

Effect of External Insulation on Drying Time and Energy Consumption in Food Drying Oven

* Faruk KILIÇ¹¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06374, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 27/05/2019

Revision: 27/07/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- The effect of insulation in FDO.
- Instant and cumulative electricity consumption in apple drying.

Keywords

FDO insulation
Energy consumption in FDO
Apple drying

The effect of glass wool and stone wool insulation on energy consumption and drying time was investigated in the Food Drying Oven (FDO). All experiments were carried out by drying apples at 80 °C. The measurement error is minimized by using the arduino card load cell with microcontroller to reduce errors in weight measurement. Cumulative electricity consumption was 1,287 kWh in glass wool, 1,265 kWh in stone wool and 1,420 kWh in uninsulated. 10,97% energy saving was achieved by insulating.

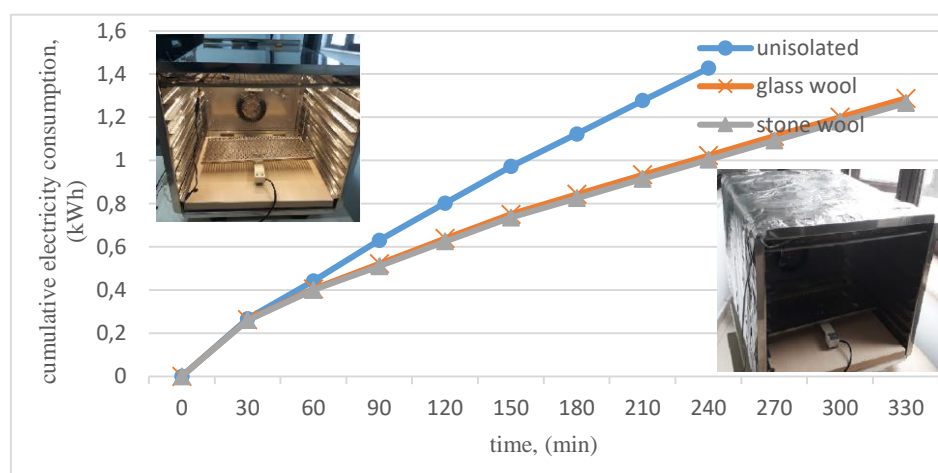


Figure A. Cumulative energy consumption with and without insulation in apple drying

Purpose: The aim of this study is to obtain drying time, instant and cumulative electricity consumption, the Specific Energy Consumption (SEC) and the Specific Moisture Extraction Rate (SMER) of uninsulated-insulated FDO by drying apples.

Theory and Methods: Arduino (uno), which includes drying parameters such as temperature, humidity, weight and time, which is an important data source in the drying process, has printed the signals received from the sensors on the computer screen instantly. The thermostat switches the ambient temperature dependent circuit on and off without using software and controlled the operation of the coincident center synchronous fan-motor duo. Glass wool and stone wool used as insulation material were covered with aluminum foil tape as 2,5 cm in the oven and the system was examined on the basis of the 1st law of thermodynamics.

Results: In the apple drying, the time-dependent weight graph was obtained and the uninsulated test was completed in 240 minutes glass wool and stone wool tests were completed in 330 minutes. Although the experiments with glass wool and stone wool insulation took a long time, it consumed less energy than uninsulated experiments. In apple drying, SMER and SEC were calculated over time.

Conclusion: In this study, the electricity consumption in the uninsulated state has stabilized at 0,15 kWh and glass wool and stone wool at 0,1 kWh. The cumulative electricity consumption of all experiments was 1,420 kWh in uninsulated, 1,287 kWh in glass wool and 1,265 kWh in stone wool. Uninsulated energy consumption saves 10,97% energy compared to insulated. Specific energy consumption in the range of 60-120 minutes in the range of 10 kWh / kgwater watched from the 150th minute in uninsulated and 240th minute in insulated has increased sharply.

GU J Sci, Part C, 7(3): 604-613 (2019)

Gazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Dergisi

PART C: TASARIM VE TEKNOLOJİ

<http://dergipark.gov.tr/gujsc>

Gıda Kurutma Fırınında Dış Yalıtımın Kurutma Süresine ve Enerji Tüketimine Etkisi

*Faruk KILIÇ¹¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06374, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Deneyel olarak yapılan çalışmada mikro denetleyici ile yönetilen, daha önceden tasarlanıp imalatı yapılan, Gıda Kurutma Fırınında (GKF) cam yünü ve taş yünü yalıtımının enerji tüketimine ve kurutma süresine etkisi incelenmiştir. Kurutulacak gıda olarak elma seçilmiş ve yalıtımlı-yalıtımsız bulguları karşılaştırabilmek amacı ile deneylerin tamamı 80 °C de yapılmıştır. Ağırlığın ölçümü için fırın dışına çıkartarak ölçüm yapıp tekrar fırın içine alıp kurutmaya devam etmek gibi ölçme cihazı hatalarını azaltmak amacı ile mikrodenetleyici içeren arduino kartı yük hücresi kullanılarak bu ölçüm hatası en aza indirilmiştir. Kurutmada yalıtımsız yapılan deneyler 240 dakika cam yünü ve taş yünü yalıtımı ile yapılan deneyler ise 330 dakika sürmüştür. Yalıtımsız deneylerin ortalama (aritmetik) elektrik tüketimi 0,15 kWh, cam yünü ve taş yünü ortalama (aritmetik) elektrik tüketimi 0,1 kWh değerlerinde seyrettiği görülmüştür. Tüm deneylerin kümülatif elektrik tüketimi cam yününde 1,287 kWh, taş yününde 1,265 kWh ve yalıtımsızda 1,420 kWh olmuştur. Yalıtımlı-yalıtımsız enerji tüketimi karşılaştırıldığında % 10,97 enerji tasarrufu elde edilmiştir. 60-120 dakika aralığında özgül enerji tüketimi (SEC) 10 kWh/kgsu aralığında seyrederek yalıtımsızda 150 dakikadan yalıtımlıda ise 240 dakikadan sonra keskin bir artışa geçmiştir. Özgül nem çekme oranı (SMER) 60-90 dakika aralığında tepe noktasına ulaşmış 0,14-0,16 kgsu/kWh aralığında değerler almıştır. Devamında 180. dakika ya kadar keskin bir azalma elde edilmiştir. 180. dakikadan sonra taş yünü ve cam yünü SMER'i 0,40 kgsu/kWh yakınlarında yalıtımsız deneylerin SMER'i 0,20 yakınlarında değerler almıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 27/05/2019

Düzeltilme: 27/07/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Gıda kurutma fırını yalıtımı

Gıda kurutma fırını enerji tüketimi

Elma kurutma

Keywords

FDO insulation

Energy consumption in FDO

Apple drying

Effect of External Insulation on Drying Time and Energy Consumption in Food Drying Oven

Abstract

In the experimental study, the effect of glasswool and stone wool insulation on energy consumption and drying time in FDO, which was previously designed and manufactured by microcontroller, was investigated. The apple was selected as the food to be dried and all the tests were done at 80 ° C in order to compare the insulated and non-insulated findings. This measurement error is minimized by using an arduino card load cell with microcontroller to reduce measurement device errors, such as measuring the weight, taking it out of the oven and taking it back into the oven and continuing to dry. The experiments carried out without insulation in the drying period lasted 240 minutes, while the glass wool and stone wool insulation tests lasted for 330 minutes. The average (arithmetic) electricity consumption of the uninsulated experiments was 0.15 kWh and the average (arithmetic) electricity consumption of glass wool and stone wool was 0.1 kWh. The cumulative electricity consumption of all experiments was 1,287 kWh in glass wool, 1,265 kWh in stone wool and 1,420 kWh in uninsulated. Compared to uninsulated and uninsulated energy consumption, 10,97% energy savings were achieved. Specific Energy Consumption (SEC) in the range of 60-120 minutes has been observed in the range of 10 kWh / kgwater and has increased sharply after 150th minute in uninsulated and 240th minute in insulated. 60-120. The Specific Moisture Extraction Rate (SMER) reached its peak in the range of 60-90 minutes and received values in the range of 0.14-0.16 kg / kWh. Thereafter, a sharp reduction of up to 180 minutes was obtained. After 180 minutes, SMER of stone wool and glass wool was found to be 0,4 kg water / kWh.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations) öngörülerine bakıldığında 2017 yılında Dünyada 4933841 hektar alana ekili olan elmadan 83139326 ton ürün alınacağı beyan edilmiştir. Bu verilere bakılırsa 168508 hektogram/hektar verim alınmıştır [1]. 2017 Türkiye verileri ise 175357 hektar alana ekili olan elmadan 3032164 ton ürün alınacağı tahmin edilmiştir. Türkiye, Dünya üretiminde % 3,64 lük bir kapasiteye sahip durumdadır. FAO verilerine göre 172914 hektogram/hektar verim hesaplanmıştır. Bu değer Dünya ortalama veriminin iki katından daha fazlasıdır [1].

Türkiyenin sadece elma için sahip olduğu potansiyeli diğer gıdalar içinde düşünecek olursak bu gıdaların mahsul dönemi içinde ucuza satmak zorunda kalan üretici için büyük bir potansiyel olan kurutmanın önemi daha iyi anlaşılacaktır. Gıda kurutma, gıda bünyesindeki su oranını %75-95 oranlarından %10-20 oranlarına düşürme olarak tanımlanmıştır [2]. Artan gıda tüketimi göz önünde bulundurulduğunda gıda teminini sağlayan başlıca unsurlardan biridir. Dondurarak veya konserve ederek saklamaya göre değerlendirdiğimizde daha fazla kullanılan bir yöntem olduğu bilinmektedir [3]. Kurutma, ürünlerin nem içeriğini azaltmakla beraber, enzimatik aktivite, hoş koku ve en önemlisi de antioksidan kapasite gibi fiziksel ve biyolojik yapıyı değiştirir [4]. Gıda, kurutma teknikleri sayesinde mevsim dışında da kullanılabilir [5]. Variyenli ve ark. farklı tipte (sandık, kutu ve salyangoz tipi) güneş ocakları imal edip su ve patates deneyleri yapılarak performanslar karşılaştırmıştır. Su kaybına göre değerlendirildiğinde en iyi performans ortalama % 32.5'lik performans gösteren salyangoz tipi güneş ocağıyla elde edilmiştir. Patates ile pişirme deneyleri yapılmış en kısa sürede 180 dakika ile salyangoz tipi güneş ocağı sonuca ulaşmıştır [6]. Kurutmada önemli faktörlerden biride kurutma ortamını kontrol edebilmektir. Aktaş ve ark. kızılötesi bir sistemin gücünü, ürünün yüzey sıcaklığına göre kontrol etmeyi başarmışlardır. Bunu yaparken, kızılötesi ısıtıcı yüzey sıcaklığın, ürüne zarar veremeyecek aralıkta kontrol etmiştir. Analiz sırasında, ahşapların yüzey sıcaklığı ortalama 65 °C, en düşük sıcaklık ise 45 °C olmuştur. Sistemde kullanılan hava toplayıcının %50 verimli olduğu tespit edilmiştir. 13 saatlik bir kuruma süresinin sonunda, çam kerestelerinin nem içeriği 1.42'den 0'a düşürülebilmektedir [7].

Gıda kurutma fırınlarında enerji önemli bir yer tutmaktadır. Çoğunlukla gaz ve elektrikli olarak tasarlanan gıda kurutma fırınlarında enerji tasarrufu yöntemlerinden en önemlilerinden biride yalıtımdır. Gıda kurutma fırınlarında enerji tasarrufu ve verimliliği üzerine birçok çalışma vardır ancak yalıtımın etkisi üzerine yapılmış akademik çalışma pek fazla bulunmadığı söylenebilir. Gürel ve ark. Türkiye'nin dört farklı iklim bölgesinde ısı yalıtım kalınlığının ekonomik ve çevresel etkileri üzerine çalışma yapmıştır. Türkiye'nin dört iklim bölgesinde Antalya, Manisa, Ankara ve Sivas için iki farklı yalıtım malzemesinin (ekstrüzyon polistiren ve taş yünü) ve beş farklı yakıt türünün kullanımında optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda optimum yalıtım kalınlığının 0.016 ile 0.145 m arasında, enerji tasarrufunun ise 1.79 \$ / m² ile 103.44 \$ / m² arasında olduğu görülmüştür [8]. Ceylan ve ark. yük sensörü ile kurutmayı takip ederek psikrometrik analiz yapmıştır. Bu değerlere bağlı olarak, 50 saatte çam kerestesinden 5.7 kg, kavak keresteden ise 70 saatte 12.5 kg nem çekilmiştir [9].

Mukherjee S. ve arkadaşları endüstriyel fırınların mükemmellik kazanabilmesi için fırın parametreleri üzerinde değişiklik yaparak bu değişikliklerin fırın performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Fırın içindeki enerji akışı, ısı kayıplarındaki azalmayı tahmin etmek için deneysel olarak belirlenmiş girdiler kullanılarak modellenmiştir. Fırın performansında % 8,5 iyileşme sağlayan çalışma ile operasyonel verimlilikte artış elde etmiştir [10]. Fırın verimliliği hakkında yapılmış olan bu çalışmada; gıda pişirme işleminde gerekli olan enerji sarfiyatını, fırın havası nemini, fırın yalıtımını, ısı eşanjöründen gelen akışkanlardan kaynaklanan ısı kaybını araştırmıştır. Enerji kullanımı ve kayıpları hakkında çalışmış ve bir ısı geri kazanım sistemi ile elde edilebilecek enerji tasarrufunu hesaplamıştır [11]. Fırın muayene ve denetimleri ile ilgili kontrol ve ayrıntılarla ilgili teknik bilgiler verilmiştir [12]. Fırında yakıt verimliliğini en az % 15 artıran, pişirme için kullanılacak atık ısıyı geri kazanan bir sistem tasarımı yapılmıştır [13]. Davidson ısı transferi ve fiziksel performans bakımından fırın konveyör bantlarının ürüne etkisini araştırmış ve fırın konveyör bantlarını sınıflandırmıştır [14]. Endüstriyel fırınların durumu hakkında araştırmalar yapmıştır [15]. Walker fırın teknolojilerinden bahsettiği çalışmada, hibrit fırınlar ve ısı transfer mekanizmaları hakkında çalışmıştır [16].

Bu çalışmanın amacı gıda kurutma fırınında yalıtımsız-yalıtlı halin kurutma süresi, anlık ve kümülatif elektrik tüketimi, özgül enerji tüketim ve özgül nem çekme oranını elma kurutarak elde etmektir.

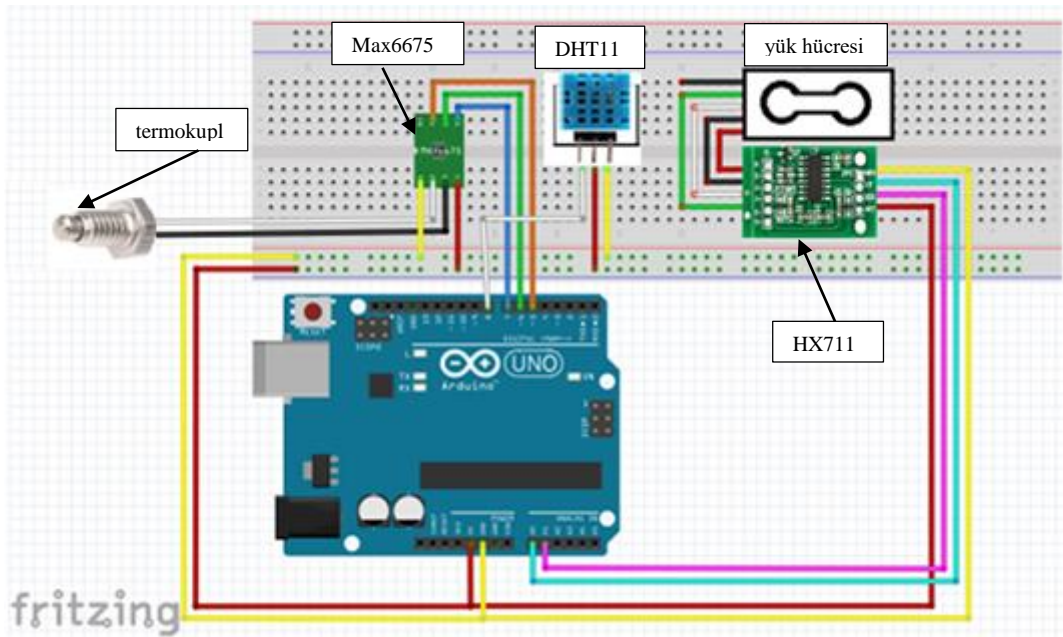
2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

GKF çalışma prensibi olarak mikro denetleyici içeren arduino (uno) ile gıda kurutma fırınında kurutma için önemli olan sıcaklık nem, ağırlık ve süre gibi kurutma parametreleri kaydedilmiştir.



Şekil 1. Yalıtımlı – yalıtımsız GKF

Fırın iç hacminden, gıda ağırlığı, ısı, bağıl nem gibi veriler mikrodenetleyici aracılığıyla alınıp, bilgisayara aktarılmıştır. Sıcaklık ölçümü termokupl ile fırın üst hacmi ölçülerek yapılmıştır. Gıdanın ağırlığı yük sensörü (load cell) ile ölçülmüştür. Termokupl ve yük sensöründen alınan sinyaller arduino kartına yüklenebilen yazılım sayesinde anlamlandırılmıştır. Deney düzeneği üzerindeki tüm ölçümler tek yazılımla aynı anda ölçülerek kaydı ekrana yazdırılmıştır.



Şekil 2. Arduino mikrodenetleyici ile nem, sıcaklık ve ağırlık ölçüm blok diyagramı

GKF fan-rezistans çakışık merkezli olup eş zamanlı çalışmaktadır. Termostat yazılım kullanmaksızın ortam ısısına bağımlı devreyi açıp-kapatmakta ve fan-motor ikilisini eş zamanlı olarak çalışmasını kontrol etmektedir.

Tablo 1. GKF düzeneği, kullanılan cihaz ve özellikleri

kullanılan cihaz	özellikleri	ölçüm aralığı
yük hücresi	ağırlık kapasitesi (en fazla)	1 kg
termokupl	sıcaklık ölçümü	-20 °C ~ 85 °C
zaman rölesi	ortam / depolama sıcaklığı	0...50 °C/-25...70 °C
tek fazlı aktif sayaç	frekans	50 Hz
	çalışma sıcaklığı	-40 ~ 80 °C

Yalıtım malzemesi olarak kullanılan cam yünü ve taş yünü 2.5 cm olarak alüminyum folyo bant ile fırına kaplanmıştır. Cam yünü ve taş yününün ısı iletkenlik katsayısı (λ) 10 °C için 0,035~0,040 W/mK aralığındadır. Taş yünü ve cam yünü su buhari difüzyon direnç faktörü $\mu=1$ 'dir. Deneylerde yalıtım malzemesi olarak cam yünü ve taş yününün seçilme sebebi yalıtımda en çok kullanılan malzemeler olmasıdır.

Termodinamiğin 1. kanununa göre sistemi incelediğimizde, rezistansa elektrik enerjisi verilerek (W_r) fırın içi sıcaklığı istenilen aralıkta tutulmuştur. Kurutulacak elmanın (Q_e) istenilen sıcaklığa kadar ısıtılması ve fırın içindeki havanın (Q_h) ısıtılması için gerekli ısı miktarı hesaplanmamıştır. Ancak ilk anda istenilen fırın sıcaklığına yükselirken anlık tüketimin yüksek çıkmasına sebep olacağı bilinmektedir. Fırın iç sıcaklık dağılımının homojen olması amacı ile fan (W_f) rezistansla eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Gıda kurutma fırınında fırın içinde oluşan ısı kaçaklar (Q_k) ve fırın duvarlarından (Q_d) dışarı ısı atılmaktadır.

Denge halindeki bir sistem için

$$E_{giren} = E_{çıkan} \quad 1$$

olur.

$$W_r + W_f = Q_k + Q_d + Q_h + Q_e \quad 2$$

olarak elde edilmiştir.

Fan ve rezistans toplam enerjisi sayaç yardımı ile ölçülebilmektedir. Eşitlik 2 den anlaşılacağı üzere W_r ve W_f için harcanan iş Q_k , Q_d , Q_h ve Q_e toplamına eşittir [17]. Elmanın ilk anda fırın ortamı sıcaklığına yükselmesi için gerekli olan ısı kurutulacak gıdanın ağırlığı aynı olduğundan cam yünü ve taş yünü deneyleri içinde aynı olacaktır. Bu da Q_e 'nin elektrik tüketimi açısından izolasyonlu deneylerde de fark unsuru olmayacağı anlamına gelir. Fırın içi hava sıcaklığının (Q_h) deney sıcaklığı olan 80 °C'ye ısıtılması için gerekli ısı miktarı izolasyonlu deneylerde de aynı olacaktır.

$$Q_k = m_k c_p \Delta T \quad 3$$

$$Q_d = m_d c_p \Delta T \quad 4$$

$$Q_h = m_h c_p \Delta T \quad 5$$

$$Q_e = m_e c_p \Delta T \quad 6$$

Elma ve fırın içi havasının deney sıcaklığına ulaşmasından sonra sabit seyreden anlık elektrik tüketimi Eşitlik 2'de görüldüğü gibi Q_k (Eş. 3) ve Q_d (Eş. 4) toplamına eşit olacak ve bu sayede tüketilen toplam

enerji kaçaklarla birlikte yalıtımın kurutmaya etkisi hakkında dolaylı ve ölçülebilir bir bilgi edinmemizi sağlayacaktır.

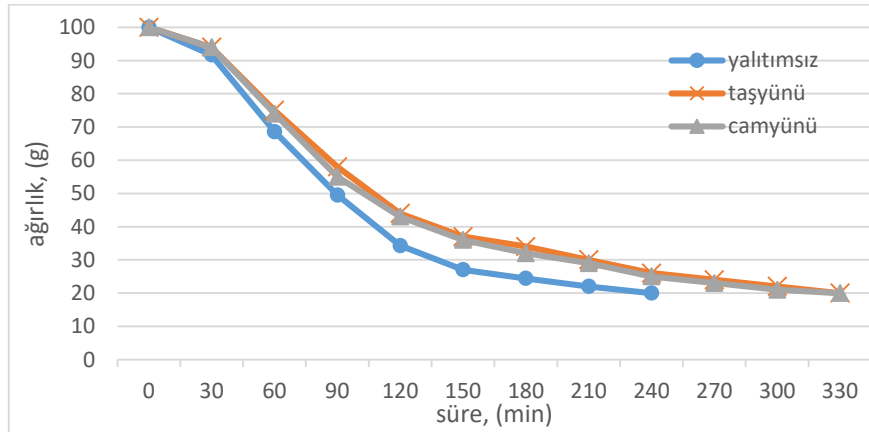
Özgül enerji tüketimi (Specific Energy Consumption, SEC) dilimlenmiş elmayı kurutmak için harcanılan enerji (kWh) değerinin dilimlenmiş elmadan buharlaştırılan su kütlesine (kg) oranıdır. Özgül nem çekme oranı (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) dilimlenmiş elmadan buharlaştırılan su kütlesinin (kg) dilimlenmiş elmayı kurutmak için harcanılan enerji (kWh)'ye oranıdır.

Elma ile yapılan deneylerde Karamanda yetişmiş, I. Sınıf, Arjantin elma kullanılmıştır [18]. Elmalar Zyliss marka dilim kalınlıkları ayarlanabilen dilimleme makinesinde 3mm dilimlenerek kurutulmuştur. Dikmen E. ve ark. "Türk standardı TS 4087'ye göre birbirini izleyen iki tartı arasında kütle farkının, her bir deney parçası için % 1 den az olması halinde tam kuru hale gelmiş olur" kuru hal tanımını gözönünde bulundurarak deneyleri yürütmüştür [19,20].

Türk Standart Enstitüsü "Kurutulmuş elma- Özellikler ve deney metotları" başlıklı TS 3688 ISO 7701 kodlu standarda uyularak elma dilimleri kurutulmuştur [18]. 3688 ISO 7701 kodlu standartta bahsedildiği üzere kurutulmuş elma diliminin % 25 nem ihtiva etmesi gerekmektedir. Dolayısı ile toplam ağırlık % 25 nem ile birlikte % 19,75 olarak tespit edilmiştir. 30 dk. aralıklarla ölçülen kurutma işlemleri kütsel olarak % 19,75 değerine geldiğinde kurutma işlemi sona erdirilmiştir. Ölçümün güvenilirliği için her deney üçer defa tekrarlanmış ve bu sebeple toplamda dokuz deney yapılmıştır. Yapılan deneylerde asıl amaç sağlıklı ve güvenilir elma kurutmak değil yalıtım malzemelerinin gıda kurutmada elektrik tüketimine etkisi olması sebebiyle deney sürelerinin kısa sürmesi için deneyler 80 °C'de yapılmıştır.

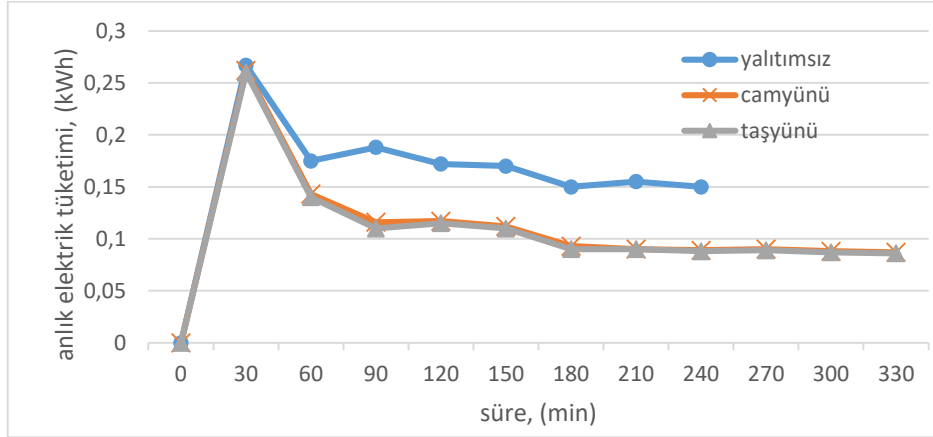
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI (RESEARCH RESULTS)

Yapılan çalışmada gıda kurutma fırınlarında yalıtımın önemi araştırılmıştır. Yalıtımsız, cam yünü ve taş yünü deneylerinden elde edilen bulgular işlenerek sonuçlar elde edilmiştir. Gıda olarak kurutulan elmalar ısındıkça elmadan sıvı buharlaşarak kütle kaybı yaşanmıştır. Şekil 3'de görülen grafikte yatay ekseninde süre dakika biriminde, dikey ekseninde ise ağırlık gram biriminde verilmiştir. Ancak deneylerde kurutulan elmanın tamamı % 100 kabul edilip tartım sonuçlarındaki ağırlıkların %'si alınarak hesaplanmıştır. Yalıtımsız yapılan deney 240 dakika cam yünü ve taş yünü deneyleri 330 dakikada bitmiştir. Deneylerin tamamında fırın içi bağıl nemi %1 de tutulmuştur.



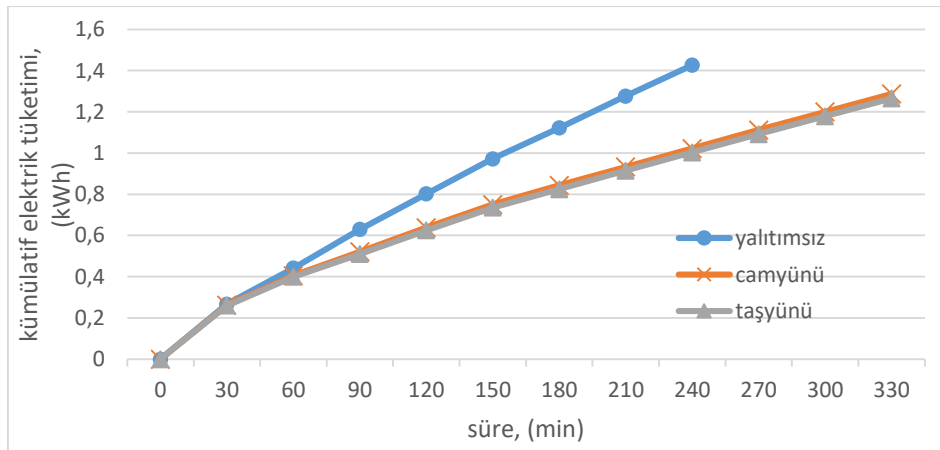
Şekil 3. Elma kurutmada zamana bağlı ağırlık grafiği

Şekil 4'te anlık elektrik tüketimi görülmektedir. Fırın içi hava sıcaklığı, fırın cidar sıcaklığı ve elma sıcaklığının düşük olmasından dolayı başlangıçtaki elektrik tüketimi keskin olarak artış göstermiş ve 0,26kWh elektrik tüketmiştir. Fırın içi hava sıcaklığı, fırın cidar sıcaklığı ve elma sıcaklığı 80 °C'ye çıktıktan sonra yaklaşık olarak bir saatten sonra elektrik tüketimi dengeli hale gelmiştir. İlk anda 0,26 kWh civarında bir tüketim her üçü içinde harcandıktan sonra, yalıtımsız haldeki elektrik tüketimi 0,15 kWh'e, cam yünü ve taş yünü 0,1 kWh'e dengeli hale gelmiştir.



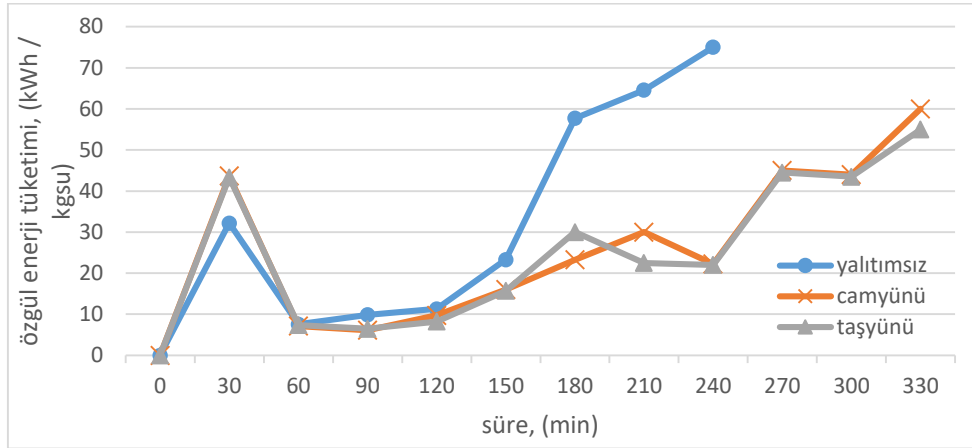
Şekil 4. Elma kurutmada zamana bağlı anlık elektrik tüketimi

Şekil 5'te tüketilen enerji üst üste bindirilerek toplam tüketilen enerji miktarı kümülatif olarak hesaplanmıştır. Cam yünü ve taş yünü yalıtımı ile yapılan deneyler uzun sürmesine karşın yalıtımsız halde yapılan deneylere göre daha az enerji tüketmiştir. Burada süre ve enerji maliyeti karşılaştırması yapılarak ihtiyaca göre tercih yapılmalıdır. Tüm deneylerin ortalama değerleri yalıtımsızda 1,420 kWh, cam yününde 1,287 kWh ve taş yününde ise 1,265 kWh hesaplanmıştır. Yalıtımlı deneyler nerede ise aynı seyretmiştir. Bu durum bizi yalıtımlar arasında maliyet ve işlev bakımından karşılaştırmaya itmiştir. Isı olarak bakıldığında cam yünü 200-250 °C'lere kadar dayanabilmekte ancak taş yünü bunun çok üstünde 800 °C'lere kadar dayanabilmektedir. Sıcaklığa karşı direnç bu konuda bir belirleyici etken değildir. Güncel fiyatlara bakıldığında ise taş yünü cam yününe göre 6-8 kat daha pahalı olduğu göz önünde bulundurulursa taş yünü yerine cam yünü tercihi gıda kurutma fırınlarında daha isabetli bir tercih olacaktır. Yalıtımsız enerji tüketimine nazaran yalıtımlı deneylerin % 10,97 enerji tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir.



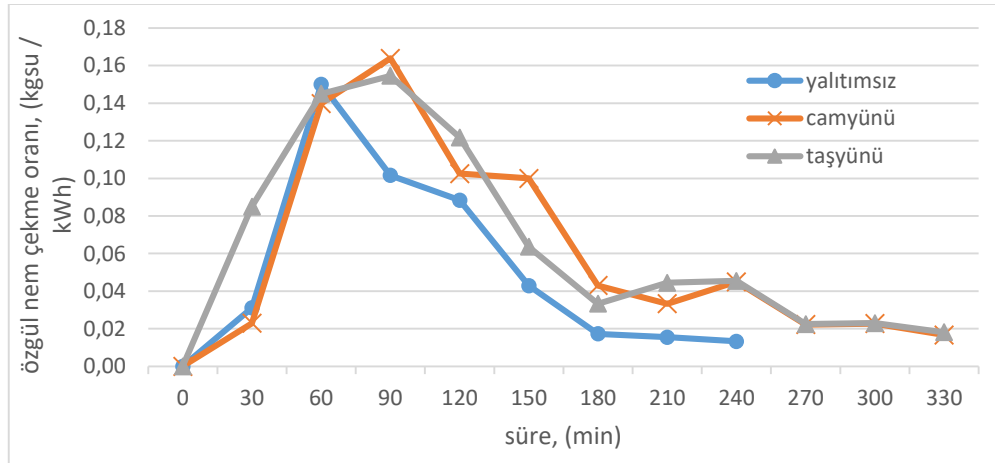
Şekil 5. Elma kurutmada yalıtımlı ve yalıtımsız zamana bağlı kümülatif enerji tüketimi

Gıda kurutmada birim kütle için harcanan enerji miktarı zamana bağlı olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). İlk anda keskin bir yükseliş eğrisi yapmış ancak daha sonra sabit bir aralıkta seyretmiştir. İlk anda keskin bir yükseliş eğrisi yapmış olmasının sebebi ilk 30 dakikada harcanan enerji tüketiminin gıda, fırın ve hava sıcaklığını 80 °C'ye çıkarmak için yüksek miktarda harcanmasındandır. Grafğin daha sonra yükselişe geçişinin sebebi elmanın yapısı gereği su atmaya karşı direnç göstererek birim su buharlaşma miktarının azalması ve buna ek olarak enerji tüketiminin aynı kalması eğrinin yalıtımlı ve yalıtımsızda 150. dakikadan sonra yükselişe geçmesine sebep olmuştur. 60-120 dakika aralığında özgül enerji tüketimi 10 kWh/ kgsu aralığında seyredip yalıtımsızda 150. dakikadan yalıtımlıda ise 240. dakikadan sonra keskin bir artışa geçmiştir.



Şekil 6. Elma kurutmada yalıtımlı ve yalıtımsız zamana bağlı özgül enerji tüketimi

Elma kurutmada zamana bağlı olarak birim enerjide özgül nem çekme oranı (SMER) kapasitesi Şekil 7’de görülmektedir. Özgül nem çekme oranı 60-90 dakika aralığında tepe noktasına ulaşır ve 0,14-0,16 kgsu/kWh aralığında değer almışlardır. Daha sonra 180. dakika ya kadar keskin bir azalma yaşanmıştır. 180. dakikadan sonra yalıtımsız 0,20 cam yünü ve taş yünü 0,40 kgsu/kWh yakınlarında yaklaşık değerler almıştır.



Şekil 7. Elma kurutmada yalıtımlı ve yalıtımsız zamana bağlı özgül nem çekme oranı

Fırın verimliliği hakkında yapılan çalışmalar konu ve insanlık için gerekliliği hasebi ile oldukça fazladır. Ancak bu GKF de yalıtımın enerji tüketimine etkisi olunca çalışma konusu özelleştiği için direkt bu konuda yapılan çalışma bulmak oldukça zor olduğundan bu çalışmanın önemi bir kez daha anlaşılması gerekir. Yalıtımın enerji tasarrufuna dikkat çekmek istediğimiz çalışmamızda ise sadece yalıtım ile % 10,97 enerji tasarrufu sağlanmıştır. % 10,97 enerji tasarrufu ise ticari bir işletmede ton üzerinden kurutma yapıldığı hesaba katılırsa elektrik tasarrufu açısından çok önemli bir rakam arz etmektedir.

4. SONUÇ VE TAVSİYELER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan bu çalışmada GKF elektrik tüketimi cam yünü ve taş yünü yalıtımı yapılarak yalıtımsız haldeki kurutma ile karşılaştırılmıştır. Kurutmada numune gıda olarak elma kullanılmıştır. Elma kurutmada yalıtımsız yapılan deneyler 240 dakika cam yünü ve taş yünü yalıtımı ile yapılan deneyler 330 dakikada sürmüştür. Yalıtımsız haldeki elektrik tüketimi 0,15 kWh’e, cam yünü ve taş yünü 0,1 kWh’e yakın değerlerde dengeli hale gelmiştir. Tüm deneylerin kümülatif elektrik tüketimi yalıtımsızda 1,420 kWh, cam

yününde 1,287 kWh ve taş yününde ise 1,265 kWh olarak tespit edilmiştir. Yalıtımsız enerji tüketimi yalıtımlı ile karşılaştırıldığında % 10,97 enerji tasarrufu sağlamıştır. Özgül enerji tüketimi 60-120. dakika aralığında 10 kWh/kgsu aralığında seyrederek yalıtımsızda 150. dakikadan yalıtımlıda ise 240. dakikadan sonra keskin bir artışa geçmiştir.

Bundan sonra yapılacak deneylerde;

- ✓ farklı yalıtım malzemeleri denenebilir.
- ✓ endüstriyel büyüklükteki fırınlarda ki elektrik tüketimleri tespit edilebilir.
- ✓ infrared ve dondurarak kurutma gibi farklı kurutma teknikleri üzerinde de çalışılabilir.

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

Egiren	= sisteme giren enerji (kj)
Eçıkan	= sistemden çıkan enerji (kj)
ΔT	= sıcaklıklar arasındaki fark ($^{\circ}C$)
Wr	= rezistans işi (kj)
Wf	= fan işi (kj)
Qh	= fırın içi hava sıcaklığı (kj)
Qk	= ısı kaçaklar (kj)
Qd	= fırın duvarından çıkan ısı (kj)
Qe	= kurutulacak elmanın istenilen sıcaklığa kadar ısıtılması için gerekli ısı (kj)
mk	= kaçak havanın kütlesi (kg)
md	= duvarın kütlesi (kg)
mh	= havanın kütlesi (kg)
me	= kurutulan elmanın kütlesi (kg)
cp	= sabit basınçtaki özgül ısı (kj/kgK)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018): <http://www.fao.org/statistics/en>.
- [2] Kılıç F., Köse, A., Meyve-Sebze Kurutma Makineleri İçin Arduino Tabanlı Neme Duyarlı Fan Kontrol Tasarımı. In 1st International Turkish World Engineering and Science Congress Antalya, (2017).
- [3] Bradford, K.J., Dahal, P., Asbrouck, J.V., Kunusoth, K., Bello, P., Thompson, J., Wu, F., The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. Trends in Food Science & Technology, 71(84-93), (2018).
- [4] Jiang, N., Liu, C., Li, D., Zhang, Z., Liu, C., Wang, D., Niu, L., Zhang, M., Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: Antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption. LWT - Food Science and Technology, 82(216-226), (2017).
- [5] Aktas, M., Gonen, E., Bay Leaves Drying in a Humidity Controlled Heat Pump Dryer. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29(2)(433-441), (2014).
- [6] Variyenli, H.İ., Özdemir, M.B., Kaçmaz, H., Kılıç, F., Farklı Tipteki Güneş Ocaklarının Tasarımı, İmalatı ve Performanslarının Deneysel İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, 2(4)(333-342), (2014).
- [7] Aktaş, M., Ceylan, İ., Ergün, A., Gürel, A. E., & Atar, M., Assessment of a solar-assisted infrared timber drying system. Environmental Progress & Sustainable Energy, 36(6) (1875-1881), (2017).
- [8] Gürel, A. E., & Daşdemir, A., Economical and enviromental effects of thermal insulation thicness in four different climatic regions of Turkey. International Journal of Renewable Energy Research, 1(1) (1-10), (2011).

- [9] Ceylan, I., & Ergun, A., Psychrometric analysis of a timber dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2 (29-35), (2014).
- [10] Mukherjee, S., Asthana, A., Howath, M., McNeill, R., Frisby, B., Achieving Operational Excellence for Industrial Baking Ovens. *Energy Procedia*, 161(395-402), (2019).
- [11] Davidson, I., Chapter 16 - Oven Efficiency, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor. Academic Press, (253-267), (2016).
- [12] Davidson, I., Chapter 17 - Oven Inspection and Audit, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor. Academic Press, (269-291). (2016).
- [13] Davidson, I., Chapter 9 - Heat Recovery System, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor., Academic Press, (157-161), (2016).
- [14] Davidson, I., Chapter 10 - Oven Conveyor Bands, in *Biscuit Baking Technology (Second Edition)*, I. Davidson, Editor. Academic Press, (163-183), (2016).
- [15] Pfeifer, H., Industrial Furnaces - Status and Research Challenges. *Energy Procedia*, 120(28-40), (2017).
- [16] Walker, C.E., Oven Technologies, in *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*, C. Wrigley, et al., Editors. Oxford: Academic Press, (325-334), (2016).
- [17] Çengel, Y., Boles, M.A., *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik (3.Basım)*. İstanbul: Literatür Yayıncılık, (135-137), (2000).
- [18] Türk Standartlar Enstitüsü. Kurutulmuş elma- Özellikler ve deney metotları, TS 3688, Ankara-Türkiye, (2009).
- [19] Dikmen E., Şahin A.Ş., Yakut A. K., Design of An Experimental Drying System and Investigation of Operating Parameters. *J. of Thermal Science and Technology*, 32 (2) (81-88), (2011).
- [20] Official Method of Analysis, J. of Association of Official Analytical Chemist, IAC, Arlington, Virginia, (1990).