



Destek Vektör Makine Sınıflandırıcısı Kullanarak Sinter Makinesi Hız Kontrolü

Sinter Machine Pallet Speed Control Using Support Vector Machine Classifier

Ahmet Beşkardeş¹, Ahmet Kurtuldu¹, Merve Erkinay Özdemir², Serdar Yıldırım³

¹Elektronik Otomasyon Müdürlüğü
İskenderun Demir Çelik A.Ş.
{abeskardes,akurtuldu}@isdemir.com.tr

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mustafa Kemal Üniversitesi
zmeozdemir@mku.edu.tr

³Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Mustafa Kemal Üniversitesi
serdar@mku.edu.tr

Özet

Bu çalışmada destek vektör makine sınıflandırıcısı kullanarak bir sinter fabrikasının makine hızı kontrolü yapılmış ve bu sayede sistemin daha verimli çalıştırılabilmesi amaçlanmıştır. İskenderun Demir Çelik Fabrikalarından belli bir dönemde toplanan emiş kamaraları sıcaklıkları, harman yüksekliği ve basınç verileri kullanılarak sinter makinesinde hız kontrolü yapılmıştır. Geliştirilen sistemde sinter makinesinin hız kontrolü için destek vektör makine sınıflandırıcısı kullanılmış, elde edilen hız bilgileri, sinter işletme biriminin doğru kabul ettiği hız bilgileri ile karşılaştırılmış ve %89 oranında doğruluk elde edilmiştir. Sinter makinesinin hız ayarlamasının operatörden bağımsız çalışması ve doğru zamanda, doğru yönde yapılacak hız değişimleriyle makine veriminin artırılması hedeflenmiştir.

Abstract

This study performs machine speed control of Sinter Plant by using support vector machine classifier and thereby aims working of a sintering plant more efficiently. Inlet air room temperatures, bed level, inlet air pressure and sintering machine speed are collected for a definite period in İsdemir sinter company and used for sintering machine speed control with pattern recognition methods. In the system developed, support vector machine classifier used for speed control, speed informations which obtained from system is compared with reference values and accuracy of 89% was obtained. This study provides adjusting sintering machine independent from operator and improves sintering machine efficiency by changing speed at right time and right direction in this mode.

1. Giriş

Demir çelik fabrikalarında demir cevherinin önce demire sonra da çeliğe dönüşmesi sağlanır. Demir cevheri, pelet, sinter, kok ve katkı maddeleri yüksek fırında sıvı ham demire dönüşür. Sinter maliyetinin düşük olmasından dolayı yüksek fırına şarj edilen sinter oranının üretim maliyetine doğrudan etkisi vardır. Bunun için istenen kalite ve miktarda sinter üretebilmek, entegre demir çelik tesisi için önemlidir.

Sinter hazırlamaktaki amaç; demir cevherini yüksek fırın için uygun hale getirmektir. Cevher içerisinde bulunan bazı element ve bileşiklerin ortamdan çıkarılması, sinterleme sırasında cevhere katılan kireçtaşı ve dolomit gibi ilave maddelerle sağlanır. Sinterleme işleminin olabilmesi için yeterli miktarda katı yakıtın cevher harmanına karıştırılması gerekir. Bir demir çelik fabrikasında yapılan sinterleme işlemi sonucunda elde edilen sinterin içeriği aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

Cevher + Dolomit/Kireçtaşı + Sinter tozu + Katı yakıt = Sinter

Sinterleme işleminin yapıldığı sinter makinesinde maksimum üretimi minimum maliyetle yapmak ana hedeftir. Bu hedefe, ancak makinenin en verimli şekilde kullanılması ile varılabilir. Makinedeki cevher harmanının çeşidi, harman nemi, yüksek fırınların talebi gibi durumlara göre optimum hızda makineyi çalıştırmak gerekir. Kaliteden ödün vermeden, mümkün olan en kısa zamanda sinter üretebilmek için makine hızı sürekli kontrol edilmeli ve doğru yönde değiştirilmelidir.

Sinter makinesini verimli kullanmakla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. J.Xiang ve arkadaşları bulanık kontrol uygulamaları ile ısı kontrol ve sinter makinesine malzeme sağlayan bunker kontrolü üzerine çalışmışlar ve bu sayede sinter makinesini daha yüksek hızda kullanarak üretilen sinter miktarında %10, sıcaklık kararlılığında %5 iyileştirme

sağlamışlardır [1]. M. Wu ve arkadaşları geliştirdikleri akıllı kontrol sistem uygulamasında gri öngörü modeli, geriye yayımlı yapay sinir ağları ve bulanık kontrol yöntemlerini beraber kullanmışlardır [5]. Kamara sıcaklıklarına dayalı olarak yaptıkları ısı kontrol sonucunda sıcaklık kararlılığını %6,4 oranında artırmış, üretilen sinter miktarında %1,1 ve kalitesinde % 3,2 oranında iyileştirme sağlamışlardır.

Sinter makinesi mevcut durumda operatöre bağımlı haldedir. Yani her vardiya değişen operatörler aynı durum karşısında farklı tercihlerde bulunabilmektedir. Hıza müdahale etmede geç kalmaları her zaman mümkündür. Ayrıca tüm parametreleri aynı anda dikkate alıp doğru karar vermeleri zordur. Bu çalışmada, tüm bu olumsuzlukların önüne geçilerek, hızla ilgili tüm parametrelerin değerlendirilip, zaman kaybı yaşanmaksızın doğru müdahale yapılarak makine hızı belirleme işi insandan bağımsız hale getirilerek, yüksek kalitede yüksek üretim için hız tayininin zamanında ve doğru olarak yapılması amaçlanmıştır.

2. Sinter Makinesinin Operatör Yönetiminde Kullanılması

2.1. Sinter Makinesinde Yapılan İşlem

Sinter makinesinde, sinter yatağının ateşlenmesiyle gittikçe artan sıcaklık sonucu yataktaki malzemenin tamamen kuruması sağlanır. Sinter yatağı tamamen kuruduktan sonra şarj içindeki yakıtın yanması sonucu artan sıcaklıkla yatağın kısmi ergimesi gerçekleşir. Yakıtın tamamen yanıp sıcaklığın düşmesi ile malzeme soğur ve bandı terk eder.

Erimeyle 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 kullanımına, makine sonunda bitmemesi ise malzemenin çığ gitmesine yani düşük kaliteli üretime sebep olur. En yüksek kalitede en çok üretim için hız tayininin zamanında ve doğru şekilde yapılması gereklidir.

Şekil 1’ de sinter makinesinde sinter yatağının ateşlendiği bölüm gösterilmektedir.



Şekil 1: Sinter makinesi

2.2. Sinter Makinesi Operatörünün Hız Tayin Yöntemi

Sinter makinesi operatörü makine hızını tayin etmek için şu parametrelere bakmaktadır:

- 16 – 20 numaralı emiş kamaralarındaki atık gaz sıcaklıkları
- Harman seviyesi
- Emiş kamaralarından çekilen gazın eksi basıncı (vakumu)

Buna göre sıcaklık artışında, harman seviyesi düştüğünde ve basınç yükseldiğinde makine hızını artırarak, tersi durumlarda da makine hızını azaltarak makineyi en verimli şekilde kullanmaya çalışır. Fakat kamara sıcaklıklarındaki düşüş ya da yükseliş eğilimini takip etmek zordur. Ayrıca harman seviyesinin ölçülmesi ile sıcaklıkların ölçülmesi arasında yirmi dakikalık zaman farkı olması karar vermeyi zorlaştırmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Veri Seti

Sinter makine hızı; emiş kamaraları sıcaklıkları, harman yüksekliği, fan klape açıklıkları, fan eksi basınçları, harman nemi, harmandaki kok oranı gibi faktörlerden doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenir [1]. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesislerinde emiş klapeleleri en yüksek açıklıkta kullanılmaktadır. Harman nemi ve kok oranı ise sabit seviyede tutulmaktadır. Bunun için emiş klapeleleri, harman nemi ve kok oranı bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Emiş kamara sıcaklıkları ham değerleri yerine ise bu sıcaklıklardan hesaplanmış, sıcaklığın en büyük artış hızına ulaştığı nokta olan BRP (Burn Rising Point) noktasının konum ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak güncel hız değeri parametrelere eklenmiştir. Bu çalışmada veri seti oluşturmak için kullanılan parametreler şöyle açıklanabilir:

- **Kamara sıcaklıklarına bağlı BRP konumu ve sıcaklığı**

Sinter hattındaki malzemenin sıcaklığı, hız tayini konusunda en önemli etkidir ancak malzeme sıcaklığını hat boyunca her noktada bilmek imkânsızdır. Sıcaklık bilgisi, sinter makinesinin (palet) altındaki emiş kamaralarından atılan gazların sıcaklık ölçümlerinden gelir. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesisinde paletin başından sonuna kadar tüm emiş kamaralarında sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Sıcaklık değerinde dikkate alınabilecek değişim 16 numaralı emiş kamarasından sonra başlamaktadır.

Operatörün hız tayin yönteminde belirtilen, kamara sıcaklık değerlerine bakarak sıcaklığın düşüş ya da yükseliş eğiliminde olduğunu anlamak zordur. 16-20 numaralı kamara sıcaklıkları işlem gereği bazı zamanlarda birbirinden farklı karakteristikte hareket edebilir. Bundan dolayı sinter üretiminde kararlı bir ısı kontrol için BRP noktası hesabı kullanılır [2]. BRP noktası, emiş kamaraları boyunca sıcaklığın en büyük artış hızına ulaştığı noktadır. Bu nokta son

beş kamara sıcaklık değerinden hesaplanır [3]. Hesaplanan bu noktanın konum ve sıcaklık değerleri giriş parametrelerinin ilk ikisini oluşturur. BRP konum noktasının ileriye gitmesi makinenin hızlı gittiğini, geriye gelmesi makinenin yavaş gittiğini göstermektedir.

- **Sıcaklık değerleri:**
Sıcaklıkların yükselmesi makinenin yavaşladığını, düşmesi makinenin hızlandığını gösterir. Yukarıda anlatılan BRP sıcaklık noktasının değeri yükseldiğinde yukarı yönde, düştüğünde ise aşağı yönde makine hızında değişiklik yapılmalıdır.
- **BRP konumu ile sıcaklık eğilimi arasındaki ilişki:**
Makine hızını tayin ederken aşırı hız dalgalanmalarının önüne geçmek için BRP konumundan dolayı hız değişikliği önerisi verirken sıcaklık eğilimlerine de bakmak gerekir. BRP konumu ile beraber sıcaklıklar da düşüş eğiliminde ise hız yükseltilmemeli, BRP konumu ile beraber sıcaklıklar da yükseliş eğiliminde ise hız düşürülmemeli yani aynı bırakılmalıdır.
- **Güncel hız bilgisi:**
Hızdaki değişimin o anki hıza göre yorumlanması gerekmektedir.
- **Harman yüksekliği:**
Harman yüksekliği sinter paletindeki malzeme yüksekliği demektir. Malzeme miktarındaki artış ya da azalıştan kaynaklı yükseklik farkı, sıcaklıkta, BRP noktasında ve hızda dalgalanmalara yol açmaktadır.
- **Eksi basınçların ortalaması:**
Emiş kamaralarından çekilen havanın vakumu için eksi basınç tabiri kullanılmaktadır. Toz tutucu sisteminin çıkışında iki yerde ölçüm alınmaktadır ve ortalamaları kullanılmaktadır. Eksi basıncın artması BRP konum noktasının geriye gelmesine sebep olmaktadır.

Yukarıda sayılanlara ek olarak giriş parametresi olarak kullanılmayan fakat sinter makinesinde oluşan bir arızayı belirtmesi bakımından değer ifade eden bazı bilgiler de vardır. Kullanılacak veriler elde edilirken bu bilgilere bakarak uygun zaman aralığı seçilmelidir. Çünkü bu tür arıza durumlarında geliştirilen sistem kullanılmayacak, makine operatör yönetimine geçirilecektir. Seçilecek zaman aralığı için kısıtları bildiren bu parametreler şunlardır:

- **Makine durumu:**
Sinter makinesi ani bir duruş yapacağı zaman hiçbir değere bakılmaksızın operatör tarafından sürekli hız

düşürülmektedir. Aynı şekilde makine yeni çalışmaya başladığında sıcaklıklar kararlı hale gelene kadar operatör kontrolünde hız yükseltilmektedir.

- **Elek sayısı:**
İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter makinesinin sonunda, sinterin kullanılacağı yere göre ayrıştırılmasını sağlayan iki adet elek vardır. Bu eleklerin birinin devre dışı kalması bir arıza durumudur. Bu durumda makineden çıkan malzemenin çalışan eleğin kapasitesini aşmaması için yine operatör tarafından hıza doğrudan müdahale edilmektedir.
- **Harman yüksekliğindeki aşırı dalgalanma:**
Sinter makinesine malzeme verilen banttaki bir problemden dolayı malzeme yüksekliği çok dalgalanmışsa bu durumda da doğrudan operatör müdahalesi gerekmektedir. Harman seviyesi için uygun aralık 500-600 mm seviyeleridir.
- **Sıcaklık karakteristikleri:**
Sinter makinesine verilen harmanın içinde bazen deneme amaçlı kireçtaşı ya da kok tozu gibi ilave malzemelerin cinsinde ya da miktarında değişiklik yapılabilir. Bu da belli bir zaman için son beş kamaradaki sıcaklık karakteristiğinin bozulmasına yol açabilir. Bu durumda sıcaklıklar kararlı hale gelene kadar makineye operatör müdahale etmelidir.

Buna göre sistem için kullanılacak veriler aşağıdaki şartlara göre oluşturulmuştur:

- Makine çalışmaya başladıktan sonra en az bir saat geçmiş olmalıdır.
- Ani duruş yapılmamış olmalıdır.
- Eleklerin ikisi de çalışıyor durumda olmalıdır.
- Harman seviyesi 500-600 mm aralığında olmalıdır.
- Kamara sıcaklıkları arasındaki bağıntı $T_{19} > T_{20} > T_{18} > T_{17} > T_{16}$ şeklinde olmalıdır.

3.2. Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada kullanılan veriler İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesisinde 'Seviye 2' adı verilen otomasyon sistemi ile her saniye PLC ünitesinden okunup, dakikada bir veri tabanına kaydedilen üretim verileridir. 2012 yılından bu yana kaydedilen verilerin içinde yukarıda sayılan şartlara uygun olarak 2014 yılı Haziran ve Temmuz aylarında kaydedilen 2786 adet kayıttan bir veri kümesi oluşturulmuştur.

Sinter makinesi hızının kontrolü, BRP konum ve sıcaklığı, sıcaklık eğilimleri, harman yüksekliği ve basınç verileri kullanılarak hızın artırılması, azaltılması ya da aynı bırakılmasıyla yapılır. Çıkış parametreleri ise hız artışı, azalış ya da aynı kalması olmuştur. Bu bilgiler ise işletme

mühendisinin ve en yetkin operatörlerin makinede yaptıkları hız değişikliklerinin kaydedilmesi ile elde edilmiştir.

835 tanesi test için kullanılan 2786 adet veriye ait dağılımlar Çizelge 2’de verilmiştir.

3.3. Destek Vektör Makine Sınıflandırıcısı

Sinterleme işlemi çok değişkenli ve doğrusal olmayan parametrelerle ifade edilmektedir [1]. Bu sebeple çalışmada genelleme performansı yüksek olan destek vektör makineleri tercih edilmiştir. Destek vektörü makinaları, son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir sınıflandırma algoritmasıdır. Temel olarak doğrusal olarak ayrıştırılabilir iki sınıfın karar yüzeyinin destek vektörler olarak tanımlanan ve sınıf sınırlarını belirleyen örnekler arasında en yüksek mesafe oluşturulması ilkesine dayanan bir algoritmadır. Mesafeyi en yükseğe çıkarma işlemi, karesel sınırlamalı optimizasyon problemi şeklinde yazılır ve ikili biçime dönüştürülür. Doğrusal problemler için geliştirilen bu yaklaşım doğrusal olmayan ayrıştırma problemleri için çekirdek dönüşümleri kullanılarak genelleştirilebilir [4,6,7].

Bu çalışmada çekirdek fonksiyon için yakınlık tipi parametresi olarak polinomsal yakınlık (type='p') ve yakınlık parametresi olarak 2 (p=2) kullanılmıştır. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları sinter tesisinde toplanan 2786 verinin, yüzde %70 'i eğitim, %30'u test için kullanılmıştır.

Sınıflandırıcı performansı hata matrisinden elde edilen doğruluk ve kesinlik oranları ile değerlendirilmiştir. 3 sınıflı problem için hata matrisi Çizelge 1’de, hız düşürme sınıfı için elde edilen doğruluk (recall), özgünlük (specificity) ve kesinlik (precision) hesaplamaları Denklem 1, 2 ve 3’te verilmiştir. Doğruluk ve kesinlik değerleri diğer sınıflar için de benzer şekilde elde edilmektedir.

Çizelge 1: Hata matrisi

Tahmini Değerler

Gerçek Değerler	Hız Düşür	Hız Yükselt	Sabit	Gerçek Değer Sayısı
	(D)	(Y)	(S)	
Hız Düşür (D)	T_{PD}	E_{DY}	E_{DS}	$g_D = T_{PD} + E_{DY} + E_{DS}$
Hız Yükselt (Y)	E_{YD}	TP_Y	E_{YS}	$g_Y = E_{YD} + TP_Y + E_{YS}$
Sabit (S)	E_{SD}	E_{SY}	TP_S	$g_S = E_{SD} + E_{SY} + TP_S$
Toplam Tahmin Sayısı	$T_D = T_{PD} + E_{YD} + E_{SD}$	$T_Y = E_{DY} + TP_Y + E_{SY}$	$T_S = E_{DS} + E_{YS} + TP_S$	

Çizelge 1’de $TP_{D,Y,S}$ sırasıyla hız düşürme, hız yükseltme ve hızın sabit kalması durumlarının doğru tahmin edildiğini, diğer durumlar ise hatalı tahmin durumlarını göstermektedir.

$$Doğruluk_D = \frac{TP_D}{g_D} \quad (1)$$

$$Özgünlük_D = \frac{g_Y + g_S - (T_D - TP_D)}{g_Y + g_S} \quad (2)$$

$$Kesinlik_D = \frac{TP_D}{T_D} \quad (3)$$

Çizelge 2: Test sonuçları.

	Doğruluk	Özgünlük	Kesinlik	Ağırlıklandırılmış Doğruluk Oranı
Hız Düşür (D)	0.808	0.996	0.955	0.89
Hız Yükselt (Y)	0.909	0.879	0.853	
Değiştirme (S)	0.883	0.923	0.911	

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, sinter makinesine tam zamanında ve en doğru müdahaleyi yapabilmek için, BRP konum ve sıcaklığı, sıcaklık eğilimleri, harman yüksekliği, basınç değerleri ve mevcut hız verilerine göre hız değişikliğinin hangi yönde yapılması gerektiği destek vektör makineleri kullanılarak belirlenmiştir. Sistemin sonuçları, aynı parametreleri değerlendiren operatör seçimleri ile karşılaştırılmıştır. Sinterleme işleminin karmaşık, çok değişkenli ve lineer olmayan yapısına rağmen %89 doğruluk oranıyla yüksek bir başarı elde edilmiştir.

Bu yöntemin sinter fabrikasında kullanılması durumunda, makine hızı belirleme işi insandan bağımsız hale getirilerek, doğru orandaki hız değişiminin doğru zamanda sinter makinesine uygulanmasıyla üretim hızı, kalitesi ve miktarında önemli bir artış beklenmektedir. Hız değişimini belirleyen bu çalışma ileride hız değişim miktarını belirleyecek çalışmalara temel teşkil edecektir.

5. Kaynaklar

- [1] Xiang Jie, Wu Min, Duan Ping, Cao WH and He Young “Coordinating fuzzy control of the sintering process” *17th IFAC World Congress (IFAC’08) Sheoul, Korea, July 6-11, 2008*
- [2] Keihin Steelworks of NKK (*Michnori et al., 1992*)
- [3] Fan XH, Chen Xuling and Wang Y “*Expert System for Sintering Process Control*” ISBN 978-953-307-032-2 pp.238, January 2010, INTECH, Croatia
- [4] M. A. Hearst. Trends and controversies: Support vector machines. *IEEE Intelligent Systems*, 13(4):18–28, 1998.
- [5] Wu Min, Duan Ping, Cao Weihua, She Jinhua and Xiang Jie “An intelligent control system based on prediction of the burn-through point fort he sintering process of an iron and steel plant”, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Issue 5, April 2012, Pages 5971–5981,
- [6] N Cristianini and J Shawe-Taylor, An introduction to support vector machines., Cambridge: Cambridge University Pres, 2000.
- [7] V. Vapnik. The Nature of Statistical Learning Theory. Springer, New York, NY, 1995.