



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖRÜNTÜ TANIMA UYGULAMALARI KULLANILARAK SİNER
MAKİNESİ HIZ KONTROLÜ**

Ahmet BEŞKARDEŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2016



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖRÜNTÜ TANIMA UYGULAMALARI KULLANILARAK SİNER
MAKİNESİ HIZ KONTROLÜ**

Ahmet BEŞKARDEŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EYLÜL-2016

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖRÜNTÜ TANIMA UYGULAMALARI KULLANILARAK SİNER
MAKİNESİ HIZ KONTROLÜ

Ahmet BEŞKARDEŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Merve ERKINAY ÖZDEMİR danışmanlığında hazırlanan bu tez
06/09/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Merve ERKINAY ÖZDEMİR
Başkan


Yrd. Doç. Dr. Yakup KUTLU
Üye


Doç. Dr. Serdar YILDIRIM
Üye

Kod No: 24

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

06/09/2016

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Ahmet BEŞKARDEŞ

ÖZET

Yüksek fırın yoluyla demir çelik üretimi yapılan entegre fabrikaların önemli birimlerinden biri sinter tesisleridir. Sinter tesisleri hammadde dozajlama ünitesinden ve bu hammaddelerin yüksek fırında kullanılmaya hazır hale getirildiği sinter makinesinden oluşur.

Sinter makinesinde toz cevher, kireçtaşı, dünit gibi malzemeler kok tozu ile ergitilerek yüksek fırınlara gönderilir. Kısaca sinter adı verilen bu sinterlenmiş malzeme hem istenen yüksek fırın bazikliğini sağlamak için daha uygun bir malzemedir hem de yüksek fırının diğer bir girdisi olan peletten daha ekonomiktir. Sinter makinesinin verimli kullanılması iki yönden çok önemlidir: Birincisi, başka türlü kullanma imkânı olmayan toz cevher ve toz kok malzemeleri değerlendirilmiş olur. İkincisi yüksek fırına daha ucuz ve daha kaliteli malzeme sağlanır.

Bu çalışmada, İskenderun Demir Çelik A.Ş. sinter makinesinin verimini artırmak için makine hızı kontrolünün operatör yönetiminden alınarak otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. Sinter kalitesinden ödün vermeden üretimin artırılmasına dayanan bu tasarımda bir örüntü tanıma sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistemde sınıflandırıcı olarak doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağı ve destek vektör makineleri kullanılmıştır. Değişen işletme şartlarına göre makinedeki sinterleşme yeri ve süresini değiştirmeyecek şekilde makine hızını yönetmek anlamına gelen hız optimizasyonu için tecrübeli operatör kararları ile eğitilen bu yöntemlere, eğitim verisi içermeyen test verileri uygulanmış ve bu üç yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Buna göre doğrusal ayırma sınıflandırıcısında % 72, yapay sinir ağında % 83 ve destek vektör makinelerinde % 80 oranında doğruluk oranları elde edilmiştir.

Bu tezde yapılan başka bir çalışma ise ısı kontrolüne bağlı hız yönetimi modelinin geliştirilmesi ve bu modelin İsdemir sinter tesislerinde kullanılmaya başlanmasıdır. Bu model, bu çalışmada anlatılan sinter makinesi sıcaklık verilerini kullanarak makinedeki ısı kontrolünü sağlayan ve makineye yaptığı hız değeri atamalarıyla sinter makinesinin verimini artıran bir otomasyon yazılımıdır. Bu model sinter makinesinin verimini % 10 arttırmıştır.

2016, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sinter, ısı kontrol, BRP, BTP, örüntü tanıma, doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağı, destek vektör makineleri

ABSTRACT

Sinter plant is one of the important unit of the integrated plants, which made iron and steel production via blast furnace. The sinter plant consists of raw material dosing unit and sinter machine, which these raw materials are prepared in the blast furnace for use.

Fine ore, limestone, dunite materials are melted with coke and sent to the blast furnace. This sintered material, called as sinter in shortly, as a material for providing the desired high alkalinity, is both more suitable than ore and is more economical than pellets which is another input material of blast furnace. The efficient usage of sinter machine is important in two aspects: First, it makes possible of using fine ore and fine coke powders, that are otherwise not possible to be used. Second, cheaper and better quality materials are provided to blast furnace.

In this study, to increase the efficiency of the Iskenderun Iron and Steel Co. sinter machine, machine speed adjustment is done automatically, instead of being done by management of the operators. In this design which is aimed to increasing of production without sacrificing sinter quality, pattern recognition system has been developed. Linear discriminant classifier, artificial neural network and support vector machine are used in this system. Speed optimization means managing the speed of the machine without changing the place and time of the sintering point, regarding changing business conditions. For this optimization system is trained by experienced operators and the results of each method were compared with free test data. According to this study, % 72 accuracy rate in linear discriminant classifier, % 83 accuracy rate in artificial neural network and % 80 accuracy rate in support vector machine was obtained.

Another study carried out in this thesis is development of speed management model depending on thermal control, which is a part of this study applied for Isdemir sinter plant. This model is an automation software using the temperature data which is described in this study that increases the productivity of the sinter machine. This model has increased the efficiency of the sinter machine by 10%.

2016, 67 pages

Key Words: Sinter, thermal control, BRP, BTP, pattern recognition, linear discriminant classifier, artificial neural network, support vector machine

TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasının her aŐamasında hićbir desteęini esirgemeyen deęerli hocam ve danıŐmanım Yrd. Doć. Dr. Merve ERKINAY ÖZDEMİR'e rehberlięi ićin minnettarım.

Bu ćalıŐma ićin gerekli verilerin saęlanması ve geliŐtirilen yöntemlerin pratikte kullanılması konusunda her zaman teŐvikte bulunan, güvenini her zaman hissettiren İsdemir A.Ő. yöneticilerime Elektronik Otomasyon Müdürü Sayın Sururi KARAŐORLU ve Sinter Müdürü Sayın Ali UćAR beylerin ŐahıŐlarında ćok teŐekkür ederim.

Bu ćalıŐmayı maddi manevi desteklerinden hić mahrum olmadıęım sevgili aileme ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Demir Çelik Üretimi	7
3.2. Yüksek Fırın Üretimi	8
3.3. Sinter Üretimi.....	9
3.4. İsdemir Sinter Tesisleri	10
3.5. Sinterleme İşlemi	12
3.6. Sinterleme İçin Harman Hazırlama.....	12
3.7. Sinter Makinesinde Yapılan İşlem	13
3.8. Sinter Makinesi Hız Kontrolü	15
3.8.1. Sinter Makinesi Operatörünün Hız Tayin Yöntemi	16
3.8.2. Sinter Makinesinin Otomatik Kullanımı	18
3.8.2.1. Emiş Kamarası Sıcaklıkları.....	19
3.8.2.1.1. Sıcaklık Yükselme Noktası (Burning Rising Point - BRP) ve Sıcaklık Kararlılık Noktası (Burning Through Point - BTP) Hesaplamaları ve Hesaplama Kullanılan Yöntem	19
3.8.2.1.2. BRP ve BTP Değerlerinin Kullanılması ve Önerilen Yöntem	22
3.8.2.2. Makine Hızı.....	24
3.8.2.3. Harman Yüksekliği	24
3.8.2.4. Basınçlar.....	24
3.8.2.5. Otomatik Kullanım Şartları.....	25
3.8.3. Sinter Makinesi Verilerinin Elde Edilmesi	26
3.8.3.1. Sinter Makinesi Seviye 2 Sistemi	28
3.9. Örüntü Tanıma Sistemi	30
3.9.1. Örüntü Tanıma Sistemi Aşamaları.....	31
3.9.2. Ön İşleme	31
3.9.3. Öznitelik Çıkarma	31
3.9.4. Sınıflandırma.....	32
3.9.4.1. Doğrusal Ayırma Sınıflandırıcısı	33
3.9.4.2. Yapay Sinir Ağı (YSA).....	36
3.9.4.2.1. Yapay Sinir Ağının Öğeleri	37
3.9.4.3. Destek Vektör Makineleri	40
3.9.5. Örüntü Tanıma Sisteminin Uygulanması.....	43
3.9.6. Sinter Makinesi Verilerinin Toplanması ve Saklanması.....	44

3.9.7.	Veri Setinin Elde Edilmesi ve Ön İşlemler	45
3.9.8.	Özniteliklerin Belirlenmesi	45
3.9.9.	Sınıflandırma.....	48
3.9.10.	Sınıflandırma Örneği.....	49
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1.	Araştırma Bulguları.....	51
4.2.	Kullanılan Yöntemlere Ait Sonuçlar.....	51
4.2.1.	Doğrusal Ayırma Sınıflandırıcısı	52
4.2.2.	Yapay Sinir Ağı	53
4.2.3.	Destek Vektör Makineleri	55
4.2.4.	Sınıflandırıcıların Karşılaştırılması	59
4.3.	Hız Optimizasyon Modeli ile Sinter Makinesinde Alınan Sonuçlar.....	60
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	61
	KAYNAKLAR	64
	ÖZGEÇMİŞ	67



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Entegre Bir Demir Çelik Fabrikası Şeması.....	7
Şekil 3.2. Yüksek Fırın Şeması	9
Şekil 3.3. Cevher, pelet ve sinter malzemeleri.....	10
Şekil 3.4. Sinter üretimi	13
Şekil 3.5. Sinter yatağının yukarıdan ateşlenmesi	15
Şekil 3.6. Harman seviyesinde bir sürelik bozulma durumu	17
Şekil 3.7. Makine boyunca kamaralardaki sıcaklık değişimi.....	19
Şekil 3.8. Referans BRP değerlerini hesaplamak için kullanılacak verilerin alınacağı zaman aralıkları.....	23
Şekil 3.9. Ağırlık bilgisi üreten bir bant kantarı	26
Şekil 3.10. Bant kantarlarının ürettiği bilgiyi görmeyi ve onlara müdahale etmeyi sağlayan bir scada ekranı	27
Şekil 3.11. Seviye 2 sisteminin makine hızı ile ilgili yaptığı hesaplar	28
Şekil 3.12. Sinter Seviye 2 sistemi genel yapısı	29
Şekil 3.13. Örüntü tanıma süreci.....	31
Şekil 3.14. İki sınıfın doğrusal olarak birbirinden ayrılması	34
Şekil 3.15. İki sınıftan fazla sınıfın doğrusal olarak bir karşı diğer tümü yöntemiyle birbirinden ayrılması	35
Şekil 3.16. İki sınıftan fazla sınıfın doğrusal olarak birbirinden ayrılması.....	35
Şekil 3.17. YSA genel yapısı	37
Şekil 3.18. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı	38
Şekil 3.19. İleri Beslemeli Yapay Sinir.....	39
Şekil 3.20. En uygun ayırıcı düzlem (Optimal separating hyper plane)	41
Şekil 3.21. Farklı 5 sınıfın ÇDVM ile sınıflandırılması (MSVM classification of different classes).....	43
Şekil 3.22. Geliştirilen örüntü tanıma sisteminin blok diyagramı	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Newton yöntemine göre elde edilen kamaralar boyunca konum ve sıcaklık değerleri.....	22
Çizelge 3.2. Veri setini oluşturan parametreler.....	46
Çizelge 3.3. Özniteliklere ait istatistik bilgileri	48
Çizelge 3.4. Giriş parametrelerine karşılık yapılacak müdahale.....	49
Çizelge 4.1. Hata matrisi.....	52
Çizelge 4.2. Doğrusal ayırma sınıflandırıcısına ait hata matrisi	53
Çizelge 4.3. Doğrusal ayırma sınıflandırıcısı performans sonuçları.....	53
Çizelge 4.4. İleri beslemeli yapay sinir ağı ile elde edilen sonuçlar	54
Çizelge 4.5. YSA 26'ya ait hata matrisi.....	55
Çizelge 4.6. YSA 26 performans sonuçları.....	55
Çizelge 4.7. DVM ile en iyi başarıyı yakalamak için yapılan tüm yakınlık ve derecelere göre alınan sonuçlar	56
Çizelge 4.8. DVM polinomsal, homojen ve uzaklık tiplerinin en iyi yakınlık derecelerinden alınan sonuçlar	57
Çizelge 4.9. DVM polinomsal tip için hata matrisi	58
Çizelge 4.10. DVM homojen tip için hata matrisi	58
Çizelge 4.11. DVM doğrusal tip için hata matrisi	58
Çizelge 4.12. DVM polinomsal tip için performans sonuçları	59
Çizelge 4.13. DVM homojen tip için performans sonuçları	59
Çizelge 4.14. DVM doğrusal tip için performans sonuçları	59
Çizelge 4.15. Üç farklı sınıflandırıcıdan alınan sonuçların karşılaştırılması	59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	:Sıcaklık (santigrat derece)
kPa	:Basınç (kilo Pascal)
mm	:Uzunluk (mili metre)

KISALTMALAR

ART	:Adaptif Rezonans Teori
BKB	:Bire karşı bir
BKD	:Bire karşı diğer tümü
BRP	:Burning Rising Point
BTP	:Burning Through Point
C++	:C plus plus
C#	:C sharp
ÇDVM	:Çok sınıflı destek vektör makineleri
DAS	:Doğrusal Ayırma Sınıflandırıcısı
DCS	:Distributed Control System
DVM	:Destek Vektör Makineleri
HMI	:Human Machine Interface
MLP	:Multi Layer Perceptron
MNN	:Modular Neural Network
PCI	:Pulverized Coal Injection
PLC	:Programmable Logic Controller
PNN	:Probabilistic Neural Network
SQL	:Structured Query Language
T/C	:Thermocoupl
YSA	:Yapay Sinir Ağı

1. GİRİŞ

Sıvı ham demirin yüksek fırınla elde edildiği entegre demir çelik tesislerinde sinter tesislerinin önemli bir yeri vardır. Yüksek fırınlara şarj edilen cevherin önemli bir kısmını sinterlenmiş malzeme oluşturur. Bu sinterlenmiş malzeme, demir çelik fabrikasında doğrudan kullanılmayacak toz cevher, kok tozu, baca tozu, tufal gibi malzemelerin değerlendirilmesi ile elde edilir. Yüksek fırınlara şarj edilen cevher, pelet ve sinter içinde sinterin pelete göre ucuz olması ve sinterin atık malzemelerden üretilmesi demir çelik fabrikasının maliyetini azaltmasına doğrudan etki eder.

Sinter tesisleri; geniş stok ve harmanlama sahaları, kırma-eleme üniteleri, dozajlama sistemleri ve sinter makineleri gibi bölümlerden oluşur. Toz cevher, kireç, kok gibi malzemeler harmanlanıp homojen bir hale getirildikten sonra sinter makinesine verilir. Isıya dayanıklı ızgaraların birleşmesinden oluşan ve sürekli hareket eden bir bant yapısında olan bu makine, üstüne serilen malzemeyi sinterleştirerek sonraki adımlar olan soğutuculara ve eleklere aktaran bir sistemdir.

Sinterleme, makineye serilen malzemenin üstten tutuşturulup alttan hava çekilmesi ve kok tozu adı verilen yakıtın sağladığı ısı ile cevherin ergitilmesi işlemidir. Bu sinterleme işleminin makinenin sonuna yakın bir yerde tamamlanması çok önemlidir. Sinter makinesinin verimi sinterleme işleminin tam ve doğru zamanlama ile yapılmasına bağlıdır.

Bu çalışmada, sinterleme işleminin en verimli şekilde yapılması için, emiş kamaraları sıcaklıkları, harman yüksekliği, emiş basınçları ve mevcut hız parametrelerini değerlendirip makine hızının hangi yönde yükseltip düşürülmesi gerektiğini öneren bir örüntü tanıma sistemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, sinter makinesinin hızını bilgisayar tabanlı ayarlayarak sinter fabrikasının üretim miktarını artırmak ve sinter makinesi hızının kontrolünü insandan bağımsız hale getirmektir. Bu çalışma ile sinter makinesinin hız ayarının operatörden bağımsız çalışması ve doğru zamanda, doğru oranda yapılacak hız değişimleriyle makine veriminin, dolayısıyla da üretiminin artırılması sağlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalardan biri olan ve sinter makinesi sıcaklık bilgilerinden Sıcaklık Yükselme Noktasını (Burning Rising Point - BRP) hesaplayarak buna göre makine hızını yönetmesi için geliştirilen uygulamalar, İsdemir sinter

tesislerinde çok iyi bir performans göstermiş ve makine verimini ölçülebilir oranda iyileştirmiştir. Sistem devreye alındıktan sonra makine veriminde % 10'un üzerinde bir artış sağlanmıştır. Sinter makinesinin bir metre karelik kesitinde bir günde üretilen ürün miktarı olarak değerlendirilen makine verimi günlük 39 [ton /m² gün] iken çalışmalar sonunda 44 [ton /m² gün] değerine ulaşmıştır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sinter makinesi (paleti) üzerindeki sıcaklık değişiklikleri malzemedeki fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açan önemli bir etmendir (Fan, 2010). Bu yüzden sinter makinesini optimum hızda çalıştırmak için ısı kontrol üzerinde çok durulmuştur. Isıl kontrol, Sıcaklık Yükselme Noktası (Burning Rising Point - BRP) ve Sıcaklık Kararlılık Noktası (Burning Through Point – BTP) değerlerine bakarak makine hızını tayin etme olarak özetlenebilir.

Bu konuda Arbeithuber ve ark. (1995), son altı emiş kamarası sıcaklıklarını kullanarak her üçü için ayrı olmak üzere iki bulanık denetleyici (fuzzy controller) ile hız kontrolü sağlamışlardır. Aynı anda makine hızı ile malzeme bunker seviyesi arasında lineer bir bağlantı kurarak bunker seviye kontrolünü de yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda makine hızı 1,8 m/dk 'dan 1,9 m/dk' ya çıkmış ve bunker seviyesi de bir süre sonra istenilen seviyeye gelmiştir. Aynı zamanda BTP değerinin belirtilen aralıkta kaldığı gözlenmiştir. Harici şartlardan dolayı yükselen sıcaklığa karşı yapılan hız değişimi ile 100 dakika içinde sistem kararlı hale getirilebilmiştir.

Hu ve Rose (1997), son iki emiş kamarası sıcaklık farklarını temel alarak geliştirdikleri bulanık kontrol uygulamasında sıcaklık farkının tersi yönde hız değişikliği yaparak sistem kararlılığını sağlamaya çalışmıştır.

Xiang ve ark. (2008), BTP ve bunker kontrolünü beraber ele aldıkları çalışmada, BTP kontrolünü ateşleme koşulları, yataktaki malzeme yüksekliği, ilave edilen su miktarı, emiş fanlarının açıklık oranı gibi parametrelerin yerel olarak kontrol edildiğini kabul edip kamara sıcaklıklarını kullanarak yapmışlardır. Son altı kamara sıcaklığı bilgilerini ikinci derece bir polinoma uygulayarak sıcaklık değişimini tespit edip BTP noktasını hesaplamışlar ve bu nokta ile referans BTP noktasını bir bulanık denetleyiciye girip Gaussian tipi bir üyelik fonksiyonuyla sistemi kararlı çalıştıracak makine hızı bilgisini üretmişlerdir. Bu çalışma ile BTP değerindeki dalgalanmayı %10,4 ten %5,16 seviyesine çekmeyi başarmışlardır.

İlerleyen yıllarda ısı kontrol konusunda daha detaylı ve karma çalışmalar yapılmıştır. Wu ve ark. (2012), bulanık denetleyici ve yapay sinir ağlarını kullandıkları çalışmalarında şu aşamaları izlemişlerdir: Kamara sıcaklıklarını ikinci derece bir polinoma uygulayarak, en yüksek sıcaklık değerine karşılık gelen BRP ve BTP konum

noktalarını bulmuşlardır. Bu noktaları gri tahmin modeli kullanarak bir sonraki BTP noktasını hesaplamışlardır. Daha sonra hesaplanan ve istenen BTP noktaları türevsel bulanık denetleyici ve öngörülü bulanık denetleyicilere uygulayarak makine hızı bilgisi üretmişlerdir. Çalışmaları sonucunda 16,4-17,6 aralığında tutulabilen BTP konum noktası değeri 16,8-17,2 aralığına çekilerek iyi bir kararlılık yakalanmıştır. Ayrıca sinter kalitesinin ölçüm tekniklerinden biri olan 6,3 mm üzeri boyutlu sinter parçaları ağırlığının toplam ağırlığa oranı olan Thumber Index yüzdesi de manuel kontrolde %78,1 iken bu sistemle %81,3 olmuştur.

Song ve ark. (2013), yaptığı çalışmada kamara sıcaklıklarından yukarıdaki yöntemlerle elde ettiği BTP noktasını Bayes En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri, Gri Model ve Yapay Sinir Ağlarında kullanmışlardır. Özellikle büyük veri setleri ile çalışıldığında Bayes En Küçük Kareler Destek Vektör Makineleri yönteminin diğerlerine göre daha yüksek doğruluklara ulaştırdığı ve işlem süresinin daha kısa olduğu görülmüştür.

Sinter makinesinde yapılan ısı kontrol ve diğer kontrollerin pratikte kullanılması için Uzman Sistem adı verilen nesne yönelimli kontrol sistemleri üzerinde durulmuştur. Tesisten gelen bilgileri saklayan veri tabanı, sistemin sürekli gelişmesini sağlayacak iyileştirmelerin yapılacağı ve hesaplanan sonuçların gösterileceği ara yüz ekranları gibi yapıları da içine alan bu sistem, özetle yapılan hesapların sonucuna göre sinter makinesinin otomatik olarak çalışmasını sağlayacak bir kapalı döngü kontrol sistemidir.

Uzman sistemlere ilk örnek olarak Toshihiro Nagane ve ark. (1996), yönetilebilirliği zor olan geleneksel yapay zekâ uygulamasına karşılık sinterleşme prosesindeki tüm safhalarını kapsayan, işletme şartlarındaki değişikliklere uyum sağlayabilen ve kolay kontrol edilebilen bir yapı üzerinde çalışmışlardır. Bu yapıda sinterleşme (ısı kontrol), kalite, geri dönen sinter tozu, genel üretim, yatak kalınlığı, parçalama ve nem kontrolleri için kurallar belirlemiş, bu kuralları 25 gruba ayırmışlardır. Yeni kurallar eklemeye imkân vererek yaptıkları bu öğrenen sistemde geliştirdikleri kural değerlendirme adımlarıyla, atadıkları önceliklere göre bu kuralları uygulamışlardır. Manuel, yarı otomatik ve tam otomatik olmak üzere üç modda kullanılabilen bu sistemleriyle kısa zamanda operatör müdahalesini %70 oranında düşürmeyi başarmışlar ve verdikleri önerilerin (sinter makinesi operatörleri tarafından) kabul edilme oranını da %90 seviyelerine çıkarmışlardır.

Long ve ark. (2008), ise daha yakın zamanda yaptıkları çalışmalarında Uzman Sistemi fonksiyonel olarak iki kısımda ele almışlardır. Birinci kısım veri tabanı bilgileri ve sonuç üretme motorundan oluşan bir modeldir. İkinci kısım ise geliştiricinin kurallar tanımlayıp prototip olarak uygulayabildiği ve hızlıca sonuçlarını görebildiği ve programın nesne yönelimli bir dil ile (C++) oluşturulduğu platformdur. Geliştirdikleri Uzman Sistem yapısal olarak bilgi tabanı, sonuç çıkarma motoru, uzman sistem sınıfları ve sistem uygulaması parçalarından oluşmaktadır. Bilgi tabanı kuralların eklendiği ve düzenlendiği bölümdür. Sonuç çıkarma motoru, proses verilerine bakarak oluşturulmuş kurallara göre hüküm verildiği bölümdür. Uzman sistem sınıfları ise nesne yönelimli programlama idealini gerçekleştirerek uzman sistem davranışlarını C++ sınıflarından ayırarak geliştirmeye çok daha uyumlu bir yapı sunar. Sistem uygulaması ise operatörlerin kuralların adımlarını görebildikleri, yeni kural tanımlayabildikleri ya da var olan kuralları değiştirebildikleri bir ara yüz uygulamasıdır. Bu uzman sistem, kimyasal bileşim (bazite), proses durumu (ısı kontrol), enerji tüketimi ve anormallik teşhisi konularında pratikte kullanılmıştır.

Bu konuda yapılmış en detaylı ve endüstriyel olarak en iyi uygulanmış çalışmalardan biri de Kronberger ve ark. (2012) yaptığı uzman sistem çalışmalarıdır. Çoklu kullanıma uygun, üç katmanlı yapıda ve gerçek zamanlı istemci-sunucu uygulamaları olarak tasarlanan bu sistem, yakıt tüketimini düşürmek, proses kararlılığını sağlamak, homojen olmayan karışım, düzgün serilmeyen malzeme ve tam yanmanın sağlanamaması gibi kritik durumları engellemek, tüm vardiyalarda aynı karar alma mantığının uygulanmasını sağlamak ve gaz emisyonlarını düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistem, hammadde karışım hesaplama modeli, harman istifleme modeli, sinter prosesi denetleme modelleri, yanma zamanı tahmin modeli, sinter proses (BTP) modeli gibi modellerden oluşur.

Sinter prosesinde uzmanlaşmış mühendis ve operatörlerin bilgi birikimi, proses bozukluğundaki sebep sonuç ilişkileri, prosesdeki teknik sırları (know how) ve kabul kontrol felsefesi uzman sistem içinde modellenmiştir. Uzman sistem prosesin durumu ve alınması gereken önlemler hakkında sürekli bilgi vermektedir. Bunlarla ilgili verdiği önerileri, sözlü mesajlar ve grafiklerle açıklamaktadır. Bu şekilde farklı vardiyalar ya da kullanıcılar arasında ciddi farklar oluşmadan ve en yüksek deneyim ve profesyonelliğin daima uygulanmasını sağlamaktadır. Uzman sistemin teşhis ve tedavi olmak üzere iki

amacı vardır. Çalışan sinter modellerinden elde ettiği bilgilere göre prosesin durumu ve özellikle olumsuzluklar hakkında teşhiste bulunarak istenen verim ya da kalite için ya da teşhis edilen olumsuzluğun giderilmesi için gerekli tedavi önerisi verilmektedir.

Bu sistem ile sinter tesisinin kararlılığını artırmanın yanında kullanıcıların bilgilendirilmesi ve eğitilmesi de sağlanır. Sinter verimliliği %2-5 oranında artırılır ve geri dönen sinter tozu oranındaki düşüş sayesinde yakıt tüketimi azaltılır.



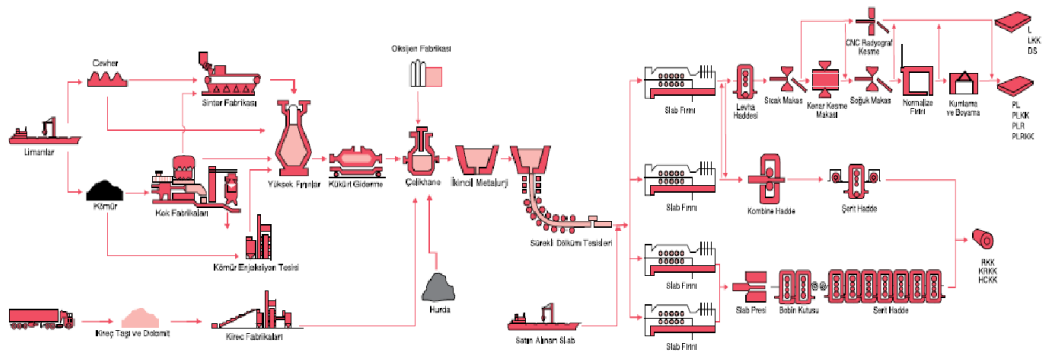
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Demir Çelik Üretimi

Entegre demir çelik tesislerinde demir cevherinin önce sıvı ham demire sonrada çeliğe dönüşmesi sağlanır. Çelik üretimi, elektrik ark ocağı ya da yüksek fırınla olur. Bu yöntemlerin birbirinden en büyük farkı kullandıkları hammadde yönüyledir. Elektrikli ark ocağında elektrik enerjisi ile hurda ergitilirken yüksek fırınla yapılan üretimde sinter, pelet ve cevher, kok ve kömür gibi enerji kaynakları ile sıvı ham demire dönüştürülür. Genel olarak elektrikli ark ocakları uzun mamule yönelik olarak çalışırken yüksek fırınlı tesisler yassı mamule yönelik olarak çalışırlar.

Entegre bir demir çelik tesisinde yüksek fırında yakıt olarak kullanılan metalürjik koku üretmek için kok fabrikası, toz cevheri yüksek fırında kullanmaya elverişli hale getirmek için sinter fabrikası vardır. Yüksek fırında üretilen sıvı ham demir çelikhaneye gönderilerek içinde bulunan kükürt, silisyum, karbon, manganez ve fosfor gibi elementlerin istenen seviyeye çekilmesi sağlanır. Çeliğin istenen kalitede üretilmesi, çelikhane yapılan bu işlemler sayesinde olur. Çelikhane çıkan sıvı çelik sürekli dökümler tesislerinde istenen ebatta kalıplara dökülüp katılaştırılarak yarı mamul elde edilir. Kütük adı verilen uzun mamul, kangal veya tel çubuk haddehanelerinde daha çok inşaat sektörüne yönelik ürünlere dönüşür. Slab adı verilen yassı çelik ise sıcak haddehane, soğuk haddehane ve levha haddehanelerinde otomotiv, beyaz eşya gibi sektörlerle yönelik ürünlere dönüşür.

Entegre bir demir çelik fabrikasındaki üretim akışı şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Anonim erdemir.com.tr).



Şekil 3.1. Entegre Bir Demir Çelik Fabrikası Şeması

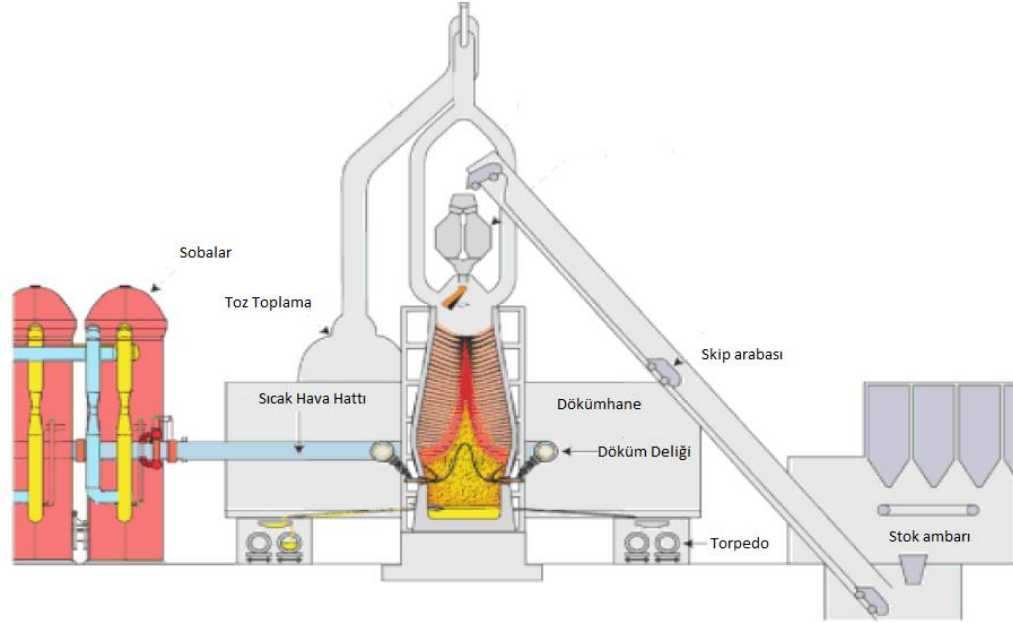
3.2. Yüksek Fırın Üretimi

Yüksek fırınlar, sinter, pelet ve cevherden oluşan demirli malzemenin içinde bulunan demir oksidin kok ve kömür sayesinde indirgenmesiyle sıvı ham demirin üretildiği entegre demir çelik tesislerinin ana ünitelerinden biridir. Çelik bir baca görünümünde olup içi özel refrakter malzeme ile örülü bir yapıdadır. Yüksek fırına şarj edilen malzemeler üç grupta toplanabilir: Birincisi sinter, pelet ve cevherden oluşan demirli malzemelerdir. İkincisi yakıt olarak kullanılan metalürjik kok ve pulvarize kömür gibi indirgeyicilerdir. Üçüncüsü ise cüruf yapıcı malzeme olarak kullanılan kireçtaşı, dolomit gibi malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek fırına yukarıdan şarj edilir. Bu işlem, raylı bir sistem üzerinde hareket eden ve skip arabası adı verilen vagonlarla olabileceği gibi, bir bant sistemi ile de yapılabilir. Demirli malzeme ve yakıt yani cevher ve kok katmanlar halinde yüksek fırına şarj edilir. Eklenen demirli malzemenin aşağıya inip sıvı demir halinde dökülmesi yaklaşık 8 birim zaman sonra gerçekleşir. Yukarıdan malzemeler şarj edilirken alttan da sıcak hava üflenir. Tüyerlerden üflenen bu havanın sıcaklığı 1200 °C civarındadır. Üflenen sıcak gaz fırın içinde yukarı doğru çıkarken fırın içindeki reaksiyonlar sonucu indirgenen cevher aşağıya iner. Sıcak metal ve cüruftan oluşan eriyik, fırının aşağı bölgesinde toplandığında cüruf, yoğunluğu daha düşük olduğu için yukarıda kalır. Yüksek fırının alt bölgesinde bulunan döküm deliğinden boşaltılan bu sıcak eriyiğin cürufu alınarak elde edilen sıvı ham demir potalara doldurularak çelikhaneye yollanır. Geerdes ve arkadaşlarının (2009) yayınladığı modern yüksek fırın üretimi kitabından alınan Şekil 3.2' de yüksek fırını oluşturan bölümler gösterilmiştir.

Yüksek fırın, içinde gerçekleşen fonksiyonlar bakımından şu bölümlere ayrılabilir:

1. Sobalar: Yüksek fırına tüyerlerden üflenen havanın ısıtıldığı bölümdür. Yüksek sıcaklık (1200 °C) ve yüksek basınçla (4 bar) gönderilen bu hava tüyer önünde yanma bölgesi oluşturur ve fırın içi reaksiyonların gerçekleşmesini sağlar.
2. Şarj Bölgesi ve Stok Ambarı: Yüksek fırına gönderilecek cevher ve kokun elenip tartılarak skip arabaları ya da bantlarla aktarıldığı bölümdür.
3. Kömür Enjeksiyon Sistemi: Pulvarize kömür enjeksiyon (PCI) sistemi kömürü öğütüp toz halinde yüksek fırına üfleyen sistemidir. PCI kullanımı kok tüketimini düşürerek maliyete olumlu bir katkı yapar.

4. Gaz Temizleme Ünitesi: Yüksek fırından çıkan ve tepe gazı olarak adlandırılan gazın toplandığı, içindeki tozun ayrıştırıldığı ve ardından yıkandığı bölümdür.
5. Dökümhane: Ergimiş metalin fırından alındığı ve cürufunun ayrıştırıldığı yerdir.
6. Cüruf Granüle Tesisi: Döküm alındıktan sonra ayrıştırılan cürufun su ile soğutulmasından sonra granüllü bir yapıya getirildiği bölümdür.



Şekil 3.2. Yüksek Fırın Şeması

3.3. Sinter Üretimi

Sinter üretiminin yapıldığı sinter fabrikaları; geniş stok sahaları, harmanlama sahaları, cevher kırma-eleme üniteleri, dozajlama sistemleri, kok-kireçtaşı kırma-eleme üniteleri ve sinter makineleri gibi bölümlerden oluşur. Kara ve deniz yolu ile gelen hammaddeler stok sahalarında stoklanır. Farklı cevher türleri, baca tozu, tufal ve cüruf gibi atık malzemelerin sinter makinesine homojen bir şekilde verilebilmesi için harmanlama işlemi yapılır ve bu malzemeler dozajlama sistemine aktarılır. Dozajlama ünitesinde, harmanlanmış demir cevheri, kok tozu, kireçtaşı tozu, yanmış kireç, dolomit, sinter tozu ve yüksek fırın tozu hassas dozajlama kantarları ile tartılarak belli oranlarda alınır. Sinter makinesine gidecek bu karışım önce birinci kademe mikserlerde karıştırılarak homojenize edilir. Daha sonra su ilave edilen bu karışım ikinci kademe

mikserlerde nemlenme ve topaklanma işlemine tabi tutulur. Bu karışım sinter makinesi üzerine serildikten sonra tutuşturma fırınında kok gazı ile tutuşturulur. Makine boyunca alttan çekilen kuvvetli hava sayesinde karışımın içindeki kok tozunun yanması ile sinterleşme sağlanmış olur. Sinterleşen ürün kırıcılarda kırılarak soğuması ve taşınması sağlanır. Soğuyan ürün yüksek fırınların ihtiyacına göre istenen boyut aralığında elenir ve konveyör hatlarıyla yüksek fırın stok sahasına gönderilir.

Sinterleme işlemi ile yüksek fırınlarda kullanılmayacak olan toz cevherin kullanılması sağlanır. Sinterleme sırasında boyutu büyüyen toz cevher içindeki zararlı gazlar yakılarak uzaklaştırılır. Toz cevherin yanında, diğer proseslerden gelen demir içerikli atık malzemeleri de değerlendirilmiş olur. Oluşan sinterleşmiş ürün fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından yüksek fırınlar için ideal bir malzeme haline gelir. Her yüksek fırının yapısına göre değişmekle birlikte fırına en çok şarj edilen malzeme sinterdir. Pelete göre daha az maliyetle üretilen sinter yüksek fırın verimliliğine doğrudan etki eder. Şekil 3.3' de cevher, pelet ve sinter resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Cevher, pelet ve sinter malzemeleri

3.4. İsdemir Sinter Tesisleri

İsdemir sinter tesisleri yaklaşık 720.000 m² lik geniş bir alan üzerine kuruludur. Bu alanda stok sahaları, harmanlama sahaları, cevher kırma-eleme üniteleri, dozajlama sistemleri, kok ve kireçtaşı kırma-eleme üniteleri, 1. ve 2. sinter fabrikaları ve çamur hazırlama ve kurutma ünitesi bulunmaktadır. Malzemelerin ilgili birimlere nakledilebilmesi için yaklaşık 110 km. konveyör bant hattı mevcuttur.

Karayolu, demiryolu ve denizyolu ile gelen hammaddeler İsdemir stok sahasında, sinterlik toz cevher, pelet, parça cevher ve yardımcı hammaddeler olmak üzere dört ana

grupta değerlendirilmektedir. Bu malzemeler, kullanılacakları tesise göre harmanlama sahalarında harmanlanır ve konveyör hatlarıyla taşınırlar.

Demiryolu ile gelen malzemelerin tahliye edildiği vagon boşaltma ünitesinin yıllık kapasitesi 3.600.000 tondur.

1.500.000 ton stoklama kapasitesine sahip n stok sahasında dört adet STRC Universal makine bulunmaktadır. Bu makinelerin stoklama kapasitesi saatte 4000 ton, besleme kapasitesi ise saatte 2000 tondur.

Yüksek fırında kullanılacak pelet için pelet havuzu 160.000 ton kapasitelidir.

Sinter makinelerine gönderilmek üzere iki adet 40.000 ton, dört adet 90.000 ton kapasiteli harman sahaları, parça cevher ve pelet için de iki adet 40.000 ton kapasiteli harman sahaları bulunmaktadır.

Kırma-eleme işlemi yapılacak cevherler için iki adet kaba, dört adet ince kronik kırıcı, kok tozu için altı adet merdaneli kırıcı ve kireçtaşı için üç adet ekili kırıcı bulunmaktadır.

Dozajlama nitesinde her sırada 19 bunker olmak üzere iki sıralı 38 adet bunker mevcuttur. K ve L hattı olarak isimlendirilen bu harman besleme hatları birbirinden bağımsız olarak çalışmaktadır. Her hat üzerinde bunkerlerin dağılımını dört adet sinter tozu, üç adet kok tozu, iki adet dolomit, iki adet kireçtaşı ve dokuz adet cevher bunkeri şeklinindedir. Her bunker altında %0,5 metrolojik hassasiyette tartım yapan, programlanabilir lojik kontrol nitesi ile (Programmable Logic Controller-PLC) yönetilen hız kontrollü dozajlama kantarları bulunmaktadır. Toplamda 40 adet dozajlama kantarı bulunmaktadır.

İsdemir’de iki adet sinter fabrikası bulunmaktadır. 1. sinter fabrikasında 75 m² alana sahip dört adet sinter makinesi, 2. Sinter fabrikasında ise 300 m² alana sahip bir adet sinter makinesi vardır. Bu makine Türkiye’nin en büyük sinter makinesidir. 1. sinter fabrikası 3.000.0000 ton, 2. sinter fabrikası 3.200.000 ton yıllık üretim kapasitesine sahiptir.

Çamur hazırlama ve kurutma ünitesinde yüksek fırın gaz temizleme çamurlu suları ve elikhane gaz temizleme çamurlu sularının içindeki katı maddelerin çökertilmesi ve kurutulması işlemleri yapılmaktadır.

3.5. Sinterleme İşlemi

Sinterleme, yüksek fırınlarda kullanılmayacak olan boyutu yaklaşık olarak 10 mm. nin altında olan toz cevherlerinin, kok tozu yardımıyla kısmi ergitmeye uğratılarak boyutunun büyütülmesi işlemidir. Sinterleme yapma amaçları şu şekilde detaylandırılabilir:

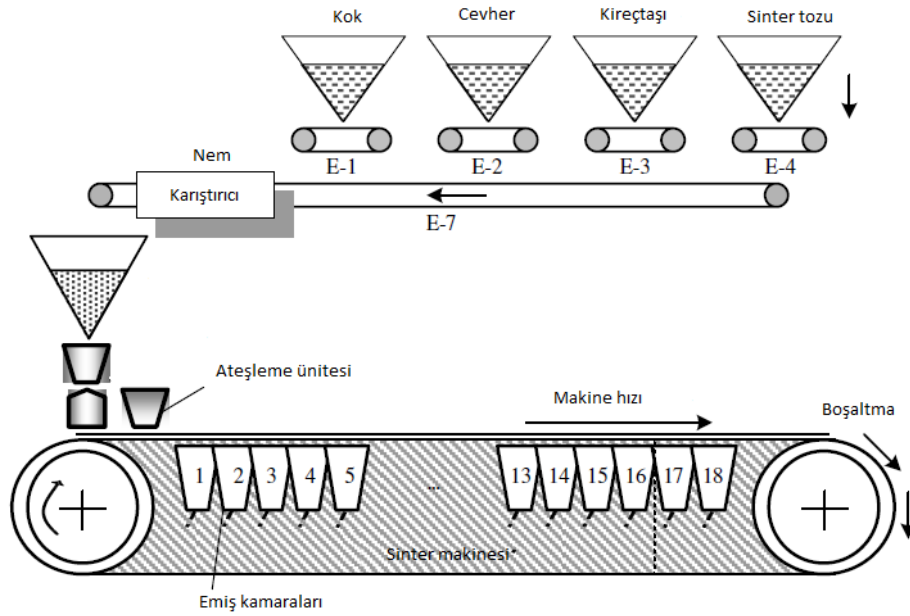
1. Toz cevherin kullanılması: Yüksek fırına verilecek cevherin belli bir tane iriliğinde olması gerekir. Bu tane iriliğini elde etmek için cevherin kırılması sonucunda ortaya çıkan tozlar ancak sinterlenerek değerlendirilir. Bundan dolayı cevher kullanan bir yüksek fırının yanında mutlaka bir sinterleme tesisi olması beklenir.
2. Kok tozu kullanılması: Yüksek fırınlara metalürjik kokun transferi sırasında oluşan ya da yeterli irilikte olmadığı için değerlendirilmeyen kok tozları sinter tesisinde yakıt olarak kullanılır.
3. Cevher içindeki zararlı içeriklerin bertaraf edilmesi: Cevher içindeki kükürt, arsenik gibi çeliğin kırılabilirliğini artıran elementler sinterleme sırasında giderilir. Cevher yerine sinterlenmiş malzemenin kullanılması yüksek fırındaki ham demir kapasitesini artırır, kok sarfiyatını düşürür, baca tozu ve cüruf miktarının azalmasını sağlar.
4. Yüksek fırında parça cevher kullanımı belli bir yüzdeyi geçmez. Demirli malzemeyi ağırlıklı olarak pelet ve sinter oluşturur. Sinter, pelete göre daha düşük maliyetli olduğu için fırın üretim maliyetinin düşmesinde büyük rol oynar.

3.6. Sinterleme İçin Harman Hazırlama

Sinter harmanı için toz cevher, kok tozu, kireçtaşı, dünit, sinter tozu ve yüksek fırın tozu gibi malzemeler kullanılır. Bu malzemeler Şekil 3.4' te gösterildiği gibi dozajlama ünitesindeki silolara doldurulur (Xiang ve ark.,2008). Kantarlar aracılığıyla tartılır, oranlanır ve makinede tüketilen miktara göre beslenir. Kok tozu oranı toplam karışımın % 4 ü seviyelerindedir. Kireçtaşı oranı istenen baziklik oranını yakalamak için değişmekle birlikte yaklaşık % 6 seviyesinde olur. Dünit oranı % 1 den daha azdır. Cevher, sinter tozu ve yüksek fırın tozu birbirini dengeleyecek şekilde ayarlanır. Eğer

yüksek fırın tozu ve sinter tozu için stok sahası ayrılmamışsa çıkan miktarı tekrar sisteme vermek zorunlu olur.

Dozajlama ünitesinde oranları ve miktarları belirlenen bu malzemeler birinci kademe karıştırıcıda homojen bir yapıya kavuşturulur. Sinter malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin istenen kalitede olması için bu işlem çok önemlidir. Daha sonra su ilave edilerek ikinci kademe karıştırıcıya gönderilir. Karışımın geçirgenliğinin iyi olması verilen su oranının iyi ayarlanması ile mümkündür. Yüksek miktarda verilen su, topaklanmayı artırır ve geçirgenlik düşer. Ayrıca geçirgenliğin iyi olması ve ısı transferinin düzgün olması için toz cevherin (0-8) mm, kok tozunun ise (0-3) mm aralığında olması gerekir.



Şekil 3.4. Sinter üretimi

3.7. Sinter Makinesinde Yapılan İşlem

Sinter makinesi ısıya dayanıklı ızgaraların birleştirilmesiyle oluşturulmuş sürekli hareket eden bir bant yapısındadır. Izgaraların üstüne harman adı verilen, dozajlama ünitesinden itibaren karıştırılan, nemlendirilen ve topaklandırılan malzeme serilir ve tutuşturma fırınında kok gazı ile tutuşturulur. Üst kısmı yanmaya başlayan malzemenin alta doğru ilerlemesi makine boyunca alttan emilen yüksek vakumdaki hava ile olur. Harmanın altına yatak malzemesi serilmesi, harman seviyesinin yüzeyin her noktasında

eşit olacak şekilde ayarlanması, emiş basıncı ve harmanın uygun rutubette olması yanma ve sinterleşmede doğrudan etkilidir. Yanma bölgesi adı verilen bu en üst kısımdaki sıcaklık 1400 °C' ye kadar çıkmaktadır. Bu sıcaklıkla toz cevher ve diğer katkı maddeleri parçalanarak birbirleriyle sinter bağları kurulmaktadır. Kükürt, arsenik gibi yüksek fırınlarda istenmeyen maddelerin parçalanması ve harmandan atılması da bu aşamada olmaktadır. Bu maddelerin çıkması sintere gözenekli yapısını kazandırır ve bu yapı yüksek fırındaki reaksiyon hızını artırır.

Harmanın üstünde Şekil 3.5' te gösterildiği gibi başlayan yanma aşağıya indikçe artan sıcaklığın etkisiyle su tamamen buharlaşır. Sinter yatağının kuruması şeklinde adlandırılabilen bu aşamadan sonra harmanın içindeki kok yanmaya devam eder ve malzeme ergimeye başlar. Kok tamamen bitip yanma işlemi sonlanınca malzeme soğumaya başlar ve donar. Ergimeyle donma arasında geçen zaman ne kadar kısa ise sinterleme hızı da o kadar fazla demektir. Sinterleme işleminin sinter makinesinin sonunda tamamlanması beklenir. Sinterleme işleminin çok önce bitmesi, makinenin verimsiz kullanıldığını gösterir, düşük hızda çalışıldığından sinterleşme makinenin sonuna varmadan bitmekte ve kalan bölüm soğutma amaçlı kullanılmaktadır. Sinterleşme işleminin makine sonunda bitmemesi ise malzemenin çiğ gittiğini gösterir, bu durumda sinterleşme soğutucuda devam eder, soğutma ekipmanları zarar görür ve düşük kalitede ürün çıkar.



Şekil 3.5. Sinter yatağının yukarıdan ateşlenmesi

3.8. Sinter Makinesi Hız Kontrolü

Sinter makinesinde ana hedef sinterleşme işlemini tam sağlamak suretiyle maksimum üretim yapmaktır. Bu hedefe ulaşabilmek için cevher harmanının cinsi, serilen harman yüksekliği, harman nemi, kok tozu miktarı ve yüksek fırının sinter ihtiyacı gibi durumlara göre makineyi optimum hızda çalıştırmak gerekir. İstenen kaliteyi koruyarak, mümkün olan en kısa zamanda sinter üretebilmek için makine hızı sürekli kontrol edilmelidir.

Sinter makinesi hızını kontrol etmek için sinterleşmenin hangi faktörlerden nasıl etkilendiğinin bilinmesi gerekir. Bu faktörler şunlardır:

- Cevherin fiziksel ve kimyasal yapısı: Cevherin ince taneli olması geçirgenliği düşürür ve sinterleşme süresini uzatır. Yüksek silisyum içeren, kolay ergiyen cevherler yatak geçirgenliğini düşürür ve sinterleşme süresini uzatırlar.
- Cevher harmanının nemi: Toz halindeki cevherlere su vermenin amacı topaklanma sağlayarak irileştirmek ve geçirgenliği artırmaktır. Fakat çok fazla verilen su, çamurlaşmaya sebep olur ve sinterleşmeyi kötü etkiler.

- Kok tozunun fiziksel yapısı: En iyi geçirgenlik ve sinterleşme için (3-5) mm boyutlarında kok tozu kullanılmalıdır.
- Harmanın homojen yapıda olması: İyi karışmamış harman makineye verildiğinde sinter yatağında kanallar meydana gelir ve yatağın içinde farklı geçirgenlikler elde edilir. Bu durumda her bölge aynı anda sinterleşemeyeceği için istenen kalitede ürün elde edilemez.
- Basınç: Yukarıda başlayan yanmanın aşağıya inmesi oluşturulan basınç farkı ile olur. Yatak altında oluşturulan basınç düşüşü yani vakum, gaz geçirgenliğini artırır ve sinterleşmeyi hızlandırır.

Bu faktörlerden harmanın fiziksel ve kimyasal yapısına, nemine, homojen olmasına sinter makinesinde müdahale etme imkânı elbette yoktur. Fakat bu durumlar dikkate alınarak, basınç farkı ve hız değiştirilebilir.

3.8.1. Sinter Makinesi Operatörünün Hız Tayin Yöntemi

Sinter makinesini yönetmekten sorumlu bir operatör, gaz geçirgenliğini dolayısıyla sinterleşme hızını ideal seviyede tutabilmek için sıcaklık değişimlerini, fark basınç miktarını ve harman seviyesi değerini sürekli kontrol etmelidir. Bu faktörlerin değerindeki değişmelere göre makine hızına müdahale etmesi gerekir. Bir operatör değişen şartlara göre şu müdahaleleri yapar:

Sıcaklık değişimi: Sinter makinesinde gaz geçirgenliğini sağlamak için ızgaraların altında çok yüksek bir vakumla hava çekilmesini sağlayan emiş kamaraları vardır. Makinedeki harmanın sıcaklığı, bu kamaraların içinden çekilen havanın sıcaklık bilgisinden anlaşılır. Her kamaranın içine yerleştirilen ısı çiftlerinden (T/C) alınan sıcaklık değerlerinin ortalaması o kamaranın üstünden geçen malzemenin sıcaklığı kabul edilir. Özellikle makinenin sonuna doğru son beş kamara sıcaklığına dikkat edilmektedir. Çünkü öncesinde sıcaklık değerlerinde dikkate değer bir değişiklik olmamaktadır. Harman içindeki nemin sıfır olduğu noktada ani bir sıcaklık artışı olur ve bir süre sonra en büyük değerine ulaşıp makinenin sonuna doğru düşme eğilimine girer. 1. Seviye bir otomasyon sisteminde operatörün görebileceği bu kamara sıcaklıklarının anlık değerleridir. Özellikle sıcaklığın ani yükseliş gösterdiği bölgedeki değerlerin değişimine bakarak makine hızı

konusunda yorumda bulunur. Sıcaklıkların yükselmesi, makinenin düşük hızda kullanıldığını, sıcaklıkların düşmesi ise makinenin yüksek hızda kullanıldığını gösterir.

Sıcaklık değişimini bu şekilde izleyerek karar vermenin şu dezavantajları vardır:

1. Tüm kamara sıcaklıklarını aynı anda takip etmek, önceki değerlerini zihinde tutmak zordur.
2. Sıcaklık değerinin aniden yükseldiği emiş kamarası değişkenlik gösterebilir. Bunun hangi kamara olduğu kesin bilinmeden yapılacak yorumlar sağlıklı olmayabilir.
3. Değişen sıcaklık değerlerine göre yapılacak yorum kişiden kişiye değişebilir.

Harman seviyesi: Makineye serilen harmanın hem makine boyunca hem de kesit yüzeyi olarak eşit yükseklikte olmasına çalışılır. Fakat buna rağmen bazı bölgelerde harman seviyesinde Şekil 3.6' da gösterildiği gibi önemli değişimler olabilir. Bu durumda makine hızını bir süre için ani olarak yükseltmek ya da düşürmek gerekebilir. Harman seviyesinin ölçüldüğü yer makinenin başıdır. 1. Seviye otomasyon sistemine sahip bir işletmede seviye ölçümünün yapılması ile ani sıcaklık yükselişinin görülmesi arasındaki zaman farkı hesaba katılmıyorsa operatörün harman seviyesini tüm makine boyunca gözle kontrol etmesi zorunlu hale gelmektedir.



Şekil 3.6. Harman seviyesinde bir sürelik bozulma durumu

Basınç farkı: Üstte başlayan yanma işleminin aşağıya doğru ilerlemesi için emiş kamaralarında yüksek bir basınç farkı oluşturulmaktadır. Basınç farkının artması

sinterleşmeyi hızlandırır ve kapasite artışı sağlar. Fakat basınç hattındaki kaçakların artmaması ya da patlamalara sebep olmaması için basınç yükseldiğinde hız düşürülmelidir.

Sinter makinesinin sürekli operatör kontrolünde yönetilmesinin yol açtığı dezavantajlar şöyle özetlenebilir:

- Her vardiya değişen operatörler aynı durum karşısında farklı tercihlerde bulunabilir.
- Makine hızına müdahale etmede geç kalmaları her zaman mümkündür.
- Tüm parametreleri, aralarındaki zaman farkını da dikkate alıp bir arada değerlendirmeleri çok zordur.
- Anlık değerlere bakarak sıcaklık eğilimlerini tespit edebilmeleri olanaksızdır.

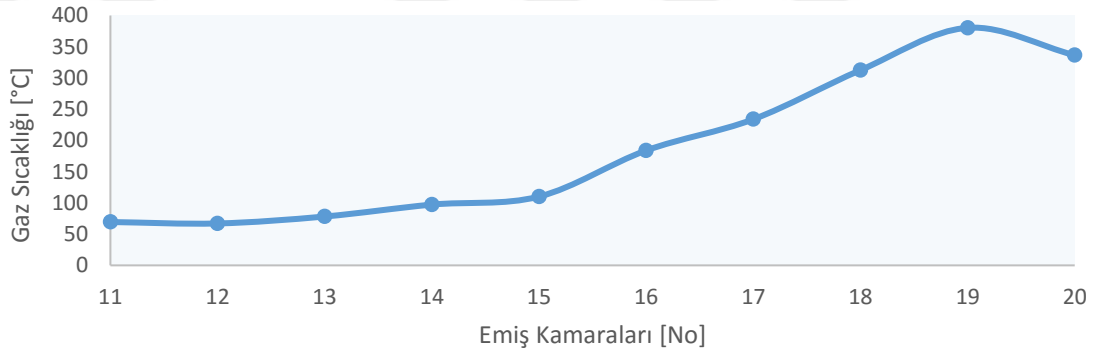
3.8.2. Sinter Makinesinin Otomatik Kullanımı

Sinter makinesinde operatör kontrolünden kaynaklı oluşacak düzensizliklerin önüne geçmek için sinter makine hızı parametrelerini kullanarak makine hızı sonucu üretecek bir uygulamaya ihtiyaç vardır. Bu sayede sıcaklık farkları daha erken algılanır, harman seviyesi ve basınç farkları daha kolay sisteme adapte edilir ve çok daha kararlı bir makine rejimine ulaşılır.

Sinter makine hızı; emiş kamaraları sıcaklıkları, harman seviyesi, fan klape açıklıkları, fan eksi basınçları (vakumları), harman nemi, harmandaki kok oranı gibi faktörlerden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenir (Beşkardeş ve ark., 2014). İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesislerinde emiş klape belirlenmiş bir açıklıkta kullanılmakta ve bu değer nadiren değiştirilmektedir. Harman nemi ve kok oranı da sabit bir seviyede tutulmaktadır. Dolayısıyla bu üç değer parametre olarak kullanılmasına gerek yoktur. Emiş kamarası sıcaklıkları ise hem sinterleşmenin başladığı ve bittiği yerleri göstermesi hem de sıcaklıkların yükseliş ya da düşüş eğiliminde olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Bunlara ek harman seviyesi, basınç ve güncel hız değeri de makine hızını belirlemede etkili olmaktadır.

3.8.2.1. Emiş Kamarası Sıcaklıkları

Sinter hattındaki malzemenin sıcaklığı, hız tayini konusunda en önemli etkenlerin başında gelir. Fakat her noktada malzemenin sıcaklığını tespit etmenin imkânı yoktur. Sıcaklık bilgisi, sinter makinesinin (sinter paletinin) altındaki emiş kamaraları tarafından emilen gazların sıcaklık ölçümlerinden gelir. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesisinde sinter paletinin başından sonuna kadar tüm emiş kamaralarında sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Şekil 3.7' den görüleceği gibi 16 numaralı emiş kamarasına kadar sıcaklıkta önemli bir değişim olmamaktadır. Bunun için 16-20 numaralı kamaraların sıcaklık değerleri dikkate alınır.



Şekil 3.7. Makine boyunca kamaralardaki sıcaklık değişimi

Kamara sıcaklık değeri çeşitli noktalara yerleştirilmiş ısılı çiftlerin (thermocupl) ölçtüğü değerlerin ortalamasıdır. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesisinde öndeki kamaralarda 2, son beş kamarada ise 12 sıcaklık ölçümünün ortalaması kullanılmaktadır.

3.8.2.1.1. Sıcaklık Yükselme Noktası (Burning Rising Point - BRP) ve Sıcaklık Kararlılık Noktası (Burning Through Point - BTP) Hesaplamaları ve Hesaplamada Kullanılan Yöntem

Sinter makinesinin işletme şartları gereği olarak zaman zaman farklı sıcaklık karakteristikleri oluşabilir. Bu tür durumlarda sıcaklık değerlerine bakarak karar vermek zorlaşır. Bundan dolayı sinter üretiminde kararlı bir ısılı kontrol için Burning Rising Point (BRP) ve Burning Through Point (BTP) (Xiang ve ark., 2008; Fan ve ark., 2010) noktaları

hesap edilmiştir. BRP noktası, harman içindeki nemin bitmesine bağlı olarak sıcaklık artışının en büyük artış hızına ulaştığı noktadır. BTP noktası ise harman sıcaklığının tepe noktasına ulaştığı sinterleşme işleminin bittiğini gösteren noktadır.

Makinedeki harman sıcaklığı sadece emiş kamaralarındaki gaz sıcaklığı değerlerine bakılarak anlaşılabilirdiğinden BRP ve BTP noktalarını ölçümleyerek bulmaya imkân yoktur. Bunun için makinenin sonundaki kamara sıcaklıkları bir polinoma aktarılarak BRP ya da BTP noktaları bulunmuştur.

Fan (2010) ve arkadaşları şu iki eşitliği kullanarak BRP noktasını aşağıdaki gibi bulmuştur:

$$G_{t_k} = Ax_k^2 + Bx_k + C \quad (k = 1\sim3) \quad (3.1)$$

$$A.BRP_t^2 + B.BRP_t + C = t \quad (3.2)$$

Burada;

BRP_t : BRP noktası

x : Emiş kamarası numarası

G_t : Emiş kamarasındaki sıcaklık değeri

A, B, C : BRP noktasının bulunması için kullanılan polinomun katsayıları

k : Sinter makinesindeki kamara sayısına göre belirlenen katsayı (18. kamara için $k=1$, 20. kamara için $k=2$, 20. Kamara için $k=3$)

t : BRP değeri için kullanılan değer. Bu değer işletme tecrübeleri sonucu 20. kamarada 250 °C kabul edilmiştir.

Bu iki 3.1 ve 3.2 denklemleri ile kamara sıcaklığı ve kamara numarasından A,B,C katsayıları elde edilmekte, sonra bu katsayılar kullanılarak kabul edilen BRP sıcaklık noktasını veren BRP konum noktası bulunmuştur.

Xiang ve ark. (2008) de benzer yöntemi BTP noktasını bulmak için kullanmışlardır.

Bu çalışmada daha önceki çalışmalardan farklı olarak, BRP ve BTP noktalarının hangi kamara üzerinde olacağı düşünülmeksizin son beş kamaraya ait sıcaklık değerlerinden hesaplanması önerilmiştir. Özellikle BRP noktası son beş kamara üzerinde herhangi bir yerde olabilir. Nitekim İsdemir sinter makinesinde BRP değeri bir dönem 16. emiş kamarasında hesaplanırken başka bir dönem 17. emiş kamarasında hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada BRP ve BTP noktaları belirli bir kamara üzerinde değil son beş kamara üzerinde aranmıştır. Buna göre son beş kamaranın sıcaklık değerleri, Newton yöntemine göre beş noktası bilinen dördüncü derece bir fonksiyona

uygulanarak BRP ve BTP noktaları hesaplanmıştır. Denklemi çıkarılan fonksiyona göre 0,01 birimlik adımlar için sıcaklık değeri hesaplanır ve bu değerler üzerinden en büyük sıcaklık artışının yaşandığı ve en yüksek sıcaklığa ulaşıldığı yer bulunur. Bu noktalar BRP ve BTP noktaları olarak tayin edilir.

x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 kamara numaralarıdır ve sırasıyla 16, 17, 18, 19 ve 20'ye karşılık gelir.

y_0, y_1, y_2, y_3, y_4 yukarıdaki kamaralarda ölçülen sıcaklık değerleridir.

Newton yöntemine göre toplam 10 adet diskriminant denklem 3.3'e göre şöyle hesaplanır:

$$\Delta_1 y_0 = y_1 - y_0$$

$$\Delta_1 y_1 = y_2 - y_1$$

$$\Delta_1 y_2 = y_3 - y_2$$

$$\Delta_1 y_3 = y_4 - y_3$$

$$\Delta_2 y_0 = \Delta_1 y_1 - \Delta_1 y_0$$

$$\Delta_2 y_1 = \Delta_1 y_2 - \Delta_1 y_1$$

$$\Delta_2 y_2 = \Delta_1 y_3 - \Delta_1 y_2$$

(3.3)

$$\Delta_3 y_0 = \Delta_2 y_1 - \Delta_2 y_0$$

$$\Delta_3 y_1 = \Delta_2 y_2 - \Delta_2 y_1$$

$$\Delta_4 y_0 = \Delta_3 y_1 - \Delta_3 y_0$$

Buna göre fonksiyon denklem 3.4'te gösterildiği gibi yazılabilir:

$$y = y_0 + \frac{\Delta_1 y_0}{1!(x-x_0)} + \frac{\Delta_2 y_0}{2!(x-x_0)(x-x_1)} + \frac{\Delta_3 y_0}{3!(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)} + \frac{\Delta_4 y_0}{4!(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)} \quad (3.4)$$

Bu fonksiyona girilen 16 ile 20 arasındaki her x değeri için bunun y karşılığı yani sıcaklık noktası değeri alınır. Bunun sonunda elde edilecek tablo aşağıdaki gibi olur:

Çizelge 3.1. Newton yöntemine göre elde edilen kamaralar boyunca konum ve sıcaklık değerleri

Konum (Kamara No)	16,00	16,01	16,02	16,03	.	.	19,97	19,98	19,99	20,00
Sıcaklık (°C)	209,51	210,48	211,43	212,38	.	.	389,45	386,97	384,45	381,88

BRP noktası, sinter harmanı içindeki nemin bitmesine bağlı olarak sıcaklık artışının en yüksek seviyeye ulaştığı nokta olarak ifade edildiğine göre, bir bölümü Çizelge 3.1’ de gösterilen ardışık y değerleri arasındaki fark oranının en büyük olduğu yer BRP noktasını verecektir. Yani $\max\{(y_n - y_{n-1})\}$ değerinin en yüksek olduğu yerde $BRP_x = x_n$, $BRP_y = y_n$ demektir. BTP noktası ise sıcaklığın zirve yaptığı ve sinterleşme işleminin sona erdiği noktadır. Artık bu noktadan sonra sıcaklıkta bir artış beklenmez. Buna göre BRP_y noktasından sonra gelen ardışık y değerleri arasındaki mutlak fark oranının sıfıra en yakın olduğu ilk yer BTP noktası olur. $BTP_y > BRP_y$ olmak şartıyla $\min\{|(y_n - y_{n-1})|\}$ olduğu yerde $BTP_x = x_n$, $BTP_y = y_n$ demektir.

3.8.2.1.2. BRP ve BTP Değerlerinin Kullanılması ve Önerilen Yöntem

BRP ve BTP değerlerinin hesaplanması için referans noktaları olarak birçok çalışmada kamara numarası ve kamaradaki sıcaklık değerine karşı düşen konum bilgileri kullanılmaktadır (Fan ve ark. 2010, Wu ve ark. 2012). Örneğin Fan ve ark.(2010) sinter işletme uzmanlarının tecrübelerine dayanarak 22 adet emiş kamarasına sahip olan bir makinede 20 numaralı kamara ve 250 °C’ye karşı gelen konum noktasının tahmin edilen konum noktasından farkını ve fark oranını, makine hızını üretecek olan fonksiyonun giriş parametresi olarak kullanmışlardır.

Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak güncel ve referans olarak hesap edilen BRP noktaları arasındaki fark değerlendirmeye alınmıştır. Güncel BRP noktası kısa dönem (5 dakika) sıcaklık verilerinden hesaplanmıştır. Kamara sıcaklık değerlerinin 30 saniye, 3 dakika ve 5 dakikalık ortalama değerleri üzerinden bu hesap yapılmış, bu zaman aralıkları içinde en kararlı sonucun 5 dakikalık ortalama değerlerden üretildiği görülmüştür. Buna göre sinter makinesinin ısıl durumu, referans olarak kabul edilen BRP noktası ile güncel hesaplanan BRP noktası arasındaki farka bakılarak değerlendirilmektedir. Güncel BRP noktasının referans kabul edilen noktadan geride çıkması, malzeme içindeki nemin daha erken buharlaşarak sıcaklık yükselme noktasına

daha erken ulaşıldığını ve bundan dolayı sinterleşme işleminin hızlı olduğunu gösterir. Buna göre güncel BRP konum noktasının referans noktadan daha geride olması makinenin hızlandırılması gerektiğine, ileride olması makinenin yavaşlatılması gerektiğine işaret etmektedir.

Sinter işletme mühendisleri ve teknik çalışanlarının önem verdiği konuların başında sinter makinesinin rejimini koruması ve üretilen sinterin aynı kalitede olması gelmektedir. Buna göre referans BRP ve BTP noktalarının İsdemir sinter makinesi için reel, her zaman uygulanabilir ve basınç ya da harman seviyesi değişimi gibi durumlara adapte edilebilir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Buna göre sinter işletme mühendisi Şekil 3.8’ de gösterildiği üzere sinter makinesinde üretimin en verimli yapıldığı zaman aralıklarını, kendisi için hazırlanmış ekrana girerek referans hesabı için bir zaman aralığı listesi oluşturmuştur. Bu liste içinde tutulan tüm zaman aralıklarındaki sıcaklık verilerinin ortalama değerlerine göre referans BRP noktaları bulunmuştur.

Referans Değerler İçin Zaman Aralığı Seçin	
Başlangıç	Bitiş
23.02.2015 13:22:49	23.02.2015 13:22:49
Zaman Aralığını Ekle	
BRPRefX: 17,34 BRPRefY: 264,74	
14.01.2015 23:00:00 --- 15.01.2015 00:00:00	<input type="checkbox"/>
15.01.2015 00:00:00 --- 15.01.2015 01:00:00	<input type="checkbox"/>
11.01.2015 04:00:00 --- 11.01.2015 05:00:00	<input type="checkbox"/>
10.01.2015 22:00:00 --- 10.01.2015 23:00:00	<input type="checkbox"/>
14.01.2015 08:00:00 --- 14.01.2015 09:00:00	<input type="checkbox"/>
14.01.2015 05:00:00 --- 14.01.2015 06:00:00	<input type="checkbox"/>
13.01.2015 20:00:00 --- 13.01.2015 21:00:00	<input type="checkbox"/>
12.01.2015 18:00:00 --- 12.01.2015 19:00:00	<input type="checkbox"/>

Şekil 3.8. Referans BRP değerlerini hesaplamak için kullanılacak verilerin alınacağı zaman aralıkları

Daha sonra bu işlem otomatik hale getirilerek parametrik olarak belirlenen süre, basınç, harman seviyesi gibi değerlere göre referans değer hesaplamaları yapılmıştır.

Buna göre güncel BRP değerinin referans BRP değerinden farkı makine hızı ile ilgili sonuç üretecek fonksiyonun en önemli giriş parametresi olmaktadır.

3.8.2.2. Makine Hızı

Sinter makine hızını tahminde güncel hızın bilinmesi de önemlidir. İsdemir sinter makinesinin ortalama hızı 3 m/dakikadır. Normal üretim şartlarında (2,5-3,7) m/dk. aralığında hareket etmesi istenir. Bundan dolayı güncel hız bilgisi giriş parametreleri arasında yerini almıştır.

3.8.2.3. Harman Yüksekliği

Harman yüksekliği bilgisi sinter paletin üstüne konan malzemenin yüksekliğidir. Paletin üç yerinde ölçüm yapılır. Hesaplama bunların ortalama değeri kullanılır. Malzeme seviyesindeki düşüş ya da yükselişler kamara sıcaklıklarını ve makine hızını doğrudan etkilemektedir.

Burada önemli olan husus harman seviyesinin ölçüldüğü yer ile sıcaklıkların ölçüldüğü bölgenin arasındaki mesafeden kaynaklanan gecikme zamanıdır. Normal üretim durumundaki bir çalışma sırasında 20-25 dakikalık bir zaman farkı oluşmaktadır. Yani malzeme yüksekliği ölçüldükten 20-25 dakika sonra sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Bu fark makinenin hızına göre hesap edilebileceği gibi ortalama bir değer de alınabilir. BRP hesabının 5 dakikada bir yapıyor olmasından dolayı bu çalışmada aradaki zaman farkı 5 dakikanın bir katı olduğu için 20 dakika olarak alınmıştır.

3.8.2.4. Basınçlar

Sinter harmanı üstten ateşlendikten sonra yanma işleminin en alt tabakaya kadar inmesi ana egzoster fanı ile oluşturulan fark basıncı ile olmaktadır. Basınç ölçümü, toz tutucu sistemin çıkışında basınç transmitterleri ile yapılmaktadır. Burada ölçülen eksi basınç yani vakum değeri tüm makine hattı boyunca kullanılmaktadır. Fark basıncının yüksek olması hattaki zayıf noktalar için tehlike teşkil eder. Bunun için İsdemir sinter makinesinde 16,5 kPa üstündeki basınç farkının üstüne çıkılmak istenmemektedir. Bunu sağlamak için emiş klapelerini daha fazla açmak ya da makine hızını düşürmek gerekir.

3.8.2.5. Otomatik Kullanım Şartları

Sinter makinesi için bazı özel durumlarda sistemin hız kontrolünü operatörden bağımsız otomatik olarak ayarlamak mümkün olmamakta, bu durumlarda hız kontrolünün operatör ile yapılması gerekmektedir.

Sinter makinesi hızını belirlemek için giriş parametresi olarak kullanılmayan fakat istisnai durum olması sebebiyle dikkate alınması gereken bazı durumlar vardır. Değerlendirilecek veriler elde edilirken bu durumların dışındaki zaman aralıkları seçilmelidir. Çünkü bu tür arıza durumlarında geliştirilen sistem kullanılmayacak, makine tamamen operatör kontrolüne bırakılacaktır. Zaman aralığı seçerken kısıtları belirleyecek parametreler şunlardır:

- Makine duruşu: Sinter makinesinde planlı bir duruş olacağı zaman makinenin üzerindeki malzemenin seviyesine göre makine hızı çok değişik seviyelere çekilebilmektedir. Örneğin makine bir süreliğine durdurulup malzemenin sinterleşmesi sağlanmışsa makineyi süratle boşaltmak için makine hızı olabildiğince (4,5-5 m/dk) artırılmaktadır. Diğer yandan makinenin sonunda gerçekleşen bir arızadan dolayı makine aniden durdurulmaktadır. Duruşta olan makine yeni çalışmaya başladığında sıcaklık ve basınç değerleri kararlı hale gelene kadar hıza müdahale operatörler tarafından yapılmaktadır.

- Harman seviyesindeki aşırı dalgalanma: Sinter makinesine malzeme verilen bantta ya da malzeme bunkerinde çıkan bir problemten dolayı malzeme seviyesi çok dalgalanmışsa bu durumda da doğrudan operatör müdahalesi gerekmektedir. Harman yüksekliği için uygun aralık 500-600 mm seviyeleridir.

- Sıcaklık karakteristikleri: Sinter harmanının içinde bulunan cevher tozu, kok tozu ya da kireçtaşı tozu gibi malzemelerin cinsinde ya da karışım oranında nadiren de olsa değişiklikler olabilir. Bu durum küçük bir zaman aralığı için bile olsa sıcaklık karakteristiğini değiştirebilir. Böyle durumlarda sıcaklıklar kararlı hale gelene kadar makineye operatör müdahale etmelidir.

Buna göre sistem için kullanılacak veriler aşağıdaki şartlar altında elde edilmiştir:

- Makine çalışmaya başladıktan itibaren en az bir saat geçmiş olmalıdır.
- Ani duruş-kalkış durumu olmamalıdır.

- Harman yüksekliği 500-600 mm aralığında olmalıdır.
- Son beş kamaradaki sıcaklıklar arasındaki bağıntı $T19>T20>T18>T17>T16$ şeklinde olmalıdır.

3.8.3. Sinter Makinesi Verilerinin Elde Edilmesi

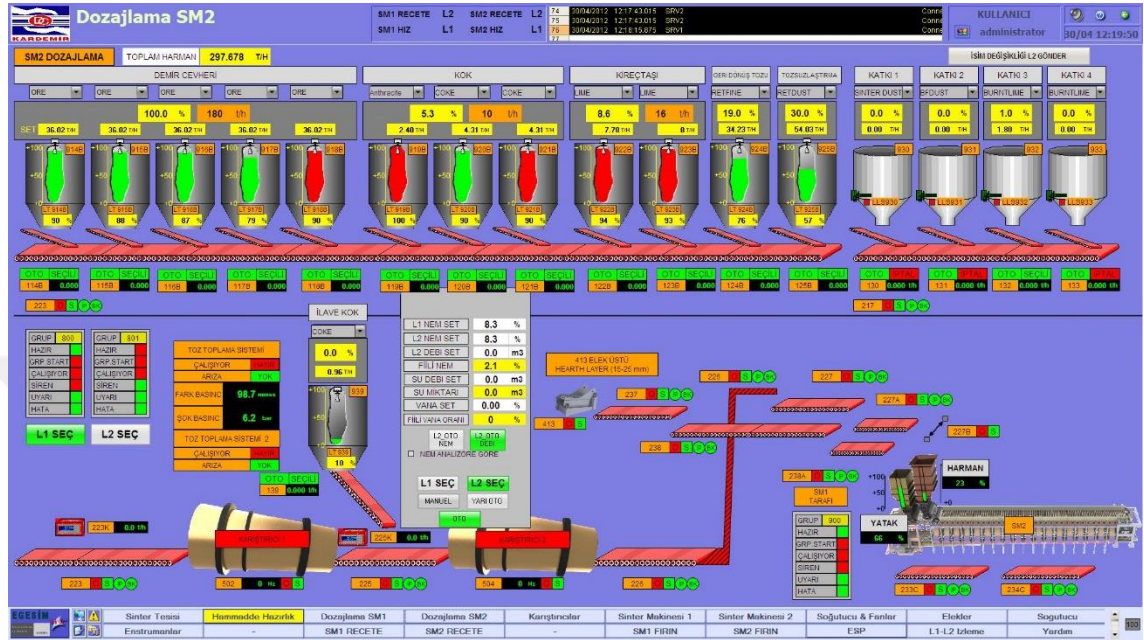
İsdemir sinter tesislerinde üretim tamamen otomasyon sistemleriyle yapılmaktadır. Yurt içinde ve yurt dışında birçok önemli sanayi tesisinde bilinen ve uygulanan seviye sistemlerinin tümü İsdemir'in diğer tesislerinde olduğu gibi sinter tesislerinde de uygulanmaktadır. Bu bilgi seviye sistemleri genel olarak beş sınıfa ayrılır: Seviye 0: Sahadaki basınç ileticisi (transmitter), sıcaklık göstericisi, vana gibi cihazları simgeler. Bu cihazların genel olarak uzaktan kontrol imkânı yoktur. Herhangi bir komut vermek için ya da gösterdiği değerini okumak için cihazın yanına gitmek gerekir. şekil 3.9' da üzerinden geçen malzemenin ağırlık bilgisini ölçen bir Seviye 0 grubundaki bir cihaz görölmektedir.



şekil 3.9. Ağırlık bilgisi üreten bir bant kantarı

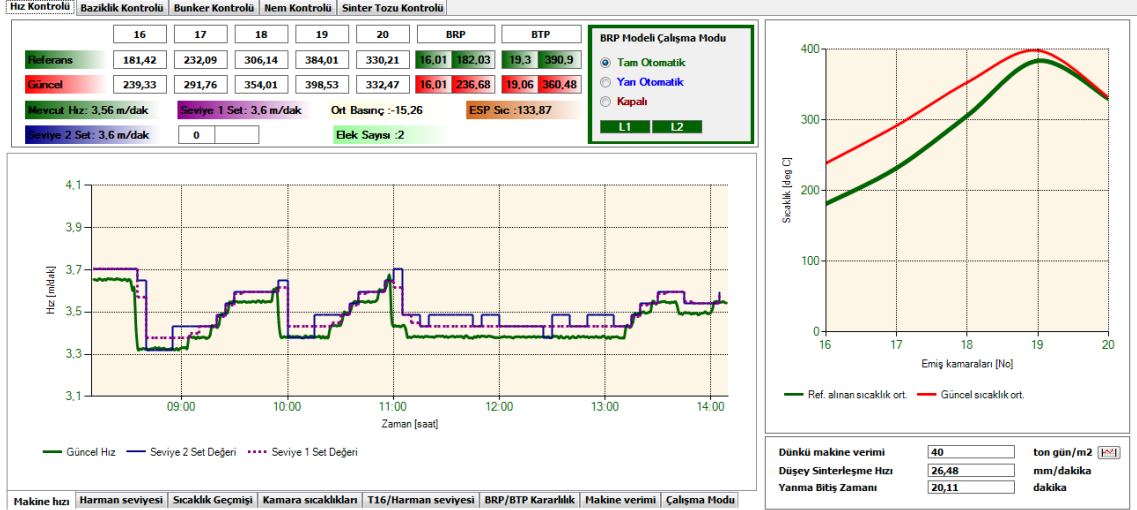
Seviye 1: PLC ya da DCS sistemleri ile işlemin kontrol edilebildiği ve scada sistemleri ile izlenebildiği sistemlerdir. PLC sistemleri, lojik mantıkla programlanabilir ve bu

sistemlerle Seviye 0 grubundaki cihazlar kontrol edilebilir. Sinter tesislerinde tüm operatör kontrolleri ve müdahaleleri Seviye 1 sistemleri aracılığı ile yapılmaktadır. Şekil 3.10'da yukarıda gösterilen bant kantarının Seviye 1 scada ekranına getirilen görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Bant kantarlarının ürettiği bilgiyi görmeyi ve onlara müdahale etmeyi sağlayan bir scada ekranı

Seviye 2: Bu sistem Seviye 1 tarafında çözülemeyecek karmaşıklıkta problemleri C#, C++ gibi programlama dilleri ile çözüp bulduğu sonucu PLC sistemine gönderen sistemdir. Ayrıca PLC veri bloklarında tutulamayacak büyüklükteki veriler Oracle, SQL Server gibi uygulamalar aracılığı ile Seviye 2 veri tabanında tutulur. Seviye 2'nin başka bir görevi de proses bilgilerinin bir üst sistem olan Seviye 3'e aktarılmasını sağlamaktır. Sinter tesislerinde sinter makinesi ve dozajlama hattındaki tüm model hesapları Seviye 2 sistemleri aracılığı ile yapılmaktadır. Şekil 3.11'de makine hızı ile ilgili yaptığı hesaplamaları ilgili ekranda gösteren bir Seviye 2 uygulaması gösterilmiştir. Bu uygulama, sinter işletme çalışanları için geliştirilen ve arka planda çalışan Seviye 2 modelinin hesapladığı BRP ve BTP değerlerini, sıcaklık eğilimlerini ve eğilimlere göre sinter makinesini yönetmek için verilen önerileri gösteren bir ara yüz uygulamasıdır.



Şekil 3.11. Seviye 2 sisteminin makine hızı ile ilgili yaptığı hesaplar

Seviye 3: Tesis tabanlı olan Seviye 2 sisteminin aksine Seviye 3 sistemi geneldir. Gerekli olan tüm işletme verileri bir veri tabanında toplanır. Bu veriler özet bilgilerdir ve daha çok yöneticilerin ihtiyaç duyduğu raporlardan oluşur. Seviye 3 ayrıca her tesisteki üretim, kalite, markalama gibi bilgilerin üretildiği merkezdir.

Seviye 4: Üretim planlamasının yapıldığı sistemdir. Üretim ve kalite gibi kayıtlar burada belirlenip sırasıyla Seviye 3 ve Seviye 2 aracılığı ile işletmeye aktarılır.

Tasarlanan bu sistem içindeki veriler Seviye 1 bilgi sistemleri tarafından üretilip Seviye 2 bilgi sistemleri tarafından alınan, hesaplanan ve kaydedilen verilerden oluşur.

3.8.3.1. Sinter Makinesi Seviye 2 Sistemi

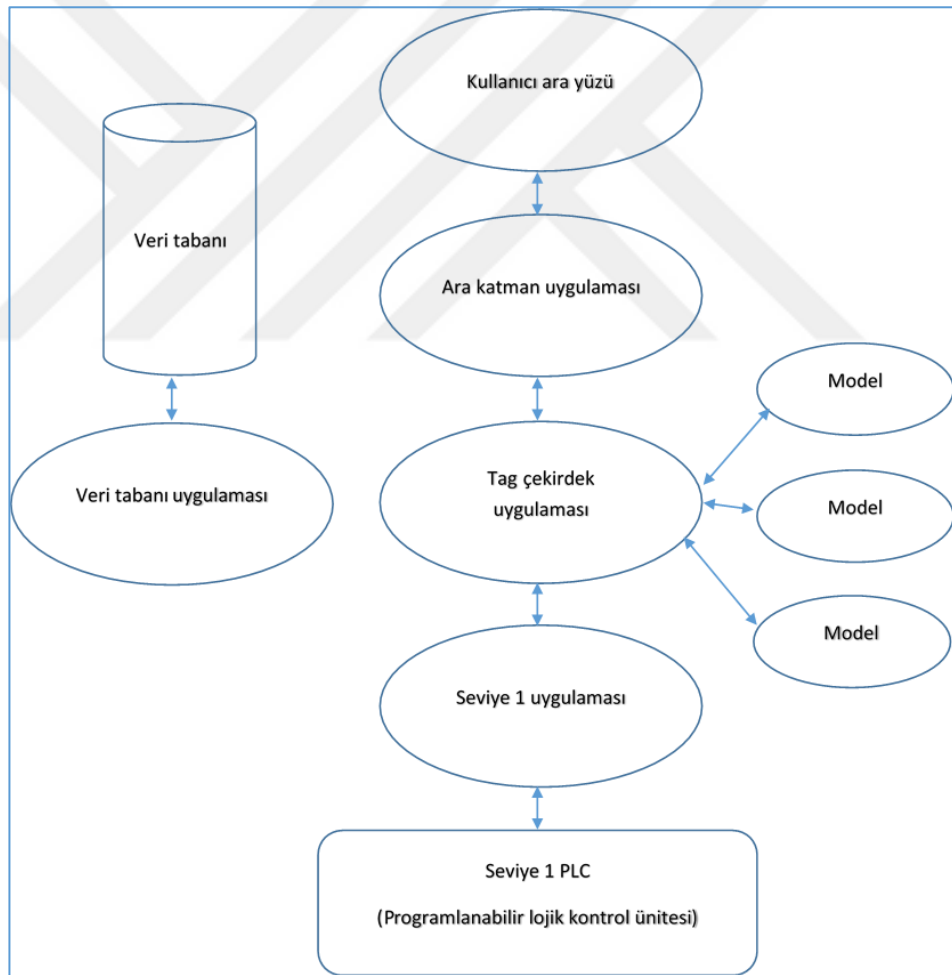
Seviye 2 sistemlerinin genel olarak görevleri aşağıdaki gibidir:

1. Seviye 1'de anlık olarak tutulan bilgileri kaydetmek ve bunları grafik ekranlar, raporlar halinde göstermek.
2. Analiz bilgileri, döküm kayıtları, ürün kalitesi, tesis duruşları gibi verilerin tanımlanabilmesini ve izlenebilmesini sağlamak
3. Model uygulamaları ile tesislerin daha verimli çalışabilmesi sağlamak
4. Proses bilgilerinin Seviye 3'e aktarılmasını sağlamak

Sinter Seviye 2 sisteminde iki adet sunucu bilgisayar vardır. Bunların biri toplanan verileri depolama amaçlı kullanılır. Diğeri ise Seviye 2 uygulamalarının çalıştığı

sunucudur. Uygulamaların geliştirildiği mühendislik bilgisayarları ve son kullanıcı ekranının çalıştığı operatör bilgisayarları da diğer Seviye 2 donanımlarını oluşturur.

Seviye 2 uygulamaları arka planda çalışan sunucu uygulamaları (server applications) ve son kullanıcı ekranı uygulaması (Human Machine Interface-HMI) olmak üzere iki çeşittir. Her farklı iş için farklı bir uygulama geliştirilmektedir. Bir uygulamaya birden fazla iş yüklenmemesi bir tarafta aksama olduğunda diğer tarafları etkilememesi içindir. Bu uygulamalar Microsoft remoting teknolojisi kullanarak haberleşirler. Bu teknoloji ile uygulamalar farklı bilgisayarlarda çalışsalar bile haberleşebilirler fakat hepsi de model sunucusunda çalışmaktadır. Şekil 3.12’de veri tabanı, PLC sistemleri ve birbirleriyle haberleşen Seviye 2 uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Sinter Seviye 2 sistemi genel yapısı

Seviye 2 uygulamalarının birbiri ile haberleşmesi ya da yaptığı hesaplamaların sonucunu diğer uygulamalara bildirmesi etiket ya da künye anlamında kullanılan ve tag

adı verilen yapılar sayesinde olur. Bir sayı ya da metin tipinde bir değer ifade eden büyüklüğe tag denir. Gerek Seviye 1'den proses bilgilerinin alınmasında, gerek bunların veri tabanına kaydedilmesinde hatta model uygulamalarının parametrelerini tanımlamada hep tag ifadesi kullanılmaktadır. Seviye 2 de kullanılan tagların veri tabanında tanımlanmış olması gerekir. Bu tanımlamaya göre bir tagın nereden okunacağı, hangi zaman aralıklarında okunup yazılacağı, nereye yazılacağı ve ne şekilde (ortalama, son değer, en büyük, en küçük gibi) yazılacağı belirlenir. Ayrıca bir uygulamanın ürettiği bir değer başka bir uygulama tarafından kullanılması da tanımlanan taglar sayesinde olur.

3.9. Örüntü Tanıma Sistemi

Örüntü, düzenli ya da benzer şekilde tekrar edebilen ölçümlenebilir ya da gözlemlenebilir bir örnekler kümesidir. El yazısı, ses sinyali, parmak izi, bir metindeki karakterler örüntüye bir örnek olarak verilebilir. Örüntü tanıma ise, aralarında ilişki kurulabilen bu örnekleri belirli özelliklere göre sınıflandırmaktır (Türkoğlu, 2013). Örüntü tanıma uygulamalarını günlük yaşantımızda her zaman görmemiz mümkündür. Hava olaylarının algılanması, harf ve rakam gibi karakterlerin tanınması, yüz ve ses tanıma gibi geçmiş tecrübelerimize dayalı olarak sürekli olarak örüntü tanıma olayını gerçekleştirmiş oluruz. Örüntü tanıma uygulamalarının amacı, makinenin gördüğü örüntülerin özniteliklerini kullanarak daha önceden eğitildiği ya da öğrendiğine göre bu örüntülerin sınıflandırmasını yapmaktır (Erkinay, 2012).

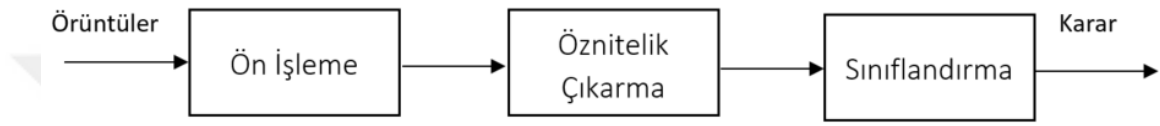
Örüntü tanıma, makine öğrenmesinin önemli bir basamağıdır. Bu görevi bilgisayar yazılımları ile makinelere yaptırma her geçen yıl büyüyerek devam etmektedir (Toylan, 2012).

Bilgisayar yazılımları ile örüntülerin algılanabilmesi için her örüntünün bilgisayarın işleyebileceği bir vektör ile temsil edilmesi gerekir. Bu vektörler işlenen konuya göre farklı bir dönüşüm yöntemi ile bilgisayarın işleyebileceği forma dönüştürülür. Dönüşüm işlemi, kategorileri birbirinden ayıran ve kendi kategorisini en iyi temsil eden özniteliklerin bulunması olarak tanımlanabilir (Ölmez ve ark., 2009).

Örüntü tanıma uygulamaları kalite kontrolü, görüntü ve nesne tanıma, ses, el yazısı, parmak izi tanıma, veri madenciliği, biyomedikal kontrol gibi konularda sıklıkla kullanılmaktadır.

3.9.1. Örüntü Tanıma Sistemi Aşamaları

Bir örüntü tanıma süreci Şekil 3.13'te gösterilen bloklar halinde, ön işleme, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma aşamalarından oluşur. Ön işleme aşaması ilgilenilen ham verinin kullanılabilir veri haline getirilme aşamasıdır. Öznitelik çıkarma aşamasında bu verilerden sınıflandırma için gerekli özelliklerin çıkarılarak vektörel forma dönüştürülmesi işlemi yapılır. Sınıflandırma aşamasında ise bu özniteliklere bakılarak örüntünün hangi gruba ait olduğunun tespiti yapılır.



Şekil 3.13. Örüntü tanıma süreci

3.9.2. Ön İşleme

Ön işleme aşaması, işaret ya da görüntünün çeşitli tekniklerle dönüştürüldüğü, filtrelendiği, bileşenlerine ayrıldığı ya da modellendiği kısımdır (Türkoğlu, 2013). Bu aşamada, ilgilenilen sinyalin, beraberindeki diğer verilerden ayrılması, kullanılabilir hale getirilmesi sağlanır (Erkınay, 2012).

3.9.3. Öznitelik Çıkarma

Öznitelik çıkarma, örüntülerin karakteristik yapılarının çıkarılması için tanımlayıcı özelliklerinin çıkarıldığı aşamadır. Örüntü tanıma sistemlerinde sınıflandırma aşamasında doğru kararlar verilebilmesi için yeterli sayıda ve etkin özelliğin elde edilmesi gerekir (Toylan, 2012). Bu özelliklerin vektörel forma dönüştürülmesi bu aşamada yapılır. Tanımlayıcı özelliklerin çıkarılması aşamasında örüntülere ait bilgilerin vektörlere direk olarak aktarılmasının önünde şu engeller vardır: (i) Örüntüleri temsil eden vektör elemanlarının farklı sayıda olması, (ii) elemanların vektör içindeki pozisyonunun değişmesi, (iii) aynı kategorideki örüntüler için vektör genliklerinin

değişiklik göstermesi. Vektör elemanları üzerindeki bu kötü etkiler normalizasyon işlemi ile kaldırılmalıdır (Ölmez ve ark., 2009).

3.9.4. Sınıflandırma

Sınıflandırma, bir örüntüye ait öznitelik vektörleri kullanılarak o örüntünün hangi gruba ait olduğunun belirlenmesi işlemidir (Duda 2001). Sınıflandırma aşamasında çıkarılan özellik kümesi karar verme mekanizmasıyla formüle edilir. Sınıflandırıcının görevi örüntüyü bu özellik kümesine göre uygun bir sınıfa sokmaktır. Örüntü tanıma işleminde hangi sınıflandırma yönteminin daha başarılı olacağı bilinemez. Örüntülerin tiplerine göre sınıflandırma yöntemlerinin başarıları değişebilir. Benzer şekilde bir örüntünün farklı öznitelikleri ve özniteliklerinin sayısına göre de sınıflandırma yöntemleri arasında farklı başarı oranları elde edilebilir (Toylan, 2012).

Bir sınıflandırıcı tasarlanırken örüntülerden elde edilen öznitelik veri kümesinin bir bölümü sınıflandırıcıyı eğitmek, diğer bir bölümü de test etmek için ikiye ayrılmalıdır. “Eğitim” ve “test” kümesi olarak adlandırılabilir bu iki bölümden eğitim kümesi ile elde edilen karar fonksiyonları test kümesine uygulanır ve çıkan sonuca göre sınıflandırıcının performansı belirlenir. Burada amaç; hangi sınıfa ait olduğu bilinen özniteliklere dayalı geliştirilen modellemenin, bilinmeyen öznitelikler üzerindeki başarısını ölçmektir (Erkınay, 2012).

Örüntü tanımadaki kullanılan sınıflandırma yöntemlerine Bayes sınıflandırıcı, karar ağaçları, doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri örnek olarak verilebilir.

Örüntü tanıma sistemlerinin başarısında, sınıflandırma yönteminin önemi büyüktür. Örüntü tanıma sistemlerinde hangi sınıflandırıcının tercih edileceği örüntünün çeşidi, örüntüden elde edilen özniteliklerin yapısı ve sayısı, işlem süresi ve karmaşıklığı gibi faktörler göz önüne alınarak belirlenir, fakat bir örüntü tanıma problemi için genel olarak hangi sınıflandırma yönteminin en iyi ya da en uygun olduğu kesin olarak söylenemez.

Bu çalışmada geliştirilen sistemde, sinter makinesinin hız kontrolü için doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağı ve destek vektör sınıflandırıcısı yöntemleri kullanılmıştır.

3.9.4.1. Doğrusal Ayırma Sınıflandırıcısı

Doğrusal ayırma sınıflandırıcısı (DAS), istatistik ve makine öğrenmesi alanlarında yaygın olarak kullanılan sınıflandırma yöntemlerinden biridir. DAS, iki veya daha fazla sınıfa ait olan örnekleri doğrusal olarak ayırmak için, özniteliklerin doğrusal kombinasyonunu bulmaya çalışır. Bu yöntemde önce ayırt edici fonksiyonlar belirlenir. Daha sonra bu fonksiyonlar aracılığıyla, gruplar içinde en baskın olan ayırt edici değişkenler belirlenir. Son olarak, bu örneğin hangi gruba ait olduğuna karar verilir (Yıldız, 2014).

Doğrusal sınıflandırma, bir sınıfın diğer sınıflardan ayrılması işleminin doğrusal olarak yapılmasıdır. Sonucun ne olduğunun değil, hangi sınıf içinde olduğunun önemi vardır. Böyle bir sınıflandırmada sınırlarla ayrılmış sınıf bölgelerindeki örneklerin nasıl dağıldığı önemli değildir, önemli olan sınıflar arasındaki sınırların nasıl kestirildiğidir. Bu kestirim ne kadar iyi yapılırsa sınıflandırma başarısının o kadar yüksek olduğu düşünülür (Alpaydın, 2013).

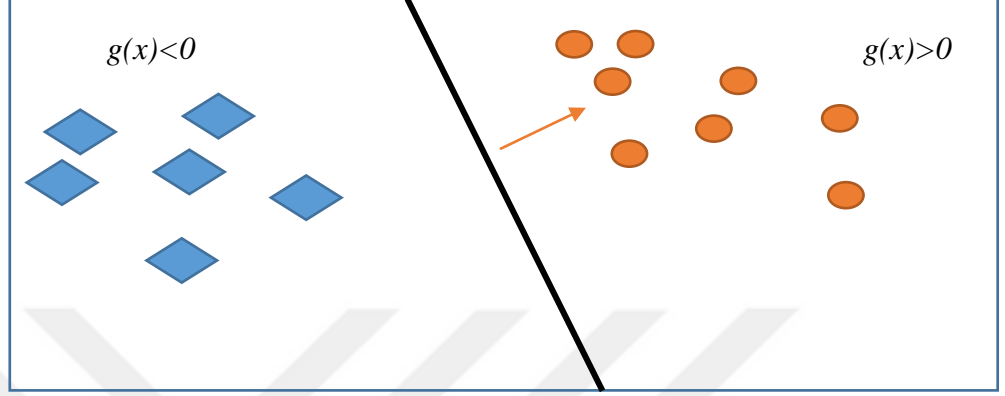
Doğrusal ayırma sınıflandırıcısı kullanmada amaç yapılan işlemin daha basit olması ve daha düşük sistem gereksinimlerine ihtiyaç duymasıdır. Doğrusal modelin anlaşılması kolaydır: Modelin çıktısı, denklem 3.5'te görüldüğü gibi x_j girdilerinin ağırlıklı toplamıdır. w_j ağırlığının büyüklüğü, x_j girdisinin önemini ve işaretini belirtir.

$$g_i(x|w_i, w_{i0}) = w_i^T x + w_{i0} = \sum_{j=1}^d w_{ij}x_j + w_{i0} \quad (3.5)$$

Sınıflandırma problemlerinde daha çok “var/yok” şeklinde sonuçlar alınır. Bir iletinin (mail) gerekli ya da gereksiz (spam) olması, bir kişide hastalık riski olup olmaması gibi bulunan sonucun hangi sınıfa dâhil olduğu bulunur. Daha ileri örnekler olarak harf ya da numara tanıma, yüz tanıma ya da el yazısı tanıma gibi uygulamalar gösterilebilir.

Sınıflandırma iki sınıf için yapılacaksa aradaki sınırın üstünde ve altında kalanlar pozitif-negatif, başarılı-başarısız, hız yükselt-hız düşür gibi isimlendirilebilir. Fakat daha çok sınıf varsa bire karşı diğer tümü ya da bire karşı bir düşüncesiyle hareket edilerek yine ikili sınıflar haline getirilir.

Aşağıda, Şekil 3.14’ te, $g(x) = w_1x_1+w_2x_2+w_0=0$ fonksiyonuyla ifade edilen grafikte $g(x)>0$ olan ve $g(x)<0$ olan duruma göre bir sınıflandırma yapıldığı görülmektedir. İki sınıf arasındaki sınırın üstü pozitif ya da lojik olarak $g(x)=1$ durumu, sınırın altı ise negatif ya da lojik olarak $g(x)=0$ durumudur.

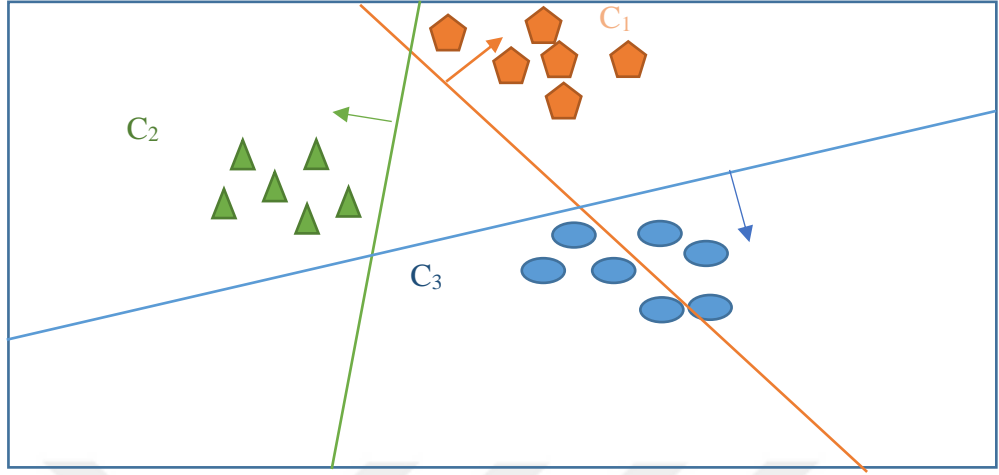


Şekil 3.14. İki sınıfın doğrusal olarak birbirinden ayrılması

İkiden fazla sınıf olduğu durumda bire karşı diğer tümü yaklaşımı sınıf sayısı kadar sınır çizgisi sayısını gerektirecektir. Böyle bir sınıflandırmada bir sınıf içinde kalan tüm örneklerin o sınıf için çekilen sınırın üstünde olması beklenir. Şekil 3.15’ ten daha iyi anlaşılacağı üzere Denklem 3.6’ ya göre her sınıfın örneği kendi sınır çizgisinin üstünde, onun dışındaki her örnek ise altında kalır.

$$g(x|w_i, w_{i0}) = \begin{cases} > 0 & \text{eğer } x \in C_i \\ \leq 0 & \text{değilse} \end{cases} \quad (3.6)$$

Eğer bir örnek birden fazla sınıfın içine giriyor ya da hiç birine girmiyorsa bu örnek reddedilir ya da o örnek en yüksek ayırıcı değerli sınıfa atanır (Alpaydın, 2013).

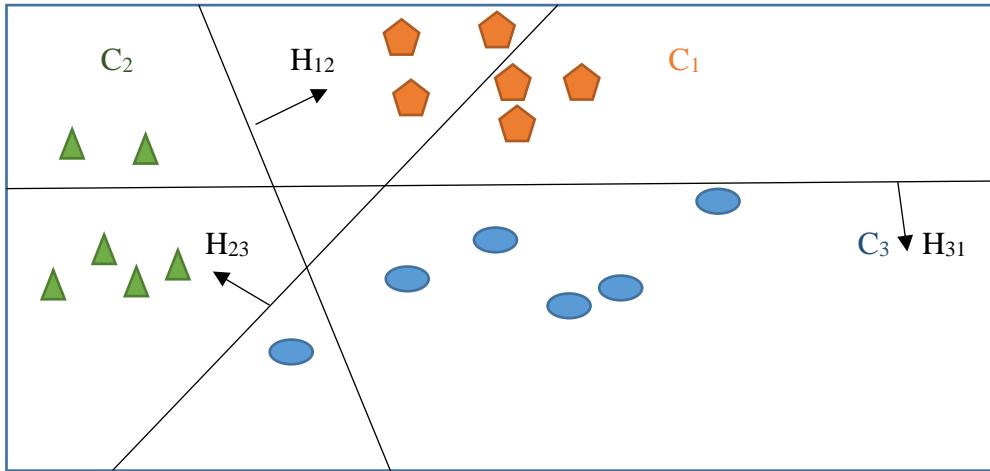


Şekil 3.15. İkiden fazla sınıfın doğrusal olarak bire karşı diğer tümü yöntemiyle birbirinden ayrılması

İkiden fazla sınıf ve bire karşı bir durumunda ise k sınıflı bir problem için her ikili sınıf için $k*(k-1)/2$ tane ayırıcıya ihtiyaç olacaktır.

$$g_{ij}(x|w_{ij}, w_{ij0}) = \begin{cases} > 0 & \text{eğer } x \in C_i \\ \leq 0 & \text{eğer } x \in C_j \quad i, j = 1, \dots, K \text{ ve } i \neq j \\ \text{kullanılmaz} & \text{değilse} \end{cases} \quad (3.7)$$

Örnekler Denklem 3.7' ye göre yerleştirilir, fakat ayrılmış bu ikili sınıfın dışında kalan girdiler dikkate alınmaz. Deneme sırasında bir sınıf seçilirken o sınıf için seçili tüm ikili ayırıcıların artı yanında olması beklenir (Alpaydın, 2013).



Şekil 3.16. İkiden fazla sınıfın doğrusal olarak birbirinden ayrılması

Şekil 3.16' da üç sınıf için çizilmesi üç tane ayırıcı gösterilmiştir. C1-C2 için H12, C1-C3 için H31, C2-C3 için H23 ayırıcılarına göre bir örneğin C1 sınıfına atanması için H12 sınırının üstünde (artı tarafında) ve H31 sınırının altında (eksi tarafında) olması gerekir. Burada H23 ayırıcısına bakılmaz.

Birden fazla sınıf, doğrusal olarak ayırlamasa da ikişerli gruplar halinde ayrılması karmaşık bir işin daha basit alt dallarına bölünmesine benzer. Bu yöntemle doğrusal olarak ayırlamayacak sınıflar ayrılmış olur bu yöntemin daha çok problemin çözülmesinde kullanılması sağlanır.

Sinter makinesi hız tahmininde, kullanılan veri sayısının çok olması ve doğrusal ayırma sınıflandırıcısının veri setinin büyük olduğu durumlardaki işlem hızı yönüyle önemli bir avantajının olması bu sınıflandırıcıyı tercih sebebi kılmıştır.

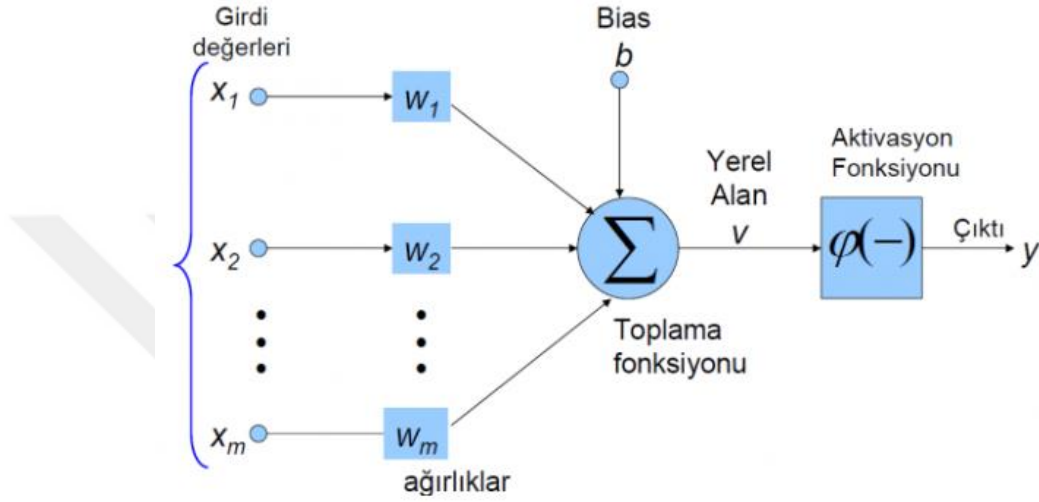
3.9.4.2. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA) insan beynindeki sinir hücrelerinin katmanlı ve bağlantılı yapısından esinlenerek geliştirilmiştir. Her biri kendi belleğine sahip ve ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanmış, paralel çalışan bilgi işleme yapılarıdır (Elmas, 2010). Mükemmel bir yapı olan insan sinir sisteminin işleyişini yerine getirme yeteneği yapay sinir ağlarını hep çekici kılmıştır.

Yapay sinir ağları genel olarak veri sınıflandırma, denetim, modelleme, ses ve görüntü tanıma ve yorumlama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Yapay sinir ağlarının avantajları, öğrenme kabiliyetlerinin olması ve farklı öğrenme algoritmaları kullanmada esnek olabilmesidir (Elmas, 2010). Matematiksel modele ihtiyaç duymayan, kural tabanı kullanımı gerektirmeyen bir yapıda olmaları üstünlükleri arasında sayılabilir. Diğer yandan sistemin içinde ne olduğunun bilinmemesi, ağ parametrelerinin belirlenmesinde bir kural olmadığından dolayı sisteme müdahale etmenin kullanıcı tecrübesine kalması, problemin ağa gösterilmesindeki sorunlar ve hata toleransının neye göre belirleneceği gibi sorunlar yapay sinir ağlarının dezavantajlarını oluşturur.

3.9.4.2.1. Yapay Sinir Ağının Öğeleri

Bir yapay sinir ağı birbirleriyle bağlantılı çok sayıda sinirden (düğümünden) oluşur. Her bir sinirin Şekil 3.17' de gösterildiği gibi öğeleri vardır. Elmas (2010), bu öğeleri girişler, ağırlıklar, toplama işlevi, etkinlik işlevi (aktivasyon fonksiyonu), ölçekleme ve sınırlama, çıkış işlevi ve son olarak öğrenme olarak isimlendirmiştir.



Şekil 3.17. YSA genel yapısı

Girişler (x_1, x_2, \dots, x_n), kendinden önceki sinirden ya da dış dünyadan sinire gelen bilgilerdir. Ağırlıklar (w_1, w_2, \dots, w_i) girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen katsayılardır. Bir ağırlığın değerinin büyük olması o girişin sonuç üzerindeki etkisinin büyüklüğüne işaret eder. Toplama işlevi v_i sinirde her bir ağırlıkla girişin çarpımının toplamalarını eşik değeri θ_i ile toplayarak etkinlik işlevine (aktivasyon fonksiyonu) gönderir. Toplama işleminin sonucu etkinlik işleminden geçirildikten sonra çıkışa gönderilir. Yapay sinir hücresi, etkinlik işlevinin eşik seviyesinin altında çıkış üretmez, üstünde ise üretir. Hücrenin verdiği sonuç belli bir katsayı ya da ölçekle çarpılıp ya da bazı sınırlara göre değerlendirilerek daha anlamlı bir hale getirilebilir. Çıkış işlevi ise yapılan işlemin sonunda üretilen dışarıya ya da başka bir sinire gönderildiği yerdir. Bir düğümün ya da sinirin sadece bir çıkışı olabilir. Ama bu çıkış birden fazla sinirin girişi olarak kullanılabilir.

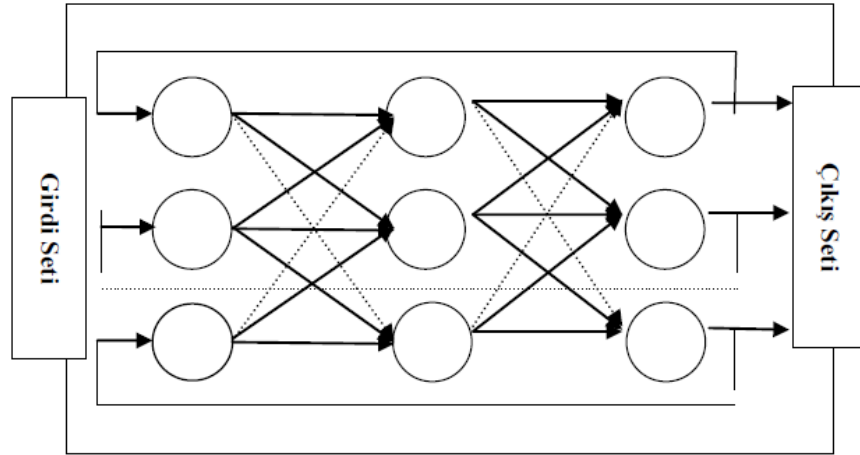
YSA ile bir problemin çözümü yapılmadan önce en iyi sonuçları elde edebilmek için, ağı öğrenme mekanizmasını, öğrenme algoritmasını, mimarisini başlangıçta belirlemek önemlidir (Erkınay, 2012).

Yapay sinir ağları, öğrenme mekanizmasına göre “Danışmanlı” ve “Danışmansız” olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Çalışmada hedef çıkış değerleri varsa öğrenme mekanizması danışmanlı öğrenme, yoksa danışmansız öğrenme olarak değerlendirilir.

Yapay sinir ağının öğrenme algoritması ise, başarımlı ölçütünün zaman içinde artması ya da hata ölçütünün zaman içinde azalmasını sağlayacak parametre değişikliklerinin hesaplanmasına dayanır (Tezel, 2007).

Yapay sinir ağları mimari yapılarına göre ileri beslemeli ağlar (Feed Forward) ve geri beslemeli ağlar (Feed Back) olmak üzere ikiye ayrılabilir.

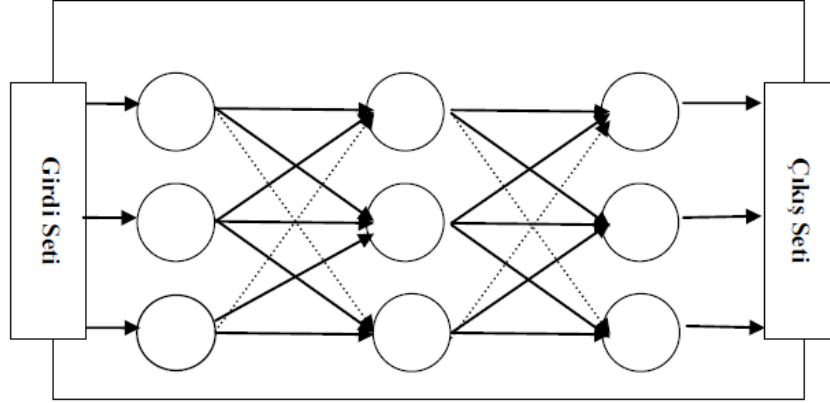
Geri beslemeli ağlarda bir sinirin çıkışı, Şekil 3.18’de gösterildiği gibi kendinden önceki katmanlarda bulunan sinirlerin girişine iletilmektedir (Yavuz ve Deveci, 2013). Bu tip sinir ağlarının hafızaları dinamiktir ve çıkış hem anlık hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı bu tip ağlar danışmansız öğrenme yapılan uygulamalar için daha uygundur. Bu ağ modeline örnek olarak Hopfield, adaptif rezonans teori (ART), Elman ve Jordan ağları verilebilir (Çevik, 2010).



Şekil 3.18. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı

İleri beslemeli bir ağda ise, Şekil 3.19’da gösterildiği üzere her katmandaki sinirlerin çıkışları ilgili ağırlıklarla çarpılarak bir sonraki sinire giriş değeri olarak verilir. Bu işlem çıkış katmanına varıncaya kadar devam eder. Bu ağlar çok katmanlı ileri

beslemeli ağlar olarak adlandırılır (Elmas, 2010). İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı algılayıcı (Multi Layer Perceptron- MLP), modüler sinir ağları (Modular Neural Networks -MNN) ve olasılık tabanlı (Probabilistic Neural Network -PNN) sinir ağları verilebilir (Çevik, 2010).



Şekil 3.19. İleri Beslemeli Yapay Sinir

Yukarıda ileri beslemeli ağ olarak anlatılan Geoffrey Hinton ve James McClelland tarafından geliştirilen bu ağlarda giriş ya da gizli katmandaki her bir sinir, bir ilerideki katmanda bulunan bir sinire bağlıdır. Bir katmandaki hiçbir sinir kendi katmanındaki bir sinire bağlı değildir. Her katmanın çıkış değerleri, bir sonraki katmanın giriş değerleridir. Bu şekilde giriş değerlerinin ağın başından sonuna doğru ilerlemesine ileri besleme denir. Bu yapıda hatalar, ileri besleme aktarım işlevinin türevi tarafından, ileri besleme ağı içindeki aynı bağlantılar aracılığıyla geriye doğru yayılmaktadır. Bu da sistem hatasını azaltmaya dayanan bir eniyileme (optimizasyon) işlemidir. Her bir çalışma örneği çıktı örneği hesaplanana kadar katman katman ileri yayılır. Hesaplanan çıktı değeri olması gerekenle karşılaştırılır ve aradaki fark hata olarak değerlendirilir. Hatalar, katman katman sinaptik ayarlamaların yapıldığı geri besleme bağlantılarında girdiler olarak kullanılır. Geriye doğru olan bağlantılar öğrenme için kullanılırken ileri doğru olan bağlantılar hem öğrenme, hem işlemsel fazlar için kullanılır. Geri yayılımlı öğrenmede sonraki katmanların hatalarına göre önceki katmanların ağırlıkları ayarlanır. Bu işlem çıkış katmanından ilk gizli katmana kadar tekrarlanacak bir işlemdir. Tamamlanan süre içinde toplam hata en aza indirilinceye kadar bu işlemler devam eder (Elmas, 2010). Eğitim setinin tamamı için yapılacak bu bilgi işleme aşamasının tamamlanmasına bir iterasyon denir (Haykin, 1999). Eğitimin amacı eğitilen ağın çıkışlarının hedef çıkış

değerleriyle aynı olmasını sağlamaktır. Eğitim işlemi elde edilen ağ çıkışı ile hedef çıkışlar arasındaki hatanın kabul edilebilir seviyeye düşmesine kadar devam eder. YSA yapısında maksimum iterasyon sayısı ve minimum hata değeri eğitimi tamamlama ölçütü olarak belirlenmiştir (Erkınay, 2012).

Bu çalışmada ileri beslemeli geriye yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı kullanılmıştır.

3.9.4.3. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makineleri (DVM), Vapnik tarafından geliştirilen ve istatistiksel öğrenme teorisine dayanan oldukça yeni bir yöntemdir. Bu yöntemde giriş uzayı, özellik uzayı denen ve içinde sınıflandırıcının genelleme kabiliyetini artırmak için en uygun düzlemlerin belirlendiği çok boyutlu bir iç çarpım uzayı üzerinde haritalandırılır. En uygun düzlemler, optimizasyon teorisi ve bununla ilişkili istatistiksel öğrenme teorisi kullanarak bulunur (Jiang ve ark., 2005). DVM yöntemi birçok alanda kullanılmaktadır. Burges (1998)'in bildirdiğine göre ilk literatüre geçen çalışmalar arasında 1995 ve 1996 yıllarında Cortes, Vapnik, Schölkopf ve Schmidt gibi bilim adamlarının uyguladığı el yazısı tanınması, nesne tanıma, ses sahibinin tanımlanması sayılabilir. Bununla birlikte metin kategorizasyonu, zaman serilerinin tahmini ve regresyon konularında bu yöntem yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Destek vektör makineleri, çok sayıda bağımsız değişkenle çalışabilme, çok az giriş ile öğrenebilme, doğrusal olarak ayrılabilen ya da ayrılamayan verilere uygulanıp yüksek doğrulukta sonuçlar verme bakımından avantajlıdır.

Destek vektör makineleri, doğrusal ve doğrusal ol(a)mama durumuna göre ikiye ayrılabilir. Diğer yandan iki sınıflı ve çok sınıflı olarak da iki gruba ayrılabilir.

Doğrusal olarak ayrılabilen bir destek vektör makinesinde N adet gözlemden oluşan ve her biri bir veri çiftinden müteşekkil veri vektörü n -boyutlu uzayda n $x_i \in \mathbb{R}$ ve $i = 1, 2, \dots, N$ olmak üzere, veri vektörlerine karşılık gelen sınıf etiketi $y_i \in \{+1, -1\}$ olsun. Bu durumda $y_i = +1$ ise x_i I. sınıfa, $y_i = -1$ ise x_i II. sınıfa dâhil edilir. Bu veri çiftleri eğitim setini oluşturmaktadır. Doğrusal olarak birbirlerinden ayrılabilen veriler için, bu verileri birbirinden ayıran bir $f(x)$ aşırı düzlemi tanımlanabilir. Bu aşırı düzlemi

tanımlamak için, x_i pozitif sınıfa ait ise $f(x) \geq 0$ ve x_i negatif sınıfa ait ise $f(x) < 0$ şartı uygulanır (Ekici ve ark., 2008).

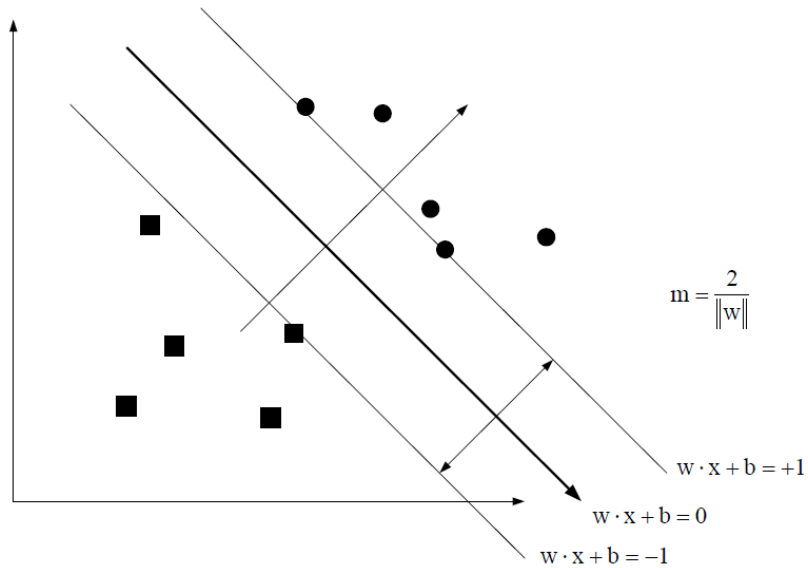
$$f(x) = w^T \cdot x + b = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j + b \quad (3.8)$$

$$y_i f(x_i) = y_i (w^T \cdot x + b) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.9)$$

Buradaki w n-boyutlu bir vektör, b ise eşik değeridir. Buna ilave olarak w ve x 'in $1/w$ uzaklığındaki aşırı düzleme en yakın nokta olma koşulu getirilirse denklem 3.9 aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir;

$$y_i (w^T \cdot x + b) \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.10)$$

Aşırı düzlem ile en yakın noktaya uzaklığı en fazla olan düzlem (maksimum aralıktaki), en uygun ayrıştırıcı aşırı düzlem olarak adlandırılır. DVM'nin genelleme kabiliyeti bu ayrıştırıcı düzlemi maksimize etmekle sağlanır. Ekici ve ark. (2008) Şekil 3.20'de en uygun aşırı düzlemi Vapnik (1998)'e göre göstermişlerdir. Buradaki m maksimum aralık, H ise en uygun ayrıştırıcı düzlemdir.



Şekil 3.20. En uygun ayrıştırıcı düzlem (Optimal separating hyper plane)

DVM yöntemi ilk olarak ikili sınıflandırma için geliştirilmiştir. Fakat uygulamalardaki sınıflandırma problemlerinin büyük çoğunluğunun ikiden fazla sınıftan oluşmasından dolayı, çok sınıflı bir DVM sınıflandırıcısına ihtiyaç duyulmuştur. İkili sınıflandırma ile çoklu sınıflandırma arasında bir ilişki vardır. Çok sınıflı sınıflandırma, ikili sınıflandırıcıların birleştirilmesiyle elde edilebilir. Sınıflandırılabilir k-sınıflı bir problem ikili sınıflandırıcılar kullanılarak çözülebilir. Çok sınıflı sınıflandırma için önerilen pek çok DVM ayrıştırma yöntemi vardır. Bunlardan en önemlileri, bire-karşı diğer tümü (BKD) ve bire-karşı-bir (BKB) yöntemleridir (Pöyhönen, 2004).

BKD yönteminde, eğitim verisini ikili DVM ile ayırabilen k adet sınıflandırıcı oluşturulur. Bu sınıflandırıcılardan her biri, bir sınıfı geriye kalan diğer sınıflardan ayırır. Bu işleme, tüm sınıflandırıcılar kullanılana kadar devam edilir ve tüm sınıflandırıcıların ikili sınıflandırma sonuçları birleştirilerek karar işlevi yerine getirilir (Pöyhönen, 2004).

BKB yönteminde ise, k-sınıflı bir sınıflandırma problemi için $M = k(k-1)/2$ adet sınıflandırıcı oluşturulur. Bu sınıflandırıcılar i. ve j. sınıflara ait veriler ile eğitilir. BKB yönteminde ikili sınıflandırma problemi,

$$\min_{w^{ij}, b^{ij}, \delta_n^{ij}} \frac{1}{2} (w^{ij})^T w^{ij} + C \sum_t \delta_n^{ij} (w^{ij})^T$$

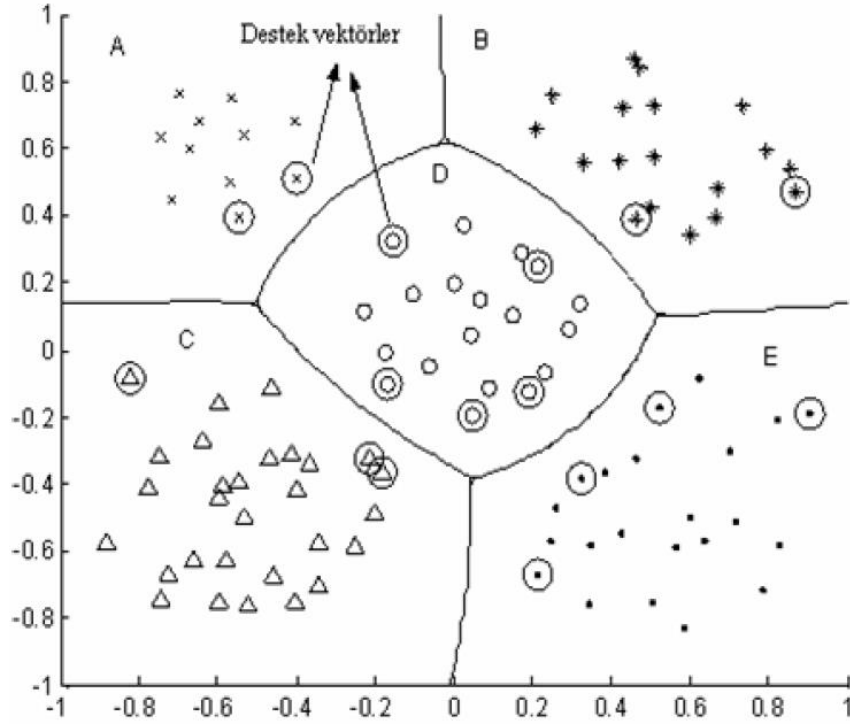
$$(w^{ij})^T K(x, z) + b^{ij} \geq 1 - \delta_n^{ij}, \quad y_n = i \text{ ise,} \quad (3.11)$$

$$(w^{ij})^T K(x, z) + b^{ij} \leq 1 - \delta_n^{ij}, \quad y_n = j \text{ ise,}$$

çözülerek elde edilir (Jiang ve ark., 2004). Buradaki $K(x, z)$ çekirdek fonksiyonu, (x_n, y_n) i. ya da j. eğitim örneği, b eşik değeri ve C ise düzenleme faktörüdür. Eğitim örneklerinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için bir puanlama stratejisi uygulanır. Eğer bir x eğitim örneğinin i. sınıfa ait olduğuna karar verilirse, i. sınıfın puanı 1 arttırılır. Aksi durumda j. sınıfın puan hanesine 1 eklenir. Bu yarışma stratejisi sonucunda, hangi sınıfın puanı daha fazla ise x örneğinin kesin olarak o sınıfa ait olduğuna karar verilir (Jiang ve ark., 2004). Şekil 3.21'de 5 farklı sınıfın BKB yöntemi ile sınıflandırılması gösterilmiştir (Frank ve ark., 2004).

Şekil 3.21'deki 5 farklı sınıftan oluşan sınıflandırma problemini çözmek için BKB yöntemi $M = k(k-1)/2 = 10$ adet sınıflandırıcı kullanmıştır. BKB yönteminde kullanılan sınıflandırıcı sayısı $k \geq 3$ olması durumunda BKD yöntemine göre daha fazla olmasına

rağmen ($M = k(k - 1) / 2 \geq k$), BKD yöntemi her örnek için geriye kalan tüm veri setini eğittiğinden eğitimi daha yavaştır (Jiang ve ark., 2004).



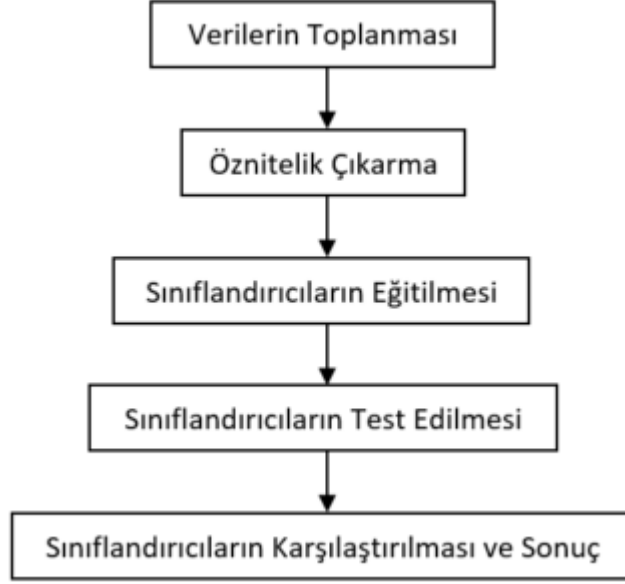
Şekil 3.21. Farklı 5 sınıfın ÇDVM ile sınıflandırılması (MSVM classification of different classes)

Bu çalışmada çok sınıflı doğrusal destek vektör makineleri ile işlem yapılmıştır. Sinter makinesi hızı ile elde edilmek istenen sonucun (hız yükseltme, düşürme ya da aynı bırakma) tam bir sınıflandırma problemi olması dolayısıyla destek vektör sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Üç sınıf halinde toplanmış sonuçların birbirinden doğrusal olarak ayrıştırılması yani bu sınıfların ayrıştırılması kararının destek vektörler arasında en yüksek mesafe oluşturulması sağlanarak yapılması düşünülmüştür.

3.9.5. Örüntü Tanıma Sisteminin Uygulanması

Bu çalışmada tasarlanan örüntü tanıma sistemi şu aşamalar halinde geliştirilmiştir: Şekil 3.22'de gösterildiği gibi ilk olarak sinter makinesi ile ilgili tüm üretim verileri Seviye 2 otomasyon yazılımı sayesinde çekilerek veri seti oluşturulmuştur. Daha sonra işletme tecrübeleri ve temel sinter üretim prensipleri ışığında bu veriler değerlendirilerek

öznitelikler belirlenmiştir. Öz nitelik belirleme işleminden sonra üç farklı sınıflandırıcı eğitilip test edilerek genel performansı incelenmiş, daha sonra da eğitilen sınıflandırıcılar bağımsız test verileri ile birbiri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 3.22. Geliştirilen örüntü tanıma sisteminin blok diyagramı

3.9.6. Sinter Makinesi Verilerinin Toplanması ve Saklanması

Bu çalışmada kullanılan veriler İsdemir sinter tesislerindeki Seviye1 ve Seviye 2 otomasyon bilgi sistemlerinden elde edilmiştir. Şekil 3.12’de görüleceği üzere, Seviye 2 sisteminin Seviye 1 tag değerlerini okumakla görevli uygulaması her saniye sıcaklık, basınç, seviye ve hız bilgisi gibi tag verilerini alarak merkezdeki tag çekirdek uygulamasında her tagın değerini güncellemektedir. Veri tabanında tanımlandığı süreye göre her tagın değeri, veri tabanı uygulaması sayesinde veri tabanına kaydedilmektedir. Sinter makine hızı değerini üreten fonksiyonun girdi parametreleri Microsoft.NET platformunda C# dilinde yazılan bu uygulamalar ile veri tabanına bu şekilde depolanır. Bu işlem sinter makinesi çalıştığı sürece devamlı yapılmaktadır. Seviye 2 sisteminin kurulduğu günden bu yana kaydedilen bu veriler saklanmak istendiği süre boyunca sürekli korunmaktadır.

3.9.7. Veri Setinin Elde Edilmesi ve Ön İşlemler

Sinter Seviye 2 otomasyon sistemi ile sinter makinesi üretim verileri sürekli kayıt altına alınmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler 1 Ağustos 2014 ile 15 Ocak 2015 tarihleri arasındaki üretim verileridir. Bu tarih aralığındaki veriler sinter makinesi Seviye 2 sistemi veri tabanından veri tabanı sorgusu (Structured Query Language - SQL) ile çekilmiştir. Önce emiş kamara sıcaklıkları, BRP ve BTP noktaları, harman yüksekliği, emiş basınçları, mevcut hız bilgisi, elek çalışma durumları ham verileri getirilmiş daha sonra aşağıdaki şartlara göre bu veriler filtrelenmiştir:

- Harman seviyesi 500-600 mm aralığında olmalıdır.
- Eleklerin ikisi de çalışır durumda olmalıdır.
- Ortalama vakum 16,5 kPa değerinden küçük olmalıdır.
- Makine yeni çalışmış olmamalıdır.

Çalışmada kullanılacak veri seti 14040 kayıttan oluşmaktadır. Verilerin doğruluğunu sağlamak ve çalışacak yöntemleri hızlandırmak için veri setinde aşağıdaki gibi ön işlemler yapılmıştır:

- Kayıtlar zamana göre sıralanmış ve aralarında öneri süresinden (5 dakika) daha büyük bir fark olanlar değerlendirme dışı tutulmuştur.
- Sinter makinesi işletme şartlarına göre değişiklik arz eden BRP konum noktasındaki kayma toleransı verilere eklenmiştir.
- Sıcaklıkların yükselme ya da düşme eğiliminde olmasının sonuca doğrudan etkisi olduğu bilindiğinden, toplanan verilerden bu parametre elde edilerek ayrı bir parametre olarak kullanılmıştır. Sıcaklıklar yükselme eğiliminde ise bu parametrenin değeri 1, düşme eğiliminde ise -1 kabul edilmiştir.

3.9.8. Özniteliklerin Belirlenmesi

Sinter makinesi hızına müdahale edilmesi gerektiğinde operatörün dikkate aldığı parametreler temel sinter prensipleri, işletme tecrübeleri ve literatür taramaları ışığında

değerlendirilerek öznitelikler belirlenmiştir. Çizelge 3.2’ de oluşturulan veri setindeki ham veriler ve bu verilerden elde edilen öznitelikler gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Veri setini oluşturan parametreler

Parametre Adı	Açıklama	Birimi	Ön İşleme
Sıcaklıklar	Emiş kamara sıcaklık değerleridir.	°C	Ham veri
BRP Konum Noktası	Sıcaklık değerlerinden hesaplanan ani sıcaklık yükselişinin yaşandığı konum bilgisidir.	Kamara konumu	Öznitelik
BRP Sıcaklık Noktası	Sıcaklık değerlerinden hesaplanan ani yükselişin olduğu sıcaklık bilgisidir.	°C	Öznitelik
Harman Seviyesi	Sinter makinesi üzerine serilen malzeme yüksekliğidir.	mm	Öznitelik
Basınç	Yanma işleminin alt bölgelere kadar ulaşması için oluşturulan fark basıncıdır.	kPa	Öznitelik
Makine Hızı	Sinter makinesinin palet ilerleme hızıdır.	m/dk	Öznitelik
Elek Sayısı	Makinenin sonunda eleme işleminin yapıldığı elek adedidir.	adet	Ham veri
Sıcaklık Eğilimi	BRP sıcaklığının düşüş ya da yükseliş eğilimi bilgisidir.	°C	Öznitelik
BRP Kayma Toleransı	BRP konum noktasının referans noktadan ne kadar geride ya da ileride olması durumunda işlem yapılacağı bilgisidir.	-	Model parametresi
Hız Müdahale Yönü	Makine hızına yapılan müdahaleyi gösteren çıkış parametresidir.	-	Model parametresi

Çizelge 3.2’ de veri setini oluşturan ham veri ve özniteliklere ait açıklamalar aşağıda verilmiştir:

- 1) Sıcaklık verileri, öznitelik olarak kullanılmayıp BRP noktalarını hesaplamak için veri setine dâhil edilmiştir.
- 2) BRP konum noktası ve BRP sıcaklık noktası sıcaklık verilerinden hesaplanmıştır.
- 3) Harman seviyesi, malzemenin sinter paletine serildiği yerde ölçülen malzeme yüksekliği bilgisidir.

- 4) Basınç bilgisi yanma işleminin alt bölgelere kadar ulaşması için sinter ana egzoster fanı tarafından oluşturulan fark basınç büyüklüğüdür.
- 5) Makine hızı, sinter paletinin bir dakikada kat ettiği mesafeyi gösterir.
- 6) Elek sayısı, veri setinde filtreleme amacıyla kullanılmış, buna göre bir işletme problemi olan tek elekte çalışma durumunda toplanan veriler değerlendirmeye alınmamıştır.
- 7) Sıcaklık eğilimi bilgisi ardışık BRP sıcaklık değerlerinden hesaplanan ve sıcaklık eğiliminin yönünü gösteren bir parametredir. Sıcaklık yükseliyorsa 1, düşüyorsa -1 değerini alır.
- 8) BRP kayma toleransı ise işletme mühendisinin atadığı sınır değerlerine göre BRP konum noktasına göre hesaplanmıştır. BRP kayma toleransı güncel BRP konum noktasının referans BRP konum noktasından ne kadar farklı olması durumunda hıza müdahale edilmesi gerektiğini ifade eder.
- 9) Hız müdahale yönü, makine hızına ne yönde müdahale edileceğini gösterir. Hız yükselt, hız düşür, hızı aynı bırak şeklinde üç farklı komut bilgisidir.

Çizelge 3.3' te ise veri setinin oluşturulduğu zaman diliminde özniteliklere ait istatistik bilgileri verilmiştir. Bu çizelgede, kullanılan öznitelikler hakkında daha iyi bir fikir yürütülebilmesi için veri kümesinin oluşturulduğu 01.08.2014 ile 15.01.2015 tarihleri arasında toplanan verilerin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Özniteliklere ait istatistik bilgileri

	Veri Getirme Zamanı	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma
BRP Güncel Konum (kk)	01.08.2014 - 15.01.2015	16,01	18,29	17,18	0,56
BRP Güncel Sıcaklık (°C)	01.08.2014 - 15.01.2015	131,01	379,69	244,15	36,88
BRP Referans Konum (kk)	01.08.2014 - 15.01.2015	16,01	17,87	17,38	0,22
BRP Referans Sıcaklık (°C)	01.08.2014 - 15.01.2015	182,62	299,87	262,16	13,60
Harman Seviyesi (mm)	01.08.2014 - 15.01.2015	502,83	599,94	568,96	13,54
Basınç (kPa)	01.08.2014 - 15.01.2015	-16,49	-2,67	-15,41	0,72
Makine Hızı (m/dk)	01.08.2014 - 15.01.2015	2,20	4,30	3,39	0,21
Sıcaklık Eğilimi (°C)	01.08.2014 - 15.01.2015	-1,00	1,00	0,10	1,00
Hız Yükseltme İçin BRP Kayma Toleransı (kk)	01.08.2014 - 15.01.2015	0,10	0,50	0,22	0,11
Hız Düşürme İçin BRP Kayma Toleransı (kk)	01.08.2014 - 15.01.2015	0,10	0,50	0,35	0,15
Hız Müdahale Yönü	01.08.2014 - 15.01.2015	-1,00	1,00	-0,03	0,60

3.9.9. Sınıflandırma

Bu çalışmada sinter makinesi üretim verilerini içeren bir veri seti oluşturulmuş ve bu veri seti kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma için doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağı ve destek vektör makineleri kullanılmıştır.

14040 kayıttan oluşan veri seti %70 eğitim, %30 test verisi olacak şekilde iki bölüme ayrılmış, her sınıflandırıcı aynı eğitim verileri ile eğitilmiş ve aynı test verileri üzerinden birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Doğrusal ayırma sınıflandırıcısında var olan tek parametre ile sonuç alınmıştır.

Yapay sinir ağı ile çalışılırken ileri beslemeli geriye yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Geri yayılım algoritmasıyla minimum hata elde edilene kadar bu işlemlere devam edilmiştir. Yapay sinir ağına farklı sayıda gizli katman ve nöron

sayılarıyla birçok deney yapılmıştır. En iyi sonuç alınan yapay sinir ağının üç gizli katmanı vardır. Gizli katmanların her biri için sırasıyla beş, on ve on beş nöron kullanılmıştır.

Destek vektör makineleri, çekirdek fonksiyon için değişik yakınlık tipi parametreleri ile denenmiş, en iyi sonuçlar polinomsal, homojen ve doğrusal yakınlık tiplerinde alınmıştır.

3.9.10. Sınıflandırma Örneği

Sinter makinesi hız yönünü sınıflandırmak için tüm yöntemlerde girişler, BRP noktasının konum noktasının referans konum noktasından belirlenen miktar kadar farkı, BRP sıcaklık noktasının referans sıcaklık noktasından farkı, harman seviyesi, uygulanan basınç farkı, hız ve sıcaklık eğilimleri olmuştur. Çıkış ise hız yükseltme, hız düşürme ve hızı aynı değerinde sabit bırakma olmuştur. Çizelge 3.4’ te bazı giriş değerlerine karşılık olarak alınan çıkış değerlerine ait örnekler gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Giriş parametrelerine karşılık yapılacak müdahale

BRP Konum Farkı	BRP Sıcaklık Farkı	Harman Seviyesi	Basınç Farkı	Mevcut Hız	Sıcaklık Eğilimi	BRP Konum Farkı Yeterli mi?	Sonuç
0,43	-1,65	563,29	-15,59	3,45	-1	-1	-1
0,03	-13,59	561,12	-15,48	3,4	0	0	0
-0,24	-5,35	564,37	-14,4	3,45	1	1	1

Çizelge 3.4’ te sinter makinesi operatörünün hareket stratejisine göre hangi durumda makine hızına ne şekilde müdahale edileceği belirtilmiştir. Örneğin, BRP konum değeri referans konum değerinden (yeterince) büyükse, harman seviyesi, basınç farkı ve mevcut hız istenen aralıklarda ise ve sıcaklıklar düşme eğiliminde ise makine hızı düşürülmelidir. Ya da güncel BRP konum değeri referans konum değerinden (yeterince) küçükse, harman seviyesi, basınç farkı ve mevcut hız istenen aralıklarda ise ve sıcaklıklar yükseliyorsa makine hızı yükseltilmelidir. BRP konum farkının en az ne kadar olması gerektiği, ya da BRP konum farkının negatif iken sıcaklık eğiliminin de negatif olması gibi durumlarda ne yapılacağı belirlenmiş set noktalarına göre yapılmalıdır. İkinci sırada verilen hıza müdahale edilmeme durumu buna bir örnek teşkil etmektedir. Diğer bir ifade

ile Çizelge 3.4' te gösterilen durumlar olduğunda operatör sırasıyla hız düşür, hızı aynı bırak ve hızı yükselt komutlarını verecektir. Sınıflandırma yöntemleri de bu kriterlere göre eğitilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

Bu bölümde tez çalışmasında elde edilen araştırma bulgularına yer verilecektir. Sinter makine hızı müdahalesine yönelik sınıflandırmanın Bölüm 3'te anlatılan sınıflandırma yöntemleriyle yapılmasına dair deney sonuçları gösterilecektir.

Bu çalışmada, sinter makinesinin hız kontrolünü operatörden bağımsız otomatik olarak yapmak için bir örüntü tanıma sistemi geliştirilmiştir. 01.08.2014 ile 15.01.2015 tarihleri arasında İsdemir sinter tesisinden toplanan, kamara sıcaklıkları, harman yüksekliği, emiş basınçları ve mevcut hız bilgilerinden oluşturulan 14040 kayıttan oluşan veri seti, %70 oranında eğitim ve % 30 oranında test verisi olmak üzere ikiye bölünmüştür. 9828 kayıttan oluşan eğitim verisi doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağı ve destek vektör makineleri sınıflandırıcılarının eğitiminde kullanılmıştır. Sınıflandırıcıların eğitiminde kullanılmayan 4212 kayıttan oluşan test verisi ile sınıflandırıcıların performansları karşılaştırılmıştır.

Sinter tesisine ait anlık işletim bilgileri Microsoft.NET platformunda C# dilinde yazılan bir uygulama ile ham veriler halinde Oracle veri tabanına kaydedilmiş, bu veriler SQL veri tabanı sorgusu ile elde edilip Microsoft Office Excel uygulamasında düzenlenerek kullanılmıştır. Çizelge 3.3' te öznitelikleri gösterilen örüntülere ait sınıflandırma işlemi Matlab platformunda yazılan kod blokları ile gerçekleştirilmiştir.

4.2. Kullanılan Yöntemlere Ait Sonuçlar

Bu bölümde doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağı ve destek vektör sınıflandırıcısının değişik parametrelerle alınan sonuçları verilecektir. Sınıflandırıcı performansları hata matrisinden elde edilen doğruluk, özgüllük ve kesinlik oranlarına göre değerlendirilmiştir. Üç sınıflı bir problem için hata matrisi Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Hata matrisi

		Tahmini Değerler			Gerçek Değer Sayısı
		Hız Düşür DÜ	Hızı Değiştirme DE	Hız Yükselt YÜ	
Gerçek Değerler	Hız Düşür DÜ	doğru pozitif (düşür) (DP _{DÜ})	yanlış negatif (düşür yerine değiştirme) (YN _{DÜDE})	yanlış negatif (düşür yerine yükselt) (YN _{DÜYÜ})	G _{DÜ} =DP _{DÜ} +YN _{DÜDE} +YN _{DÜYÜ}
	Hızı Değiştirme DE	yanlış negatif (değiştirme yerine düşür) (YN _{DEDE})	doğru pozitif (değiştirme) (DP _{DE})	yanlış negatif (değiştirme yerine yükselt) (YN _{DEYÜ})	G _{DE} =YN _{DEDE} +DP _{DE} +YN _{DEYÜ}
	Hız Yükselt YÜ	yanlış negatif (yükselt yerine düşür) (YN _{YÜDÜ})	yanlış negatif (yükselt yerine değiştirme) (YN _{YÜDE})	doğru pozitif (yükselt) (DP _{YÜ})	G _{YÜ} =YN _{YÜDÜ} +YN _{YÜDE} +DP _{YÜ}
Toplam Tahmin Sayısı		T _{DÜ} =DP _{DÜ} +YN _{DEDE} +YN _{YÜDÜ}	T _{DE} =YN _{DÜDE} +DP _{DE} +YN _{YÜDE}	T _{YÜ} =YN _{DÜYÜ} +YN _{DEYÜ} +DP _{YÜ}	

Çizelge 4.1’de DP_{DÜ}, DP_{DE} ve DP_{YÜ} sırasıyla hız düşürme, hızı değiştirme ve hız yükselt sonuçlarının doğru tahmin edildiğini, diğer ifadeler ise sonuçların hatalı tahmin edildiğini göstermektedir.

Hız düşürme sınıfı için doğruluk, özgüllük ve kesinlik hesaplamaları denklem 4.1, 4.2 ve 4.3’te verilmiştir. Doğruluk, özgüllük ve kesinlik değerleri diğer iki sınıf için de benzer şekilde elde edilmiştir.

$$Doğruluk_{DÜ} = \frac{DP_{DÜ}}{G_{DÜ}} \quad (4.1)$$

$$Özgüllük_{DÜ} = \frac{G_{DE} + G_{YÜ} - (T_{DÜ} - DP_{DÜ})}{G_{DE} + G_{YÜ}} \quad (4.2)$$

$$Kesinlik_{DÜ} = \frac{DP_{DÜ}}{T_{DÜ}} \quad (4.3)$$

4.2.1. Doğrusal Ayırma Sınıflandırıcısı

Doğrusal ayırma sınıflandırıcısı kullanımındaki en büyük amaç hızlı sonuç vermesi olmuştur. Çok hassas kontrollerle çalıştırılmayan tesislerde bu sınıflandırıcı rahatlıkla tercih edilebilmektedir (Alpaydın, 2013).

Daha önce belirtildiği üzere toplanan verilerin %70’i eğitim, %30’u test için ayrılmış, eğitim verisi ile eğitilen ağın başarısı test verileri üzerinden hesaplanmıştır. Sinter prosesinde giriş çıkış ilişkilerinin doğrusal olmamasından dolayı doğruluk oranları

%72 seviyesinde kalmıştır. Bu sınıflandırıcıyla ilgili testler alınan sonuçlar arasında değişiklik olmayıncaya kadar tekrar edilmiş ve en yüksek başarı oranı elde edilen ağ kaydedilmiştir. Çizelge 4.2’de doğrusal ayırma sınıflandırıcısına ait hata matrisi gösterilmiştir. Çizelge 4.3’te ise doğrusal ayırma sınıflandırıcısının doğruluk, özgülük ve kesinlik değerleri ile ağırlıklı ortalama doğruluk oranı bilgisi verilmiştir. Buna göre DAS ‘Hızı Değiştirme’ sonucunu iyi bir doğrulukla tahmin edebilse de diğer durumlarda aynı başarıyı gösterememiştir.

Çizelge 4.2. Doğrusal ayırma sınıflandırıcısına ait hata matrisi

		Tahmini Değerler			Gerçek Değer Sayısı
		Hız Düşür DÜ	Hızı Değiştirme DE	Hız Yükselt YÜ	
Gerçek Değerler	Hız Düşür DÜ	236	567	15	818
	Hızı Değiştirme DE	78	2488	143	2709
	Hız Yükselt YÜ	28	334	323	685
Toplam Tahmin Sayısı		342	3389	481	

Çizelge 4.3. Doğrusal ayırma sınıflandırıcısı performans sonuçları

	Doğruluk	Özgüllük	Kesinlik	Ortalama Doğruluk Oranı
Hız Düşür	0,29	0,97	0,69	72,34%
Hızı Değiştirme	0,92	0,40	0,73	
Hız Yükselt	0,47	0,96	0,67	

4.2.2. Yapay Sinir Ağı

Yapay sinir ağı ile farklı katman ve nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları ile çok yönlü denemeler yapılmıştır. En iyi sonucu üç gizli katmandan oluşan ve ilk gizli katmanda beş nöron, ikinci gizli katmanda on nöron ve üçüncü gizli katmanda on beş nöron kullanılarak elde edilen yapay sinir ağı vermiştir. Yapay sinir ağı ile alınan tüm sonuçlar Çizelge 4.4’ te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. İleri beslemeli yapay sinir ağı ile elde edilen sonuçlar

Ağ Parametreleri		Doğruluk Oranı [%]
Gizli Katman / Nöron Sayısı / Aktivasyon Fonksiyonu		
YSA 1	1 Gizli Katman / 3 Nöron / Logsig Fonk	72,79
YSA 2	1 Gizli Katman / 5 Nöron / Logsig Fonk	78,18
YSA 3	1 Gizli Katman / 7 Nöron / Logsig Fonk	77,42
YSA 4	1 Gizli Katman / 10 Nöron / Logsig Fonk	79,27
YSA 5	1 Gizli Katman / 15 Nöron / Logsig Fonk	79,46
YSA 6	1 Gizli Katman / 3 Nöron / Tansig Fonk	75,66
YSA 7	1 Gizli Katman / 5 Nöron / Tansig Fonk	77,35
YSA 8	1 Gizli Katman / 7 Nöron / Tansig Fonk	77,89
YSA 9	1 Gizli Katman / 10 Nöron / Tansig Fonk	77,92
YSA 10	1 Gizli Katman / 15 Nöron / Tansig Fonk	77,37
YSA 11	2 Gizli Katman / 3 - 3 Nöron / Logsig Fonk	74,54
YSA 12	2 Gizli Katman / 5 - 5 Nöron / Logsig Fonk	80,81
YSA 13	2 Gizli Katman / 7 - 7 Nöron / Logsig Fonk	79,08
YSA 14	2 Gizli Katman / 7 - 10 Nöron / Logsig Fonk	79,20
YSA 15	2 Gizli Katman / 7 - 1 5 Nöron / Logsig Fonk	78,91
YSA 16	2 Gizli Katman / 3 - 3 Nöron / Tansig Fonk	74,50
YSA 17	2 Gizli Katman / 5 - 5 Nöron / Tansig Fonk	80,05
YSA 18	2 Gizli Katman / 7 - 7 Nöron / Tansig Fonk	80,53
YSA 19	2 Gizli Katman / 7 - 10 Nöron / Tansig Fonk	80,10
YSA 20	2 Gizli Katman / 7 - 1 5 Nöron / Tansig Fonk	80,00
YSA 21	3 Gizli Katman / 3 - 3 - 3 Nöron / Logsig Fonk	79,55
YSA 22	3 Gizli Katman / 5 - 5 - 5 Nöron / Logsig Fonk	82,50
YSA 23	3 Gizli Katman / 5 - 10 - 15 Nöron / Logsig Fonk	82,19
YSA 24	3 Gizli Katman / 3 - 3 - 3 Nöron / Tansig Fonk	80,74
YSA 25	3 Gizli Katman / 5 - 5 - 5 Nöron / Tansig Fonk	81,64
YSA 26	3 Gizli Katman / 5 - 10 - 15 Nöron / Tansig Fonk	82,99

Çizelge 4.4’ te yapay sinir ağı ile yapılan 26 denemeye ait sonuçlar verilmektedir. Gizli katman ve nöron sayısı arttıkça daha iyi sonuçların alındığı görülmektedir. En iyi sonuç YSA 26 ile elde edilmiştir. YSA 26’ ya ait hata matrisi Çizelge 4.5’te gösterilmiştir. Çizelge 4.6’da ise yapay sinir ağının doğruluk, özgüllük ve kesinlik değerleri ile ağırlıklı ortalama doğruluk oranı bilgisi verilmiştir. Yapay sinir ağı toplamda ulaştığı yüksek doğruluk oranını üç sınıf için de korumuştur.

Çizelge 4.5. YSA 26'ya ait hata matrisi

		Tahmini Değerler			Gerçek Değer Sayısı
		Hız Düşür DÜ	Hızı Değiştirme DE	Hız Yükselt YÜ	
Gerçek Değerler	Hız Düşür DÜ	600	211	7	818
	Hızı Değiştirme DE	131	2448	130	2709
	Hız Yükselt YÜ	13	224	447	684
Toplam Tahmin Sayısı		744	2883	584	

Çizelge 4.6. YSA 26 performans sonuçları

	Doğruluk	Özgüllük	Kesinlik	Ortalama Doğruluk Oranı
Hız Düşür	0,73	0,96	0,81	82,99%
Hızı Değiştirme	0,90	0,71	0,85	
Hız Yükselt	0,65	0,96	0,77	

4.2.3. Destek Vektör Makineleri

Destek vektör makinelerinin tercih edilmesindeki amaç, çok sayıda bağımsız değişken, az sayıda giriş olması durumlarında bile doğrusal ya da doğrusal olmayan verilere uygulandığında yüksek doğrulukta sonuç alınmasıdır (Pöyhönen, 2004).

Destek vektör sınıflandırıcısında ilk adım olarak 6 Mart 2015 tarihinden itibaren alınan 1000 adet veri ile polinomsal, homojen, eksponansiyel, radyal gibi çekirdek fonksiyon için tüm yakınlık tipi parametreleri ve derece seçenekleri ile en başarılı sonucun hangisi olduğu belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.7' de gösterilmiştir. Daha sonra en iyi sonucun alındığı üç tip ve derece için eldeki eğitim ve test verileri değerlendirilerek alınan sonuçlar Çizelge 4.8' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. DVM ile en iyi başarıyı yakalamak için yapılan tüm yakınlık ve derecelere göre alınan sonuçlar

Yakınlık	Derece	mce	Başarı [%]
polinomsal	1	0,2341	76,59
polinomsal	2	0,1829	81,71
polinomsal	3	0,1906	80,94
polinomsal	4	0,2374	76,26
polinomsal	5	0,5986	40,14
homojen	1	0,2341	76,59
homojen	2	0,2642	73,58
homojen	3	0,1973	80,27
homojen	4	0,2474	75,26
homojen	5	0,7224	27,76
eksponansiyel	1	0,3411	65,89
eksponansiyel	2	0,2775	72,25
eksponansiyel	3	0,2474	75,26
eksponansiyel	4	0,2408	75,92
eksponansiyel	5	0,2374	76,26
radyal	1	0,3444	65,56
radyal	2	0,3177	68,23
radyal	3	0,2842	71,58
radyal	4	0,2575	74,25
radyal	5	0,2374	76,26
sigmoid	1	0,3478	65,22
sigmoid	2	0,3478	65,22
sigmoid	3	0,3478	65,22
sigmoid	4	0,3478	65,22
sigmoid	5	0,3478	65,22
uzaklık (distance)	1	0,3478	65,22
uzaklık (distance)	2	0,2508	74,92
uzaklık (distance)	3	0,2709	72,91
uzaklık (distance)	4	0,1772	82,28
uzaklık (distance)	5	0,2976	70,24
minkowski	1	0,3478	65,22
minkowski	2	0,3478	65,22
minkowski	3	0,3478	65,22
minkowski	4	0,3478	65,22
minkowski	5	0,3478	65,22
city-block	-	0,3478	65,22
cosine	-	0,3478	65,22

Çizelge 4. 7' ye göre ilk elde edilen bulgular sinter makinesi çalışma verileri için sigmoid, minkowski, city-block, cosine yakınlık tipi parametrelerinin daha düşük

performans gösterdiği görülmektedir. Tümündeki başarı oranının % 65,22 olması sadece “0” sonucunu yani makine hızının aynı kalması durumunu doğru tahmin edebildiklerinden kaynaklanmaktadır. Diğer yakınlık parametrelerinin verdiği ortalama sonuçlar birbirine yakındır. Fakat polinomsal yakınlığın ikinci derecesi, homojen yakınlığın üçüncü derecesi ve uzaklık yakınlığın dördüncü derecesi ile alınan sonuçlar en iyi üç sonuç olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca bu yakınlık parametreleri ile çok tekrarlar yapılmış ve tutarlı sonuçlar alınmıştır.

Polinomsal, homojen ve uzaklık yakınlık tiplerinin en iyi derecelerine göre diğer sınıflandırma yöntemlerinde de kullanılan eğitim verisi ile DVM eğitilmiş ve test verisi üzerindeki başarısı araştırılmıştır. Buna göre destek vektör sınıflandırıcısının en iyi üç yakınlık tipine ve parametresine göre elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. DVM polinomsal, homojen ve uzaklık tiplerinin en iyi yakınlık derecelerinden alınan sonuçlar

SVC Yakınlık Tipi	Yakınlık Derecesi	mce	Başarı [%]
polinomsal	2	0,20038	79,962
homojen	3	0,217	78,3
uzaklık (distance)	4	0,20252	79,748

Çizelge 4.5 incelendiğinde üç yakınlık tipinde de yaklaşık aynı sonuçların elde edildiği fakat en iyi sonucun ikinci yakınlık derecesinde polinomsal tipte alındığı görülecektir. Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de üç farklı yakınlık tipi için hata matrisleri yer almaktadır. Çizelge 4.12, Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’te ise destek vektör makinelerinin doğruluk, özgüllük ve kesinlik değerleri ile ağırlıklı ortalama doğruluk oranı bilgisi verilmiştir. Destek vektör makineleri ‘Hızı Değiştirme’ sonucunu yüksek doğruluk oranı ile tahmin edebilirken ‘Hız Yükselt’ ve ‘Hız Düşür’ sonuçlarında genel performansının altında kalmıştır.

Çizelge 4.9. DVM polinomsal tip için hata matrisi

		Tahmini Değerler			Gerçek Değer Sayısı
		Hız Düşür DÜ	Hızı Değiştirme DE	Hız Yükselt YÜ	
Gerçek Değerler	Hız Düşür DÜ	536	246	36	818
	Hızı Değiştirme DE	143	2442	124	2709
	Hız Yükselt YÜ	80	215	390	685
Toplam Tahmin Sayısı		759	2903	550	

Çizelge 4.10. DVM homojen tip için hata matrisi

		Tahmini Değerler			Gerçek Değer Sayısı
		Hız Düşür DÜ	Hızı Değiştirme DE	Hız Yükselt YÜ	
Gerçek Değerler	Hız Düşür DÜ	494	309	15	818
	Hızı Değiştirme DE	135	2487	87	2709
	Hız Yükselt YÜ	83	285	317	685
Toplam Tahmin Sayısı		712	3081	419	

Çizelge 4.11. DVM doğrusal tip için hata matrisi

		Tahmini Değerler			Gerçek Değer Sayısı
		Hız Düşür DÜ	Hızı Değiştirme DE	Hız Yükselt YÜ	
Gerçek Değerler	Hız Düşür DÜ	520	239	59	818
	Hızı Değiştirme DE	143	2431	135	2709
	Hız Yükselt YÜ	62	215	408	685
Toplam Tahmin Sayısı		725	2885	602	

Çizelge 4.12. DVM polinomsal tip için performans sonuçları

	Doğruluk	Özgüllük	Kesinlik	Ortalama Doğruluk Oranı
Hız Düşür	0,66	0,93	0,71	79,96%
Hızı Değiştirme	0,90	0,69	0,84	
Hız Yükselt	0,57	0,95	0,71	

Çizelge 4.13. DVM homojen tip için performans sonuçları

	Doğruluk	Özgüllük	Kesinlik	Ortalama Doğruluk Oranı
Hız Düşür	0,60	0,94	0,69	78,30%
Hızı Değiştirme	0,92	0,60	0,81	
Hız Yükselt	0,46	0,97	0,76	

Çizelge 4.14. DVM doğrusal tip için performans sonuçları

	Doğruluk	Özgüllük	Kesinlik	Ortalama Doğruluk Oranı
Hız Düşür	0,64	0,94	0,72	79,75%
Hızı Değiştirme	0,90	0,70	0,84	
Hız Yükselt	0,60	0,94	0,68	

4.2.4. Sınıflandırıcıların Karşılaştırılması

Eğitim verisi içermeyen aynı bağımsız test verisi üzerinde yapılan denemeler sonucunda en yüksek performansı gösteren sınıflandırıcıların performansları Çizelge 4.15’ te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.15. Üç farklı sınıflandırıcıdan alınan sonuçların karşılaştırılması

Sınıflandırıcı	Doğruluk [%]
Doğrusal Ayırma Sınıflandırıcısı	72,3
Yapay Sinir Ağı	82,99
Destek Vektör Makinesi	79,96

Çizelge 4.15'e doğrusal ayırma sınıflandırıcısının varsayılan parametreleri ile elde edilen en başarılı sonucu alınmıştır. Yapay sinir ağı değeri ise değişik katman, nöron ve aktivasyon fonksiyonları içinde en başarılı sonucu veren üç katmanlı, beş, on, on beş nöron sayılı ve sigmoid aktivasyon fonksiyonlu olan yapay sinir ağının değeridir. Destek vektör sınıflandırıcısının da tüm yakınlık tipi ve dereceleri denendikten sonra en iyi sonucu veren polinomsal tip, ikinci derece sınıflandırıcısının değeri alınmıştır.

4.3. Hız Optimizasyon Modeli ile Sinter Makinesinde Alınan Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında sıcaklıklara bağlı BRP noktası, basınç, harman seviyesi ve hız bilgilerinden sınıflandırma yöntemleri ile makine hızı müdahale yönü araştırılırken diğer taraftan aynı parametreler Microsoft.NET platformunda C# yazılım dilinde geliştirilen bir model uygulaması ile değerlendirilerek sinter makinesi otomatik olarak yönetilmeye başlanmıştır.

Sinter makinesinin hız optimizasyon modeli ile yönetilmeye başlanmasından sonra vardiya ve operatör bazlı değişkenlikler ortadan kalkmıştır. Şekil 3.11'de gösterilen ara yüz ekranı ile tüm işletme çalışanlarının sinter üretim bilgilerini kendi bilgisayarlarından takip etmeleri sağlanmıştır.

Sinter makinesinin verimli çalışma ölçütü, makine verimi olarak adlandırılan makinenin 1 m² alanında 1 günde sinterleştirilen malzeme miktarıdır. Hız optimizasyon modeli ile 2014 Temmuz ayında 39 [ton /m² gün] olan makine verimi sürekli artmış ve 2015 yılının Temmuz ayında 44 [ton /m² gün] değerine ulaşmıştır. Yaklaşık %10 oranına karşılık gelen bu iyileştirme sonrası işletme ünitesi tarafından hız optimizasyon modelinin sürekli kullanılması kararı alınmıştır. 2016 yılı ortalama verimi de halen 44 - 45 [ton /m² gün] aralığında seyretmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İskenderun Demir Çelik AŞ sinter tesislerinin en modern makinesi olan yeni sinter makinesinin hız tayininin operatör kontrolünden alınarak otomatik kullanılmasını sağlayacak örüntü tanıma sistemi geliştirilmiştir.

Sinter makinesi hızını belirlemede en önemli faktör olan sıcaklık bilgilerinden BRP noktası hesaplanmıştır. BRP noktası harman içindeki nemin sıfırlanıp sıcaklığın aniden yükseldiği yeri gösteren kararlı bir noktadır. Tüm yöntemler için en öncelikli giriş parametresidir.

Makine hızını belirlemede diğer etkenler olarak harman seviyesi, basınçlar ve mevcut hız değeri parametreleri de giriş parametreleri olarak alınmıştır. Bu giriş parametrelerine karşılık üretilen sonuç ise makine hızının artırılması, düşürülmesi ya da aynı bırakılması olmuştur.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Bu örüntü tanıma sisteminde sınıflandırma yöntemleri olarak doğrusal ayırma sınıflandırıcısı, yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri kullanılmıştır.
- Doğrusal ayırma sınıflandırıcısının işlem hızı çok yüksektir ve çok kısa sürede sonuç vermektedir. Fakat özellikle sıcaklık verilerinin doğrusal olmamasından dolayı bu sınıflandırıcının doğruluk oranı %72 seviyelerinde kalmıştır.
- İleri beslemeli geri yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı, farklı katman ve nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları ile denendikten sonra en iyi sonucun alındığı üç gizli katman, beş, on ve on beş nöronlu ve sigmoid fonksiyonlu ağda % 83 doğruluk oranına ulaşılmıştır.
- Destek vektör makineleri kullanıldığında en iyi sonuçlara polinomsal, homojen ve uzaklık (distance) çekirdek fonksiyonları ile ulaşılmıştır. Bu üç farklı çekirdek fonksiyonunda da yaklaşık aynı doğruluk oranına ulaşılmıştır. %80 oranıyla yapay sinir ağlarına çok yakın bir sonuç elde edilmiştir.
- Tüm yöntemler için Ağustos 2014-Ocak 2015 arasında oluşturulan veri seti %70 eğitim verisi, %30 test verisi olmak üzere ikiye bölünmüştür. Aynı eğitim verisi ile eğitilen sınıflandırıcılara ait ağlar, yine aynı bağımsız test verileri üzerinden birbiri ile karşılaştırılmışlardır.

- Sinter üretiminin anlatıldığı bölümde de detaylı olarak açıklandığı üzere sinter işleminin doğrusal olmayan bir yapıda olması, birden çok parametrenin makine hızını etkilemesi ve bu parametreler arasında zaman farkları olması, çalışılan yöntemlerin doğruluk oranına etki etmiştir.
- BRP hesabına dayalı ısı kontrolü sağlayan Seviye 2 model uygulaması İsdemir sinter tesislerinde 2014 yılının Temmuz ayında çalıştırılmaya başlanmıştır. 2015 yılının yine Temmuz ayında yapılan değerlendirmeye göre bu uygulama sinter makine verimine % 10 oranında bir katkı yapmıştır. Birim zamanda aynı malzeme ve aynı sayıda çalışanlarla % 10 daha fazla üretim anlamına gelen bu artış İsdemir'de yapılan Kaizen çalışmalarından birine de konu olmuş ve Seviye 2 uygulamasının kullanılmasına çalışma talimatlarında öncelikli yer verilmiştir.
- Ayrıca yukarıda konu edilen BRP modeli Ereğli Demir Çelik Fabrikaları, Karabük Demir Çelik Fabrikaları ve Arcelor Mittal Bremen Fabrikaları sinter tesislerindeki işletme mühendisleri tarafından da incelenmiş ve ürettiği sonuçların başarısı takdir edilmiştir.
- Makine hızı tahmininin böyle bir model uygulaması tarafından yapılması ile makine veriminin artmasının yanında makine hızı kontrolünde operatör müdahalesinin ortadan kaldırılması, operatör ve vardiyadan bağımsız olarak her zaman aynı kararlılıkta makinenin yönetilmesi ve önerilen hız değişiklikleri ile işletme çalışanlarının eğitim ve tecrübesine katkı sağlanması elde edilecek diğer faydalar arasında olacaktır.
- Makine hızı tahmininde daha yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşmak için üretimde karşılaşılan istisnai durumların elimine edilmesi, kısa süreli duruşların önüne geçilmesi, sıcaklık, harman seviyesi ve nem gibi parametrelerdeki anlık aşırı dalgalanmaların giderilmesi gerekir. Bu tür olumsuzlukların önüne geçmek için sinter makinelerinde malzeme bunker kontrolü, geri dönen sinter tozu kontrolü ve nem kontrolü gibi uygulamalar yapılmaktadır. Dolayısıyla sadece makine hızı kontrolü yerine yukarıda sayılan tüm kontrollerin birlikte çalıştırılması ile çok daha yüksek doğruluklara ulaşılması beklenmektedir.

- Bu çalışmanın daha ileriye götürülebilmesi için sinter makine hızının kontrolünü, sinter makinesine malzeme sağlayan malzeme bunkerini kontrolü ile beraber yapabilmek uygulamalar üzerinde durulmalıdır. Çalışmada kullanılan sınıflandırıcılarla beraber işletme tecrübesinin bulanık mantık uygulamaları ile sisteme dâhil edilmesi verilen kararlardaki isabet oranını artıracaktır.



KAYNAKLAR

Alpaydın, E., 2013. Yapay öğrenme. **Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi**, 1954,496 s, İstanbul

Anonim, 2014. <http://erdemir.com.tr>. Erişim tarihi: 12.10.2014

Anonim 2015. YSA genel yapısı. <http://teknogezegen.com/yapay-sinir-aglari/> Erişim tarihi: 01.03.2015

Arbeithuber , C., Jörgland H.P., Raml, H., 1995. Fuzzy control of an iron ore sintering plant. **ControlEng. Practice**, Vol. 3, No. 12, p. 1669-1674

Beşkardeş, A., Kurtuldu, A., Özdemir Erkinay, M. ve Yıldırım, S., 2014. Destek vektör makine sınıflandırıcısı kullanarak sinter makinesi hız kontrolü , **ELECO Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu**, 27-29 Kasım 2014, Bursa

Beşkardeş, A., Özdemir Erkinay, M. ve Yıldırım, S., 2015. Sinter makinesinde ısı kontrolüne bağlı hız kontrolü, **SİU-2015: Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı Malatya**, 978-1-4673-7386-9/15/\$31.00 ©2015 IEEE

Burges, C., 1998. A Tutorial on support vector machines for pattern recognition, **Data Mining and Knowledge Discovery 2**, 121-167, 1998

Çevik, K.K., 2010. Yapay zeka yöntemleri ile araç plaka tanıma sistemi. **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi**

Duda, R. O., Hart, P. E. and Stork, D. G. 2001. Pattern classification. **John Wiley**, 654 p, USA.

Elmas, Ç., 2010. Yapay zeka uygulamaları. **Seçkin Yayıncılık**, 117,424 s, Ankara

Ekici, S., Yıldırım, S. ve Poyraz, M., 2008. Mesafe koruma için bir örüntü tanıma uygulaması, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi** Cilt 24, No 1, 51-61, 2009

Erkinay, Z.M. 2012. Dismorfik hastalıkların sinyal işleme yöntemleri kullanılarak sınıflandırılması. **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Doktora Tezi, Ankara

Fan X., Chen X. and Wang Y., 2010. Ezpert System for Sintering Process Control, ISBN 978-953-307-032-2, pp. 238

Franc, V., Hlavac, V., 2004. Statistical Pattern Recognition Toolbox for Matlab, **Research Reports of CMP, Czech Technical University in Prague**, No 8, 2004

Geerdes, M., Toxopeus, H., Vliet, C.,2009. Modern blast furnace ironmaking. **IOS Press**, p.164, Amsterdam, The Netherlands

- Haykin, S., 1999. Neural networks. Prentice Hall, 837 s, USA
- HU, J.Q. and Rose, E., 1997. Predictive fuzzy control applied to the sinter strand process. **ControlEng. Practice**, Vol. 5, No. 2, p. 247-252
- Jain A., Duin R. P. W., Mao J., 2000, "Statistical pattern recognition: a review", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(1), 4-37
- Jiang, Z., Fu, H. and Li, L., 2005. Support vector machine for mechanical faults classification, **Journal of Zhejiang University Science**, ISSN 1009-3095
- Kronberger, T., Schaler, M. and Schönegger, C., 2012. Latest generation sinter process optimization systems. **Siemens VAI Metals Technologies GmbH** (Siemens VAI) Linz, Austria
- Long, H., Fan, X., Jiang, T. and Dai, L., M., 2008. Research and application of expert system skeleton for controlling sintering process. **Journal of Iron and Steel Research, International**. 2008. 15(5): 06-08
- Nagane, T., Haga, T., Himeno, B., Yamamoto, H., Yamaguchi, A. and Mihara, M., 1996. Development and application of object-oriented comprehensive operation control system for sintering process. **Nippon Steel Technical Report** No. 71 October 1996, UDC669.162.1:622.785-52:681.3
- Ölmez, T., Ölmez Z.D., 2009. Uzman sistemlerde örüntü tanıma: Yapay sinir ağları genetik algoritmalar bulanık mantık makine öğrenmesi. **İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü** İstanbul
- Pöyhönen, S., 2004. Support vector machine based classification in condition monitoring of induction motors, **Helsinki University of Technology Control Engineering Laboratory Espoo 2004**, Report 141
- Song, G., Wang, A. and Zhang, Y., 2013. The combination prediction of BTP in sintering process based on Bayesian framework and LS-SVM. **Telkomnika**, Vol. 11, No. 8, August 2013, p. 4616~4626
- Tezel, G. 2007. Biyomedikal işaretlerin yeni bir adaptif aktivasyon fonksiyonlu yapay sinir ağı ile sınıflandırılması. **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Doktora Tezi, Konya
- Toylan H., 2012. Yapay zeka örüntü tanıma algoritması kullanarak sınıflandırma otomasyonunun tasarımı. **Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Doktora Tezi, Edirne

Türkoğlu İ., 2003, “Örüntü Tanıma Sistemleri ders notları”, Elâzığ

Xiang, J., Wu, M., Duan, P., Cao, W. and He, Y., 2008. Coordinating fuzzy control of the sintering process. **Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control**, Seoul, Korea

Vapnik, V.N., 1998. Statistical Learning Theory. (S. Haykin, Editör). In: **John Wiley & Sons**, Inc United States of America.

Wu, M., Duan, P., Cao, W., She, J. and Xiang, J., 2012. An intelligent control system based on prediction of the burn through point for the sintering process of an iron and steel plant. **Elsevier**, 0957-4174/\$

Yavuz, S., Deveci, M., 2013. İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağın performansına etkisi. **Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, (40), Haziran-Aralık 2012:167-187

Yıldız M., Bergil E., Oral C., 2014. EEG işaretlerinin epileptik analizi için boyut azaltmanın etkileri. **SAÜ. Fen Bil. Der.** 18.Cilt, 2. Sayı, s. 93-97

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 1979 yılında Afyonkarahisar'da doğdu. Hüseyin Sümer İlkokulu, Cumhuriyet Lisesi orta kısmını bitirdikten sonra Afyon Süleyman Demirel Fen Lisesinde eğitimine devam etti. 1996 yılında bu okuldan mezun olarak Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliğini kazandı. 2001 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra özel sektörde çalışmaya başladı. 2013 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Enformatik ABD yüksek lisans programına katıldı. 2016 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik programına yatay geçiş yaptı. 2005 yılından itibaren İskenderun Demir Çelik AŞ'de otomasyon yazılım mühendisi olarak çalışmaktadır.