

DÜŞÜK KALİTELİ KÖMÜR KATKILI TUĞLA ÜRETEN BİR TÜNEL FIRINDA KULLANILAN YAKITLARIN OPTİMİZASYONU

KURTUL KÜÇÜKADA¹, EBRU MANÇUHAN²

ÖZET

Tünel fırınların tasarımına göre gereken enerji, kömür, akaryakıt, doğal gaz veya kısmen LPG kullanılarak sağlanabilmektedir. Kullanılan yakıtların fiyatı, yanma enerjisi ve kükürt içeriği üretim maliyetini ve baca gazı kalitesini etkiler. Son yıllarda yaygınlaşan bir yöntem, tuğla üretiminde ana malzeme olarak kullanılan kilin özelliklerini geliştirmek ve üretim maliyetini düşürmek amacıyla katkı malzemesi olarak kömür katı atığı uçucu kül, düşük kaliteli kömür tozu ve değişik sanayi atıklarının kullanılmasıdır.

Bu çalışmada, düşük kaliteli kömür katkılı tuğla üretilen bir tünel fırında kütle ve enerji analizi yapılmıştır. Enerji dengesi sonucu yakıtların sağlaması gereken enerji $486,6 \text{ kcal/kg}_{\text{tuğla}}$ olarak bulunmuştur. En düşük yakıt maliyetini verecek yakıt miktarlarının optimizasyonu doğrusal programlama ile bulunur.

Doğrusal programlama için gereken en düşük değeri bulunacak yakıt maliyeti yada amaç fonksiyonu ve kısıtlama fonksiyonları tanımlanır. Kısıtlama fonksiyonları sırasıyla enerji dengesi ile bulunan kilogram tuğla

¹ Yrd. Doç. Dr. Kimya Mühendisliği,

² Yrd. Doç. Dr. Makina Mühendisliği,
Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Göztepe, Kadıköy, 34 722 İstanbul

başına yakıtların vermesi gereken enerji ve bacadan atmosfere atılan SO₂ emisyonudur. Optimizasyon işlemleri sonucunda kullanılan kısıtlamalar yani gereken yakıt enerjisinin, 487 kcal/kg tuğla ve açığa çıkan SO₂ miktarının 2000 mg/m³ olarak sağlandığı görülür.

Ekonomik açıdan iç kömür kullanmakla üretilen ton tuğla başına yaklaşık 0,05 Euro ile 0,21 Euro arasında tasarruf yapıldığı ve aynı zamanda ısı değeri düşük kömürlerin tuğla üretiminde değerlendirilebileceği görülmüştür.

1. GİRİŞ

Artan çevre kirliliği ve yapı malzemelerinin üretim maliyeti, taşa ve toprağa dayalı yapı malzemeleri üretiminde atıkların kullanılmasını, maliyeti düşürmek ve çevre kirliliğini azaltmak açısından, çekici yapmıştır.

Ülkemizin yıllık tuğla üretim kapasitesi yaklaşık 22 milyon ton olarak verilmiştir [1]. Ülkemizde evlerden ve küçük işyerlerinden çıkan cam, metal, plastik, kağıt ve karton gibi geriye kazanılabilir atık miktarı ise yılda 2-2,5 milyon tondur [2]. Bu atıklara ek olarak belirtilen değerin çok üzerinde organik ve inorganik madde içeren sanayi atıkları ve düşük kaliteli kömür olduğu tahmin edilmektedir.

Yapı malzemelerine katılan atıklar, sıcaklığa göre malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini değiştirir. Tuğla ve seramik üretiminde, organik madde içeren atıklar 600°C'nin üzerinde yüksek sıcaklıklarda yanarak enerji tasarrufu sağlarken üretim maliyetini düşürmekte ve homojen bir sinterleşme gerçekleştirmektedir. Cam, metal, kül ve inorganik madde içeren sanayi atıkları katıldıkları yapı malzemesinin üretim maliyetini düşürürken, mekanik özelliklerindeki iyileştirir [3-6].

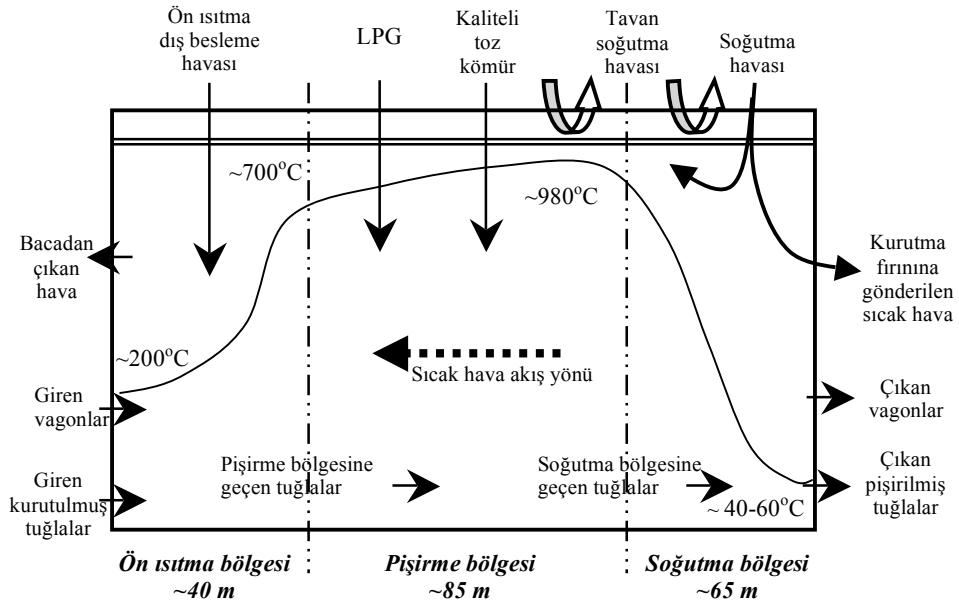
Doğrusal programlama, belirli kısıtlamalar içerisinde kaynakların en iyi kullanılması için seçenekler geliştirilmesi gereken problemlerin çözümlerinde kullanılır [7]. Tünel fırın ve benzer ısı işlem fırınlarında yakıt kullanımı ve fırın boyunca sıcak hava dağılımı optimizasyonu doğrusal programlama ile yapılabilir [8-10].

Yakıt optimizasyonunun yapıldığı bu çalışmada, düşük kaliteli iç kömür katkılı tuğla üretimi için kütle ve enerji dengesi yapıldıktan sonra optimizasyon için amaç ve kısıtlama fonksiyonları doğrusal programlama ile çözülüp en düşük enerji maliyeti ve yakıt tüketimi sonuçları bulunmuştur.

2. ENERJİ DENGESİ

Tünel fırında tuğla üretimi sırasında gerçekleşen işlemleri ön ısıtma, pişirme ve soğutma olarak tanımlayabiliriz. Şekil 1’de gösterildiği gibi tuğlalar, ön ısıtma bölgesinde 200-700°C’de, pişirme bölgesinde 700-980°C’de, soğutma bölgesinde ise 980-60°C arasında değişen fırın atmosfer havası sıcaklık profilinde ısıl işleme tabi tutulmaktadır. Fırın tasarımına göre, her bir bölgede tuğlaların kalış süresi yaklaşık 3, 7 ve 6 saat olarak değişmektedir.

Enerji dengesi, detayları Şekil 1 ve Tablo 1’de görüldüğü gibi fırının üç farklı bölgesi için gereken ve verilen enerjiler dikkate alınarak yapılmıştır. Enerji ve kütle dengesi hesapları için KılSan Tuğla Fabrikasından alınan ölçüm değerleri kullanılmış, bu yayında tesise özgü veriler gizli tutulmuş ve sonuçlar kilogram tuğla başına oranlar olarak verilmiştir.



Şekil 1- Enerji dengesinin tünel fırın kesiti üzerinde şematik olarak gösterilmesi

Tablo 1- Enerji dengesi işlemlerinde kullanılan yaklaşım.

Tünel Fırın Bölgeleri	Verilen Enerji	Gereken Enerji	Açıklama
Ön Isıtma	<i>Yok</i>	<i>Tuğlaların ısınması Vagonların ısınması Besleme havasının ısınması Baca kaybı</i>	<i>Gereken enerji pişirme bölgesinden gelen sıcak hava ile sağlanır</i>
Piştirme	<i>LPG Kaliteli toz kömür Düşük kaliteli iç kömür</i>	<i>Tuğlaların ısınması Vagonların ısınması</i>	<i>LPG pişirme bölgesine girişte istenilen sıcaklığa ulaşmak amacı ile kullanılır</i>
Soğutma	<i>Tuğlaların soğuması Vagonların soğuması</i>	<i>Kurutma fırınına giden sıcak hava ile çıkan ısı Tuğla ve vagonlarla çıkan ısı Fırın tavanını soğutmak için kullanılan havanın çektiği ısı¹</i>	<i>Soğutma bölgesinden bir miktar sıcak hava pişirme bölgesine geçer</i>

3. YAKIT TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Enerji gereksinimi, tünel fırının farklı bölgeleri arasındaki sıcak hava dağılımı ve tüketilen yakıt ile gerçekleşir. Fırının değişik bölgelerindeki farklı prosesleri gerçekleştirmek için kullanılan yakıtların miktarı ve cinsi farklıdır. Dolayısıyla gerekli sıcak hava profilini sağlayacak farklı yakıtların optimizasyonu Tablo 2’de özetlendiği gibi gerçekleştirilir.

Fırının değişik bölgelerinden ne kadar hava geçmesi, hangi noktalarda hava beslemesinin yapılması gerektiği, soğutma bölgesinde ısınan havanın ne kadarının fırının pişirme bölgesine ve ne kadarının kurutma fırınına gönderileceği hava dağılımının optimizasyonu ile gerçekleşir. Soğutma bölgesinde tuğlalardan ve vagonlardan geriye kazanılan enerjinin büyük bir kısmı kurutma fırınına gönderilir. Kurutma fırınına gönderilen hava debisi de optimizasyonu yapılması gereken bir diğer parametredir.

¹ Tünel fırının tavan soğutması fırın boyunca yapılır. Amaç hem ısı yalıtımı hem de tavan soğutma havasını kurutma fırınında kullanmaktır. Enerji dengesi işlemleri tavan soğutma havasının ortalama çıkış sıcaklığı için yapıp sonuç soğutma bölgesinin bir parçası olarak görülür.

Tablo 2- Optimizasyon Değişkenleri

	Ön Isıtma	Piştirme	Soğutma
Hava	<i>Dışarıdan beslenen soğuk hava debisi. Bacadan dışarıya atılan sıcak hava.</i>	<i>Soğutma bölgesinden gelen sıcak hava debisi.</i>	<i>Kurutmaya gönderilen sıcak hava debisi. Dışarıdan beslenen soğuk hava debisi.</i>
Yakıt		<i>Yakıtların en düşük maliyeti verecek şekilde kullanımı.</i>	

Hava dağılımının yanı sıra fırın boyunca istenilen sıcaklık profilini elde etmek için yakıt tüketiminin de optimizasyonu yapılmalıdır. Özellikle kullanılan yakıtın kömür olduğu ve özelliklerinin geldiği kaynağa göre değiştiği durumlarda yakıt tüketiminin optimizasyonu tuğla üretimininde önemli bir yere sahiptir.

Tuğlanın içine katılan düşük kaliteli iç kömürün ısı değeri, kükürt içeriği ve fiyatı önemli değişiklik gösterir. Bundan dolayı yakıt gideri düşük kaliteli iç kömürün özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişir.

KilSan Tuğla Fabrikasında üç değişik yakıt kullanılmaktadır. Bunlar LPG, tünel fırın üzerinden beslenen kaliteli toz kömür ve tuğlaların içerisine hazırlama aşamasında katılan düşük kaliteli iç kömürdür. Yakıt tüketiminin optimizasyonu KilSan Tuğla Fabrikasında kullanılan yakıtlar için yapılacaktır. Optimizasyon işlemlerinde kullanılan yakıtların ısı değerleri, kükürt içerikleri ve fiyatları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3- Yakıt verileri

	LPG	Kaliteli toz kömür	Düşük kaliteli iç kömür
Maliyet (Euro/ton)	833,33	33,34	4,16–8,33
Isıl değer (kcal/kg)	11100	4500	600-1280
Kükürt içeriği (kg/kg)	0	0,005	0,015
Isıl değer/Maliyet oranı (kcal /Euro)	13320	135000	144000-153600

Fırın ön ısıtma bölgesine giren tuğlaların, yüksek sıcaklıkta hava akımı ile aniden temas ederek çatlamalarını önlemek gerekir. Bunun için dışarıdan ön ısıtma bölgesine hava beslenir. Dış besleme havası, fırın atmosfer havasının giriş sıcaklığını düşürürken piştirme bölgesine giriş sıcaklığını da düşürür. Dolayısıyla, istenilen piştirme sıcaklığına hızla ulaşmak için piştirme bölgesi girişinde zorunlu olarak sabit ve en düşük miktarda LPG kullanılır.

Kullanılan yakıtlar (enerji ve kütle dengesi ile hesaplanan) bir kilogram tuğla için gereken enerjiyi sağlarken, açığa çıkan SO₂ miktarı 2000 mg/m³ den küçük ve yakıt maliyeti en düşük değer olmalıdır. Böyle problemler amaç fonksiyonu ve kısıtlama fonksiyonları tanımlandıktan sonra doğrusal programlama ile çözülebilir [12, 15].

Amaç fonksiyonu ya da bir kilogram tuğla üretmek için gereken minimum yakıt maliyet fonksiyonu denklem (1)'de görülebilir.

$$\text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \text{Yak. maliyeti} \\ \text{Euro/kg t.} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{LPG} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{LPG} \\ \text{maliyeti} \\ \text{Euro/kg} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{toz kömür} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Toz kömür} \\ \text{maliyeti} \\ \text{Euro/kg} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{iç kömür} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{İç kömür} \\ \text{maliyeti} \\ \text{Euro/kg} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Kısıtlama fonksiyonlarından birincisi, bir kilogram tuğla üretmek için kullanılan LPG, fırın üzerinden beslenen kaliteli toz kömür ve tuğla içerisinde ki düşük kaliteli iç kömürün vermesi gereken enerji aşağıdaki denklem (2) ile verilir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{LPG} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{LPG} \\ \text{yanma ısısı} \\ \text{kcal/kg} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{toz kömür} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Toz kömür} \\ \text{yanma ısısı} \\ \text{kcal/kg} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{iç kömür} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{İç kömür} \\ \text{yanma ısısı} \\ \text{kcal/kg} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Kilogram t.} \\ \text{için gereken} \\ \text{enerji} \\ \text{kcal/kg t.} \end{array} \right\} \quad (2)$$

İkinci kısıtlama olarak yakıtların yanmasıyla bir metreküp baca gazı için açığa çıkan SO₂ denklem (3) ile verilir.

$$\left[\left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{toz kömür} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Toz kömür} \\ \text{SO}_2 \\ \text{mg/kg} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Gereken} \\ \text{iç kömür} \\ \text{kg/kg t.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{İç kömür} \\ \text{SO}_2 \\ \text{mg/kg} \end{array} \right\} \right] \left[\begin{array}{l} \text{Bir m}^3 \\ \text{baca gazı için} \\ \text{kg t.} \\ \text{kg t./m}^3 \text{ baca g.} \end{array} \right] \leq 2000 \text{ mg/m}^3 \quad (3)$$

Enerji dengesi ile bulunan bir kilogram tuğla üretimi için gereken enerji temel alınarak (487 kcal/kg tuğla) optimum yakıt gereksinimi denklem 1, 2 ve 3 ün eşanlı çözümüyle bulunur.

4. SONUÇLAR

Enerji dengesi işlemlerinden elde edilen sonuçlarla değişik özelliklerde ki düşük kaliteli kömürün tuğlaya katılmasının optimizasyonu yukarıda açıklandığı gibi yapılır.

4.1. Enerji Dengesi

Tünel fırında tuğla üretimi için gereken enerji Tablo 1’de ki yaklaşım kullanılarak hesaplanmış ve sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Tünel fırın da toplam enerji gereksinimi 796,8 kcal/kg tuğla ve soğutma bölgesinde geriye kazanılan enerji 310,2 kcal/kg tuğla olarak bulunmuştur. Buradan yakıtların vermesi gereken net enerji ise 486,6 kcal/kg tuğla olarak çıkarılır. Bir kilogram tuğla başına enerji gereksinimi fırın tasarımına ve tuğla malzemesinin ısı özelliklerine göre değişir.

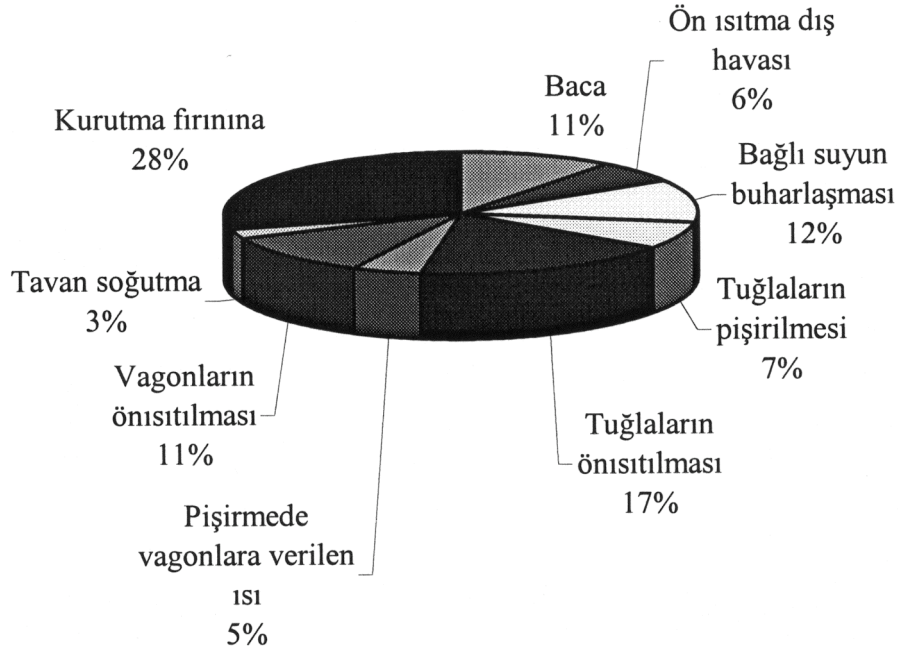
Tünel fırın tuğla üretimi için enerji gereksinimi 290-600 kcal/kg tuğla olarak değişik çalışmalarda belirtilmiştir [13]. Buna göre yakıtların vermesi gereken enerji yüzdesi toplam gereken enerjinin %61’i (486,6/796,8) olarak bulunur. Tuğla üretimi için Tablo 4’de ki gereken enerji değerlerinin yüzde etkileri Şekil 2’de dilim grafik olarak verilmiştir. Gereken enerji yüzdeslerini gösteren dilim grafiğinde fırından çıkan tuğlalar ve vagonların götürdüğü enerji, (sırasıyla 4,9 ve 2,6 kcal/kg tuğla,) oldukça küçük olduğu için dilim grafik üzerinde gösterilmemiştir.

Tablo 4- Mevcut tünel fırında tuğla üretimi için enerji dengesinden hesaplanan gereken ve verilen enerji değerleri

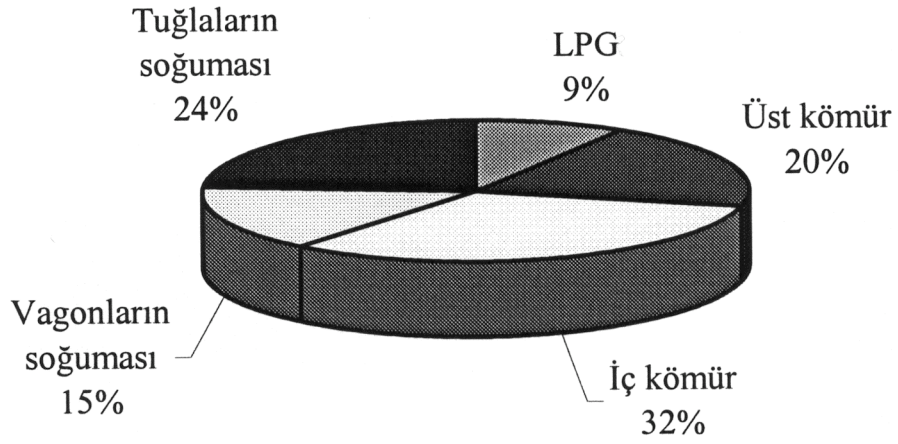
	Enerji (kcal/kg tuğla)	
	Verilen	Gereken
Baca ile çıkan		83,7
Ön ısıtmada dış besleme havasına		44,8
Bağlı suyun (~%5) buharlaşması		91,0
Piştirme bölgesinde tuğlaların ısınması		56,0
Ön ısıtma bölgesinde tuğlaların ısınması		141,9
Piştirme bölgesinde vagonların ısınması		36,4
Ön ısıtma bölgesinde vagonların ısınması		88,4
Tuğlalarla çıkan ısı		4,0
Vagonlarla çıkan ısı		2,6
Tavan soğutmada tüketilen ısı		20,8
Kurutma fırınına gönderilen sıcak hava		227,2
Soğutma bölgesinde vagonların verdiği	188,0	
Soğutma bölgesinde tuğlaların verdiği	122,2	
LPG nin verdiği ısı	Optimizasyon	
Kaliteli toz kömürün verdiği ısı	Optimizasyon	
Düşük kaliteli iç kömürün verdiği ısı	Optimizasyon	
Toplam	310,2	796,8
Gereken yakıt enerjisi=Gereken-Verilen	796,8-310,2=486,6	

Tablo 4 ve Şekil 2’den görüldüğü gibi kullanılan hava akımı ile enerjinin büyük bir bölümü, % 28’i, geri kazanılıp kurutma fırınlarına gönderilmektedir. Tuğlaları pişirmek ve vagonları ısıtmak için kullanılan enerji ise toplam enerji gereksiniminin % 40’ını oluşturur. İncelenen mevcut tünel fırında ölçülen değerlere göre enerji veren kaynakların dağılımı Şekil 3’de verilmiştir.

Düşük kaliteli iç kömür ısı değer-maliyet oranı 153600 kcal/Euro ile en avantajlı yakıt olarak Tablo 3’de gösterilmiştir. Buna karşılık düşük kaliteli iç kömür kullanımı yanma sonrası açığa çıkan SO₂ miktarını artırdığı için fazla kullanılamaz.



Şekil 2- Mevcut tünel fırında kullanılan enerji .



Şekil 3- Mevcut durumda tünel fırına enerji veren kaynakların dağılımı (yakıtların verdiği ve soğutmada geriye kazanılan enerji).

4.2. Yakıt Tüketiminin Optimizasyonu

Optimizasyon için, minimum yakıt maliyeti yada amaç fonksiyonu, denklem (1) ve kısıtlama fonksiyonları denklem (2) ve (3) kullanılır. Kısıtlama fonksiyonlarında baz alınan değerler, enerji dengesi ile bulunan kilogram tuğla başına enerji gereksinimi, 486,6 kcal/kg tuğla, ve bacadan atmosfere atılan en fazla 2000 mg/m³ SO₂ emisyonudur.

Proses gereği beslenmesi gereken LPG miktarı ısı değer-maliyet oranı 13320 kcal/Euro olup en dezavantajlı yakıttır (Tablo 3). Buna dayanarak yakıtların optimizasyonu sabit, en düşük miktarda LPG ve üç değişik iç kömür kullanımları için yapıldı sonuçlar Tablo 5 ve Şekil 4’de gösterilmiştir.

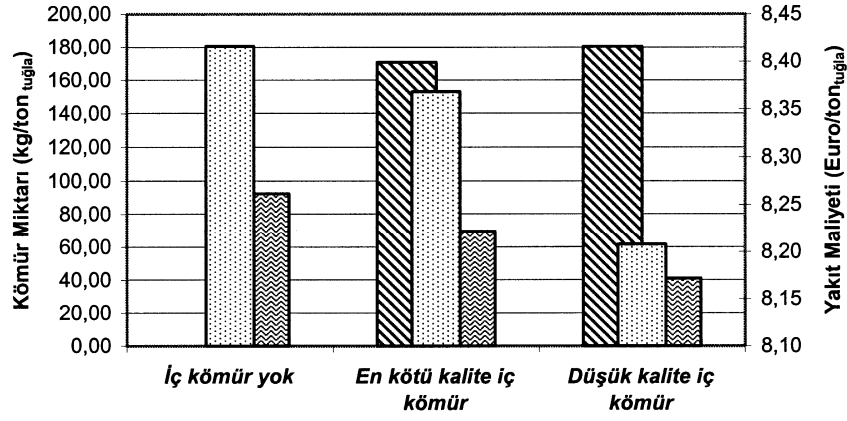
Tablo 5- Optimizasyon Sonuçları

İç kömür kullanımı	Düşük kaliteli iç kömür (kg/ton _{tuğla})	Kaliteli toz kömür (kg/ton _{tuğla})	Yakıt Maliyeti (Euro/ton _{tuğla})
İç kömür yok	0,00	92,45	8,42
En kötü kalite iç kömür	170,91	69,65	8,37
Düşük kalite iç kömür	180,43	41,12	8,21

Optimizasyon sonuçlarından görüldüğü gibi katkı olarak kullanılan kömürün kalitesi ne olursa olsun yakıt maliyetini düşürür. Kalitesi en kötü olan kömür katkı maddesi olarak kullanıldığında bile ton başına yakıt maliyeti düşer. Tablo 5’ten görüldüğü gibi düşük kalite kömür katılarak yakıt maliyeti 8,21 Euro/ton_{tuğla} elde edilir. Bu durum için yakıt maliyeti, açığa çıkan SO₂ miktarı, yakıtların verdiği enerji katkısı (487 kcal/kg tuğla) ve yüzdesi % 61 olarak (Tablo 4’de belirtildiği gibi toplam gereken ısı 796,8 kcal/kg tuğla) Tablo 6 da gösterilmiştir.

Tablo 6 değerlendirilirse optimizasyon işlemlerinde kullanılan kısıtlamalar yani gereken yakıt enerjisinin, 487 kcal/kg tuğla ve açığa çıkan SO₂ miktarının 2000 mg/m³ olarak sağlandığı görülür.

Şekil 3’de incelenen tünel fırında enerji veren kaynakların dağılımı, Tablo 6’da ise optimizasyonla bulunan yakıtların verdiği enerji dağılımı karşılaştırıldığında düşük kalite iç kömürün payının % 32 den % 29’a düştüğü görülür. Bunun nedeni üretimde kullanılan iç kömürün ısı değerinin Tablo 3’de gösterildiği gibi 600 ile 1280 kcal/kg arasında değişmesidir.



■ Düşük Kaliteli İç Kömür (kg/ton tuğla) ■ Kaliteli Toz Kömür (kg/ton tuğla) ■ Yakıt Maliyeti (Euro/ton tuğla)
Şekil 4- Farklı kalitede iç kömürün katkı olarak kullanıldığı durumlar için tünel fırında yakıt optimizasyonu.

Son olarak ekonomik açıdan olaya bakılırsa, Tablo 5 ve Şekil 4, iç kömür kullanmakla üretilen ton tuğla başına en az 0,05 Euro ve en fazla 0,21 Euro kazanıldığı ve aynı zamanda ısı değeri düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilerek çevre dostu tuğla üretimi sağlandığı görülür. Giriş bölümünde de belirtildiği gibi ülkemizin yıllık tuğla üretiminin 22 milyon ton olduğu düşünülürse bir yılda yaklaşık 1 100 000 Euro ile 4 620 000 Euro arasında yakıt tasarrufu yapılmış olur.

Tablo 6- En düşük yakıt maliyeti için optimizasyon sonuçları

	LPG	Kaliteli toz kömür	Düşük kalite iç kömür	Toplam
Miktar (kg/ton tuğla)	6,40	41,12	180,43	227,95
Yakıt maliyeti (Euro/ton tuğla)	5,33	1,37	1,50	8,21
SO₂ (mg/ton tuğla)	0,00	411,20	5412,90	5824,10
SO₂ (mg/m³ baca gazı)	0,00	141,21	1858,83	2000,03
Enerji katkısı (kcal/kg tuğla)	71,04	185,04	230,95	487,03
Enerji katkısı (%)	8,92	23,25	29,01	61,18

Çalışmanın gelecek aşamaları iki kısım olarak verilebilir. İlk aşamada tuğla üretiminde değişik atıklar katkı malzemesi olarak kullanıldığında yakıt maliyeti optimizasyonu yapılması düşünülmektedir. İkinci aşamada ise

fırında istenilen sıcaklık profilini sağlamak için tünel fırın boyunca yakıt besleme noktalarının belirlenmesi ve kurutma fırınına gönderilen sıcak hava debilerinin optimizasyonu yapılacaktır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde çok değerli bilgi ve deneyimlerini bizlerle paylaşan KilSan Kemerburgaz Tuğla Fabrikasının değerli mühendislerinden Sayın Hayrettin Oğuzlar ve Sayın Memduh Mekin Elbeyli'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, (2000) *Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Tuğla-Kiremit, Prefabrik Yapı Elemanları*, DPT: 2530-ÖİK: 546.
2. Geri Kazanım Proje Uygulamaları, El Kitabı, ÇEVKO Vakfı, <http://www.cevko.org.tr/donusum7/>
3. Güzel, A. G., (2002) “Kile katılan değişik katkı maddelerinin pişmiş kil ürünlerinin özellikleri üzerindeki etkileri: Ülkemizin bu üretimler açısından durumu”, 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildiriler Kitabı, 295-307, İstanbul.
4. Andreola, F.; Barbieri, L.; Corradi, A.; Lancellotti, I; Manfredini, T., (2001) “The possibility to recycle solid residues of the municipal waste incineration into a ceramic tile body”, Journal of Materials Science, Vol. 36, No: 20, 4869-4873.
5. Demir, İ., Orhan, M., (2003) “Reuse of waste bricks in the production line”, Building and Environment, Vol.: 38, 1451-1455.
6. Öztürk, A. Ç., (2002) “Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi”, 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildiriler Kitabı, 480-491, İstanbul.
7. Edgar, T. F., Himmelblau, D. M., Lasdon, L. S., (2001) *Optimization of Chemical Processes*, McGraw-Hill, New York.
8. Theppaya, T., Prasertsan, S., Prateepchaikul, G., Saensabai, P., Kirirat, P., (1998) “Design, Construction and Test Run of an Energy Efficient Brick Kiln”, The 5th ASEAN Science and Technology Week Scientific Conference on Non-Conventional Energy Research, 175-180.
9. Zhang, Y.; Forbes, J. F., (2000) “Extended design cost: a performance criterion for real-time optimization systems”, Computers and Chemical Engineering, Vol. 24, No: 8, 1829-1841.
10. Therdthai, N., Zhou, W., Adamczak, T., (2002) “Optimisation of the temperature profile in bread baking”, Journal of Food Engineering, 24 (8), 41-48.