

## Ankastre ev tipi fırınlarda fırın kapağının enerji tüketimi ve enerji seviyesine etkisinin deneysel olarak incelenmesi

### Experimental investigation of the effect of front cover on energy consumption and energy level in built-in house oven

Özge ALTUN<sup>1\*</sup>, Şule YILDIZ<sup>2</sup>, Tuba ANIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.  
okutlu@ogu.edu.tr

<sup>2</sup>British American Tobacco, Samsun, Türkiye.  
yildizzsule@gmail.com

<sup>3</sup>Candy Hoover, Doruk Ev Gereçleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Eskişehir, Türkiye.  
tanik@hoover.com.tr

Geliş Tarihi/Received: 18.05.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 20.11.2018

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.23922

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Günümüzde, enerji ihtiyacındaki artış ve enerji kaynaklarındaki azalmalar, araştırmacıları enerji seviyeleri yüksek, enerji tüketim değerleri düşük cihazların geliştirilmesine yönlendirmiştir. Özellikle yaygın olarak kullanılan elektrikli ev aletlerinde enerji seviyelerinin yükseltilmesi, enerji tüketim değerlerini düşürmede büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada, fırın ön camının iç yüzeyine alüminyum tabaka uygulaması yapılarak ankastre ev fırınlarının enerji seviyelerinin yükseltilmesi amaçlanmıştır. Çalışma esnasında, fırın ön camı alüminyum tabaka ile kaplanmış ve tabakaya bir pencere açılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneyler sonrasında, elde edilen fırın merkez sıcaklığı, istenilen sıcaklığa ulaşma süresi, fırın çalışma fonksiyonu, deneylerde kullanılan hipor tuğlanın deney süresince ağırlığındaki azalma değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalarda fırın enerji seviyesi belirlenmiştir. Analizler sonucunda, tabakanın kullanıldığı durumlarda fırın gerekli sıcaklığa ulaştığı zaman enerjinin, A seviyesinin en yüksek değerlerine ulaştığı ve bir üst seviye olan A+ seviyesine yaklaştığı görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ankastre ev fırını, Fırın merkez sıcaklığı, Isı ve kütle geçişi, Enerji tüketimi

#### Abstract

Nowadays, increase in the need of energy and decrease of energy sources have directed the researchers to make them develop devices which have high energy level and low energy consumption. Especially increasing the energy level of electrical households which are commonly used play big role on decreasing energy consumption. In this study, increasing of energy level of built-in house oven has been aimed using radiation effect of aluminum layer. During experiments front glass of oven has been covered by aluminum layer and the experiments have been carried out open a window to layer on front glass. The oven energy level has been determined by calculating central temperature of oven, time to reach desired temperature, working function of oven, decreasing of hipor brick used in experiments during that obtained after experiments that have been carried out at room temperature. As a result of analyses when the oven temperature reached required temperature in condition of aluminum layer usage, the energy level reached the top level of A and got closed to A+ which is higher level.

**Keywords:** Built-in house oven, Central temperature of oven, Heat and mass transfer, Energy consumption

## 1 Giriş

Dünyadaki gelişmiş ülkelerin, enerji politikalarında gözettileri en önemli unsurlardan birisi enerji verimliliğini arttırmak, enerji yoğunluğunu azaltmak ve enerji tasarrufuna özen göstermektir. Enerji yoğunluğu, enerji tüketiminin gayri safi yurtiçi hasılaya oranı olarak tanımlanmaktadır. Çağdaş enerji politikalarında hedef, yalnızca kişi başına kullanılan enerji ya da elektrik tüketim miktarını arttırmak değil, enerjiyi en verimli biçimde kullanabilecek sistemleri geliştirerek, en az enerji harcaması ile en fazla enerjiyi üretebilecek, iletecek ve tüketecek yapıyı kurabilmektir [1]. Günümüzde enerji sorunu Dünyanın ihtiyaç duyduğu ve çözüme kavuşturulması gereken en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Enerji verimliliği konusunda yapılan araştırmalar sonucunda, üretilen elektriğin %26'sı konutlarda tüketilmektedir. Konutlarda kullanılan enerjinin %20'si ise elektrikli ev aletlerinde tüketilmektedir. Elektrikli ev aletlerinin konutlardaki aylık enerji tüketimleri incelendiğinde, fırınların etkisinin buzdolabı ve aydınlatmadan sonra geldiği görülmektedir [2]. Elektrikli ev eşyalarının gün içerisinde çok fazla çalıştırıldığı göz önünde

bulundurulunca, bu eşyaların enerji tüketiminin düşürülmesi üzerine çalışmalara başlanmıştır. Yapılan çalışmaları hızlandırmak ve teşvik etmek amacıyla Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü Enerji Verimli Ürünlerin Piyasa Dönüşümü Projesi'ni başlatmıştır. Enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalar diğer sektörlerde olduğu gibi beyaz eşya sektöründe de üreticiler arasında önemli bir rekabet ortamı doğurmuştur.

Ankastre fırınlar, son zamanlarda yaygın olarak kullanılan ve gün geçtikçe talebi artan beyaz eşyalardandır. Literatürde enerji tüketimi azaltmayı hedefleyen deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmasının yanında beyaz eşya üreticisi olan tüm firmalar da enerji verimli ve çevre dostu ürünler üretmek adına enerji tüketimini azaltmak amacıyla çalışmalar yapmaktadır. 90'lı yıllarda fırınlardaki enerji verimliliği %12-13 iken günümüzde bu oran yaklaşık %25'tir [3].

Ankastre fırınlarda enerji tüketimi açısından büyük önem taşıyan yapılardan biri de fırın kapakları olup, enerji tüketimini azaltmak için çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerden bazıları fırın kapaklarında çoklu cam kullanımı ve ışınım kalkanı yöntemlerini içermektedir. General Electric firması, iki

camlı fırın kapağı uygulaması [4], Zanussi firması iki camlı ve hava dolaşımı ile soğutulan fırın kapakları hakkında [5], Whirpool firması çok camlı ve zorlanmış hava dolaşımı ile soğutulan fırın kapakları hakkında [6], Candy firması pirolitik fırınlarda dört camlı kapak uygulaması [7], AEG firmasının üç camlı kapak ve zorlanmış hava dolaşımı uygulaması [8] patent çalışmaları bulunmaktadır.

Engineered Glass Products [9] firmasının dış camın iç yüzeyinin ve iç camın yansıtıcı bir madde ile kaplanması üzerine patent çalışması bulunmaktadır. Fırın camının kaplanmasına yönelik benzer bir çalışma, 2000 yılında Pleotint [10] firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada fırın kapağında üç cam yer almaktadır ve camların her iki yüzeyi de kaplanmıştır.

Işınım kalkanı uygulaması için ise General Electric firması [11] 1965 yılında ilk çalışma yapan firmadır. Delikli alüminyum plaka iki camlı fırının iç camının dış yüzeyine monte edilmiştir. Fırın içinin görünmesi amacıyla alüminyum plaka delikli yapıya sahiptir.

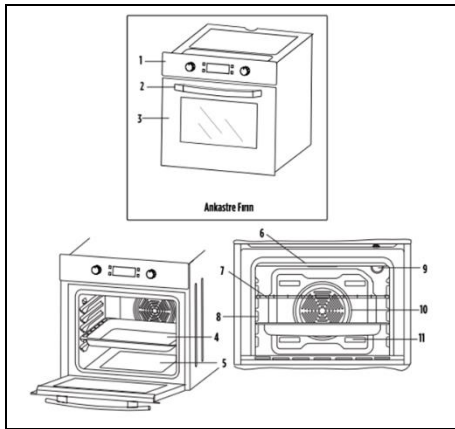
Samsung Electronics Co. Ltd. 2012 yılında [12] ön cam ve arka cam arasına yerleştirilen gözenekli plaka uygulamasına yönelik patent almıştır. Bu uygulamada fırın kapağı ön cam, pişirme bölgesinden dış ortama ısı geçişini önlemek için gözenekli plaka, birinci arka cam ve ikinci arka cam olmak üzere dört tabakadan oluşmaktadır. Gözenekli plaka üzerinde pişirme bölgesini izlemek amacıyla pek çok görüş deliği bulunmaktadır.

Scarbrick ve diğ. [13] fırın ısı performansını arttırmak üzere yapmış oldukları çalışmada ısıtma elemanlarının konumlarını, fırın iç hava sıcaklığı ayarlanmasında kullanılan kontrol sistemlerini değiştirmişler ve farklı yalıtım malzemeleri kullanmışlardır. Çalışma sonucunda genel olarak ısı verimliliğinin %17-26 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, üretimi yapılan ankastre fırın için enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla fırın iç kapak camı alüminyum tabaka ile kaplanarak ve kaplanan bu yüzeyde bir pencere açılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda enerji tüketiminde azalma olduğu gözlenmiştir.

## 2 Materyal ve metot

Üretimi yapılan enerji tüketim değerlerinin inceleneceği elektrikli ankastre fırının şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Ankastre fırın yapısı. (1): Kontrol paneli, (2): Fırın kapak kulbu, (3): Fırın ön kapak, (4): Tepsisi, (5): Alt ısıtıcı, (6): Üst ısıtıcı, (7): Tel ızgara, (8): Raflar, (9): Fırın lambası, (10): Turbo ısıtıcı, (11): Hava çıkış panjurları.

Elektrikli ankastre fırınlarda enerji tüketimini etkileyen unsurlar arasında fırın yalıtım malzemeleri ve fırın kapak kısmı öncelikli olarak sayılabilir.

Bu çalışmada, fırın yalıtım malzemelerinde herhangi bir değişiklik yapmadan fırın kapağına alüminyum tabaka uygulamasının enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Deneyi yapılan fırının yalıtımında kullanılan yalıtım malzemeleri ve özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Fırın yalıtımında kullanılan malzemeler.

Kullanım Yeri	Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
Üst yüzey	Cam yünü	0.043	18
Yan duvarlar	Cam yünü	0.043	18
Alt yüzey	Seramik izolasyon	0.035	96

Deneyler ceHENNEMLIK ebatları 397 x 410 x 466 mm olan fırında gerçekleştirilmiştir.

Fırın ceHENNEMLİĞİ olarak adlandırılan alan kullanılabilir hacmi oluşturur. Kullanılabilir fırın hacmi ise 75.8 l'dir. Fırının alt ve üst kısımlarında rezistanslar bulunmaktadır. Fırının arka yüzeyinde turbo fan ve üstünde ise soğutucu fan mevcuttur. Fırında yer alan ısıtıcılar sayesinde klasik ya da geleneksel ısıtma, turbo fan sayesinde ise zorlanmış taşınım ile ısıtma yapmak mümkündür. Tablo 2'de verilen EN 60350 Standardına [14] uygun çalışma modu ve fırın sıcaklığı ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2: EN 60350 standardına göre ısıtma modları ve fonksiyonları[14].

Isıtma Modu	Isıtma Fonksiyonları		
	Klasik	Zorlamalı	Sıcak Buhar
$\Delta T_1^i$	(140 ± 10)K	(135 ± 10) K	(135 ± 10) K
$\Delta T_2^i$	(180 ± 10) K	(155 ± 10) K	(155 ± 10) K
$\Delta T_3^i$	(220 ± 10) K	(175 ± 10) K	(175 ± 10) K

Tabloda yer alan  $\Delta T_k^i$  sıcaklık farkı ortalama ortam sıcaklığı ile gerçek fırın içi sıcaklığı arasındaki fark,  $k$  alt indisi, ısıtma modu ( $k = 1,2,3$ ) ve  $i$  üst indisi ısıtma fonksiyonunu temsil etmektedir. Deneylerde fırın iç sıcaklığı Tablo 2'de yer alan zorlamalı çalışma moduna ait  $\Delta T_k^i$  sıcaklık farkını sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Ortalama ortam sıcaklığı ise deneyin başlangıcında (fırın çalıştırılmaya başlandığında) ve deney sonunda ölçülen ortam sıcaklıklarının aritmetik ortalamasıdır.

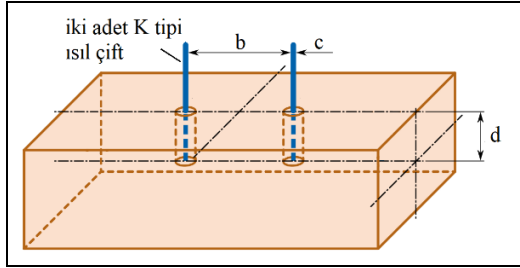
$$T_{ort,\infty} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n T_{\infty} \quad (1)$$

Deney esnasında fırına 1850 W'lık sabit bir güç uygulanmakta olup, deneyler fırının yüklü olduğu durumda yapılmıştır. Pişirirken en uzun süre ve yüksek sıcaklık gerektiren besin maddesi ettir. Bu nedenle yapılan deneylerde, en zor pişen yemek olan etin yerine, onun özelliklerini gösteren hipor tuğla kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan hipor tuğla 230 mm x 114 mm x 64 mm boyutlarına sahiptir. Hipor tuğlaya ait fiziksel özellikler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Deneyde kullanılan Hipor tuğlanın fiziksel özellikleri [14].

Özellik	Birim	Değer
Gözeneklilik		% 77
Kuru yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	550±40
Kuru ağırlık	G	920±75
Su emiciliği	G	1050 ± 50

Sıcaklık ölçümleri için kullanılan ısı çiftleri hipor tuğlanın derinliğinin yarı mesafesi olan  $d = 32$  mm derinliğine aralarında boşluk olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan tuğlanın şematik gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



$$b=50 \text{ mm}, c=1 \text{ mm}, d=32 \text{ mm}.$$

Şekil 2: Deneylerde kullanılan tuğlanın şematik gösterimi

Testin başlangıcında ve deneyin sonunda ısı çiftlerinden tuğla merkezinden alınan sıcaklık değer farkı  $55$  °C’ye ulaştığı zaman teste son verilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçları ve grafikler Lab View Signal Express programı ile bilgisayardan gözlenmektedir.

### 3 Deneysel çalışmanın aşamaları

Bu çalışmada, fırında bir yükün ısıtılması için gerekli enerji tüketiminin ve süresinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Yük olarak kastedilen durum, yiyeceğin hem ısı özelliklerini hem de su içeriğini modelleyen suya doyurulmuş hipor tuğla kullanılarak yapılan deneylerdir. Deneylere başlamadan önce, deneylerde kullanılan tüm ekipmanlar ortam sıcaklığına getirilmiştir. Deneylerde ilk kez kullanılacak tuğla, deneylere başlamadan önce zorlamalı hava dolaşım fonksiyonu olan yaklaşık  $50$  l hacme sahip fırında  $175$  °C’nin üstündeki sıcaklık değerinde üç saat kurutulmuştur. Ayrıca her deneyden sonra, kullanılan tuğlanın kurutulması için aynı şartlarda  $8$  saat beklenilmiştir. Tamamen kurutulmuş olan tuğla fırından çıkarıldıktan sonra kütlesi ( $m_d$ )  $5$  dk. içinde ölçülmüştür.

Kurutulan tuğlanın enerji ölçümleri için deneye hazırlanması gerekmektedir. Bunun için tuğla  $20$  °C’den daha düşük sıcaklığa sahip su dolu bir kaba konarak bir soğutucu içerisinde  $8$  sa. bekletilmiştir. Tuğla merkez sıcaklığı  $3-7$  °C arasına ulaştığında soğutucudan çıkarılmıştır. Soğutucudan çıkarılan ıslak tuğlanın ağırlığı ölçülmüş ve kütlesi  $m_w$  hesaplanmıştır. Denklem 2’den de tuğlanın emmiş olduğu su kütlesi hesaplanmıştır.

$$\Delta m = m_w - m_d \quad (2)$$

Deney için hazırlanan tuğla, soğutucudan çıkarıldıktan sonra  $3$  dk. içerisinde deneylere başlanılmıştır. Tuğla, fırın boşluğunun merkezine, ısı çiftleri tuğlanın üst yüzeyinde olacak şekilde (Şekil 2) yerleştirilmiştir. Tuğlanın üst yüzeyinde bulunan ısı çiftleri kapak aralığından, kapağın kapanmasını engellemeyecek şekilde geçirilmiştir.

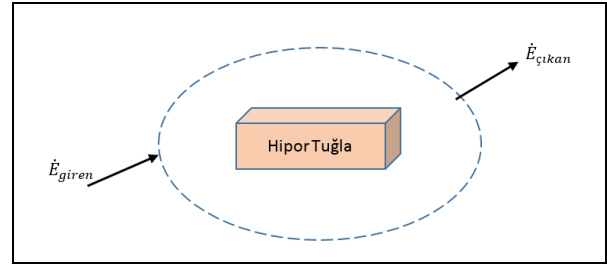
Deneyler hem soğutucu fanın hem de turbo fanın çalıştırıldığı ısıtma fonksiyonu için yapılmıştır. Fırının farklı iç sıcaklığı ve farklı ön cam kaplama uygulama durumu için deneyler üç kez tekrarlanmış olup toplam yirmi yedi farklı deney gerçekleştirilmiştir.

Tuğla merkez sıcaklığı ( $5 \pm 2$ ) °C iken deneylere başlanılmış ve tuğla merkez sıcaklığı başlangıç merkez sıcaklığından  $55$  °C fazla olduğunda deneyler sonlandırılmıştır. Deney süresince enerji tüketimi, tuğla merkez sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve süre

ölçülmüştür. Ayrıca deney sonunda fırından çıkarılan tuğlanın ağırlığı da ölçülmüştür.

Fırının çalışmasıyla birlikte otomatik olarak devreye giren lamba ve fanın enerji tüketim değerleri ölçülen tüketim değerlerine ilave edilmiştir. Fırınlarda sıcaklık ölçümü için kullanılan ısı çifti K (NiCr-Ni alaşımı) tipidir. Bu ısı çifti  $0-1200$  °C arasında ölçüm yapabilir. Hassasiyeti  $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ’dir. Hata payı  $\pm 1,5$  °C’dir.

Deneyde kullanılan hipor tuğla için kontrol hacmi Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3: Hipor tuğla için kontrol hacmi.

Kontrol hacmi için enerji dengesi yazılırsa;

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{cıkan} + \dot{E}_{üretilen} = \dot{E}_{depolanan} \quad (3)$$

Kontrol hacmine taşınım ve ışınlım yoluyla giren enerji,

$$\dot{E}_{giren} = h \cdot A \cdot (T_\infty - T) \quad (4)$$

Burada;  $h$ , birleşik ısı taşınım katsayısıdır ve hipor tuğlaya hem taşınım hem de ışınlım yoluyla toplam ısı geçişini temsil etmektedir.  $T_\infty$  ortam sıcaklığı,  $T$  hipor tuğla yüzey sıcaklığı,  $A$  ise hipor tuğlanın yüzey alanıdır.

Kontrol hacminden enerji çıkışı; deney sırasında hipor tuğlanın içindeki suyun buharlaşması ile gerçekleşen kütle transferi sonucu oluşan gizli ısı geçişidir ve Denklem (5) ile ifade edilmektedir.

$$\dot{E}_{giren} = \dot{m} \cdot h_{fg} \quad (5)$$

Burada;  $h_{fg}$ , suyu buharlaştırmak için gerekli olan buharlaşma gizli ısıdır.

Ele alınan kontrol hacminde herhangi bir enerji üretimi yoktur. ( $\dot{m}$ ), buharlaşan suyun (ortalama) kütsel debisidir.

$$\dot{E}_{üretilen} = 0 \quad (6)$$

Hipor tuğlanın kütlesi deney boyunca sürekli değiştiği için tuğlada depolanan enerji,

$$\dot{E}_{depolanan} = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (7)$$

$$m = m_0 - \int_0^t \dot{m} \cdot dt \quad (8)$$

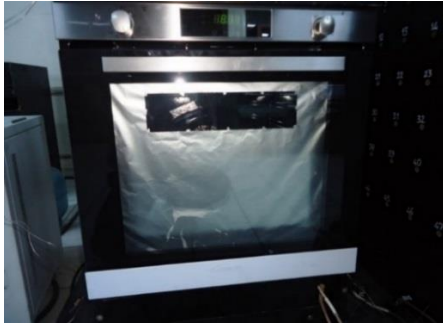
Burada  $m_0$ , hipor tuğlanın deneye başlanıldığı andaki kütselidir.

Denklem (3) ile verilen enerji dengesi yeniden yazılırsa;

$$h \cdot A \cdot (T_\infty - T) - \dot{m} \cdot h_{fg} + 0 = m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} \quad (9)$$

#### 4 Deneysel bulgular

Fırın enerji tüketim değerini düşürmek amacıyla, ısı kaybının en fazla olduğu yerlerden biri olan fırın kapak iç yüzeyi, maliyetinin düşük ve yansıtma katsayısının büyük olması nedeniyle alüminyum tabaka ile kaplanarak sabit güç altında deneyler yapılmıştır. Deneyler üç kısımdan oluşmaktadır. Fırın kapağının kaplamasız olduğu, fırın kapağının iç camının tabaka ile kaplandığı ve bu kaplamada pencere açıldığı durumlarıdır. Bu üç durum için enerji tüketiminin nasıl değişeceği 75.8 l hacme sahip fırında test edilerek araştırılmıştır. İlk olarak fırında herhangi bir kaplama olmadan deneyler yapılmıştır (Test Düzeneği\_1 TD\_1). Fırın iç sıcaklığı 160 °C, 180 °C, 200 °C için çalışma süresi ve enerji tüketim değerleri elde edilmiştir. Daha sonra fırın iç kapağı ile kaplanarak ve tabakaya pencere açılarak aynı iç sıcaklık değerlerinde çalışma süresi ve enerji tüketim değerleri elde edilerek karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 4: İç camında 8x32 cm'lik pencere bulunan alüminyum tabakalı fırın test düzeneği.



Şekil 5: İç camı alüminyum tabaka ile kaplanmış fırın test düzeneği.

Tablo 4: TD\_1 için enerji test sonuçları.

o	Kuru Ağırlık $m_d$ (g)	Yaş Ağırlık $m_w$ (g)	Tuğla		Ağırlık Kaybı (g)	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Oda Ortalama Çevre Sıcaklığı (°C)	Fırın Sıcaklığı Gerçek Değer (°C)
			Emilen Su $\Delta m$ (g)	Isıtma Sonu Ağırlık (g)				
1	938	1968	1030	1844	124	4.5	24	160
2	938	1986	1048	1838	148	4.6	24	179
3	938	1972	1034	1790	182	4.6	24	200
Enerji (kWh)						0.811		
Süre (dk.)						45.5		
Enerji Sınıfı						A		

Tablo 5. TD\_2 için enerji test sonuçları.

No	Kuru Ağırlık $m_d$ (g)	Yaş Ağırlık $m_w$ (g)	Tuğla		Ağırlık Kaybı (g)	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Oda Ortalama Çevre Sıcaklığı (°C)	Fırın Sıcaklığı Gerçek Değer (°C)
			Emilen Su $\Delta m$ (g)	Isıtma Sonu Ağırlık (g)				
1	938	1972	1034	1864	108	4.8	24	157
2	938	1978	1040	1852	126	4.6	23	179
3	938	1974	1036	1816	158	4.7	24	202
Enerji (kWh)						0.711		
Süre (dk)						43.6		
Enerji Sınıfı						A		

Tablo 6. TD\_3 için enerji test sonuçları.

No	Kuru Ağırlık $m_d$ (g)	Yaş Ağırlık $m_w$ (g)	Tuğla		Ağırlık Kaybı (g)	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	Oda Ortalama Çevre Sıcaklığı (°C)	Fırın Sıcaklığı Gerçek Değer (°C)
			Emilen Su $\Delta m$ (g)	Isıtma Sonu Ağırlık (g)				
1	938	1964	1026	1848	116	4.1	24	160
2	938	1972	1034	1856	116	3.7	22	181
3	938	1960	1022	1802	158	3.8	23	199
Enerji (kWh)						0.720		
Süre (dk.)						44.2		
Enerji Sınıfı						A		

Tablo 4 incelendiğinde 160 °C, 180 °C, 200 °C fırın iç sıcaklığı için elde edilen ortalama enerji tüketim değerinin ortalaması 0.811 kWh olarak elde edilmiştir. Bu tüketim değeri A sınıfı enerji endeksine karşılık gelmektedir.

Tablo 5'te fırın iç kapağına alüminyum kaplama uygulanarak hazırlanan TD\_2'nin deney sonuçları verilmiştir. Deneyler sonucunda ortalama enerji tüketim değeri ve deney süresi düşmesine rağmen enerji endeksinin aynı kaldığı gözlemlenmiştir.

TD\_1, TD\_2 ve TD\_3 için üç farklı fırın içi sıcaklığında yapılan deneylere ait deney süreleri ve elde edilen enerji tüketim değerleri Tablo 7'de özetlenmiştir. Tablo 7 incelendiğinde, fırın iç sıcaklığını 160 °C'ye çıkarmak için en az enerji tüketiminin TD\_2'de olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 7: Kullanılabilir iç hacmi 75.8 l olan fırın için deney sonuçları.

Test Düzeneği	Deney No	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Deney Süresi (dk.)	Enerji Tüketimi (kWh)
TD_1	D1	160	50.5	0.735
TD_1	D2	179	44.5	0.785
TD_1	D3	200	41	0.921
TD_2	D4	157	49	0.649
TD_2	D5	179	42.1	0.696
TD_2	D6	202	39.4	0.793
TD_3	D7	160	48.3	0.658
TD_3	D8	181	43.2	0.726
TD_1	D9	202	40	0.796

Tablo 6'da fırın iç kapağına alüminyum kaplama uygulanarak hazırlanan TD\_3'e ait deney sonuçları verilmiştir.

Şekil 6'da kullanılabilir iç hacmi 75.8 l olan fırının iç sıcaklığı 160 °C, 180 °C ve 200 °C için fırın iç camının alüminyum tabaka kaplanmış, kaplanmamış ve tabakada 8x32 cm'lik pencere açılmış durumlar için fırın iç sıcaklığı, çalışma süresi ve enerji tüketim değerleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 6a incelendiğinde fırının iç sıcaklığını ortalama 160 °C çıkarmak için gerekli enerji tüketimi değeri kaplamasız durum ile fırın iç camında pencere bırakılan kaplama durumu için yaklaşık %12 iyileşme olmaktadır. Her iki durum için pişirme süreleri kıyaslandığında ise pişirme süresinin yaklaşık olarak %2.9 azaldığı gözlemlenmiştir. İç camın tamamen kaplı olduğu Test 1 için pişirme süresinde %4.3, enerji tüketiminde %11 iyileşme söz konusu olmaktadır.

Şekil 6b'de fırın iç sıcaklığının 180 °C olduğu durum için çalışma süresi ve enerji tüketimine alüminyum tabaka kullanımının etkisi görülmektedir. Pişirme süreleri kıyaslandığında Test 2

çini pişirme süresi %5.4 oranında azalırken Test 3 için süre %2.9 oranında azalmaktadır. Enerji tüketim değerlerinde ise Test 2'de %11, Test 3'de %7.5 iyileşme söz konusudur. Fırın iç sıcaklığı 200 °C olan pişirme durumu için pişirme süresinde Test 2 için %4, Test 3 için %2.4 iyileşme söz konusu iken enerji tüketiminde bu oranlar sırasıyla %13.9 ve %13.6 oranlarına çıkmaktadır.

Yapılan deneyler sonucu fırınların sıcaklık ölçümleri için kullanılan bilgisayar programının yardımıyla Denklem (10), (11) ve (12)'de verilen matematiksel ifadeler kullanılarak çevrim süresince tüketilen enerji miktarı hesaplanmıştır [13].

$$E_{\Delta T_0}^i = S^i \Delta T_0^i + B^i \quad (10)$$

Burada;  $\Delta E_{\Delta T_0}^i$ ,  $\Delta T_0^i$ 'da farklı ısıtma fonksiyonları "klasik", "zorlamalı" ve "sıcak buhar" ısıtma fonksiyonlarında, yükü ısıtmak için kWh cinsinden hesaplanan anma enerji tüketimi;  $\Delta T_0^i$ , klasik ısıtma fonksiyonu için 180 °C zorlamalı dolaşım ve sıcak buhar fonksiyonunun her ikisi için de 155 °C olarak alınmaktadır.  $S^i$  Denklem (11)'den farklı ısıtma fonksiyonları ile ilgili eğim;  $B^i$  Denklem (12)'den hesaplanan kesişimdir [14].

$$S^i = \frac{\sum_{k=1}^n (\Delta T_k^i \cdot E_k^i) - (\sum_{k=1}^n \Delta T_k^i) (\sum_{k=1}^n E_k^i)}{n \sum_{k=1}^n (\Delta T_k^i)^2 - (\sum_{k=1}^n \Delta T_k^i)^2} \quad (11)$$

$$B^i = \frac{\sum_{k=1}^n E_k^i - S^i \sum_{k=1}^n \Delta T_k^i}{n} \quad (12)$$

$E_k^i$  farklı klasik, zorlamalı hava veya sıcak buhar ısıtma fonksiyonları için farklı  $\Delta T_k^i$  sıcaklığına göre kWh cinsinden ölçülen enerji tüketimidir. EN 60350-1 standardı gereği  $n = 3$ 'tür.

Çevrim boyunca tüketilen enerji miktarı hesaplandıktan sonra enerji verimlilik endeksi Denklem (13) kullanılarak hesaplanmıştır [15].

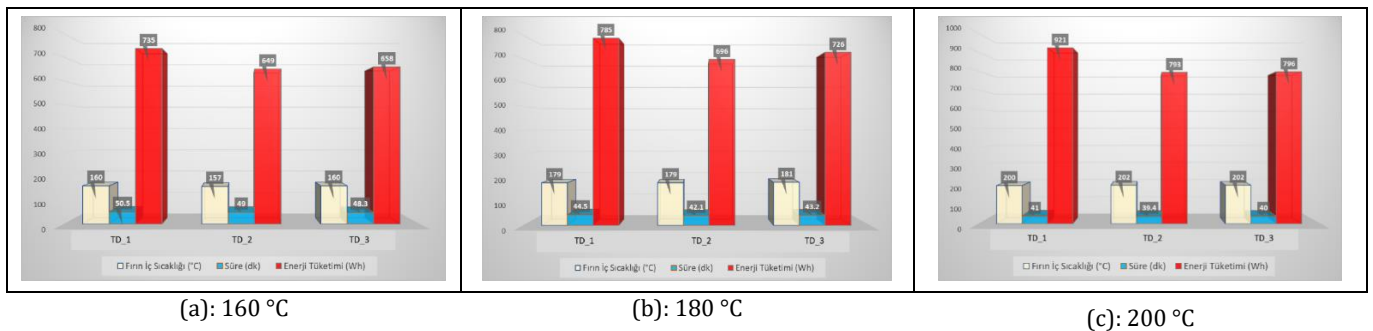
$$EEI_{kavite} = \frac{EC_{elektrik kavite}}{SEC_{elektrik kavite}} \times 100 \quad (13)$$

Burada,  $EEI$ , enerji verimlilik endeksi,  $EC$  çevrim boyunca tüketilen enerji miktarı ( $\Delta E_{\Delta T}^i, kWh$ )'dır.

Standart enerji tüketim değeri  $SEC$ ;

$$SEC = 0.0042 \times V + 0.55 \quad (14)$$

ifadesinden elde edilmiştir. Burada  $V$  fırın ölçülen hacmidir [15].



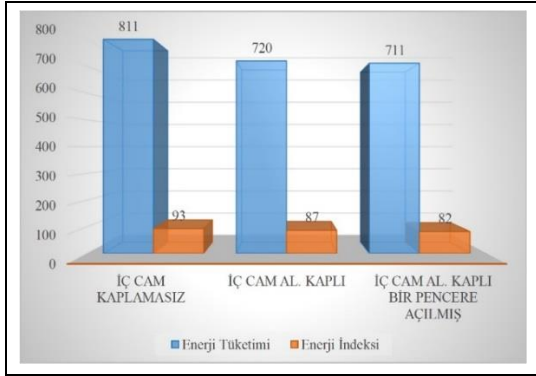
Şekil 6: 75.8 l kullanım hacmine sahip fırının iç sıcaklığı, çalışma süresi ve enerji tüketimine alüminyum tabaka kullanımının etkisi.

Enerji sınıfları Tablo 8'de gösterilen enerji endeksine göre belirlenmiştir.

Tablo 8: Enerji endeksi.

Enerji Sınıfı	Enerji Endeksi
A+++	EEI < 45
A++	45 ≤ EEI < 62
A+	62 ≤ EEI < 82
A	82 ≤ EEI < 107
B	107 ≤ EEI < 132
C	132 ≤ EEI < 159
D	EEI ≥ 159

Fırın ön kapağına uygulanan alüminyum tabakanın enerji tüketimi ve enerji endeksine etkisi Şekil 7'de gösterilmiştir. İç camında kaplama olmayan fırının enerji tüketimi 811 Wh ve enerji endeksi 93 iken, fırın iç camına uygulanacak olan alüminyum kaplama ile enerji tüketimi 711 Wh değerine düşmekte, enerji endeksi ise 82'ye yükselmiştir. Bu şekilde bir üst enerji sınıfı olan A+ sınıfına yaklaşmıştır.



Şekil 7: 75.8 L kullanım hacmine sahip fırında Alüminyum tabakanın enerji tüketimine etkisi.

Şekil 7 incelendiğinde enerji tüketiminde önemli bir yeri olan fırın ön kapağının tamamen tabaka ile kaplanması durumunda enerji tüketim değerinde 91 Wh'lık bir azalma olduğu gözlenmektedir. Eğer tabaka ile kaplanan camda 8x32 cm'lik cam açılması durumunda enerji tüketim değerinde 100 Wh'lık bir azalma olmaktadır. Fırın camının tam kaplandığı durum ile kaplama üzerinde 8x32 cm'lik cam açılarak gerçekleştirilen deneyler arasında yakın sonuçlar elde edilmiştir. Aradaki bu farkın alüminyum tabaka ile fırın camı arasında oluşan temas direncindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda temas direnci dikkate alınmamış ve her iki kaplama uygulamasında aynı olduğu kabulü yapılmıştır.

Fırın ön camında yayıcılığı düşük bir uygulamanın yapılabilmesi durumunda enerji tüketim değerinde yaklaşık %11-12'lik iyileşme beklenmektedir.

## 5 Tartışma ve sonuç

Bu çalışmada, elektrikli ankastre fırınlarda enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bu amaçla fırın iç camı alüminyum tabaka ile kaplanarak fırının enerji tüketimleri ve enerji seviyelerindeki değişimler incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada mevcut, üretimi yapılan elektrikli ev tipi ankastre fırında enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışma yapılmış, yöntemler incelenmiştir. Isı kaybının fazla olduğu fırın kapağı için enerji tüketimini azaltmak amacıyla üzerine gelen ışınım şiddetini azaltmak gerekmektedir. Deney sonuçlarına göre;

- Alüminyum tabakanın etkisi ile enerji tüketiminin azaldığı ancak enerji seviyesinin artmadığı görülmüştür. Bu nedenle fırın kapak kısmında düşük yutma katsayısına malzemeler kullanılması tercih edilmelidir,
- Ön kapakta uygulanacak yayma katsayısı düşük kaplama ile enerji tüketim değerinin %12 oranında iyileştirilebileceği görülmüştür.

Fırın ön kapağı iç yüzeyinde, yayma katsayısı düşük bir kaplama kullanılması ısının tekrar fırın içine yansıtılmasını sağlamış ve pişirme süresini hızlandırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda alüminyum tabaka kullanılması durumunda pişirme süresinde yaklaşık %4 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Fırın ön kapağında, yayma katsayısı alüminyum tabakadan daha düşük bir kaplama kullanılması durumunda, enerji tüketim değerindeki iyileştirme oranlarının daha yüksek olacağı ve enerji verimliliği seviyesinin yükseleceği düşünülmektedir.

## 6 Teşekkür

Bu çalışmada Candy Hoover, Doruk Ev Gereçleri San ve Tic. Ltd. Şti. Ar-Ge laboratuvar imkanları kapsamında bulunan deney düzeneği ve ölçüm cihazları kullanılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde sağlanan desteğe teşekkür ederiz.

## 7 Kaynaklar

- Pamir AN. "Dünyada ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları". [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134\\_7310\\_0.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_7310_0.pdf) (21.03.2018).
- Yumurtacı Z, Dönmez AH. "Konutlarda enerji verimliliği". *Mühendis ve Makine Dergisi*, 54(637), 38-43, 2013.
- Nuss JJ. "Simplified oven door window". General Electric, US3996710, United States Patent, Louisville, Kentucky, USA, 1976.
- Bonaccorsi L, Armani P, Zanetti G. "Door for an oven particularly of the ventilated type". Zanussi Elettrodomestici, EP0209115, European Patent Specification, Leamington Spa, England, 1987.
- Mikalaus G, Corson D, Paul G. "Cool multi-sectioned oven door for a large window oven". Whirlpool Co., US5441036, United States Patent, Michigan, USA, 1995.
- Fumagalli S. "Door for pyrolytic oven". Candy Spa., EP1022517, European Patent Specification, Milano Italy, 2000.
- Stahlmann R, Poerner H. "Cooler for cooking oven with oven muffle opening and door has outer and inner chambers and outer and inner door cavities, suction and blower openings". AEG Hausgerate, DE10047016, European Patent Specification, Germany, 2002.
- Gerhardinger PF. "Double sided heat barrier glass with clear CVD coating and method of making the same". Engineered Glass Products LLC, US6024084, United States Patent, Chicago, USA, 2000.

- [9] Byker HJ, Millett FA. "Heat barrier window utilising a combination of coatings", Pleotint LLC, EP1293716A2, European Patent Specification, London, England, 2003.
- [10] Kinkle R. "Oven door window". General Electric, US3177334, New York, USA, United States Patent, 1965.
- [11] Kim KS, Cho PY, Lee DJ, Ryu JH, Oh DJ. "Door of electric oven". Samsung Electronics Co Ltd., US20120285437A1, United States Patent Application Publication, Suwon-si, KR, 2012.
- [12] Scarisbrick C, Newborough M, Probert SD. "Improving the thermal performances of domestic electric ovens". *Applied Energy*, 39, 263-300, 1991.
- [13] EN 60350-1. "House hold Electric Cooking Appliances Part 1: Ranges, Ovens, Steam Ovens And Grills-Methods For Measuring Performance". Irish Standard, Dublin, Irish, 2016.
- [14] Commission Regulation (Eu) No 66/2014. Implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Ecodesign Requirements for Domestic Ovens, Hobs and Ranges, 14 January 2014.