



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **FIRIN İÇ HACMİNDEKİ ISIL DÜZGÜNLÜĞÜN KULLANICI TANIMLI FONKSİYONLAR İLE PARAMETRİK OLARAK SAYISAL İNCELENMESİ**

**DİLEK KUMLUTAŞ  
SEMİH YILMAZ  
ÖZGÜN ÖZER  
UTKU ALP YÜCEKAYA  
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**

# FIRIN İÇ HACMİNDEKİ ISIL DÜZGÜNLÜĞÜN KULLANICI TANIMLI FONKSİYONLAR İLE PARAMETRİK OLARAK SAYISAL İNCELENMESİ

*Numerical Investigation Parametrically of Thermal Uniformity Inside Oven Cavity by User Defined Functions*

**Dilek KUMLUTAŞ**  
**Semih YILMAZ**  
**Özgün ÖZER**  
**Utku Alp YÜCEKAYA**

## ÖZET

Fırınların tasarımında iç hacimdeki sıcaklık dağılımına ait ısı düzgünlüğün sağlanması en önemli hedeflerden biridir. İç sıcaklığını 500 °C civarına yükselterek kendi kendini temizleyen pirolitik fırınlarda ise bu sıcaklık dağılımıyla birlikte özellikle pirolitik yüzey olarak tanımlanan alt ve yan yüzeylerdeki ısı düzgünlüğün önemi daha da artmaktadır. Isıl düzgünlüğe ve akış dağılımına etki eden önemli parametreler arasında fırın içinde bulunan fan üfleme menfezlerinin konumu ve boyutları yer almaktadır.

Bu çalışma kapsamında, geliştirilen kullanıcı tanımlı fonksiyonlar, fırının çalışma koşullarını daha gerçekçi simule edecek şekilde iyileştirilmiştir. Daha sonra bu fonksiyonlar ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) programı kontrol edilerek, pirolitik çalışma programı sırasında, fırının termostattan aldığı sıcaklık bilgisine göre ısınma ve soğuma davranışının zamana bağlı analizi gerçekleştirilmiştir.

Fırın içerisindeki ısı düzgünlüğün iyileştirilmesine yönelik fan üfleme menfez tasarımları parametrik olarak sayısal model için incelenmiştir. Ayrıca, fırın pirolitik yüzeylerinde iyileştirmeler yapılırken, fırın iç hacmi içerisindeki ısı düzgünlük de araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl düzgünlük, Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), Pirolitik fırın, Kullanıcı tanımlı fonksiyonlar, Parametrik analiz.

## ABSTRACT

Providing thermal uniformity inside the oven cavity is one the most important goal on oven design. In self-cleaning pyrolytic ovens by raising the inner temperature to around 500 °C, the thermal uniformity on the lower and side surfaces, which are defined as pyrolytic surface together with this temperature distribution, importance increases further. Cavity inlet location and dimensions inside the oven cavity are appeared in important parameters which effect temperature uniformity and flow distributions.

The user-defined functions developed in this study have been enhanced to simulate the operating conditions of the oven more realistically. After that, according to temperature data taken by temperature regulator inside the pyrolytic function, time dependent analysis of heating and cooling behavior are realized by controlling of computational fluid dynamics (CFD) software with user defined functions.

Cavity inlet designs are investigated parametrically towards thermal uniformity enhancement of the oven numerical model. Furthermore, while enhancing oven pyrolytic surfaces, oven cavity thermal uniformity is also investigated.

**Key Words:** Thermal uniformity, Computational fluid dynamics (CFD), Pyrolytic oven, User defined functions (UDF), Parametric study.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşme ile birlikte beyaz eşya üreticileri farklılıklarını kanıtlamak için yenilik ve kullanılabilirlik sağlayan özellikleri ürünlerine ekleme arzusunda. Daha önceleri fırın temizliği, kimyasal çözücüler ve mekanik yöntemlerle uzun zamanda yapılmakta, üreticiler müşterilerden şikâyet almaktaydı. Kendi kendini temizleyebilen fırınlar bu sorunların üstesinden gelmek üzere geliştirilmiştir [1].

Kendi kendini temizleyebilen fırınlardan en yaygın kullanıma sahip olanı pirolitik fırınlardır. Pirolitik fırınlar, pişirme sonucu fırın yüzeylerinde biriken organik artıkları, yüksek sıcaklığa (>500 °C) sahip bir yanma tepkimesi ve uzun süreli (1-3 saat) çevrimler vasıtasıyla kolayca temizlenebilen kül haline getirmektedir [2],[3].

Literatürde; Sıcaklık Programlı Yanma (TPC) cihazı ile yapılan deneylerde farklı organik madde karışımları bir pirolitik fırın yüzeyi parçası (50 x 50 mm) ile denenmiş, 500 °C ve üzeri sıcaklıklarda %90 oranında kömürleşme gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan gravimetrik testler sonucunda farklı malzemeye sahip fırın yüzeyleri ile 400°C (1 saat çalışma için) civarındaki sıcaklıklara inilebileceği doğrulanmıştır [4].

Diğer bir çalışmada ise 100 x 100 mm test parçası üzerinde çeşitli organik artıklar ile yanma testleri 1 saatlik çevrim üzerinde gerçekleştirilmiş, 500 °C ve altındaki sıcaklıklara inilebileceği belirtilmiştir [5]. Yukarıda belirtilen çalışmalarda seçilen fırın yüzeyi parçaları ısı düzgünlüğe ulaştıktan sonra testler yapılmıştır. Bu nedenle fırın içerisindeki tüm yüzeylerin ısı düzgünlüğe ulaşması pirolitik fırınlar için önem arz etmektedir.

Bilimsel çalışmalarda ve endüstriyel uygulamalarda, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemi deneysel çalışmaya göre daha az maliyetli olduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. Mevcut çalışma ekibinin daha önceki çalışmalarında da belirtildiği üzere pirolitik fırınlarda HAD yöntemi kullanılarak yapılan sayısal analiz, deneysel veriler ile doğrulanmıştır [6].

Fırınlar ile ilgili yapılan diğer sayısal çalışmalarda ise sıcaklık dağılımı ışınım hesaba katılmadan zamana bağlı ve sayısal olarak incelenmiş [7], fırın fan hızı, dağıtım kanallarının verimi, ısıtıcı eleman boyutları, yerleri ve ısı üretimlerinin ısı düzgünlüğe olan etkileri, HAD yöntemi yardımıyla araştırılarak, deney verileri ile doğrulanmıştır [8]. Ayrıca bir diğer çalışmada pişirme performansına ısıtıcı elemandan olan ısı akısının etkisi incelenmiş ve HAD yazılımı için uygun kontrol yöntemi meydana getirilmeye çalışılmış [9], zamana bağlı pişirme işlemi ve esmerleşme üzerine zorlanmış taşınımlı bir fırın modeli incelenmiştir [10].

Bu çalışmaların birçoğunda ışınım etkileri ihmal edilmiş, bazılarında ise sürekli rejim kabulü yapılmıştır. Bu sebeple ilgili çalışmalarda gerçek durumdan sapmalar görülmüştür. Gerçek uygulamada ise, fırının bütünleşik ısı transferine uygun olarak incelenmesi, termostat ile çalışan ısıtıcı elemanların kontrolünün zamana bağlı olarak hesaba katılması zaruridir.

Ayrıca mevcut çalışma ekibi tarafından pirolitik fırınların sıcaklığının düzenlenmesi için aktif çekişli bir modelde fırın camının soğutulması üzerine çalışmış ve deneysel veriler ile doğrulama gerçekleştirilmiştir [11]. Bu çalışma mevcut çalışmayı bütünler nitelikte veriler içermektedir.

Tüm bu çalışmalar göz önünde bulundurularak, çalışmamızda pirolitik bir fırının sıcaklık ve iç akış dağılımları zamana bağlı olarak HAD yöntemiyle araştırılmıştır. HAD yöntemi bir paket program vasıtasıyla uygulanmış, kullanıcı tanımlı fonksiyonlar ile ısıtıcı eleman ve termostat kontrolü yapılmıştır. Gerçekçi HAD modeli sayesinde fırın içerisinde yer alan fan üfleme menfez tasarımlarının

parametrik olarak incelenebileceği sayısal bir model elde edilmiş olup, ısı düzgünlüğün iyileştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

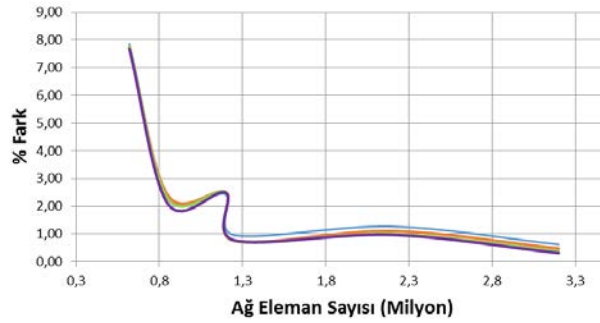
## 2. SAYISAL MODEL

Pirolitik fırının HAD analizi için, sonlu elemanlar metodunu kullanan ANSYS® CFX [12] paket programı ve FORTRAN® dilinde yazılan kullanıcı tanımlı fonksiyonlar kullanılmıştır. Kendi kendini temizleyebilen pirolitik fırınlar, pişirme sonucu fırın yüzeylerinde biriken organik artıkları, yüksek sıcaklığa (>500 °C) çıkararak kolayca temizlenebilen kül haline getirir.

Fırın içi bölgenin incelenmesi ilk etapta simetrik olarak düşünülmüş ancak parametrik çalışma için tam modelin daha uygun olacağı öngörülmüştür. Fırın içi sınır koşulları, giriş ve çıkış debileri deneysel verilerden faydalanarak tanımlanmıştır. Fan modellemesinden, gerekli zaman adımlarının çok küçük olması ve analizi aşırı derecede uzatması nedeniyle kaçınılmıştır. Mevcut çalışma ekibinin önceki verilerinden fan üfleme kanalı debi bilgileri alınmış, incelenen bölgeye giriş sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Fan kapağı emişi ise çıkış sınır koşulu olarak programa verilmiştir.

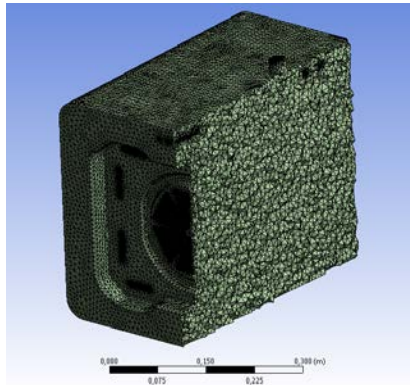
Aktif çekişli fırın yapısına uygun olarak baca bölgesi çıkış sınır koşulu olarak tanımlanmış, sıcak havanın çıkış hızı, mevcut çalışma ekibinin daha önceki çalışmasından [11] elde edilmiştir.

Sayısal model için ağdan bağımsızlık çalışması 620000, 850000, 1300000, 2200000 ve 3200000 eleman için yapılmış, Şekil 1’de görüldüğü gibi dik kesit düzlemlerinden alınan verilere göre 1300000 eleman sayısına yaklaşıldığında analiz sonuçlarında fark çok azalmıştır.



Şekil 1. Ağdan bağımsızlık çalışması

Bu nedenle 1270678 eleman sayısına sahip ağ seçilmiştir. Fırın içi hava hacmi modeline ait ağ yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Fırın içi hava hacmi modeli ağ görünümü (1270678 eleman)

Literatürde, zaman adımının analize olan etkileri incelenmiş, 10 sn.'nin üzerindeki zaman adımlarında sonuçların iraksadığı gözlemlenmiştir [13]. Bu nedenle, fırın içi hava hacmi modeli ile HAD analizi gerçekleştirilerek, zamandan bağımsızlık çalışması 1 sn., 5 sn. ve 10 sn. zaman adımları için yapılmış ve sonuçların birbirine çok yakın olması nedeniyle, yapılan analizlerde 10 sn. zaman adımı olarak seçilmiştir.

Zamana bağlı HAD analizlerinde fırının pirolitik fonksiyonda çalışma döngüsü, ısınmanın çevrime girdiği zaman aralığı için gerçekleştirilmiştir.

Sayısal modelde bütünleşik ısı transferi uygulanmış, ışınım modeli olarak yüzeyden yüzeye ısı transferi seçilmiştir [14]. Isıtıcı elemanlar içinse Monte Carlo ışınım yöntemi uygulanmıştır.

Fırın içi duvarları için mevcut çalışma ekibinin sonuçlarından [6] faydalanarak toplam ısı geçiş katsayısı ve dış ortam sıcaklık değerleri modele tanımlanmıştır. Dış ortam ile fırın içi hava etkileşiminde bu yöntemin kullanılması sayısal modelin yükünü azaltmıştır. Fırın camı sınır koşulları içinse çalışma ekibinin aktif çekişli pirolitik fırın camı incelemesinden [11] faydalanılmıştır.

Pirolitik fırınlarda sıcaklıklar bir fonksiyona bağlı olarak kademeli olarak artmaktadır. Sıcaklık kontrolü ise termostat yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Sayısal modelde termostat kontrolü kullanıcı tanımlı fonksiyonlar vasıtasıyla programa verilmiş, fırının termostattan aldığı sıcaklık bilgisine göre ısınma ve soğuma davranışının zamana bağlı analizi gerçekleştirilmiştir.

Kullanıcı tanımlı fonksiyonlar, FORTRAN programlama dilinde yazılarak kod haline getirilmiş, bu kod vasıtasıyla HAD yazılımı kontrol edilmiştir. Fırın içerisinde yer alan termostat, sıcaklık belli bir ayar değerine geldiği zaman ısıtıcı elemanların gücünü kesmekte, tolerans değerinin altına indiğinde ise tekrar gücü açmaktadır. Termostatın bulunduğu yere sayısal model içerisinde veri alma noktası tanımlanmıştır. Fırın içi sıcaklık bilgileri, her zaman adımında bu veri alma noktası ile kontrol edilerek geri besleme alınmıştır. Sıcaklıkların fırın içerisinde salınımlı olarak sabit aralıkta tutulması, ısı akısı sınır şartına sahip ısıtıcı elemanların kod yardımıyla açılıp kapanmasıyla sağlanmıştır.

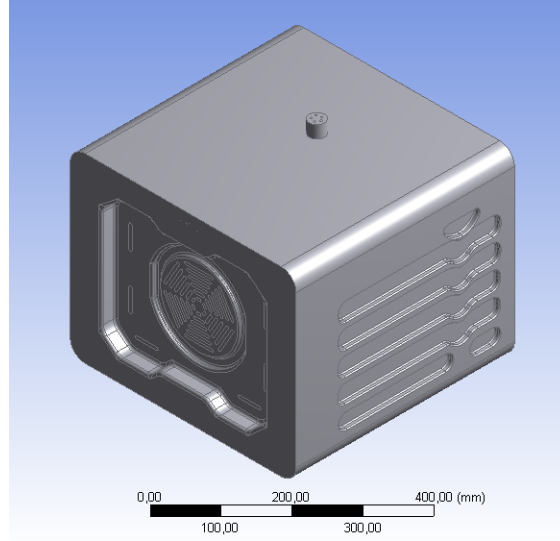
Fırın içerisinde yer alan fan üfleme menfezlerinin konumu ve boyutları bu çalışmanın temel konusu olup sayısal modelde parametrik olarak incelenmiştir. Parametreler belirlenirken menfezlerin konumu ve boyutları üretim sınırları göz önünde bulundurularak minimum ve maksimum değerler belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler; paket programda tanımlanan “design of experiments” yöntemi [15] kullanılarak örneklem haline getirilmiş, giriş boyut parametreleri olarak analize verilmiştir.

Sayısal modelde çıkış parametrelerini belirlemek için fırın alt ve yan yüzeyleri ile raflarda sıcaklık verisi alma düzlemleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu düzlemler sayesinde sıcaklıklar belli bir zaman adımı için değerlendirilmiş ve her bir düzlem için standart sapmalar hesaplanmıştır. Bu standart sapma değerleri analizin çıkış parametrelerini oluşturmuştur.

### 3. SAYISAL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Fırın orijinal geometrisi, mevcut çalışma ekibinin sayısal çalışması sonucunda üretici firmanın standartlara uygun Ar-Ge laboratuvarında deneysel veriler ile doğrulanmıştır [6].

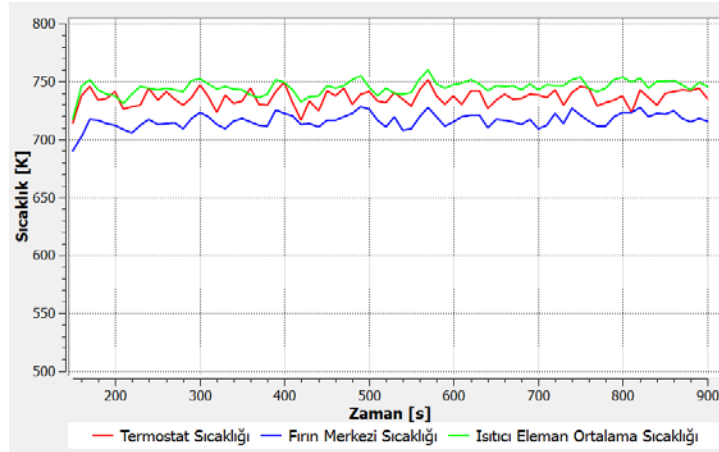
HAD Analizi çalışmasına, üretici firma geometrisini temel alan Şekil 3'te gösterilen simetrik model oluşturularak başlanmıştır.



**Şekil 3.** Fırın içi hava hacmi geometrisi

HAD analizleri kullanıcı tanımlı fonksiyonlar ile fırındaki ısıl düzgünlüğün araştırılması amacıyla belirli bir zaman aralığı için gerçekleştirilmiştir. Bu zaman aralığı; fırın sıcaklığının termostat ayar (set) sıcaklığına ulaştıktan sonraki dengeye ulaşılan salınımlı bölgeyi içermektedir. Belirlenen zaman periyodunda ısıl düzgünlüğün iyileştirilmesi, fırının pirolitik çalışma sürecinin daha kısa zamanda tamamlanmasına katkıda bulunacaktır.

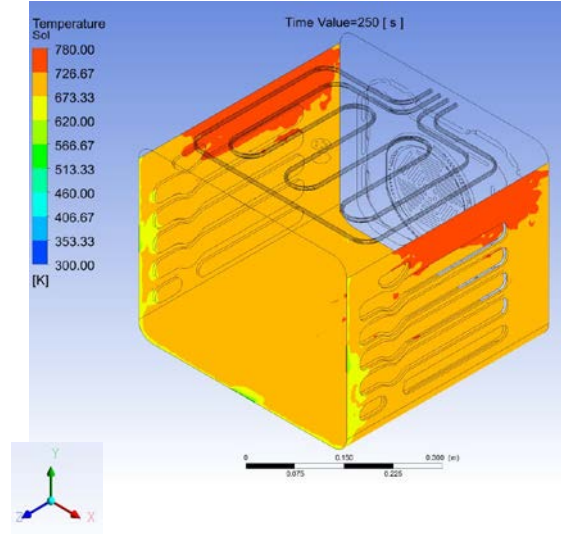
Bu çalışmada kullanıcı tanımlı fonksiyonlar geliştirilerek, hacimsel düzgün dağılımlı ısı üreten ısıtıcı elemanın çalışma periyodunun daha gerçekçi olarak tanımlanması, fırının pirolitik çalışma fonksiyonun gerçeğe daha yakın simüle edilmesini sağlamıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** Fırın iç hacmi için belirli noktalardan alınan sıcaklıkların zamana göre değişimi

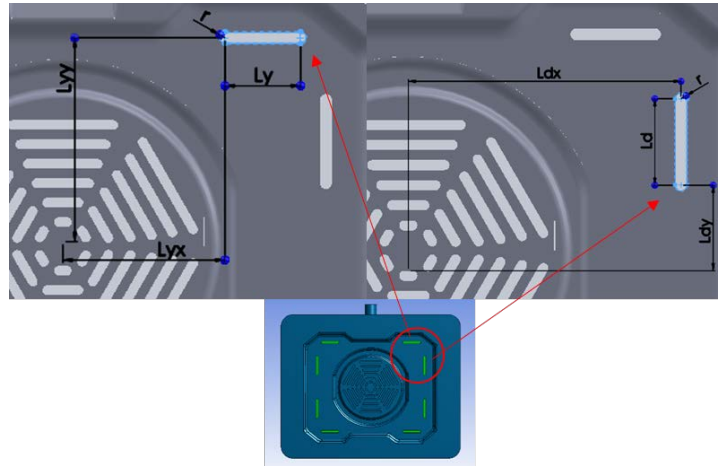
Şekil 4 incelendiğinde, seçilen zaman aralığında fırın iç hacminde yer alan termostat ve ısıtıcı eleman ortalama yüzey sıcaklıklarının fırın geometrik merkez sıcaklığı ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

Fırın içi hava hacminin pirolitik çalışma fonksiyonunda zamana bağlı HAD analizleri sonucunda, organik artıklarının en çok biriktiği fırının alt ve yan yüzeylerindeki sıcaklık dağılımları Şekil 5'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Fırın alt ve yan yüzeylerinin sıcaklık dağılımı

Parametrik çalışma için fırın içerisinde yer alan fan üfleme menfezlerinin konumu ve boyutları tasarımı yapılan geometri üzerinde Şekil 6 'da belirtildiği gibi ölçülandırılmıştır.



**Şekil 6.** Fan üfleme menfezlerinin boyutlandırılması

Ölçülandırılan bu boyutlar, parametrik HAD analizine “design of experiments” yöntemi yardımıyla üretim sınırları göz önünde bulundurularak verilmiştir. Bu aralık dâhilinde 16 farklı ölçüye sahip örneklem seti belirlenmiş (Tablo 1) ve HAD yazılımı ile çözülmüştür.

Çıktı parametresi olarak verilen fırın yüzeylerine ait sıcaklık verisi alma düzlemleri için standart sapma değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Parametrik analizde veri alma düzlemlerinde ısı dâğılımının göstergesi olarak standart sapma değerleri araştırılmış; minimum, maksimum ve ortalama değerler ortaya çıkarılmıştır. Veriler, fırın ayar sıcaklığına ulaştıktan sonraki belirlenen zaman adımında alınmıştır.

**Tablo 1.** Parametrik örneklem seti

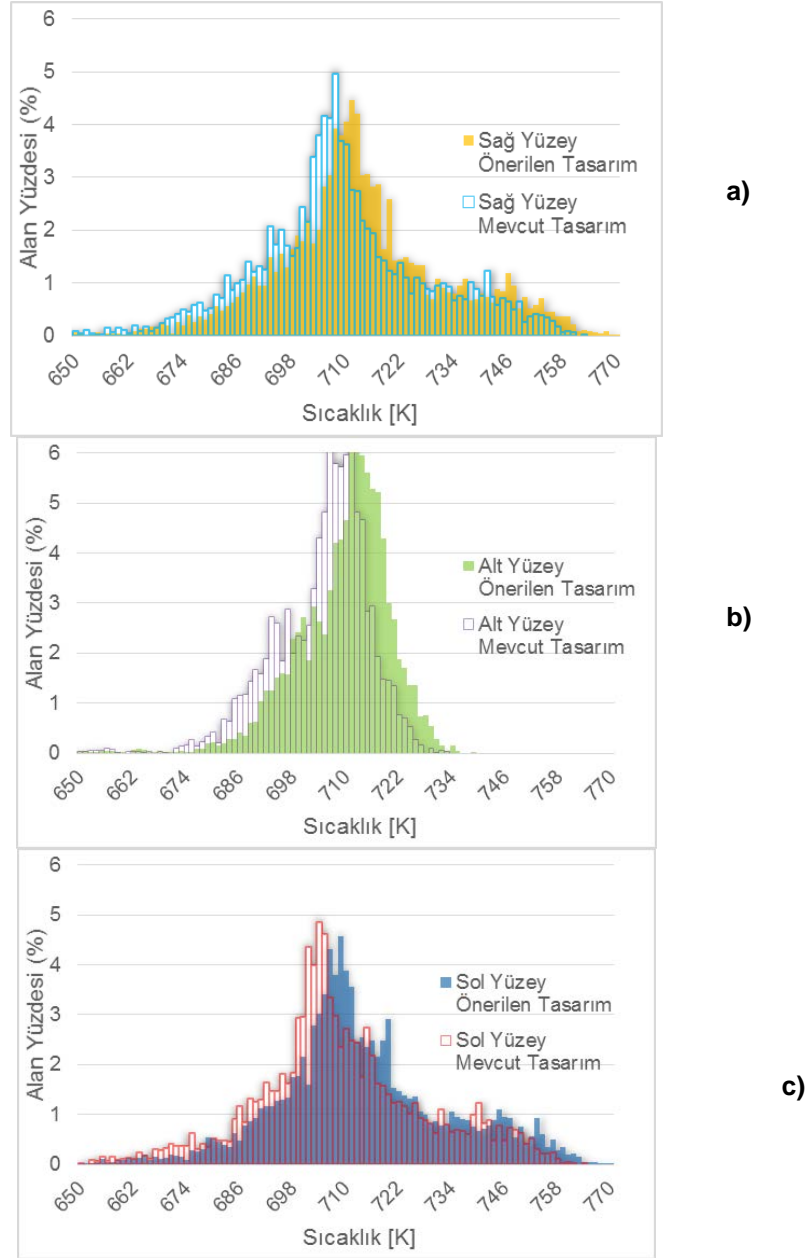
No	L <sub>y</sub> [mm]	L <sub>d</sub> [mm]	r [mm]	L <sub>yx</sub> [mm]	L <sub>dx</sub> [mm]	L <sub>dy</sub> [mm]	L <sub>yy</sub> [mm]
Ref	39.00	43.00	3.00	83.00	134.88	32.49	39.00
1	30.43	46.65	2.73	83.48	121.40	34.65	96.77
2	30.60	30.68	2.25	84.57	122.68	12.53	97.10
3	30.75	31.25	4.82	61.18	144.76	30.12	118.36
4	31.04	49.37	4.93	84.08	122.91	15.40	119.62
5	31.26	49.31	2.07	63.75	124.91	13.03	119.19
6	32.25	42.10	2.10	60.58	121.23	14.55	95.23
7	32.53	44.40	4.62	60.24	144.99	10.81	96.66
8	32.77	46.28	4.13	60.46	122.28	34.17	119.94
9	43.62	48.99	2.07	82.62	121.11	11.29	95.92
10	45.22	40.11	4.89	61.05	120.07	11.81	119.38
11	47.24	31.56	2.27	66.99	144.00	32.66	118.33
12	47.96	31.55	4.49	83.47	125.49	34.13	119.37
13	48.22	47.10	2.02	83.37	144.09	14.37	116.05
14	48.66	30.91	4.98	60.33	144.84	34.97	96.52
15	49.24	48.58	4.84	63.08	120.23	34.45	102.80
16	49.43	49.30	2.26	69.41	144.56	34.38	98.93

**Tablo 2.** Sıcaklık veri alma düzlemleri için standart sapma değerleri

No	Standart Sapma Alt Yüzey (K)	Standart Sapma Sağ Yüzey (K)	Standart Sapma Sol Yüzey (K)	Standart Sapma Tüm Yüzeyler (K)	Referansa Göre Değişim Oranı
Ref	19.8910	28.3459	28.7312	25.2421	%0.00
1	22.8220	19.9411	28.9802	24.7422	-%2.10
2	19.6098	26.1252	28.215	24.0271	-%4.93
3	24.9737	28.8479	25.539	26.2477	%3.86
4	25.2150	24.7909	31.6187	27.8346	%10.14
5	23.1786	15.0915	32.5625	24.7139	-%2.21
<b>6</b>	<b>20.0124</b>	<b>27.5822</b>	<b>21.1321</b>	<b>22.7132</b>	<b>-%10.13</b>
7	25.7994	24.1433	24.0648	25.6418	%1.46
8	21.3573	28.9361	30.2116	26.9226	%6.53
9	21.7454	24.7173	30.0742	25.5016	%0.91
10	26.0615	29.2808	28.0930	28.1858	%11.53
11	26.2129	30.5527	15.3500	25.1998	-%0.29
12	26.6529	31.9221	24.0991	28.0927	%11.16
13	26.1710	25.7885	15.4558	23.4015	-%7.40
<b>14</b>	<b>27.0619</b>	<b>36.5439</b>	<b>16.8875</b>	<b>28.7228</b>	<b>%13.65</b>
15	26.5683	27.0287	26.7281	27.0310	%6.96
16	25.7934	27.7579	17.7874	24.7938	-%1.89

Tablo 2'de görüldüğü gibi, 6 numaralı tasarım alternatifi en iyi sonuçları vermiş, standart sapma değerinde %10.13 azalma gözlemlenerek ısı düzgünlüğüne de daha fazla yaklaşılmıştır. Ayrıca, mevcut ve önerilen tasarımlar için fırın alt, sağ ve sol yüzey sıcaklık histogramlarının karşılaştırılması Şekil 7'de sunulmuştur.

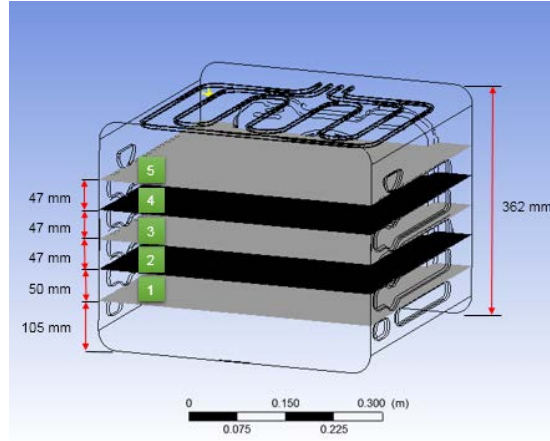




**Şekil 7.** Mevcut ve önerilen tasarımlar için fırın a) alt yüzey, b) sağ yüzey, c) sol yüzey sıcaklık histogramlarının karşılaştırılması

Şekil 7 incelendiğinde; önerilen tasarıma ait histogramların genliklerinin mevcut tasarımlarinkilere göre daha dar oldukları görülmektedir. Bu da aynı sıcaklığa sahip noktaların sayısının daha fazla olduğunu, bir başka deyişle ısı düzgünlüğünün daha iyi sağlandığının göstergesidir. Ayrıca, histogramlardaki tepe noktaları değerlendirildiğinde önerilen tasarımda elde edilen sıcaklık ortalamalarının mevcut tasarıma göre daha yüksek olduğu ifade edilebilir. Bu durum, fırının pirolitik çalışma sürecinin daha kısa zamanda tamamlanmasını sağlayabilir.

Pirolitik yüzeylerin ısı düzgünlüğü incelenirken aynı zamanda fırın içerisindeki raf bölgelerine ait düzlemlerden de veriler alınmıştır. Fırın duvarlarında iyileştirmeler yapılırken, fırın iç hacmi içerisindeki ısı düzgünlük de araştırılmıştır. İnceleme için raf bölgelerine konulan sıcaklık veri alma düzlemlerinin konumları Şekil 8'de verilmiştir.



**Şekil 8.** Raf bölgelerine ait sıcaklık veri alma düzlemlerinin konumları

Parametrik analiz sonucunda değerlendirilen tasarımların veri alma düzlemlerindeki sıcaklık değerleri ısı düzgünlük açısından incelenmiş ve kritik sonuçlar Tablo 3’de sunulmuştur. Piroolitik yüzeylerde ısı düzgünlük arttıkça raf bölgelerinde de benzer biçimde ısı d zg nl ge yaklaşıldığı görülmüştür.

**Tablo 3.** Raf Bölgelerine ait düzlemlerdeki standart sapma değerleri

	Std. Sapma Raf 1 (K)	Std. Sapma Raf 2 (K)	Std. Sapma Raf 3 (K)	Std. Sapma Raf 4 (K)	Std. Sapma Raf 5 (K)
Mevcut Tasarım	4.06644	5.76604	6.52542	7.03568	6.08043
Tasarım Alternatifi 6	3.50969	3.95750	8.19935	5.04486	4.59060
Tasarım Alternatifi 14	5.53016	8.40871	8.63648	5.56475	8.61344

#### 4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada kullanıcı tanımlı fonksiyonlar geliştirilerek, hacimsel düzgün dağılımlı ısı üreten ısıtıcı elemanın çalışma periyodunun daha gerçekçi olarak tanımlandığı bir fırının, pirolitik çalışma fonksiyonunun gerçekçi olarak simule edilmesi sağlanmıştır.

Fan  fleme menfezlerinin konum ve boyutlarının parametre olarak verildiği, 16 farklı tasarım alternatifi için üç boyutlu fırın iç hava hacminin sayısal modeli oluşturularak, kullanıcı tanımlı fonksiyonlar ile zamana bağlı HAD analizleri gerçekleştirilmiştir.

HAD analizleri sonucunda; fırın alt ve yan yüzeylerinden elde edilen sıcaklık histogramları karşılaştırılarak, mevcut tasarıma göre ısı düzgünlük açısından en iyi olarak değerlendirilebilecek tasarım alternatifi önerilmiştir. Seçilen en iyi tasarım alternatifi, mevcut tasarım ile karşılaştırılmış ve standart sapma değerinde %10.13 azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Böylece; pirolitik bir fırının tasarım sürecinde, pirolitik yüzeylerdeki organik artıkların daha hızlı ve kolay bir şekilde k l haline gelebilmesini sağlayan ısı düzgünlük parametresinin önemi vurgulanmıştır.

Ayrıca, fan üfleme menfezlerinin konum ve boyutlarının pirolitik yüzeyler ile birlikte raf bölgelerine olan etkileri de incelenmiştir.

Çalışmada sunulan yöntem ile ısı düzgünlüğün iyileştirilmesi, fırının pirolitik çalışma sürecinin mevcut durumdan daha kısa zamanda tamamlanmasına katkıda bulunacaktır. Böylece, hem fırın tasarım sürecinde prototip sayısının azaltılmasıyla iyileştirme sağlanmış olacak hem de pirolitik çalışma maliyeti düşürülecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] MAITENAZ, P., "Catalytically Assisted Pyrolytic Self-cleaning Oven", US Patent No:3962561, 1976.
- [2] SCHOLTES, E., "Pyrolytic Self Cleaning Cooker Ovens", GB Patent No: 1457579, 1978
- [3] EISENBERG, R., SCHOLTES, E., "Pyrolytic Self Cleaning Cooker Ovens", GB Patent No: 1481401, 1978
- [4] PALMISANO, P., HERHANDEZ, S.P., HUSSAIN, M., DEBORA, F., RUSSO, N., "A New Concept for a Self-cleaning Household Oven", Chemical Engineering Journal, 176-177, 253-259, 2011.
- [5] PALMISANO, P., FARALDÍ P., FÍNO, D., RUSSO, N., "Household Oven Self-cleaning Surfaces via Catalytic Thermal Oxidation", Chemical Engineering Journal, 154, 251-257, 2009.
- [6] KUMLUTAŞ, D., ÖZER, Ö., ÜNSALAN, İ. D., "Bir Fırın İç Hacminin Piroolitik Çalışma Sırasındaki Isıl Davranışının Sayısal Yöntemle Zamana Bağlı İncelenmesi", 2. Ulusal İklimlendirme Soğutma Eğitimi Sempozyumu ve Sergisi, IKSES-14 Bildiriler Kitabı sayfa 512-519, 2014.
- [7] VERBOVEN, P., SCHEERLİNCK, N., DE BAERDEMAEKER, J., NİCOLAI, B. M., "Computational Fluid Dynamics Modelling and Validation of the Temperature Distribution in a Forced Convection Oven", Journal of Food Engineering, 43(2), 61-73, 2000.
- [8] SMOLKA, J., NOWAK, A. J., RYBARZ, D., "Improved 3-D temperature Uniformity in a Laboratory Drying Oven Based on Experimentally Validated CFD Computations", Journal of Food Engineering, 97(3), 373-383, 2010.
- [9] OUSEGUÍ, A., MORESOLÍ, C., DOSTIE, M., MARCOS, B., "Optimal Control and CFD Modeling for Heat Flux Estimation of a Baking Process", Computers and Chemical Engineering, 38, 139-150, 2012.
- [10] KOKOLJ, U., ŠKERGET, L., RAVNİK, J., "A Numerical Model of the Shortbread Baking Process in a Forced Convection Oven", Applied Thermal Engineering, 111, 6-8, 2016.
- [11] KUMLUTAŞ, D., ÖZER, Ö., EKER, B., ÜNSALAN, İ. D., "An Aspirating Cooling System for Regulating Temperature of Pyrolytic Oven Glass", Applied Thermal Engineering, 111, 112-121, 2017.
- [12] ANSYS INC., "Ansys CFX", Ver 17.2, 2016.
- [13] MISTRY, H., GANAPATHISUBBU, S., DEY, S., BISHNOI, P., CASTILLO, J.L., "A Methodology to Model Flow-Thermals Inside a Domestic Gas Oven", Applied Thermal Engineering 31, 103-111, 2011.
- [14] MISTRY, H., GANAPATHISUBBU, S., DEY, S., BISHNOI, P., CASTILLO, J. L., "Modeling of Transient Natural Convection Heat Transfer in Electric Ovens", Journal of Applied Thermal Engineering 26, 2448-2456, 2006.
- [15] ANSYS INC., "Ansys DesignXplorer User's Guide", Ver 17.2, 2016.

## ÖZGEÇMİŞ

### Dilek KUMLUTAŞ

İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversite'nin Enerji Anabilim dalında 1994 yılında Yüksek Lisans, 1999 yılında Doktora Eğitimini tamamlamıştır. 1990-1999 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1999-2007 yılları arasında Yardımcı Doçent, 2007-2013 yılları arasında Doçent olarak görev yapmıştır. 2013 yılından beri Makine Mühendisliği Bölümü'nde Profesör olarak çalışmakta ve 2016 yılından itibaren de Enerji Anabilim Dalı Başkanlığı görevini yürütmektedir.

### Semih YILMAZ

1985'te Ankara'da doğmuştur. 2007 yılında Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2011 yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans mezunu olmuştur. 2008-2012 yılları arasında Senka Enerji Ltd. Şti. firmasında proje mühendisi olarak işe başlamış, 2012 yılında MES Klima Ltd. Şti. firmasında yöneticilik, 2012-2013 yılları arasında Temesist Raf Sistemleri Ltd. Şti.'nde Bölge Satış Müdürlüğü yapmış, halen Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Aynı zamanda Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Enerji Doktora programına devam etmektedir.

**Özgün ÖZER**

1984 İzmir doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 2008 yılında, Anadolu Üniversitesi Fotoğrafçılık ve Kameramanlık Bölümünü 2011 yılında, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Enerji Yüksek Lisans programını 2011 yılında ve Anadolu Üniversitesi Felsefe Bölümünü 2015 yılında tamamlamıştır. Şu anda Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Enerji Doktora programına devam etmektedir. Ayrıca İzmir Fotoğrafçılar Odasında 2005 yılından beri gönüllü uzman fotoğraf eğitmeni olarak çalışmaktadır. 2016'dan itibaren İzmir Fotoğrafçılar Odası Eğitim Müdürlüğü görevini sürdürmektedir.

**Utku Alp YÜCEKAYA**

1991'de Sivas'ta doğmuştur. 2014 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Yüksek Lisans Programı'nda yüksek lisansına devam etmektedir.