaları tünel fırından ve ya arabalı fırınlarda alınmamalı mamul 200 °C'den yüksekken: kristobalit dönüşümünde hacim değişmesi yüzünden katastrofik darbe riskine yol açar [53].

Sırların genel kural olarak ısı genleşme katsayısı açısından bünye ile uyum halinde olması gerekir. Teorik olarak sır ile bünynenin uyum halinde olması için ısı genleşme katsayılarının eşit olması gerekmektedir. Fakat uygulamalar sırnın genleşme katsayısının bünnyeden yaklaşık % 5 daha küçük olması gerektiğini göstermektedir. Bu durum, gerilme altında davranış ve rutubet genleşmesi ile açıklanmaktadır. İnce camsı tabaka, kalın bünnyeye karşın daha çok gerilmeye maruz kalmakta, ancak genleşme katsayısı daha düşük tutularak basınç gerilmesi altında bırakılmakta ve böylece sıra dayanıklılık kazandırmaktadır. Zira camların basınç gerilmesi, çekme gerilmesine göre yaklaşık 10 katı daha fazladır. İkincisi ise bünnyenin rutubet genleşmesi özelliğidir. Seramik bünye, içerisinde mikro gözenekler ve Ca iyonları ihtiva etmekte, bunlar zamanla su absorbe ederek ve hidratlaşarak bünnyeyi genişletmekte (rutubet genleşmesi), ve sır tabakasını çekme gerilimine maruz bırakarak kopma ve çatlamalara neden olmaktadır. Ancak, sırnın genleşme katsayısı düşük tutularak bünnyede daha sonra oluşacak genleşmeleri karşılamak mümkündür [54].

2.6.2. Sır toplanması

Erimiş sırnın geri çekilmesinden, mamulün açığa çıkan alanları ile karakterize edilir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi sırlanmamış alanları çevreleyen sır kaplamasının kenarları genellikle kalınlaşır ve yumuşak şekilde çevrelenir, daha genel bir dağılımlı çok küçük alan ya da sırnın olduğu yer damlacığa eşit parafınlanmış ya da yağlamış yüzeyde suyun düşmesine benzeyen küçük damlalar gibi biçimlenir.



Şekil 2.7 Sır toplanması [53].

Birkaç faktör sırların toplanmasını etkileyebilir ancak tüm durumlarda, toplanma, yüzey genleşme güçlerinin üstesinden gelen yapışma ya da yaş gerilimden kaynaklanır.

Çok akışkan sırlarda toplanma erimede daha yatkın olduğundan viskozla ilişkili olan ikincisi iyileşmeye eğilimli olan akışkanlık derecesi artan sırlar aşırı çatlar ya da sır filminde kraterler bulunur. Opak sırlar – özellikle zirkonla opaklaştırılmış olanlar – şeffaf sırlardan daha viskozdur ve böylece toplanmaya karşı daha duyarlıdır. Çinko oksit içeren mat sırlar toplanmaya parlak sırlardan daha yatkındır. Yüksek alüminalı sırlar her zaman yüksek erime viskozitesine sahiptir ve bu yüzden daha duyarlıdır.

Genelde, çok viskoz bir sır tabakasında artan toplanmanın en fazla örnekleri kurşun bisilikat ya da boraks frit ya da daha kolay akma sağlayan daha yüksek pişirilmiş sır gibi ekstra eriticilerin katılması ile doğrulanabilir.

Toplanma bazen sır altı dekorasyonları üzerinde oluşur, özellikle krom yeşili ve pembe, kobalt mavileri ve mangan kahverengisi ile. Bu, yeterli eriticinin eksikliği yüzünden kuruluk ya da uygun bir şekilde yapışan sır için dekorlanmış yüzeyde aşırı kaygan yapan bir medyumun fazlalığına bağlanmıştır. Bu bazen bisküvi mamulün dekorlanmasından sonra yaklaşık 600 °C de pişirilmesi sürdürülen endüstriyel çömlek için ikinci nedendir.

2.6.3. Devitrifikasyon

Cam bazen sıvılaşma sıcaklığının tam altında belli bir süre tutulursa, kristallenme meydana gelir ve bu durum devitrifikasyon olarak bilinir. Herhangi bir sıvı karışımı soğutulduğunda kristal oluşumunun başladığı sıcaklık kristallenme sıcaklığı olarak adlandırılır.

Genel olarak bir cam kompozisyonu içine yeni bir madde ilave edilirse cam söz konusu sıcaklıkta daha viskoz olacağından kristallenme sıcaklığı düşer ve kristallerin oluşum eğilimi azalır [55].

Cam erime durumundan soğumaya geçişte rasgele dağılmış bir yapıdan yeniden daha düzenli kristal latise geçmeye çalışan bir malzemedir. Malzemenin vizkozitesi nedeniyle bu yapıya geçmesi sınırlandırılmıştır. Ancak cam uzun süre sıvı sıcaklığında tutulursa ağ düzenleyiciler, örneğin devitrite, kristalleri oluşturmak için yardımcı olabilirler. Bu sınırlandırılmış kristaller, farklı bir genleşme katsayısı ile sonuçlanan camdan değiştirilmiş bir kompozisyona sahiptir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi gerilim alanları oluşturur ve çatlaklar oluşturma eğilimindedir. Büyük ölçekli üretimlerden sorumlu insanlar için, devitrifikasyon kabus gibi bir şeydir ve hem cam kompozisyonu hemde soğutma oranı bunun meydana gelmesinden kaçınmak için tasarlanmalıdır. Bu yüzden, normal prosedür onun sertleşebileceği bir sıcaklığa mümkün olduğu kadar çabuk camı soğutmaktır [56].



Şekil 2.8 Devitrifikasyonlu frit döküm [57].

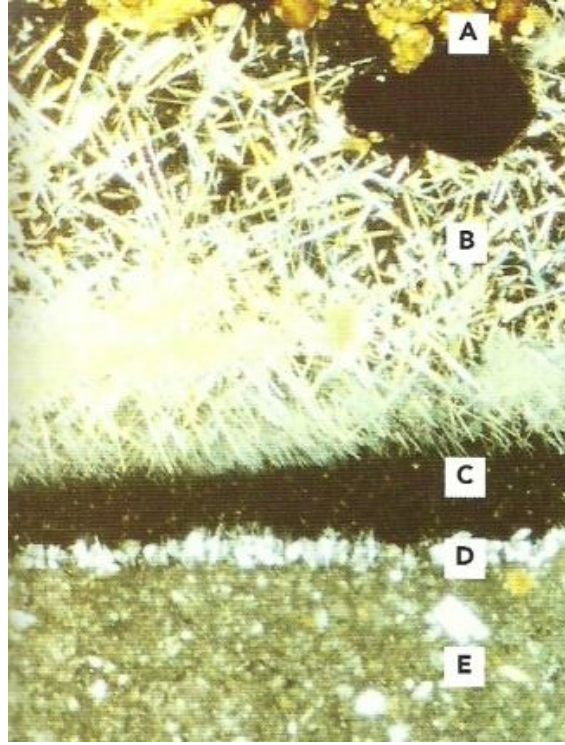
1. Bazen, şeffaf sırlarda oluşan sırtın en kalın uygulandığı yerlerde en belirgin olarak sütlü bir görünüme yol açan kristalizasyonu tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Şeffaf sırlar sarımtırak ve kırmızı yanmış bünyelerde kullanıldığında bu sütlülük, sıklıkla pembemsi veya mavimsi renk değişimleri yapmaya başlar.
2. Çinko silikat veya kalsiyum borat - özellikle kalsiyum borat kristallerinin sırda biçimlenmesinden meydana gelir. Kristalizasyon sır pişirme sıcaklığına ulaştıktan sonra erimiş olan sır yaklaşık ilk 200 °C’ın üzerinde soğurken oluşur ancak yüksek dereceli sırlar için ve yaklaşık 900 °C de ve earthenware için 750 °C de sır sıcaklığı hemen düşer, sır katılığı ek devitrifikasyon ile önlenir. Sırlar için devitrifikasyon oluşumu daha büyük riskse de onun sıvılaşma noktasında soğuma daha uzun zaman alır.

3. Kalsiyum borat, bünyede bulunan kalsiyum ile sırda bulunan borik oksit arasındaki reaksiyonla biçimlenir. Bu yüzden düşük borik oksitli bu sırlar daha düşük kalsiyum borat oluşumuna eğilimli olmayı izler. Kurşunsuz earthenware sırlar boraks frit bileşimleri daha çoğunluktadır ve bu yüzden düşük çözünürlüklü earthenware sırlarından daha fazla borik oksit içerecektir; devitrifikasyon oluşumu çok daha büyük olasılık anlamındadır. Kurşunsuz bir sırdan düşük çözünürlükte birine dönüşme çoğunlukla devitrifikasyon sorununu çözümler. Alternatif olarak, % 5-20 china clay ilavesi içeren (sır pişirim sıcaklığına bağlı) kurşun bi silikat frit sıra katılabilir ancak serbest kalan metal kuralına uymaya dikkat etmelidir.
4. Kil mamul, en az sonraki kurşunlu sır pişirimleri kadar yüksek sıcaklıkta bisküvi pişirilirse sonra bisküvi mamul kurşunlu sır pişirimi sürecinde kısmen tepkimeye girmeyecektir ve kalsiyum öyle kolayca eritemeyecektir. Bu kalsiyum borat oluşumu riskini biraz düşürür. Not olarak, daha yüksek kalsiyum içermesinden dolayı kırmızı kil bünyelerin üzerinde sırların camlaşması da çok daha olasıdır.
5. Daha etkili bir çözüm, kristallerin geliştiği sadece bu zaman dilimi süreci için sırların eridiği zaman periyodunu kısaltmaktır. Bekletme periyodu bu yüzden düşürülmeli ya da vazgeçilir, daha önemlisi, sır sıvılaşma noktasında mümkün olduğu kadar çabuk soğutulur. Bu, fırın kapatıldıktan sonra hızlı bir şekilde 20 dakika kadar kaldırılan hava boşaltma kapağı ya da açılan sürgü ile yapılabilir.
6. Devitrifikasyon olan mamul bazen yukarıdaki gibi hızlı bir şekilde soğutulduktan sonra biraz daha yüksek sıcaklıkta yeniden pişirme ile iyileştirilebilir.
7. Alümina içeriğinde bir artış sırları aynı sıcaklıkta daha viskoz yapar ve kristal oluşumu böylece engellenir. Alümina ya da belki china clay'in yüzde birkaç ilavesi kristallenmeye daha az eğilimli sırlar yapacaktır.
8. Devitrifikasyon olmuş sırlar çok cazibeli olabilir. Çömlekçi killeri 1131 bünyeye uygulanan kalsiyum borat frit 2268 artı % 15 china clay ve 1180-1200 °C civarında pişirilen bir örnek tipik kalsiyum borat mavi-kırmızılık ya da bulutlu çökelme görüntüsüne sahip ilginç mavi-beyaz sır memnuniyet verir.

2.6.4. Parlaklık ve matlıkta değişim

Sırda matlık, Şekil 2.9'da A çözülmemiş olan iri parçalı rutil; B soğuma sürecinde kristalleşen rutilin iğne kristalleri; C rutil olmayan kristalli sır; D ara tabaka; E bünye, altta kuvars olan beyaz parçaları göstermektedir. Sır yüzeyinde kristal biçimlenmesi ile en iyi şekilde üretilebilir. Genellikle, bu çinko, kalsiyum, magnezyum ya da titanyum silikat (reçeteye çinko

oksit, tebeşir tozu, valostonit, dolomit ya da titanya katarak üretilir). Kristaller, sadece şartlar uygun olduğunda oluşturulabilir; özellikle sır oluşması için kristal hücrelere imkân vermesinde yeterli kalınlıkta olmalıdır ve sır onların büyümesine imkân sağlamak için yeterli sürede yeterince erimelidir.



Şekil 2.9 Rutil matı sırn enlemesine kesiti [53].

Sırların parlaklığı, sırların viskozitesine ve en çok mat sırların yüzeyinde bulunan kristallere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne bağlı olduğu gözlenmelidir. Bir sır kristaller içeriyorsa, kristallerin karakteristiklikleri sır partikül boyutundan etkilenebilir ve bu yüzden sır parlar [58].

Matlık keza sırda çözünmez malzemelerin varlığı, sır pişirim sıcaklığının altında olması ve olgunlaşmaması ile üretilebilir. Böyle sırlar, bununla beraber, daha az memnun edici ve asit saldırısına daha yatkın olanların kusurlu camlaşmaşıra rağmen iyi bir kaliteye sahiptir.

Parlak olarak mat sırların yaygın nedenleri:

1. Kristal oluşumdan matlığın geliştiği yerde sırn erimeden kaldığı (bekleme zamanında redüksiyon kapatıldıktan sonra daha hızlı soğutulur veya genellikle daha hızlı pişirilir) redüksiyon zamanı içersinde matlık azalacaktır. Sırn olgunlaşmadığı yerde matlık

gelişir sonra sır daha olgunlaşmamış olacaktır ve bu yüzden böyle şartlar altında daha mattır.

2. Çok ince bir sır kaplaması, ziyadesiyle ince kaplamalı sır, bununla birlikte, daha mat olabilir.
3. Matlığa etken partikül boyutunda bir değişim. Daha kaba partiküller daha az reaktiftir ve bu aynı pişirim şartları altında daha az matlıkla sonuçlanabilir.
4. Öğütme zamanında bir değişim.
5. Fırının çok hafif doldurulması kapatıldıktan sonra çok daha hızlı soğuması ve matlıkta bir düşüşe neden olur.
6. Sırda alüminyum bileşiminde bir artış erime viskozitesinde bir artışa ve kristal büyümesini engelleyici neden olacaktır.
7. Fırın atmosferinde bir değişim sır/bünye reaksiyon katmanının gelişmesini etkileyecektir; redüksiyon – ya da redüksiyonda bir artış – bunu artırıcı eğilimde olacaktır. Reaksiyon katmanı sır yüzeyine doğru bir çıkıntı yaparsa matlık artar ancak yapmazsa matlık düşer.
8. Fırında hava sirkülasyonunun varlığı mamul üzerinde parçalara halinde parlaklık ya da genel bir parlaklık üretir. Hava sirkülasyonu en yaygın şekilde kapı fitilleri civarında ve havalandırma kapağı civarında oluşur ve etkilenen mamul muhtemelen bu alanlara en yakın olanlardır, mamul yüklü malların merkezindeki mamul diğerlerine nazaran etkilenmez.
9. Nüfuz etmesi için ilave edilen sır eriticileri ve daha kolayca bünye ile birleşmesi nedeniyle pişirim sıcaklığının altında bisküviyi pişirmek.
10. Hemencecik sırlı mamule bitişik yeni fırın destekleri ve tabakalı fiber yünler donuk bir parçaya veya genel donukluğa neden olarak sırdan buhar soğurabilir. (sırlanmış olarak aynı pişirimle pişirilmiş kil mamul keza sırdan buhar emebilir ve bu probleme neden olur). Gözenekli fırın desteklerine çözüm onları yalıtım için china clay ve feldspatın uygun bir yıkama uygulaması olacaktır, ancak böyle bir yıkama tabii ki raflar üzerinde uygun olmayacaktır çünkü çömler yapıacaktır [53].

BÖLÜM 3

3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

3.1. Yapay Sinir Ağlarına Genel Bakış

Yapay zekâ (YZ); zekâ ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayarlar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların yapılması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi hususunda çalışılan bilim dalıdır. YZ; “düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme yapılarının programlamayla taklit edilerek problemlerin çözümüne uygulanması” olarak ta ifade edilebilir.

Literatürde uzman sistemler olarak işimlendirilmiş grubun bir üyesi olan YSA, yapay zekâ alanının bir uzantısıdır ve bu alandaki çalışmalara destek sağlamaktadır.

Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlayan YSA modelleme tekniği basit bir şekilde insan beyninin çalışma fonksiyonlarını taklit eden sistemlerdir. YSA tanımlarına bir göz atıldığında YSA’nın herkesçe kabul edilmiş genel bir tanımı bulunmamaktadır. Bazı bilim adamlarınca yapılmış ve yaygın kabul görmüş bazı tanımlar aşağıda verilmiştir.

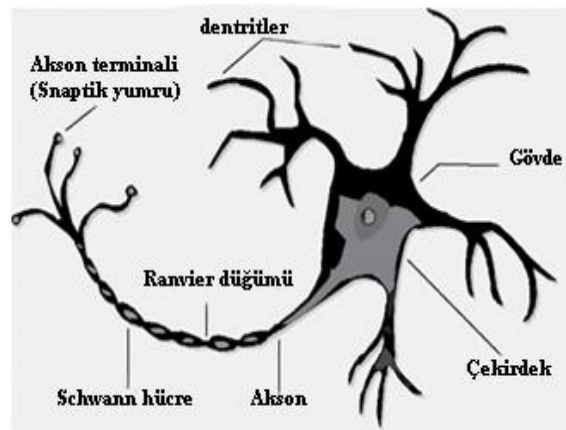
Haykin (1999) Sinir Ağlarına Detaylı Bir Bakış (Neural Networks: A Comprehensive Fonudtion), isimli kitabında YSA’yı “bir sinir ağı, bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit birimlerden oluşan paralel dağıtılmış bir işlemcidir. O beyni, bilgi öğrenme yoluyla ağ tarafından elde edilir. Sinaptik ağırlıklar olarak bilinen nöronlar arası bağlantı kuvvetlerini, bilgiyi depolamak için kullanılır gibi iki şekilde ifade eder.”

Zurada (1992) ise, Yapay Sinir Sistemlerine Giriş (Introduction To Artificial Neural Systems), kitabında YSA’nı “yapay sinir sistemleri veya sinir ağları deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemlerdir.” olarak tanımlanan YSA metodolojisi veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme vb. birçok önemli özelliğe sahiptir [59].

Tanımların ortak birkaç noktası vardır. Bunların en başında yapay sinir ağlarının birbirine hiyerarşik olarak bağlı ve paralel olarak çalışabilen yapay hücrelerden oluşmaları gelmektedir. Proses elamanları da denilen bu hücrelerin birbirine bağlandıkları ve her bağlantının bir değerinin olduğu kabul edilmektedir. Bilginin öğrenme yolu ile elde edildiği ve

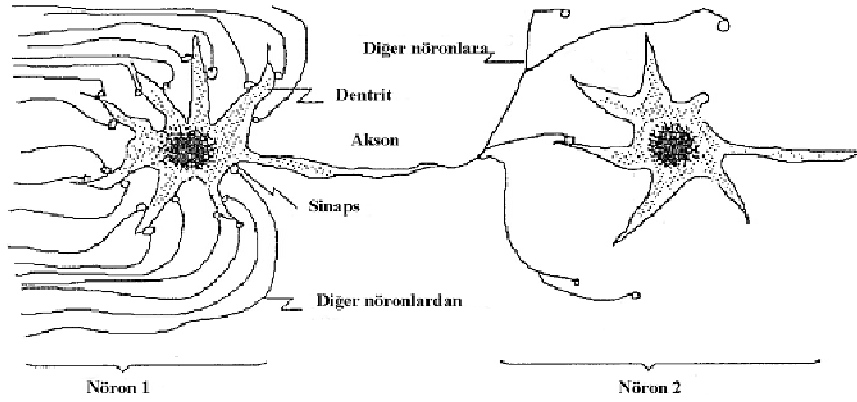
proses elamanlarının bağlantı değerlerinde saklandığı dolayısıyla dağıtık bir hafızanın söz konusu olduğu da ortak noktaları oluşturmaktadır [60].

İstisnasız tüm YSA yapılarının esin kaynağı, biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. YSA'nın öğrenme özelliği bu yaklaşımın cazibesini arttırmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi biyolojik sinir sistemi, bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten bir merkez ve bu merkezin kontrolünde bulunan alıcı ve tepki sinirlerinden oluşur. Alıcı sinirler (reseptör), iç ve dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, elektriksel sinyallere dönüştürerek beyine iletirler. Tepki sinirleri (efektör) ise beyinin olarak bilinir. Nöron, sinir sisteminin temel birimidir ve gövde (cell body), gövdeye giren sinyal alıcılar (dendrit), gövdeden çıkan sinyal ileticiler (akson) olmak üzere başlıca üç kısımdan oluşur [59].



Şekil 3.1 Biyolojik nöron [61].

Nöronun basitleştirilmiş bir görünüşü Şekil 3.2'de görülmektedir. İnsan beyinde ortalama 10^{11} nöron vardır. Fark edilebilir ve karmaşık yapılarda düzenlenmişlerdir. Uyarılma olduğu ya da olmadığı söylenebilen aksonlarda kısa sinyal biçiminde elektriksel işlem gözlenmiştir. Uyarıldığında dakikada 100 adet sinyal oluşur. Diğer bir nöronla bağlantı kuran her bir akson biçimlenmiş birkaç bitimle bölünür. Akson, dendritlerden aldığı bilgiyi diğer hücrelere aktaran uzantılardır. Her nöronda bir akson bulunur.



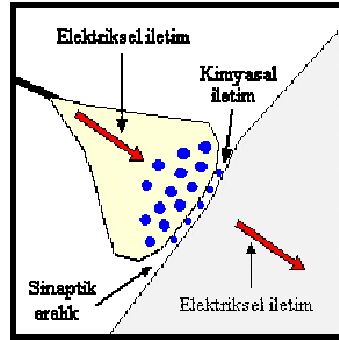
Şekil 3.2 Nöronlar [62].

Bağlantı, sinaps denen düğmeye benzer bir bağlantı ucunda yapılır. Bir nöron diğer bir nöronun aksonlarından 5000'den 15 000'e kadar giriş kabul eder. Sinapslerin merkezi olan havuça benzeyen yumrularla (dendrit) çoğu nöronun yüzeyi pürüzlüdür. Hem nöronların uyarılmasına yardım eden uyarıcıları durumunda uyarıcı hem de nöronu uyarmaktan vazgeçmesi durumunda önleyici olduğu bilinir. Dendrit, bir nöronda birden fazla bulunabilir ve nörona gelen bilgiyi alan (başka bir nörondan veya reseptörden gelen) kısa uzantılardır [62].

Bir nöron hücresi dendritlerden sinyalleri alır. Bir nöron sinyal aldığı anda nöron uyarılabilir. Nöron uyarıldığında, sinyal nöronun aksonları üzerinden iletilir. Sonunda sinyal akson terminallerinden yol alarak nöronu terk edecektir. Sinyal sonra diğer nöronlara ya da sinirlere iletilir.

Bir nöron uyarılma veya uyarılmama ile bir karar alır. Yapılması için alınan bu kararlar ziyadesiyle düşük seviyeli kararlardır. Birçok nöron tarafından yapılması için büyük bir miktarda karar gerektirir. Yüksek seviyeli kararlar birçok nöronun ortaklaşa girdi ve çıktıları sonucudur [61].

Mesajı gönderen ve presinaptik hücre olarak adlandırılan hücre ile mesajı alan ve postsinaptik hücre, kavşak bölgelerinde oldukça yaklaşırlar. Uyarılabilir hücreler boyunca ve komşu hücreler arasında bilgi aktarımı sırasında, ilk mekanizmalar ne olursa olsun, sonunda ortaya çıkan elektriksel işaretler Şekil 3.3'de gösterilen işaret gibi olacaktır. Sinir hücresinin aksonu (çıkış yolu) sinaps olarak adlandırılan bir kavşak (junction) vasıtasıyla diğer nöronların dendritlerine bağlanmıştır.



Şekil 3.3 Sinap [59].

Sinapslara, temel olarak elektriksel ve kimyasal olmak üzere iki farklı türden iletim mevcuttur. Hücreden hücreye iletişimin tamamen elektriksel olarak gerçekleştiği sinapslar, kimyasal maddeler aracılığı ile gerçekleştiği sinapslara kimyasal sinapslar denir. Morfolojik yapıları nedeniyle elektriksel sinapslara bağlantılı (bridge veya gap junction) sinapslar denir. Elektriksel sinapslarda iletim iki yönlü de sürebilirken, kimyasal sinapslarda iletim ancak tek yönlüdür [59].

Biyolojik sinir sisteminde tüm aktiviteler merkezi sinir sistemi olarak adlandırılan beyin tarafından yürütülür ve yönetilir. Bir biyolojik sinir sistemi üç katmanlı bir sistemdir. Biyolojik sistemlerde veriler beyinde dağınık yapıda saklanır. Biyolojik sinir sistemlerinde güçlü önilemciler sözkonusudur ve bu veri derleme sırasında önemli üstünlükler sağlar. Beynin deneyim veya örneklerden öğrenebilme yeteneği vardır. Her bir beyin hücresi için veri işlemede işlem süresi mikrosaniyeler seviyesindedir. Bilgisayarların veri saklama kapasitesi teknoloji ile ilgilidir. Verilere doğrudan adresleme ile ulaşılır ve veriler yerel noktalarda saklanır. Veri işleme veya elde etmede önilemciler kullanılabilir.

Biyolojik sinir hücreleri (nöronlar) çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak bir ağ oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler [59].

YSA'lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem elemanlarından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık sık aktivasyon fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem elemanları kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı da sinir ağlarını oluşturmaktadır[63]. YSA'lar, birbirine bağlı doğrusal ya da doğrusal olmayan

birçok elemandan oluşurlar. Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasındaki benzerlikler Çizelge 3.1’de verilmiştir [59].

Çizelge 3.1 Biyolojik sinir sistemi ile YSA’nın benzeşimleri [59].

Biyolojik Sinir Sistemi	YSA
Nöron	İşlemci eleman
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

YSA’lar yoğun bağlantılı ve komplike işlem yapıları nedeniyle çalışabilecekleri özel ortamlara ihtiyaç duymaktadırlar. Bu yüzden, YSA’lar, bu amaca yönelik olarak hazırlanmış özel yazılımlar ile bilgisayarlarda çalıştırılmaktadırlar. Günümüzde ise, gittikçe artan oranda yoğun ve karmaşık sinir ağlarını çalıştırabilmek ve daha hızlı işlem yapabilmek için özel donanımlar geliştirilmektedir [63].

YSA’lar ağırlıklı olarak öngörü, sınıflandırma ve modelleme yapabilme yetenekleri yüzünden günümüzde birçok endüstri alanında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Hemen hemen her alanda örnek uygulamalarıyla karşılaştığımız YSA’ların önemli görülen uygulama alanları aşağıda örneklenmiştir.

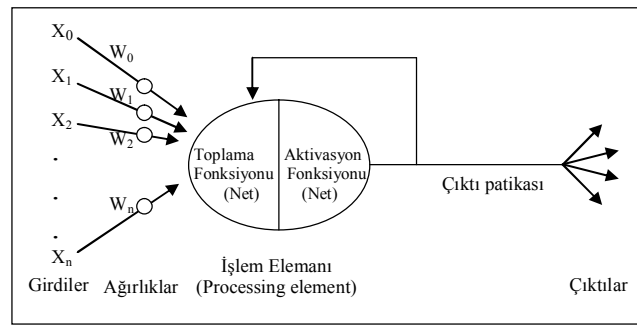
- Dil işleme
- Görüntü tanıma
- Karakter tanıma
- Hedef tanımlama
- Sinyal işleme
- Finansal
- Laboratuar araştırmaları
- Kalite kontrol

3.2. Yapay Sinir Ağının Temel Elemanları

Öğrenme, eğitime yoluyla örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı

ağırlıklarını (weights of the synapses) bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur.

Şekil 3.4’de girdi değerler $x(i)$ matematiksel sembolü ile gösterilmiştir ve bu gösterimde $i= 0,1,2,...,n$ değerlerini almaktadır. Bu girdi değerlerin her biri bir bağlantı ağırlığıyla çarpılmaktadır. Bu ağırlıklar ise $w(i)$ ile gösterilmektedir. En basit yapıda, bu çarpımlar toplanır ve bir aktivasyon fonksiyonuna gönderilerek sonuç üretilir. Bu sonuç daha sonra bir çıktıya dönüştürülür [63].



Şekil 3.4 Yapay nöronun genel yapısı [63].

3.2.1. Girdiler

Bir yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bunlar ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Yapay sinir hücresine dış dünyadan olduğu gibi başka hücrelerden veya kendi kendisinden de bilgiler gelebilir.

3.2.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Şekil 3.4’ de w_i ağırlık, girdi x_n ’in hücre üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması o ağı için en önemli olay olabilir. Eksi değerler önemsiz demek değildir. O nedenle artı veya eksi olması etkisinin pozitif veya negatif olduğunu gösterir. Sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilirler.

3.2.3. Toplama fonksiyonu

Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur [60].

Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlıdır. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve sonra bu değerler ileri doğru gönderilir. Bazı toplama fonksiyonları, aktivasyon fonksiyonuna ilemeden önce, sonuçları üzerinde ilave işlemler yaparlar [63]. Literatürde yapılan arştırmalarda toplama fonksiyonu olarak değişik formüllerin kullanıldığı Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2 Toplama fonksiyonu örnekleri [60].

Net giriş	Açıklama
<i>Çarpım</i> Net girdi = $\prod_i G_i A_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbiri ile çarpılarak net girdi hesaplanır.
<i>Maksimum</i> Net girdi = $\text{Max} (G_i A_i), i = 1 \dots N$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en büyüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
<i>Minimum</i> Net girdi = $\text{Min} (G_i A_i), i = 1 \dots N$	N girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra en küçüğü yapay sinir hücresinin net girdisi olarak kabul edilir.
<i>Çoğunluk</i> Net girdi = $\sum_i \text{sgn} (G_i A_i)$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir.
<i>Kümülatif toplam</i> Net girdi = $\text{Net (eski)} + \sum G_i A_i$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

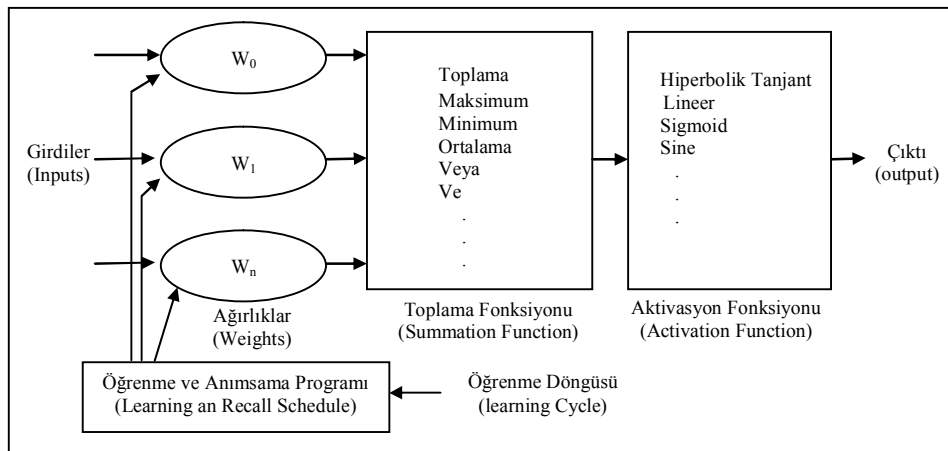
Burada G girdileri, A ise ağırlıkları göstermektedir. Uygulanan yapay sinir ağı modellerinden bazıları kullanılacak toplama fonksiyonunu belirleyebilmektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonunu belirlemek için bulunmuş bir formül yoktur. Genellikle deneme yanılma yolu ile toplama fonksiyonu belirlenmektedir. Bir yapay sinir ağında bulunan işlem elemanlarının tamamının aynı toplama fonksiyonuna sahip olmaları gerekmez. Her işlem elemanı bağımsız olarak farklı bir farklı bir toplama fonksiyonuna sahip olabilecekleri gibi hepsi

aynı işlem elemanına sahip olabilir. Hatta ağın bazı işlem elemanları grup halinde aynı toplama fonksiyonuna sahip olabilir. Bu tamamen tasarımcının kendi öngürüsüne dayanarak verdiği karara bağlıdır.

3.2.4. Aktivasyon fonksiyonu

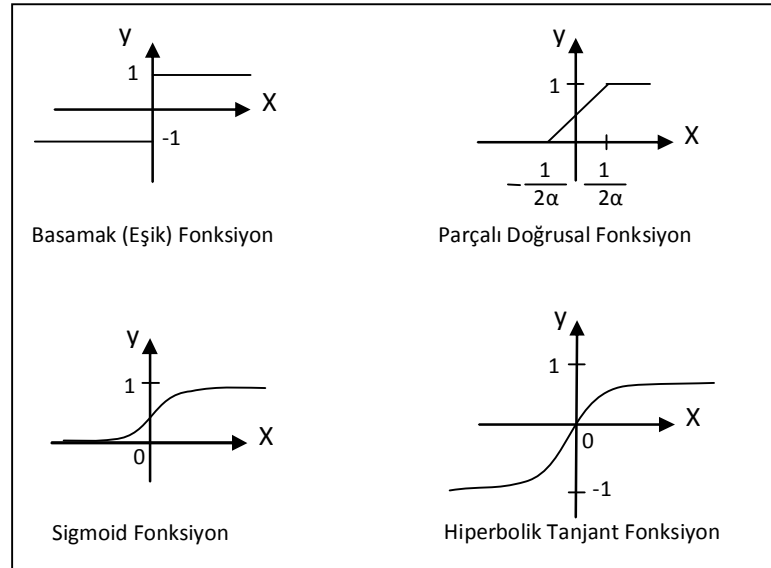
Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak çıktıyı hesaplamak içinde değişik formüller kullanılmaktadır. Bazı modeller (mesela çok katmanlı algılayıcı) bu fonksiyonun türevinin alınabilir bir fonksiyon olmasını şart koşmaktadır. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonunda da ağın işlem elemanlarının hepsinin aynı fonksiyonu kullanması gerekmez. Bazı elemanlar aynı fonksiyonu diğerleri farklı fonksiyonları kullanabilirler. Bir problem için en uygun fonksiyonda yine tasarımcının denemeleri sonucunda belirleyeceği bir durumdur. Uygun fonksiyonu gösteren bir formül bulunmuş değildir.

Şekil 3.5’de görülen yapıda kullanılan fonksiyonlar temelde uygulama konusuna bağlıdır. Bazı uygulamalar ikili (binary) veri seti gerektirir. Bu uygulamalara örnek olarak konuşma tanımlama ve metin tanıma uygulamaları verilebilir. Bu tür uygulamalar, doğal olarak, sadece toplama fonksiyonu içeren nöronlardan oluşan ağları kullanamaz. Bu ağlar mantıksal fonksiyonları kullanabilir ve bu fonksiyonlar toplama ve aktivasyon fonksiyonlarına dâhil edilebilir. Veya bazı uygulamalar basit bir şekilde toplama ve belirli bir eşik değeri ile karşılaştırma şeklinde bir işleme gereksinim duyabilirler. Bu şekilde evet/hayır, doğru/yanlış veya 0/1 gibi iki olası sonuç arasından seçim yapılabilir [63].



Şekil 3.5 Yapay nöron yapısı [63].

Bazı fonksiyonlar ise girdi verileri zamanla ilişkilendirebilir ve bu şekilde zamana bağlı ağlar oluşturulabilir. Genellikle kullanılan aktivasyon fonksiyonları Şekil 3.6’da görüldüğü gibi eşik, sigmoid, hiperbolik tanjant vb. fonksiyonlardır [63].



Şekil 3.6 En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları [63].

3.2.4.1. Basamak (Step) forksiyonu

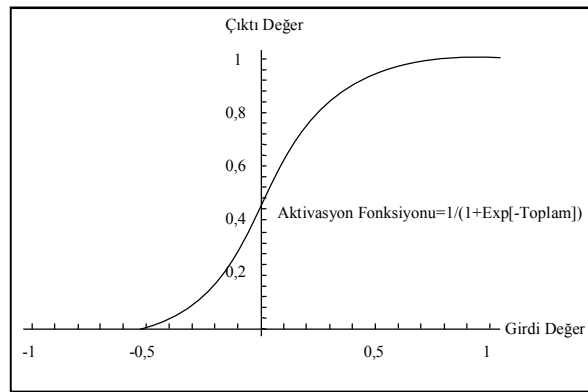
Basamak (Step) forksiyonu tek ve ya çift kutuplu fonksiyon olabilir. Bu fonksiyonların davranışlarına çift kutuplu bir örnek Şekil 3.6’da verilmiştir. Bu fonksiyonların matematiksel anlatımlarında Çizelge 3.3’de verilmiştir. Perseptron olarak bilinen işlemci eleman bu fonksiyon ile işlem görür.

3.2.4.2. Parçalı doğrusal fonksiyonu

Bu fonksiyon küçük aktivasyon potansiyeli için, α kazancı olan bir doğrusal toplayıcı (Adaline) olarak çalışır. Büyük aktivasyon potansiyeli için, nöron doyuma ulaşır ve çıkış 1 olur. Büyük kazançlar için, $\alpha \rightarrow \infty$ iken, parçalı doğrusal fonksiyon bir basamak fonksiyonuna dönüşür. Fonksiyon Şekil 3.6’da örneklenmiş olup formülü Çizelge 3.3’de verilmiştir [59].

3.2.4.3. Sigmoid fonksiyonu

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan gelen ve şekilde ‘Toplam’ olarak gösterilen değeri alır ve sıfır ile bir arasında bir değere dönüştürür. Sıfır ile bir arasındaki bu değer transfer fonksiyonunun ve dolayısıyla işlem elemanının çıktısıdır ve dış ortama veya girdi olarak başka bir nörona iletilir. Bu fonksiyonun en aktif bölgesinin 0,2 ile 0,8 arasında olduğu bilinmektedir. Literatürde tek kutuplu aktivasyon olarak ta bilinir[59,63]. Formülü Çizelge 3.3’de verilmiştir. Sigmoid fonksiyon, YSA uygulamalarında en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Fonksiyonun davranışı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Sigmoid aktivasyon fonksiyonun çalışma yapısı [63].

3.2.4.4. Hiperbolik tanjant fonksiyonu

YSA uygulamalarında en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından bir diğeri ise bu fonksiyondur. Literatürde çift kutuplu (bipolar) fonksiyon olarak bilinir. Şekil 3.6’da bu fonksiyonun grafiği verilmiştir. Giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktivasyon fonksiyonudur. Formülü Çizelge 3.3’de verilmiştir [59].

Çizelge 3.3 YSA’da en çok kullanılan aktivasyon formülleri [60].

Aktivasyon Fonksiyonları	Matematiksel Anlatım	Açıklama
Basamak (Step)	$y = F(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$ $y = F(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$	Gelen net girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerlerini alır.
Sigmoid	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} = \frac{1}{2}(\tanh(x/2) + 1)$	Gelen net girdi değer toplama fonksiyonu kullanılarak belirlenir.
Hiperbolik Tanjant	$y = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}} = \tanh(\beta x)$	Gelen net girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.
Parçalı Doğrusal	$y = F(x) = \begin{cases} 0 & x \leq -1/2\alpha \\ \alpha x + \frac{1}{2} & x < 1/2\alpha \\ 1 & x \geq 1/2\alpha \end{cases}$	Aktif çalışma bölgesinde doğrusaldır ve hücrenin net girdisinin belirli bir değerinden sonra hücre çıkışı doyuma götürür.

3.2.5. Hücrenin çıktısı

Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarakta gönderebilir. Ağ şeklinde gösterildiğinde bir işlem elemanının birden fazla çıktısı varmış gibi görülmektedir. Bu sadece gösterim amacıyladır. Aynı değer birden fazla işlem elemanına girdi olarak gitmektedir.

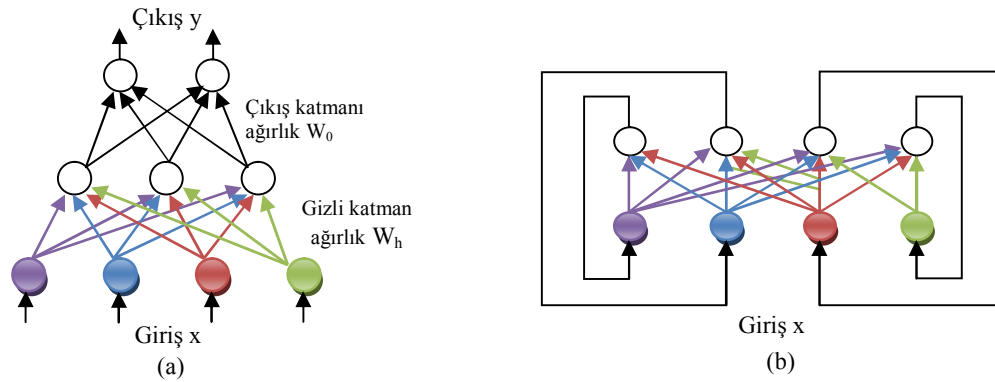
Sonraki aşamada toplama fonksiyonunun çıktısı aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Bu fonksiyon, aldığı değeri bir algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonlar genelde tercih edilmez çünkü doğrusal fonksiyonlarda çıktı, girdi ile orantılıdır. Bu durum, ilk YSA denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasının temel nedenidir [63].

3.3. Yapay Sinir Ağı Mimarisi

Genel olarak YSA metodolojisinin uygulama adımlarına bakıldığında, YSA’nın basit ama yoğun yapısı ve bazı temel özellikleri daha açık anlaşılabilir. Tipik olarak, bir YSA’nın mimarisi (veya yapısı) oluşturulur ve çeşitli matematiksel algoritmalarla bir tanesi kullanılarak üretilen çıktıların doğruluk (accuracy) düzeyinin maksimize edilmesi için gerekli olan ağırlık değerleri belirlenir. YSA’lar önceki örnekleri kullanarak ağırlıkları belirlemek yoluyla girdi değişkenler ile tahmin edilen değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkartırlar;

diğer bir deyişle YSA'lar eğitilir. Bir kez bu ilişkiler ortaya çıkartıldıktan sonra (yani ağ eğitildikten sonra), YSA yeni verilerle çalıştırılabilir ve tahminler üretilebilir. Bir ağın performansı, amaçlanan sinyal ve hata kriteri ile ölçülür. Ağın çıktısı, amaçlanan çıktı ile karşılaştırılarak hata payı elde edilir. Geri Yayılma (backpropagation) olarak adlandırılan bir algoritma hata payını azaltacak şekilde ağırlıkları ayarlamak için kullanılır. Bu işlem defalarca tekrar edilerek ağ eğitilir. Eğitim işleminin amacı performans ölçümleri bazında optimum çözüme ulaşmaktır [63].

Tanımlanmış tek bir nöronunun, sonraki adımı birbirleriyle bağlantı kurmaktır. Bir sinir ağı mimarisi, birimlerin aralarında birbiriyle bağlantılı olarak nasıl gruplandığını ortaya koyar. Literatürde belirtilen pek çok farklı mimari yapı vardır bunun yanında bunların çoğu yaygın olarak iki temel kategoriye bölünebilir: ileri beslemeli ve geri beslemeli. Bu mimariler Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Geri beslemeli mimaride, sonuç çıktıları tekrar giriş katmanında geri beslenirken İleri beslemeli mimaride her zaman ileri yöne doğru yayılırlar [64].



Şekil 3.8 (a) ileri beslemeli mimari, (b) geri beslemeli mimari [64].

Bir yapay nöron temel olarak girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış olmak üzere beş kısımda oluşmaktadır. P girişli n çıkışlı bir yapay nöronun farklı gösterimleri Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu şekilde x girişleri, y çıkışı, F fonksiyonu, p nöron giriş sayısını, n çıkış sayısını, w ise ağırlıkları ifade etmektedir [59]. Bu elektronik uygulama değişik toplama fonksiyonları ve aktivasyon fonksiyonları kullanabilir ve farklı ağ yapılarında uygulanabilir.

$$v = \sum_{i=1}^p w_i x_i = xw = [w_1 w_2 \dots w_p] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix} = WX^T \quad (3.3)$$

ile ifade edilir. Daha sonra, aktivasyon potansiyeli, çıkış işaretlerini üreten bir aktivasyon fonksiyonunda $F(\cdot)$ geçirilir ve çıkış değeri

$$y=F(x) \quad (3.4)$$

fonksiyonundan elde edilir. Aktivasyon fonksiyonu, aktivasyon potansiyelini çıkış işaretinin standart değerleri için normalize eden bir fonksiyondur.

Bir işlemci elemanın veya nöronun farklı bir gösterimi Şekil 3.9 (d)'de verilmiştir. Daha öncede açıklandığı gibi burada girişler dış kaynaklardan veya diğer işlem elemanlarından gelen işaretlerdir. Bu işaretler, kaynağına göre kuvvetli veya zayıf olabileceğinden ağırlıkları farklıdır.

YSA'da girilen giriş değerlerine önce toplama fonksiyonları uygulanır ve her bir işlem elemanının çıkış değeri y 'nin hesaplanması için ilk önce;

$$v = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} - \theta_i \quad (3.5)$$

bulunur. Burada x_i i'inci girişi, w_{ij} j'inci elemandan i'inci elamana bağlantı ağırlığını ve θ_i eşik (threshold) değerini göstermektedir. Daha sonra bu çıkış değerleri sigmoid bir aktivasyon fonksiyonuna uygulanırsa, sonuç çıkış değeri;

$$y = f(v) = \frac{1}{1+e^{-v}} \quad (3.6)$$

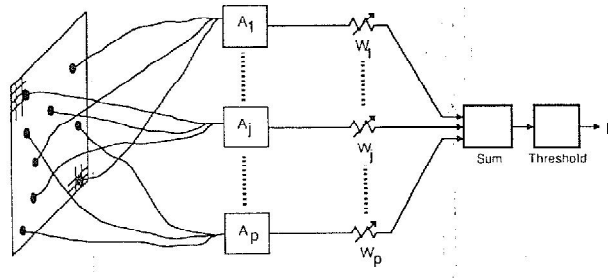
ile bulunur. İşlemci eleman çıkışında kullanılan sigmoid fonksiyona göre çıkış değerinin hesaplanması gösterilmiştir. Bu işlemci elemanın çıkış değeri diğer işlemci elemanlarına giriş veya ağırlık çıkış değeri olabilir. YSA'nın teorisi genel olarak istatistik temeller baz alınarak geliştirilmiş matematiksel yaklaşımlardır [59].

3.4. Yapay Sinir Ağ Yapıları

Bu bölümde, çeşitli problemlerin çözümünde kullanılan ve kabul görmüş bazı YSA yapıları ayrıntısına girilmeksizin genel özellikleri ile tanıtılacaktır.

Literatürde birçok YSA yapısı mevcuttur. Bu ağlar farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bazı kaynaklarda ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılırken bazı kaynaklarda dinamik ve statik veya danışmanlı ve danışmansız olmak üzere farklı şekilde sınıflanabilmektedirler [59].

1960'ların ortalarında sinir ağları üzerinde yapılan çalışmaların en kapsamlısı Frank Rosenblatt tarafından ortaya konan bir terim “perseptron” başlığı iflas etmiştir. Perseptronun en basit biçimi Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Bir perseptron [62].

Bazı eklemeler ile McCulloch ve Pitts düğümleri olarak geri döner. $A_1, A_2 \dots A_i \dots A_p$ etiketlenmiş birimlere ortak birimler denir ve görevleri bazı giriş imgelerinden spesifik sınırlanmış özellikleri çıkartmaktır. Gerçekte perseptronlar, bilinen her sinir ağına genellenebildiği halde cihaz modelleri olarak sunuldu. Bir taraftan şekilde görülen perseptronlar “mammalian visual system”’in bilinen bir parçasını taklit eder [62].

3.4.1. Adaline

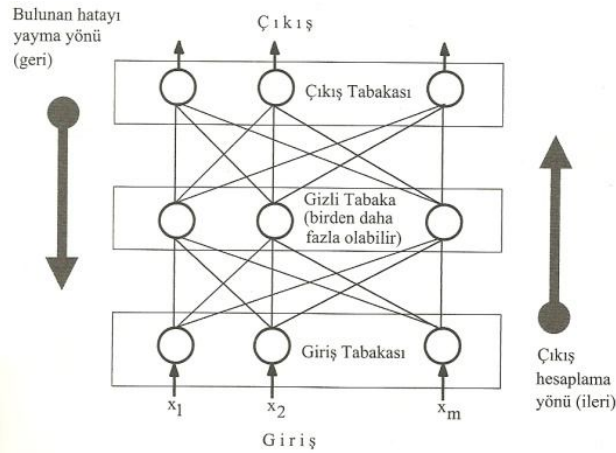
Widrow tarafından önerilen adaptif lineer eleman (adaline), her iterasyonda ortalama karesel hatayı (MSE) azaltarak ağırlıkları ayarlayan ve sınıflandırmayı sağlayan basit bir perseptrondur. Öğrenme için danışmanlı öğrenmeyi kullanır. Lineer transfer fonksiyonu kullanılır. Bu ağ yapısı ses sinyalleri üzerinde bulunan eko gürültülerinin giderilmesi için kullanılmıştır. Benzer şekilde görüntü sinyalleri üzerinde bulunan bazı gürültülerin giderilmesi içinde kullanıma uygundur.

3.4.2. Çok katlı (ara katmanlı) perseptronlar (Multilayered Perceptrons)

Çok katmanlı bir perseptron sinir ağı (MLP) modeli, Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Bir MLP modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara veya saklı ve bir de çıkış katmanından oluşur ve her katmanda bir veya daha fazla işlemci eleman veya nöron bulunabilir. MLP'deki herhangi bir nöron çıkışı

$$y_k = f(\sum_k w_k x) \quad (3.7)$$

ile hesaplanır. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri doğru olup geri besleme yoktur. Bunun için ileri beslemeli sinir ağı modeli olarak adlandırılır. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Buradaki işlem elemanı sayısı tamamen uygulanan problemlerin giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 MLP yapısı [59].

Bu ağ modeli özellikle mühendislik problemlerinin çözümlerinde ve uygulamalarda en çok kullanılan sinir ağı modeli olmuştur. Birçok öğretim algoritmasının bu ağı eğitmede kullanılabilir olması, bu modelin yaygın kullanışının sebebidir. MLP ağlarında, ağa bir örnek uygulanır ve örnek neticesinde nasıl bir sonuç üretmesi gerektiği bildirilir. Bu aslında danışmanlı öğrenmenin tarifidir. Örnekler, giriş katmanına uygulanır, ara katmanlarda işlenir ve çıkış katmanından da çıkışlar elde edilir. Kullanılan eğitim algoritmasına göre, ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak hata minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir. MLP'ler birçok öğretim algoritması kullanılarak eğitilebilirler.

İleri beslemeli ağlar, en genel anlamıyla giriş uzayıyla çıkış uzayı arasında statik haritalama yaparlar. Bir andaki çıkış, sadece o andaki girişin bir fonksiyonudur. MLP'ler literatürde en fazla uygulanan YSA tiplerinden birisidir.

3.4.3. Radyal tabanlı sinir ağı (RBFNN)

Çok değişkenli modelleme ve yakınsamalarda kullanılan YSA yapılarından. Ara katmandaki işlemci elemanlar girişlerin ağırlıklandırılmış şeklini kullanmamakta ve ara katmandaki işlemci elemanların çıkışları YSA girişleri ile temel fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir.

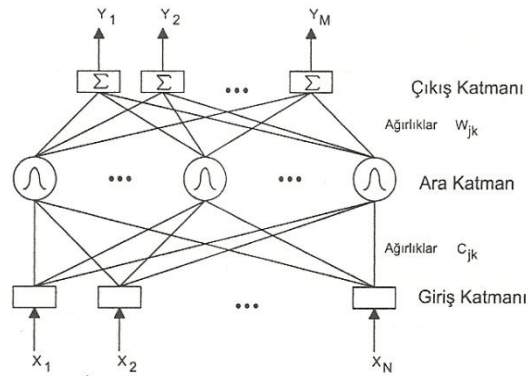
Genellikle uygulamada kullanılan RBFNN yapısı, Moody ve Darken tarafından önerilmiştir. Benzer algoritmalar, enterpolasyon ve yakınsama problemleri üzerine çalışan Powell, Broomhead ve Lowe gibi araştırmacılar tarafından da önerilmiştir. Bu ağ mimarisi Şekil 3.12' de verilmiştir. Burada ara katman işlemci elemanları, lineer yapıdaki bir çıkış katmanına bütünüyle bağlantılıdır. İşlemci elemanların çıkışı ise

$$I_k = \|x - c_k\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - c_{ki})^2}, k = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.8)$$

ile ifade edilebilir. Nöron çıkışı ise,

$$v_k = e^{-\frac{I_k}{\sigma_k^2}} \quad (3.9)$$

x çok boyutlu giriş vektörünü, c giriş vektörü ile aynı boyutta olan merkez vektörünü, σ ise standart sapma değeridir. Arakatman işlemci elemanlarının (patern birimleri) eğitilmesi için c_k ağırlıkları ile σ_k genişliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ara katman işlemci eleman fonksiyonlarının merkezi konumlarının (c_k) belirlenmesi için literatürde bazı yöntemler önerilmiştir (Şekil 3.12).



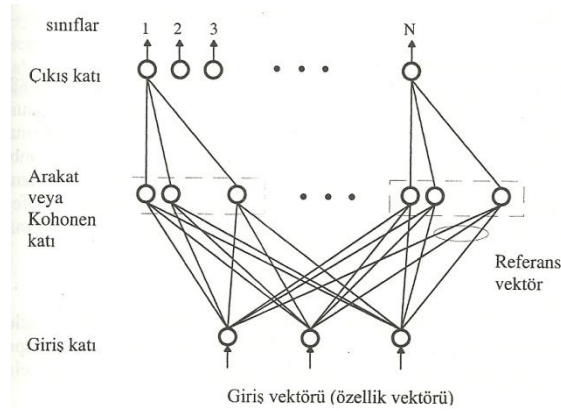
Şekil 3.12 RBFNN yapısı [59].

RBFNN yapıları, yerel çekirdek (kernel) fonksiyonları kullanıyormuş gibi aynı sınıf dağılımlarının modellenmesini sağlar. Bu sınıfları ayırmak için hiper-yüzeyler veya her bir sınıfa bir kernel fonksiyonu yerleştirilir.

3.4.4. LVQ (Learning Vector Quantisation)

Vektör Kuantalamalı Öğrenme (LVQ) ağı Kohonen tarafından geliştirilmiştir ve bu ağ aynı zamanda Kohonen ağı olarak bilinir. Şekil 3.13'de birçok nörondan oluşan ve giriş, ara ve çıkış katmanından oluşan 119 katlı bir LVQ ağı verilmiştir. Bu ağ yapısında, giriş katı ile arakat arasındaki tüm nöronlar arasında bağlantılar mevcuttur. Arakat ile çıkış katı arasında farklı sayıda nöron grupları her bir çıkış nöronuna bağlanmıştır.

Arakat ile çıkış katı nöronları arasındaki ağırlıklar T değerine sabitlenmiştir. Giriş ile arakat arasındaki nöron bağlantı ağırlıkları referans vektör olarak isimlendirilir. Her bir nöron için bir referans vektörü tanımlanır. Bu ağırlıklar ağı eğitilmesi sırasında değiştirilir. Arakat (Kohonen katı) ve çıkış katı nöronları ikili (binary) çıkışlara sahiptir. Bir giriş vektörü ağıya uygulandığı zaman, giriş vektörüne en yakın arakat nöronunun referans vektörünün aktive edilme yarışmasını kazandığı söylenir. Bu kazanan nöron '1' çıkışını verir. Diğer bütün nöronların çıkışlarının '0' olması için bütün nöronlara baskı uygulanır. Çıkış nöronuna bağlı olarak, kazanan nöronu içeren arakat nöron grubuna '1' ve diğer bütün çıkış nöronları '0' değerleri atanır. '1' değerini üreten çıkış nöronu, her farklı sınıfı ifade eden her bir giriş nöronu giriş vektörünün sınıfını verir.



Şekil 3.13 Bir LVQ ağı [59].

En basit LVQ eğitme prosedürü aşağıda verilmiştir:

- i. Referans vektörün ağırlıklarına W_i başlangıç değeri ata;
- ii. Eğitme giriş vektörü X 'i ağı gir;
- iii. X ve W_i arasındaki mesafe'yi (Euclidean) hesapla $mesafe_i = \|W - X\|$;
- iv. Giriş vektörüne en yakın yarışmayı kazanan arakat nöronunun referans vektör ağırlığı $\hat{W}$ 'yi güncelleştir. Şayet diğerleri giriş vektörünün belirtilen sınıfa ait olduğu çıkış nöronuna ait grupta ise, aşağıdaki gibi referans vektör giriş vektörüne daha da yakınlaştırılır:

$$Yeni_ \hat{W} = \hat{W} + \lambda(X - \hat{W}) \quad (3.10)$$

burada λ öğrenme katsayısı olarak adlandırılır. Aksi takdirde, referans vektörü giriş vektöründen aşağıdaki gibi uzaklaştırılır:

$$Yeni_ \hat{W} = \hat{W} - \lambda(X - \hat{W}) \quad (3.11)$$

- v. (ii) nolu işleme geri git ve yeni eğitme giriş vektörünü gir. İşlemi bütün eğitim seti vektörleri doğru olarak sınıflandırılincaya (veya herhangi kabul edilebilir bir hata seviyesine ulaşincaya) kadar devam ettir.

Ağının başka bir sürümü LVQ 2, Kohonen tarafından geliştirilmiş olup, sınırlarda meydana gelen yanlış. Sınıflandırmayı azaltmak için tasarlanmıştır.

Giriş vektörü X ağı uygulandığı zaman, kendisine en yakın iki referans vektörü $\hat{W}_1$ ve $\hat{W}_2$ dikkate alınır. Öğretme algoritması sırasıyla $\hat{W}_1$ ve $\hat{W}_2$ değiştirir. Bu değiştirme işlemi:

- a) $\hat{W}_1$ yanlış, kategoride ve $\hat{W}_1$ doğru kategoride ise, ve
- b) giriş vektörü X , $\hat{W}_1$ ve $\hat{W}_2$ arasına yerleştirilen bir pencerenin içersindedir.

Burada değiştirilen referans vektörleri Yeni_ $\hat{W}_1$ ve Yeni_ $\hat{W}_2$ aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$Yeni_ \hat{W}_1 = \hat{W}_1 - \lambda(X - \hat{W}_1) \quad (3.10a)$$

ve

$$Yeni_ \hat{W}_2 = \hat{W}_2 - \lambda(X - \hat{W}_2) \quad (3.10b)$$

Buradaki diğer ağırlıklarda herhangi bir değişiklik yapılmaz.

3.4.5. Hopfield ağı

Şekil 3.14' de Hopfield ağıının bir şekli gösterilmiştir. Bu ağ genellikle ikili (0 veya 1) ve bipolar (+1 veya -1) girişler kabul eder. Tek tabaka işlemci elemanları vardır ve her işlemci eleman bir diğerine bağlanmıştır. Bu da daha önceden belirtilen geri beslemeli yapıdır. Hopfield ağıının eğitilmesi sadece bir adım alır ve W_{ij} ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{c=1}^P x_i^c x_j^c, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (3.11)$$

Burada W_{ij} , i işlemci elemanından j işlemci elemanına olan bağlantının ağırlığını, x_i^c c sınıfı için eğitime giriş deseninin i'inci elemanım, P sınıf sayısını ve N de işlemci eleman sayısını gösterir. Denklem (3.11)'de $w_{ij} = w_{ji}$ ve $w_{ii} = 0$ durumları ağıın kararlılığını garantiler. Bilinmeyen bir bilgi ağı girildiğinde, ağıın çıkışları bilinmeyen bir desen elemanlarına eşitlenir, yani;

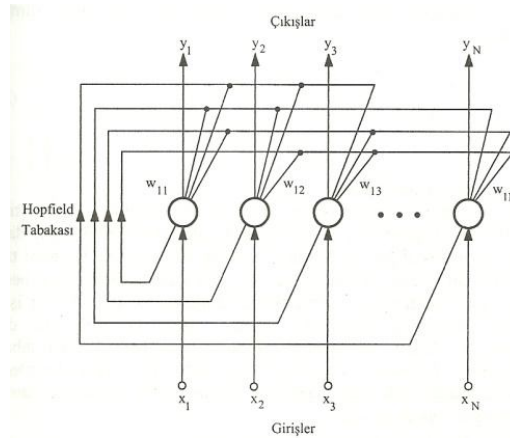
$$y_i(0) = x_i \quad 1 \leq i \leq N \quad (3.12)$$

Bu başlangıç değerleri ile başlayarak Hopfield ağı bir sonraki denklemleri kullanarak minimum *enerji* durumuna geçmek için döngüye girer.

$$y_i(k+1) = f\left[\sum_{j=1}^N w_{ij}y_j(k)\right] \quad 1 < i \leq N \quad (3.13)$$

burada f aşağıdaki gibi tanımlanan keskin sınırlama (hard limiting) fonksiyonudur.

$$f(x) = \begin{cases} -1 & x < 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases} \quad (3.14)$$



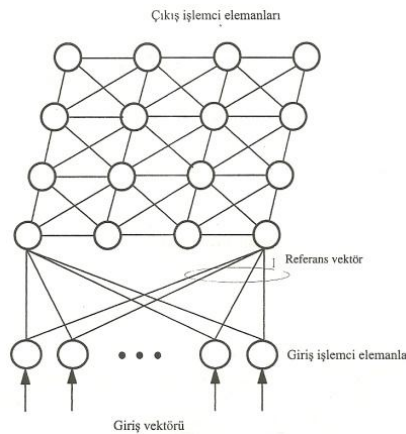
Şekil 3.14 Hopfield ağı [59].

3.4.6. Elman ve Jordan ağları

Bu ağlar, MLP'lere benzer bir yapıdadır ve çok katlıdır. Her iki ağda da gizli tabakaya ek olarak diğer bir "durum" tabakası denilen özel bir gizli tabaka daha vardır. Bu tabaka gizli tabakadan veya çıkış tabakasından geri besleme işaretleri alır. Jordan ağının aynı zamanda durum tabakasındaki her işlemci elemandan kendisine bağlantılar vardır. Her iki ağda da durum tabakasındaki işlemci elemanların çıkışları ileriye doğru gizli tabakaya verilmektedir. Eğer sadece ileri doğru bağlantılar göz önüne alınırsa ve geri besleme bağlantılarına sabit değerler verilirse, bu ağlar sıradan ileri beslemeli ağlar haline gelirler.

3.4.7. Kohonen ağı

Kohonen ağı, bir giriş tabakası ve bir de çıkış tabakası olmak üzere iki tabakadan oluşur. Bu ağ Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Çıkış tabakasındaki işlemci elemanlar genellikle düzenli iki boyutlu aralıklar olarak düzenlenir.



Şekil 3.15 Kohonen ağı [59].

Çıkıştaki her IE, bütün giriş işlemci elemanlarına bağlıdır. Bağlantıların ağırlıkları verilen çıkış işlemci elemanı ile ilgili olan referans vektörünün elemanlarını oluşturur.

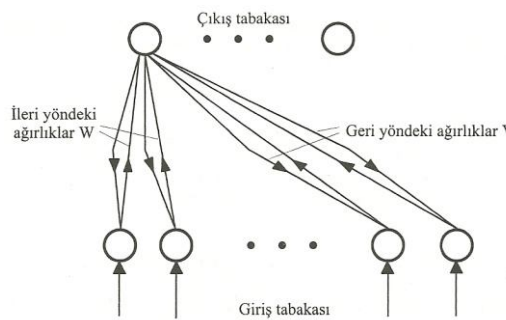
İyi öğrenmiş bir Kohonen ağında birbirine yakın çıkış işlemci elemanlarının referans vektörleri vardır. Öğrenmeden sonra bir etiketleme işlemine başlanır. Bilinen sınıfların giriş desenleri ağı giriş olarak verilir ve bu giriş desenleri tarafından aktif hale gelen çıkış işlemci elemanlarına bu sınıf etiketleri verilir. LVQ ağında ise bir çıkış işlemci elemanı eğer yarışmayı diğer çıkış işlemci elemanlarına karşı kazanırsa bir giriş deseni tarafından aktif hale getirildiği hatırlatılır.

3.4.8. ART (Adaptive Resonance Theory) ağı

Şekil 3.16'da görüldüğü gibi, ART-1 ağına giriş ve çıkış olmak üzere iki tabakası vardır. İki tabaka birbirleriyle tamamen bağlantılıdır ve bağlantılar ileri ve geri yöndedir. i 'inci çıkış işlemci elemanlarının ileri yöndeki bağlantılarının ağırlıklarının oluşturduğu W_i vektörü, temsil ettiği sınıfın bir örneğini oluşturur. İleri bağlantılarının W_i vektörlerinin toplamı ART ağına uzun-dönem (long-term) hafızasını oluşturur. Bu vektörler, giriş desenine benzerlikleri ölçüsünde, çıkış işlemci elemanlarını belirlerler. Çıkış işlemci elemanlarının geri bağlantılarının W_i vektörleri ise, giriş deseninin, hafızadaki desenine yeterince benzeyip benzemediğini (o sınıfa ait olup olmadığını) kesin olarak belirlemek için bir çeşit test "*vigilance*" amacıyla kullanılır. Bu test vektörleri diyebileceğimiz V_i vektörleri ART ağına kısa-dönem (short-term) hafızasını oluştururlar. W_i , V_i 'nin normalize edilmiş halidir.

$$W_i = \frac{V_i}{\varepsilon + \sum V_{ji}} \quad (3.15)$$

burada ε küçük bir sabittir ve V_{ji} , V_i 'nin j 'inci elemanıdır (yani i 'inci IE'den j 'inci giriş IE'na bağlantı ağırlığıdır).



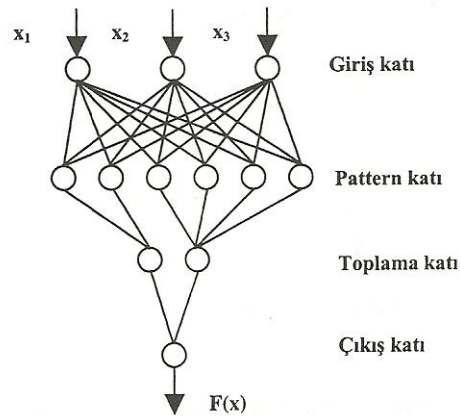
Şekil 3.16 ART-1 ağı [59].

3.4.9. Olasılık tabanlı YSA (Probabilistic Neural Network)

PNN yapıları Donald Specht tarafından önerilmiştir. Bu tip yapay sinir ağları, birçok sınıflandırma probleminin çözümünde kullanılmaktadır.

Bu yapı, sınıfların bağımlı olasılık yoğunluğu fonksiyonunun tahmininde, parametrik olmayan bir teknik olarak bilinen Parzen pencerelerini kullanan Bayes karar kuralının bir türünü kullanır.

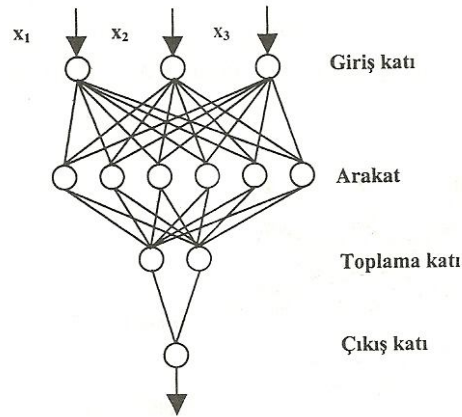
Şekil 3.17'de bir PNN yapısı verilmiştir. Bu yapı, giriş, pattern, toplama ve çıkış olmak üzere dört katmandan oluşur. Saklı katmanda bulunan veri işleme elemanları K toplam mevcut sınıfı göstermek üzere K alt gruba ayrılır. Her veri işleme elemanı karşı geldiği sınıfı ifade eden bir Parzen penceresini gösterir ve sahip olduğu ağırlık değeri söz konusu pencerenin ağırlık merkezini ifade eder. PNN yapılarında öğrenme hızlıdır ve az sayıdaki veriyle etkin olarak kullanılabilirler. Buna karşın PNN yapıları hafızayı yoğun olarak kullanırlar ve her epokta gerçekleştirilen işlem yoğunluğu fazladır.



Şekil 3.17 PNN yapısı [59].

3.4.10. Genel regresyon YSA (General Regression Neural Network)

Genel Regresyon YSA (GRNN), sistem modelleme ve parametrelere bağlı tahmin amaçları için kullanılan bir ağ modelidir. Bu ağ modelinin blok şeması Şekil 3.18'de verilmiştir. Bu ağ yapısında öğrenme aşaması hızlıdır ve az sayıdaki veri ile etkin olarak kullanılabilir. Sınıflandırma problemlerinde PNN yapısı GRNN yapısı ile esleniktir. Sınıflandırma problemlerinde kullanılan diğer YSA yapıları arasında MLPNN yapısı, MNN yapısı, RBFNN yapısı bulunur.



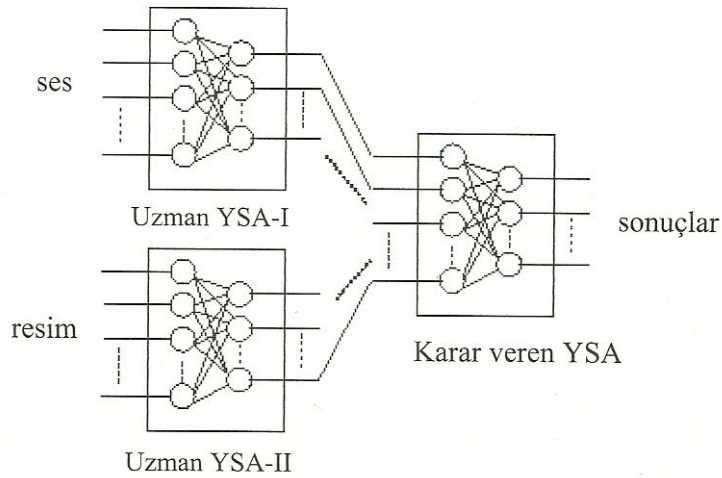
Şekil 3.18 GRNN yapısı [59].

GRNN yapısı olasılık yoğunluk fonksiyonu temelli ileri beslemeli bir ağ yapısıdır. Bu ağ yapısında dört katman bulunur. Giriş nöron sayısı diğer ağlarda olduğu gibi problem giriş sayısına bağlıdır. Arakatman sayısı ise örnek sayısı kadardır. Toplama katındaki nöron sayısı, çıkış sayısının bir fazlasıdır.

3.4.11. Çoklu ve modüler YSA (MNN ve ModNN)

Çoklu YSA (*multiple neural Networks*) terimi kesin olarak ayrıştırılmış sistemler için kullanılır. Bu ağ yapısının blok şeması Şekil 3.19'da verilmiştir. Her bir ağ kendi alanında bağımsız olarak çalışır. Tek bir ağ, kendi özel işi için oluşturulur ve eğitilir. Sonuç karar, tek tek ağların sonuçlarına bakılarak verilir. Karar sistemi, probleme bağlı olarak, diğer bir ağ veya kural tabanlı uzman sistem kullanılarak farklı şekilde yapılabilir.

Her ağ kendi alanında çalışan bir uzman gibi görülebilir. Her ağ sadece kendi alanında eğitilir. Tek bir ağın çıkışı kendi özel girişine göredir. Uzman ağların çıkışları, uzman ağlar eğitildikten sonra eğitilen karar ağının girişleri olur. Karar, doğrudan giriş verilerinden değil, uzman ağların çıkışlarına göredir.



Şekil 3.19 Çoklu YSA'lar [59].

Bu tür YSA yapıları, sistem modelleme, zamana bağlı tahmin, sınıflandırma ve filtreleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Çoğu kez diğer YSA algoritmaların olumlu cevap vermediği uygulamalarda çözüm sağlarlar.

3.4.12. Mantıksal YSA (Logical Neural Networks-LNN)

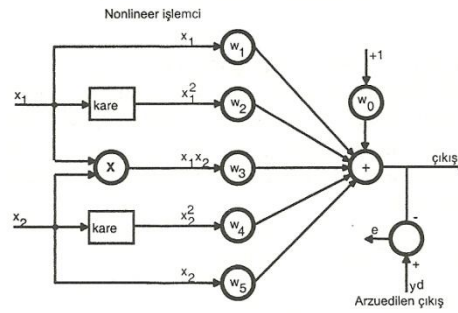
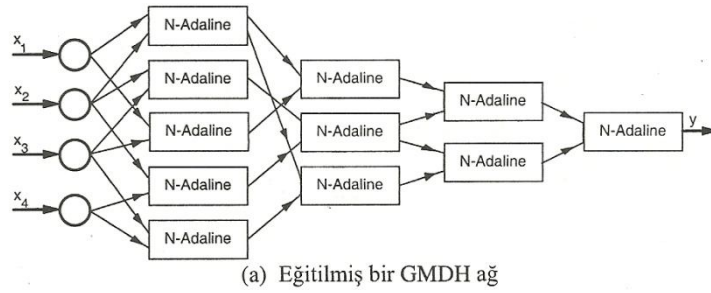
Mantıksal YSA'lar (LNN), giriş-çıkış çiftlerini ezberleme yeteneği olan basit işlemci birimlere dayanan ağlardır. Giriş vektörü parçalara bölünür. Her parça, bir-bitlik RAM birimin adres girişlerine bağlanır. Ayırıcı (diskriminator) içindeki tüm RAM'lerin çıkışları toplanır. Ağda ihtiyaç duyulan ayırıcı sayısı, ağ tarafından ayırt edilen sınıf sayısı tarafından belirlenir. Lojik model, biyolojik sinir sitemini gerçekleştirmez. Lojik yaklaşımdaki temel birim, sinir hücresinin doğrudan bir modeli değildir.

Bu ağ tipinin ana üstünlüğü kolayca gerçekleştirilmesi (implementation) ve eğitim desenlerinin sadece bir defa verilmesiyle öğrenmenin kolayca yapılmasıdır. Bu ağlar çoğunlukla tanıma (recognition) amaçlı olarak kullanılır.

3.4.13. GMDH (Group Method of Data Handling) Ağ

Şekil 3.20'de bir GMDH ağ ve bu ağa ait nöronlardan biri detaylı olarak gösterilmiştir. Sabit ağ yapısı olan ileri beslemeli ağların aksine, GMDH ağ yapısı öğrenme esnasında büyümektedir. Bu ağdaki her nöron genellikle x_1 ve x_2 gibi iki girişe sahiptir ve bu girişlerin kuadratik birleşiminden ise y çıkışı üretilir. Bu çıkış,

$$y = w_0 + w_1x_1 + w_2x_1^2 + w_3x_1x_2 + w_4x_2^2 + w_5x_5 \quad (3.16)$$



Şekil 3.20 Bir GMDH ağı [59].

Bir GMDH ağı eğitme işlemi giriş katmanının oluşturulmasından, her bir nöron ağırlığını düzenleme ve ağ ile yapılması beklenen iş başarılıncaya kadar arakatman sayısını arttırmadan (mümkün olduğunca) oluşur.

3.5. YSA Öğrenme Algoritmaları

Gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği öğrenme olarak tanımlanmaktadır. Bir takım metot, kural, metodoloji, algoritma, yaklaşım veya gözlem ile bir ağı ağırlıklarının bir probleme göre değiştirilmesi ile öğrenme sağlanır. Öğrenme metodolojisine göre algortimalar sınıflandırılmıştır. Genel olarak üç öğrenme metodu ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme yaklaşımları danışmanlı, danışmansız ve takviyeli olmak üzere üç farklı gruba ayrılabilir [59].

Danışmanlı öğrenmede, öğrenilmesi istenen olay ile ilgili örnekleri girdi/çıkı seti verilir. Yani, her örnek için hem girdiler hem de o girdiler karşılığında oluşturulması gereken çıktılar sisteme gösterilir. Sistemin görevi, girdileri belirlenen çıktıları haritalamaktır. Bu sayede olayın girdileri ile çıktıları arasındaki ilişkiler öğrenilmektedir. İstenilen veya arzu edilen çıkış ile gerçek çıkış (ağ çıkışı) arasındaki farka (hataya) göre, nöronlar arası bağlantıların ağırlığı, en uygun çıkışı elde etmek için bir öğrenme algoritmasıyla düzenlenir. “çok katmanlı algılayıcı” ağı bu stratejiyi kullanan ağlara bir örnek olarak verilebilir.

Danışmansız öğrenmede, sisteme sadece girdi değerleri gösterilir. Örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkileri sistemin kendi kendisi öğrenmesi beklenir. Uygulanan girişe göre, bu giriş verileri arasındaki matematiksel ilişkilere göre bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Aynı özellikleri gösteren desenlerde (patterns) aynı çıkışlar, farklı çıkışlarda ise yeni çıkışlar oluşturulur. Bu, daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılan bir stratejidir. Yalnız sistemin öğrenmesi bittikten sonra çıktıların ne anlama geldiğini gösteren etiketlendirmenin kullanıcı tarafından yapılması gerekmektedir. “ART” ağırları bu stratejiyi kullanan sistemlere örnek olarak verilebilir.

Takviyeli öğrenmede, her girdi seti için olması gereken (üretilmesi gereken) çıktı setini sisteme göstermek yerine sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktısını üretmesi beklenir ve üretilen çıktının doğru ve yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretilir. Sistem gelen bu sinyali dikkate alarak öğrenme sürecini devam ettirir. Yani, YSA’ya bir hedef verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. “LVQ” ağı bu stratejiyi kullanan sistemlere örnek olarak verilebilir [59,60].

YSA gibi öğrenme yöntemleri örneklerden öğrenmeye dayanmaktadır. Örneklerden öğrenmenin temel felsefesi bir olaya hakkındaki gerçekleşmiş örnekleri kullanarak olayın girdi ve çıktıları arasındaki ilişkileri öğrenmek ve bu ilişkilere göre daha sonra oluşacak olan yeni örneklerin çıktılarını belirlemektir. Burada bir olay ile ilgili örneklerin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkinin olayın genelini temsil edecek bilgiler içerdiği kabul edilmektedir. Değişik örneklerin olayı değişik açılardan temsil ettiği varsayılmaktadır. Farklı örnekler kullanılarak böylece olay değişik açılardan öğrenilmektedir [60].

Öğrenme işlemi çok parametrelili, karmaşık ve matematiksel olarak ifade edilmesi zor bir işlemdir. Bugün kullanılan öğrenme kuralları bu işlemin basitleştirilmiş veya farklı formatlarda ifade edilmiş biçimleridir. Literatürde mevcut olan öğrenme algoritmalarının birçoğu aslında Hebb, delta, Kohonen ve Hopfield olmak üzere dört farklı öğrenme kuralından esinlenilerek geliştirilmiştir. Bu kurallar aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. Hebb kuralı

Hebb'in 1949'da yayımladığı Davranış Organizasyonu (The Organization of Behaviour) isimli kitabında bu öğrenme kuralı açıklanmıştır. Bu kuralın temelinde, "bir nöron diğer bir nörondan giriş alıyorsa ve her iki nöronda' aktif ise (matematiksel olarak aynı işarete sahip ise), nöronlar arasındaki ağırlık kuvvetlendirilir".

3.5.2. Hopfield kuralı

Bu kural zayıflatma veya kuvvetlendirme büyüklüğü dışında Hebb kuralına benzerdir. Eğer istenilen çıkış ve girişin her ikisi aktif veya her ikisi de aktif değilse, öğrenme oranı tarafından bağlantı ağırlığı artırılır, diğer durumlarda ise azaltılır. Birçok öğrenme algoritmasında, öğrenme katsayısı, oranı veya sabiti vardır. Genellikle bu terim 0 ile 1 arasında değerler almaktadır [59].

3.5.3. Delta kuralı

Delta kuralı Hebb kuralının değişik bir formudur ve en çok kullanılan öğrenme algoritmalarından birisidir. Bu kural, nöronun gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değerleri arasındaki farkı azaltan, giriş bağlantılarını güçlendiren ve sürekli olarak değiştiren bir düşünceye dayanmaktadır. Ağın ürettiği çıktı ile üretilmesi gereken (beklenen) çıktı arasındaki hatanın karelerinin ortalamasını enazlamak hedeflenmektedir. Yani, bu kural, ortalama karesel hatayı bağlantı ağırlık değerlerinin değiştirilmesiyle (azaltıp veya arttırma) düşürme prensibine dayanır. Hata, aynı anda bir katmandan bir önceki katmanlara geri yayılarak azaltılır. Ağın hatalarının düşürülmesi işlemi, çıkış katmanından giriş katmanına ulaşınca kadar devam eder. Bu kural, geri yayılım, Widrow-Hoff veya en küçük ortalama karesel öğrenme kuralı olarak da bilinir.

3.5.4. Kohonen öğrenme kuralı

Bu kural, biyolojik sistemlerdeki öğrenmeden esinlenen Kohonen tarafından geliştirilmiştir. Bu kuralda, nöronlar öğrenmek için yarışır, kazanan nöronun ağırlıkları güncellenir. En büyük çıktıyı üreten hücre kazanan hücre olmakta ve bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir. Bu kural "kazanan tamamını alır (winner takes all)" olarak ta bilinir. En büyük çıkışa sahip işlemci nöron kazanır, bu nöron komşularını uyarma ve yasaklama kapasitesine sahiptir. Kohonen kuralı hedef çıkışa gereksinim duymadığı için danışmansız bir öğrenme metodudur [59,60].

BÖLÜM 4

4. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, sır ile kaplanacak olan ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurundan üretilmiş seramiklerin sır ile kaplanması çalışmasında kullanılacak olan seramik numunelerin hazırlanması ve sır olarak uygulanacak bileşimin hazırlanmasında kullanılan hammaddeler, ön hazırlık işlemleri, uygulanan proses aşamaları ve pişirim sonrası elde edilen numunelerin yapay sinir ağı (YSA) ile bileşim tahmini hakkında bilgiler verilecektir.

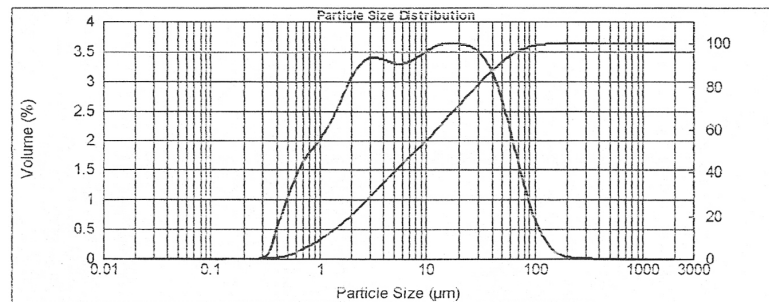
4.1. Kullanılan Hammaddelerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Denemesi yapılacak olan sır bileşimlerinin uygulamasının yapılacağı bisküvi bünyelerin hazırlanmasında kullanılacak olan ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun özellikleri ve sır bileşimlerinde kullanılacak hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

4.1.1. Bünye olarak kullanılacak döküm çamuru

Sır uygulaması yapılacak numunelerin şekillendirilmesinde kullanılan ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun tane boyut ve dağılımı Şekil 4.1’de görüldüğü gibidir. Seramik sırları bölümünde, Sırın üzerine kapladığı kil bünyenin bileşimi konu başlığında anlatıldığı gibi sinterleme öncesi, şekillendirildikten sonra tane boyut dağılımı ve gözenek dağılımını sağlamak amacıyla ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamuru tercih edilmiştir. Bu çamurun tercih edilmesinin diğer nedeni sinterleme sonrasında da dağılımının homojen ve dar boyut aralığında olması, sinterleme ve gözenek küçülmesinin tüm noktalarda aynı anda olması için uygun tane boyut ve dağılımına sahip olmasıdır.

Düşük dereceli (1000-1150 °C arasındaki) sıcaklıklarda diğer bir yaklaşımla earthenware üretim şartlarındaki tane boyut ve dağılımına sahiptir.



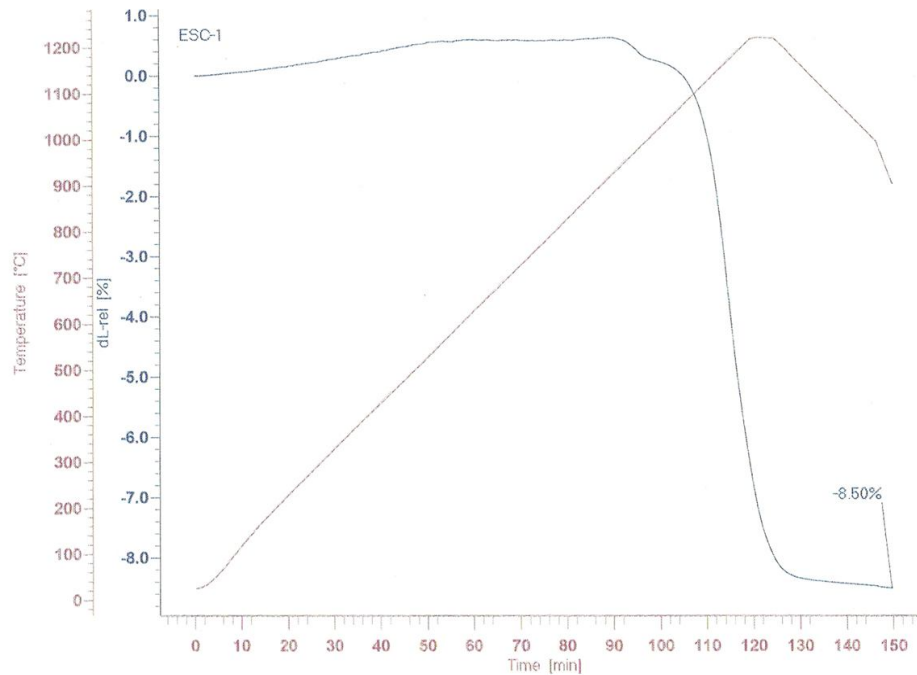
Şekil 4.1 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun tane boyut dağılımı ve % hacim eğrisi.

Şekil 4.1’de görülen grafik, Malvern Mastersizer 2000 ver.3.01 analiz cihazından alınmıştır. Yine Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San.Tic.A.Ş. tarafından yapılan analizler sonucunda elde edilen tane boyut ve dağılımı aşağıda Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamuru tane boyut ve dağılımı.

Tane boyut	Tane boyut dağılımı (%)
+ 60 μ	2,8
-20 μ	71,9
-10 μ	60,6
-2 μ	43,1

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi analizi yapılan numunede, dilatasyon eğrileri incelendiğinde yaklaşık 500 - 960 °C arasında düzenli bir şekilde yükselen bir pik görülmektedir. Bu sıcaklıklar arasında absorbe suyun ve kristal suyun kaybı olduğu gözlenmektedir. Bu mevcut su kayıpları ile boyutsal değişimin sonucu olarak hacimce büyüme olduğu sözkonusudur. 960 -1100 °C’ler arasında grafikteki tersine düşüş ile organik maddelerin yandığını, yeni fazların oluştuğunu göstermektedir. Boyutsal değişimin sonucu olarak hacimce küçülme görülmektedir. 1200 °C’ye yakın bir sıcaklıkta ani bir düşüş görülmektedir. Grafikten alınan bilgiler çerçevesinde yaklaşık 920 °C’de % 0,8 bir genleşme ve yaklaşık 20 °C’ de % -8,50 genleşme diğer bir deyişle büzülme vardır. Dilatometre analizi, Linseis L75 modeli ile yapılmıştır.



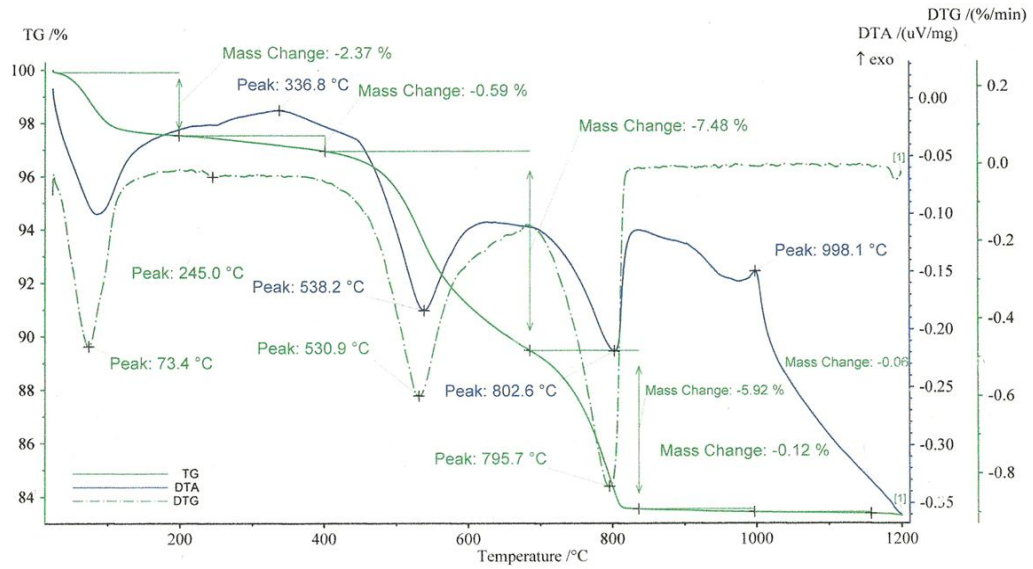
Şekil 4.2 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun dilatasyon eğrisi.

Termogravimetri (TG) ile ısıtma ve soğutma periyodunda, buharlaşma, sublimasyon, ayrışma, oksidasyon, redüksiyon ve gazların absorpsiyon ve desorpsiyonu sonucu oluşan kütle değişimi ölçülmektedir. Diferansiyel termal analiz (DTA) ise kontrollü bir sıcaklık programında ölçümü yapılacak madde ile referans madde arasındaki sıcaklık farklılığının fonksiyonu olarak ölçüm yapar. simultane termal analiz NETCSH STA 409 PC/PG cihazında yapılmış olup cihazdan elde edilen grafikte, Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, 1200 °C’ye kadar ağırlık kaybı beş basamakta meydana gelmektedir. Basamak basamak kayıpların, 200 °C’de % 2,37, 400 °C’de % 0,59, 700 °C’de % 7,48, 800 °C’de % 5,92 ve 1200 °C’de % 0,06 olduğu görülmektedir.

DTA eğrisine bakıldığında, 73,4 °C’de bir pik görülmekte ve pikin durumundan endoterm bir reaksiyon olduğu görülmektedir. Bu çamur bileşiminde kaolinit plakalarının olduğunu ve plakalar arasındaki suyun uzaklaştığını göstermektedir. Kaolinit ünitelerinin düzenlenmesinde düzensizliklerin olduğu ve tabakalar arasına giren suların varlığını göstermektedir. Tabakalar arasında zayıf şekilde kristalleşmiş kaolinitte endoterm pikinin daha düşük sıcaklıklarda olduğu düşünülürse numune çamurun bileşiminde bulunan kaolinitin zayıf şekilde kristalleştiği anlaşılmaktadır. 336,8 °C’de bir pik izlenmekte ve ekzoterm bir reaksiyon olduğu görülmektedir. DTA pikinin ekzoterm yönde olması çamur bileşimindeki organik maddelerin yanmasından dolayıdır. 538,2 °C’ de bir pik okunmaktadır. Bu pik endotermik bir sıcaklıktır ve pik sıcaklığındaki düşüklük zayıf şekilde kristalleşmiş kilin varlığını işaret eder. 802,6 °C’de görülen pik ise endotermidir. Buradaki reaksiyonun iki nedeni olabilir. Birincisi, farklı kil minerallerinin kristal suyunu daha yüksek sıcaklıkta vermesinden kaynaklanabilir. montmorillonitte olduğu gibi Mg iyonuna bağlı OH iyonlarının uzaklaştırılmasından dolayı olabilir. İkincisi, kil bünyesinde bulunabilen (CaCO_3 , MgCO_3) bozulmasından ya da formülasyonda (CaCO_3) kullanılmış ise bu minarel de reaksiyon göstermiş olabilir. ideal şartlarda (CaCO_3) 880 ° C dekompoze olmaktadır. Yinede bünyedeki diğer bileşikler bunu hızlandırmış olabilir. 998,1 °C’de görülen ekzoterm pik ve ağırlık kaybı kil bünyesinde bulunan kireçten kaynaklanmaktadır. Yeni fazların oluşmasını ve amorf maddelerin kristalleşmesini gösterir.

DTG eğrisine baktığımızda, 73,4 °C’de kile bağlı absorbe suyun uzaklaşmasından dolayı endotermik pik görülmektedir. 245 ° C de görülen zayıf endotermik pik ise ve kildeki katyonlara ya da tuzlara bağlı olan suyun uzaklaşmasından dolayıdır. Kil bünyesindeki en fazla görülen $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ örnekleridir. Kil bünyesinde çok küçük olduklarından DTA pikleri zayıftır. 336 °C’de görülen ekzotermik pik, killerin bünyesinde organik maddelerin

yanmasından kaynaklanmaktadır. 530 °C'deki endotermik pik ise kilin kristal suyunu attığını göstermektedir. 800 °C'de ki ekzotermik pik ise DTA'da bahsedilen kilin bünyesindeki CaCO_3 , MgCO_3 ya da kimyasal analizden anlaşıldığı üzere CaCO_3 dan kaynaklanabilir.



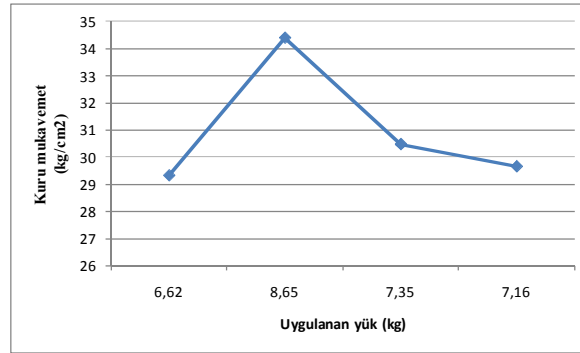
Şekil 4.3 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamuruna ait TG, DTG ve DTA eğrisi.

Çizelge 4.2'de Rigaku SZX modeli ile yapılan XRF kimyasal analiz sonuçlarına göre ESC1 eczacıbaşı granül döküm çamurunun kimyasal bileşimi görülmektedir.

Çizelge 4.2 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun kimyasal bileşim (Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San.Tic.A.Ş.).

No.	Bileşik	Sonuç
1	Na ₂ O	0,3470
2	MgO	0,5246
3	Al ₂ O ₃	21,5531
4	SiO ₂	52,2083
5	SO ₃	0,1525
6	K ₂ O	0,3246
7	CaO	8,8238
8	TiO ₂	0,9123
9	Fe ₂ O ₃	0,7407
10	A.Z.	14,4130
TOPLAM		99,9999

ESC1 eczacıbaşı granül döküm çamuru ile hazırlanan numuneler ile yapılan kuru mukavemet sonuçları aşağıda Çizelge 4.3'de verilmiştir. Kuru mukavemet analizleri Gabbrielli CR5 modeli ile yapılmıştır.



Şekil 4.4 ESC1 Eczacıbaşı granül döküm çamurunun kuru mukavemet değerleri.

Ayrıca Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San.Tic.A.Ş. tarafından yapılan analizler sonucunda elde edilen diğer fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 4.4’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.3 ESC1 Eczacıbaşı Granül Döküm Çamurunun pişmiş özellikleri ve döküm verileri.

Pişmiş Özellikler		Döküm Verileri	
Su Emme (1040 °C)	% 23.3	Döküm Konsantrasyonu	% 67
Lineer Küçülme (1040 °C)	% 4.0	Elektrolit içeriği (ml. /100 gr.)	0.5
Termal genleşme katsayısı (20-400 °C)	$70 \cdot 10^{-7}$	Döküm Oranı mm ² / min.	0,35

4.1.2. Sır denemelerinde kullanılan hammaddeler

Uşak-Karaçayır mevkiinde bulunan ve halen işletilmekte olan kaolen yatağından çıkarılan hammadde sır denemelerinde kullanılmıştır. Kaolen yatağında bulunan işleme tesisinde işlendikten sonra yıkanmış Uşak kaoleni olarak isimlendirilen hammaddenin fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Yıkanmış Uşak kaoleninin fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	Değerler (ortalama)
Yoğrulma Suyu	% 27
Kuru Mukavemet	% 20
Kuru Küçülme	% 8
Toplu Küçülme (1200 °C)	% 16
Su Emme	% 0.1
Yoğunluk	2.45 gr/cm ³

Çizelge 4.6’da kimyasal bileşimleri verilen başlangıç hammaddeleri yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve kimyasal bileşimi Kütahya Altın Seramikten, sülyen Refsan firmasından alınmıştır. Sır denemelerinde sülyen Pb_3O_4 bileşiminde olup kurşun içermektedir. Literatürde kurşunun zehirli olduğu kabul görmüştür. Ancak denemelerimizde kullanmamızın gerekçesi, düşük derecelerde sırların erimesine yardımcı olması, sıra esneklik vermesi seramik boya maddeleri için iyi dağılım ortamı sağlaması gibi pozitif değerlerinden dolayı tercih edilmiştir. YSA’nın seramik biliminde kullanılabilirliğinin araştırılması için kullanılan kurşunun yerine daha sonraki çalışmalarda diğer flakslarda kullanılabilir.

Çizelge 4.5 Başlangıç hammaddelerinin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %).

	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	A.Z.
Y.Uşak Kaoleni	-	0,12	4,34	1,75	1,14	0,94	0,1	14,81	71,6	4,73
Sülyen	97,66	-	-	-	-	-	-	-	-	2,33
Kuvars	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-

4.2. Deneyisel Çalışmalar

4.2.1. Sır uygulaması yapılacak bisküvi numune plakalarının hazırlanması

Sır denemelerinde hazırlanacak olan döküm çamuru ile şekillendirme yapılabilmesi için 5x5x1 cm. boyutlarında alçı malzeme kullanılarak çekirdek model yapılmıştır. Çekirdek modelin ölçülerine uygun düzeltmeleri yapıldıktan sonra arap sabunu ayırıcı olarak kullanılmıştır. Arap sabunu ile gözenekleri izole edilen çekirdek modelin etrafı ahşap malzemeler kullanılarak uygun mesafeden çevrelenmiş, hazırlanan alçı-su süspansiyon üzerine dökülmüştür. Çekirdek modelin üzerine dökülen alçı katılaştıktan sonra içindeki çekirdek model çıkartılmıştır. Oluşan model kalıbın içi ayırıcı olarak sabun kullanılarak izole edilerek yeni çekirdek kalıplar üretilmiştir. Sayı, 18 adet olunca bu çekirdekler 3 parça yatay 6 parça dikey sıra olacak şekilde uygun aralıklarla dizilerek tek parçalı bir kalıp daha alınmıştır. Kalıbın içersinde çekirdek modeller çıkartıldıktan sonra kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Ecs1 eczacıbaşı granül çamuru kullanılarak bir süspansiyon hazırlanmıştır. 5 kg. grünü çamur ile 4,09 kg. su ile hazırlanan süspansiyon içersine 23 gr. Elektrolit katılarak pervaneli karıştırıcıda karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kapaklı bir bidon içersinde bir gün süre ile bekletilmiştir. Elektrolitin reaksiyona girmesi ve çamurun dinlendirilmesini sağlamak açısından minimum süre olarak bir günlük beklemenin ardından litre ağırlığına bakılmıştır. Litre ağırlığı 1750 gr/cm³ olarak ölçülmüştür. Ardından lehman viskozimetresi

kullanılarak çamurun birinci ve ikinci vizkoziteleri ölçülmüştür. Birinci viskozite 20,40 sn. ve 30 dakikalık bir beklemenin ardından ikinci vizkozite 34,84 sn. değerler bulunmuştur. Aşağıdaki denklem kullanılarak tiksotropi değeri % 41.44 olarak bulunmuştur ve literatüre göre earthenware üretimleri için uygun olduğu görülmüştür.

$$\% \text{ Tiksotropi} = \frac{(2.Viskozite - 1.Vizkozite)}{2.Vizkozite} \quad (4.1)$$

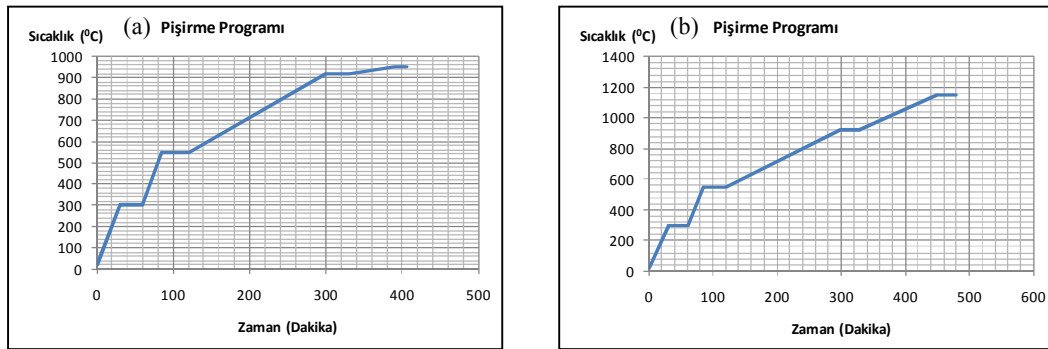
Kurutma işlemi tamamlanmış olana alçı kalıp içersine döküm için hazırlanmış olan çamur ile döküm yoluyla şekillendirme yapılmıştır. Döküm yapıldıktan sonra her plakanın et kalınlığı 5 mm. olacak şekilde bekleme yapıldı. Daha sonra kalıp içersindeki çamur geri boşaltılarak plakalar bir süre kalıp içersinde bekletildi. Şekillenmiş plakalar, kuruma yoluyla bir miktar küçülüp deri sertliğine geldiğinde kalıp içersinden alınmıştır. Rotuşılama işlemi yapıp bisküvi pişirim yapılmak üzere deforme etmeden kurutulmaya çalışılmıştır. Kurutma işlemi doğal ortamda yapılmıştır. Numune plakaların kurutma işlemi tamamlandıktan sonra Kütahya Meslek Yüksekokulu seramik fırınlarında 1000 °C sıcaklıkta bisküvi pişirimi yapılmıştır.

4.2.2. Sır denemelerinin gerçekleştirilmesi

Çalışmada yıkanmış Uşak kaoleni, sülyen ve kuvars kullanılarak artan ve eksilen % de oranlarda farklı kombinasyonlarda deney prosedürü hazırlanmıştır. Sır denemelerinde kullanılacak olan hammaddeler öğütülmüş olarak temin edilmiş olup kuru halde iken 355 µm (ASTM-45 meşh) elek açıklığına sahip paslanmaz çelik elekten geçirilmiştir. Elekten geçirilen hammaddeler deney prosedürene uygun olarak 0,01 hassasiyette Shimadzu marka terazi ile 100 gr.lık numuneler olarak tartılmıştır ve kapanabilen poşetler içersine konarak markalanmıştır.

Tartımı ve markalaması biten numune harmanlar yine deney prosedüründeki sıralama izlenerek bir porselen havan içersinde su ile karıştırılarak süspansiyon homojenleştirilmiştir. Bu işlem tamamlandıktan sonra bisküvi pişirimi yapılmış olan numune plakaları üzerine akıtma yöntemi ile sır uygulaması yapılmıştır. Uygulama işlemi tamamlandıktan sonra numune plakalarda uygulanan sırn kod isim ve numarası ile markalanmıştır. Bu işlem her bir deneme için tekrarlanmıştır. Her deneme sır uygulamasında sır tabakasının 1 mm olmasına dikkat edilmiştir. 171 adetlik bu seri tamamlandıktan sonra aynı işlem basamakları takip edilerek ikinci bir seri hazırlanmıştır. İlk seri için pişme derecesi 950 °C, ikinci seri için pişme derecesi 1150 °C olarak düşünülmüştür.

Sır uygulaması yapılmış ve markalanmış numuneler kuruma işlemini tamamlaması için bir gün süre ile doğal ortamda bekletilmiştir. Kurutma süreci tamamlandıktan sonra yine Kütahya Meslek Yüksekokulu'nda bulunan elektrikli kamara fırınlar kullanılmıştır. Fırın içersine yükleme işlemi, deneme numuneleri arasındaki boşluklar ve fırın içersindeki ısı sirkülasyonu tasarımlanarak yapılmıştır. Birinci seri 950 °C ve ikinci seri 1150 °C'de sırlı pişirim yapılmış ve her iki seri içinde aynı yükleme tasarımı kullanılmıştır. Pişirim programı aşağıda Şekil 4.5'deki grafikte görüldüğü gibi yapılmış ve soğuma işlemi ise fırının kendi soğuma kapasitesi çerçevesinde herhangi bir ek işlem yapılmadan gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5 (a) 950 °C'de sırlı pişirim programı, (b) 1150 °C'de sırlı pişirim programı.

BÖLÜM 5

5. DENEYSEL BULGULAR ve YSA MODELİNİN KURULMASI

Bu bölümde 4. Bölümde anlatılmış olan deneysel çalışmalardan alınan deney sonuçları sunulmuştur. Deneysel sonuçlar YSA uygulamasında girdi verilerini oluşturacaktır. YSA uygulamasında veri olarak kullanılması için sıran kimyasal bileşimi, yüzey gerilim katsayısı ve genleşme katsayısının teorik olarak hesaplanması anlatılacaktır.

5.1. Deneysel Sonuçlar

Şekil 4.5 ve Şekil 5.5’de denemesi yapılan sırların üçlü diyagramı görülmektedir. Üçlü diyagramda, 950 ve 1150 °C olmak üzere iki farklı pişirim sıcaklığında denemesi yapılan toplam 342 adet kombinasyon görülmektedir. İki farklı sıcaklık içinde deneme numuneleri mat, parlak ve çok parlak olarak çıplak gözle kontrol edilerek belirlenmiştir. Parlaklık değerlendirilmesi sır deneme plakalarının resimleri iki farklı sıcaklık için mat, parlak ve çok parlak olarak aşağıda verilmiştir. Öncelikle camlaşma olmayan numuneler elenmiştir. Camlaşma gerçekleşmiş olan numunelerde parlaklık değeri olarak 3 başlıkta sınıflandırılmıştır. Bileşimler, verilen üçlü diyagramlarda görülebilir. Bu numuneler yüzey gerilimi ya da genleşme katsayısı açısından sınıflandırma yapılmayıp ayrıca bünye ile uyumu, sonuç kısmında YSA uygulaması ile birlikte anlatılacaktır.

5.1.1. Kimyasal bileşimlerin hesaplanması

Kimyasal bileşimlerin teorik olarak hesaplanması Çizelge 4.7’de gösterildiği Excel ofis programı kullanılarak yapılmıştır. Sır denemelerinde kullanılacak hammaddelerin 4. bölümde Çizelge 4.6’da verilen bileşimleri kullanılarak, Şekil 4.5 ve Şekil 5.5’de verilen üçlü diyagramdaki görülen ve reçete içersindeki ağırlıkça % değerlerine karşılık gelen sayısal değerler ile oransal olarak sır bileşimleri hesaplanmıştır. Aşağıda verilen Çizelge 5.1’de hesaplama yöntemi görülmektedir. Bütün sır bileşimleri için bu işlem tekrarlanmıştır.

Çizelge 5.1 Hammaddelerin bileşiminden sır bileşiminin hesaplanması.

PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	A.Z.	HAMMAD.	%	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	A.Z.
97,7									2,3	Sülyen	90,0	87,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
						100,0				Kuvars	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0
	0,1	4,3	1,8	1,1	14,8	71,6	0,9	0,1	4,7	Y.Üşak	5,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,7	3,6	0,0	0,0	0,2
Sırın Kimyasal Bileşimi											100,0	87,9	0,0	0,2	0,1	0,1	0,7	8,6	0,0	0,0	2,3

5.1.2. Yüzey gerilim katsayılarının hesaplaması

Arcasoy [1], “sırların yüzey gerilimlerini hem gözlem ile saptamak hem de hesaplama olanaklarının olduğunu” söylemiş ve hesaplama da kullanılacak oksitlerin katsayılarını vermiştir. Bu katsayılar 900 °C için geçerli olan bu değerler daha yüksek sıcaklıklar için hesaplama yapıldığında elde edilen sonuç değerinden her 100 °C için 4 birim çıkartılacaktır.

YSA uygulaması için denemesi yapılan her sır bileşimi için yüzey gerilim katsayısı hesaplanmıştır. Burada olumsuz sonuçların yüzey gerilim katsayılarında hesaplanmış olup YSA’nın eğitimi için olumlu ve olumsuz örnekler kullanılmıştır. Yüzey gerilim katsayısı sır bileşiminde bulunan oksitlerin yüzdelik değerleri ile yine aynı oksitlerin 900 °C için olan yüzey gerilim katsayıları ile çarpma işlemi yapılmıştır. Daha sonra tüm çarpım sonuçları toplanmıştır. 950 °C için toplamdan 2 birim, 1150 °C için 6 birim çıkartılmış ve elde edilen değer YSA uygulaması için veri olarak kullanılmıştır. Tüm yüzey gerilim katsayı hesaplamaları Excel ofis programında yapılmıştır. Ayrıca aşağıda olumlu sonuç veren numunelerin yüzey gerilim katsayıları da çizelgelerde verilmiştir.

5.1.3. Genleşme katsayısının hesaplanması

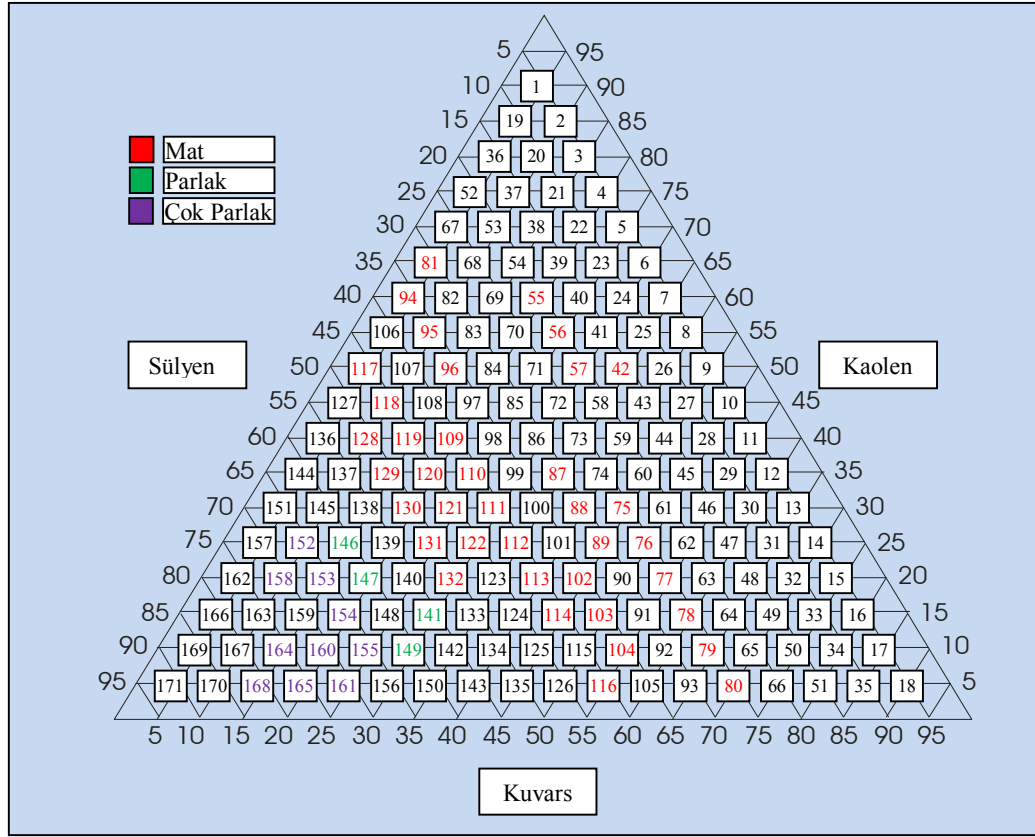
Sır ile üzerine uygulanan bünyenin genleşme katsayılarının birbirine uyumlu olması 1. Bölümde anlatıldığı gibi çatlama hatalarının olmaması açısından önemlidir. Sır ile bünyenin genleşme katsayılarının uyumlu olmaması durumunda her zaman çatlama hatası ortaya çıkmaz. Bunun nedenlerinden birisi sırnın ya da bünyenin bileşiminde bulunan oksitlerden kaynaklanır. Örneğin bünyenin ya da sırnın bileşiminde bulunan CaO ara tabaka oluşumu açısından önemlidir. Yine ara tabaka ile bağlantılı Al_2O_3 ’in mullit oluşumu ara tabaka için önemlidir. PbO ve BaO sırların yumuşatılması ve esneklik kazandırılması ile çatlamayı tolere etmesi anlamında önemlidir. Özellikle düşük sıcaklıkta üretilen seramikler için earthenware diyede anılan seramikler için her iki oksitte bu anlamda kullanışlıdır.

Sırlarda çatlama sıvı fazdan katı faza dönüşüm sıcaklıklarında sır ile bünye genleşme katsayılarının uyumsuzluğundan kaynaklanır. Sırnın genleşme katsayısı ile bünyenin genleşme katsayısı arasında farkın çok olduğunda yani sırnın genleşme katsayısının büyük olduğu durumlarda kaçınılmazdır.

Bünyenin genleşme katsayısının ölçümü dilatometre aracılığı ile yapılır. Nedeni bünyeyi oluşturan seramik çamurunun homojen bir yapıya sahip olmamasıdır. Sır

denemelerinde kullanılan bünye çamuru için dilatometre ölçümü ve genleşme katsayısı ile ilgili bilgi 2. bölümde verilmiştir. Ancak sırlar için durum farklıdır. Arcasoy [1], sırların genleşme katsayısının bulunması ile ilgili söylemi ; “sırların genleşme katsayılarının hesaplama yolu ile saptanması için sırların saydam (transparant) bir sırlar olması gerekir. Sırlar içinde erimeyen veya kristalleşen oksitlerin bulunması ile her bir oksit için bulunmuş olan genleşme katsayısı faktörleri de geçerliliklerini yitirirler” demiştir.

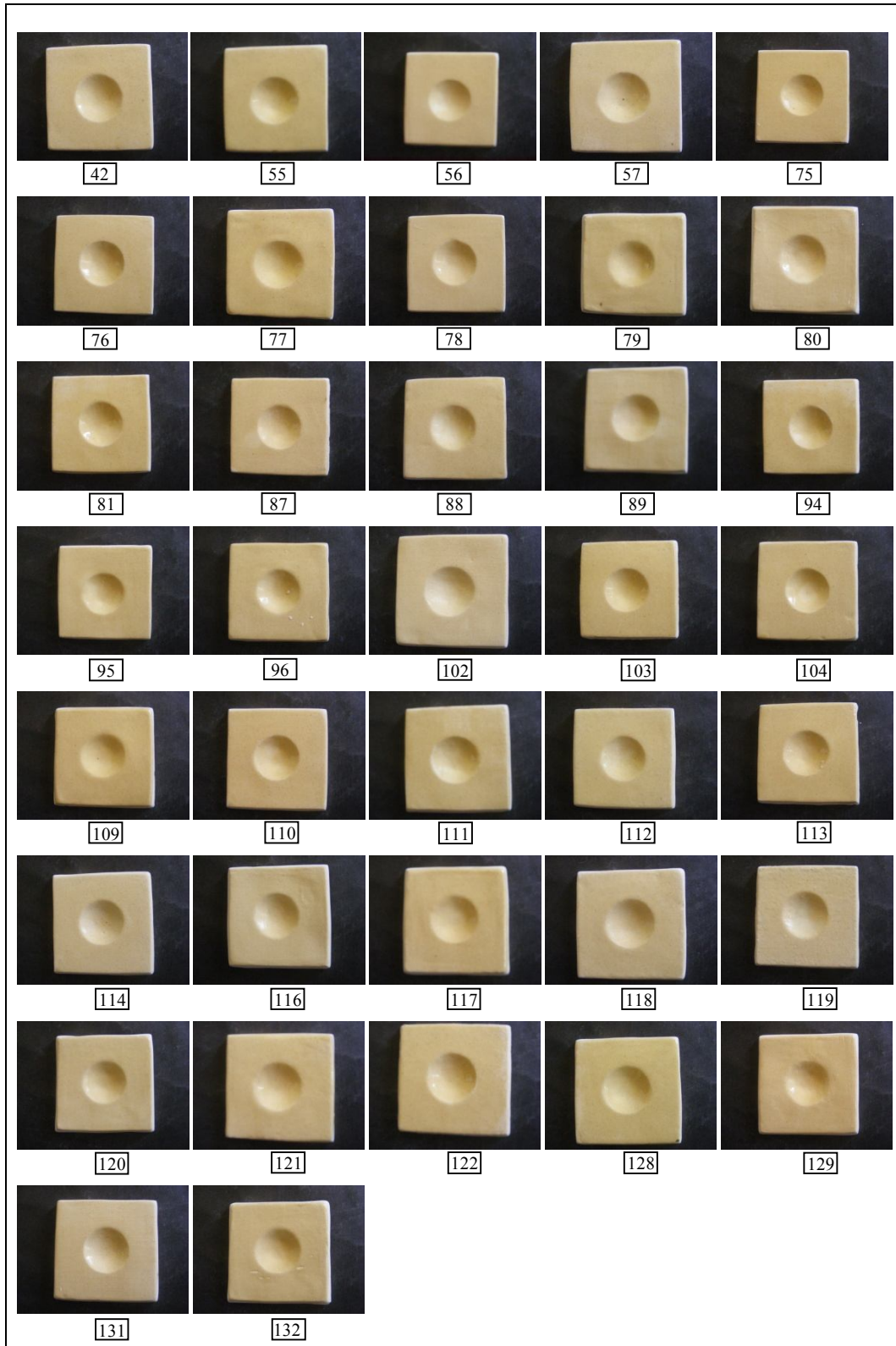
YSA uygulaması için denemesi yapılan her sırlar bileşimi için genleşme katsayısı hesaplanmıştır. Burada olumsuz sonuçların genleşme katsayılarında hesaplanmış olup YSA’nın eğitimi için olumlu ve olumsuz örnekler kullanılmıştır. Genleşme katsayısı sırlar bileşiminde bulunan oksitlerin yüzdelik değerleri ile yine aynı oksitlerin genleşme katsayıları ile çarpma işlemi yapılmıştır (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8). Daha sonra tüm çarpım sonuçları toplanmıştır. Toplam sonucu 100’e bölünerek sırların kübik genleşme katsayısı bulunmuştur. Elde edilen değer YSA uygulaması için veri olarak kullanılmıştır. Tüm genleşme katsayı hesaplamaları Excel ofis programında yapılmıştır. Ayrıca aşağıda olumlu sonuç veren numunelerin yüzey genleşme katsayıları da çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6, Çizelge 5.7).



Şekil 5.1 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramı ve parlaklık değerleri (950 °C).

Çizelge 5.2 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır bileşimlerinin 950 °C’de yüzeysel gerilim ve genleşme katsayıları.

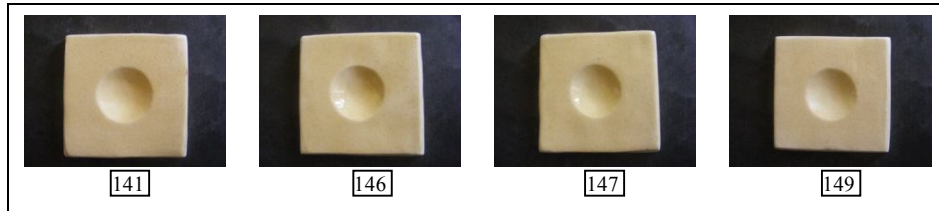
SIR BİLEŞİMLERİ										950 °C	
D.N.	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	YG (Dyn/cm)	GK (X 10 ⁻⁵)
42	14,650	0,060	2,170	0,875	0,570	7,405	70,800	0,470	0,050	312,74	1,64
55	19,533	0,072	2,604	1,050	0,684	8,886	62,960	0,564	0,060	303,24	1,85
56	19,533	0,066	2,387	0,963	0,627	8,146	64,380	0,517	0,055	302,42	1,80
57	19,533	0,060	2,170	0,875	0,570	7,405	65,800	0,470	0,050	301,60	1,74
75	24,417	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	66,480	0,282	0,030	287,20	1,64
76	24,417	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	67,900	0,235	0,025	286,38	1,59
77	24,417	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	69,320	0,188	0,020	285,57	1,54
78	24,417	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	70,740	0,141	0,015	284,75	1,49
79	24,417	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	72,160	0,094	0,010	283,93	1,44
80	24,417	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	73,580	0,047	0,005	283,12	1,38
81	29,300	0,078	2,821	1,138	0,741	9,627	51,540	0,611	0,065	281,77	2,11
87	29,300	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	61,480	0,282	0,030	276,06	1,75
88	29,300	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	58,640	0,376	0,040	277,69	1,85
89	29,300	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	60,060	0,329	0,035	276,88	1,80
94	34,183	0,072	2,604	1,050	0,684	8,886	47,960	0,564	0,060	269,82	2,17
95	34,183	0,066	2,387	0,963	0,627	8,146	49,380	0,517	0,055	269,00	2,11
96	34,183	0,060	2,170	0,875	0,570	7,405	50,800	0,470	0,050	268,18	2,06
102	34,183	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	59,320	0,188	0,020	263,29	1,75
103	34,183	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	60,740	0,141	0,015	262,47	1,70
104	34,183	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	62,160	0,094	0,010	261,65	1,65
109	39,067	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	48,640	0,376	0,040	255,41	2,07
110	39,067	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	50,060	0,329	0,035	254,60	2,01
111	39,067	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	51,480	0,282	0,030	253,78	1,96
112	39,067	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	52,900	0,235	0,025	252,96	1,91
113	39,067	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	54,320	0,188	0,020	252,15	1,86
114	39,067	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	55,740	0,141	0,015	251,33	1,81
116	39,067	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	58,580	0,047	0,005	249,70	1,70
117	43,950	0,060	2,170	0,875	0,570	7,405	40,800	0,470	0,050	245,90	2,28
118	43,950	0,054	1,953	0,788	0,513	6,665	42,220	0,423	0,045	245,09	2,22
119	43,950	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	43,640	0,376	0,040	244,27	2,17
120	43,950	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	48,640	0,376	0,040	261,27	2,21
121	43,950	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	50,060	0,329	0,035	260,46	2,16
122	43,950	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	47,900	0,235	0,025	241,82	2,02
128	48,833	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	38,640	0,376	0,040	233,13	2,28
129	48,833	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	40,060	0,329	0,035	232,32	2,23
130	48,833	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	41,480	0,282	0,030	231,50	2,18
131	48,833	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	42,900	0,235	0,025	230,68	2,12
132	48,833	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	44,320	0,188	0,020	229,87	2,07



Şekil 5.2 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır numuneleri (950 °C).

Çizelge 5.3 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak çıkan sır bileşimlerinin 950 °C’de yüzeyel gerilim ve genişleme katsayıları.

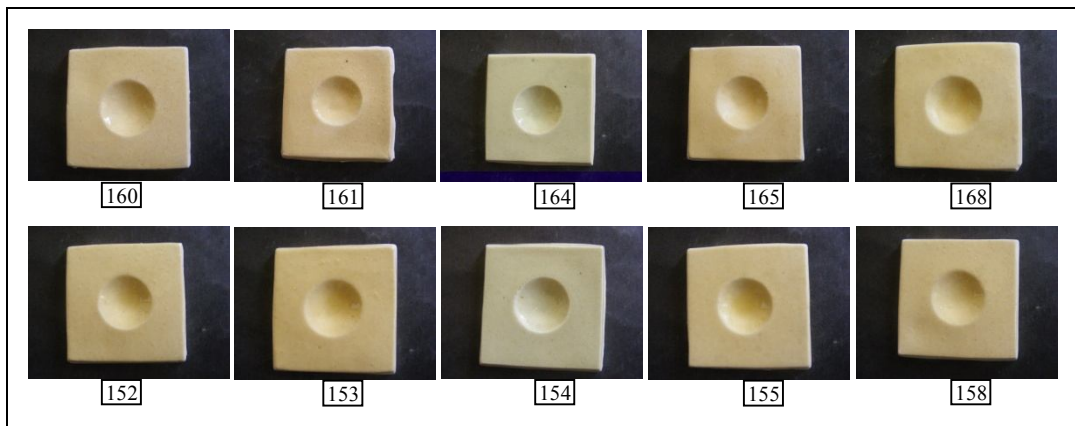
SIR BİLEŞİMLERİ										950 °C	
	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	YG (Dyn/cm)	GK (X 10 ⁻⁵)
141	53,717	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	40,740	0,141	0,015	217,91	2,13
146	58,600	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	32,900	0,235	0,025	208,40	2,34
147	58,600	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	34,320	0,188	0,020	207,59	2,28
149	58,600	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	37,160	0,094	0,010	205,95	2,18



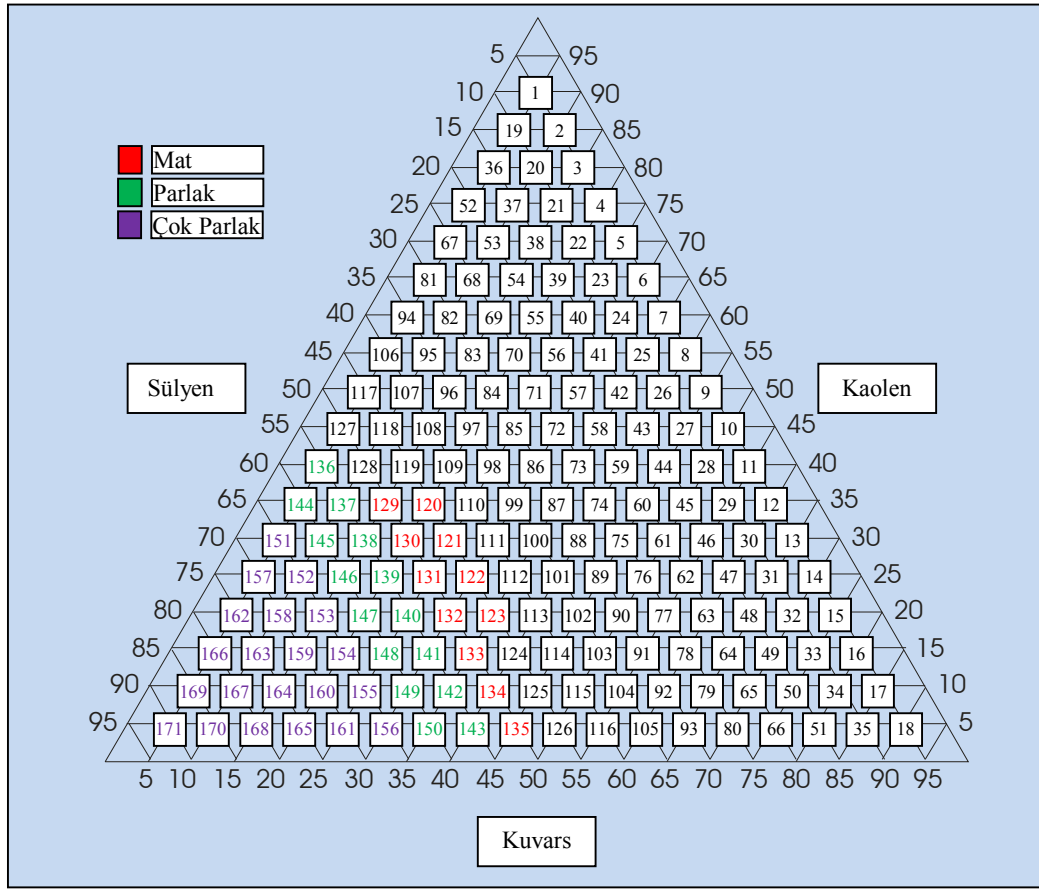
Şekil 5.3 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak sır numuneleri (950 °C).

Çizelge 5.4 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak çıkan sır bileşimlerinin 950 °C’de yüzeyel gerilim ve genişleme katsayıları.

SIR BİLEŞİMLERİ										950 °C	
	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	YG (Dyn/cm)	GK (X 10 ⁻⁵)
152	63,483	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	27,900	0,235	0,025	197,26	2,44
153	63,483	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	29,320	0,188	0,020	196,45	2,39
154	63,483	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	30,740	0,141	0,015	195,63	2,34
155	63,483	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	32,160	0,094	0,010	194,81	2,29
158	68,366	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	24,320	0,188	0,020	185,31	2,50
160	68,366	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	27,160	0,094	0,010	183,67	2,39
161	68,366	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	28,580	0,047	0,005	182,86	2,34
164	73,250	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	22,160	0,094	0,010	172,53	2,50
165	73,250	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	23,580	0,047	0,005	171,72	2,45
168	78,133	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	18,580	0,047	0,005	160,58	2,56



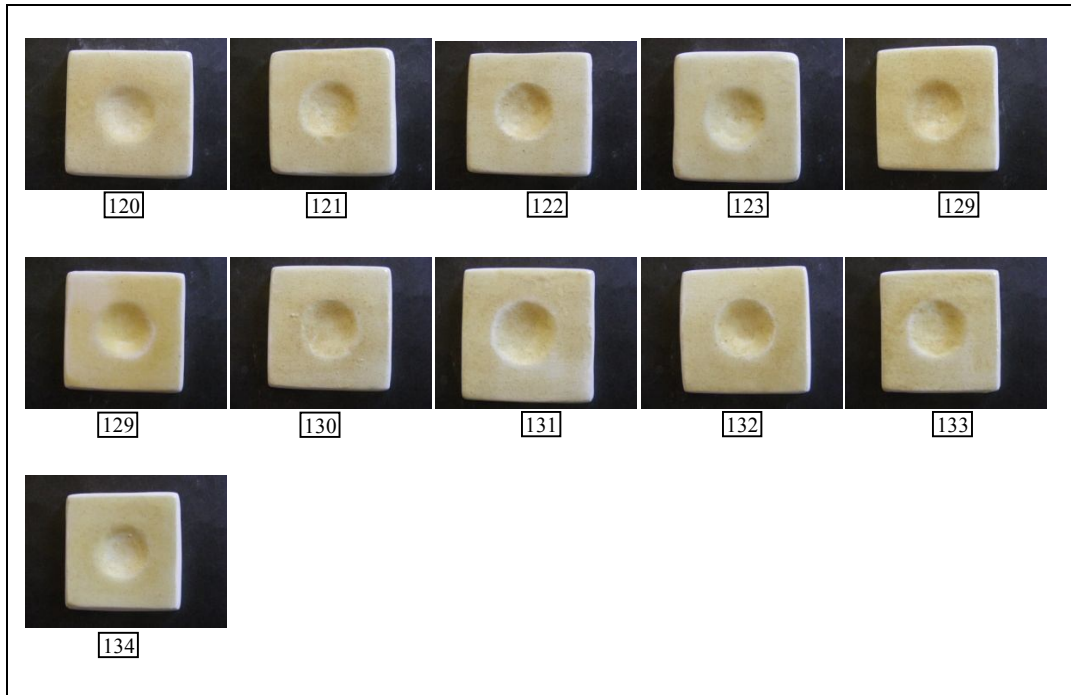
Şekil 5.4 Yıkanmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak sır numuneleri (950 °C).



Şekil 5.5 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramı ve parlaklık değerleri (1150 °C).

Çizelge 5.5 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır bileşimlerinin 1150 °C’de yüzeyel gerilim ve genleşme katsayıları.

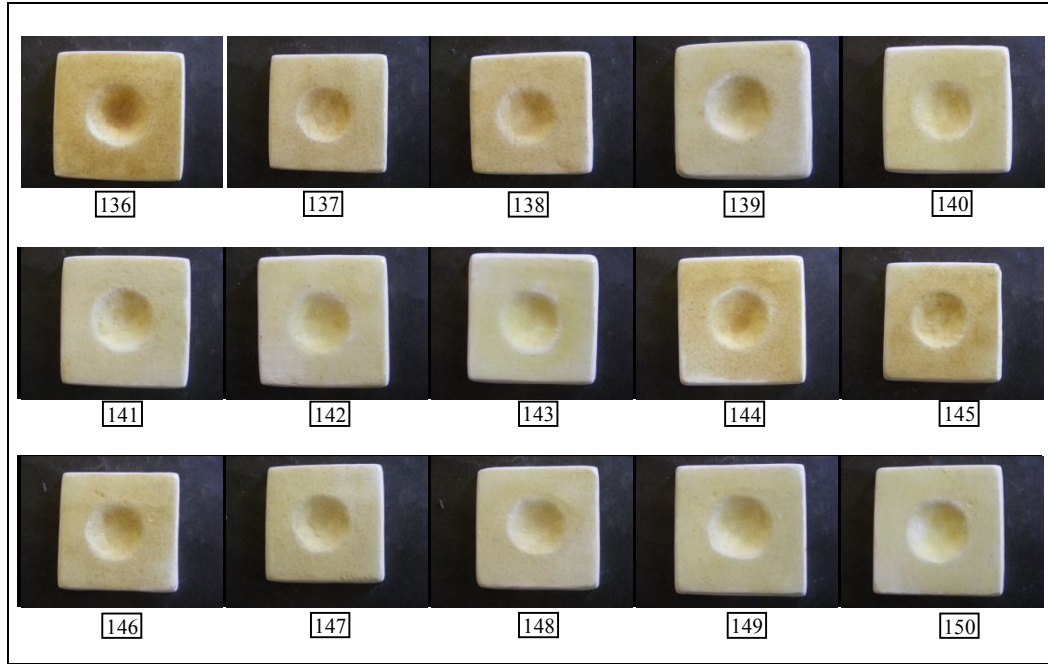
	SIR BİLEŞİMLERİ									1150 °C	
	PbO	Na2O	K2O	CaO	MgO	Al2O3	SiO2	Fe2O3	TiO2	YG (Dyn/cm)	GK (X 10 ⁻⁵)
120	43,950	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	48,640	0,376	0,040	253,272	2,21
121	43,950	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	50,060	0,329	0,035	252,455	2,16
122	43,950	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	47,900	0,235	0,025	233,822	2,02
123	43,950	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	49,320	0,188	0,020	233,006	1,97
129	48,833	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	40,060	0,329	0,035	224,315	2,23
130	48,833	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	41,480	0,282	0,030	223,499	2,18
131	48,833	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	42,900	0,235	0,025	222,682	2,12
132	48,833	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	44,320	0,188	0,020	221,866	2,07
133	48,833	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	45,740	0,141	0,015	221,049	2,02
134	48,833	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	47,160	0,094	0,010	220,233	1,97
135	48,833	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	48,580	0,047	0,005	219,416	1,92



Şekil 5.6 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında mat çıkan sır numuneleri (1150 °C).

Çizelge 5.6 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak çıkan sır Bileşimlerinin 1150 °C’de yüzeyel gerilim ve genleşme katsayıları.

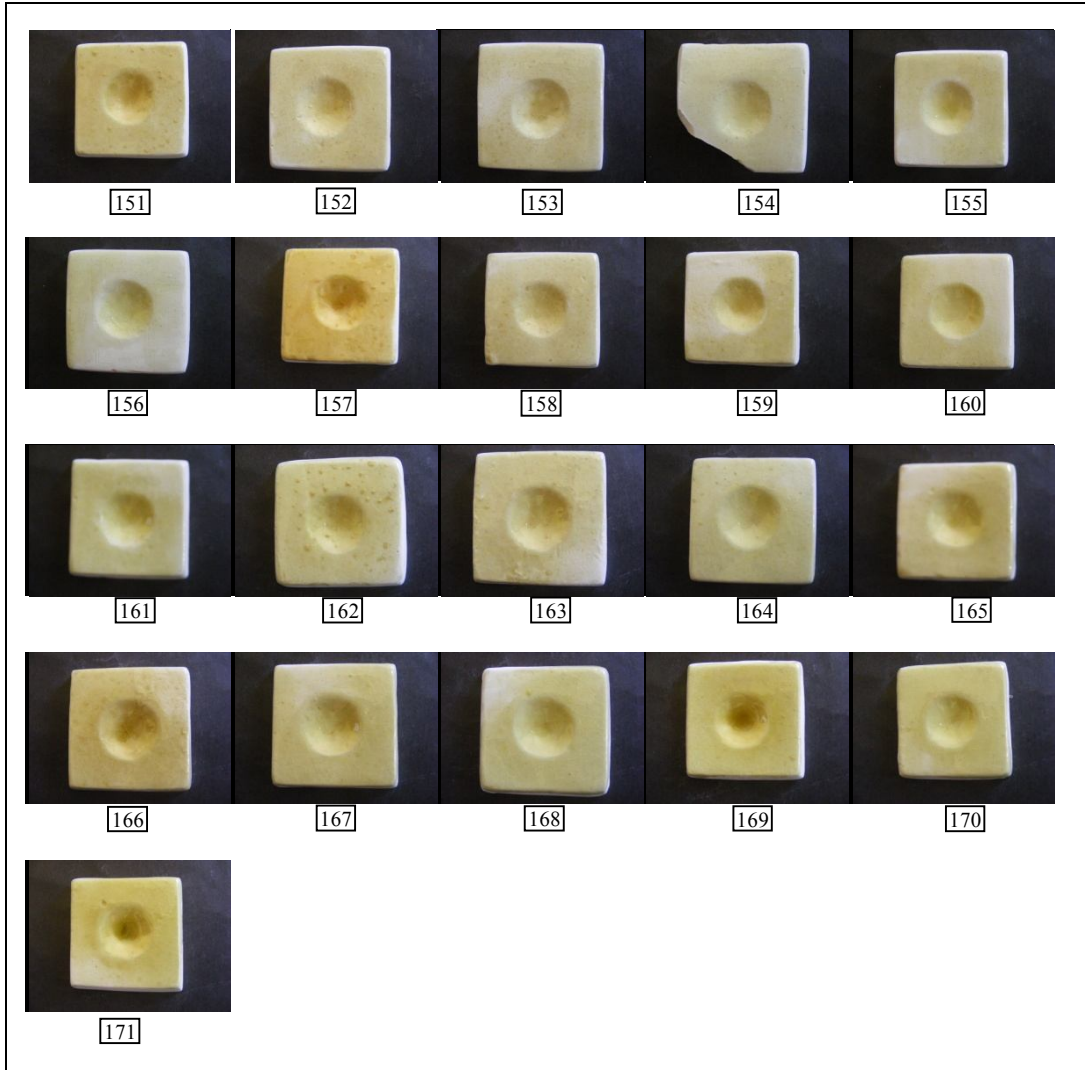
	SIR BİLEŞİMLERİ									1150 °C	
	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	YG (Dyn/cm)	GK (X 10 ⁻⁵)
136	53,717	0,048	1,736	0,700	0,456	5,924	33,640	0,376	0,040	213,992	2,39
137	53,717	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	35,060	0,329	0,035	213,175	2,33
138	53,717	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	36,480	0,282	0,030	212,359	2,28
139	53,717	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	37,900	0,235	0,025	211,542	2,23
140	53,717	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	39,320	0,188	0,020	210,726	2,18
141	53,717	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	40,740	0,141	0,015	209,909	2,13
142	53,717	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	42,160	0,094	0,010	209,093	2,07
143	53,717	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	43,580	0,047	0,005	208,276	2,02
144	58,600	0,042	1,519	0,613	0,399	5,184	30,060	0,329	0,035	202,035	2,44
145	58,600	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	31,480	0,282	0,030	201,219	2,39
146	58,600	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	32,900	0,235	0,025	200,402	2,34
147	58,600	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	34,320	0,188	0,020	199,586	2,28
148	58,600	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	35,740	0,141	0,015	198,769	2,23
149	58,600	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	37,160	0,094	0,010	197,953	2,18
150	58,600	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	38,580	0,047	0,005	197,136	2,13



Şekil 5.7 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında parlak sır numuneleri (1150 °C).

Çizelge 5.7 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak çıkan sır bileşimlerinin 1150 °C'de yüzeyel gerilim ve genleşme katsayıları.

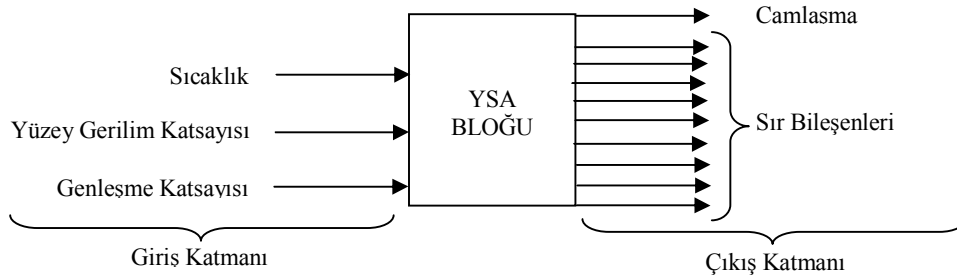
	SIR BİLEŞİMLERİ									1150 °C	
	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	YG (Dyn/cm)	GK (X 10 ⁻⁵)
151	63,483	0,036	1,302	0,525	0,342	4,443	26,480	0,282	0,030	190,079	2,49
152	63,483	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	27,900	0,235	0,025	189,262	2,44
153	63,483	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	29,320	0,188	0,020	188,446	2,39
154	63,483	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	30,740	0,141	0,015	187,629	2,34
155	63,483	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	32,160	0,094	0,010	186,813	2,29
156	63,483	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	33,580	0,047	0,005	185,996	2,24
157	68,366	0,030	1,085	0,438	0,285	3,703	22,900	0,235	0,025	178,122	2,55
158	68,366	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	24,320	0,188	0,020	177,306	2,50
159	68,366	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	25,740	0,141	0,015	176,489	2,45
160	68,366	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	27,160	0,094	0,010	175,673	2,39
161	68,366	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	28,580	0,047	0,005	174,856	2,34
162	73,250	0,024	0,868	0,350	0,228	2,962	19,320	0,188	0,020	166,166	2,60
163	73,250	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	20,740	0,141	0,015	165,349	2,55
164	73,250	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	22,160	0,094	0,010	164,533	2,50
165	73,250	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	23,580	0,047	0,005	163,716	2,45
166	78,133	0,018	0,651	0,263	0,171	2,222	15,740	0,141	0,015	154,209	2,66
167	78,133	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	17,160	0,094	0,010	153,393	2,61
168	78,133	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	18,580	0,047	0,005	152,576	2,56
169	83,016	0,012	0,434	0,175	0,114	1,481	12,160	0,094	0,010	142,253	2,71
170	83,016	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	13,580	0,047	0,005	141,436	2,66
171	87,900	0,006	0,217	0,088	0,057	0,741	8,580	0,047	0,005	130,296	2,77



Şekil 5.8 Yıkılmış Uşak kaoleni, kuvars ve sülyen üçlü diyagramında çok parlak sır numuneleri (1150 °C).

5.2. Yapay Sinir Ağları İle Tahmin

YSA'ya giriş değişkenleri olarak sıcaklık, yüzey gerilim katsayısı ve genleşme katsayısı bilgileri olarak belirlenmiştir. YSA'nın çıkış değişkenleri olarak da sırn bileşen değerleri (PbO , Na_2O , K_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2) ve camlaşma değeri alınmıştır. Yapay sinir ağları modeli MatLab 2009 paket programının Toolbox'ı kullanılmıştır. Çalışmamızda toplam 342 veri kümesinin 228 tanesi YSA'nın eğitilmesi için 114 tanesi ise test amaçlı kullanılmıştır. Oluşturulan YSA'nın blok diyagramı Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 YSA veri girişi ve çıkış şeması.

Giriş değişkenleri içinde bulunan “0” değerleri Denklem (3.7) kullanılarak hesaplama yapıldığında çarpım durumunda olduğundan değişkenin etkisini yok etmektedir. Ayrıca giriş ve çıkış değişkenleri arasında çok farklılık bulunması değişkenlerin bazılarının önemini azaltmaktadır. Bu etkileri ortadan kaldırmak için giriş ve çıkış değışkeleri 0.1-0.9 arasında, denklem (5.1) kullanılarak normalize edilmiş ve sinir ağılarına aktarılmıştır.

$$ND = 0,8 * \left(\frac{GD - EKD}{EBD - EKD} \right) + 0,1 \quad (5.1)$$

Burada ND normalize değeri, GD gerçek değeri, EBD veri kümesinin içersindeki en büyük sayısal veriyi, EKD ise en küçük sayısal veriyi temsil etmektedir. Normalize edilen veriler, sinir ağılarına eğitim için giriş ve çıkış bilgisi olarak verilir. YSA eğitiminde farklı nöron sayılarında farklı aktivasyon fonksiyonları ile birçok yöntem denenmiştir. Çalışmada kullanılan çeşitli ağ modelleri Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Deneme yapılan YSA yapılarının bileşenleri.

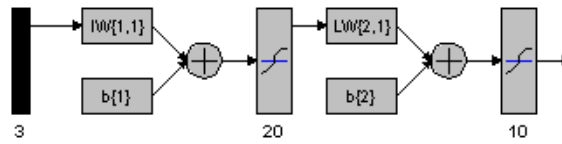
Ağ Tipi	Eğitim Fonksiyonu	Öğrenme Fonksiyonu	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı	Gizli Katman Sayısı
İleri beslemeli geri yayımlı	TRAINLM	LEARNGDM	Tansig Logsig	3, 3+3, 5, 7, 9, 9+9, 12, 12+12, 15, 15+15, 18, 5+8	1,2

Yapılan denemeler sonucunda 950 °C ve 1150 °C sıcaklıkları için bulunan tahmin sonuçları ile gerçek değerler karşılaştırılmıştır. Eğitim aşamasındaki ağın performansı ve R² değeri bulunmuştur. Ayrıca 950 °C ve 1150 °C sıcaklıkları test sonuçlarının ortalama hata oranları da denklem (5.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemden TD modelin tahmin ettiği, GD ise gerçek değerdir.

$$\% \text{ HATA} = \left(\frac{GD - TD}{GD} \right) * 100 \quad (5.2)$$

Tahmin işlemi için öncelikle YSA'nın eğitilmesi gereklidir. Uygulamada 950 °C ve 1150 °C sıcaklıkları için yüzey genleşme katsayısı ve genleşme katsayısı bilgileri ile ağ eğitilmiştir. Eğitilen ağda giriş değişkenlerine karşılık hedef dosya olarak isimlendirilen sır bileşen değerleri ve camlaşma değeri bulunmaktadır. Ağın eğitim işlemi tamamlandıktan sonra 950 °C ve 1150 °C sıcaklıkları arasındaki sır bileşimi ve camlaşma tahmini işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemesi yapılan modeller arasında uygulama için en uygun logsig aktivasyon fonksiyonlu model seçilmiştir. Bu model bir adet gizli katman ve 20 nöronludur.

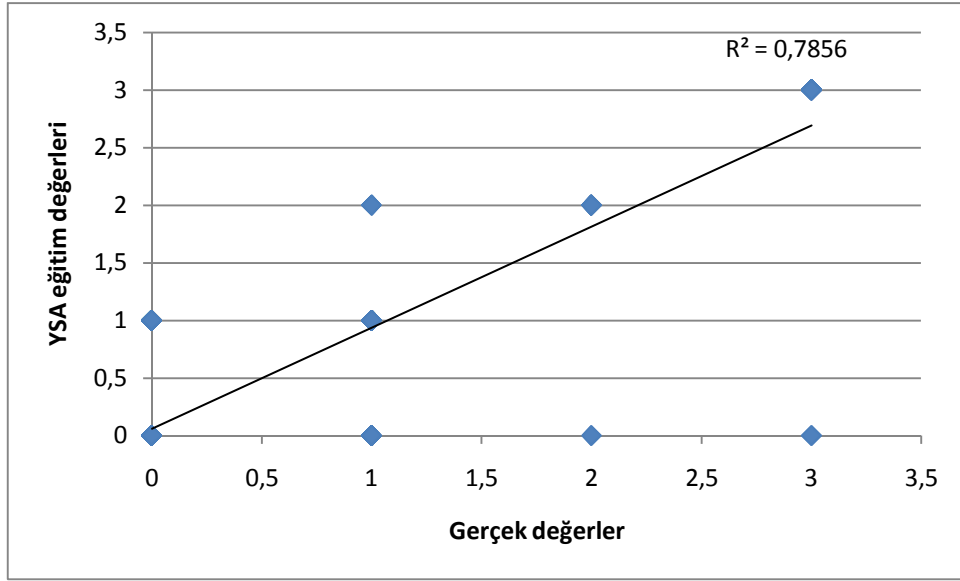
Üç giriş ve on çıkış olarak ayarlanan 20 nöronlu YSA modeli Şekil 5.10'da gösterilmiştir. 950 °C ve 1150 °C sıcaklıkları arasındaki verileri kapsayan eğitim dosyası, belirtilen özelliklerde oluşturulan YSA modeline öğretilmiştir. Kurulan YSA modelinin eğitimi 1000 iterasyonda gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.10).



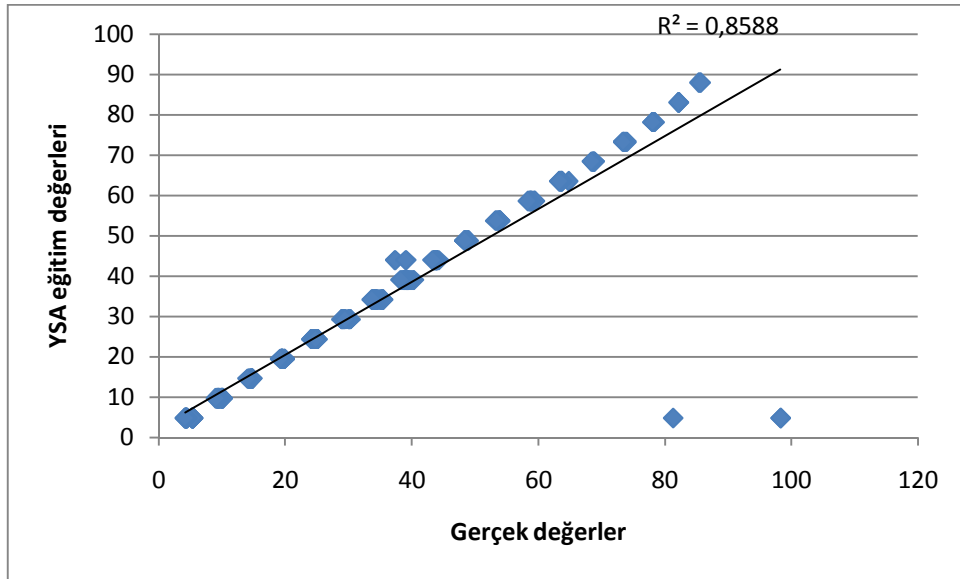
Şekil 5.10 YSA modeli yapısı.

Eğitim sonrası seçilen logsig aktivasyon fonksiyonu 20 nöronlu modelin eğitim verilerinin gerçek değerlere ne kadar yakınsadığına bakıldı. YSA eğitiminin gerçek değerler ile arasındaki uyumu bir test yöntemi olan R^2 ile yapıldı. R^2 değeri Denklem 5.3 kullanılarak bulunmuştur. Burada R^2 değeri, Regresyon analizi ifade etmektedir. Regresyon, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun gücü hakkında bilgi edilebilir [65]. Alan dağılımında uyumun ne derece fazla olduğu Şekil 5.11'de camlaşma, Şekil 5.12'de kurşunoksit, Şekil 5.13'de sodyumoksit, Şekil 5.14'de potasyum oksit, Şekil 5.15'de kalsiyumoksit, Şekil 5.16'da magnezyumoksit, Şekil 5.17'de alüminyumoksit, Şekil 5.18'de silisyumdioksit, Şekil 5.19'da demiroksit, Şekil 5.20'de titanoksit görülmektedir.

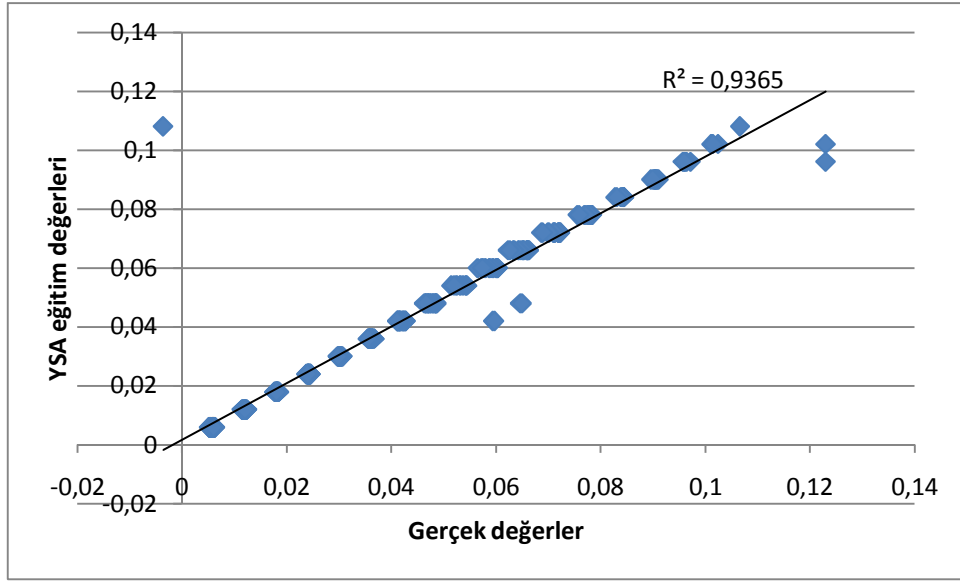
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (TD_i - GD_i)^2}{\sum_{i=1}^N (GD_i)^2} \right) \quad (5.3)$$



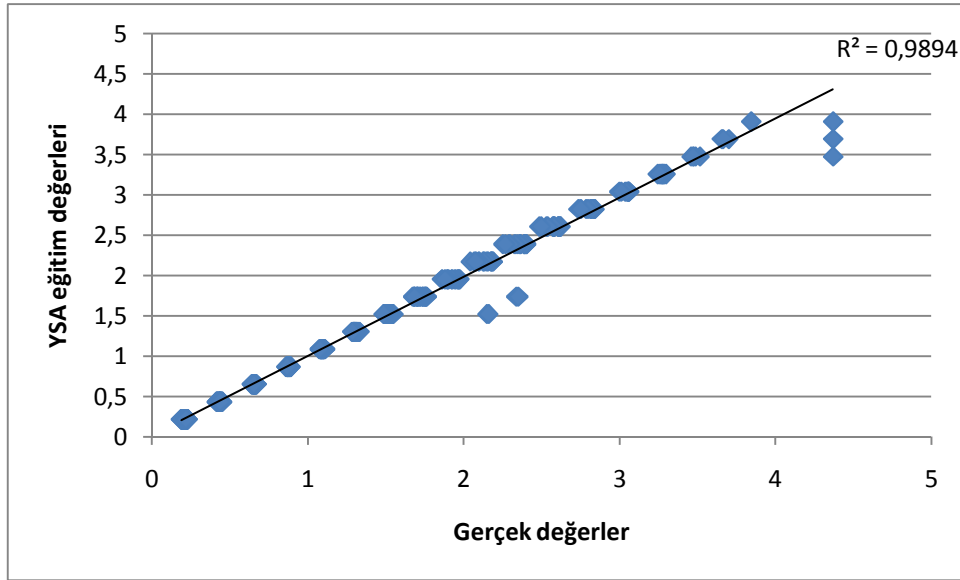
Şekil 5.11 Camlaşma çıkış değişkeni YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



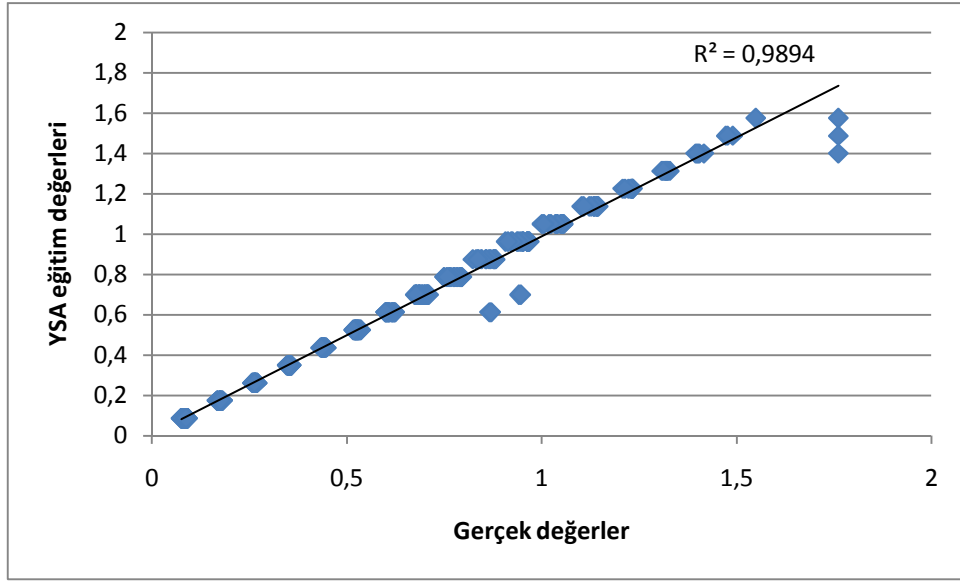
Şekil 5.12 Kurşun oksit (PbO) çıkış değişkeni YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



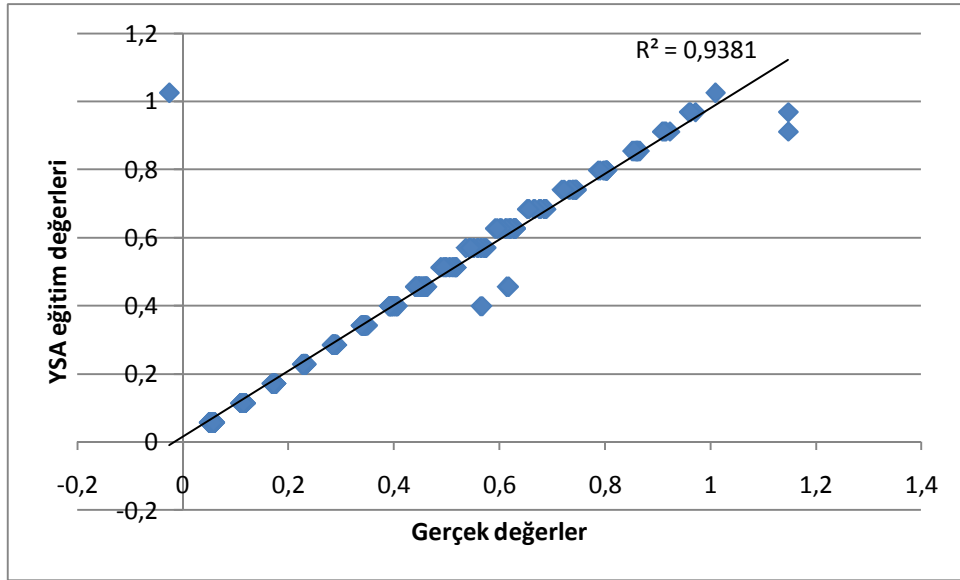
Şekil 5.13 Sodyum oksit (Na_2O) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



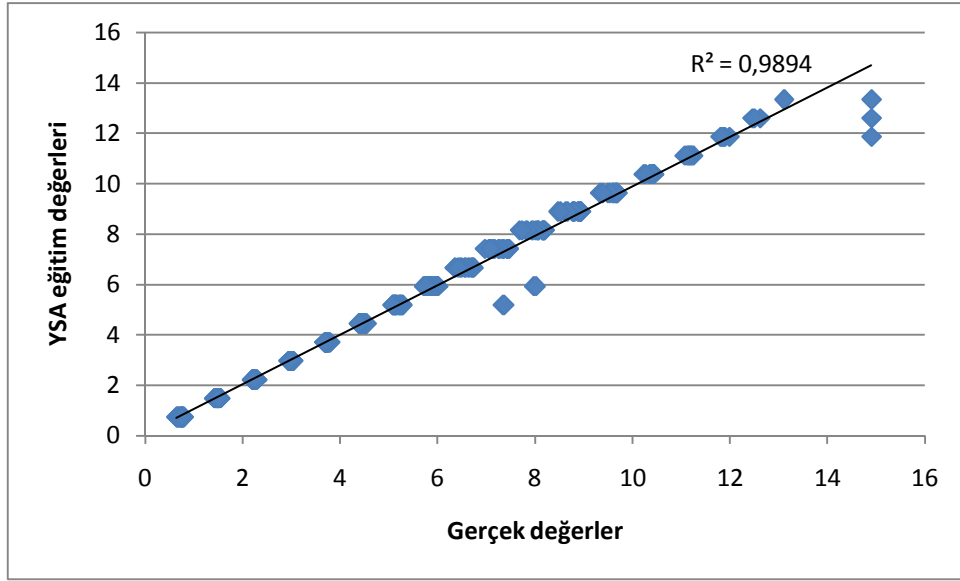
Şekil 5.14 Potasyum oksit (K_2O) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



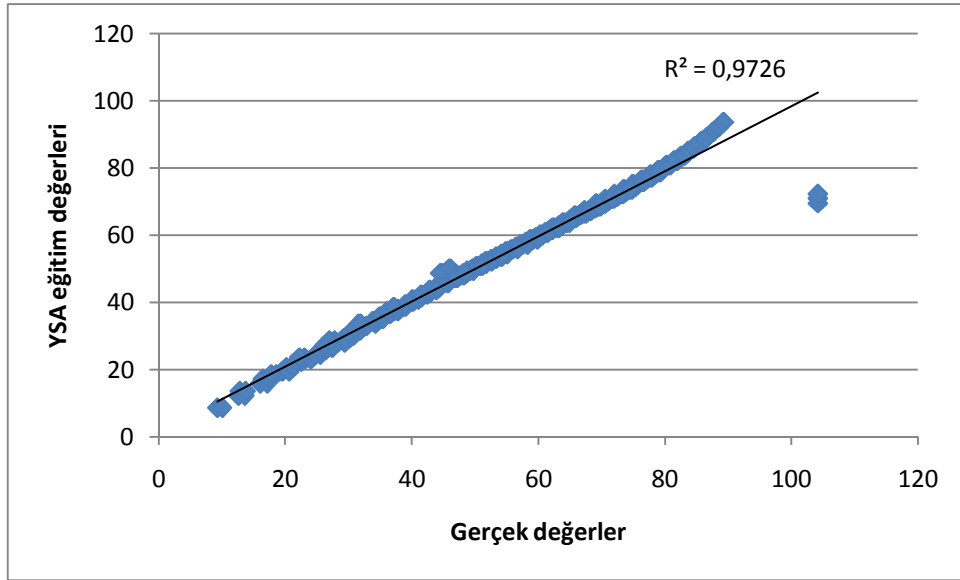
Şekil 5.15 Kalsiyum oksit (CaO) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



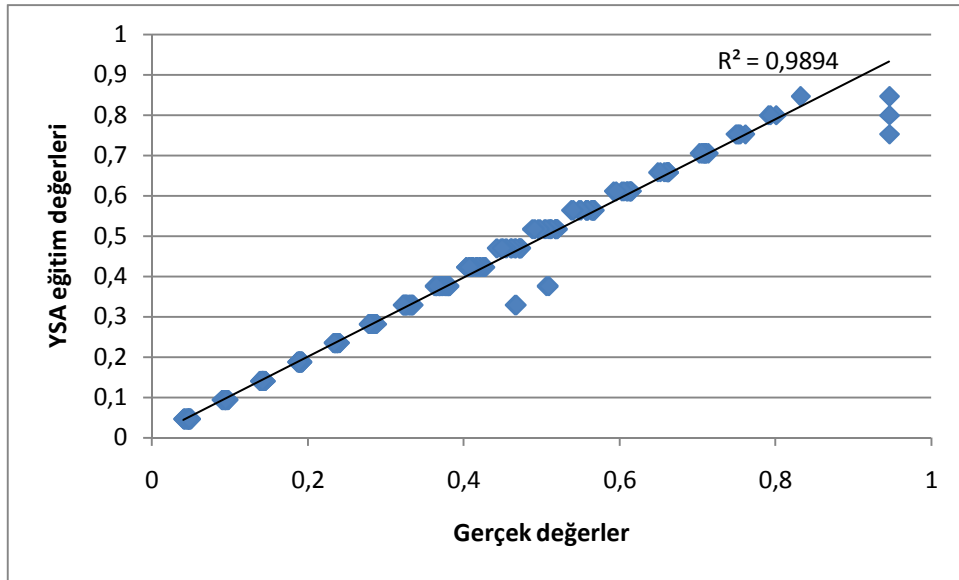
Şekil 5.16 Magnezyum oksit (MgO) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



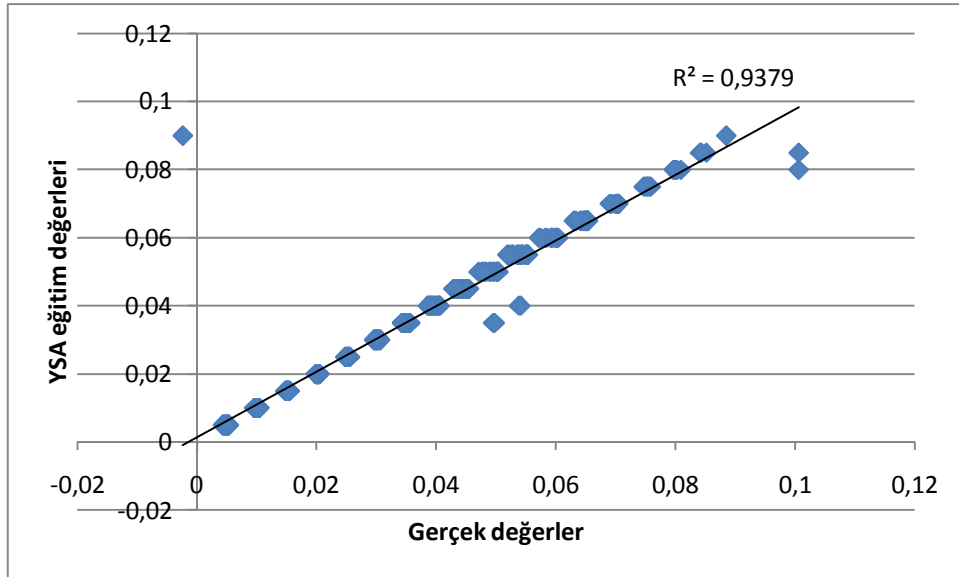
Şekil 5.17 Alüminyum oksit (Al_2O_3) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



Şekil 5.18 Silisyum di oksit (SiO_2) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



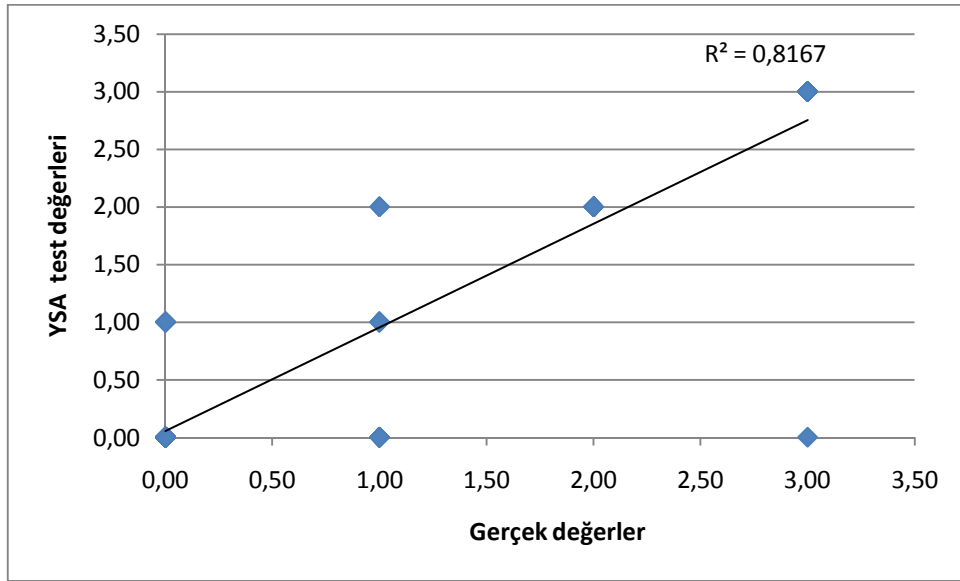
Şekil 5.19 Demir oksit (Fe₂O₃) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



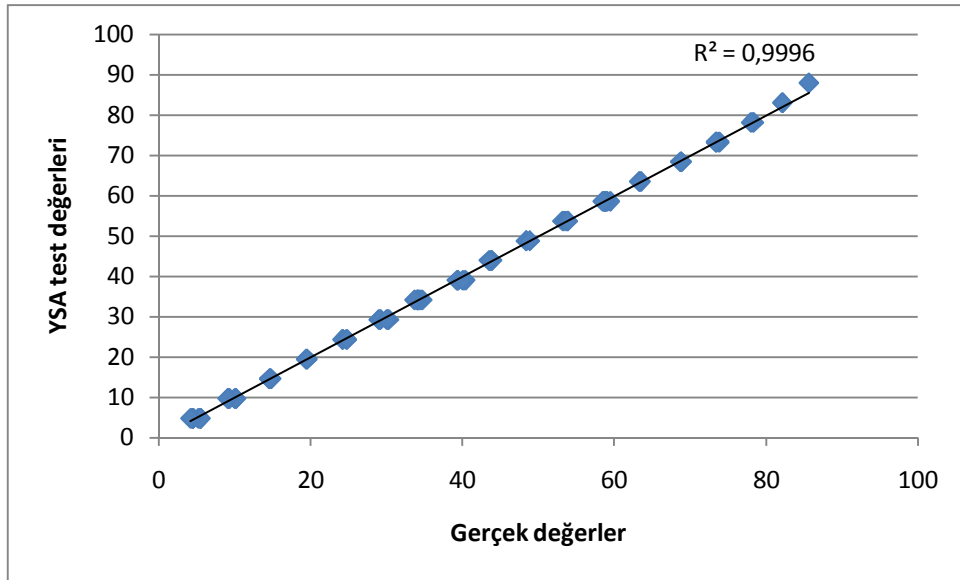
Şekil 5.20 Titan oksit (TiO₂) çıkış değişkenin YSA modelinin eğitim değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.

YSA çıkış değerleri ile gerçek değerler arasındaki uyumu gösteren R^2 değerleri denklem (5.3) kullanılarak bulunmuştur. Alan dağılımında uyumları Şekil 5.21’de camlaşma, Şekil 5.22’de kurşunoksit, Şekil 5.23’de sodyumoksit, Şekil 5.24’de potasyum oksit, Şekil 5.25’de kalsiyumoksit, Şekil 5.26’da magnezyumoksit, Şekil 5.27’de alüminyumoksit, Şekil 5.28’de silisyumdioksit, Şekil 5.29’da demiroksit, Şekil 5.30’da titanoksit görülmektedir.

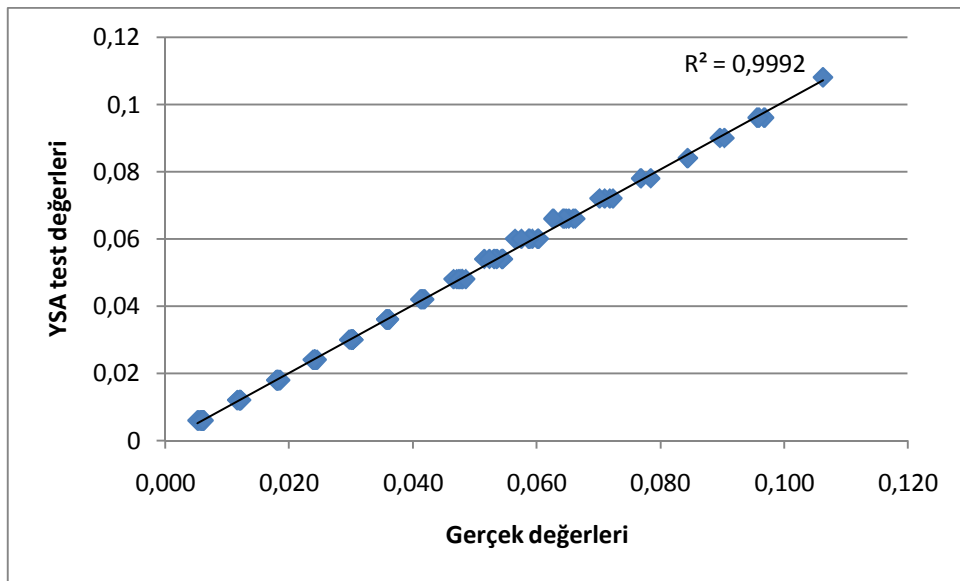
Test verilerinin ortalama yüzde hata değeri camlaşma için 7.02, PbO için 8.63×10^{-3} , Na₂O için 0.65, K₂O için 0.63, CaO için 0.63, MgO için 0.63, Al₂O₃ için 0.63, SiO₂ için 0.29, Fe₂O₃ için 0.63, TiO₂ için 0.63 olarak bulunmuştur.



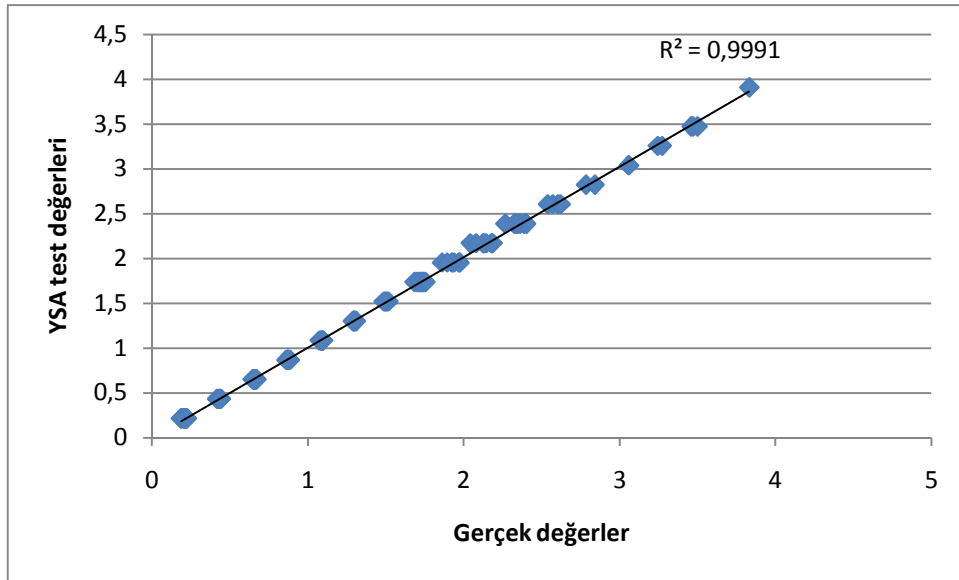
Şekil 5.21 Camlaşma çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



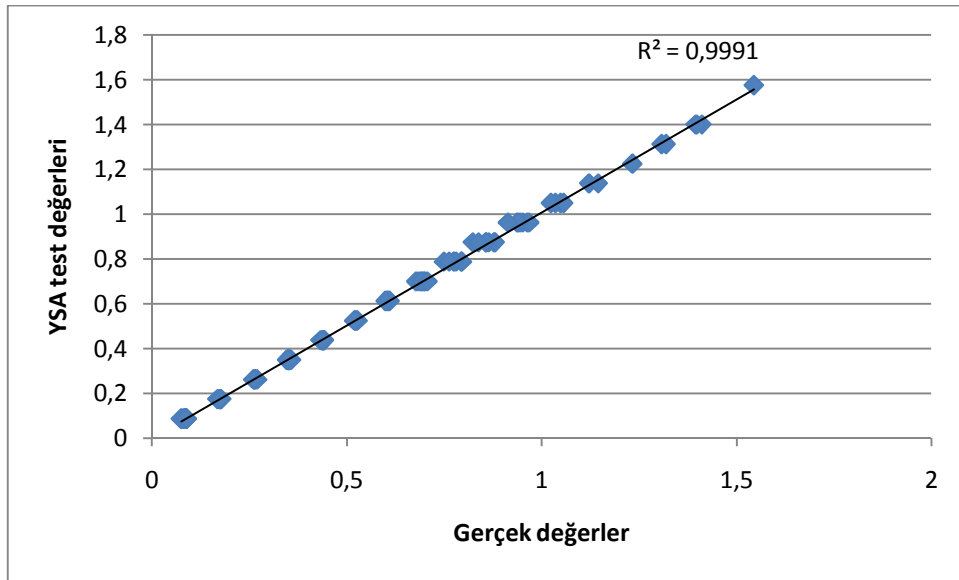
Şekil 5.22 Kurşun çıkış (PbO) değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı



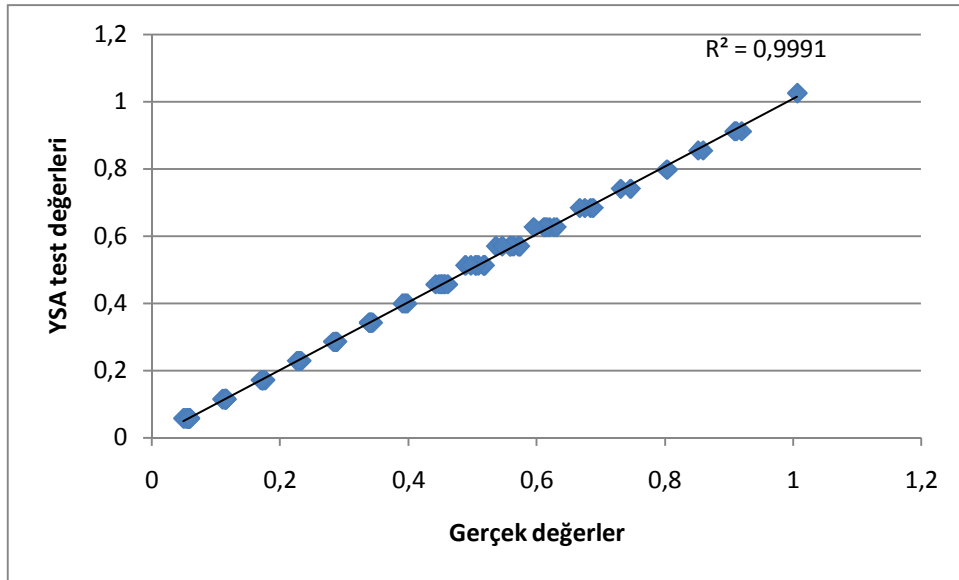
Şekil 5.23 Sodyum oksit (Na_2O) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



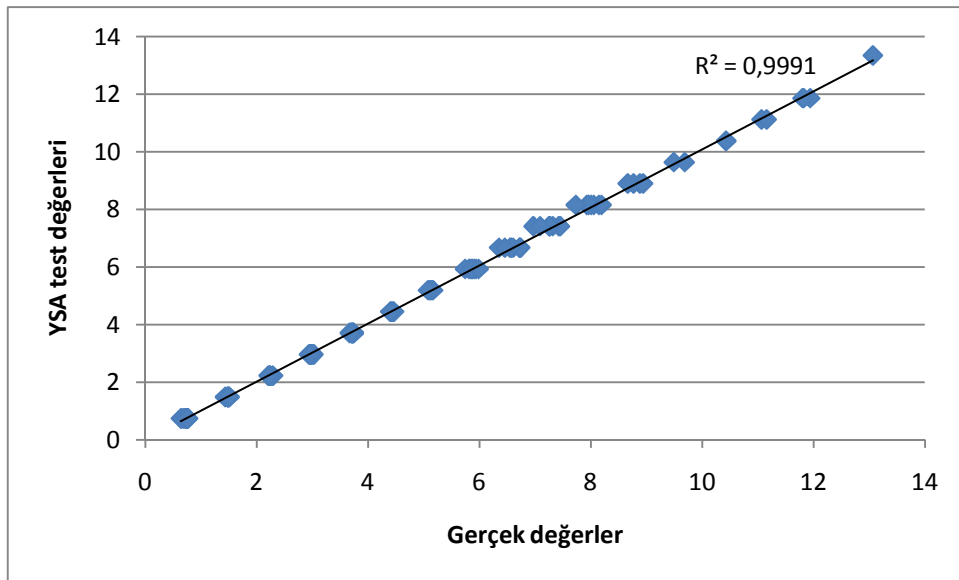
Şekil 5.24 Potasyum oksit (K₂O) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R² dağılımı.



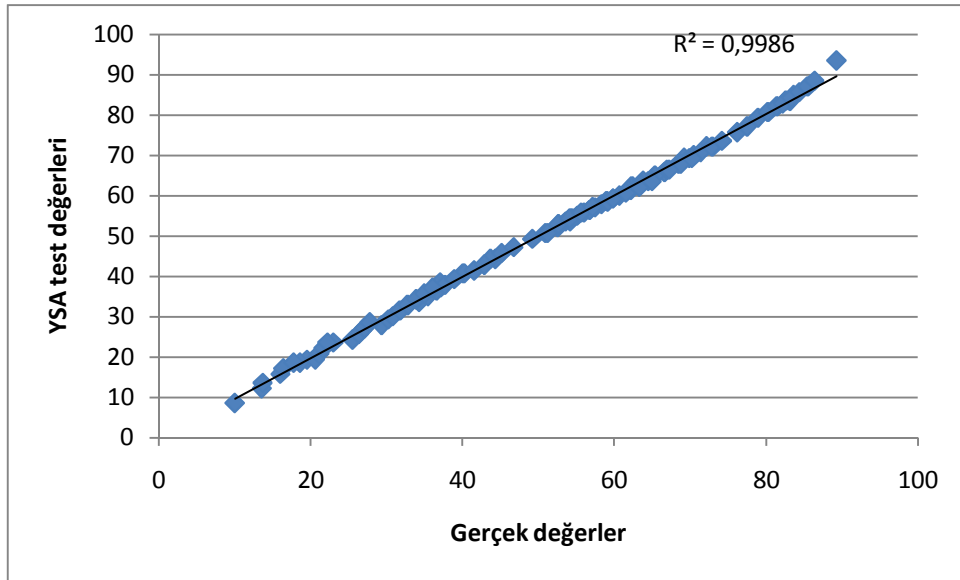
Şekil 5.25 Kalsiyum oksit (CaO) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R² dağılımı.



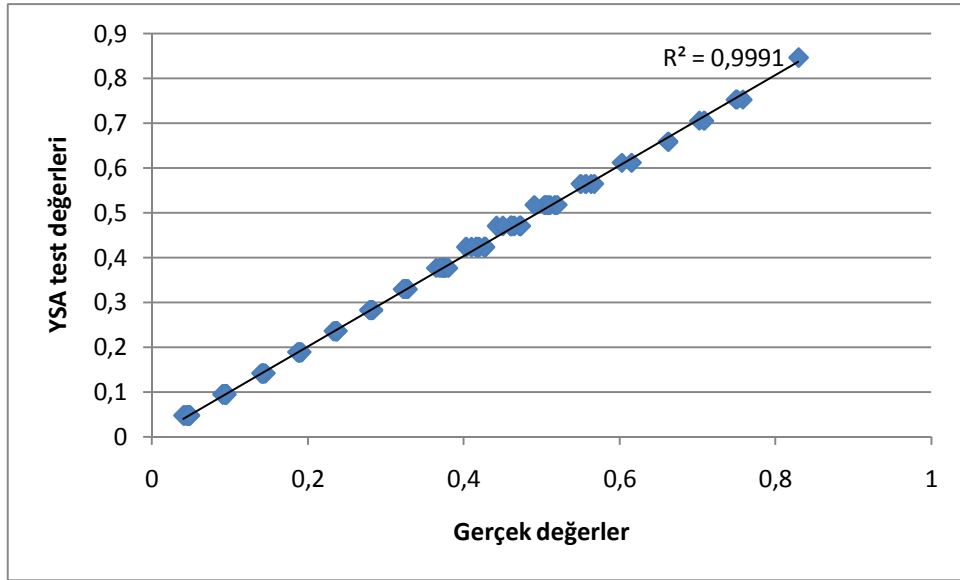
Şekil 5.26 Magnezyum oksit (MgO) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



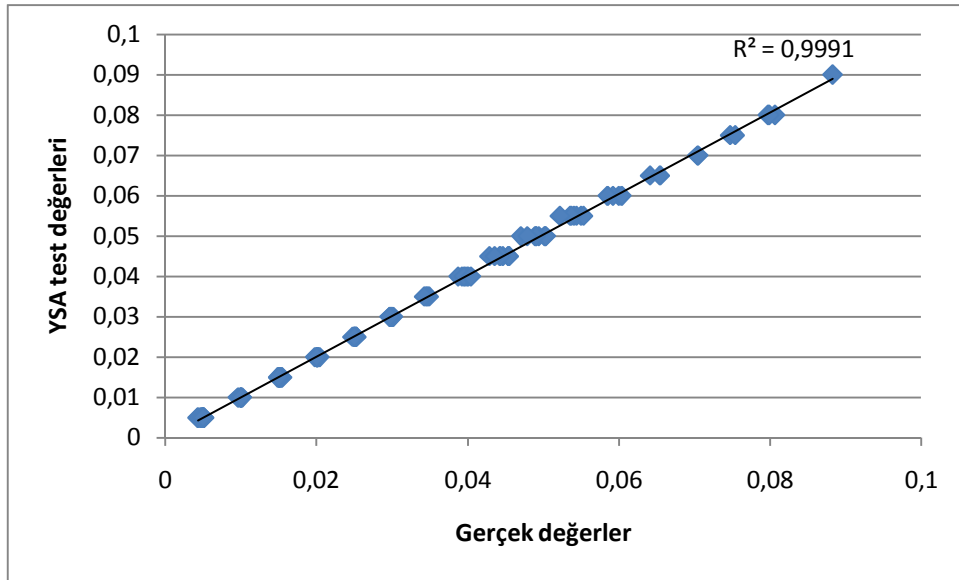
Şekil 5.27 Alüminyum oksit (Al_2O_3) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



Şekil 5.28 Silisyum dioksit (SiO_2) çıkış değişkeninin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



Şekil 5.29 Demir oksit (Fe_2O_3) çıkış değişkeninin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.



Şekil 5.30 Titan oksit (TiO_2) çıkış değişkenin YSA modelinin test değerleri ile gerçek değerler arasındaki R^2 dağılımı.

6. SONUÇLAR

Bu tezde yıkanmış Uşak kaoleni, sülyen ve kuvars üçlü diyagramı kullanılarak hazırlanan 171 adet sır numunesi 950 °C pişirilmiştir. Aynı işlem 1150 °C için tekrar edilmiştir. Pişirim sonucunda elde edilen toplam 342 adet deney numunesinden rastgele seçilmiş 228 âdeti ile pişirilmiş olduğu sıcaklık değerleri, hesaplama yoluyla elde edilmiş olan genleşme ve yüzey gerilim katsayıları giriş verisi olarak kullanılarak Yapay Sinir Ağları eğitilmiştir. Eğitim sonucunda ağımızın camlaşma için $R^2=0,7856$ % hata 7,02, kurşun oksit için $R^2=0,8588$ % hata $8,63 \times 10^{-3}$, silisyum di oksit için $R^2=0,9726$ % hata 0,29 ve sodyum oksit, potasyum oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, alüminyum oksit, demir oksit, titan oksit için $R^2=0,9894$ % hata 0,63 gibi yüksek bir performans göstermiştir. Çalışmamızda geriye kalan 114 adet test numunesi ile YSA test edilmiştir. Test sonucunda ağımızın camlaşma için $R^2=0,8167$ % hata 7,02, kurşun oksit için $R^2=0,9996$ % hata $8,63 \times 10^{-3}$, silisyum di oksit için $R^2=0,9986$ % hata 0,29 ve sodyum oksit, potasyum oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit, alüminyum oksit, demir oksit, titan oksit için $R^2=0,9991$ % hata 0,63 değerleriyle eğitimde olduğu gibi ağ performansının yüksek olduğu ortaya konulmuştur.

Geliştirilen model başarılı olmasına rağmen camlaşmanın belirlenmesinde çok çok yüksek performans göstermediği şeklinde istatistiksel sonuçlar ortaya koymaktadır. Fakat gerçekte bu böyle değildir. Çünkü camlaşma için kesikli değerler kullanılmıştır. Camlaşma, gelişmemiş, mat, parlak ve çok parlak şeklinde kategorize edilmiştir. Dolayısıyla gerçek sonuçlar ile modelin bulduğu sonuçlardaki enküçük sapmalar bile istatistiksel rakamlarda büyük değişimlere neden olmaktadır. Bu bulgular sonucunda geliştirmiş olduğumuz yapay sinir ağları modelinin seramik sektöründe sır ve bünye ile uyumu açısından prototip üretimler esnasında yaşanan maliyet kayıplarını azaltılmasında başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca yapılan sır denemelerinde süreçleri kısaltarak sonuca ulaşılacak için bir hız getirmiş.

7. ÖNERİLER

- Geliştirilen model bir ön çalışma olup, sıcaklık aralığı genişletilerek ve farklı sır bileşimleri denenerek veri seti zenginleştirilerek seramik üretim sektörünün daha geniş yelpazesine hitap edecek şekilde uygulanabilir hale getirilebilir.
- Ayrıca farklı akıllı sistemler kullanılarakta seramik sektöründeki maliyet kayıpları azaltılmaya çalışılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Arcasoy, A., 1986, Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Yayınları, s.12-28-62-63.
- [2] Turani, A., 1983, Dünya Sanat Tarihi, Türkiye İşbankası Kültür Yayınları, s.35
- [3] Güner, Y., 1987, Seramik, s.2.
- [4] Çiner, N. A., 1980, Seramik Bünyeler, Seramik, Çiner, N. A. (Der), T.M.M.O.B. Kimya Mühendisleri Odası, s.8-9.
- [5] Bengisu, M., 2006, Seramik Bilimi ve Mühendisliği, Nobel Yayın Dağıtım, s.2-3.
- [6] Doğan, Ş., 1985, Seramik Teknolojisi, Birsen Yayınevi, s.7.
- [7] T.C.Başbakanlık, 2008, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, s. 2773, 3-137.
- [8] Kaya, M., 1993, Magnezit ve Bazık Refrakterler Teknolojisi, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları, s.204-205.
- [9] T.C.Başbakanlık, 2009, Yenilik Araştırması 2006-2008 Haber Bülteni, T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu.
- [10] T.C.Başbakanlık, 2010, 2009 Yılı Araştırma ve Geliştirme Faaliyetleri Araştırması Haber Bülteni, T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu.
- [11] http://www.serfed.com/tr/listing.php/cat_id=11 , [ziyaret tarihi:18.12.2010]
- [12] Saatçioğlu, G., 2010, Türk Seramik Sanayi 1990-2009 Yılları, Türk Seramik Federasyonu, s.1-48.
- [13] Huang, C. Z. Zhang L. He L. Sun J. Fang B. Zou B. Li Z. Q. and Ai X., 2002, A study on the prediction of the mechanical properties of a ceramic tool based on an artificial neural network, pp.399-402.
- [14] Koker, R. Altınkok N. Demir A., 2007, Neural network based prediction of mechanical properties of particulate reinforced metal matrix composites using various training algorithms, pp.616-627 .
- [15] Lucon, P. A. Donovan R. P, 2007, An artificial neural network approach to multiphase continua constitutive modeling, pp.817-823.
- [16] Fernández - Fdz, D. Zaera R., 2008, A new tool based on artificial neural networks for the design of lightweight ceramic-metal armour against high-velocity impact of solids, pp.6369-6383.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [17] Kappatos, V. Chamos A. N. Pantelakis Sp. G., 2010, Assessment of the effect of existing corrosion on the tensile behaviour of magnesium alloy AZ31 using neural networks , pp.336-342 .
- [18] Malinov, S. Sha W. McKeown J. J., 2001, Modelling the correlation between processing parameters and properties in titanium alloys using artificial neural network, pp.375-394s.
- [19] Rao, S. H. Ghorpade V. G. Mukherjee A., 2006, A genetic algorithm based back propagation network for simulation of stress-strain response of ceramic-matrix-composites, pp.330-339 .
- [20] Moreschi, V. Lalot S. Courtois C. Leriche A., 2009, Modelling the tap density of inorganic powders using neural networks, pp.3105-3111 .
- [21] Gill, S. S. Singh J., 2010, An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System modeling for material removal rate in stationary ultrasonic drilling of sillimanite ceramic, pp.5590-5598 .
- [22] Gaitonde, V. N. Karnik S. R. Figueira L. Davim J. P., 2009, Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts, pp.754-763.
- [23] Geçginli E., 1991, İleri Teknoloji Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, s.1-9.
- [24] Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), 2006, T.C. Resmi Gazete, 26215.
- [25] Ricci, C. Miliani C. Rosi F. Brunetti B. G. Sgamellotti A., 2007, Structural characterization of the glassy phase in majolica glazes: by Raman spectroscopy: A comparison between Renaissance samples and replica processed at different temperatures, pp.1054-1059 .
- [26] Bailey, M., 2001, Glazes Cone 6 1240 °C, A&C Black Limited, pp.11.
- [27] Daly, G., 2003, Glazes and Glazing Techniques, A&C Black Limited, pp.8.
- [28] Tanışan, H. H. Mete Z., 1988, Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, Birlik Matbaası, s. 152.
- [29] Ismail, S. A. Rahman A., 2001, Preparation of low melting temperature, lead-free glaze by the sol-gel method, Ceramics International, pp.681-687 .
- [30] German, R. M., 1994, Powder Metallurgy Science, MPIF.
- [31] Palacı, Y., 2001, Alüminanın özelliklerine şekillendirme yönteminin, katkıların ve sinterleme sıcaklığının etkisi , İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [32] German, R. M, 1996, Sintering Theory and Practice , John Willey and Sons.Inc.
- [33] Belyakov, A. V. Zakharov A. I. and Tselykovskaya T. V., 1998, Frill-Like Defect in Glazes in the Context of Synergism, Glass and Ceramics, pp.23-25 .
- [34] Rusovich - Yugail, N. S, 2006, Effect of Dextrin on Properties of Glazes and Ceramic Paints and on the Reduction of Cobalt Oxide, Glass and Ceramics, pp.89-91.
- [35] Maslennikova, G. N. Koehetkova N. F., 1970, Effect of Additions of Certain Oxides on the Properties of Glazes for High -Voltage Porcelain, Glass and Ceramics, pp.543-545.
- [36] Kartal, A. Gürtekin H., 2002, Çeşitli Bor Hammaddelerinin Sırların Davranışlarına Etkileri, Kütahya 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler kitabı, s.48-52 .
- [37] Rasteiro, M. G. Gassman T. Santos R. Antunes E, 2007, Crystalline Phase Characterization of Glass-Ceramic Glazes, Ceramics International, pp.345-354.
- [38] Kuisma, R. Fröberg L. Kymäläinen H. R. Leinonen E. P. Piispanen M. Melamies P. Hautala M. Sjöberg A. M. Hupa L., 2007, Microstructure and cleanability of uncoated and fluoropolymer, zirconia and titania coated ceramic glazed surfaces, Journal of the European Ceramic Society, pp.101-108.
- [39] Torres, F. J. Alarcón J., 2005, Effect of MgO/CaO ratio on the microstructure of cordierite-based glass-ceramic glazes for floor tiles, Ceramics International, pp.683-690.
- [40] Hong, K. J. Kim J. M. Kim H. S., 2006, Microstructure and properties of CaO–ZrO₂–SiO₂ glass–ceramics prepared by sintering, Materials Letters, pp.1607-1612.
- [41] Kar, J. K. Stevens R. Bowen C. R., 2008, Processing and characterisation of various mixed oxide and perovskite-based pigments for high temperature ceramic colouring application, Journal of Alloys and Compounds, pp.77-84.
- [42] Zucchiatti, A. Pascual C. Ynsa M. D. Castelli L. Recio P. Criado E. Valle F. J. Climent Font A., 2007, Compositional Analysis of XVIII Century Glazed, Polychrome, Layered Porcelain by Non-Destructive Micro -PIXE, Journal of the European Ceramic Society, pp.757-762.
- [43] Zanelli, C. Baldi G. Dondi M. Ercolani G. Guarini G. Raimondo M., 2008, Glass–ceramic frits for porcelain stoneware bodies: Effects on sintering, phase composition and technological properties, Ceramics International, pp.455-465.
- [44] Schabbach, L. M. Bondioli F. Ferrari A. M. Manfredini T. Petter C. O. Fredel M. C., 2007, Influence of firing temperature on the color developed by a (Zr,V)SiO₄ pigmented opaque ceramic glaze, Journal of the European Ceramic Society, pp.179-184.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [45] Lavat, A. E. Wagner C. C. Tasca J. E., 2008, Interaction of Co–ZnO pigments with ceramic frits: A combined study by XRD, FTIR and UV–visible, *Ceramics International*, pp.2147-2153.
- [46] Dondi, M. Cruciani G. Guarini G. Matteucci F. Raimondo M., 2006, The role of counterions (Mo, Nb, Sb, W) in Cr-, Mn-, Ni- and V-doped rutile ceramic pigments Part 2. Colour and technological properties, *Ceramics International*, pp.393-405.
- [47] Bolelli, G. Cannillo V. Lusvardi L. Manfredini T. Siligardi C. Bartuli C. Loreto A. Valente T., 2005, Plasma-sprayed glass-ceramic coatings on ceramic tiles: microstructure, chemical resistance and mechanical properties, *Journal of the European Ceramic Society*, pp.1835-1853s.
- [48] Torres, F. J. Ruiz de Sola E. Alar and n, J., 2006, Effect of Boron Oxide on the Microstructure of Mullite-Based Glass-Ceramic Glazes for Floor-Tiles in the CaO–MgO–Al₂O₃–SiO₂ System, *Journal of the European Ceramic Society*, pp.2285-2292.
- [49] Alizadeh, P. Yousefi M. Yekta B. E. Ghafoorian N. Molaie F., 2007, Sintering behavior of SiO₂–CaO–MgO (Na₂O) glass–ceramics system, *Ceramics International*, pp.767-771.
- [50] Kavouras, P. Ioannidis Th. A. Kehagias Th. Tsilika I. Chirssafis K. Kokkou S. Zouboulis A. Karakostas Th., 2007, EAFD-Loaded Vitreous and Glass–Ceramic Materials, *Journal of the European Ceramic Society*, pp.2317-2323.
- [51] Peterson, M. Bernardin A. M. Kuhn N. C. Riella H. G., 2007, Evaluation of the steger method in the determination of ceramic-glaze joining, *Materials Science and Engineering: A*, pp.183-186s.
- [52] Fröberg, L. Kronberg T. Hupa L. Hupa M., 2007, Influence of firing parameters on phase composition of raw glazes, *Journal of the European Ceramic Society*, pp.1671-1675.
- [53] Fraser, H., 1986, *Ceramic Faults and Their Remedies*, A&C Black Publishers Limited, pp.92-121.
- [54] Yalık, A. Uçar A. Nuhoglu İ. Akbaş M., 2004, Eczacıbaşı Duvar Karosu Uygun Sır ve Renklendirme Çalışmaları, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu bildiriler kitabı, s. 173-178.
- [55] <http://web.sakarya.edu.tr/~toplan/Amorf%20Malzemeler%205.hafta.pdf> , [ziyaret tarihi:11.1.2011].
- [56] Bray, C., 2001, *Dictionary of Glass Materials and Techniques*, A&C Black, pp.97-98.
- [57] http://www.glassartists.org/Img195850_cast_float_frit_with_devitrifi.as,[ziyaret tarihi:11.1.2011]
- [58] Bernardin, A. M., 2009, The influence of particle size distribution on the surface appearance of glazed tiles, *Dyes and Pigments*, pp.121-124.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [59] Sağıroğlu, Ş. Beşdok E. Erler M., 2003, Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları, UFUK Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic.Ltd.Şti., s. 2-103.
- [60] Öztemel, E., 2006, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık Eğitim, s. 23.
- [61] Heaton, J., 2008, Introduction to Neural Networks for C#, Heaton Research, Inc, s. 40-42.
- [62] Aleksandır, I. Morton H., 1990, An Introduction to Neural Computing , Chapman&Hall, pp.21-22-33.
- [63] Yurtoğlu, H., 2005, Yapay Sinir Ağları Medadoloji ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Planlama Teşkilatı, s 1-103.
- [64] Kamruzzaman, j. Begg R. K. Sarker R. A., 2006, Artificial Neural Network in Finance and manufacturing , Idea Group Publishing, pp. 4-5.
- [65] http://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi, [ziyaret tarihi:09.01.2011]