

# KUPOL OCAKLARINDA ŞARJ HESAPLAMALARININ EN DÜŞÜK MALİYETE GÖRE YAPILABİLİRLİĞİNİN DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TEKNİĞİ İLE DENENMESİ

Bedri BAKSAN\*, Harun TAŞKIN \*\*

Demir ergitme işleminde matematik modellerin geliştirilmesi, yakıt ve malzeme kullanımının analizi için gereklidir. Bu model verim artırıcı yöntemlerin uygulanması halinde, kok kullanımı ve şarj malzemesi maliyetini etkileyen değişkenlerin etkisini araştırmaktadır. Çalışma sırasında göz önüne alınan değişkenler, hava üfleme hızı, üflenen havanın sıcaklığı, oksijence zenginleştirme, hidrokarbonların ilavesi, sisteme su buharı şarjı olarak sayılabilir.

Bu çalışmada modeli kurmak ve açıklamak için kullanılan metod tanımlanmaktadır, burada değerlendirme yapabilmek için kupol üzerinde yapılan gözlemlere ait bilgilerin özeti de verilmektedir. Modelleme yapılmasında amaç, normalde göz önüne alınmayan şartların incelenebilmesi ve işletme değişkenlerinin iyice analiz edilerek üretim birimlerini riske sokmadan yapılan uygulamaların değiştirilebilmesini sağlamaktır. Ayrıca, ilginç olan bir husus ise kupol ocaklarının, çelik üretiminde kullanılan yüksek fırınlarla yapı ve çalışma prensipleri açısından çok benzerlikler göstermesidir.

**Anahtar sözcükler:** Kupol ocağı, doğrusal programlama, optimizasyon

A mathematical model of the cupola melting process has been developed as a tool for analysis of fuel and material usage. The model allows investigation of the effects of changes in operating variables on coke usage and charge material cost. The operating variables which can be observed are blast rate, hot blast temperature, oxygen enrichment, hydrocarbon and, or water vapor injection.

This study describes the method used to construct and verify the model, and a summary of cupola monitoring procedures used to obtain validation data. Advantages of the modeling approach are, that conditions normally not encountered in a production cupola can be studied and that operating variables can be isolated and examined from a common baseline. In addition, useful projections of coke and melt rate effects can be made with no risk to production facilities. And the other interesting point is the structure and working principles of cupola furnace and blast furnaces those used to make steel, are very similar.

**Keywords:** Cupola furnace, linear programming, optimization

\* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü,

\*\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

## KONUNUN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Kupol ocakları yıllardır döküm endüstrisinde birinci sırada yer alan demir ergitme ocakları olarak kullanılmaya gelmiştir ve günümüzde indüksiyon ocağından sonra en yaygın kullanımı olan ocak çeşididir, bu ocağı ilginç kılan özelliklerinden biri de çelik üretiminin temel aşaması olan yüksek fırınlara çok benzer yapıda ve prensipte çalışmasıdır. Bu nedenlerden dolayı bu konuda bilgi birikimi oldukça fazladır, son yıllardaki teknik gelişmelerin de katkısı ile günümüzde kullanılan kupol ocakları ilk yapılanlara göre oldukça fazla değişim göstermiştir. Tüyerler, oksijence zenginleştirme ve sıcak hava üfleme gibi gelişmeler verimliliği ve üretimin esnekliğini artırmıştır. Aslında bu gelişmeler, deneme-yanılma yoluyla elde edilmiş sonuçlardır. Denemelerin temeli genellikle sezgiye dayanmaktadır, fakat bunlar çok riskli girişimlerdir, çünkü nihai ürünün kalitesi ve ocağın verimini doğrudan etkilemektedir.

Günümüzde kupol ocaklarında basınçlı hava kullanılması yoluna gidilmektedir. Özellikle enerjinin ve hammaddenin kısıtlı olduğu yerlerde, yükselen gaz ve kok fiyatları, bu tür çalışmaları gerektirmektedir. Enerji kullanımını azaltmada en büyük engel, kupol ocaklarının enerjinin pahalı olmadığı anlarda düşünülmüş olması ve değişen enerji şartlarına uyabilmesinin olumsuz olmasıdır. Örneğin refrakter astarı olmayan su soğutmalı ocaklar, sıcak hava üfleme sistemlerinin bulunduğu yerlerde yaygın olarak kullanılırlar. Enerji kullanımının azaltılması isteniyorsa üflenen havanın sıcaklığı düşürülebilir. Su soğutmalı ocaklarda su soğutma sistemleri teknik sorunlara neden olabilmektedir.

Dökümcü enerji problemlerini hemen çözmek ister, fakat proses değiştirmenin riski ekonomik bakımdan oldukça yüksektir. Bu risklerin azaltılabilmesi için uygulamaya geçmeden önce öngörülen proses değişikliğinin işletmeye fayda ve zararlarının neler olabileceği araştırılmalıdır. Proses modelinin kurulması ve benzetimle sınamalar yapılması bu konuda riskleri oldukça azaltabilecektir.

Burada bahsedilen model, kupol yanma ve ergitme proseslerinin matematiksel açıklamasıdır. Bunun için reaksiyon hızı denklemleri ve deneylerden elde edilen ampirik ifadeler gibi temel termokimyasal ilişkiler

kullanılmaktadır. Ayrıca eski kuşak modellerinin karakteristik özellikleri ve bazı enerji dengesini gösteren ifadeler de kullanılmıştır.

Herhangi bir modelde olduğu gibi kupol ocağı modeli bazı kısıtlar ve değişkenler göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Çalışma şartlarının, yakıt kullanımı ve üretkenlik üzerindeki etkisini bulabilmek için; belli bir özellikteki ürünü verecek en düşük şarj malzemesi maliyetini bulmak gerekir.

Bu çalışmada, sürecin modellenmesi ile; neler yapılabileceği ve kısıtlayıcı şartların neler olabileceği incelenmektedir. Ayrıca modelle ilgili kısıtlar, değişkenler ve amaç fonksiyonu verilmiş, bunun değerlendirmesi yapılarak en düşük maliyeti sağlayacak olan şarj malzemelerinin neler olması gerektiği gösterilmiştir.

## KONU İLE İLİŞKİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu konuda daha önce yapılmış olan çalışmalardan birinde Shields ve arkadaşları kupol ocaklarının termokimyasal modelini ele alırken, modelin temelini ısı ve malzeme dengesine dayandırmış, deneylerde redüklenmiş demir cevheri ve hurda kullanmıştır. Modelin çözümünde ise sayısal bilgisayar kullanarak kok tüketimi ve üretim hızını, ocağa yüklenen malzemeler, üflenen havanın sıcaklığının artırılması, oksijen zenginleştirme ve çıkış gazı analizleri gibi değişken ve parametreler ile ilişkilendirmiştir. Böylece kok ve curuflaştırıcı tüketimini termokimyasal modelle düzenleme yoluna gitmiştir [1].

Luong, kurduğu modelle ocaktaki yakıt tüketimini en alt düzeye indirmeyi hedeflemiş, bunun için de kullanılan yakıtın en verimli şekilde yanması için ocak ile ilgili parametreleri araştırmış, yakıttan tasarruf ve ocakta yanmanın çok iyi gerçekleşmesini deneysel olarak göstermiştir [2].

Nyamekye de benzer bir çalışma ile enerji ve kütle dengesini matematik bir modelle açıklamış, böylece ocak içindeki ortalama gaz ve katıların sıcaklıkları ve bileşimlerini bulmayı hedeflemiştir. Değişik üfleme hızı ve sıcaklıklarını kullanarak alışılmadık soğuk hava

üflenen kupol ocakları ile karşılaştırma imkanı sağlayan veriler elde etmiştir [3].

Draper ve Nyamekye isimli araştırmacılar, kupol ocaklarında değişik çalışma şartlarında kupol ocağının verimliliğini araştırmışlar ve bunu matematik modelle ifade etmişlerdir. Bu araştırmaya göre üfleme hızını, tüyerlerin alanı sabit kalmak şartıyla artırmışlar böylece yanma bölgesinin yüksekliğinin arttığını gözlemişler. Bu modelin uygulanması sırasında üfleme hızının sabit kaldığı durumda demir/kok oranının artarken, ortalama metal çıkış sıcaklığının düştüğünü, fakat ergitme hızının yükseldiğini tespit etmişlerdir [4].

## KUPOL OCAĞINDAKİ ERGİTME SÜRECİNİN MODELLENMESİ

Modelin amacı, en düşük maliyetli ve ergitme hızı en yüksek malzeme şarjı yapabilmektir. Model için gerekli işlem adımları aşağıda verilmiştir:

- Giriş bilgilerinin düzenlenmesi, uygun birimlere çevrilmesi
- Tüyerlerden başlayarak bütün ocağın içindeki ısı dengesinin bölgelere göre belirlenmesi. Bunun amacı üretim hızı ve yanma reaksiyonunda kullanılan karbon miktarını belirlemektir.
- Sistemde doğrusal denklemler matrisi kurularak sistemin şarj dengesinin belirlenmesi. Ana bileşenlerin değerlendirilmesi. Bu bileşenler ise; başlangıç bilgileri ve şarj malzemeleri cinsleridir. İstenilen nitelikte ürün eldesi için şarjın ne olacağı, yani hangi malzemedene kadar kullanılacağı, şarj dengesi ve modelin doğrusal programlama tekniği ile çözümünden sonra belirlenebilir.

Model, kullanıcının belirleyeceği limitler içinde belli bir kimyasal bileşimde ürünü ve en ekonomik karışımı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, şarj malzemelerinin ilavesi veya azaltılması ile; bazı temel faktörlerin kendi arasında uyumlu olması gerekir. Ayrıca, modelin kurulabilmesi için aşağıdaki bilgilerin önceden bilinmesine ihtiyaç vardır;

- İstenen şarj bileşimi
- İstenen şarja bağlı olarak toplam maliyetin, alınan demir miktarını veren şarj malzemesi maliyetine oranı,
- Nihai ürünün kimyasal bileşimi
- Curuf bileşimi ve hacmi
- Ergitme hızı ve kok miktarı
- Ergitme ön ısıtma havası için gerekli gaz miktarı
- Ocak ürünleri arasında ısı dağılımı
- Baca gazları bileşimi ve sıcaklığı

## MODEL İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR VE KABULLER

a. Kurulan modelin doğrusal programlama modeli olarak ele alınmasının nedeni, şarj bileşenleri arasındaki ilişkilerin doğrusal ve doğrusala yakın olması ve hatta kok ile curuflaştırıcı arasındaki ilişkinin 1:1 olmasıdır. Ayrıca Evans ve ark. [5] da böyle bir modeli doğrusal olarak çözdüğünden bahsetmektedir.

b. Kurulan modelin çözümünde LINDO hazır programı kullanılmıştır. LINDO programı büyük M yöntemini ayrı bir değişken olarak kabul etmediği için bu problemde  $M \approx 999999$  olarak alınmıştır. Bilindiği üzere büyük M yönteminin eşitlik olarak ifadesi

$$G_m(x) \leq b_m + MY_m$$

$$\sum_{i=1}^m y_i = m - k$$

$$y_i = 0,1$$

problemimizde  $M = 999999$  alınmış ve  $Y_m$ 'nin katsayısı olarak yazılmıştır. Programın özelliğinden dolayı  $Y_m$  eşitliğin sol tarafına ters işaretli olarak aktarılmıştır. Örneğin;

$$G_m(x) - 999999x_{301} \leq b_m$$

c. Modeldeki katsayıların belirlenmesi; ocağa hiçbir ilave yapılmadığı durumdaki kok ve curuflaştırıcı miktarına göre yapılmıştır, bu durumdaki katsayı 1 olarak kabul edilmiş ve buna göre diğer katsayılar kok miktarındaki artışa göre  $\leq 1$ , kok miktarındaki azalmaya göre  $\geq 1$  olarak

alınmıştır. Kok ve curuflaştırıcı dışındaki katsayıların tamamı bunlardan kullanılabilen miktarlar belli olduğu için  $= 1$  olarak alınmıştır.

d. Amaç fonksiyonu şarj malzemesi maliyetini en küçüklemek olarak alınmıştır. Isı ve kütle dengesi işlemleri sistem tarafından kullanıcının müdahalesi olmadan gerçekleşir.

e. Demir/kok oranı kullanılan kok miktarı ile ilişkilidir. Modelimizde bu oran 12 ile 6 arasında değişmektedir. Bu oranı kok şarjı ile kontrol edebilmekteyiz. Demir/kok oranının olabildiğince yüksek olması arzu edilen bir durumdur.

f. Bu modelde ilk 12 kısıt kupol ocağına üflenen hava sıcaklığının  $25^\circ\text{C}$  olduğu şartlar içindir. 13 ila 28 inci kısıtlar üflenen hava sıcaklığının  $500^\circ\text{C}$  olduğu durumu göstermektedir.

g. Kullanılacak fazla havanın en fazla % 20 olduğunu kabul ediyoruz. Bu da 2400 Kg'a eşdeğer olup, 2-2,4 Atü basınçta üflenen  $28 \text{ Nm}^3/\text{dak}$  debisindeki hava miktarına eşittir.

h. Kullanılan kok (50 x 75 mm) boyutlarında kabul edilmiştir.

i. Kupol ocağının gövde çapı 600 mm olarak kabul edilmiştir.

j. Su buharı  $110^\circ\text{C}$  deki su buharıdır ve dakikada 60 Kg dan fazla kullanılamamaktadır. Sisteme tüyerlerden ancak ergitme işlemi başladıktan sonra üflenmektedir.

k. Oksijen zenginleştirme yine tüyerlerden üflenen havaya yapılır ve en fazla % 2 zenginleştirme yapılabilmektedir.

l. Hidrokarbon ilavesi de yine oksijen ve su buharı gibi tüyerlerden yapılmaktadır. Kullanılan başlıca hidrokarbon fuel-oil dir ve 1 ton demir için en fazla 100 Kg kullanılması öngörülmektedir.

## MODELİN MATEMATİKSEL İFADESİ

Modelin ifadesi, modeli oluşturan kısıtları ve amaç fonksiyonunu göstermektedir. Buna göre oluşturulan Karar Matrisi Ek.1'de verilmiştir. Bu karar matrisindeki yöntem numaraları, farklı yöntem izlenmesi durumunda

şarj malzemelerinin ilave edilebileceği miktarları ve kısıtlamaları göstermektedir. Bu matriste 1. yöntemden, 12. yöntem dahil olan yöntemler, sistemde yanma için sadece soğuk hava kullanılması, 13.yöntemden 28. yöntem kadar olan kısıtlar sıcak hava kullanılması durumunda şarj malzemelerinin hangi kombinasyonla ne kadar kullanılabilceğini gösteren kısıtları ifade etmektedir. Örneğin, karar matrisine sadece kok ve curuflaştırıcı ilavesi açısından bakıldığında, sisteme soğuk hava veriliyorsa 1. yöntem, sıcak hava kullanılıyorsa 13. yöntem olduğu görülmektedir. 1 ve 13 numaralı yöntemler dışındaki yöntemler sıcak hava veya soğuk hava kullanılması durumuna göre farklı kombinasyonlardaki şarj malzemeleri ilaveleri kısıtlarını göstermektedir. Karar matrisinin sütunları ise her bir şarj malzemesinin tek başına ne kadar kullanılabilceğini göstermektedir. Örneğin kullanılan kok miktarı 150 Kg.'ı aşamaz, bu ifade 29 numaralı matematiksel ifade ile gösterilmektedir. Benzer şekilde diğer şarj malzemeleri için de ifadeler 34 numaralı ifadeye kadar yazılmaktadır.

1. Sadece soğuk hava üflenmesi durumunda kok ve curuflaştırıcı miktarının 180Kg'ı geçmeyeceğini ifade eden kısıt,  
 $X_{11} + X_{12} - 999999X_{301} \text{ £ } 180$
2. Soğuk hava üflenirken sisteme fazla hava verilmesi durumunda olabilecek en büyük şarj kısıtı,  
 $1,05X_{21} + 1,05X_{22} + X_{23} - 999999X_{302} \text{ £ } 2571$
3. Soğuk hava üflenirken, havanın oksijence zenginleştirilmesi halinde yapılabilecek en fazla şarj kısıtı,  
 $1,15X_{31} + 1,15X_{32} + X_{35} - 999999X_{303} \text{ £ } 441$
4. Soğuk hava üflenirken, ocağa fazla hava ve su buharı ilavesi kısıtı  
 $1,12X_{41} + 1,12X_{42} + X_{43} + X_{44} - 999999X_{304} \text{ £ } 2618,4$
5. Soğuk hava üflenirken, fazla hava ve oksijence zenginleştirme yapılması kısıtı,  
 $1,20X_{51} + 1,20X_{52} + X_{53} + X_{55} - 999999X_{305} \text{ £ } 2832$
6. Soğuk hava üflenirken, fazla hava ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $0,83X_{61} + 0,83X_{62} + X_{63} + X_{66} - 999999X_{306} \text{ £ } 2710,6$
7. Soğuk hava üflenirken, su buharı ve oksijence zenginleştirme ilavesi kısıtı,  
 $1,21X_{71} + 1,21X_{72} + X_{74} + X_{75} - 999999X_{307} \text{ £ } 550,2$
8. Soğuk hava üflenirken oksijence zenginleştirme ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $0,93X_{81} + 0,93X_{82} + X_{85} + X_{86} - 999999X_{308} \text{ £ } 580,6$
9. Soğuk hava üflenirken fazla hava, su buharı ve oksijen ilavesi kısıtı,  
 $1,25X_{91} + 1,25X_{92} + X_{93} + X_{94} + X_{95} - 999999X_{309} \text{ £ } 2883$
10. Soğuk hava üflenirken fazla hava, su buharı ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $0,89X_{101} + 0,89X_{102} + X_{103} + X_{104} + X_{106} - 999999X_{310} \text{ £ } 2759,8$
11. Soğuk hava üflenirken, fazla hava, oksijen ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $0,98X_{111} + 0,98X_{112} + X_{113} + X_{115} + X_{116} - 999999X_{311} \text{ £ } 2971,6$
12. Soğuk hava üflenirken fazla hava, su buharı, oksijen ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $1,05X_{121} + 1,05X_{122} + X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} - 999999X_{312} \text{ £ } 3019$
13. Sıcak hava kullanılması ve kok ve curuflaştırıcıdan başka sisteme hiçbir şey verilmemesi durumu,  
 $1,2X_{131} + 1,2X_{132} - 999999X_{313} \text{ £ } 144$
14. Sıcak hava kullanılırken, fazla hava verilmesi durumu,  
 $1,24X_{141} + 1,24X_{142} + X_{143} - 999999X_{314} \text{ £ } 2536,8$
15. Sıcak hava kullanılırken aynı anda su buharı verilmesi kısıtı,  
 $1,26X_{151} + 1,26X_{152} + X_{154} - 999999X_{315} \text{ £ } 463,6$
16. Sıcak hava üflenirken havanın oksijence zenginleştirilmesi kısıtı,  
 $1,32X_{161} + 1,32X_{162} + X_{165} - 999999X_{316} \text{ £ } 410,4$
17. Sıcak hava kullanılırken, hidrokarbon ilavesi yapılması kısıtı,  
 $1,04X_{171} + 1,04X_{172} + X_{176} - 999999X_{317} \text{ £ } 272,8$
18. Sıcak hava kullanılırken, fazla hava ve su buharı verilmesi durumu,

- $1,29X_{181} + 1,29X_{182} + X_{183} + X_{184} - 999999X_{318}$   
£ 2587,8
19. Sıcak hava verilirken, fazla hava ve oksijen ilavesi yapılması durumu,  
 $1,35X_{191} + 1,35X_{192} + X_{193} + X_{195} - 999999X_{319}$  £ 2810
20. Sıcak hava üflenirken, fazla hava ve hidrokarbon ilavesi yapılması durumu,  
 $1,05X_{201} + 1,05X_{202} + X_{203} + X_{206} - 999999X_{320}$  £ 2671
21. Sıcak hava üflenirken, su buharı oksijen ilavesi yapılması kısıtı,  
 $1,27X_{211} + 1,27X_{212} + X_{214} + X_{215} - 999999X_{321}$  £ 407,8
22. Sıcak hava üflenirken, su buharı ve hidrokarbon ilavesi yapılması durumu,  
 $1,07X_{221} + 1,07X_{222} + X_{224} + X_{226} - 999999X_{322}$  £ 555,4
23. Sıcak hava üflenirken, oksijen ve hidrokarbon ilavesi yapılması durumu,  
 $1,15X_{231} + 1,15X_{232} + X_{235} + X_{236} - 999999X_{323}$  £ 541
24. Sıcak hava üflenirken, fazla hava, su buharı ve oksijen ilavesi kısıtı,  
 $1,4X_{241} + 1,4X_{242} + X_{243} + X_{244} + X_{245} - 999999X_{324}$   
£ 2956
25. Sıcak hava üflenirken, fazla hava, su buharı ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $1,12X_{251} + 1,12X_{252} + X_{253} + X_{254} + X_{256} - 999999X_{325}$   
£ 2719,2
26. Sıcak hava üflenirken, fazla hava, oksijen ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $1,18X_{261} + 1,18X_{262} + X_{263} + X_{265} + X_{266} - 999999X_{326}$  £ 2934,5
27. Sıcak hava üflenmesi halinde su buharı, oksijen ve hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $1,21X_{271} + 1,21X_{272} + X_{274} + X_{275} + X_{276} - 999999X_{327}$  £ 590,2
28. Sıcak hava üflenmesi halinde, fazla hava, su buharı, oksijen ve hidrokarbon ilavesi yapılması kısıtı,  
 $1,25X_{281} + 1,25X_{282} + X_{283} + X_{284} + X_{285} + X_{286} - 999999X_{328}$  £ 2983
29. Yapılacak şarjda bulunacak kok miktarı kısıtı,  
 $X_{11} + 1,05X_{21} + 1,15X_{31} + 1,12X_{41} + 1,2X_{51} + 0,83X_{61} + 1,21X_{71} + 0,93X_{81} + 1,25X_{91} + 0,89X_{101} + 0,98X_{111} + 1,05X_{121} + 1,2X_{131} + 1,24X_{141} + 1,26X_{151} + 1,32X_{161} + 1,04X_{171} + 1,29X_{181} + 1,35X_{191} + 1,05X_{201} + 1,27X_{211} + 1,07X_{221} + 1,15X_{231} + 1,4X_{241} + 1,12X_{251} + 1,18X_{261} + 1,21X_{271} + 1,25X_{281} = 150$
30. Yapılacak şarjdaki curuflaştırıcı miktarı kısıtı,  
 $X_{12} + 1,05X_{22} + 1,15X_{32} + 1,12X_{42} + 1,2X_{52} + 0,83X_{62} + 1,21X_{72} + 0,93X_{82} + 1,25X_{92} + 0,89X_{102} + 0,98X_{112} + 1,05X_{122} + 1,2X_{132} + 1,24X_{142} + 1,26X_{152} + 1,32X_{162} + 1,04X_{172} + 1,29X_{182} + 1,35X_{192} + 1,05X_{202} + 1,27X_{212} + 1,07X_{222} + 1,15X_{232} + 1,4X_{242} + 1,12X_{252} + 1,18X_{262} + 1,21X_{272} + 1,25X_{282} = 30$
31. Yapılabilecek fazla hava ilavesi kısıtı,  
 $X_{23} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{93} + X_{103} + X_{113} + X_{123} + X_{143} + X_{183} + X_{193} + X_{203} + X_{243} + X_{253} + X_{263} + X_{283}$   
£ 2400
32. Yapılabilecek su buharı ilavesi kısıtı,  
 $X_{44} + X_{74} + X_{94} + X_{104} + X_{124} + X_{154} + X_{184} + X_{214} + X_{224} + X_{244} + X_{254} + X_{274} + X_{284}$  £ 60
33. Oksijen ilavesi kısıtı,  
 $X_{35} + X_{55} + X_{75} + X_{85} + X_{95} + X_{115} + X_{125} + X_{165} + X_{195} + X_{215} + X_{235} + X_{245} + X_{265} + X_{275} + X_{285}$  £ 288
34. Hidrokarbon ilavesi kısıtı,  
 $X_{66} + X_{86} + X_{106} + X_{116} + X_{126} + X_{176} + X_{206} + X_{226} + X_{236} + X_{256} + X_{266} + X_{276} + X_{286}$  £ 100
35. Tek bir şartın gerçekleşmesi kısıtı, bu karar matrisine ilave yapay değişken ilave edilerek oluşturulur. Bunda amaç, yukarıda gösterildiği gibi her bir yöntem için ayrı bir yöntem numarası verilmiştir, yani her farklı yöntem bir numaraya karşılık gelmekte ve bu yöntemlerinin ikisinin de aynı anda gerçekleşmesi olası olmadığından, sadece bir tek şartın gerçekleşmesi

gerektiğinden aşağıdaki gibi yazılabilir. Burada  $X_{301}$ ; 1 numaralı yöntemi,  $X_{302}$ ; 2 numaralı yöntemi,  $X_{328}$ ; 28 numaralı yöntemi ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} & -X_{301} - X_{302} - X_{303} - X_{304} - X_{305} - X_{306} - X_{307} - X_{308} - \\ & X_{309} - X_{310} - X_{311} - X_{312} - X_{313} - X_{314} - X_{315} - X_{316} - \\ & X_{317} - X_{318} - X_{319} - X_{320} - X_{321} - X_{322} - X_{323} - X_{324} - \\ & X_{325} - X_{326} - X_{327} - X_{328} = -1 \end{aligned}$$

Amaç fonksiyonunu ifade edebilmek için sarj malzemelerinin birim fiyatlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu makaledeki birim fiyatlar aşağıdaki gibi alınmıştır; Kok = 1 YTL, Curuflaştırıcı = 1 YTL, Fazla Hava = 13 YTL, Su buharı = 13 YTL, Oksijen = 2 YTL, Hidrokarbon = 1,3 YTL. Bu birim fiyatlar amaç fonksiyonunun katsayısı olarak her kısıt için aşağıdaki gibi yazılır. Birim fiyatlarda herhangi bir değişim söz konusu olduğunda bu değişen birim fiyatlar yine katsayı olarak amaç fonksiyonunda yerine yazılır ve yeni değerlere göre anlık olarak çalışma şartlarımızı değiştirerek en düşük maliyetle en fazla üretimi elde etmemiz mümkün olur.

#### Amaç fonksiyonu;

$$\begin{aligned} \text{Enk } X_0 = & X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} \\ & + X_{91} + X_{101} + X_{111} + X_{121} + X_{131} + X_{141} + X_{151} + X_{161} + \\ & X_{171} + X_{181} + X_{191} + X_{201} + X_{211} + X_{221} + X_{231} + X_{241} + \\ & X_{251} + X_{261} + X_{271} + X_{281} + X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + \\ & X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} + X_{112} + X_{122} + X_{132} + X_{142} \\ & + X_{152} + X_{162} + X_{172} + X_{182} + X_{192} + X_{202} + X_{212} + X_{222} + \\ & X_{232} + X_{242} + X_{252} + X_{262} + X_{272} + X_{282} + 13X_{23} + 13X_{43} + \\ & 13X_{63} + 13X_{93} + 13X_{103} + 13X_{113} + 13X_{123} + 13X_{143} + \\ & 13X_{183} + 13X_{193} + 13X_{203} + 13X_{243} + 13X_{253} + 13X_{263} + \\ & 13X_{283} + 13X_{44} + 13X_{74} + 13X_{94} + 13X_{104} + 13X_{124} + \\ & 13X_{154} + 13X_{184} + 13X_{214} + 13X_{224} + 13X_{244} + 13X_{254} + \\ & 13X_{274} + 13X_{284} + 2X_{35} + 2X_{55} + 2X_{75} + 2X_{85} + 2X_{95} + \\ & 2X_{115} + 2X_{125} + 2X_{165} + 2X_{195} + 2X_{215} + 2X_{235} + 2X_{245} + \\ & 2X_{265} + 2X_{275} + 2X_{285} + 1,3X_{66} + 1,3X_{86} + 1,3X_{106} + \\ & 1,3X_{116} + 1,3X_{126} + 1,3X_{176} + 1,3X_{206} + 1,3X_{226} + 1,3X_{236} \\ & + 1,3X_{256} + 1,3X_{266} + 1,3X_{276} + 1,3X_{286} \end{aligned}$$

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma ile maliyeti düşük tutarak optimum çalışma şartlarının elde edilmesi amaçlanmıştır. LINDO 6.1 programı ile yapılan 3 ardışık sonuçta elde edilen sonuçlara göre en iyi çalışma şartları sadece 500°C sıcaklıkta sıcak hava üflerken sisteme fazla hava, su buharı ve oksijen ilavesi yapılmak suretiyle elde edildiği görülmüş, bu sonuçlara göre kok ve curuflaştırıcı kullanımını azaltacak en uygun çözüm kok için 107.14 Kg, curuflaştırıcı için 21,43 Kg, amaç fonksiyonunun değeri ise 128.57 YTL olarak bulunmuştur. Hava sıcaklığının daha da artırılması kullanılacak kok ve curuflaştırıcı kullanım miktarında % 20'ye yakın tasarruf yapmak mümkün görünmektedir. Önerilen model yardımı ile, girdi maliyetlerindeki değişikliklere göre amaç fonksiyonunda katsayıları değiştirerek; en düşük maliyetle en fazla üretimi gerçekleştirmek, daha hızlı ve daha duyarlı olabilecektir.

Bu modelin çözümü bir paket program yardımı ile yapılmış ise de gerçek işletme şartları ile elle yapılan işlemlerin karşılaştırılması, model ile gerçek şartlar arasındaki farkların gözlenmesi daha yararlı olacaktır. Bunun için bazı işletmeler ile temasa geçilmiş ve modelin uygulanabilirliği ve sapmaların neler olabileceği, işletmelerin uygun gördüğü zaman denenecektir.

## KAYNAKÇA

1. Shields R.W., Rossing, K.W., and Bishop, H.L., "Thermochemical Model of a Basic Hot Blast Cupola", AIME Transactions, 1966, pp 167-195
2. Luong, L.H.S., "Model for Optimization of Furnace Operation", Metals Technology, Vol.10, pp 111-114, 1983
3. Nyamekye, K., "Temperature and Gas Composition Profiles in the Combustion Zone of an Operating Cupola" Journal of Pennsylvania State University, 1984
4. Draper, A.B., and Nyamekye, K., "Energy Model Predictions of Gas Composition and Temperature Profiles in a Cold Blast Cupola", Transactions of the American Foundrymen's Society, Vol.93, pp 615-626, 1985
5. Evans, W.J., Hurley, R.G., Creese, R.C., "A Process Model of Cupola Melting", Transactions of the American Foundrymen's Society, Vol 88, pp 411-420, 1980

Ek.1. Kupol Ocağına ait Karar Matrisi

Yöntem	Şarj Malzemeleri						Max.Şarj Ağırlığı (Kg)
	Kok	Curuflaştırıcı	Fazla Hava	Su Buharı	Oksijen	Hidrokarbon	
1	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	-	-	-	-	180,0
2	1,05 X <sub>21</sub>	1,05 X <sub>23</sub>	-	-	-	-	2571,0
3	1,15 X <sub>31</sub>	1,15 X <sub>32</sub>	-	-	X <sub>35</sub>	-	441,0
4	1,12 X <sub>41</sub>	1,12 X <sub>42</sub>	X <sub>43</sub>	X <sub>44</sub>	-	-	2618,4
5	1,20 X <sub>51</sub>	1,20 X <sub>52</sub>	X <sub>53</sub>	-	X <sub>55</sub>	-	2832,0
6	0,83 X <sub>61</sub>	0,83 X <sub>62</sub>	X <sub>63</sub>	-	-	X <sub>66</sub>	2710,6
7	1,21 X <sub>71</sub>	1,21 X <sub>72</sub>	-	X <sub>74</sub>	X <sub>75</sub>	-	550,2
8	0,93 X <sub>81</sub>	0,93 X <sub>82</sub>	-	-	X <sub>85</sub>	X <sub>86</sub>	580,6
9	1,25 X <sub>91</sub>	1,25 X <sub>92</sub>	X <sub>93</sub>	X <sub>94</sub>	X <sub>95</sub>	-	2883,0
10	0,89 X <sub>101</sub>	0,89 X <sub>102</sub>	X <sub>103</sub>	X <sub>104</sub>	-	X <sub>106</sub>	2759,8
11	0,98 X <sub>111</sub>	0,98 X <sub>112</sub>	X <sub>113</sub>	-	X <sub>115</sub>	X <sub>116</sub>	2971,6
12	1,05 X <sub>121</sub>	1,05 X <sub>122</sub>	X <sub>123</sub>	X <sub>124</sub>	X <sub>125</sub>	X <sub>126</sub>	3019,0
13	1,20 X <sub>131</sub>	1,20 X <sub>132</sub>	-	-	-	-	144,0
14	1,24 X <sub>141</sub>	1,24 X <sub>142</sub>	X <sub>143</sub>	-	-	-	2536,8
15	1,26 X <sub>151</sub>	1,26 X <sub>152</sub>	-	X <sub>154</sub>	-	-	463,6
16	1,32 X <sub>161</sub>	1,32 X <sub>162</sub>	-	-	X <sub>165</sub>	-	410,4
17	1,04 X <sub>171</sub>	1,04 X <sub>172</sub>	-	-	-	X <sub>176</sub>	272,8
18	1,29 X <sub>181</sub>	1,29 X <sub>182</sub>	X <sub>183</sub>	X <sub>184</sub>	-	-	2587,8
19	1,35 X <sub>191</sub>	1,35 X <sub>192</sub>	X <sub>193</sub>	-	X <sub>195</sub>	-	2810,0
20	1,05 X <sub>201</sub>	1,05 X <sub>202</sub>	X <sub>203</sub>	-	-	X <sub>206</sub>	2671,0
21	1,27 X <sub>211</sub>	1,27 X <sub>212</sub>	-	X <sub>214</sub>	X <sub>215</sub>	-	407,8
22	1,07 X <sub>221</sub>	1,07 X <sub>222</sub>	-	X <sub>224</sub>	-	X <sub>226</sub>	555,4
23	1,15 X <sub>231</sub>	1,15 X <sub>232</sub>	-	-	X <sub>235</sub>	X <sub>236</sub>	541,0
24	1,40 X <sub>241</sub>	1,40 X <sub>242</sub>	X <sub>243</sub>	X <sub>244</sub>	X <sub>245</sub>	-	2956,0
25	1,12 X <sub>251</sub>	1,12 X <sub>252</sub>	X <sub>253</sub>	X <sub>254</sub>	-	X <sub>256</sub>	2719,2
26	1,18 X <sub>261</sub>	1,18 X <sub>262</sub>	X <sub>263</sub>	-	X <sub>265</sub>	X <sub>266</sub>	2934,5
27	1,21 X <sub>271</sub>	1,21 X <sub>272</sub>	-	X <sub>274</sub>	X <sub>275</sub>	X <sub>276</sub>	590,2
28	1,25 X <sub>281</sub>	1,25 X <sub>282</sub>	X <sub>283</sub>	X <sub>284</sub>	X <sub>285</sub>	X <sub>286</sub>	2983,0
Kullanılabilir Maksimum Miktar (Kg)	150,0	30,0	2400,0	60,0	288,0	100,0	
Kg Fiyatı (YTL)	1,0	1,0	13,0	13,0	2,0	1,3	