

## JEOTERMAL ENERJİ İLE KLASİK KERESTE KURUTMANIN KLASİK ISITMA SİSTEMLERİYLE İLK YATIRIM VE İŞLETME GİDERLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Toros ÖZBEK\*  
Orhan ERDEN\*\*

### Özet

*Kerestelerin teknik olarak kurutulması sırasında büyük oranda ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Günümüzde birçok alanda yaygınlaşan enerji tasarrufuna yönelik araştırmalar kereste kurutmada da büyük önem kazanmaya başlamıştır. Bu çalışmada, jeotermal enerji ile klasik kereste kurutma klasik ısıtma sistemlerinden katı yakıt, fuel oil, elektrik ile ilk yatırım ve işletme giderleri açısından karşılaştırılmıştır. İlk yatırım giderleri diğer sistemlerden yüksek olan jeotermal enerji ile kereste kurutma yapan fırının, işletme maliyetinin avantajlılığı nedeniyle kısa süre sonra yatırım geri ödemedikleri görülmüştür.*

## COMPARING TIMBER DRYING BY GEOTERMAL ENERGY CLASSICAL HEATING SYSTEMS OF DRYING KILN WITH FIRST INVESTMENT EXPENSES AND OPERATING COSTS

### Abstract

*A high quantity of energy is needed for heating in process of kiln drying. Some energy savings research studies have recently gained popularity nowadays in timber drying processes. In this paper, timber drying by geothermal energy is compared with classical timber drying systems such as solid fuel, fuel-oil and electrical heating in relation with investment and enterprise cost. Although the cost of timber drying by geothermal energy is higher at the early start of investment it is observed that such costs are soon to be amortized in relation with advantages of operation.*

### 1. GİRİŞ

1974 yılında yaşanan enerji krizinden sonra, başta sanayileşmiş ülkeler olmak üzere artan enerji talebini karşılamak için tüm ülkeler, alternatif enerji kaynaklarından yararlanmanın olanaklarını araştırmaktadırlar. Yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarından biri de jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaların içerisindeki ısı enerjisidir (Özbek, 1996:14). Enerji kaynaklarının en fazla kullanım alanlarından biri de hacim ısıtmasıdır. Jeotermal enerji ile her türlü hacmi kolaylıkla ısıtmak mümkündür. Jeotermal enerjinin düşük enerji maliyeti ve kereste kurutma için gerekli sıcaklığı sağlayacak yeterli jeotermal kaynakların ülkemizde bulunması, jeotermal enerji ile ülkemizde de kereste kurutmacılığının yapılabileceği fikrini ortaya çıkarmıştır. Jeotermal enerji ile dünyanın birçok ülkesinde ticari kereste kurutmacılığı yapılmakta ve büyük enerji tasarrufları sağlanmaktadır (Lineau, 1990:145).

Jeotermal enerji ile kereste kurutmada, jeotermal akışkandan elde edilen ısı, ısıtıcılar içerisinde geçerken kurutma odasına ısı yaymakta ve bu ısı vantilatörler tarafından kereste istifi üzerine verilmektedir (Lund, Rang, 1995:36). Bu işlem klasik

\* Yrd. Doç.Dr. G.Ü. Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi

\*\* Arş.Gör. G.Ü. Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi

kereste kurutma fırınlarındaki sıcak sulu ısıtma sistemleriyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Mevcut sıcak su kullanan klasik kereste kurutma fırınları, fırının yapısında çok az değişiklik yaparak ve gerekli elemanların ilavesi ile jeotermal enerji kullanır hale getirilebilir ve ekonomik bir uygulama sağlanabilir. Bu çalışmada jeotermal enerji ile kereste kurutmanın teknik analizi yapılmış, bir örnek uygulama ve oluşabilecek problemlere göre jeotermal enerji ile çalışan klasik kereste kurutma fırını tasarımı yapılmıştır. Daha sonra jeotermal enerji ile kereste kurutmanın ekonomik analizini yapmak için; sıcak su ile ısıtılan 2 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup> ve 60 m<sup>3</sup>'lük klasik kereste kurutma fırınlarına ait elektrikli, fuel-oilli ve katı yakıtlı ısıtma sistemleri ile aynı işi yapabilecek olan 100°C, 15 l/s'lik ve maksimum 630 kW ısı verebilecek jeotermal akışkandan ısı sağlayan aynı boyutlardaki fırınlara göre ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yönüyle karşılaştırılmıştır.

## 2. AHŞAP MALZEMENİN TEKNİK OLARAK KURUTULMASI

Geleneksel teknik kurutma metotları; dış kurutma faktörlerinin etki şekillerine, bu faktörlerin değişme derecelerine ve kurutma ortamına göre çok çeşitlidir. Bunlar sıcaklık esas alınarak 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda hava-su buharı karışımı içerisinde kurutma metoduna klasik kurutma ve 100°C'nin üstündeki kurutmaya yüksek sıcaklıkta kurutma metodu denilmektedir.

Yüksek sıcaklık derecelerinde kurutma metotları endüstride sınırlı olarak uygulanabilmektedir. Bu metotların birçoğu kurutma kalitesi bakımından tatmin edici sonuç vermemektedir (Bozkurt, Kantay, 1980:246).

Son yıllarda ticari amaçlarla en yaygın olarak kullanılan metotlar sırasıyla, klasik kurutma, kondenzasyonla kurutma ve vakumlu kurutmadır (Kantay, 1985:45). Klasik kurutmada sıcaklık 30°C-95°C arasında uygulanmaktadır. Dünyada ki mevcut kereste kurutma fırınlarının % 80'ninden fazlası bu metotla çalışmaktadır.

## 3. ARAŞTIRMA MODELİ

Ülkemiz jeotermal kaynakları genellikle orta entalpili sahalarda (70 °C -150 °C)dan oluşmaktadır. Jeotermal akışkanın kuyudan alınması ve kullanılan yere nakledilmesiyle bir miktar ısı kaybı olmaktadır ( Türkiye'de 7km'ye kadar yapılan jeotermal akışkan taşımalarında uygun teknoloji ve malzeme kullanılarak ısı kaybı 0,5°C/km'ye düşürülmüştür). Jeotermal akışkanın sıcaklığı fırın içerisindeki havanın sıcaklığından en az 10 °C-20 °C fazla olması gerekir(Lund,1995:14). Bu da kereste kurutma da kullanılacak jeotermal akışkanın sıcaklığının ortalama olarak 95 °C-115 °C olmasını gerektirir (Orme, 1994). Bu verilere göre ülkemizde jeotermal enerji ile kereste kurutma klasik teknik kurutmanın uygulanabilirliğini saha sıcaklıkları bakımından öne çıkarmaktadır. Bu yüzden araştırmadaki hesaplamalarda klasik teknik kurutma sistemi esas alınmıştır.

Jeotermal enerji ile çalışabilecek klasik kereste kurutma fırınlarının diğer enerjiyle çalışan klasik kereste kurutma fırınlarıyla karşılaştırarak ekonomik analizinin yapılabilmesi için, ilk önce 3 adet değişik kapasitelerde klasik kereste fırını belirlenmiştir. Gerekli ısı ihtiyacının hesaplanmasında kullanılacak bir kereste türü belirlenmiş ve buna ait kurutma programı ortaya konulmuştur. Bütün bunların bu bölümde açıklanma sebebi jeotermal enerji ile çalışabilecek klasik kereste kurutma

## 3.3.Yıllık Enerji Gereksiniminin Bulunması

Bir kereste kurutma fırının bir yılda ne kadar kereste kurutulması gerektiğinin hesabı yıllık enerji ihtiyacının bulunmasında yardımcı olacaktır. Başlangıç nemi % 88 kurutma sonu nemi % 8 olan Uludağ Göknarı kerestesinin bir partide kurutulması için gerekli süreyi (K<sub>T</sub>) saat olarak aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$K_T = K_K + D + B \quad (3.1.)$$

Eşitlikte;

K<sub>K</sub>: Kereste kurutma için gerekli süre (saat),

D: Doldurma boşaltma süresi (saat),

B: Ortalama tamir, bakım süresi (saat)'dir.

Günümüzde kereste kurutma fırınları otomatik olarak bir yıl boyunca sürekli olarak çalışmaktadır. Bu yüzden bir kereste fırının çalışma süresi 365 gün 6 saat olarak alınabilir.

Bir kereste fırını yılda (24x365)+6 = 8716 saat çalışabilir. Bir yılda fırının çalışma süresi bir parti kereste kurutma süresine (K<sub>T</sub>) bölündüğünde bir yılda yapılacak kurutma sayısı (K<sub>s</sub>) adet olarak bulunabilir.

$$K_s = \frac{8716}{K_T} \quad (3.2.)$$

K<sub>s</sub>'nin kurutma fırını kapasitesine göre hesaplanmış toplam ısı miktarları (Q<sub>T</sub>) ile çarpıldığında yıllık enerji ihtiyacı (Y<sub>E</sub>) Kcal olarak hesaplanır(Yıldırım,1982);

$$Y_E = K_s \cdot Q_T \quad (3.3.)$$

## 3.4. Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Jeotermal enerji ile kereste kurutmanın klasik ısıtma sistemlerine sistemlere göre ekonomik olup olmadığının tespitinde istatistiksel yöntemlerden yararlanılarak sonuçlara ulaşılmıştır. Böylece gelecek dönemlere ait sağlıklı planlama yapmak, hatalı ve pahalı kararları azaltmak mümkün olacaktır. Bu araştırmada tahmin yapmada en çok kullanılan trend analizi metodu kullanılmıştır.

### 3.4.1. Trend analizi

Trend analizleri fiyat ve zaman arasındaki ilişkiyi açıklamakta kullanılan bir istatistiksel metottur. Doğrusal ve üssel trend analizleri en çok kullanılan çeşitleridir.

Doğrusal trend analizinde çözüm regresyon analizinde olduğu gibi en küçük kareler metodu ile yapılır. Üssel trend doğrusu analizi ise talebin azalan ve çoğalan şekilde sabit oranlarda değişmesi durumunda kullanılır. X değeri 0 olarak kabul edildiğinde;

$$\log a = \frac{\sum \log Y}{N} \quad (3.4.)$$

$$\log b = \frac{\sum x \log Y}{X^2} \quad (3.5.)$$

kullanılabilir ( Sivrioğlu, Güneş, 1990:24).

fırınlarının ekonomik analizinin yapılmasında kullanılan kabullerin açıklanmasıdır. Bu kabullere göre istatistiksel işlemler yapılarak jeotermal enerji ile çalışabilecek klasik kereste kurutma fırınlarının ekonomik analizi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

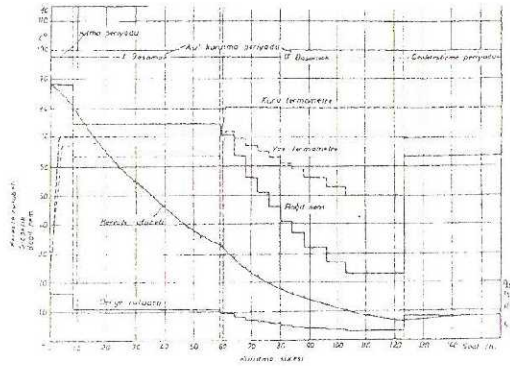
### 3.1. Model klasik kereste kurutma fırınlarının belirlenmesi

Kurutma periyotları sırasında gerekli enerji ihtiyacının hesaplanmasında kurutma fırınlarıyla ilgili hususların ortaya çıkarılabilmesi için, jeotermal enerji ile çalışabilecek üç adet klasik kereste kurutma fırını alabilecekleri net kereste kapasitelerine ve Türkiye şartlarına göre saptanmıştır.<sup>1</sup> En çok kullanılan küçük kapasiteli (2m<sup>3</sup>), orta kapasiteli (20m<sup>3</sup>), büyük kapasiteli (60m<sup>3</sup>)'lük kereste kurutma fırını olarak belirlenmiştir (Erden 1997:78).

### 3.2. Isıtma Kazanı Kapasitesinin Belirlenmesi

Kereste kurutma fırınlarında yapılan enerji ihtiyacının hesaplanmasında en çok ısıya ısıtma periyodunda ihtiyaç olduğu görülmüştür. Örneğin ısıtma periyodunda 100.000 Kcal/h'lık ısıya ihtiyaç varken kurutma periyodunda 20.000 Kcal/h'lık ısı gerekmektedir (Örs, 1986:24). Bu yüzden ısıtma kazanı kapasitesi belirlenirken, hesaplamalarda ısıtma periyodunda gerekli enerji miktarı kullanılmaktadır.

Ülkemizde bazı ağaç türlerimizin keresteleri için hava subuharı karışımı içerisinde klasik kurutma metodu uygulanarak programlar hazırlanmış ve kullanıma sunulmuştur (Kantay, 1978:124). Bu programlar içerisinde endüstride kullanım imkanı fazla olması, oldukça kolay ve çabuk kuruması ve kuruma kusurlarının az olması nedeniyle Uludağ Göknaarına ait yüksek kaliteli kurutma programı (Program no:15) seçilmiştir. Bu programa ait kurutma programı Şekil 3.1.'de verilmiştir. Bu programdaki ağaç malzeme ile ilgili veriler ve kereste kurutma fırınları ile ilgili değerler gerekli formüller kullanılarak kurutma periyotları sırasında lazım olan enerji ihtiyacı hesaplanabilir (Örs 1986:25).



Şekil 3.1. Uludağ Göknaarına Ait Kurutma Programı

<sup>1</sup> Jeotermal enerji ile çalışabilen kereste kurutma fırınları ile ilgili şekiller ve bilgiler Erden 1998-135'den edinilebilir.

## 4. İLK YATIRIM TUTARLARININ BELİRLENMESİ

### 4.1. Klasik Enerji İle Çalışacak Kereste Kurutma Fırınlarının İlk Yatırım Tutarlarının Belirlenmesi

Kereste kurutmada kullanılan fırınların ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamada kullanılan sıcak su üreten ısıtma kazanlarının, kullandıkları yakıtlara ve ısı üretme kapasitelerine göre fiyatları değişmektedir.

Katı yakıtlı sıcak su üreten klasik kereste kurutma fırınları için uygun ısı kazanlarının güçleri Uludağ Göknaarı kerestesine göre (Erden1997:69) formüllerle hesaplanmış ve azami ısı ihtiyacına göre (TS-497 standardında istenen konstrüksiyon ve basınca göre termodinamik ve mukavemet hesapları yapılmış) ilk yatırım tutarları güncel piyasa maliyetleri ile birim fiyatlar kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.1.'de gösterilmiştir (Bayındırık 1999). Elektrik ile çalışan sıcak su üretici kazanların ilk yatırım tutarları katı yakıtlı kazan fiyatlarına yakındır (Sivrioğlu, Güneş, 1986:25). Bu yüzden katı yakıtlı kazanlarla elektrik kullanan kazanların fiyatları birbiri ile aynı kabul edilmiştir.

Tablo 4.1. Katı Yakıtlı Sıcak Su ile Isıtma Yapan Kazanların (istenilen ısıtma gücüne göre) Hesaplanan İlk Yatırım Tutarları

Sıra No	Fırının Kapasitesi	Kazanın Isı Gücü (Kcal/h)	Montaj Dahil Birim Fiyatı(TL)	Montaj Bedeli (TL)
1	2 m <sup>3</sup>	20.000Kcal/h (24 kW)	250.000.000	53.750.000
2	20 m <sup>3</sup>	190.000Kcal/h (221 kW)	371.750.000	56.750.000
3	60 m <sup>3</sup>	540.000Kcal/h (630 kW)	724.000.000	70.000.000

TSE 4300 standartlarına göre üretilmiş ve termodinamik ve konstrüksiyon basınç deneyleri uygulanmış TSE uygunluk belgesine sahip sıvı yakıtlı sıcak su ile ısıtma yapan kazanların Uludağ Göknaarı kerestesinin kurutmak için azami ısı ihtiyacına göre ilk yatırım tutarları güncel piyasa maliyetleri ile birim fiyatlar kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4.2.'de verilmiştir (Bayındırık, 1999:245).

Tablo 4.2. Sıvı (Fuel Oil) Yakıtlı, Sıcak Su İle Isıtma Yapan Kazanların (istenilen ısıtma gücüne göre) Hesaplanan İlk Yatırım Tutarları

Sıra No	Fırın Kapasitesi	Kazanın Isı Gücü (Kcal/h)	Montajlı Birim Fiyatı (TL)	Montaj Bedeli(TL)
1	2 m <sup>3</sup>	20.000 Kcal/h (24 kW)	220.000.000	104.000.000
2	20 m <sup>3</sup>	90.000 Kcal/h (221 kW)	433.800.000	106.500.000
3	60 m <sup>3</sup>	540.000 Kcal/h (630 kW)	798.000.000	190.000.000

Tablo 4.1. ve Tablo 4.2. incelendiğinde sıvı yakıtlı sıcak su ile ısıtma yapan kazanların ilk yatırım tutarlarının katı yakıtlı sıcak su ile ısıtma yapan kazanlardan yüksek olduğu görülmektedir. Buradan 2 m<sup>3</sup>'lük bir net kereste kurutma kapasitesine sahip kurutma fırınının ısı kazanının ilk yatırım maliyetinin 20 m<sup>3</sup> ve 60 m<sup>3</sup>'lük kereste kapasitesine sahip fırınlardan 1 m<sup>3</sup>'e düşen ilk yatırım fiyatı bakımından daha yüksek

olduğu görülebilir. Bu durum fırın büyüdükçe kereste kapasitesine göre ilk yatırım fiyatının düştüğü anlamına gelebilmektedir.

#### 4.2. Jeotermal Enerji İle Çalışacak Kereste Kurutma Fırınlarının İlk Yatırım Tutarlarının Belirlenmesi

Jeotermal enerjiden ısı elde edilmesiyle ilgili bazı donanımlar örneğin plate eşanjörler yurtdışında üretilmekte ve buradan diğer ülkelere ihraç edilmektedir. Bu yüzden bu donanımların fiyatları ürünün konfigürasyonuna ve dolar kuruna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ülkemizde kurulu bulunan jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılan donanımların fiyat ortalamalarına ve 100 °C'lik jeotermal akışkan, 15 l/s debiye maksimum 630 kW ısıtma gücüne göre dolar bazlı fiyatlar Tablo 4.3.'de görülmektedir (Erden, 1997:67).

Tablo 4.3. İstenilen Isıtma Gücüne Göre Jeotermal Isıtma Sistemlerinin Hesaplanan İlk Yatırım Tutarları (Ekim-1999, 1\$=467.000 TL'dir)

Sıra No	Sistemin Gücü	Merkez Bina	Taşıma	Üretim Kuyusu (~300m)	Toplam Fiyat
1	20.000Kcal/h	40.000\$	28.000\$	120.000\$	188.000\$
2	190.000Kcal/h	65.000\$	28.000\$	120.000\$	213.000\$
3	540.000Kcal/h	85.000\$	28.000\$	120.000\$	233.000\$

Tablo 4.3.'de görülen merkez binanın fiyatına bir jeotermal ısıtma tesisinin en önemli girdisi olan eşanjör bedeli, pompalar ve ara bağlantılar dahildir. Jeotermal akışkanın taşıma bedeline; akışkanın üretim kuyusundan pompalarla alınıp eşanjöre (ısı transfer merkezi) taşınması buradan alınıp reenjeksiyon kuyusuna götürülmesi için gerekli donanımların fiyatları dahildir. Üretim kuyusu ile merkez bina arasındaki mesafe uzadıkça taşıma hattı maliyeti artacağından tesisin maliyeti de artmaktadır. Bu mesafe ortalama 100 metre olarak kabul edilmiştir. Üretim Kuyusunun yaklaşık 300 m derinliğinde açıldığı kabul edilerek MTA fiyatlarına göre üretim kuyusu maliyeti ortaya çıkarılmıştır (Özbek, 1999:26). 540.000 Kcal'lik jeotermal ısıtma sisteminin ilk yatırım fiyatı 20.000 Kcal sistemin % 45'i kadar fazla olmasına rağmen sistemin verdiği ısı enerjisi 17 kat fazladır. Bu durum jeotermal enerji ile kereste kurutmada kullanılacak sistemin büyüklüğünün ilk yatırım fiyatı üzerinde çok büyük etkisi olduğunu göstermektedir. Sistemin kapasitesi büyüdükçe verdiği ısıya oranla ilk yatırım fiyatı düşmektedir.

Klasik enerji ile çalışan kereste kurutma fırınlarının ilk yatırım tutarları, jeotermal enerji ile çalışan kereste kurutma fırınlarının ilk yatırım tutarları karşılaştırıldığında jeotermal enerji çalışan sistemlerin çok yüksek ilk yatırım maliyetleri gerektirdiği görülmektedir.

#### 4.2. İşletme Maliyetleri

İşletme maliyeti olarak klasik kereste kurutma fırınlarına ısı sağlayan kazan sistemlerde ana girdi yakıttır. Kereste üreten bir tesiste ortaya çıkan biçme artıkları yakıt olarak kullanıldığı zaman bir yakıt ücreti ödenmediği düşünülebilir. Ancak bu artık maddeler diğer alanlarda kullanılabilirler için bir ekonomik değer taşırlar. Ayrıca biçme artıklarının yakılması sırasında azami verimin alınabilmesi için yeknesak bir tane

büyüklüğüne ulaştırılması ve kurutulması gerekir (Kantay, 1985:48). Bu sebeplerden dolayı biçme artıklarının işletmeye ek bir maliyet getireceği açıktır. Bu yüzden araştırmada biçme artıklarıyla çalışan bir tesiste işletme maliyeti hesaplanırken katı yakıt (kömür) fiyatları esas alınmıştır.

Tablo 4.4. Bazı yakıtların Alt Isıl Değerleri ve Ocak Verimleri (Güneş, 1986:27).

Sıra No	Enerjinin Adı	Alt Isıl Değeri	Ocak Verimi
1	Katı Yakıt (Ortalama)	2850 Kcal/kg	0.60
2	Fuel Oil	10200 Kcal/kg	0.80
3	Elektrik	860 Kcal/kWh	0.98

Tablo 4.4. incelendiğinde en alt ısı değere katı yakıtların sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca katı yakıtların depo sorunları ve yakıtların yandıktan sonra ortaya çıkan artıklarla ilgili sorunlar mevcuttur. Elektriğin alt ısı değeri düşük olmasına rağmen ocak veriminin yüksek olması, depolama sistemi ile yanma artıklarının olmaması avantaj sağlamaktadır.

Tablo 4.5. Bazı Enerjilerin Isı Birim Maliyetleri (Orme, 1998:6)

Sıra No	Enerjinin Adı	Birim Fiyat (TL/1000 Kcal)
1	Elektrik	20472
2	Fuel Oil	8117
3	Katı Yakıt	6953
4	Jeotermal Enerji	511-1135

Ekim 1998 ayına ait bazı enerjilerin ısı maliyetleri tablo 4.5.'de görülmektedir (Orme, 1998:8). Elektrik enerjisine TEDAŞ tarafından 3 ayrı fiyat uygulanmaktadır. Araştırmada bunların en yüksek olanı kullanılmıştır. Çünkü elektrikle ısıtma yapılırken iş yeri olarak en yüksek fiyatı ödeyecek kadar elektrik kullanılmaktadır (300 Kwh'ten fazla). Jeotermal enerjiye ait ısı birim maliyetleri ülkemizde jeotermal merkezi ısıtma sistemlerine ait rakamlardır. Jeotermal ısıtma sistemlerinde işletme maliyeti daha önce de belirtildiği gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu yüzden örnek olarak seçilen Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemindeki maliyet esas alınmıştır (Orme, 1998:9).

Uludağ Göknarı kerestesi üzerinde yapılan kurutma programına göre gerekli ısı enerjisi (Örs 1986:54) eşitliklerle hesaplandığında gerekli ısı enerjisi miktarı bulunur. Bu değerlerden yıllık enerji ihtiyacı eşitlik 3.3'e göre hesaplanarak Tablo 4.6. oluşturulmuştur.

Tablo 4.6. Uludağ Göknarının Kurutulması İçin Gerekli Hesaplanan Yıllık Enerji İhtiyacı

Sıra No	Fırın Kapasitesi	Yıllık Enerji İhtiyacı
1	2 m <sup>3</sup>	63.600.000 Kcal
2	20 m <sup>3</sup>	424.000.000 Kcal
3	60 m <sup>3</sup>	1.060.000.000 Kcal

Tablo 4.6.'te görüldüğü gibi, 1 m<sup>3</sup> kereste kurutmak için gerekli enerji kereste kurutma fırının kapasitesi düştükçe artmaktadır. Bu da küçük kapasiteli kereste kurutma

fırınlarının 1 m<sup>3</sup> kereste kurutmak için daha çok enerjiye ihtiyaçları olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.5.'de görülen ısı birim maliyetleri yakıtların niteliklerine göre ısı kayıpları, işçilik giderleri dikkate alınarak işletme maliyetleri Tablo 4.6. oluşturulmuştur (Orme, 1998:52). Tablo 4.6.'daki yıllık enerji ihtiyaçları kullanılarak Tablo 4.7.'deki toplam ısı ihtiyacına göre yıllık işletme maliyeti ortaya çıkarılabilir.

**Tablo 4.7.**Bazı Yakıtların ve Jeotermal Enerjinin Hesaplanan İşletme Maliyetleri

Sıra No	Yakıtın Adı	Isı Maliyeti (Milyon Kcal/TL)
1	Katı Yakıt	9.125.034
2	Fuel Oil	8.439.701
3	Elektrik	15.287.579
4	Jeotermal Enerji	724.238

**Tablo 4.8.** Çeşitli Kapasitelerdeki Kereste Kurutma Fırınları İçin 1998 Fiyatlarına Göre Bir Yıllık İşletme Maliyetleri(TL)

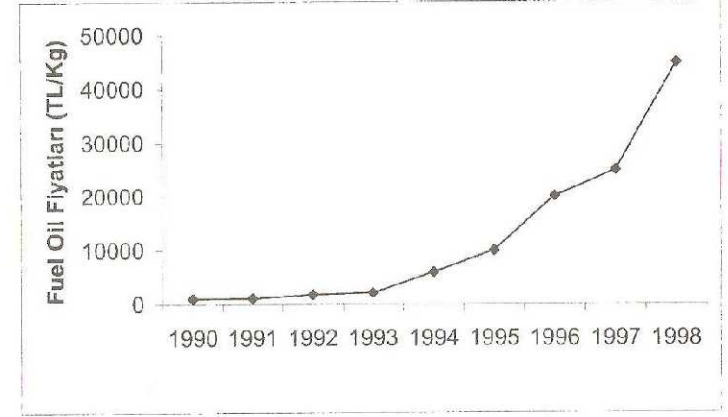
Fırın Kapasitesi	Kereste Kurutmada Kullanılabilecek Bazı Enerji Türleri			
	Katı Yakıt	Fuel Oil	Elektrik	Jeotermal
2m <sup>3</sup>	598.750.000	519.125.000	963.213.000	50.000.000
20m <sup>3</sup>	2.325.014.400	2.458.000.000	4.087.000.000	97.060.000
60m <sup>3</sup>	6.312.536.000	6.645.000.000	10.718.000.000	157.600.000

Tablo 4.8. incelendiğinde yıllık işletme maliyetlerinde, jeotermal enerjinin işletme maliyeti diğer enerjilere göre çok düşük olduğu görülecektir. Ancak jeotermal enerjinin ilk yatırım tutarının yüksek olduğu da yadsınamaz bir gerçektir. İlk yatırım tutarının fazlalığının işletme maliyetinden elde edilen karı karşılayıp karşılamadığı işletme maliyetlerinin değerlendirilmesi bölümünde açıklanmaya çalışılmıştır.

#### 4.2.1. İşletme maliyetlerinin değerlendirilmesi

Jeotermal enerji kullanabilen kereste kurutma fırınlarının ısıtma sisteminin, klasik ısıtma sistemleriyle ilk yatırım ve işletme giderleri açısından karşılaştırılması için enerji fiyat değişimlerinin incelenip trend analizi yapılarak trend denklemlerinin bulunması ve önümüzdeki yıllara ait fiyatların bu denklemler yardımıyla tahmin edilmesi gerekir:

Petrol fiyatları incelendiğinde fiyatlardaki artış hızını gösteren Şekil 4.1. oluşturulabilir. Burada da görülebileceği gibi fiyatlar 1993'den sonra daha hızlı bir artış göstermiştir. Bunun için trend denklemlerinin oluşturulmasında 1993 sonrası fiyatlar kullanılmıştır.



**Şekil 4.1.** 1990-1998 Yılları Arasında Fuel oil Fiyatlarındaki Değişim

Çeşitli Yakıtlar için trend denklemleri aşağıdaki gibi oluşturulabilir;

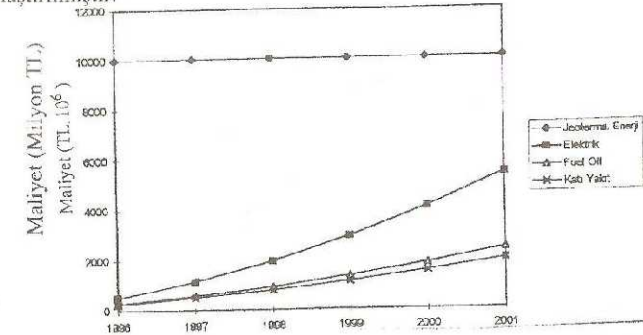
$$\text{Katı Yakıt} \\ Y = 1569,833 + 777,495x \quad (x_{1997}=4) \quad (8.6.)$$

$$\text{Elektrik} \\ Y = 2716,475 + 1847,833x \quad (x_{1997}=4) \quad (8.7.)$$

$$\text{Fuel Oil} \\ Y = 1269,833 + 1084,583x \quad (x_{1997}=4) \quad (8.8.)$$

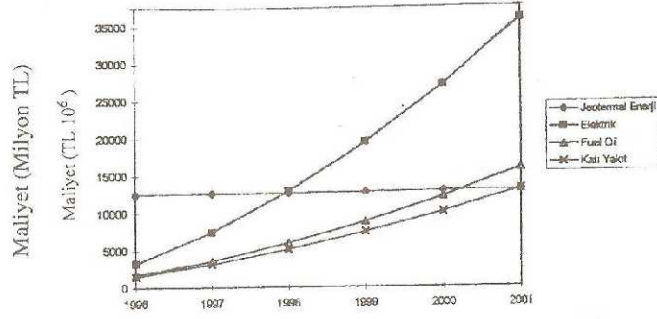
$$\text{Jeotermal Enerji} \\ Y = 39,273 + 35,295x \quad (x_{1997}=4) \quad (8.9.)$$

Trend denklemleri kullanılarak 2001 yılına kadar hesaplanan yıllık işletme maliyetlerine göre enerji fiyat tahminlerinin ilk yatırım tutarlarının üzerine konulması ile elde edilen bilgisayar grafikleriyle çeşitli enerjilerle çalışan sistemler karşılaştırılmıştır.



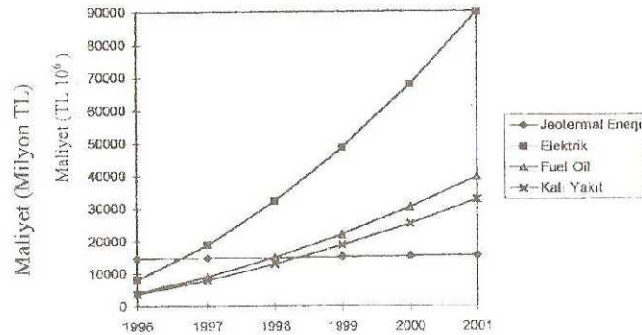
**Şekil 4.2.** İki m<sup>3</sup>'lük Kereste Kurutma Fırınında Çeşitli Isıtma Sistemlerine Ait İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.2. incelendiğinde jeotermal enerji ile kereste kurutma fırınında ısıtma yapan sistemin ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle diğer sistemler karşısında işletme maliyetinin düşüklüğüne rağmen dezavantajlı bir durumda bulunmaktadır.



Şekil 4.3. Yirmi m<sup>3</sup> lük Kereste Kurutma Fırınında Çeşitli Isıtma Sistemlerine Ait İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.3'de jeotermal enerji kullanan kereste kurutma fırını işletme maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle 2 yıllık bir süre sonunda elektrik enerjisine göre avantajlı duruma geldiği, 4 yıllık bir süre sonunda ise fuel oil ve katı yakıtta göre avantajlı olmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 4.4. Altmış m<sup>3</sup> lük Kereste Kurutma Fırınında Çeşitli Isıtma Sistemlerine Ait İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.4. jeotermal enerji ile çalışan kereste kurutma fırının ilk yatırım fazlalığına rağmen işletme maliyetlerinin düşük olması nedeniyle 1 yıllık bir süre sonunda elektrik enerjisine karşı avantajlı duruma gelmekte, 3 yıl sonunda ise fuel oil ve katı yakıtta avantajlı duruma geçmektedir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Artan enerji talebini karşılamak için birçok ülkede, alternatif enerji kaynaklarından yararlanmanın olanakları araştırılmaktadır. Enerji kaynaklarının en fazla kullanım alanlarından biri de mekan ısıtmasıdır. Ülkemizde önemli rezervleri bulunan jeotermal enerji ile her türlü mekanı kolaylıkla ısıtmak mümkündür. Jeotermal enerjinin düşük işletim maliyeti ve kereste kurutma için gerekli sıcaklığı sağlayacak yeterli jeotermal rezervlerin ülkemizde bulunması, ülkemizde de jeotermal enerji ile kereste kurutuculuğunun yapılabileceğini göstermektedir.

Dünyada kullanılan kereste kurutma sistemleri incelendiğinde mevcut kereste kurutma fırınlarının % 80'inden fazlasının klasik metotta çalıştığı görülmüştür. Jeotermal enerji ile kereste kurutmada, jeotermal akışkandan elde edilen ısı, ısıtıcılar içerisinden geçerken kurutma odasına ısı yaymakta ve bu ısı vantilatörler tarafından kereste istifi üzerine verilmektedir. Bu işlem klasik kereste kurutma fırınlarındaki sıcak sulu ısıtma sistemleriyle büyük bir benzerlik göstermektedir. Mevcut sıcak su kullanan klasik kereste kurutma fırınları, fırının yapısında çok az değişiklik yaparak ve gerekli elemanların ilavesi ile jeotermal enerji kullanır hale getirilebilir.

Jeotermal enerji ile kereste kurutmanın ekonomik analizini yapmak için; sıcak su ile ısıtılan 2 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup> ve 60 m<sup>3</sup> lük klasik kereste kurutma fırınlarına ait elektrikli, fuel-oilli ve katı yakıtlı ısıtma sistemleri ile aynı işi yapabilecek olan 100°C, 15 l/s'lik ve maksimum 630 kW ısı verebilecek jeotermal akışkandan ısı sağlayan aynı boyutlardaki fırınlara göre ilk yatırım maliyetleri ve işletme maliyetleri yönüyle karşılaştırılmıştır. Bunun için ilk yatırım

Jeotermal enerji ile çalışan kereste kurutma fırını ancak 20m<sup>3</sup> lük fırınlarda ekonomik olmaya başlamaktadır. Daha küçük kapasiteli bir tek kereste kurutma fırını için jeotermal enerji uygulaması ilk yatırım fiyatının yüksekliği nedeniyle ekonomik değildir. Ancak 2m<sup>3</sup> lük 10 adet kereste kurutma fırınına ısı sağlayacak bir jeotermal tesis ekonomik olacaktır. 20m<sup>3</sup> ve daha fazla kapasiteye sahip Jeotermal enerji kullanan kereste kurutma fırınları işletme maliyetinin düşüklüğü nedeniyle ilk yatırım tutarını bir süre sonra amorti etmekte ve avantajlı duruma geçmektedirler.

## KAYNAKLAR

- Bayındırlık, *Birim Fiyatlar*, Ankara,1998.
- Bozkurt, A.Y., Kantay, R., "Biçilmiş ağaç malzemenin kurutulmasında uygulanan kurutma metodlarının ısı ekonomisi bakımından incelenmesi", *Isı Bilimi ve Tekniği II. Ulusal Kongresi*, Ankara, 1980.
- Erden,O., *Jeotermal Enerji ile kereste kurutma*, Yayınlanmamış Y. Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997.
- Erden,O., " Türkiye'de Jeotermal Enerji ile kereste kurutma" *G.Ü. E.S.E.F. Dergisi*,Sayı 6, Ankara, 1998.
- Güneş, Sivrioğlu, "Güneş Enerjisi ile Desteklenmiş Isı Pompalarının, Klasik Isıtma Sistemleriyle İlk Yatırım ve İşletme Giderleri Açısından Karşılaştırılması," *Isı Bilim ve Tekniği Dergisi*, Ankara,1986.
- Kantay, R., Ağaç malzeme kurutma fırınlarında ısı tüketiminin azaltılmasına yönelik yeni gelişmeler, *Isı Bilim ve Tekniği VI. Ulusal Kongresi*, Ankara,1985.
- Lineau, P., "Small Geothermal Resources - A guide to development and utilisation",*Industrial Applications, UNITAR/ UNDP. Rome*,1990.
- Lund, W. J., Rangel, A. M., "Pilot fruit drier for the los azufres geothermal field, Mexico", *World Geothermal Congress, Florensa*,1995.
- Mertoğlu O., Mertoğlu, M.," Jeotermal Enerjinin Merkezi Isıtmadaki Yeri ve Ülke Ekonomisi Açısından Önemi," *Termodinamik Dergisi*, Şubat,1994.
- Orme Jeotermal, *Ucuz Isınma, Temiz Hava için; Jeotermal Merkezi Isıtmanın Dünyada ve Türkiye'deki Durumu ve Ekonomisi*, Orme Jeotermal A.Ş., Ankara,1999.
- Şimşek, Ş., " Importance of Jeotermal Energy in Turkey", *Internatinal Mediterranean Congress Solar and Other New - Renewable Energy Resources, Paris*,1994.
- Örs, Y., *Kurutma ve Buharlama Tekniği*, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon,1986.
- Özbek, T., Mertoğlu, O., "Our experience in 2700 dwellings equivalence geothermal heating in Turkey", *Jec'96 Cnit Paris - La Defense, France*,1996.
- Özbek, T., *Jeotermal Enerji Teknolojisi*,1999 yılı yüksek lisans programı yayınlanmamış ders notları, Ankara,1999.