



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HACİMLİ METAL CAMLARIN ÜRETİMİ VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİ İLE CAMLAŞMA
YETENEĞİNİN YAPAY SINIR AĞLARI
KULLANILARAK MODELLENMESİ**

Mehmet KABAER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HACİMLİ METAL CAMLARIN ÜRETİMİ VE
MANYETİK ÖZELLİKLERİ İLE CAMLAŞMA
YETENEĞİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI
KULLANILARAK MODELLENMESİ**

Mehmet KABAER

Doç. Dr. İlker KÜÇÜK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA-2010

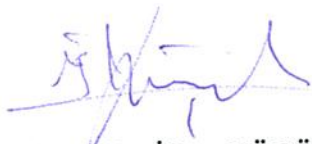
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HACİMLİ METAL CAMLARIN ÜRETİMİ VE MANYETİK ÖZELLİKLERİ
İLE CAMLAŞMA YETENEĞİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK MODELLENMESİ

Mehmet KABAER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

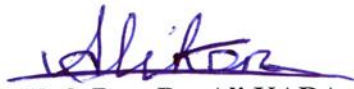
Bu Tez 15/07/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği /oy çokluğu ile
kabul edilmiştir.



Doç. Dr. İlker KÜÇÜK
(Danışman)



Doç. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU



Yrd. Doç. Dr. Ali KARA

ÖZET

Bu çalışmada manyetik hacimli metal camların yapısal, termal ve manyetik özellikleri incelendi. Kimyasal kompozisyonu $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}X_4$ ($X=Nb, Mo_{0.5}W_{0.5}$) olan alaşımlar santrifüj döküm yöntemi kullanılarak üretildi. Bu işlem ile alaşımların hızlı katılaştırılması sağlandı. Üretilen $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Nb_4$ ve $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımlarının kritik kalınlıkları (t_{max}) sırası ile 2 mm ve 1.5 mm olarak belirlendi.

Malzemelerin yapısal analizleri X-ışını kırınımı (XRD) tekniği ile yapıldı. Üretilen hacimli metal camların XRD spektrumlarından elde edilen sonuçlara göre, $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Nb_4$ alaşımı tam amorf yapıda, $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımı ise parçalı amorf yapıda olduğu görüldü. $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımının amorf yapıya sahip olma eğilimi araştırılmak üzere bu alaşım eriyik eğirme yöntemi kullanılarak şerit haline getirildi. Yapılan XRD analizi ile elde edilen şeridin 25 μm kalınlıkta amorf yapıya sahip olduğu anlaşıldı. Malzemelerin termal analizleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) tekniği ile yapıldı. $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Nb_4$ alaşımı için cam geçiş sıcaklığı (T_g) 817 K ve kristalleşme sıcaklığı (T_x) ise 856 K olarak ölçüldü. Aynı alaşım için aşırı soğutulmuş bölge (ΔT_x) 39 K olarak hesaplandı. $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımı içinse T_x 799 K olarak ölçülse de, 1.5 mm kalınlık için belirgin bir cam geçiş sıcaklığı gözlenemedi. Alaşımların manyetik analizleri için titreşken örnek manyetometresi (VSM) kullanıldı. Ölçüm sonuçlarında alaşıma Nb yerine Mo ve W konulduğunda doyum mıknatıslanmasının (M_s) 1.02 T'dan 1.25 T'ya, sıfırlayıcı alanın (H_c) da 19 A/m'den 1685 A/m'ye çıktığı görüldü.

Son olarak da hacimli metal camların camlaşma yeteneğini ve manyetik özelliklerini modellemek için yapay sinir ağları kullanıldı. Manyetik hacimli metal camların camlaşma yeteneğini ve manyetik özelliklerini belirlemek için literatürde daha önceden yayınlanan alaşımların termal ve manyetik özellikleri kullanıldı. Geliştirilen yapay sinir ağlarının öğrenme işlemi genetik algoritma ile gerçekleştirdi. Ağın çıkışında elde edilen manyetik ve camlaşma yeteneğini belirleyen özellikler deneysel veriler ile iyi bir uyum içerisinde olduğu görüldü. Dolayısıyla geliştirilen modeller, hacimli metal camların termal ve manyetik özelliklerinin tahmininde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Manyetik amorf alaşımlar, hacimli metal camları, camlaşma yeteneği, yapay sinir ağı

ABSTRACT

In this study the structural, thermal and magnetic properties of magnetic bulk metallic glasses were investigated. Alloys having $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}$, $\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) chemical composition were fabricated by using centrifugal casting method. This process is based on rapid solidification. The critical thicknesses for fabricated $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ and $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alloys were 2 mm and 1.5 mm, respectively.

The structural characterizations of materials were studied using X-ray Diffraction (XRD). According to the XRD results of the fabricated alloys, it was seen that alloy $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$'s structure was totally amorphous and alloy $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$'s structure was partially amorphous. To investigate the tendency of $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alloy on having the amorphous structure, this alloy was fabricated as a ribbon by using melt spinning method. With the results of the XRD analysis, it was seen that fabricated ribbon had amorphous structure with 25 μm thickness. The thermal characterizations of materials were measured by the differential scanning calorimetry (DSC) technique. It was measured for the alloy $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$, glass transition temperature (T_g) as 817 K and crystallization temperature (T_x) as 856 K. For the same alloy, super cooled region (ΔT_x) was calculated as 39 K. Although the crystallization temperature for $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alloy was measured as 799 K, no observable distinct glass transition was seen for the same alloy. The magnetic characterizations of samples were measured by the vibrating sample magnetometer (VSM) technique. It was seen from the results that, if we substitute Nb for Mo and W, the saturation magnetization was increased from 1.02 T to 1.25 T and also coercivity was increased from 19 A/m to 1685 A/m.

Finally, the artificial neural network was used to model the glass forming ability and magnetic properties of magnetic bulk metallic glasses. Previously reported data in the literature was used to calculate the glass forming ability and magnetic properties of magnetic bulk metallic glasses. The developed network has been trained by genetic algorithm. The neural network has been successfully applied for the prediction of the glass forming ability and magnetic parameters of bulk glassy alloys and the results are found to be in a very good agreement with the experimental data. So the developed network model can be used for the prediction of glass forming ability and magnetic parameters of bulk metallic glasses.

Key Words: Magnetic amorphous alloys, bulk metallic glasses, glass forming ability, neural network

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	4
2.1 METAL CAM KAVRAMI	4
2.2 AMORF MALZEMELERİN YAPISI	5
2.3 METAL CAM OLUŞUMU	6
2.4 CAMLAŞMA YETENEĞİ	9
2.5 METAL CAMLARIN MANYETİK ÖZELLİKLERİ	11
2.5.1 Manyetik Metal Camların Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları.....	14
2.6 YAPAY SİNİR AĞLARI	15
2.6.1 Bir Ağın Öğrenme Aşamaları	17
2.6.2 Genetik Algoritma.....	18
2.7 YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANIM ALANLARI	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1 ÜRETİM YÖNTEMİ	21
3.1.1 Alaşımın Hazırlanması.....	22
3.1.2 Alaşımın Ark Eritme Cihazı ile Homojen Hale Getirilmesi	23
3.1.3 Santrifüj ile Hızlı Katılaştırma	25
3.1.3.1 Bakır Kalıbın Özellikleri.....	26
3.2 ÖLÇÜM SİSTEMLERİ	27
3.2.1 X-Işını Kırınımı (XRD)	27
3.2.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC).....	29
3.2.2.1 DSC Eğrisi.....	29
3.2.2.2 Hal Geçişlerinin Tespiti.....	29
3.2.2.3 DSC Eğrisinin Özellikleri.....	31
3.2.3 Titreşken Örnek Manyetometresi (VSM)	32
3.3 YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TERMAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİN MODELLENMESİ	35
4. ARAŞTIRMA VE SONUÇLAR	37
4.1 YAPILAN ÇALIŞMALARLA BİR BAKIŞ	37
4.2 ÜRETİLEN MALZEMELER İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	37

4.2.1	Yapısal Analiz.....	38
4.2.2	Termal Analiz.....	39
4.2.3	Manyetik Analiz.....	41
4.2.4	Amorf Şerit İle İlgili Sonuçlar	43
4.2.4.1	Yapısal Analizi	43
4.2.4.2	Termal Analizi.....	45
4.3	YAPAY SİNİR AĞLARI SONUÇLARI	46
4.3.1	Manyetik Özelliklerin Tahmin Sonuçları.....	47
4.3.2	Camlaşma Yeteneğini Belirleyen Özelliklerin Tahmini	51
5.	TARTIŞMA.....	58
	KAYNAKLAR	61
	TEŞEKKÜR	65
	ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Adı
T_g	Cam geçiş sıcaklığı
T_x	Kristalleşme sıcaklığı
ΔT_x	Aşırı soğutulmuş bölge
t_{max}	Kritik kalınlık
T_{rg}	İndirgenmiş cam geçiş sıcaklığı
M_s	Doyum mıknatıslanması
A	Alan
d	Kristal düzlemleri arasındaki uzaklık
H	Manyetik alan şiddeti, sistemin entalpisi
n	Yansıma mertebesi
Φ	Manyetik akı
θ	Bragg açısı
2θ	Kırınım açısı
λ	X-ışını dalgaboyu
ρ	Yoğunluk
B	Manyetik akı yoğunluğu
μ	Manyetik geçirgenlik
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği
M	Mıknatıslanma
B_r	Artık manyetik akı yoğunluğu
M_r	Artık mıknatıslanma
W_N	N. giriş verisinin ağırlığı
A_N	N. atomun molekül kütlesi
M_N	N. elementin alaşımdaki kütlesi
K	Kalorimetrik sabit, Kelvin cinsinden sıcaklık
G	Sistemin serbest enerjisi
S	Sistemin entropisi
ε	İndüklenen emk

J	Tesla cinsinden mıknatıslanma
J_s	Tesla cinsinden doyum mıknatıslanması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Metal camların (a) ve kristal malzemelerin (b) atom dizilimlerinin şematik gösterimi..	5
Şekil 2.2 Cam (a) ve kristal (b) yapıların atomik boyuttaki dizilimleri.	6
Şekil 2.3 Eriyik haldeki alaşımlar için TTT (Zaman-Sıcaklık-Geçiş) diyagramı.	11
Şekil 2.4 Histeresis eğrisi ve bazı manyetik özellikler.	13
Şekil 2.5 Basit bir ağ yapısı.	16
Şekil 2.6 Yapay sınır ağının matematiksel modeli.	17
Şekil 3.1 Saf elementlerin alındığı bakır tabla.	24
Şekil 3.2 Saf elementlerin eriyik hale geldiği vakum odası.	24
Şekil 3.3 Ark eritme cihazı.	25
Şekil 3.4 Santrifüj döküm makinesi	26
Şekil 3.5 Dökülen alaşımın şematik gösterimi.	26
Şekil 3.6 X-ışını kırınımının şematik gösterimi.	27
Şekil 3.7 X-ışını kırınımı.	28
Şekil 3.8 DSC eğrisi ve özellikleri	31
Şekil 3.9 Titreşken Örnek Manyetometresi (VSM).	33
Şekil 3.10 VSM bobinleri	34
Şekil 3.11 Kullanılan modelleme tekniğinin şematik gösterimi	36
Şekil 4.1 $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}X_4$ ($X=Nb, Mo_{0.5}W_{0.5}$) alaşımları için XRD sonuçları.	38
Şekil 4.2 $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}X_4$ ($X=Nb, Mo_{0.5}W_{0.5}$) alaşımları için elde edilen DSC eğrileri	40
Şekil 4.3 $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Nb_4$ alaşımı için elde edilen VSM sonuçları	42
Şekil 4.4 $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımı için elde edilen VSM sonuçları.	42
Şekil 4.5 $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımından elde edilen şeridin XRD sonuçları.	44
Şekil 4.6 $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımından üretilen şerit için elde edilen DSC eğrisi.	45
Şekil 4.7 Üretilen şeritten küçük bir kesit.	46
Şekil 4.8 Ağın tahmin ettiği ve gerçek M_s değerlerinin değişimi.	48
Şekil 4.9 Ölçülen H_c değerlerinin ağın çıkışı ile değişimi.	49

Şekil 4.10 Öğrenmeye dahil olmayan test verileri için tahmin edilen ve ölçülen manyetik özelliklerin (M_s ve H_c) yoğunluk ile değişimi.....	50
Şekil 4.11 Ölçülen ve ağırlık çıkışı arasındaki T_g değerlerinin dağılımı.....	52
Şekil 4.12 Öğrenmeye dahil olmayan 3 test verisi için ölçülen T_g değerlerinin ağırlık çıkışı ile değişimi.....	53
Şekil 4.13 Ölçülen T_g değerlerinin ağırlık çıkışı ile değişimi.....	54
Şekil 4.14 Öğrenmeye dahil olmayan test verileri için T_g ve T_x değerlerinin ağırlık çıkışı ile değişimi.....	55
Şekil 4.15 Öğrenmeye dahil olmayan test verileri için tahmin edilen ve ölçülen T_{rg} ile t_{max} değerlerinin yoğunluk ile değişimi.....	56

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1 Yapay sinir ağlarının yapabildiği işlemler ve uygulama alanları	19
Tablo 3.1 Toplam 7 gram $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19,2}\text{Si}_{4,8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ hazırlamak için yapılan kütle hesaplamaları.	23
Tablo 3.2 Toplam 7 gram $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19,2}\text{Si}_{4,8}\text{Nb}_4$ hazırlamak için yapılan kütle hesaplamaları.	23
Tablo 4.1 Üretilen alaşımların termal özellikleri ve kritik kalınlıkları	40
Tablo 4.2 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19,2}\text{Si}_{4,8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}, \text{Mo}_{0,5}\text{W}_{0,5}$) alaşımları için ölçülen manyetik özellikler.	41
Tablo 4.3 Uygulanan ağın istatistiksel performansı.....	48
Tablo 4.4 Manyetik alaşımların manyetik özellikleri için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması.	51
Tablo 4.5 Ağın istatistiksel performansı.	52
Tablo 4.6 Öğrenmeye dahil olmayan 3 manyetik alaşım için ölçülen T_g değerlerinin ağ çıkışı ile karşılaştırılması	53
Tablo 4.7 Manyetik alaşımların camlaşma yeteneğini belirleyen özellikleri (T_g, T_x, T_{rg} ve t_{\max}) için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması.....	57

1. GİRİŞ

Bir metalin sıvı haldeyken, kristalleşmeden hızlı soğutulularak elde edilen katı hali cam veya amorf olarak adlandırılır. Cam yapıyı oluşturan alaşımda kullanılan elementlerin çoğunun metal olması sebebiyle bu malzemelere metalik camlar denilir. Ani katılaştırma işlemi sırasında sıcaklık öyle hızlı azaltılır ki, madde kristalleşmeden camsı bir durumda hapsolür. Eğer soğuma oranı eriyik haldeki alaşımı amorf yapısında “donduracak” kadar büyükse cam yapılar oluşur. Kristalleşmenin tamamen önlendiği bu hızlı katılaştırma işlemi 1960’da Duwez tarafından altın-silisyum içeren alaşımda keşfedilmiş ve katı metalik alaşımlarda atomların düzensiz dağılımı ilk kez gözlenmiştir (Duwez ve ark. 1960). Kristallerin düzgün ve sıralı yapılarının aksine metal camlar amorf yapıya sahiptirler.

İlk metalik cam çalışmaları sadece kuramsal çalışmalarla başladı. Bunun nedeni kristalleşmenin önüne geçebilmek için en az 10^6 - 10^8 °C gibi muazzam soğuma oranlarına ihtiyaç duyulmasıydı. Amorf yapının oluşması hızlı katılaştırmaya dayandığından, bu da yapının ulaşabileceği maksimum kalınlığa bir sınır getirmekteydi. Dolayısıyla üretilen malzemeler yüksek soğuma oranına sahip sistemlerin olmaması nedeniyle zayıf camlaşma yeteneğine sahipti ve ancak;

- ❖ kalınlığı 50 nm’den küçük şerit halinde,
- ❖ çapı 120 nm’den küçük tel halinde,

üretilebiliyordu (Hagiwara ve ark 1982). Dolayısıyla endüstriyel uygulamalar için, daha yüksek camlaşma yeteneğine yani daha fazla kalınlığa sahip alaşımların üretilmesi istenmekteydi. Metalik camların kristal rakiplerine göre gelecek vadeden üstün mekanik ve manyetik özellikleri, araştırmacıların düşük soğuma oranlarında cam oluşturacak ve böylece hacimli üretilmelerini mümkün kılacak yeni alaşımları araştırmasına yol açmıştır. 1980’lerin sonlarına doğru, Japonya’dan Inoue ve arkadaşları nadir toprak elementleri ile alüminyumlu ve demirli metalleri araştırmışlardır. Daha düşük hızlarda soğutma yapılması çalışılırken, Ln-Al-Ni ve Ln-Al-Cu alaşımlarında yüksek cam

oluşturma yeteneği saptamışlardır. Eriyik haldeki alaşımları, su soğutmalı Cu kalıplara dökerek birkaç milimetre kalınlığında tamamen camsı çubuklar elde etmişlerdir. 1991’de yine aynı grup, camsı Mg-Cu-Y ve Mg-Ni-Y alaşımlarını geliştirmişlerdir. Aynı zamanlarda, yüksek cam oluşturma kabiliyetine ve termal kararlılığa sahip Zr-bazlı Zr-Al-Ni-Cu alaşımlarını geliştirmişlerdir (Wang ve ark. 2004).

İlk ferromanyetik amorf alaşım ise 1995’te Fe-(Ga-Al)-(P-C-B) çok bileşenli alaşım sisteminden elde edilmiştir. 1995’ten bu yana yapılan çalışmalar sonucunda birçok Fe, Co ve Ni bazlı manyetik hacimli metalik cam üretilmiştir (Inoue ve ark. 2008)

Bu manyetik alaşımların içerdikleri elementler şu şekildedir:

- ❖ Fe - (Al,Ga,Mo,Co) - (B,C,Si,P)
- ❖ Fe - (Co,Ni) - (Zr,Nb,Hf,Ta,Mo,W) - B
- ❖ Fe - (Nb,Ta) - (Mo,Cr) - C - B
- ❖ Fe - Ni - P - B
- ❖ (Fe,Co) - Ln - B (Ln:Lantanitler)

Daha sonra üretim yöntemlerinin gelişmesi ile üstün mekanik ve manyetik özelliklere sahip hacimli metal camlar üretilmeye başlanmıştır. Son yıllarda metal camların özellikleri hakkında yapılan çalışmalarda büyük bir artış vardır. Bununla birlikte bu konu üzerine birçok konferanslar düzenlenmekte, bilimsel toplantılar ve yayınlar yapılmaktadır.

Bu çalışma, hızlı katılaştırma ile iki farklı kimyasal kompozisyona $[Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}X_4]$ ($X=Nb, Mo_{0.5}W_{0.5}$) sahip hacimli metal camların üretimi, yapısal, termal ve manyetik özelliklerinin incelenmesi ve literatürdeki manyetik hacimli metal camların deneysel verilerini kullanarak, camlaşma yeteneğinin ve manyetik özelliklerin modellenmesi ile ilgilidir. Yapay sınır ağları yardımı ile geliştirilen modelleme teknikleriyle, camlaşma yeteneğini belirleyen özelliklerini bildiğimiz malzemelerin manyetik özelliklerinin tahmini ve sadece kimyasal kompozisyonu belirlenen

alaşımın camlaşma yeteneğini belirleyen özelliklerinin tahminleri de bu çalışmada yer almıştır.

Bu tez “Giriş, Kuramsal Bilgi, Materyal ve Yöntem, Araştırma ve Sonuçlar ve Tartışma” olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

İlk bölüm olan Giriş bölümünde daha önce yapılan çalışmalar hakkındaki bilgiler ve metal camların kısa bir tarihçesi tanıtılmaktadır. İkinci bölümde hacimli metal cam kavramı, bu malzemelerin yapıları ve oluşumu, camlaşma yeteneği ve yapay sinir ağları hakkında kuramsal bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölüm olan Materyal ve Yöntem’de incelenen malzemelerin üretim yöntemi aşamalar halinde anlatılmıştır. Ayrıca malzemelerin yapısal, termal ve manyetik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan, X-ışını kırınımı (XRD), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ve titreşken örnek manyetometresi (VSM) hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca camlaşma yeteneğini belirleyen termal ve manyetik özelliklerin modellenmesinde kullanılan yapay sinir ağları da bu bölümde açıklanmıştır. Araştırma ve Sonuçlar kısmında üretilen hacimli metal camların deneysel olarak elde edilen X-ışını diyagramları, diferansiyel taramalı kalorimetre grafikleri ile birlikte camlaşma yeteneği özellikleri, histeresis eğrileri ve yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilen modelleme sonuçları verilmiştir. Tartışma bölümünde ise bu verilerin yorumları yer almaktadır.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Metal Cam Kavramı

Metal cam oluşumunu anlayabilmek için öncelikle cam kavramını bilmemiz gerekir. Günümüzde cam genellikle eriyik halden cam geçişi denilen bir hal geçişi sonucu katı hale gelen malzemeler için kullanılan genel bir terimdir. Cam yapılar belirli bir cam geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu sıcaklıktan sonra malzeme camsı bir yapıya sahip olur. Fakat sıcaklık daha fazla arttırılırsa bir noktadan sonra malzemenin yapısı kristal yapıya geçiş yapar. Bu sıcaklıkta kristalleşme sıcaklığı olarak adlandırılır. Bu hal geçişleri, cam geçiş sıcaklığı ve kristalleşme sıcaklığı gibi camlaşmayı belirleyen özellikler daha sonraki bölümlerde açıklanacaktır.

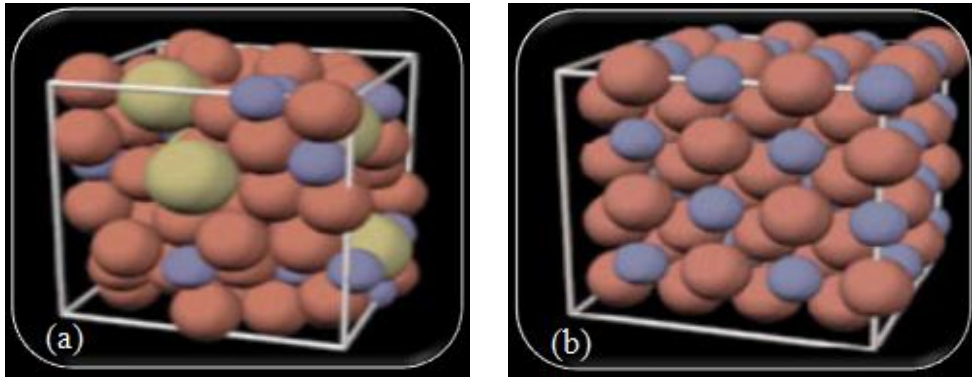
Cam yapıları oluşturan elementlerin çoğu metal olduğundan dolayı bu tür yapılara “Metal (Metalik) Cam” denir. Metal camlar çoğunlukla metal-metal, metal-metaloit ve camlaşmaya yardımcı bir ya da daha fazla elementin biraya gelmesiyle oluşur. Metal camlar içerdiği elementlerden yüzde olarak en fazla yüzdeye sahip elementin adı ile anılırlar. Örneğin numunede demir oranı fazla ise Fe-bazlı cam alaşım olarak adlandırılırlar.

Metalik cam alaşımları içerdikleri elementlere göre üstün manyetik veya mekanik özelliklere sahip olurlar. Örneğin numuneye iyi manyetik özellikler kazandırmak isteniliyorsa alaşımı oluşturan kimyasal kompozisyonun yüksek miktarda Fe, kobalt (Co) yada nikel (Ni) içermesi gerekmektedir. Ayrıca benzer şekilde Fe-Co, Fe-Ni veya Ni-Co ikilileri de tercih edilebilir. Fe, Co ve Ni geçiş elementleri olarak bilinir ve manyetik özelliği en belirgin olan maddelerdir. Manyetik tercihleri ferromanyetikdir. Zayıf bir manyetik alan içerisinde bulduklarında bile manyetik alan yönünde net bir mıknatıslanmaya sahip olurlar. Dolayısıyla camların manyetik özellik

kazanabilmesi için alaşım en az % 70 oranında Fe, Co ve/veya Ni içermelidir. Alaşımlar bu oranın biraz altında da manyetik özellikler kazanabilse de bu yeterli ve istenilen düzeyde olmamaktadır.

2.2 Amorf Malzemelerin Yapısı

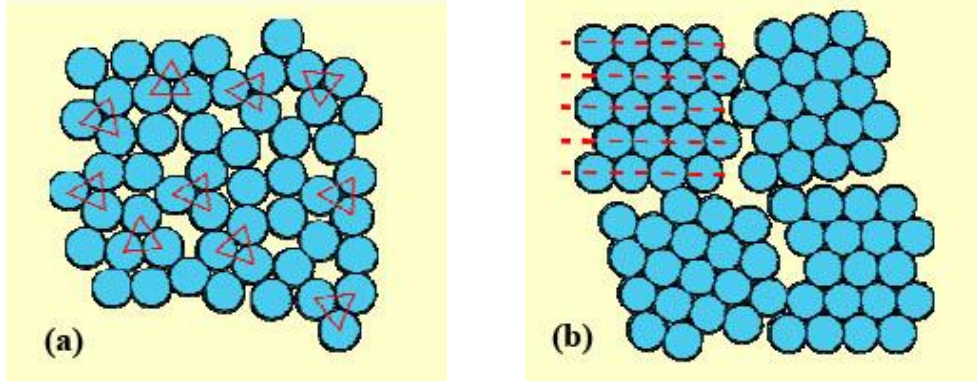
“Cam” ve “Amorf Katı” genellikle aynı tür malzemeleri tarif etmek için kullanılır. Dolayısıyla metal camların amorf yapıda olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 2.1’de metal camların ve kristalin atom dizilimleri gösterilmiştir. Kristal yapıya sahip maddelerde atomların düzgün, sıralı ve birbirlerini tekrar eden bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ama amorf yapılar için aynı düzenin varlığından bahsetmek mümkün değildir. Metal camlar kristal yapıda olduğu gibi düzgün ve sıralı bir yapıya sahip değildirler.



Şekil 2.1 Metal camların (a) ve kristalin malzemelerin (b) atom dizilimlerinin şematik gösterimi.

Fakat şunu da unutmamak gereklidir ki gerçekten camların yapıları atomların rastgele bir dağılımından oluşmuş değildirler. Çünkü iki atom ne tipik bir bağ mesafesinden yakın ne de birkaç en yakın komşu atom mesafesinden uzak olamaz (Miller ve Liaw 2008). Bununla birlikte camlar atomik boyutta bakıldığında kendi aralarında bir düzene sahiptirler. Şekil 2.2 cam alaşımlardaki ve kristal yapı

maddelerin atom dizilimlerini göstermektedir. Kristal yapıda atomlar düzgün ve sıralı dizilmişlerdir. Bu düzen kristalde geniş bir boyutta devam etmektedir. Diğer taraftan cam yapılara baktığımızda atomlar ancak birkaç en yakın komşu atom mesafesinde kendini tekrar eden bir düzendedir.



Şekil 2.2 Cam (a) ve kristal (b) yapıların atomik boyuttaki dizilimleri

Üretilecek malzemenin camlaşabilme yeteneğinin altında yatan önemli etkenlerden biri de sahip olduğu atomik yapısıdır. Metal camların bu atom dizilimleri bazı avantajları da beraberinde getirmektedir. Örneğin camlar kristaller gibi düzenli bir yapıda olmamalarına rağmen izotropik katı özelliği gösterirler. Yani cam yapıya sahip malzemeler her yönden aynı özelliği gösterir. Camların bu yapıları üstün mekanik ve manyetik özelliklere sahip olmasının nedenlerinden birisidir (Miller 2008).

2.3 Metal Cam Oluşumu

Metal cam oluşumu eriyik haldeki alaşımın hızlı katılaştırılmasına dayanır. Ani katılaştırma işlemi sırasında sıcaklık öyle hızlı azaltılır ki, madde kristalleşmeden camsı bir durumda hapsolür. Cam oluşumu için yeterli şartların sağlandığı hızlı katılaştırma işlemi ile malzemenin kristal oluşturması engellenmiş olur ve malzemenin amorf bir yapıya sahip olması sağlanır.

Hacimli metal cam oluşturmak üzere hazırlanan alaşımlar üretim işlemleri sonucunda cam oluşturamayabilir. Üretim yönteminin hacimli metal cam oluşumu üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Alaşım bir üretim yönteminde cam oluşturamazken farklı bir üretim yöntemi kullanıldığı zaman başarılı sonuçlar elde edilebilir. Fakat bu etkenler camlaşma için yeterli değildir. Öyleyse asıl sorulması gereken soru şudur:

❖ “ Hangi alaşımlar hacimli metal cam oluşturabilir? ”

Hacimli metal cam oluşumu için gerekli olan şartlar hakkında kesin bir yargıya ulaşılamamıştır. Dolayısıyla bu konu üzerinde yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar devam etmektedir.

Bu zamana kadar hacimli metal camların (BMG) oluşumu için deneysel tecrübeler dayanan şu üç kurala ulaşılmıştır (Inoue 2000):

- ❖ Hacimli metal camların elde edilebilmesi için alaşım, üç ya da daha fazla element içermelidir,
- ❖ Alaşımı oluşturan temel elementlerin atom çapları arasında en az %12 fark olmalıdır,
- ❖ Elementler birbiri ile negatif karışma entalpisi göstermelidir.

Hacimli metal cam üretimi için hazırlanacak alaşım en az üç elemente sahip olmalıdır. Bu şekilde eriyik haldeki alaşımın hızlı katılaştırma ile camlaşması sırasında elementler daha yüksek potansiyel enerjiye sahip olacak şekilde bir araya gelirler. Kristal yapılar amorf yapılara göre daha kararlı olduklarından bu düzen elementlerin kristal oluşturma olasılığını azaltacaktır.

Benzer şekilde alaşımı oluşturacak temel elementlerin atom çapları arasında en az %12 fark olması, malzemenin daha yüksek paketleme oranına sahip olması manasına

gelir. Diğer taraftan cam oluşumu sırasında elementler bir araya gelirken atomlar arasındaki boşluklar da azalacaktır. Atomların bu düzenini şu olaya benzetebiliriz:

İçerisi irili ufaklı taşlarla tam dolu olan bir akvaryum düşünelim. Bu akvaryuma daha fazla taş yerleştirmeye çalışırsak sonuçta başarısız olacağımız kaçınılmaz bir gerçektir. Ama benzer şekilde taş yerine daha ufak parçalı yapıya sahip kum eklersek, kum taşların arasındaki boşluklara dolmaya başlayacaktır. Akvaryumu bu şekilde kumlarla tamamen doldurduğumuzu düşünelim. Başta taşlarla tam dolu olan akvaryum şimdi taşlar ve kumla tam dolu olmuş oldu. Artık ne daha fazla taş ne de daha fazla kum eklenebilir. Diğer taraftan eğer akvaryuma su katmayı denersek su, taş ve kumların aralarındaki boşlukları doldurmaya başlayacaktır. Böylece kademeli olarak akvaryumdaki boşluklar azalacak ve maddeler akvaryum içerisinde daha sıkı ve birbirlerine daha yakın şekilde yerleşmiş olacaktır.

Şimdi bu verdiğimiz örneği hacimli metal camların yapısı olarak düşünelim. Akvaryumu amorf yapının herhangi bir belirli hacmi olarak ele alalım. Bu hacim içerisindeki irili ufaklı taşlar, hacimli metal camı oluşturan temel elementleri temsil etmektedir. Daha sonra ise kum ve suyu, hacimli metal cam oluşturmak için hazırlanan alaşımın camlaşmasına yardımcı olan elementler olarak düşünebiliriz. Bu elementler kimyasal kompozisyonda temel elementlere göre daha küçük bir yüzdeye sahiptirler ve metal camların yapılarında temel atomların aralarına girerek amorf yapının oluşumuna katkıda bulunurlar. Dolayısıyla hacimli metal camları elde edebilmek için öncelikle alaşım içerisinde doğru elementleri bir araya getirerek uygun kimyasal kompozisyonu oluşturabilmek önemlidir. Kısaca şunu söyleyebiliriz ki, cam oluşturmak için bir araya gelen elementler arasında belirgin bir uyum olmalıdır. Ancak bu uyumlu düzenin sağladığı durumlarda hacimli metal camları üretmek mümkün olacaktır.

Elementlerin negatif karışım entalpi göstermesi cam oluşumunu termal açıdan etkilemektedir. Yukarıda belirtilen son kural ise kristal oluşumunu engeller ve eriyik haldeki maddenin aşırı soğutulmuş bölgede kalma süresini arttırır. Bu bölge cam geçiş sıcaklığı (T_g) ile kristalleşme sıcaklığı (T_x) arasında kalan bölgedir ve bu aralıkta

malzeme kristal yapıya nazaran yarı kararlı bir durumdadır. Cam oluşturan sıvıların sıvı hal kararlılığı iki durum içerir:

- (1) denge durumunda sıvının kararlılığı (kararlı durum)
- (2) soğutma sırasında sıvının kararlılığı (yarı kararlı durum).

Cam oluşturan sistemlerin her zaman farklı sıvı hal kararlılıkları vardır. Bundan dolayı alaşımlar bu bölgede kristalleşmeye karşı farklı dirençler gösterirler. Alaşımın kristalleşmeye karşı gösterdiği bu direnç üretilen malzemenin camlaşma yeteneği olarak adlandırılır. Ayrıca aşırı soğutulmuş bölge ne kadar geniş ise metalik cam alaşımı da termal açıdan o kadar kararlıdır.

Inoue'nin belirlediği deneysel kurallara sahip alaşımların neden yüksek cam oluşturma yeteneğine sahip oldukları araştırılmıştır. Çok bileşen içeren amorf alaşımlar için elde edilen deneysel verilere dayanarak, amorf alaşımların yapılarının:

- (a) yüksek derecede rastgele paketlenmiş atomik düzene,
- (b) ilgili kristalin fazlardan farklı olan yeni bölgesel atomik dizilime,
- (c) uzun ölçekte bileşenlerinin homojen atomik dizilime,

sahip olduğu açıklanmıştır (Inoue 2000).

2.4 Camlaşma Yeteneği

Camlaşma yeteneği eriyik haldeki sıvı alaşımın belirli kristal fazları oluşturmadan amorf yapı oluşturmak üzere nasıl soğutulabileceği ile ilgilidir. Diğer taraftan camlaşma yeteneği kritik soğutma hızı (R_c) ve amorf yapıda üretilebilecek en fazla kalınlık (t_{max}) ile doğrudan belirlenebilir. R_c ne kadar küçük ve t_{max} ne kadar büyük olursa, alaşımın camlaşma yeteneği de o kadar yüksek olur. Fakat kritik soğutma hızının deneysel olarak ölçülmesi zordur ve üretilebilecek en fazla kalınlık da üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir.

Alaşımın camlaşma yeteneğini belirlemek için T_g , T_x ve erime sıcaklığı (T_m) kullanılarak çeşitli özellikler geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlardan ikisi araştırmacılar tarafından yaygın olarak verilmektedir (Miller 2008). İlki indirgenmiş cam geçiş sıcaklığıdır ve

$$T_{rg} = \frac{T_g}{T_m} \quad (2.1)$$

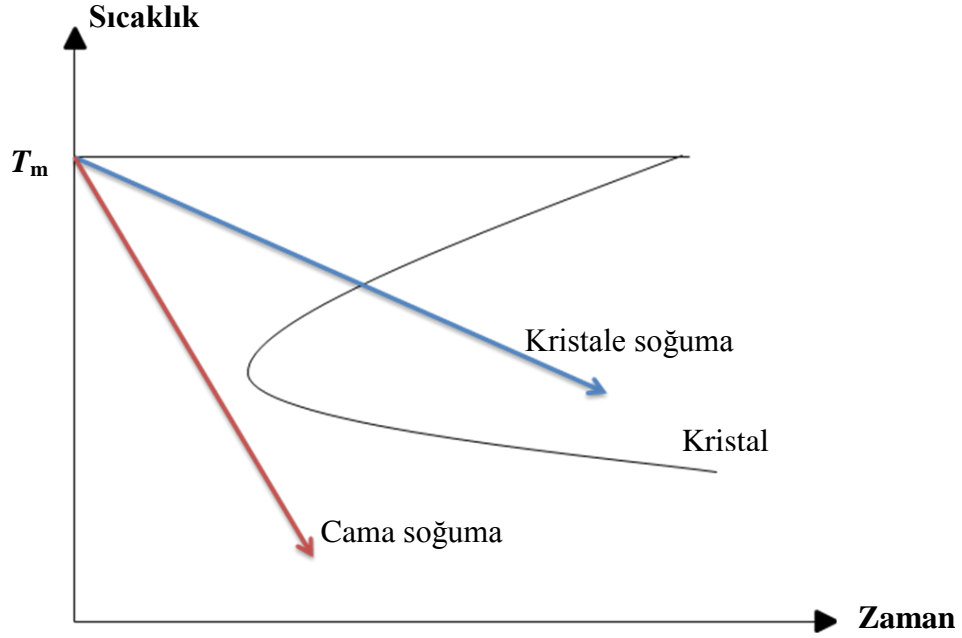
formülü ile belirlenir. Bir alaşım için T_{rg} değerinin artması cam oluşumu için gerekli soğutma hızının düşmesi ve böylece daha düşük soğutma hızlarında, daha kalın camlar üretilebilmesi anlamına gelir. Diğer özellik ΔT_x , cam geçiş sıcaklığı ile kristalleşme sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkıdır.

$$\Delta T_x = T_x - T_g \quad (2.2)$$

Bu özellik aşırı soğutulmuş sıvı bölgesini gösterir ve ne kadar geniş olursa camlaşma yeteneği o kadar yüksek olur. Çünkü bu bölgenin genişliği alaşımın kristalleşmeye karşı gösterdiği dirençle doğru orantılıdır.

Şekil 2.3 eriyik haldeki alaşımlar için TTT (Zaman-Sıcaklık-Geçiş) diyagramının gösterimidir. Eriyik haldeki bir alaşım erime noktasının altındaki sıcaklıklara soğutulursa, ya kristalleşme gerçekleşir ya da eriyik bir aşırı soğutulmuş sıvı halini alır. Soğuma sırasında eriyiğin takip ettiği yol soğuma orana bağlı olarak değişir. Düşük bir soğuma oranı için atomlar kendilerini sıralayarak bir katı kristal oluşturmak için yeterli zamana sahip olurlar. Dolayısıyla cam oluşumu için daha yüksek soğuma oranları gerekmektedir. R_c değerinden hızlı bir soğuma oranı için kristalleşme engellenir ve bir aşırı soğutulmuş sıvı elde edilir. Bu aşırı soğutulmuş sıvı, yüksek bir viskozite gösterir. Bu da aşırı soğutulmuş sıvının erime sıcaklığının üstündeki haline göre, akışa daha büyük direnç göstermesi anlamına gelir. Aşırı soğutulmuş sıvı daha da fazla soğutuldukça viskozitesi artar ve atomlar öylesine yavaş hareket ederler ki sonunda hareketsiz kalarak bir cam oluştururlar (Wadhwa 2007).

Kısaca, cam oluşumu hızlı katılaştırmaya dayanır ve eriyik haldeki alaşımın cam geçişi belirli bir soğutma oranının üzerindeki durumlar için gerçekleşir. Bu sınır, R_c ile belirlenir.



Şekil 2.3 Eriyik haldeki alaşımlar için TTT (Zaman-Sıcaklık-Geçiş) diyagramı

2.5 Metal Camların Manyetik Özellikleri

Bu kısımda üretilen malzemelerin sahip olacağı bazı manyetik özellikler ve temel manyetizma bilgileri ele alınmıştır.

Manyetik alan (H), elektronların hareketi sonucu oluşmaktadır. Bir iletken üzerindeki elektrik akımı manyetik alan kaynağıdır. Ayrıca manyetik alan sabit bir mıknatısla da oluşturulabilir. Bu durumda elektrik akımı yoktur. Fakat sabit mıknatısın içindeki elektronların yörüngesel ve spin hareketleri vardır. Manyetik alan, hem akım taşıyan bir iletkende hem de sabit bir mıknatısta bir kuvvet oluşturmaktadır (Jiles 1991).

Akımla bir ortamda manyetik alan oluşturulduğu zaman ortamın tepkisi manyetik akı yoğunluğudur (B). Manyetik alan uzayda nerede varsa orada manyetik akı (ϕ) var

demektir. 1 metrekarede 1 Weber'lik manyetik akının oluşturduğu manyetik akı yoğunluğu 1 Tesla'dır. Manyetik indüksiyon ile manyetik alan arasındaki ilişki, ortamın manyetik geçirgenliği (μ) olarak isimlendirilir. Birçok ortamda B , H 'nin doğrusal fonksiyonudur. Boşluk için manyetik alanla manyetik indüksiyon arasındaki bağıntı,

$$B = \mu_0 H \quad (2.3)$$

şeklindedir. Burada μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği olup değeri $4\pi 10^{-7}$ H/m'dir. Eğer B 'nin değeri bilinirse H 'nin değeri bu bağıntıdan hesaplanabilir. Fakat ferromanyetik maddelerde B , H 'nin doğrusal bir fonksiyonu değildir ve ortamın manyetik geçirgenliği manyetik indüksiyonla değişmektedir. Bu yüzden bir ferromanyetik maddenin B - H eğrisi o madde hakkında birçok bilgi vermektedir. Ferromanyetik maddelerde B ve H arasındaki bağıntı,

$$B = \mu H \quad (2.4)$$

ile verilir. Burada μ ortamın manyetik geçirgenliği olup, manyetik indüksiyona bağlı olarak doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir.

M mıknatıslanmayı göstermek üzere, B , H ve M arasındaki ilişki,

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2.5)$$

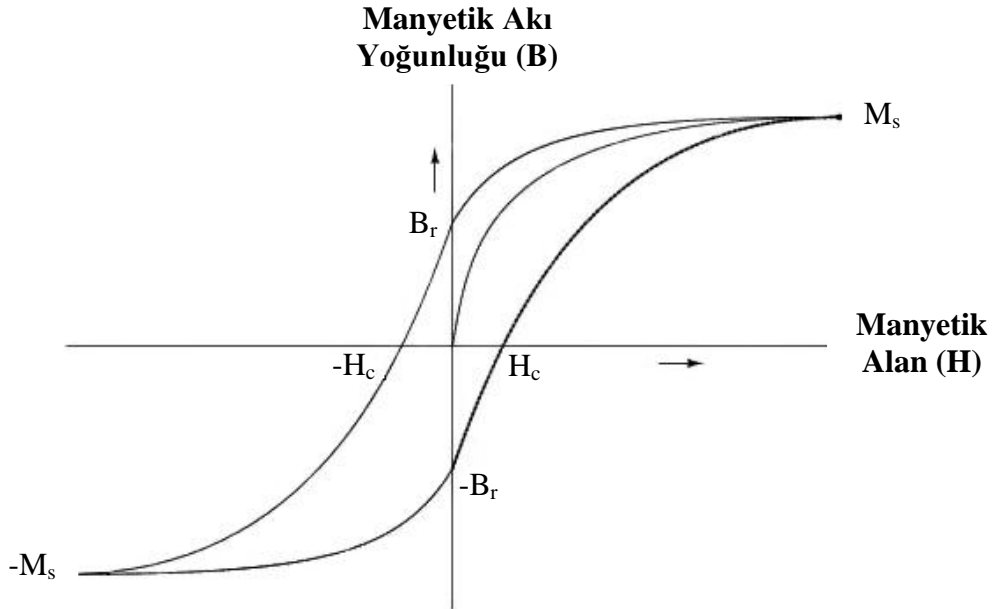
ile verilir. M mıknatıslanması sıfırlanmış veya hiç mıknatıslanmamış bir ferromanyetik madde için sıfırdır (Jiles 1999).

Şekil 2.4'te birçok manyetik özelliğin belirtildiği tipik bir histeresis eğrisi gösterilmiştir. Bu eğriye bakarak malzemelerin önemli manyetik özellikleri belirlenebilir. Histeresis eğrileri H 'nin B 'ye göre değişimi incelenerek elde edilir. Bununla birlikte B yerine M 'de kullanılmaktadır.

Başlangıçta malzemenin mıknatıslanmasının sıfır olduğunu düşünelim. Bir yönde manyetik alan uygulanmaya başladığında bu durum manyetik akı yoğunluğuna neden olur. Manyetik alan arttırılmaya devam edilirse bir noktadan sonra malzeme doyuma ulaşacaktır. Doyuma ulaşan maddenin sahip olduğu tüm manyetik momentler manyetik alanla aynı yönde yönelmiş olurlar. Manyetik doyum, manyetik momentlerin büyüklüğü ve sayısı ile doğru orantılıdır ve bu değere de doyum mıknatıslanması (M_s) adı verilir.

Malzeme mıknatıslanıp doyuma ulaştıktan sonra manyetik alan sıfıra götürülürse, malzeme üzerindeki hala bir mıknatıslanma olur. Bu durumda malzeme üzerindeki manyetik akı yoğunluğuna, artık manyetik akı yoğunluğu (B_r) ve mıknatıslanma değerine de artık mıknatıslanma (M_r) denir.

Eğer malzeme üzerindeki mıknatıslanma ya da manyetik akı yoğunluğu sıfırlanmak istenirse manyetik momentlerin yönelimlerini değiştirecek bir kuvvete ihtiyaç duyulur. Bunu sağlamak için ters yönde bir manyetik alan uygulanması gerekir. Böylelikle mıknatıslanmayı sıfır yapan manyetik alan şiddetine sıfırlayıcı alan (H_c) denir (Küçük 2003).



Şekil 2.4 Histeresis eğrisi ve bazı manyetik özellikler

2.5.1 Manyetik Metal Camların Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları

Metal camları sıfırlayıcı alanlarına göre sınıflandırabiliriz. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

- (a) Yumuşak manyetik metal camlar
- (b) Sert manyetik metal camlar

Manyetik olarak yumuşak malzemelerin sıfırlayıcı alanları 1 kA/m değerinin altındadır. Yumuşak manyetik materyallerin uygulama alanları arasında manyetik sensör yapımı, transformatör çekirdekleri, yüksek frekans güç bobinleri sayılabilir. Bunun yanında yumuşak malzemelerin mıknatıslanmaları kolaydır.

Benzer şekilde sıfırlayıcı alanları 1 kA/m değerinin üzerindeki malzemeler içinse manyetik olarak sert yapıdadır denilebilir. Bu tür malzemelerin mıknatıslanmalarını sıfırlamak zordur. Dolayısıyla kalıcı mıknatıs olarak elektrik motorlarında, jeneratörlerde vb. yerlerde kullanılırlar. Ayrıca hard disk yazma kafaları gibi manyetik kayıt ortamlarında da kullanılırlar.

İdeal yumuşak malzeme düşük H_c , yüksek M_s ve yüksek μ değerine sahip olmalıdır. Ayrıca yumuşak malzeme düşük histeresis kayıplarına sahip olmalıdır. Manyetik uygulamalar için ideal özelliklere sahip metal camları ön plana çıkaran bu özellikleri homojen yapılarından ileri gelmektedir.

Ayrıca metal camlarda girdap akım kayıpları en az olacak şekildedir. Bunun nedeni metal camların domain duvarları kristal yapıya sahip malzemelere göre daha kolay hareket ederler. Enerji kayıplarının oldukça az olması transformatör çekirdeklerinde metal camların kullanımını önemli hale getirmektedir.

Diğer taraftan mekanik açıdan üstün özelliklere sahip metal camlarda vardır ve uygulama alanları oldukça geniştir. Hacimli metal camların fiziksel özelliklerinden biri olan parlak yapısı, hacimli metal camları teknolojik ve elektronik uygulamalara elverişli

kılar. Ezilmeye ve çizilmeye karşı direnç, sağlamlık ve hafiflik gibi özelliklerinden dolayı metalik camlar çoğunlukla elektronik cihazların kasalarında kullanılmaktadır.

Düşük yoğunluk, yüksek dayanıklılık özelliklerinin yanında düşük esneklik modülü, düşük titreşim gibi diğer özellikleri sayesinde spor malzemelerinin (özellikle golf sopaları ve tenis raketleri) yapımında tercih sebebi olmaktadır. Sporcu açısından bakıldığında topa vuruş sırasında malzeme tarafından daha az enerji absorbe edilir ve daha fazla enerji topa iletilir (Wang ve ark 2008).

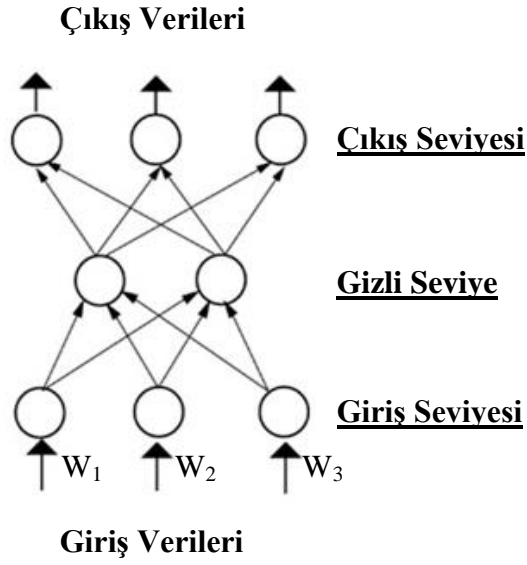
Mekanik uygulamalarından birkaç tanesini sıralayacak olursak:

Cep telefonu, taşınabilir hard disk vb. elektronik cihazlar, spor malzemelerinin üretimi, motor dişlileri, elektronik devre elemanları, dayanıklılık ve güç gerektiren çeşitli günlük ev aletleri... vb. (Telford 2004).

2.6 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları genel olarak insan beyнинin ve merkezi sinir sisteminin çalışma prensiplerini temel alan bilgi işleme sistemleridir. İnsan beyinde olduğu gibi deneyimler yoluyla öğrenirler ve karmaşık hesaplamalara dayanan sorunlara çözüm getirirler. Yapay sinir ağlarının en küçük birimi, insanın sinir sisteminde olduğu gibi nöronlar yani sinir hücreleridir. Birbirlerine karmaşık bir şekilde bağlanmış olan nöronlar bir sinir ağı oluştururlar. Diğer bir deyişle, öngörülen sayıda yapay sinir hücresinin, veri işlemek amacıyla belirli bir yapıda bir araya gelmesiyle yapay sinir ağı şekillenir.

Şekil 2.5'te basit bir ağ yapısı görülmektedir. Bu yapı çoğunlukla birkaç seviyeden oluşur. İlk seviye giriş seviyesidir. Tercihe bağlı olarak farklı sayıda olabilen diğer ara seviyelerin ortak adı gizli seviyedir. Çıkış seviyesi de son seviyedir (Dreyfus 2005).



Şekil 2.5 Basit bir ağ yapısı

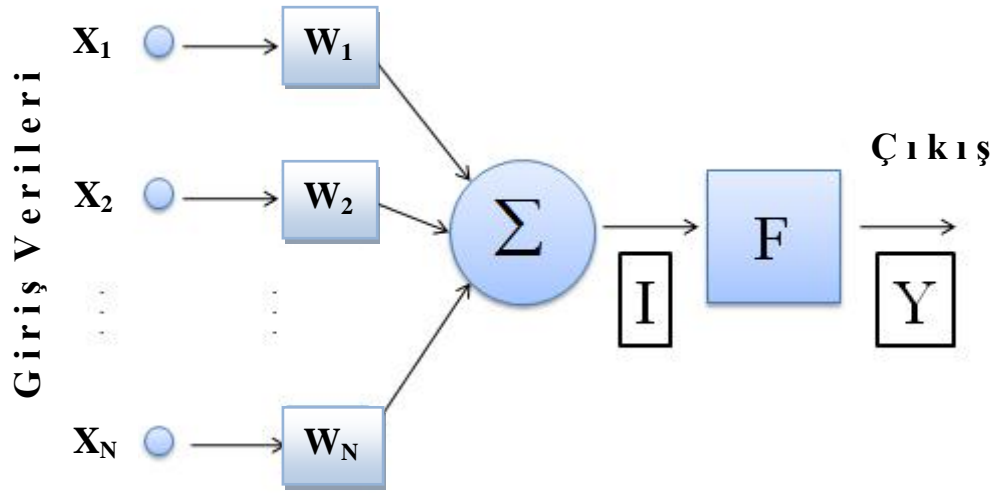
Böyle bir ağda her bir giriş verisinin belirli bir ağırlığı (W_1, W_2, \dots, W_N) vardır. Ağdaki tüm nöronların ağa girişini etkileyen değerlerini de X_1, X_2, \dots, X_N olarak adlandırılır. Daha sonrasında her bir giriş elemanının X vektörü o nörona ait, pozitif ya da negatif değer alabilen ağırlıklarla çarpılır ve tüm çarpım değerleri bir toplam oluşturmak üzere toplanır.

$$I = \sum_{i=1}^N X_i W_i \quad (2.6)$$

Nöronda çıkış verisinin belirlenmesi bu toplam değer (I) bir fonksiyonda (F) işlenmesiyle yapılır. Bu fonksiyona transfer fonksiyonu denir. Ağın gizli ve çıkış katmanlarında sigmoid, hiperbolik tanjant gibi çeşitli transfer fonksiyonları kullanılır. Çıkış verisi için matematiksel bir ifade yazılacak olursa,

$$Y = F(I) \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir (Hagan 2002). Şekil 2.6'da nöronlardan oluşan yapay sinir ağlarının matematiksel modeli görülmektedir.



Şekil 2.6 Yapay sinir ağının matematiksel modeli

2.6.1 Bir Ağın Öğrenme Aşamaları

Öğrenme işlemi için tasarlanan bir ağa giriş verileri verilip istenilen çıkış verileri belirlendiğinde ağ, öğrenme algoritmalarından birini kullanarak öğrenme sürecine başlar. Bir ağdaki öğrenme aşağıdaki basamaklardan oluşur:

- i. Öğrenme verilerinden bir sonraki örneği seçme ve ağ girişine giriş değişkenlerini uygulama.
- ii. Ağın çıkışını hesaplama.
- iii. Ağın çıkışı ile istenen veriler (hedef vektör) arasındaki hatayı hesaplama.
- iv. Hatayı küçültecek şekilde ağın ağırlıklarını ayarlama.

Kısaca bir ağın öğrenmesini şöyle açıklayabiliriz:

- ❖ Yapay sinir hücrelerini birbirine bağlayan bağlantıların her birinin sayısal bir ağırlığı vardır.
- ❖ Bir ağ bu ağırlıkları tekrar tekrar ayarlaması sayesinde öğrenir.

Öğrenme algoritmalarından birini kullanarak öğrenme sürecini tamamladığında ağ kullanıma hazır hale gelir. Ayrıca ağa yeni giriş verileri sunuldukça ve ağ çalışmaya devam ettiği sürece öğrenme ve bilgilerini güncelleme yeteneğine de sahiptir (Hristev 1998).

2.6.2 Genetik Algoritma

Yapay sinir ağları nasıl biyolojik sinir hücresinin matematiksel modeli ise genetik algoritmada, biyolojideki genetik biliminin ve nesillere gen aktarımının modellenmesidir (Jaramillo ve ark. 2002). Genetik algoritma günümüzde birçok problemin çözümünde tek başına ya da yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi birçok çözümleme yöntemiyle birlikte kullanılmaktadır.

Genetik algoritmada başlangıç verilerine nüfus (popülasyon) adı verilir. Nüfus içindeki her bir bireyde kromozom adını alır. Kromozomlar verilerin bir dizisidir ve bunlar döngü (iterasyon) içinde nesilleri (jenerasyon) oluştururlar. Sonraki nesilleri yaratmak için evlatlar (offspring) ya güncel nesillerden iki kromozomun birleşmesiyle (crossover) veya bir kromozomun değiştirilmesi işlemi (mutasyon) ile meydana gelirler.

Yeni nesiller uygunluk değerine göre seçilirler ve birkaç nesil sonra problemin çözümünde en uygun değere ulaşılır (Haykin 1999).

2.7 Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Alanları

Yapay sinir ağlarının çok çeşitli uygulama alanları vardır. Bilgisayar temelli sistemlere sahip çoğu alanda yapay sinir ağları ile karşılaşmak mümkündür. Yapay zekanın büyük bir hızla geliştiği günümüzde, bilgisayarların kullanım alanları da gün geçtikçe artmaktadır. Bilgisayar kontrollü sistemler günlük hayatta, sanayide, üretimin her aşamasında büyük önem kazanmaktadır. Yapay sinir ağları da gerçekleştirebildiği işlemler sayesinde bu büyük ve hızlı gelişim içerisinde önemli bir yer edinmiştir (Hagan 2002).

Tablo 2.1’de yapay sinir ağlarının uygulama alanları ve bu ağların gerçekleştirebildiği bazı işlemler verilmiştir.

Tablo 2.1 Yapay sinir ağlarının yapabildiği işlemler ve uygulama alanları

Yapay Sinir Ağı İşlemleri	Yapay Sinir Ağlarının Uygulamaları
Öğrenme	Elektronik ve Haberleşme
İlişkilendirme	Otomasyon ve Kontrol
Sınıflandırma	Robotik Uygulamaları
Genelleme	Tıp, Görüntü Tanıma
Tahmin	Arıza Analizi ve Tespiti
Özellik Belirleme	Savunma Sanayi, Üretim
Optimizasyon	Bankacılık ve Finans

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, santrifüj tekniği ile üretimi yapılan hacimli metal camların hangi aşamalardan geçerek elde edildiği anlatılmıştır. Bu aşamaları numune hazırlanması, ark cihazı ile homojen hale getirme ve santrifüj döküm makinesi ile hızlı katılaştırma olarak sıralayabiliriz. Ayrıca üretilen malzemelerin analizleri sırasında kullanılan cihazların da bazı özellikleri üzerinde durulmuştur.

Üretimden sonraki adımda, elde edilen hacimli metal camların yapısal, termal ve manyetik analizinde kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. Öncelikle bu yöntemler arasında üretilen malzemenin tam amorf yapıda olup olmadığının belirlenebilmesi için X-ışını Kırınımı (XRD) kullanılmıştır. Daha sonra üretilen malzemenin camlaşma yeteneğini belirleyen termal özelliklerin (T_g , T_x , T_{fg} , ΔT_x) belirlenmesi için Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) yöntemi kullanılmıştır. Son olarak ise manyetik özelliklerinin araştırılmasında Titreşken Örnek Manyetometrisi (VSM) kullanılmıştır. Yapısal, termal ve manyetik ölçümlerin yapıldığı cihazları şu şekilde sıralayabiliriz:

- i. XRD: Rigaku D/MAX 2200, ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- ii. DSC: Setaram SETSYS 16/18 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre, ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Novel Alloys Design and Development Laboratory (NOVALAB)
- iii. VSM: ADE Magnetics EV9 Titreşken Örnek Manyetometresi, ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Novel Alloys Design and Development Laboratory (NOVALAB)

Son olarak kullanılan modelleme tekniği için belirlenen giriş ve çıkış verileri ile yapay sinir ağının sahip olduğu yapı hakkına bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte camlaşma yeteneği ve manyetik özellikleri belirleyen özellikler için çeşitli modeller de geliştirilmiştir.

3.1 Üretim Yöntemi

Bu kısımda belirlenen kimyasal kompozisyona sahip hacimli metal cam alaşımlarının hazırlanış aşamaları ve tercih edilen üretim yöntemi açıklanmıştır. Hacimli metal camların üretimi için Dönerek (Santrifüj), Damlama, Su ve Vakumlama ile hızlı soğutma gibi birçok yöntem mevcuttur. Cam oluşumu alaşımin hızlı katılaştırılmasına dayandığı için üretim yönteminin hazırlanan kompozisyonun camlaşabilmesinde ve belirli bir kalınlıkla üretilebilmesinde büyük rolü vardır. Dolayısıyla aynı kompozisyona sahip alaşımlar tercih edilen bir üretim yöntemi ile camlaşabiliyorken bir başka üretim yönteminde camsı özelliklere sahip olamayabilir. Hazırlanan alaşımin camlaşabilmesi için gerekli şartları başarıyla yerine getirebilen yöntemler mevcut olsa da üretim maliyetleri çok yüksek olmaktadır. Bu da istenilen bir durum değildir.

Bu çalışmada, hacimli metal cam üretmek için santrifüj ile hızlı soğutma veya katılaştırma yöntemi tercih edilmiştir. Çünkü

- i. Üretimi kolaydır.
- ii. Üretim maliyeti oldukça düşüktür.
- iii. Üretimi sağlayan santrifüj makineleri sanayide de yaygın olarak kullanılır.

Malzeme üretim aşamalarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) Saf alaşım elementlerinin seçilen kimyasal kompozisyona göre hazırlanması
- 2) Saf elementlerin ark eritme cihazı ile homojen hale getirilmesi
- 3) Santrifüj ile hızlı katılaştırma (Döküm)

3.1.1 Alaşımın Hazırlanması

$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ ve $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ üretim için seçilen kimyasal kompozisyonlardır. Bu kompozisyonlar Bölüm 2.3’de verilen kalın kesitli hacimli cam oluşma şartlarına uygun olarak seçilmiştir. Burada Fe ve Co alaşım ferromanyetik özellik göstermesi için, B ve Si küçük atom çaplarıyla atomlar arası boşlukları doldurmak, malzemenin aşınma direncini arttırmak, kırılgenliğini önlemek, Nb ise alaşımın camlaşma yeteneğini geliştirmek, kristalleşmeyi engellemek için kullanılmışlardır. Ayrıca Nb yerine daha ağır elementler olan Mo ve W seçilerek bu iki elementin hacimli metal cam oluşturmaya katkısı incelenmiştir.

Belirlenen kimyasal kompozisyon için yüksek saflıktaki (>%99.9) elementler arka eritme işlemine hazırlanır. Bunun için üretilmek istenen alaşımın kütlesi göz önüne alınarak bazı hesaplamalar yapılır ve alaşıma katılacak elementlerden kaç gram ilave edileceği belirlenir. Hesaplamalar şu şeklide yapılır: Öncelikle alaşımdaki her bir elementin bir molünün kütlesi alınır ve her bir elementin yüzdesi ile çarpılır [her bir çarpım K_1, K_2, \dots, K_N olsun (Eşitlik 3.1)].

$$K_N = A_N \frac{Y_N}{100} \quad (3.1)$$

Burada A_N N. elementin bir molünün kütlesi, Y_N ise alaşımdaki yüzdesidir. Tüm elementler için bu işlem yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar toplanır [Bu toplam alaşımın bir molünün kütlesidir (T)]. Yani;

$$T = \sum_{i=1}^N K_i \quad (3.2)$$

dir. Daha sonra alaşıma girecek her bir elementin K_N değeri üretilmek istenen alaşımın toplam kütlesi ile çarpılarak T değerine bölünür (Eşitlik 3.3). Böylece her bir elementin alaşım içindeki kütlesi belirlenmiş olur (M_1, M_2, \dots, M_N).

$$M_N = \frac{\text{üretilecek alaşımın kütlesi} \times K_N}{T} \quad (3.3)$$

Bu çalışmada örnekler 7 gram olarak hazırlanmıştır. 7'şer gram $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ ve $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ hazırlamak için hesaplanan değerler sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Toplam 7 gram $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ hazırlamak için yapılan kütle hesaplamaları.

Alaşımdaki elementler	Alaşımdaki Yüzdesi (%)	Mol ağırlıkları (g/mol)	Alaşıma katılan kütlesi (g)
Fe	36	55.8470	2.7957
Co	36	58.9332	2.9501
B	19.2	10.8110	0.2886
Si	4.8	28.0855	0.1875
Mo	2	95.9400	0.2668
W	2	183.8500	0.5113

Tablo 3.2 Toplam 7 gram $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ hazırlamak için yapılan kütle hesaplamaları.

Alaşımdaki elementler	Alaşımdaki Yüzdesi (%)	Mol ağırlıkları (g/mol)	Alaşıma katılan kütlesi (g)
Fe	36	55.8470	2.9041
Co	36	58.9332	3.0646
B	19.2	10.8110	0.2998
Si	4.8	28.0855	0.1947
Nb	4	92.9063	0.5368

3.1.2 Alaşımın Ark Eritme Cihazı İle Homojen Hale Getirilmesi

Üretimin bu aşamasında alaşımı oluşturacak elementlerin birbirleri arasında düzgün ve dengeli olarak dağılabilmeleri için tüm elementlerin eriyebileceği bir sıcaklığa getirilerek eritilmeleri sağlanmıştır. Öncelikle tartılıp hazırlanan saf elementler Şekil 3.1'de görüldüğü gibi ark eritme cihazına alınmıştır (Aykol 2008).



Şekil 3.1 Saf elementlerin alındığı bakır tabla

Daha sonra eritme işlemine başlamadan elementlerin eritileceği oda (Şekil 3.2) bir kaç kez vakumlanmış ve işlem sırasında oksitlenmeyi önlemek için vakum odasına soygaz olan argon gazı verilmiştir.



Şekil 3.2 Saf elementlerin eriyik hale geldiği vakum odası

Ark eritme cihazı Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu cihaz elementlerin eritildiği bakır tabla, eritmeyi sağlayan iyon ateşleyici, gerçekleştirilen işlemi gözleme olanağı da sağlayan bir vakum odası ve vakum sisteminden oluşmaktadır. Vakum odası iki pencerelidir ve bakır tabla alttan su ile soğutulmaktadır. Temassız yüksek voltajlı ark ateşleyici (Şekil 3.2’deki parlak yansıma) bir motor yardımı ile kontrol edilmektedir. Vakum ise 10^{-4} ve 6.5×10^{-8} mbar kapasiteli iki pompa ile sağlanmaktadır. Eritmenin gerçekleştirildiği ark eritme cihazı sanayi tipi olduğu için $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibi çok yüksek sıcaklıklara kolaylıkla çıkabilmektedir.



Şekil 3.3 Ark eritme cihazı

3.1.3 Santrifüj İle Hızlı Katılaştırma

Üretimin bu aşaması ise eritme işlemi sonucunda elde edilen malzemeyi hızlı katılaştırarak hacimli metalik cam elde etmektir. Bu işlem sonucunda malzeme bir kalıba dökülerek için istenilen geometride üretilebilmektedir.

Bir önceki basamakta homojen hale getirilen alaşım hızlı katılaştırma için santrifüj döküm makinesine alınmıştır. Döküm makinesinde alaşım alümina (Al_2O_3) pota içinde eritilmiştir. Al_2O_3 yüksek sıcaklıklarda bazı elementlerle kimyasal

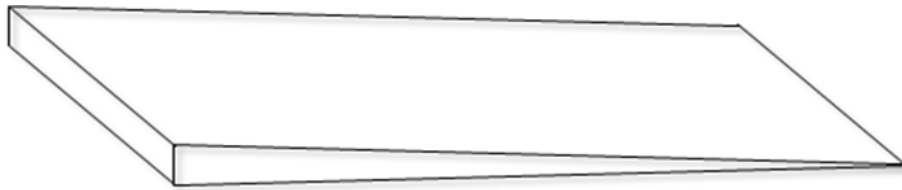
tepkimeye girdiğinden, potanın iç yüzeyi bu konuda problem oluşturmayan bor nitrit (BN) ile kaplanmıştır. Alaşım farklı kalınlıkların elde edilebileceği bir bakır kalıba dökülerek kristalleşmeden hızlı katılaşması sağlanmıştır. Santrifüj döküm makinesi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Santrifüj döküm makinesi

3.1.3.1 Bakır Kalıbın Özellikleri

Üretilen malzeme son şeklini bu bakır kalıba döküldükten sonra alır. Bakır kalıbın dıştan ölçüleri 85x65x40 mm’dir. Ayrıca kalıbın giriş kısmı yuvarlaktır ve giriş kısmının alanı 16x4 mm²’dir. Bakır kalıbın iç uzunluğu ise 70 mm’dir.



Şekil 3.5 Dökülen alaşımın şematik gösterimi

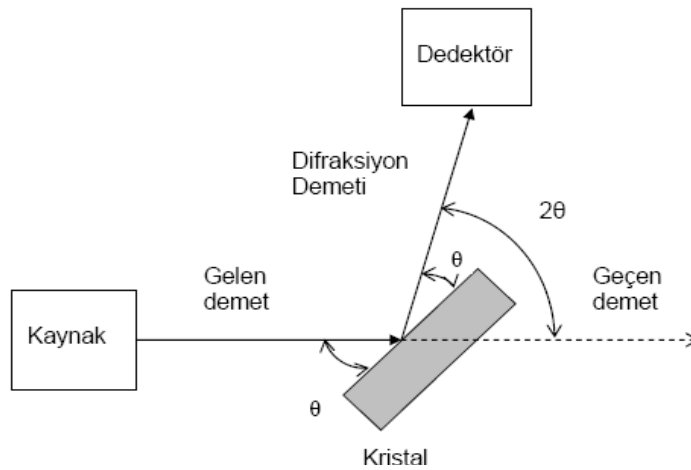
Kalıp bir kama şeklinde kalınlığı kalından inceye doğru değişmektedir (Şekil 3.5). Kalıbın bu özelliği bize üretilen malzemenin hangi kalınlığa kadar camsı özellik gösterdiğini belirleme fırsatı verir. Amorf yapıdaki hacimli metal camların gözle görülebilen özelliği parlak ayna gibi keskin birer yüzeye sahip olmalarıdır. Hacimli metal camların bu özelliği ilk bakışta üretilen malzemenin amorf yapıda olup

olmayacağı hakkında bize bir fikir verebilir. Ama bu kesin bir sonuca varmak için yeterli değildir. Üretilen malzemenin yapısı hakkında kesin bir yargıya yapısal ölçümler sonucunda ulaşılabilir.

3.2 Ölçüm Sistemleri

3.2.1 X-Işını Kırınımı (XRD)

XRD ölçümleri ile üretilen alaşımlardaki amorf fazın derecesi ve kristal fazların varlığı belirlenebilmektedir. Tam bir amorf yapıya sahip alaşım elde edilip edilmediği XRD deseninden anlaşılabilir. XRD sonucu elde edilen kırınım deseninde kristal alaşımlarda görülen önceden tanımlanmış bağımsız ve belirgin pikler yerine tek geniş bir pik amorf fazın varlığının kanıtıdır. Ayrıca XRD ölçümleri sonucunda alaşımlarda bulunan kristal fazları da belirlenir. Çalışma prensibi, numuneye X-ışını göndererek kırılma ve dağılma verilerinin toplaması olarak söylenebilir. Malzemenin yapısına ve malzemeye gönderilen ışının dalgaboyuna bağlı olarak farklı kırınım desenleri meydana gelir. Yani sahip olduğu yapıya göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran numuneler bu yöntemle çok hassas biçimde analiz edilebilmektedir. X-ışını kırınımının şematik gösterimi Şekil 3.6'eki gibidir (Kittel 2005).

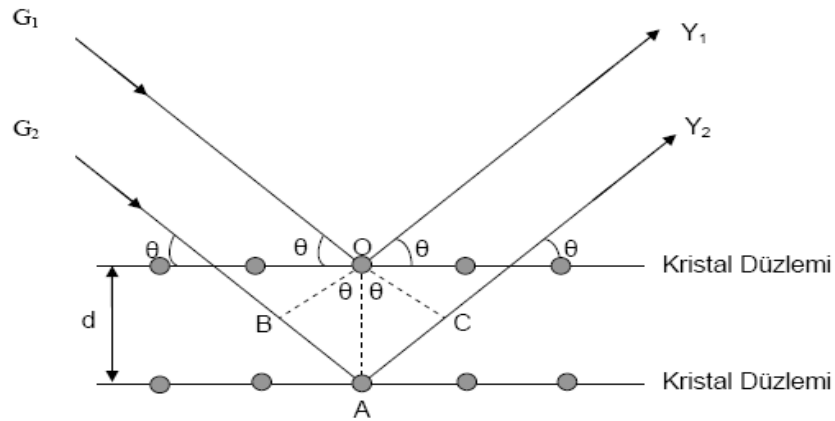


Şekil 3.6 X-ışını kırınımının şematik gösterimi

Madde üzerine X-ışını demeti gönderildiğinde, gelen X-ışını maddenin atomlarından tüm yönlerde saçılacaktır. Bu saçılmalar sırasında bazı X-ışınları birbirlerinin etkilerini yok eden yıkıcı girişim, bazıları da birbirlerini kuvvetlendiren yapıcı girişim oluştururlar. Burada kırınım yalnızca Bragg denklemini sağlayan geliş açılarında meydana gelir. Bragg yasası numuneye bilinen dalgaboyuna sahip ışın göndererek θ açısının ölçülmesinde kullanılır.

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'de d düzlemler arası mesafe, θ düzleme gelen ve düzlemden yansıyan ışınlarla düzlem arasındaki açı, λ gelen X-ışınının dalgaboyu ve n yansıma mertebesidir. $n=1,2,3,\dots$ gibi tam sayı değerleri alır. n 'nin en küçük değeri 1 olmalıdır. Çünkü n 'nin 0 olması durumunda ise herhangi bir yansıma olmaz.



Şekil 3.7 X-ışını kırınımı

Şekil 3.7'de görüldüğü gibi kristal yapı üzerine G_1 ve G_2 ışınları düzlemle θ açısı yapacak şekilde gelmiştir. Bu ışınlar kristal yapıdaki atomlarda kırınıma uğrayarak Y_1 ve Y_2 ışınları gibi saçılırlar. Burada geçen ve yansıyan ışınlar arasındaki açı 2θ 'dir. Bu değere kırınım açısı denir ve deneylerde θ yerine 2θ ölçülür. Farklı θ açılarında bu ölçümler yapılarak örnek için X-ışını kırınım deseni elde edilir (Cullity 2001).

3.2.2 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

DSC tekniği E.S. Watson ve M.J. O'Neill tarafından 1960 yılında geliştirilmiştir. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) termal analizde kullanılan bir yöntemdir. Termal analiz, incelenen numuneye ait bir fiziksel özelliğin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğü veya bir tepkimede soğurulan yada açığa çıkan ısının izlendiği yöntemleri içeren bir tekniktir. Bu teknikte referans olarak ısı kapasitesi taranan sıcaklık aralığı üzerinde iyi bir şekilde tanımlanan bir referans malzemesi kullanılır. Kullanılan numune ve referansın sıcaklığını arttırmak için verilmesi gereken ısı miktarı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Numune ve referans deney süresince aynı sıcaklıkta tutulmaya çalışılır.

DSC'nin temel uygulamaları ekzotermik ya da endotermik ayrışma, erime gibi hal değişimleri üzerindeki çalışmalardır. Bu hal geçişleri enerji değişimi veya ısı kapasitesi değişimlerini içerir ve DSC tarafından büyük bir hassasiyetle ölçülebilir.

3.2.2.1 DSC Eğrisi

DSC eğrileri ısı akışının zamana veya sıcaklığa göre çizilen grafikleridir. DSC eğrileri ile birçok malzemenin; entalpi, kristalleşme sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, erime sıcaklığı, termal kararlılık, saflık ve Curie sıcaklığı gibi özellikleri incelenebilmektedir. Bu eğrilerde iki farklı eğilim vardır: Numunedeki reaksiyonlar sonucu elde edilen eğrilerde ısı akışının bir yönde endotermik yada ekzotermik olmasıyla grafikteki piklerin yönelimi farklılık gösterir. Numunedeki ekzotermik reaksiyonlar ölçüm cihazlarında kullanılan farklı teknolojilere bağlı olarak negatif veya pozitif pozitif tepe noktası olarak gösterilir.

3.2.2.2 Hal Geçişlerinin Tespiti

Bu tekniğin altında yatan temel prensip, numune hal değiştirme gibi fiziksel bir dönüşüme gidiyorsa referansla aynı sıcaklıkta tutabilmek için numuneden daha az veya

daha çok ısı akışı olmasıdır. Daha az veya daha çok ısı akışı işlemin endotermik veya ekzotermik olmasına göre değişir. Örneğin katı bir numune eriyip sıvı hale geçiyorsa referansla aynı oranda sıcaklık artışına sahip olması için numuneden daha fazla ısı akışı gerçekleştirilmelidir. Bunun sebebi katı halden sıvı hale geçerken numune tarafından gerçekleştirilen ısı emilimidir. Numune ve referans arasındaki ısı akışı değişimi kontrol edilerek DSC yöntemi ile hal değişimi sırasında yayılan veya emilen ısı miktarı ölçülebilir.

DSC eğrisi hal değişimlerinin entalpilerini hesaplamak için kullanılabilir. Hal değişiminin entalpisi aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$\Delta H = KA \quad (3.5)$$

Bu denklemde ΔH geçişin entalpisi, K kalorimetrik sabit ve A eğri altındaki alanı gösterir (Pungor 1995).

DSC eğrisinde görülen pikin altında kalan alan, tepkimede soğurulan veya açığa çıkan ısı ile pik yükseklikleri de tepkime hızı ile doğrudan orantılıdır. ΔH pozitif ise (endotermik) malzeme ısıtıcısına ısı eklenir ve pozitif bir sinyal elde edilir. ΔH negatif ise (ekzotermik) referans ısıtıcısına ısı eklenir ve bir negatif sinyal elde edilir. Bu piklerin integrali numunenin aldığı veya verdiği ısı miktarına bağlıdır. DSC yalnız entalpi değişiminin olduğu olaylara karşı değil, aynı zamanda numune ile referansın ısı kapasiteleri arasındaki farka karşı da çok duyarlıdır.

Termal analizler, genellikle sabit basınç altında yürütüldüğünden, geçerli olan Gibbs-Helmholtz termodinamik eşitliği;

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3.6)$$

şeklindedir. Burada G sistemin serbest enerjisi, H sistemin entalpisi, S sistemin entropisi ve T Kelvin cinsinden sıcaklıktır. Gibbs-Helmholtz denkleminin sıcaklığa göre türevi alınacak olursa;

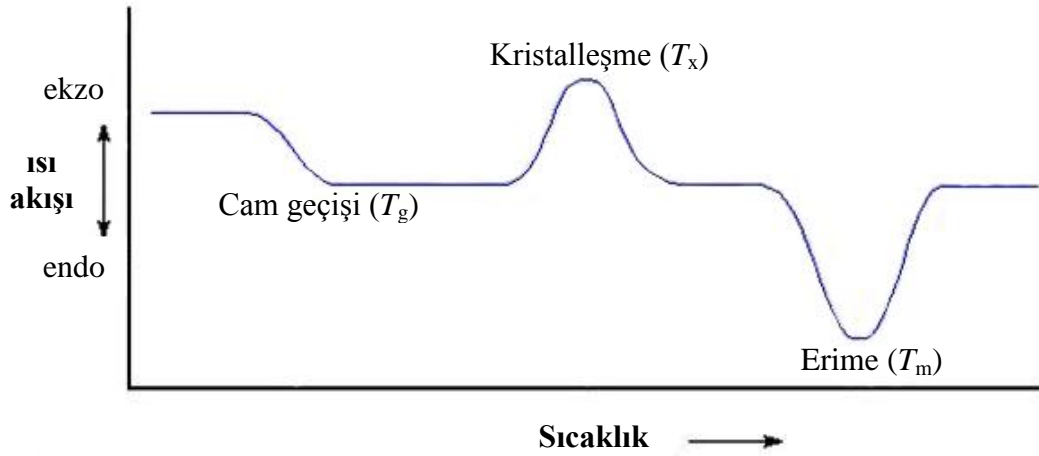
$$\frac{d(\Delta G)}{dT} = -\Delta S \quad (3.7)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklem, tepkimenin olmadığı bir durumdan ($\Delta G > 0$) tepkimenin olacağı bir duruma ($\Delta G < 0$) nasıl aşılabileceğini gösterir. Bu değer pozitif ise, sıcaklığın artması ile sonuç negatif olacaktır, eğer negatif ise, sıcaklığın azalması ile kendiliğinden olan tepkime elde edilecektir. Tepkime bir kere başladıktan sonra, olayı izlemek için DSC yöntemi kullanılabilir (Wunderlich 1990).

3.2.2.3 DSC Eğrisinin Özellikleri

DSC ölçümleri sonucunda elde edilen bu eğrilerden kristalleşme, cam geçişi, erime gibi olayları gözlemleyebilmek mümkündür.

Ölçümü yapılacak numune hazırlandıktan sonra sıcaklığı belirli aralıklarla artırılarak sıcaklığın ısı akışına karşı değişimi elde edilir.



Şekil 3.8 DSC eğrisi ve özellikleri

Şekil 3.8'de cam geçişi, kristalleşme ve erime olayları ile ısı akışındaki değişimler şematik olarak gösterilmiştir. İşlem sırasında sıcaklık arttırıldıkça alaşımın belirli bir sıcaklıkta cam geçişi gerçekleşebilir. Cam geçişinin gerçekleştiği sıcaklığa cam geçiş sıcaklığı denir ve T_g ile gösterilir. Bu geçiş kaydedilen DSC eğrisinde bir basamak olarak görünür. Bunun nedeni numunenin ısı kapasitesinde küçük bir değişime maruz kalmasıdır. (Skoog ve ark. 1998)

Cam geçişi sırasında sıcaklık artışıyla birlikte malzemenin yoğunluğunda belirlenebilir bir değişme eğilimi vardır. Bununla birlikte bu sıcaklıktan sonra malzeme kristalleşmeye karşı bir direnç gösterdiği aşırı soğutulmuş bōlgeye geçmiş olacaktır ve alaşımın bu bōlgede olması malzemenin viskozitesinde de bir değişime sebep olur. Sıcaklık arttıkça amorf katının moleküllerini bir arada tutan yapışkansu yapısı zayıflayacaktır. Daha sonra bir noktada moleküller yeterli hareket özgürlüğüne sahip olabilirler ve bu durum sağlandığında moleküller kendiliğinden bir kristal oluşturacak şekilde dizilirler (Dean 1995). Bu olayın gerçekleştiği sıcaklığa kristalleşme sıcaklığı denir ve T_x ile gösterilir. Amorf yapıdan kristal yapıya gerçekleşen bu geçiş ekzotermik bir işlemdir ve DSC eğrisinde bir pike neden olur. Amorf yapıdaki malzeme yüksek potansiyel enerjiye sahiptir ve malzeme kristal yapıya geçiş yaptığı zaman daha kararlı bir yapıya sahip olur. Bōylelikle sahip olduğu fazla potansiyel enerjiyi ısı enerjisi olarak dışarıya verir.

Sıcaklık arttırılmaya devam ettikçe malzeme erime sıcaklığına ulaşır. Bu sıcaklık T_m ile gösterilir. Erime işlemi endotermik bir olaydır ve işlem sırasında numune dışarıdan büyük miktarda ısı alır. Dolayısıyla bu olay DSC eğrisinde endotermik bir pik oluşmasına neden olur. Çeşitli kimyasal sistemlerde hal diyagramları oluşturmak için kullanılan DSC'nin geçiş sıcaklıklarını ve entalpileri belirleme yeteneği, DSC ölçümlerini değerli kılar.

3.2.3 Titreşken Örneğ Manyetometresi (VSM)

Titreşken Örneğ Manyetometresi (VSM) ile incelenen malzemenin manyetik özelliklerini ortaya koyan mıknatıslanma eğrisi (histeresis) elde edilir. Malzeme mıknatıslanmak üzere düzgün manyetik alan içerisine konur ve bu düzgün manyetik alan altında titreştirilir. şekil 3.9'da VSM sistemi görölmektedir.



Şekil 3.9 Titreşken Örnek Manyetometresi (VSM)

VSM sistemi, güç kaynağı, kontrol panelleri gibi elektronik kısımlar ile örnek titreştirici, elektro mıknatıs gibi ölçüm kısımlarından ve elde edilecek verileri işleyecek bir bilgisayardan oluşur. VSM'in çalışma prensibi ise titreşen örnekle manyetik akı değişimi oluşturulmasına ve bu manyetik akı değişimi sonucu oluşan indüksiyon emk'sının ölçülmesine dayanır.

Faraday indüksiyon yasasına göre numune düzgün manyetik alan içerisinde titreşim yaptığında VSM'in algılayıcı bobininde değişken bir gerilim indüklenir. Faraday indüksiyon yasası emk'nın büyüklüğünün bobin içerisindeki manyetik akının zamanla değişimi ile orantılı olduğunu gösterir.

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.8)$$

Burada ε indüklenen emk, N manyetik akının geçtiği bobinin sarım sayısı ve Φ manyetik akıdır. Manyetik akı yoğunluğu (manyetik indüksiyon, B) ise,

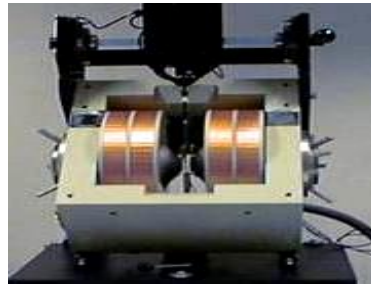
$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (3.9)$$

olarak yazılır ve indüklenen emk ifadesi,

$$\varepsilon = -NA \frac{dB}{dt} \quad (3.10)$$

şeklini alır. Burada A alandır. Manyetik indüksiyonun manyetik alanla orantılı olduğunu bilinmektedir. Öyleyse belirli bir emk'nın indüklenmesi için manyetik akının zamanla değişmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için ya zamanla değişen manyetik alan uygulamak yada manyetik alana konan örneği titreştirerek ilgili A alanını değiştirmek gerekir. Böylelikle manyetik alanda titreşen örnekte manyetik akı değişimi oluşturulur ve bu manyetik akı değişimi sonucu oluşan indüksiyon emk'sı ölçülür. İndüklenen emk titreşen örneğin mıknatıslanması ile orantılı olduğundan bu yöntemle örneğin mıknatıslanması ölçülebilir.

VSM ile mıknatıslanmanın doğrudan ölçümü yapılır. Algılayıcı bobinler arasındaki boşlukta örnek varken ve yokken ölçülen manyetik indüksiyon arasındaki fark hesaplanır (David 1996). Şekil 3.10'da VSM bobinleri görülmektedir. Analizi yapılacak malzemeden küçük bir parça hazırlanarak VSM bobinleri arasına örnek tutucu yardımı ile yerleştirilir. Örnek tutucunun istenen açılarla döndürülmesiyle farklı yönlerde uygulanan manyetik alan altında ölçümlerin yapılması da mümkün olur. İstenen değer aralıklarında uygulanan manyetik alana karşı ölçülen manyetik moment değerleriyle örneğin histeresis eğrisi elde edilir.



Şekil.3.10 VSM bobinleri

3.3 Yapay Sinir Ağları ile Termal ve Manyetik Özelliklerin Modellenmesi

Hacimli metal camların camlaşma yeteneklerini ve manyetik özelliklerini tahmin edebilmek için, literatürdeki manyetik özellik gösteren hacimli metalik camların deneysel verileri kullanılarak farklı yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur.

Değişken sayısının çok olması nedeni ile manyetik özelliklerin ve camlaşma yeteneğini belirleyen termal özelliklerin modellenmesi, iki farklı yapay sinir ağı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde ve öğrenmesinde Matlab™ ve NeuroSolutions® 5.0 (deneme sürümü) programları kullanılmıştır.

Modellemedeki amaç manyetik hacimli camların, eğer kimyasal kompozisyonu ve yoğunluğu biliniyorsa manyetik özelliklerini ve camlaşma yeteneğini çok hızlı ve hesaplama gerektirmeden tahmin etmektir.

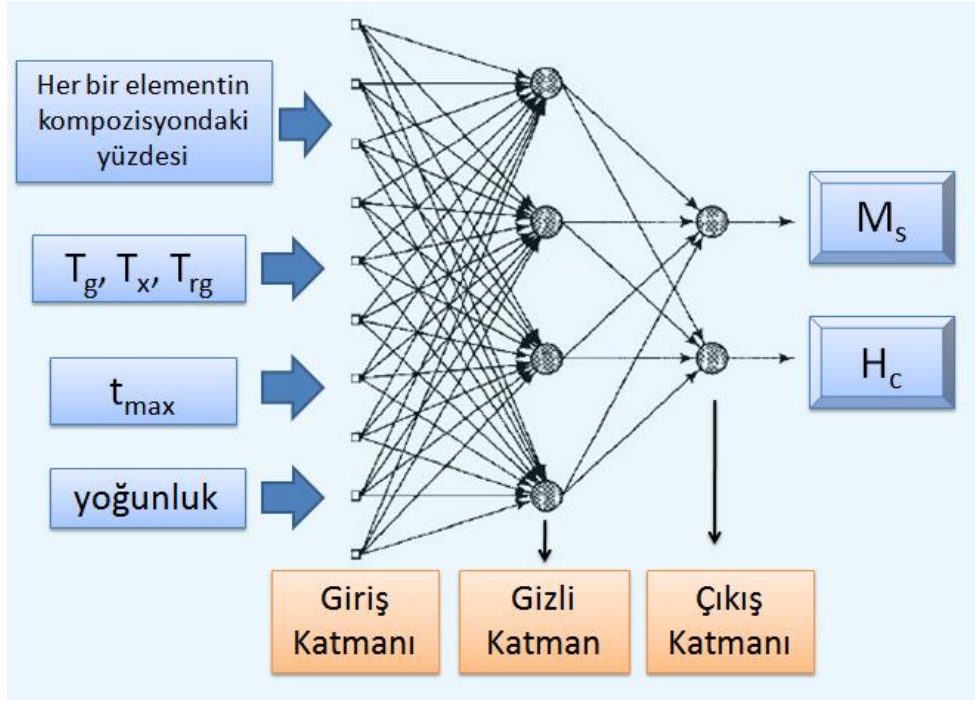
Çalışmaların başında, ağın öğrenme kapasitesini anlamak üzere manyetik özelliklerin tahmini için geliştirilen yapay sinir ağı Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Burada giriş verileri olarak,

- kimyasal kompozisyondaki elementlerin her birinin alaşımdaki yüzdesi
- termal özelliklerin her biri (T_g, T_x, T_{rg})
- maksimum kalınlık (t_{max})
- yoğunluk (ρ)

çıkış verisi olarak ise

- ✓ doyum mıknatıslanması (M_s)
- ✓ sıfırlayıcı alan (H_c)

seçilmiştir.



Şekil 3.11 Kullanılan modelleme tekniğinin şematik gösterimi

Geliştirilen yapay sinir ağı modelleri ve elde edilen sonuçlar ileriki bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA VE SONUÇLAR

4.1 Yapılan Çalışmalara Bir Bakış

Tezin bu bölümünde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Öncelikle $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}$, $\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) kimyasal kompozisyona sahip alaşımlar üretildikten sonra, yapısal, termal ve manyetik ölçüm sonuçları verilmiştir. Daha sonra da eriyik eğirme yöntemi ile üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ kimyasal formüllü amorf şeridin camlaşma yeteneği ve manyetik özellikleri verilmiştir.

Son olarak da yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilen modellemeler ile ilgili yapılan araştırmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Modelleme çalışmaları iki temel başlık altında incelenmiştir. Bunlardan birincisi manyetik özelliklerin (M_s ve H_c) tahminlerini içermektedir. İkincisi ise camlaşma yeteneğini belirleyen değişkenlerin (T_x , T_g , T_{rg} ve t_{max}) tahmini için geliştirilen modellerdir. Yapay sinir ağlarından elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

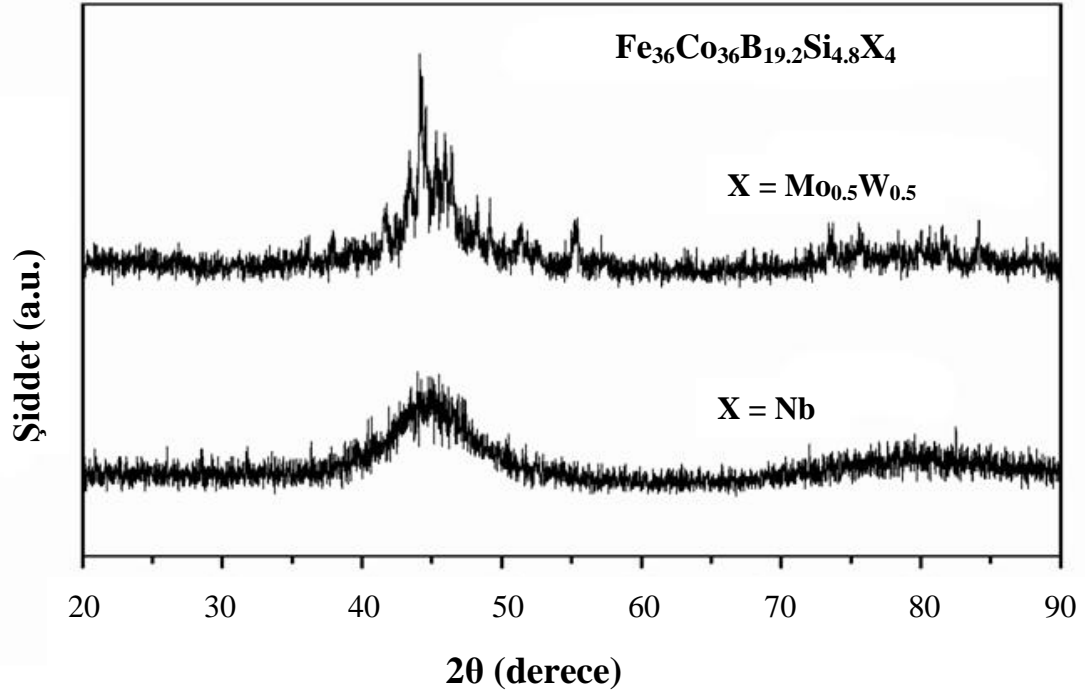
4.2 Üretilen Malzemeler İle İlgili Çalışmalar

$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}$, $\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) kimyasal kompozisyonu ile üretilen iki alaşımın sonuçları yapısal, termal ve manyetik ölçümleri içermektedir. Yapısal ölçümler XRD spektrumları, termal ölçümler DSC eğrileri ve manyetik ölçümler VSM sonuçları ile verilmektedir.

4.2.1 Yapısal Analiz

Malzemelerin yapısal analizleri için X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılmıştır. Bu yöntem ile üretilen malzemelerin amorf yapıya sahip olup olmadıkları belirlenebilmektedir. Eğer üretilen malzemeler bazı kristal fazları içeriyorsa yine bu ölçüm sonucunda bunları belirlemek mümkün olur.

Şekil 4.1’de üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}, \text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) alaşımlarının XRD spektrumları görülmektedir. X-ışını kırınımı Rigaku D/MAX 2200 cihazı ile tek renkli $\text{CuK}\alpha$ ışınması kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.1 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}, \text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) alaşımları için XRD sonuçları

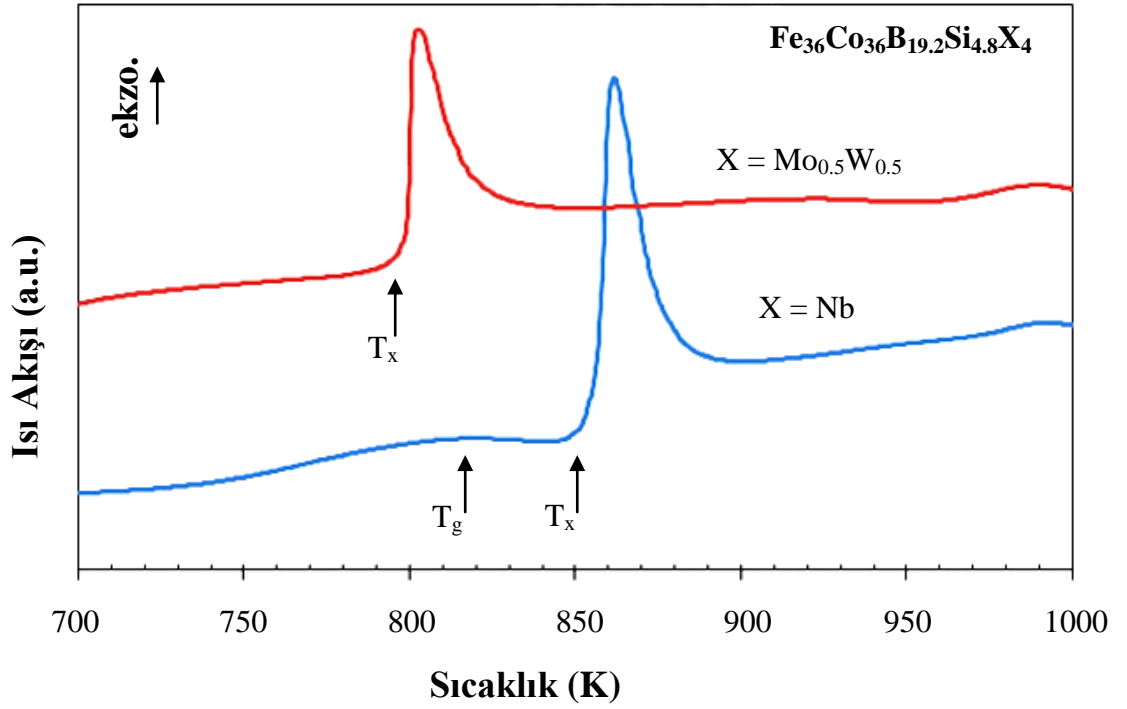
Elde edilen XRD spektrumuna göre $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ alaşımı tek geniş bir pike sahiptir ve bu durum amorf yapıya sahip malzemeler için genel bir XRD deseni ile aynı özelliklere sahiptir. Ayrıca spektrumda belirli kristal pikleri de yoktur. Dolayısıyla $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ alaşımının tam amorf yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bu alaşım için üretilebilecek en fazla kalınlık yani kritik kalınlık, t_{max} 2 mm olarak bulunmuştur.

Şekil 4.1’de gösterilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ kimyasal kompozisyonuna sahip alaşımından elde edilen XRD spektrumuna göre $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı bazı küçük piklere sahiptir ve bu da amorf yapı içerisinde çöken bazı kristal fazların bir göstergesidir. Kristal fazlarının çökmesinin nedeni ise Molibden (Mo) ve özellikle Tungsten’in (W) Niobyum’a (Nb) göre daha yoğun ve ağır bir metal olması ile açıklanabilir. Üretilen malzemenin kalınlığının artmasıyla birlikte üretilen malzemede Mo ve W’in kütlesi artmaktadır. Belirli bir kalınlığa kadar Mo ve W malzemenin amorf yapısı içerisinde kendine yer bulmaktadır. Fakat bu dengenin bozulmasıyla yani artan malzeme kalınlığı ile Mo ve W kütlesinin artması, Mo ve W’in diğer elementlerle birlikte çökmesine ve küçük de olsa bazı kristal fazlarının oluşmasına yol açmaktadır. t_{max} ’ı 1.5 mm olan $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımının, tipik bir XRD desenine benzer özelliklere sahip olmasına rağmen, bazı küçük piklerin olması nedeniyle tam amorf yapıda değil de parçalı amorf yapıda olduğu söylenebilir. Bu alaşımın camlaşma eğilimini araştırmak için $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı hacimli örneklerin tersine, yüksek teknolojiye sahip başka bir üretim yöntemi olan eriyik eğirme ile ince kesitli şerit olarak üretilmiştir. $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ kimyasal formülüne sahip şerit ile ilgili araştırma sonuçları Bölüm 4.2.4’de ele alınmıştır.

4.2.2 Termal Analiz

Şekil 4.2’de $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}, \text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) alaşımları için elde edilen DSC eğrileri görülmektedir. Bu işlem için numunelerden küçük birer miktar (15-20 mg) hazırlanarak yüksek saflıktaki argon (Ar) gazı altında ölçüm yapılmıştır. Ölçüm sırasında uygulanan soğuma oranı ise 0.67 K/s’dir.

Santrifüj tekniği ile üretimi yapılan alaşımlardan $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ için cam geçişi Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi 817 K’de gerçekleşmektedir. Aynı alaşım için kristalleşme sıcaklığı da 856 K olarak belirlendi. Bunun yanında ΔT_x ve T_{Tg} değerleri ise sırasıyla 39 K ve 0.601 olarak hesaplandı.



Şekil 4.2 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}, \text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) alaşımları için elde edilen DSC eğrileri

Aynı üretim tekniği ile üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı içinse T_x 799 K olarak belirlendi. Fakat bu alaşım için belirgin bir cam geçişi gözlenememiştir. DSC sonuçları XRD sonuçlarını destekler niteliktedir. 1.5 mm kalınlıkla üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı bir amorf yapıda olma eğilimindedir ancak bu kalınlıkta tam olarak amorf yapıya sahip değildir.

Tablo 4.1'de ise hızlı katılaştırma ile üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ ve $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımlarının termal özellikleri ile birlikte camlaşabilecekleri en büyük kalınları gösteren t_{\max} değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1 Üretilen alaşımların termal özellikleri ve kritik kalınlıkları

Alaşım	T_g (K)	T_x (K)	ΔT_x (K)	T_m (K)	T_{rg}	t_{\max} (mm)
$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$	817	856	39	1359	0.601	2.0
$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$	-	799	-	1293	-	1.5

4.2.3 Manyetik Analiz

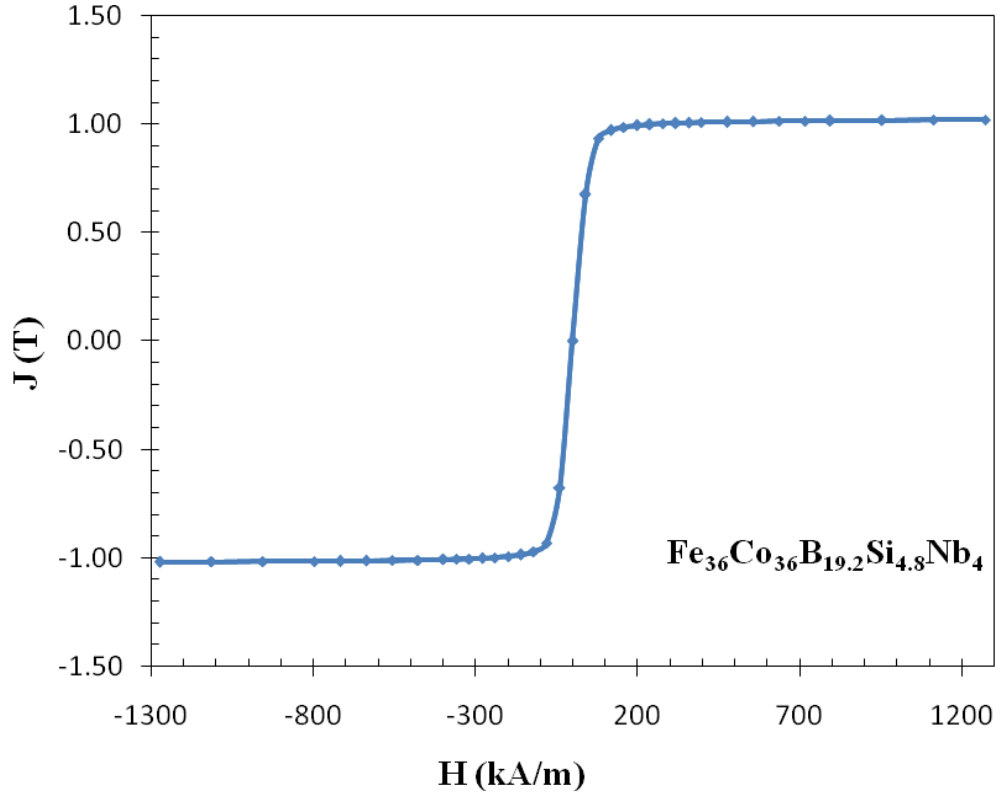
Malzemelerin manyetik analizleri için titreşken örnek manyetometresi (VSM) kullanılmıştır. VSM ölçümü ile malzemelerin birçok manyetik özelliği belirlenebilmektedir. Burada VSM alaşımların doyum mıknatıslanması (J_s) ve H_c değerlerini bulmak için kullanılmıştır.

Şekil 4.3 ile Şekil 4.4 hacimli metal $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ ve $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımlarının histeresis eğrilerini göstermektedir. Burada J değerleri her bir ölçüm için mıknatıslanma değerleri ve alaşımların yoğunlukları kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçümlerde manyetik alan 1750 kA/m değerine kadar çıkabilmektedir. Bu manyetik alanda J 'nin değeri 1.02 T ve 1.25 T olarak bulunmuştur. Tablo 4.2 üretilen her iki hacimli metal cam alaşımı için J_s ve H_c değerlerini göstermektedir.

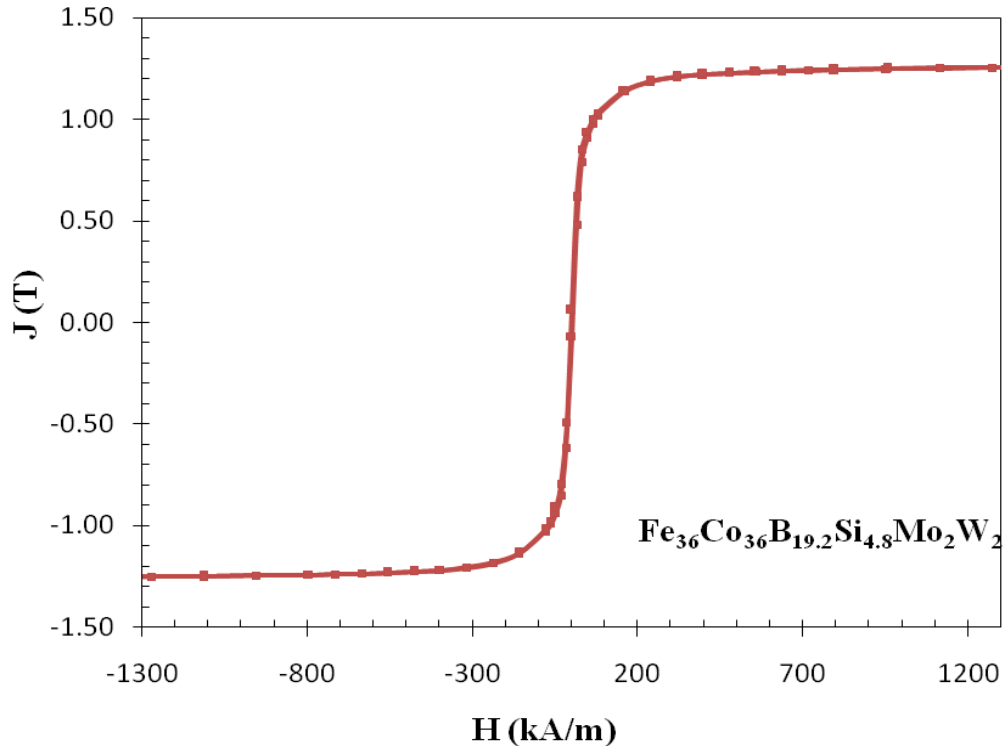
$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ alaşımı 19 A/m gibi küçük bir H_c değerine sahiptir ve yumuşak (soft) manyetik bir malzeme olduğu söylenebilir. Diğer taraftan $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımının H_c değeri 1 kA/m değerinin üzerindedir.

Tablo 4.2 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}, \text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) alaşımları için ölçülen manyetik özellikler

X	J_s (T)	H_c (A/m)
Nb	1.02	19
$\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$	1.25	1685



Şekil 4.3 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ alaşımı için elde edilen VSM sonuçları



Şekil 4.4 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı için elde edilen VSM sonuçları

$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımındaki çöken bazı küçük kristal fazları doyum mıknatıslanması değerini arttırmaktadır. Ayrıca bu kristal fazları malzemenin sıfırlayıcı alan değerini de değiştirmektedir. Bunun nedeni malzemenin yapısındaki bu çökelmiş fazlar manyetik momentlerin alan yönündeki hareketini zorlaştırır ve dolayısıyla malzeme üzerindeki toplam mıknatıslanmayı sıfır yapmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Bu da malzemenin daha büyük bir sıfırlayıcı alana sahip olması demektir.

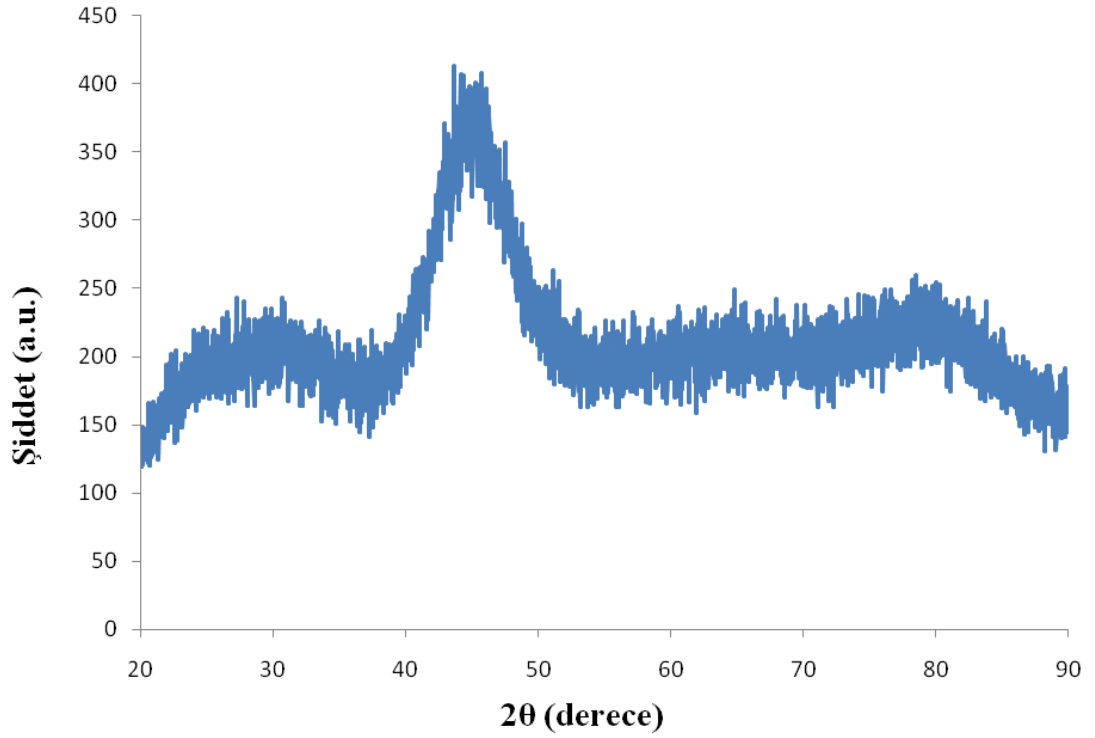
4.2.4 Amorf şerit İle İlgili Sonuçlar

Üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı milimetre mertebesindeki kalınlıklarda, kullanılan geleneksel üretim tekniği ile tam amorf yapıda elde edilememiş, parçalı amorf olarak üretilebilmiştir. Bu alaşımının amorf yapıya sahip olma eğilimini araştırmak için, eriyik eğirme yöntemi ile (melt spinning) bu alaşımdan 25 μm kalınlığında şerit üretilmiştir. Eriyik eğirme yönteminde erimiş haldeki alaşım dönen bir çember üzerine yüksek vakum altında püskürtülerek hızlı katılaşması sağlanır. Böylelikle üretilen alaşım şerit olarak üretilmiş olur. Amorf şerit Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü Araştırma Laboratuvarında PT projesi ile kurulmuş yüksek teknolojiye sahip eriyik eğirme sistemi kullanılarak üretilmiştir.

$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımından elde edilen şerit için hacimli örneklere yapılan deneysel ölçümler tekrarlanmıştır.

4.2.4.1 Yapısal Analizi

şerit haline getirilen alaşımdan elde edilen XRD spektrumu şekil 4.5'te görölmektedir. X-ışını kırınımı Rigaku D/MAX 2200 cihazı ile tek renkli $\text{CuK}\alpha$ ışması kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Fe₃₆Co₃₆B_{19.2}Si_{4.8}Mo₂W₂ alaşımından elde edilen şeridin XRD sonuçları

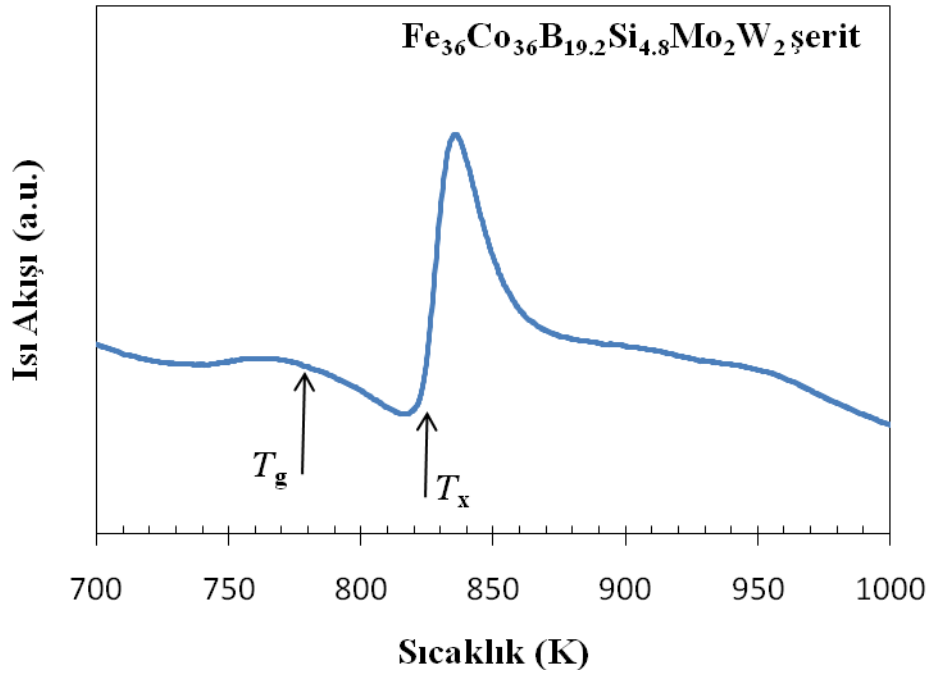
Elde edilen XRD desenine göre (Şekil 4.5) üretilen malzemenin amorf yapıda olduğu söylenebilir. Çünkü bu desen geniş bir pike sahiptir. Onun dışında herhangi belirli bir kristal fazına da rastlanmamıştır. Buradan şu sonuçlara ulaşılabilir:

Üretilen malzemelerin camlaşabilmesi belirli bir kalınlığa kadar gerçekleşir. Üretim yöntemi ve dolayısıyla hızlı katılaştırma işlemi malzemenin ulaşabileceği maksimum kalınlığa bir sınır getirmektedir. Aynı alaşım için farklı soğuma oranları ve farklı üretim yöntemleri kullanılarak daha iyi camlaşma yeteneğine sahip hacimli metal camlar üretilir. Fakat bu yöntemler ile üretim oldukça maliyetlidir.

Elde edilen sonuçlara göre hacimli olarak üretilen parçalı amorf Fe₃₆Co₃₆B_{19.2}Si_{4.8}Mo₂W₂ alaşımı şerit halinde (25 µm kalınlıkla) camsı amorf yapıda olduğu kolaylıkla söylenebilir.

4.2.4.2 Termal Analizi

Şekil 4.6'da $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımından üretilen şerit için elde edilen DSC eğrisi görülmektedir. 25 μm kalınlıktaki şerit için belirgin bir cam geçişi gözlenmiştir. Bu cam geçişinin gerçekleştiği sıcaklık olan T_g 778 K'dir. Benzer şekilde bu şeridin T_x değeri ise 824 K olarak bulunmuştur. Bu değerlerden elde edilebilen ΔT_x değeri ise 46 K olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımından üretilen şerit için elde edilen DSC eğrisi

Şekil 4.7 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımından üretilen şeritten küçük bir parçayı göstermektedir. Eriyik eğirme yöntemi ile az bir miktardaki alaşımlardan metrelerce şeritler üretmek mümkündür.



Şekil 4.7 Üretilen şeritten küçük bir kesit

4.3 Yapay Sinir Ağları Sonuçları

Bu kısımda yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilen modellerden elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Geliştirilen modeller ve elde edilen veriler iki temel başlık altında incelenmiştir. Bunlardan ilki manyetik özelliklerin (M_s ve H_c) tahminlerini içeren model, ikincisi ise camlaşma yeteneğini belirleyen özelliklerin tahminlerine dayanan modellerdir. Yapay sinir ağları için kullanılan giriş ve çıkış verileri sonraki iki bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Öncelikle literatürde yer alan birçok çalışma incelenmiştir ve bu çalışmalarda elde edilen deneysel veriler kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Yapay sinir ağlarının öğrenme ve kendini geliştirme işlemleri için gerekli olan veriler bu çalışmalar referans alınarak derlenmiş ve geliştirilen modellerde uygulamaya konulmuştur.

4.3.1 Manyetik Özelliklerin Tahmin Sonuçları

Kullanılan modellemede öncelikle, farklı kimyasal kompozisyonlara sahip çeşitli manyetik hacimli metal camların termal özellikleri ve kritik kalınlık değerleri literatürdeki verilerden derlenmiştir. Bu veriler yapay sinir ağının öğrenme verileri olarak kullanılmıştır. Ayrıca geliştirilen ağı test etmek için, farklı kimyasal kompozisyonlu alaşımlardan bazılarında ait veri grubu test verisi olarak belirlenmiş ve bu veriler öğrenme işlemine dahil edilmemiştir. Ağı giriş verileri olarak, hacimli metal camların içerdiği her bir elementin (Fe, Co, Ni, Cu, B, Nb, Zr, Mo, W, Si, Ta, Ti, Cr, Y, Al, Hf, P, C, Ga) kimyasal kompozisyondaki yüzdesi ve alaşımların yoğunlukları (ρ) kullanılmıştır. ρ hacimli metal cam alaşımlar için ayırt edici bir özellik olduğu için tercih edilmiştir.

Geliştirilen ağı yapısına bakacak olursak, birbirine tamamen bağlı çok katmanlı bir ağıdır. Yapay sinir ağının giriş katmanı 20 nörona, gizli katmanı 8 nörona ve çıkış katmanı da 5 nörona sahiptir. Giriş verileri geliştirilen ağı genetik algoritma kullanılarak öğretilmiştir. Bu algoritma öğrenme işlemi sırasında giriş verilerinin ağırlıklarını iyi ayarlayarak ağı çıkışındaki hatayı en aza indirmektedir. Genetik algoritma, yapay sinir ağlarının öğrenme işlemi için kullanılan diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Gizli katmanda hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu, çıkış katmanında ise sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmıştır.

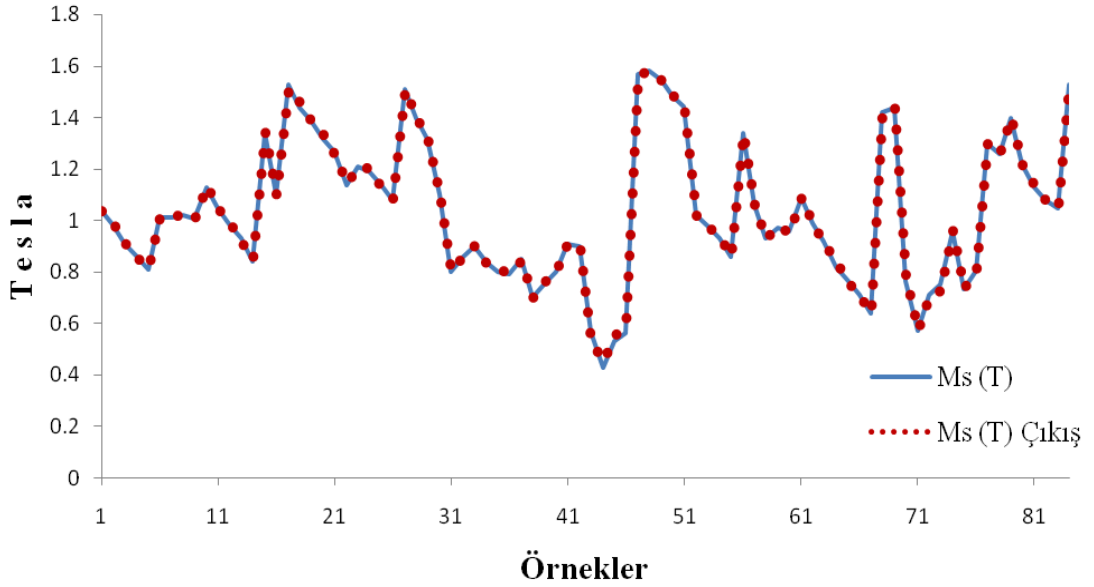
Camlaşma yeteneğini belirleyen özellikleri bilinen hacimli metal camların M_s değeri başka bir benzer yapay sinir ağı modeli için tekrarlanmıştır. Bu model için de kullanılan öğretim algoritması, gizli katmanda ve çıkış katmanında kullanılan transfer fonksiyonları aynı seçilmiştir.

Ağı öğrenme işlemi 5000 kez tekrarlanmıştır ve ortalama karesel hata yaklaşık 8×10^{-5} olarak bulunmuştur. Tablo 4.3'te ağı istatistiksel performans değerleri verilmiştir. Çıkış verileri öğrenme verileri ile test edildiğinde uyumun %99.95 olduğu görülmüştür.

Tablo 4.3 Uygulanan ağın istatistiksel performansı

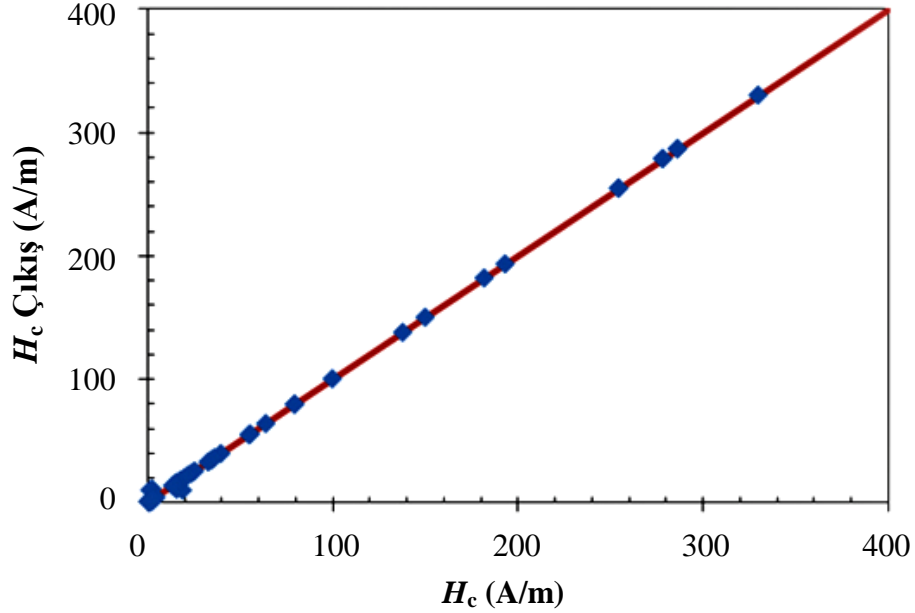
Performans	M_s (T)
Ortalama Kareysel Hata	8.01E-05
Normalize Ortalama Kareysel Hata	0.001063
Ortalama Mutlak Hata	0.005358
En Küçük Mutlak Hata	1.93E-06
En Büyük Mutlak Hata	0.0372
Doğrusal Uyum Katsayısı	0.9995

Şekil 4.8’de ağın tahmin ettiği M_s değerleri ile llen M_s değerleri arasındaki değişimi göstermektedir. Ağın ıkıŐ verilerinin ortalama hatası kabul edilebilir çok iyi değerde sahiptir. Dolayısıyla bu model M_s değerinin tahmini için kullanılabilir.

**Şekil 4.8** Ağın tahmin ettiği ve gerçek M_s değerlerinin değişimi

Ayrıca, sadece kimyasal kompozisyonlarda kullanılan elementlerin yüzdesi ve ρ giriş verisi olarak alınarak M_s ve H_c değerleri tahmin ettirilebilir. Böyle bir ağ da

oldukça başarılı tahminler yapabilmektedir. Şekil 4.9'da ölçülen H_c değerlerinin ağıın çıkışı ile uyumu görülmektedir.

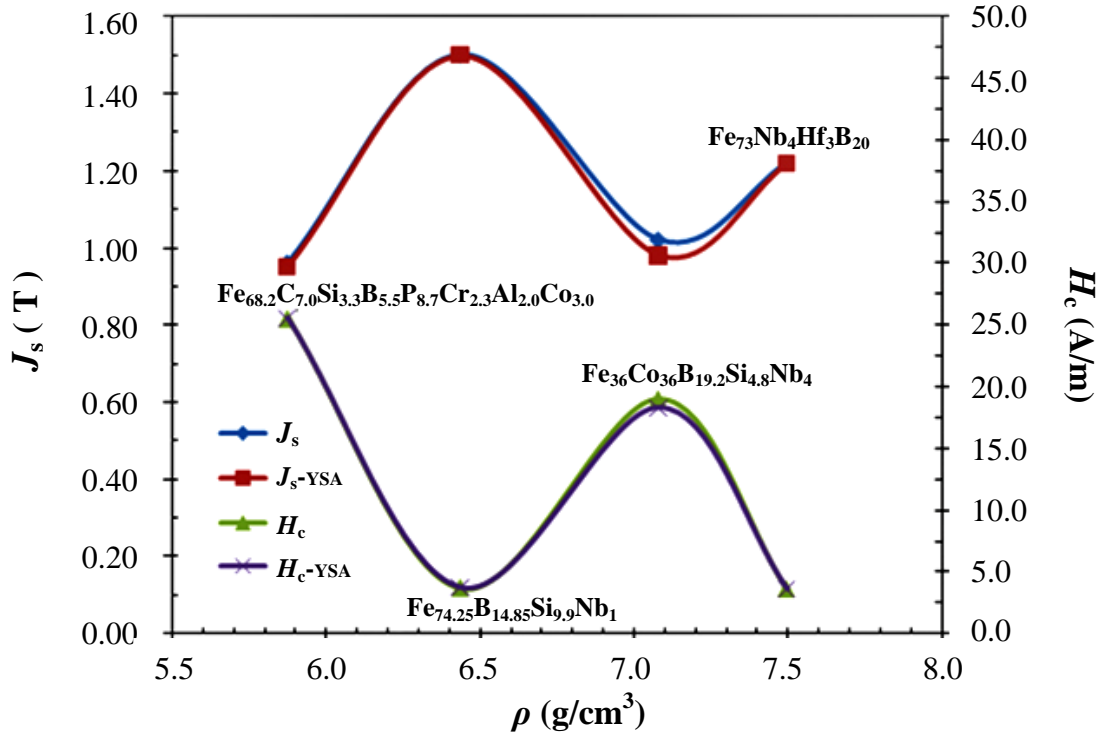


Şekil 4.9 Ölçülen H_c değerlerinin ağıın çıkışı ile değişimi

Şekil 4.10 ise öğrenmeye dahil olmayan test verileri için ağıın çıkış değerleri ve ölçülen manyetik değerlerin (M_s ve H_c) ρ ile değişimini göstermektedir. Sonuçların büyük bir uyum içerisinde olduğu rahatça görülmektedir. Bu da geliştirilen yapay sinir ağıının test edilen manyetik alaşımlar için kabul edilebilir bir tahmin etme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4 ise öğrenme verilerinin bir kısmının manyetik özelliklerinin (M_s ve H_c) ölçülen ve tahmin edilen değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Bu değerler arasında oldukça iyi bir uyum vardır. Ayrıca ağıın çıkışı ve gerçek değerler arasındaki yüzde (%) hata Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Hatalar Eşitlik (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ hata} = \left| \frac{\text{çıkış verisi} - \text{gerçek değer}}{\text{gerçek değer}} \right| \times 100 \quad (4.1)$$



Şekil 4.10 Öğrenmeye dahil olmayan test verileri için tahmin edilen ve ölçülen manyetik özelliklerin (M_s ve H_c) ρ ile değişimi.

Tablo 4.4 Manyetik alaşımların manyetik özellikleri için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması

Manyetik Alaşımın Kimyasal Kompozisyonu	M_s	M_{s_YSA}	M_{s_YSA}	H_c	H_{c_YSA}	H_{c_YSA}
	(T)	(T)	(%) hata	(A/m)	(A/m)	(%) hata
$Fe_{72}B_{22}Y_4Ti_2$	1.022	1.022	0.00	15.9	19.72	23.87
$Fe_{76}Si_9B_{10}P_5$	1.51	1.5	0.66	0.8	0.78	2.50
$Fe_{60}Co_{10}Hf_5Mo_7B_{15}Y_3$	0.53	0.622	16.70	79.6	79.67	0.11
$Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Nb_4$	1.02	0.99	2.94	19	18.23	4.15
$Fe_{72}B_{22}Y_6$	1.571	1.520	3.25	15.9	14.5	8.92
$Fe_{66}W_6Y_6B_{22}$	0.64	0.64	0.00	2	2	0.00
$Fe_{70}Nb_4Hf_3B_{20}Y_3$	1.05	1.04	0.95	2.1	1.9	9.52

4.3.2 Camlaşma Yeteneğini Belirleyen Özelliklerin Tahmini

İlk geliştirilen modelde giriş verileri olarak her bir elementin alaşımdaki yüzdesi ve alaşımların ρ değerleri kullanılmıştır. Camlaşma yeteneğini belirleyen en önemli özellik olan T_g değeri ise çıkış verisi olarak belirlenmiştir. Bu model için kullanılan öğretim algoritması, gizli seviyede ve çıkış seviyesinde kullanılan transfer fonksiyonları manyetik özelliklerin tahmininde kullanılan model ile aynıdır. Bu model, üretimi yapılacak olan alaşımın cam geçiş sıcaklığını belirlemede kullanılabilmesi için geliştirilmiştir.

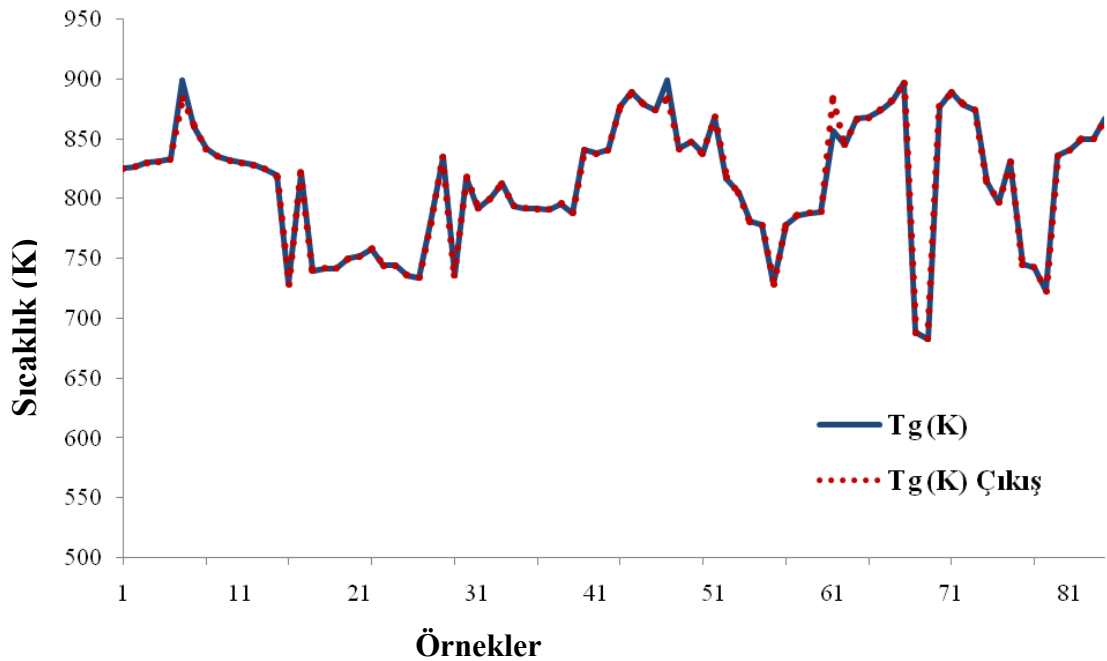
Tablo 4.5'te kullanılan ağırlık istatistiksel performans değerleri verilmiştir. Ağ öğrenme işlemini 10000 kez tekrarlamıştır ve ortalama karesel hata yaklaşık 14,44

olarak bulunmuştur. Çıkış verileri öğrenme verileri ile test edildiğinde aralarındaki uyumun %99.73 olduğu görülmüştür.

Tablo 4.5 Ağın istatistiksel performansı

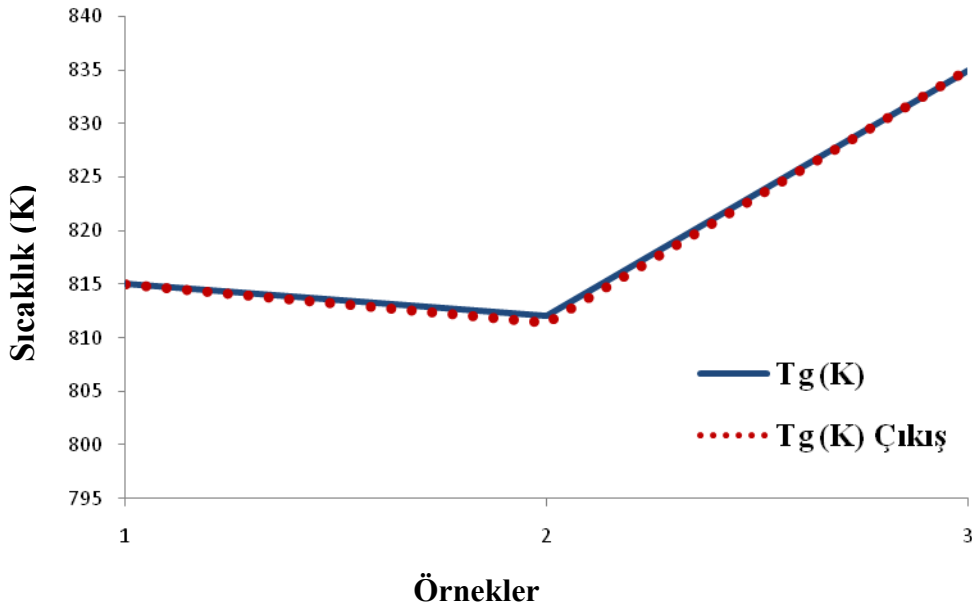
Performans	T_g (K)
Ortalama Karesel Hata	14,44
Normalize Ortalama Karesel Hata	0,00539
Ortalama Mutlak Hata	0,771
En Küçük Mutlak Hata	0,00147
En Büyük Mutlak Hata	18,37
Doğrusal Uyum Katsayısı	0,9973

Şekil 4.11 uygulanan ağın tahmin ettiği T_g değerlerinin ölçülen T_g değerleri ile değişimini göstermektedir. Geliştirilen ağın ortalama hatası kabul edilebilir bir aralıktadır. Dolayısıyla bu yapay sinir ağı modeli cam geçişlerinin tahmini için kullanılabilir.



Şekil 4.11 Ölçülen ve ağın çıkışı arasındaki T_g değerlerinin dağılımı

Şekil 4.12 ise öğrenmeye dahil olmayan 3 test verisi için ölçülen T_g değerlerinin ağ çıkışı ile değişimi verilmiştir. Sonuçların ölçülen değerlerle büyük bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Bu da uygulanan yapay sinir ağının benzer kimyasal kompozisyonlara sahip alaşımlar için tahmin yeteneğinin kuvvetli olduğunu gösterir. Tablo 4.6’da ise test edilen alaşımların sahip oldukları cam geçiş sıcaklıkları ile ağın çıkışı verilmiştir.



Şekil 4.12 Öğrenmeye dahil olmayan 3 test verisi için ölçülen T_g değerlerinin ağ çıkışı ile değişimi

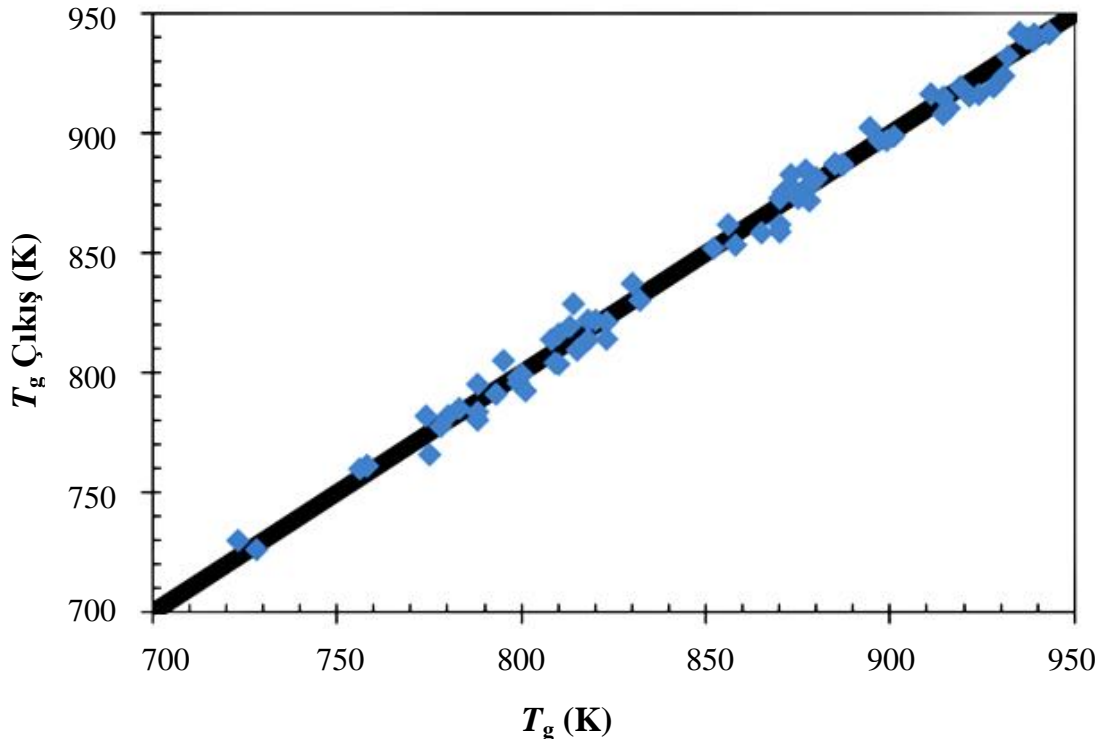
Tablo 4.6 Öğrenmeye dahil olmayan 3 manyetik alaşım için ölçülen T_g değerlerinin ağ çıkışı ile karşılaştırılması

Manyetik Alaşım	T_g (K) - Gerçek değerler	T_g (K) - Ağın çıkış verileri
$Fe_{74.25}B_{14.85}Si_{9.9}Nb_1$	815	814.99
$Fe_{73.5}B_{14.7}Si_{9.8}Nb_2$	812	811.39
$Fe_{72}B_{14.4}Si_{9.6}Nb_4$	835	834.99

Daha sonra camlaşma yeteneğini belirleyen tüm özelliklerin (T_g , T_x , T_{rg} , t_{max}) hepsini aynı anda tahmin edebilecek ağın giriş verileri olarak, manyetik özelliklerin modellenmesinde kullanılan ağa benzer şekilde, hacimli metal camların içerdiği her bir elementin (Fe, Co, Ni, Cu, B, Nb, Zr, Mo, W, Si, Ta, Ti, Cr, Y, Al, Hf, P, C, Ga) kimyasal kompozisyondaki yüzdesi ve alaşımların ρ değerleri kullanılmıştır.

Geliştirilen ağ birbirine tamamen bağlı çok katmanlıdır. Yapay sinir ağının giriş seviyesi 20 nörona, gizli seviye 8 nörona ve çıkış seviyesi de 5 nörona sahiptir. Giriş verileri geliştirilen ağa genetik algoritma kullanılarak öğretilmiştir. Bu ağda da gizli seviyede hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu ve çıkış katmanında ise sigmoid transfer fonksiyonu kullanılarak melez bir ağ oluşturulmuştur.

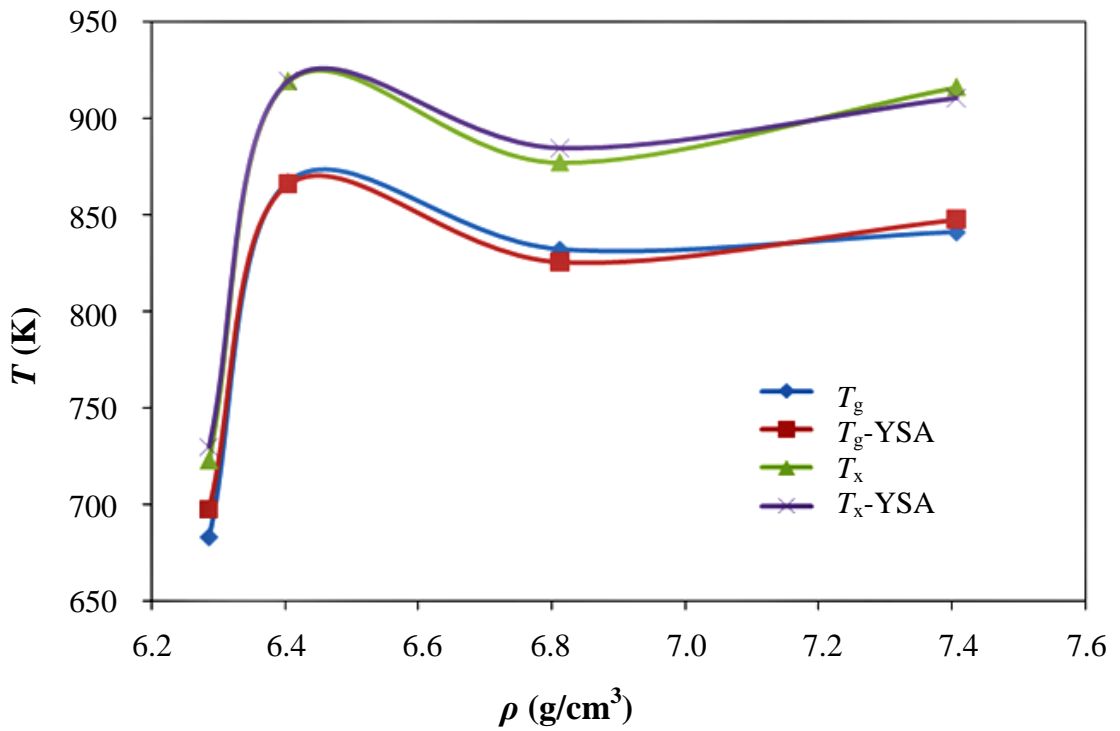
Şekil 4.13’de ise tüm öğrenme verilerinin ölçülen T_g değerlerinin, ağın çıkışında elde edilen T_g çıkış değerleri ile değişimi gösterilmiştir.



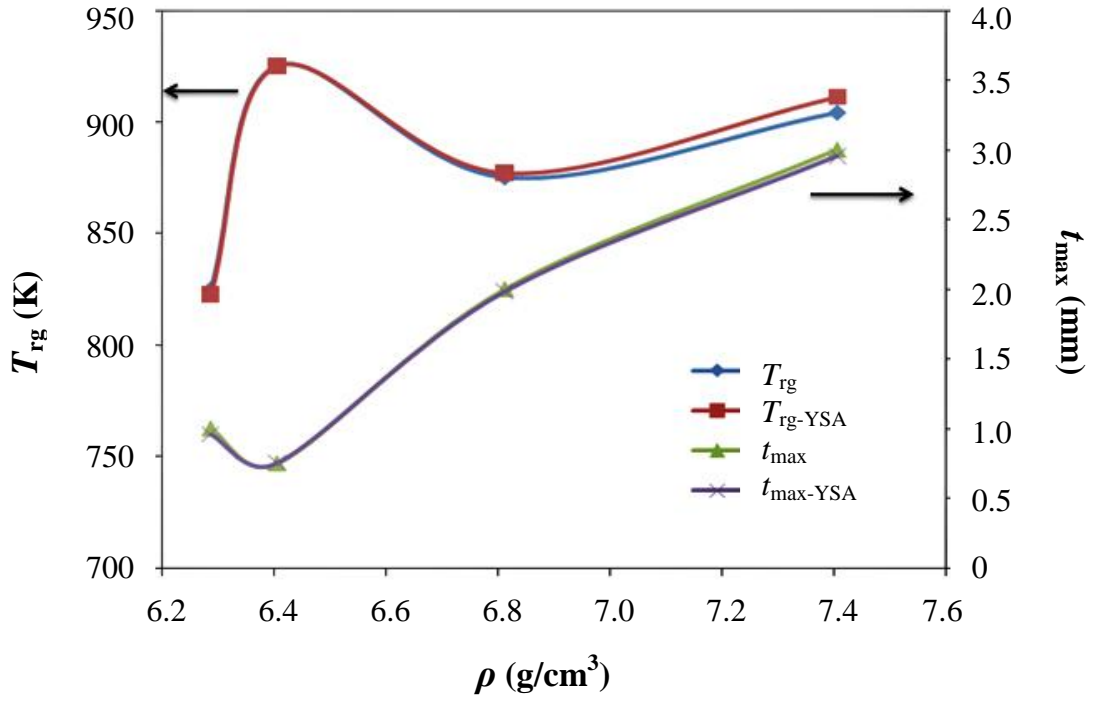
Şekil 4.13 Ölçülen T_g değerlerinin ağın çıkışı ile değişimi

Tablo 4.7’de giriş verisi olarak kullanılan manyetik alaşımların, camlaşma yeteneğini belirleyen özellikleri (T_g , T_x , T_{rg} ve t_{max}) için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması ve yüzde hataları verilmiştir. Tablodaki yüzde hata değerleri Eşitlik (4.1) ile hesaplanmıştır. Bu değerler arasında oldukça iyi bir uyum vardır.

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 ise öğrenmeye dahil olmayan test verileri için ağın çıkış değerleri ve ölçülen camlaşma yeteneğini belirleyen özelliklerin (T_g , T_x , T_{rg} ve t_{max}) ρ ile değişimini göstermektedir. Sonuçların büyük bir uyum içerisinde olduğu rahatça görülmektedir. Bu da uygulanan modelleme tekniği için yeterli ve iyi bir tahmin etme kapasitesine sahip olduğu gösterir.



Şekil 4.14 Öğrenmeye dahil olmayan test verileri için T_g ve T_x değerlerinin ağ çıkışı ile değişimi



Şekil 4.15 Öğrenmeye dahil olmayan test verileri için tahmin edilen ve ölçülen T_{rg} ile t_{max} değerlerinin ρ ile değişimi.

Tablo 4.7 Manyetik alaşımların camlaşma yeteneğini belirleyen özellikleri (T_g , T_x , T_{rg} ve t_{max}) için ölçülen ve tahmin edilen değerlerin karşılaştırması

Manyetik Alaşımın Kimyasal Kompozisyonu	T_g	T_{g_YSA}	T_{g_YSA}	T_x	T_{x_YSA}	T_{x_YSA}	T_{rg}	T_{rg_YSA}	T_{rg_YSA}	t_{max}	t_{max_YSA}	t_{max_YSA}
	(K)	(K)	(%) hata	(K)	(K)	(%) hata			(%) hata	(mm)	(mm)	(%) hata
$Fe_{72}B_{22}Y_6$	898.55	881.76	1.87	948.75	950.9	0.22	0.636	0.624	1.89	2	2.0	0.00
$Fe_{72}B_{22}Y_5Ti_1$	860.65	856.60	0.47	930.75	923.73	0.75	0.602	0.602	0.00	2	2.0	0.00
$Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Nb_4$	820	820.72	0.09	870	861.68	0.96	0.587	0.593	1.02	5	4.0	20.00
$Fe_{76}B_4Mo_4Si_3P_9C_4$	744	736.39	1.02	788	780.13	1.00	0.59	0.591	0.17	4	4.1	2.50
$Fe_{57.6}Co_{7.2}Ni_{7.2}Nb_4B_{19.2}Si_{4.8}$	818	825.20	0.88	873	882.50	1.09	0.606	0.607	0.17	2.5	2.5	0.00
$Fe_{70.56}B_{21.56}Y_{5.88}Ti_2$	841.65	837.57	0.48	914.35	907.72	0.73	0.593	0.593	0.00	3	3.0	0.00
$Fe_{70.56}B_{21.56}Y_{5.88}Ta_2$	847.75	847.80	0.01	931.95	931.98	0.00	0.596	0.596	0.00	4	4.0	0.00
$Fe_{35.82}Co_{35.82}Nb_{3.98}B_{19.104}Si_{4.776}$ $Cu_{0.5}$	805	807.84	0.35	830	837.09	0.85	0.592	0.591	0.17	3	3.1	3.33
$Fe_{35.73}Co_{35.73}Nb_{3.97}B_{19.056}Si_{4.764}$ $Cu_{0.75}$	781	783.68	0.34	818	813.67	0.53	0.567	0.571	0.71	3	2.9	3.33
$Fe_{65.45}Co_{11.55}B_{3.5}Si_{2.5}P_{10}C_5Ga_2$	723	721.60	0.19	756	759.69	0.49	0.575	0.576	0.17	3	3.0	0.00

5. TARTIŞMA

$\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{X}_4$ ($\text{X}=\text{Nb}$ or $\text{Mo}_{0.5}\text{W}_{0.5}$) kimyasal kompozisyona sahip hacimli metal camlar santrifüj döküm tekniği kullanılarak üretilmiştir. Malzemelerin yapısal analizleri sonucu elde edilen bilgilere göre $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ tam amorf yapıdadır. Çünkü XRD ölçümleri sonucu elde edilen spektrumda amorf malzemelerin için genel bir yapı olan, tek bir geniş pike sahiptir. Dolayısıyla bu alaşım tam amorf yapıda ve hacimli (2 mm) olarak üretilmiştir.

Üretilen $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ alaşımı ise amorf yapılara benzer bir XRD spektrumu gösterse de, bazı çöken kristal fazlarına sahiptir. Bu durumda malzemenin parçalı amorf yapıda olduğu söylenebilir. Bu alaşımın amorf yapıya sahip olma eğilimi araştırılmak üzere bu alaşım, eriyik eğirme yöntemi kullanılarak şerit olarak da üretilmiştir. XRD sonuçlarına göre bu şeridin amorf yapıda olduğu açıkça bellidir. Bu sebeplerle 25 μm kalınlıkla üretilen bu alaşımın amorf yapıya sahip olduğu görülmüştür. Buradan alaşımların camlaşma yeteneğinin, üretilen kompozisyona ve üretim yöntemine yani erimiş haldeki alaşımın soğuma oranına bağlı olarak belirli bir kalınlıkla sınırlı olduğu görülmüştür.

Termal analiz sonuçlarına göre $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ alaşımı için cam geçişi 817 K'de gerçekleşmiştir. Aynı alaşım için T_x değeri 856 K, T_m değeri ise 1359 K olarak ölçüldü. Bu değerler yardımıyla hesaplanan T_{rg} değeri 0.601 ve ΔT_x değeri ise 39 K olarak hesaplanmıştır. $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ kompozisyonlu alaşım içinse T_x değeri 799 K ölçülse de, belirgin bir cam geçişi gözlemlenememiştir. Ancak aynı alaşımdan elde edilen şerit için durum farklıdır. DSC sonuçlarına göre de şeridin belirli bir cam geçiş sıcaklığı ve kristalleşme sıcaklığı vardır. Buda bu alaşımın için camlaşma yeteneğinin diğer alaşımdan daha az olduğunun bir göstergesidir.

Diğer taraftan $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Nb}_4$ alaşımı için M_s değeri 1.02 T, H_c değeri ise 19 A/m ölçülmüştür. Üretilen bir diğer $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{36}\text{B}_{19.2}\text{Si}_{4.8}\text{Mo}_2\text{W}_2$ kompozisyonlu alaşım

içinse M_s değeri 1.25 T, H_c değeri ise 1685 A/m olarak ölçülmüştür. Bu sonuçları manyetik özellik açısından değerlendirilecek olursa, alaşımda Nb yerine Mo ve W yerleştirmek M_s ve H_c değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Bunun nedeni $Fe_{36}Co_{36}B_{19.2}Si_{4.8}Mo_2W_2$ alaşımında çöken bazı kristal fazlarıdır. Bu fazlar malzemenin sahip olduğu manyetik momentlerin alan yönünde yönelimini zorlaştırmaktadır. Dolayısı ile malzemenin üzerindeki net mıknatıslanmayı sıfırlamak için daha büyük bir enerjiye yani daha büyük bir manyetik alana ihtiyaç duyulur. Bu da malzemenin daha büyük bir H_c değerine sahip olmasına yol açmaktadır.

Geliştirilen modellemelerde, kimyasal kompozisyondaki her bir elementin alaşımdaki yüzdesi ve alaşımların yoğunlukları giriş verileri olarak kullanılmıştır. Çıkış verileri olarak ise manyetik değerler (M_s ve H_c), hacimli metal camların camlaşma yeteneğini belirleyen özellikler (T_g , T_x ve T_{rg}) ve t_{max} seçilmiştir.

Burada kullanılan yapay sinir ağı modelleri yöntemler çok başarılı sonuçlar verse de önerilen metotlar bazı kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir. Bu da kullanılan yöntemi genel bir çözüm olarak teklif etme ihtimalini azaltmaktadır. Çünkü öğretilen yapay sinir ağları belirli kimyasal kompozisyona sahip hacimli metal camları temel edinmiştir. Sunulan çözümü genişletmek için ağın yenilenme ve kendini geliştirme özellikleri kullanılabilir. Bu durum, ağa farklı kimyasal kompozisyonlardaki hacimli metal camların çeşitli özellikleri tekrardan verilerek sağlanabilir. Eğer yapay sinir ağlarına öğretilen bu yeni deneysel veri grubu, hacimli metal camların camlaşma yeteneğini ve manyetik performansını geliştirecek şekilde düzenlenirse, geliştirilen ağ daha geniş bir alaşım yelpazesinde daha genel çözümler sunabilir. Ancak bu çalışmada sunulan modelleme ve veri tabanı yeterli doğruluğa sahiptir. Bunun yanında geliştirilen yapay sinir ağları kullanılan elementleri içeren alaşımlar için büyük çabalar sarfetmeden, daha kolay ve daha güvenilir şekilde camlaşma yeteneğini ve manyetik özellikleri tahmin etmede kullanılabilir.

Bunlarla birlikte uygulanan yapay sinir ağları bu belirlenen özelliklerin tahmininde oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Ağların tahmin ettiği değerler daha

önceden literatürde bildirilen verilerle iyi bir uyum içerisindedir. Bu modeller termal özelliklerini bildiğimiz malzemenin manyetik özelliklerini belirlemede ve üretilecek malzemelerin camlaşma yeteneğini belirleyen özelliklerini ve kritik kalınlıklarını belirlemede bize yardımcı olabilirler. Elde edilen sonuçlara göre geliştirilen yapay sinir ağı modelleri camlaşma yeteneğini ve manyetik özelliklerin belirlenmesinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

AKIBA M, SHEN B, AKIBA M, INOUE A, Applied Physics Letters 88, 131907 (2006)

AKIHISA I, Acta mater., 48 (2000) 279-306

AYKOL M, Nano-Scale Phase Separation And Glass Forming Ability Of Iron-Boron Based Metallic Glasses, PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 2008

AMIYA K, URATA A, NISHYAMA N, INOUE A, Materials Science and Engineering, A 449–451 (2007) 356–359

BAOLANG S, CHANG C, INOUE A, Intermetallics 15 (2007) 9-16

BARANDIARAN J M, BEZANILLA J, DAVIES H A, PAWLIK P, Sensors and Actuators A, 129 (2006) 50–52

BHATTACHARYA S, LASS E A, POON S J, SHIFLET G J, Journal of Alloys and Compounds, 488 (2009) 79–83

CHANG C, SHEN B, ZHANG Z, INOUE A, Journal Of Applied Physics 102, 023515 (2007)

CHANG H.W, HUANG Y.C, CHANG C.W, CHIU C.H, CHANG W.C, Glass formability and soft magnetic properties of bulk Y–Fe–B–Ti metals, , (2007)

CHANG, J.W. and L.T. ROMANKIW. 1994. Magnetic Materials Processes and Devices ed L T Romankiw and D A Herman (Pennington, NJ: Electrochemical Society) 223.

CHIKAZUMI, S. 1964. Physics Of Magnetism. Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 554.

CULLITY, B.D. 1978. Elements of X-Ray Diffraction (2. ed.), Addison-Wesley, London.

DAVID, J. 1996. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman & Hall, London.

DEAN John A. (1995). *The Analytical Chemistry Handbook*. New York: McGraw Hill, Inc. 1995. p.15.1–15.5.

DREYFUS G, *Neural Networks Methodology and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, Germany, p. 497

DUWEZ P, KLEMENT W, WILLENS R H, *Nature* 187 (1960) 869-870.

FLEURY E, SONG D S, KIM J H, KIM W T, KIM D H, *Journal of Alloys and Compounds*, 389 (2005) 159–164

GUO S F, WU Z Y, LIU L, *Journal of Alloys and Compounds*, 468 (2009) 54–57

HAGAN M T, DEMUTH H B, BEALE M, *Neural Network Design*, PWS Publishing Company, 01-2001-5321, United States of America, p.734

HAGIWARA M, INOUE A, MASUMOTO T, *Production Of Amorphous Co-Si-B And Co-M-Si-B (M = Group-IV - VIII Transition-Metals) Wires By A Method Employing Melt Spinning Into Rotating Water And Some Properties Of The Wires*, *Metall. Trans. A* 13A (1982) 373

HAYKIN S, *Neural Networks A Comprehensive Foundation 2.nd Edition*, Prentice-Hall Inc, United States of America, 1999.

HRISTEV R M, *The ANN Book*, Edition 1, GNU Public License ver.2, 1998

HSEIEH C C, CHANG H W, HUANG Y C, CHANG C W, CHANG W C, *Journal of Alloys and Compounds*, 472 (2009) 166–170

HUANG Y C, CHANG H, CHANG C W, CHIU C H, CHANG W, *Journal of Alloys and Compounds*, 462 (2008) 68–72

INOUE A. *Acta Mater.* 2000. 48, 279

INOUE A., SHEN, B.L., KOSHIBA, CHANG, C.T, “Fe- and Co-based bulk glassy alloys with ultrahigh strength of over 4000 MPa”, 2006, *Intermetallics*, Vol.14, p.936-944

JARAMILLO J.H, J. BUHADURY, R. BATTA. 2002. *On The Use Of Genetic Algorithms To Solve Location Problems*. *Computers And Operations Research*, 29. p.761-779

JIANG J Z, HUANG X M, CHANG C T, CHANG Z Y, INOUE A, *Materials Science and Engineering*, A 527 (2010) 1952–1956

JIAO Z B, LI H X, WANG S L, YI S, WU Y, LU Z P, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 321 (2009) 2833–2837

JILES, D. 1996. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman and Hall, London, p. 71.

JUNG H Y, LI H X, YI S, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 320 (2008) 241–245

KITTEL, C. 2005. Introduction To Solid State Physics 8Th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 681.

KUBOTA T, MAKINO A, CHANG C, MAKABE M, INOUE A, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 320 (2008) 2499–2503

KÜÇÜK İ, Çalışma Frekansına Ve Geometrik Yapıya Bağlı Olarak Toroid Çekirdeklerin Manyetik Özelliklerinin Deneysel Ve Kuramsal İncelenmesi, Doktora Tezi, Bursa, 2003

LIU F, PANG S, LI R, ZHANG T, Journal of Alloys and Compounds, 483 (2009) 613–615

LONG Z, SHAO Y, XU F, HONGQINGWEI H, ZHANG Z, ZHANG P, SU X, Materials Science and Engineering, B 164 (2009) 1–5

LONGA Z, SHAO Y, XIE G, ZHANG, SHEN B, INOUE A, Journal of Alloys and Compounds, 462 (2008) 52–59

MAKINO A, SHEN B, INOUE A, Applied Physics Letters 91, 234101 (2007)

MILLER M, LIAW P. Bulk Metallic Glasses An Overview, 2008

PANG S, LIU F, LI R, ZHANG T, Journal of Alloys and Compounds, 483 (2009) 613–615

PUNGOR E, A Practical Guide to Instrumental Analysis, Florida Boca Raton, 1995, p.181–191

SERWAY, R.A. 1996. Physics (IV. Kısım), Çev. Editörü: K. Çolakoğlu. Palme Yayıncılık, Ankara.

SHEN B AND INOUE A, Materials Science and Engineering, A 375–377 (2004) 302–306

SHEN B, INOUE A, Applied Physics Letters, VOLUME 85, NUMBER 21

SKOOG D A, HOLLER F. J, NIEMAN T. Principles of Instrumental Analysis (5 ed.). New York 1998. p.805–808

TELFORD M, The Case For Bulk Metallic Glass, Materials Today, March 2004, p.8

WADHWA P, Non Newtonian Viscosity of Bulk Metallic Glass Forming Liquids and the Ordering and Shear Rate Induced Crystallization of Undercooled Zr_{41.2}Ti_{13.8}Cu_{12.5}Ni_{10.0}Be_{22.5} Metallic Glass Forming Melt, PhD Thesis, 2007

WANG X. M, INOUE A, ZHANG W, Developments and Applications of Bulk Metallic Glasses, (2008)

WU Z Y, GUO S F, LIU L, Journal of Alloys and Compounds, 468 (2009) 54–57

WUNDERLICH B, Thermal Analysis, New York, Academic Press, 1990, p.137–140

TEŞEKKÜR

Bu tezin yapımı sırasındaki değerli yorum ve önemli katkıları için danışmanım Doç. Dr. İlker KÜÇÜK'e sonsuz teşekkürler ederim. Bireysel çalışmalarımızı yaptığımız Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İleri Malzeme Geliştirme Laboratuvarı (NOVALAB) sorumlusu Prof. Dr. M. Vedat AKDENİZ'e, laboratuvar çalışanları Muratahan AYKOL, Araş. Gör. Mehmet YILDIRIM ve Araş. Gör. Nagehan DUMAN'a çok teşekkür ederim. Gaziosmanpaşa Üniversitesi'nde yaptığımız çalışmalarda da katkılarından dolayı Doç. Dr. Orhan UZUN'a ve Araş. Gör. Fikret YILMAZ'a teşekkür ederim. Ayrıca yardıma her ihtiyaç duyduğumda yanımda bulduğum tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu zamana kadar hep yanımda olup bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan aileme en içten dileklerle teşekkür ederim.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet KABAER 1985 yılında İstanbul'da doğdu. İlköğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra İstanbul Adile Mermerci Anadolu Lisesi'ne gitmeye hak kazandı. Buradaki yedi yıllık öğreniminin ardından Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimini dört yılda tamamladıktan sonra Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Katıhal Fiziği Bilim Dalı'nda, Doç. Dr. İlker KÜÇÜK danışmanlığında yüksek lisans programına başladı.

Bu Araştırmadan Sunulan Bildiriler ve Yapılan Yayınlar:

- 1) International Conference on Superconductivity and Magnetism 25-30 April 2010 Antalya Turkey konferansında “*Computational Modeling of Glass Forming Ability and Critical Diameter of Magnetic Bulk Amorphous Alloys*” başlıklı poster bildiri.
- 2) “*Computational Modeling of Glass Forming Ability and Critical Diameter of Magnetic Bulk Amorphous Alloys*” Journal of Superconductivity and Novel Magnetism isimli SCI dergide kabul edildi.
- 3) 14th Czech and Slovak Conference on Magnetism 6.-9. July 2010, Koşice, Slovakia konferansında “*Computational Modeling of Magnetic Properties and Glass Forming Ability of Bulk Amorphous Materials*” başlıklı poster bildiri.
- 4) “*Computational Modeling of Magnetic Properties and Glass Forming Ability of Bulk Amorphous Materials*” Acta Physica Polonica A isimli SCI dergisinde basılmak üzere incelemede.