

## İSPARTA KAYNAKLANMIŞ TÜFLERİNİN KAPLAMA TAŞI OLARAK KULLANILMASININ ÖNEMİ VE UYGUN YAPIŞTIRMA HARCİ ÜRETİMİ

H. Tarık Özkahraman\*, Emrullah Cihad IŞIK\*\*

\* SDÜ Mühendislik Mim. Fak. Maden Müh. Bölümü, İSPARTA-  
[tarik@mmf.sdu.edu.tr](mailto:tarik@mmf.sdu.edu.tr)

\*\* Kalekim A.Ş., Organize Sanayi Bölgesi, İSPARTA- [emrullahisik@kalekim.com.tr](mailto:emrullahisik@kalekim.com.tr)

### ÖZET

İsparta da yüzeyleyen kaynaklanmış tüfler, Gölcük volkanizmasının ürünüdür. Kaynaklanmış tüfler yörede köyke taşı olarak anılmaktadır. Kaynaklanmış tüfler porfiritik dokuda olup, fenokristalleri sanidin, oligoklaz, piroksen, anfibol ve opak minerallerden oluşmaktadır. Kaynaklanmış tüflerin içerisinde %15 oranında zeolitler yer almaktadır. Zeolit mineralleri de anaçime' den oluştuğu için, yapı taşı olarak kullanıldığında binanın nem içeriğini düzenlemektedir. Kaynaklanmış tüflerin taşından yapılmış cami, kilise ve antik binaların aradan 1500 yıl gibi bir süre geçmesine rağmen sağlam kaldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada kaynaklanmış tüflerin mukavemeti, yoğunluk ve gözenekliliği ölçülmüştür. Gözenek oranının yüksek olması (%40), ısı yalıtımı açısından faydalıdır. Betonun ısı yalıtımına kıyasla binaların dış duvarlarında %60 lara varan yakıt tasarrufu sağlanacağı hesaplanmıştır. Kaynaklanmış tüf taşlarının duvarlara levhalar halinde kaplanmasını sağlayacak özel bir yapıştırma harcı da ortak bir çalışma ile geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaynaklanmış Tüfler, Zeolit, Isı yalıtımı. Yapıştırma harcı

### THE IMPORTANCE OF USING İSPARTA WELDED TUFFS AS A CLADDING STONE AND SUITABLE ADHESIVE MORTAR PRODUCTION FOR ITS APPLICATION

### ABSTRACT

Welded tuffs outcrops around İsparta are the product of Gölcük volcanic activity. Welded tuffs is known as Köyke stone in the region. The welded tuffs are in porphyritic texture and phenocrysts consist of sanidine, oligoclase, pyroxene, amphibole and opaque minerals. Zeolites constitute 15% of Tuffs. Zeolite minerals composed of mainly analcime. For that reason Zeolites are important moisture regulator off the buildings. The mosque, church and antique monuments made of welded tuffs remain stable more than 1500 years. Porosity, density and strength of welded tuffs are determined in the study. The high porosity of 40% makes the stone a good heat insulator. Heat energy savings of 60% are found by comparing tuffstone

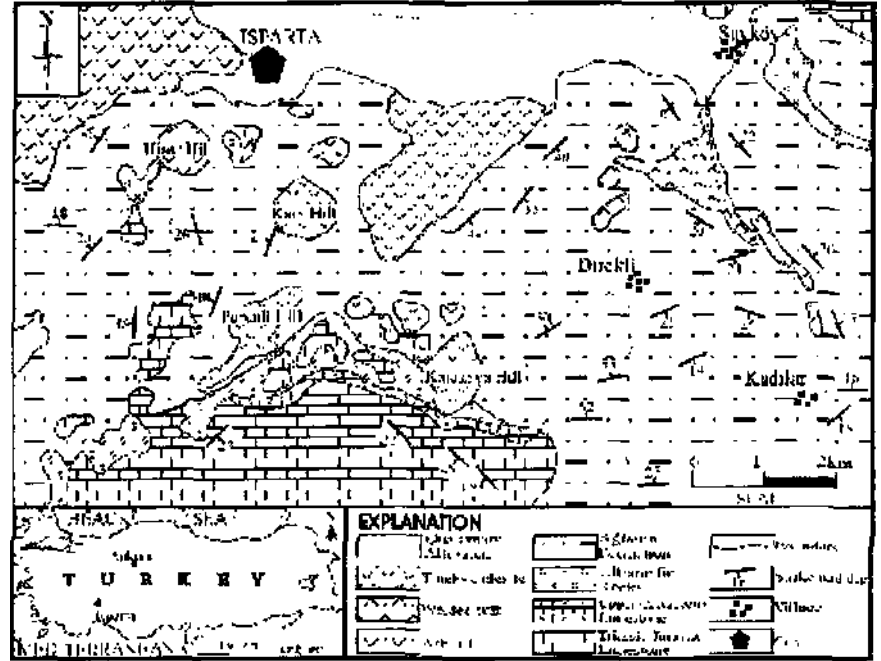
made wall with concrete wall An economical lime adhesive mortar is developed with a joint study for cladding tuffstone to external walls of buildings.

Key words : Welded Tuff, Zeolite, Heat Insulation, Adhesive mortar

## 1. Giriş

Kaynaklanmış tüfler, İsparta'nın güney doğusunda İsparta çayı boyunca ve yine güneyinde dere mahallesinde mostra vermektedir. Bunlar günümüzden yaklaşık olarak beş milyon sene önce aktivite göstermiş olan gölcük volkanizmasının ürünüdür. Kaynaklanmış tüfler yörede köyke taşı olarak anılmaktadır. Volkanizma ürünü olarak traki-andezitler, kaynaklanmış tüfler, kül tüfler ve aglomeralar yörede dikkati çekmektedir. Volkanizma patlamalı tip bir volkanizma olup, bol gaz içermekte ve dolayısıyla kayaçların içinde özellikle ponzalarda yoğun bir şekilde gaz boşluklarına rastlanmaktadır. Söz konusu ponzalar kül tüflerinin içinde 1 cm. den 50 cm. ye ulaşan farklı kalınlıklardadır. Şekil 1'de kaynaklanmış tuf bölgesinin jeolojisi gösterilmektedir. Bilgin ve Sargın (2003),[1], İsparta yöresindeki tüfler için yapısından dolayı kaynaklanmış tuf (welded tuff) tabirini kullanmış olmasına rağmen Fragoulis vd, (1997) ise ihtiva ettikleri zeolitten dolayı, aynı yörede bulunan Kirnilos (Yunanistan da bir ada) adasındaki tüfler için "Zeolitic tuffs" zeolitik tüfler tabirini kullanmıştır, [2].

Kaynaklanmış tüfler porfiritik dokuda olup, fenokristalleri sanidin, oligoklaz, piroksen, amfibol ve opak minerallerden oluşmaktadır. Fenokristallerin içinde bulunduğu matris amorf maddelerden oluşmakta olup, bazen de yer yer mikrolitler dikkati çekmektedir. Bunların içerisinde anklav olarak volkanik kayaç, serpantin ve kireçtaşları bulunmaktadır. Yine kaynaklanmış tüflerin içerisinde %15 oranında zeolitler yer almaktadır. Bunlar kayacın oluşumundan sonra plajiyoklazları ornatarak gaz kabarcıkları alanlarına dolmuş bulunan amigdaloidal tabir edilen mineralleri de içermektedir. Söz konusu zeolitler katyon değiştirme özellikleri nedeniyle, yapı taşı olarak kullanıldığında binanın nem içeriğini düzenlemektedir. Ayrıca kaynaklanmış tüfler Göлтаş çimento fabrikası tarafından tras olarak değerlendirilmekte ve üretilen çimentoya puzolanik etki yaparak çimentonun kalitesini arttırmakta ve çimentonun dış etkilerle korozyonunu engellemektedir, [3].



Şekil 1: İsparta Yöresinin Jeolojik Haritası, [1]

Kaynaklanmış tüflerin  $60\text{-}120\text{ kg/cm}^2$  basınç dayanımında olduğu SDÜ kaya mekaniği laboratuvarlarında ölçülmüştür. Ancak ocaktan çıkarıldıktan sonra uzun süre bekletilen (1-2 sene) numunelerin, geçen süreye bağlı olarak zamanla basınç dayanımı artmaktadır. Yine bu taşlar dış kaplama olarak kullanıldığında estetik açıdan binanın güzelliğini artırmaktadır. Nitekim İsparta ve yöresindeki tarihi binalarda (cami, kilise, okul ve hükümet binası) bu taşlar yaygın bir şekilde kullanılmışlar ve uzun süreli bir dayanıklılık sergilemişlerdir, [1].

## 2. Kaynaklanmış Tüflerin Özellikleri

Bu çalışmada kaynaklanmış tüfler üzerinde üç tür araştırma yapılmıştır. İlk iki araştırma deneysel yapılmıştır. Son araştırma ise kaynaklanmış tüflerin ısı yalıtımını belirlemek için yapılmıştır. Deneysel çalışmaların ilki SDÜ kaya mekaniği laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda kaynaklanmış tüflerin fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci deneysel araştırmalar ise İsparta Kalekim A.Ş. laboratuvarında yapılmıştır. Bu araştırmalarda 4 cm. kalınlığa kadar, kaynaklanmış tuf levhaların dış

duvarlara yapışması için, yapışma mukavemeti yüksek harç üretilmesi amaçlanmıştır.

## 2.1 Kaynaklanmış tüflerin fiziko-mekanik ve kimyasal özelliği

Kaynaklanmış tüflerin özellikleri SDÜ Maden Mühendisliği kaya mekaniği laboratuvarında belirlenmiştir. Aşağıdaki Tablo I ve T de bu özellikler yine İsparta yöresi traki andezitlerinden olan "Geyran taşı" ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

### 2.1.1 Kaynaklanmış tüflerin fiziko-mekanik özelliği

Tablo I. Kaynaklanmış tüf taşı ile Andezitin (Geyran taşı) karşılaştırmalı fiziksel özellikleri

|                        | Kuru numunenin yoğunluğu | Katı kısmın özgül ağırlığı | Kuru numunenin gözenekliliği,% | Su emme oranı. (ağırlıkça)% | Su emme oranı (hacimce)% |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Kaynaklanmış tüf taşı  | 1,40 g/cm <sup>1</sup>   | 2,38 g/cm <sup>3</sup>     | 40 (38-42)                     | 20                          | 28                       |
| Andezit (Geyran taşı)* | 2.35 g/cm <sup>1</sup>   | 2,47 g/cm <sup>1</sup>     | 5,2                            | 0,98                        | 2.3                      |

\*Geyran taşı traki-andezittir.

Tablo 2. Kaynaklanmış tüf taşı ile traki-andezitin karşılaştırmalı mukavemeti

|                       | P-Dalgası hızı, m/s | Yüzey sertliği indisi | Mukavemeti, kg/cm <sup>2</sup> | Isı geçirgenlik değeri,k (W/m.K) |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Kaynaklanmış tüf taşı | 2300                | 18                    | 60-120*                        | 0.4                              |
| Andezit (Geyran taşı) | 4860                | 33                    | 400                            | 2.2                              |

\*Doğal kaynaklanmış tüf taşlarının mukavemeti numunenin kuruluşuna göre 60 kg/cm<sup>1</sup> ile 120 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Numunenin nem içeriği arttıkça mukavemeti azalmaktadır.

Tablo1-2'de görüldüğü üzere Kaynaklanmış tüf taşının gözenekliliği andezite göre 8 misli fazla olduğundan ses geçirgenliği de iki misli azalmıştır. Gözeneklik oranının yüksek olması neticesinde yüzey sertliği ve mukavemeti daha düşüktür. Bunun kırılma anında gözeneklerin etrafında oluşan basınç yoğunlaşmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüksek su emme özelliği de hem gözenekliliğinin fazlalığından hem de bünyesinde bulunan killerin yüksek su emme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Kaynaklanmış tüflerin ısı geçirgenliği de andezite göre iki misli azdır. Kaynaklanmış tüflerin ısı geçirgenlik katsayısı, gözeneklerinin suyla kısmen veya tamamen dolu olması haline göre, 0,2 ile 0,4 W/m.K arasında değişim göstermektedir. Andezitin ise ısı geçirgenlik katsayısı  $k= 2,2$  W/mK dir, [4]. Isı iletim katsayısı tayininde, kaynaklanmış tüf taşlarının, andezite ve diğer karbonatlı kayaçlara nazaran, nem içeriğine göre altı ile on iki misli daha az ısı geçirgenliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle binalarda yüksek oranda ısı tasarrufu sağlarlar.

### **2.1.2 Kaynaklanmış tüflerin kimyasal özelliği**

Tablo 3'de kaynaklanmış tüflerin kimyasal analizi görülmektedir, [5]. Bu değerler Dereboğazı yöresinde değişik lokasyonlardan alınan kaynaklanmış tüflerin kimyasal analizlerinin ortalamasıdır. Özkahraman vd, (1997) çimento sektöründe tras olarak kullanılan bu kaynaklanmış tüflerin çimento katkı maddesi olarak standart trasdan daha üstün olduklarını, puzolanik aktivite deneyi sonuçlarına göre belirlemişlerdir, [6].

Tablo 3. Dereboğazı vadisindeki kaynaklanmış tüflerin ortalama kimyasal bileşim yüzdeleri [5]

| S <sub>1</sub> O <sub>2</sub> | AUOT | F <sub>6</sub> -0 <sub>2</sub> | CaO | MgO | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | Kızdırma K | Toplam |
|-------------------------------|------|--------------------------------|-----|-----|-------------------|------------------|-----------------|------------|--------|
| 60                            | 17.5 | 2.7                            | 4.2 | 0.5 | 3.8               | 5.3              | 0.1             | 5.2        | 99.3   |

### **2.2 Kaynaklanmış tüf taşı kaplaması için yüksek yapışma mukavemetine haiz harç üretimi**

Bu çalışmada, 4cm. kalınlığındaki kaynaklanmış tüf taşı levhalarının bina dış cephelerinde uzun yıllar sökülmeden kalabilmesi için, yapışma mukavemeti yüksek harç üretilmesi amaçlanmıştır. Harcın ekonomik olması da istenmiştir. Kalekim A.Ş. laboratuvarında yapılan deneysel araştırmalar sonucunda, çimento esaslı ekonomik bir kuru karışım harç üretilmiştir. Dolgu malzemesi olarak kalker veya silis kumu kullanılmaktadır. Bu harcın içine çimentonun yapışma mukavemetini artırıcı ve kıvam verici kimyasallar ilave edilmiştir. Yapıştırma işleminden önce kuru karışıma su ilave edilerek uygulanmaktadır. Ayrıca yapışma yüzeyi de yapışmayı engelleyecek kalıntılardan temizlenmelidir. Yüzeyin kuru ve sağlam olması gerekmektedir. Uygulama esnasında harcın kalınlığının tüm yüzeyde eşit derecede olması için 8 mm. kalınlığında bir tarakla taraklanması gerekmektedir. Şekil 2'de Kalekim A.Ş. laboratuvarlarında üretilen özel yapıştırma harcıyla yapılan kaynaklanmış tüf taşının uygulaması görülmektedir. Böylece 20-40 cm. ebadlarına kadar kaynaklanmış tüf taşı kaplaması yapılabilmektedir.

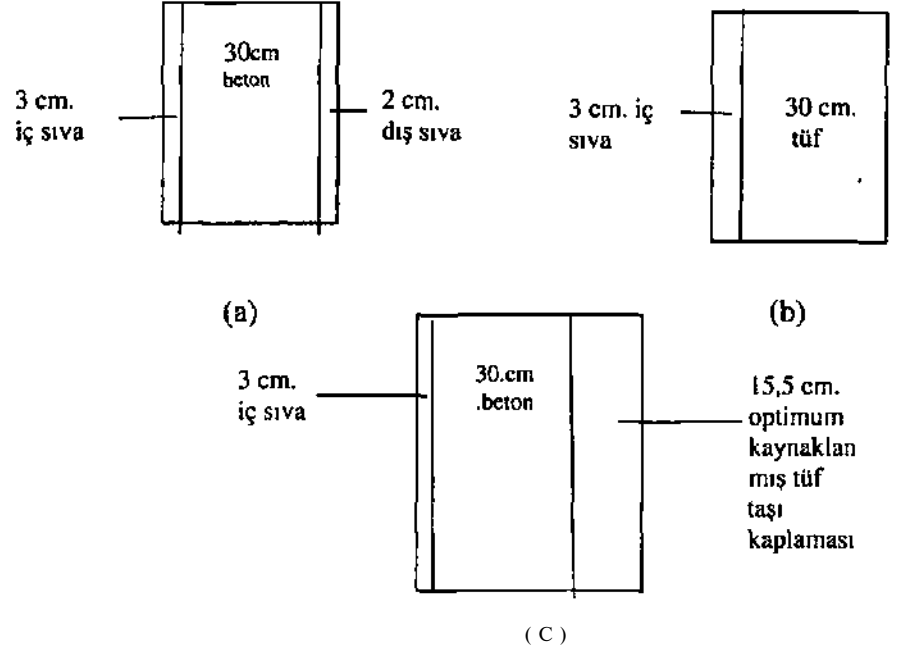


Şekil.2 Özel yapıştırma harcıyla duvara kaynaklanmış tüf taşı kaplaması

### 3. Kaynaklanmış tüf Taşının Isı Yalıtım Özelliği

Kaynaklanmış tüf taşından yapılan bina duvarlarının sağlayacağı ısı enerjisi tasarrufunu belirlemek için 30 cm. kalınlığında betondan yapılan bir duvarla, aynı 30 cm. kalınlığında Kaynaklanmış tüf den yapılan bir duvar karşılaştırılmışım Aşağıdaki Şekil 3a ve 3 b'de bu duvarların ısı dirençlerinin hesaplanmasında kullanılan yapı kesitleri görülmektedir. Şekil 3c'de ise dış cepheye yapılan kaynaklanmış tüf levha kaplamasının optimum kalınlığı görülmektedir. Hesaplamaların ayrıntılı detayı Özkahraman ve Bolattürk, (2003) tarafından gösterilmiştir, -[7]. Aşağıda kaynaklanmış tüf taşının yalıtım özelliği sonuçları özet olarak sunulmuştur.

Hesaplarda kullanılan parametreler ve bunların değerleri, duvarların ısı dirençleri ile birlikte Tablo 4' te verilmektedir.



Şekil. 3 Yalıtım hesaplamalarında kullanılan auvar kesitleri, a. Beton duvar, b. kaynaklanmış tuf taşı duvar, 3.  $X_{op} = 15,5$  cm. optimum kalınlıkta kaynaklanmış tuf kaplanmış duvar kesiti

Tablo 4. Hesaplarda kullanılan parametreler [7]

| Parametre   | Değer                               |
|---|-------------------------------------|
| Derece-Gün sayısı                                   | 3063 İsparta                        |
| Yakıt   | İthal kömür                         |
| Alt ısıl değeri (Hu)                                | $33\,480 \cdot 10^6$ J/kg           |
| Yakma sistemi verimi                                | % 70                                |
| Fiyatı  | 0.125 \$/kg                         |
| Betonun ısıl iletkenlik katsayısı                   | 1.74 W/mK                           |
| Kaynaklanmış tuf taşı'nın ısıl iletkenlik katsayısı | 0.40 W/mK                           |
| Kaynaklanmış tuf taşı'nın fiyatı                    | 40 S/m <sup>3</sup>                 |
| Beton duvar   | $f_{M,} = 0,384$ m <sup>2</sup> K/W |
| Kaynaklanmış tuf taşı duvar                         | $\dot{A}_{,,} = 0,945$ nrK/W        |
| Faiz oranı  | % 8                                 |
| Enflasyon oranı                                     | % 0                                 |
| PWF   | 6.71                                |

### 3.1 Isı yalıtım hesaplama sonuçları

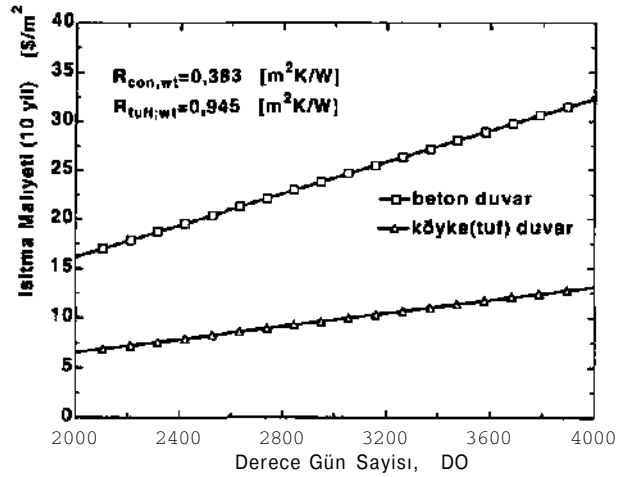
Beton duvar için yıllık enerji maliyeti;

$$C_A = 3,685 \text{ \$/m}^2; \text{ On yıl süresince enerji maliyetinin bugünkü değeri}$$
$$e_{\ll} = 24.73 \text{ \$/m}^2$$

Kaynaklanmış tuf duvar için yıllık enerji maliyeti ;

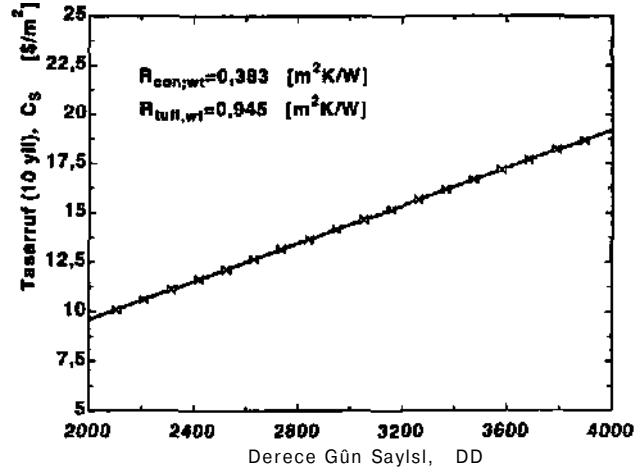
$$C_A = 1.494 \text{ \$/m}^2; \text{ On yıl süresince enerji maliyetinin bugünkü değeri}$$
$$C_{ik} = 10.02 \text{ \$/m}^2$$

Kaynaklanmış tuf taşı kullanmakla yıllık  $2.193 \text{ \$/m}^2$  ; 10 yıllık bir süre içinde  $14.71 \text{ \$/m}^2$  tasarruf sağlanmaktadır. Dolayısıyla Kaynaklanmış tuf taşı kullanmakla  $\text{m}^2$  başına, beton duvara nazaran %60'lık bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Şekil 4'de beton ve kaynaklanmış tuf taşından yapılan duvarların on yıllık ısı enerjisi maliyetlerinin derece-gün sayısı ile değişimini gösterilmektedir. Şekil 4'den anlaşılacağı üzere daha soğuk iklim bölgelerinde "derece-gün sayısı" arttıkça binaların ısıtma maliyetleri de artmaktadır. Ancak bu artış oranları Şekil 5'de de görüldüğü gibi Kaynaklanmış tuf taşında, beton duvara göre daha az olmaktadır. Dolayısıyla Kaynaklanmış tuf taşı kullanmakla yapılan tasarruf miktarları da derece gün sayısı ile doğrusal bir ilişki içinde artmaktadır.



Şekil 4. Beton ve kaynaklanmış tuf taşından yapılan duvarların on yıllık ısı enerjisi maliyetlerinin derece-gün sayısı ile değişimi





Şekil 5. Kaynaklanmış tuf duvarların beton duvara kıyasla enerji tasarruffunun (on yıllık) derece-gün sayısı ile değişimi

### 3.4 Optimum kaynaklanmış tuf levha kalınlığının hesaplanması

Şekil 3c'de Beton duvara yapılan kaynaklanmış tuf kaplaması görülmektedir. Optimum kalınlık hesabında Hasan, (1999) tarafından verilen Formül 3 kullanılmaktadır, [3].

Birim metreküp yalıtım fiyatı  $C$ , [ $\$/m^3$ ] ve yalıtım kalınlığı  $x$  olmak üzere birim yüzey için yalıtım maliyeti  $C_{in}$  [ $\$/m^2$ ] İse, toplam maliyet;

$$C_t = C_A PWF + C_i x \quad (D)$$

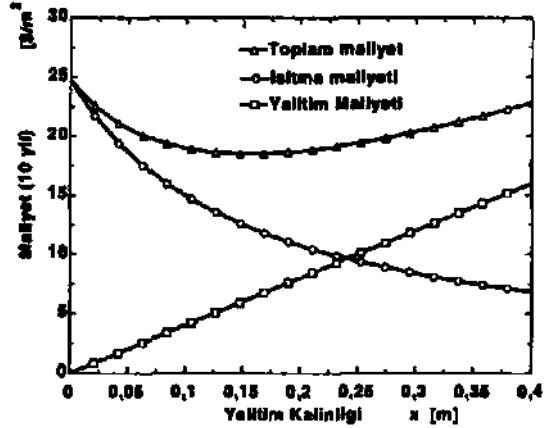
veya

$$C_t = \frac{86400 DD C_f PWF}{\left(R_{wf} + \frac{x}{k}\right) Hu \eta_t} + C_i x \quad (2)$$

olarak bulunur. Toplam maliyeti minimum yapacak yalıtım kalınlığı bize optimum yalıtım kalınlığını vermektedir. Buna göre optimum yalıtım kalınlığı

$$x_{opt} = 293,94 \left( \frac{DD C_f PWF k}{Hu C_i \eta_t} \right)^{1/2} - k R_{wf} \quad (3)$$

olarak hesaplanır. Şekil 3c'den görüleceği üzere 3a\*şeklindeki referans beton duvara optimum kaynaklanmış tüf taşı kaplamak istediğimizde optimum kaynaklanmış tüf kalınlığı Formül 19'dan 15.46 cm. olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu optimum kalınlık değeri Şekil 6'da da grafiksel olarak görülmektedir. Referans beton duvara bu kaplama yapılmak suretiyle 10 yıl üzerinden 6,237 \$/m<sup>2</sup> tasarruf yapılmış olup bu kaplama maliyeti kendisini 3.96 yılda geri ödemektedir. Beton duvara hiç kaplama yapmadığımız durumda ısıtma maliyeti (10 ) yıllık 24,73 \$ iken kaplama yapmak suretiyle toplam ısıtma +izolasyon yalıtım maliyetimiz 19,49\$/m<sup>2</sup> 'a düşmektedir. Netice olarak 6,237\$ kazanç sağlanmaktadır. Kaynaklanmış t ü fi erin m<sup>3</sup> fiyatı 40\$ alınmıştır.



Şekil 6. optimum yalıtım kalınlığının tespitinin grafiksel gösterimi

Grafikten görüleceği üzere yalıtım maliyeti lineer bir şekilde yalıtım kalınlığıyla artmaktadır. Çiğer taraftan da ise on yıllık ısıtma maliyeti ise gittikçe azalmaktadır. Bu iki eğrinin toplamı olan maliyet eğrisini minimum yapan yalıtım kalınlığı optimum kalınlığı göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar

Kaynaklanmış tüf taşı gibi kaynaklanmış tüflerin bina yapımında kullanılmasının sağlayacağı faydalar belirlenmiştir. Kaynaklanmış tüflerin önce fiziko-mekanik özellikleri sonra kimyasal özellikleri daha sonrada kaplama taşı olarak kullanılmasının ısı tasarrufu açısından Önemi ortaya konmuştur. Kaplama taşı olarak duvarlara yapıştın İmasında uygun ve ekonomik bir harç da formüle edilmiştir. Bu çalışma doğal taşlanmızın kullanım alanlanm genişletecek ve akılcı bir biçimde değerlendirilmesini sağlayacaktır.

**Kaynaklar**

1. Bilgin A., Sargin S., Building Stones And Environmental Interaction In İsparta (Turkey) Region, International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones, (IMBS)İstanbul,(2003).
2. Fragoulis, D., Chaniotakis, E., and Stamatakis, M.G., Zeolitic tuffs of KJmolos island, Aegean sea, Greece and their industrial potential.Cement and Concrete Research , Vol.27 No.6, pp. 889-905. USA ,(1997).
3. Bilgin, A., Küseoglu, M., Özkan, G., İsparta-Gölcük yöresi kayaçlarının mineraloji, petrografi ve jeokimyası, Doğa, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi,14/2, 342 - 361,Ankara.(1990).
4. Clauser C, Huenges E. Thermal conductivity of rocks and minerals, American Geophysical Union, p. 105-126.(1995).
5. Selçuk, G., Derebogazi (İsparta) yöresi tras yataklarının özellikleri, Akd. Univ. Fen Bilimleri Enst. Master Degree Study, 69 p. (Unpublished), İsparta, Turkey, ( 1992).
6. Ozkahraman, H.T., Altıntaş, R. ve Gökmen !., İsparta Trasının Çimento Hammaddesi Olarak özellikleri ve Yapı Malzemesi Olarak Mekanik Mukavemeti, IX Mühendislik Sempozyumu, S.D.Ü. Müh. Mim. Fak., Maden Mühendisliği Seksiyonu, Sayfa 39-43, İSPARTA. (1996).
7. Ozkahraman, H.T., Bolattürk A., Bina yapımında kaynaklanmış tuf gibi doğal taşlar kullanmanın enerji tasarrufundaki önemi, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Afyon, Türkiye, (2003).
8. Hasan, A., Optimizing insulation thickness for buildings using life cycle cost. Applied Energy (63),USA., (1999).

