



**Bu bir MMO  
yayıdır**

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

## **ENDÜSTRİYEL BİR TESİSTE AEROJEL İLE YALITIMIN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ**

**M. YALÇIN ÖZÇELİK  
AYVAZ**

**SEZGİ KOÇAK SOYLU  
İBRAHİM ATMACA  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**

# ENDÜSTRİYEL BİR TESİSTE AEROJEL İLE YALITIMIN TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ

*Technical and Economic Analysis of Aerogel Insulation in an Industrial Facility*

**M. Yalçın ÖZÇELİK**  
**Sezgi KOÇAK SOYLU**  
**İbrahim ATMACA**

## ÖZET

Türkiye'nin her geçen gün artan enerji tüketimi, ancak buna karşın yerli enerji üretiminin yeterli olmayışı nedeniyle artan dışa bağımlılık önemli bir sorun teşkil etmektedir. Enerji verimliliği ve tasarrufu, enerji tüketiminin azaltılması yönünde atılabilecek en önemli adımlar olarak görülmektedir. Isı ekonomisi için kullanılan en yaygın yöntemlerden bir tanesi yalıtım uygulamalarıdır. Isı yalıtımı, sıcaklığı çevrelendiği ortam sıcaklığından farklı olan bir ortamın yüzeylerinden oluşacak ısı geçişini azaltmak amacıyla yapılır. Yalıtım amaçlı kullanılan birçok malzeme (cam yünü, taş yünü, seramik yünü, cam köpüğü, poliüretan ve eps köpükler) bulunmaktadır. Bir yalıtım uygulamasında doğru malzemeyi seçerken değişik işletme sıcaklıklarına dayanım, fiziksel, basma ve mekanik mukavemet ve uygulama kolaylığı gibi konulara dikkat edilmelidir. Endüstriyel tesislerde yapılan ısı yalıtımı uygulamalarında 60°C'nin üzerindeki tüm yüzeylerin, boru sistemlerindeki vana, flanş, boru tutucu ve destek elemanları gibi tüm parçaların yalıtılması ve yalıtımın fiziksel olarak hasar görmeyecek şekilde uygulanması önemlidir. Nano teknoloji kullanılarak üretilen ve muadillerine kıyasla 2 ila 5 kat daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip yeni bir yalıtım malzemesi olan aerogeller ile yapılan uygulamalarda en yüksek ısı verimlilik hedeflenmektedir. Bu malzemeler; hidrofobik, yangına karşı dayanıklı, tekrar kullanılabilir, ezilmeme ve formunun bozulmama özelliklerine, depolama, nakliye ve montaj kolaylığına sahiptir. Bu çalışmada bir gıda fabrikasının kazan dairesinde kollektörler, kondens, eşanjör grupları, boiler tank sistemleri, ön hazırlama eşanjörleri, konç sistemleri, sıcak su sistemi, şurup kaynatma sistemi, borular ve konç proseslerinde yapılan termal kamera ölçümleri sonrası izole edilmemiş ve arızalı izoleli yüzeyler tespit edilmiştir. Aerogel izolasyon malzemesi ile izole edildiklerinde oluşacak enerji kazancı ve amortisman süreleri belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı 31 °C olarak ölçülmüş, sistemin yıllık çalışma süresi 7200 saat olarak kabul edilmiştir. Aerogel izolasyon malzemesi ile yalıtım yapılması durumunda oluşacak toplam tasarruf miktarı (enerji kazancı) yaklaşık 82.166,24 TL/yıl olarak belirlenmiş, yalıtılmadan önce aynı yüzeylerin yıllık ısı kaybı tutarı yaklaşık 91.188,06 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aerogel, Yalıtım, Enerji verimliliği, Isı ekonomisi.

## ABSTRACT

Everyday increasing energy consumption but however not enough local production results in dependence on foreign sources which is quite an important issue in Turkey. Energy efficiency and energy conservation are the important steps to take for decreasing energy consumption. One of the most common ways for energy economy is insulation applications. The reason for insulating is to reduce heat transfer from a surface that has different temperature from its surroundings. There are many materials to be used for insulation (e.g. glass wool, stone wool, ceramic wool, glass foam, polyurethane and eps foams). To choose right insulation material for an application, resistance to variable operation temperature, compression and mechanical strength should be taken into consideration. For industrial thermal insulation, every surface above 60 °C, each element in piping such as valves, flanges, pipe retainers and support elements needs to be insulated with a physically

durable material. High energy efficiency is the aim of using aerogel materials for insulation since they are produced with nanotechnology and have 2 to 5 times less thermal conductivity coefficient. These materials are hydrophobic, fire – resistant, reusable, can maintain their form also easy to store, transport and mount. In this study, thermal camera measurements are applied to boiler collectors, condensate, heat exchanger groups, boiler tank systems, pre-prep heat exchangers, conching systems, hot water system, syrup boiling system, piping and conching process inside a boiler room of a food factory to identify un-insulated and false insulated surfaces. Then, possible energy efficiency and depreciation time is determined if insulated with aerogel. Ambient temperature is measured as 31 °C and annual working period is considered as 7200 hours. Total amount of savings (energy gain) in case of insulating with aerogel is determined as approximately 82.166,24 TL/year. Same surfaces had a 91.188,06 TL/year annual heat loss before the insulation.

**Key Words:** Aerogel, Insulation, Energy efficiency, Heat economy.

## 1. GİRİŞ

Bilindiği üzere ısı yalıtımı, sıcaklığı çevrelendiği ortam sıcaklığından farklı olan bir ortamın yüzeylerinden oluşacak ısı geçişini azaltmak amacıyla yapılan uygulama olarak tanımlanır. Isı yalıtımı, ana hedefi olan ısı geçişini azaltmanın yanı sıra; sağlık, emniyet, çevre kirliliğinin azaltılması, ısı ekonomisi, ısı konfor şartlarının sağlanması ve yangın koruma hedeflerini de gözetmektedir.

Yalıtım uygulamalarının binalarda ve sanayide uygulanma şekilleri birbirinden farklıdır. Bu çalışmada bir endüstriyel tesiste yalıtım uygulamasının analizi yapıldığından, bu kısımda sanayide ısı yalıtım uygulamalarında dikkat edilmesi gereken bazı temel konular kısaca açıklanacaktır. Bir endüstriyel tesiste ısı yalıtımında şu hususlar önemlidir;

- 60 °C'nin üzerindeki yüzeylerin tümü, teknik ve ekonomik şartlara bağlı olarak ise 50 °C'nin üzerindeki yüzeyler yalıtılmalıdır.
- Yalıtım boru sistemindeki vana, flanş, boru tutucu ve destek elemanları için de uygulanmalıdır.
- Yalıtım uygulaması tekniğine uygun yapılmalıdır.
- Yalıtım, fiziksel olarak hasar görmeyecek şekilde uygulanmalıdır.

Sanayide yalıtım uygulamalarının ısı kaybını önlemenin yanı sıra diğer bazı gereklilikleri ve faydaları da bulunmaktadır. Örneğin yüksek sıcaklıktaki gazların geçtiği kanallara yapılacak bir yalıtım, dış yüzey sıcaklıklarının yüksek olması sebebi ile iş güvenliğinin sağlanması ve iç yüzey sıcaklıklarının gazların yoğunlaşma sıcaklığının üzerinde tutulması amaçlarıyla yapılmaktadır. Yoğuşan gazlar kanal içlerinde korozyona neden olabilmektedir.

Yalıtım için birçok malzeme kullanılabilirken beraber bu malzemelerin uygulama yerine göre doğru şekilde seçimi, uygulamanın başarılı olması açısından önemlidir. Yalıtım malzemelerini seçerken dikkat edilmesi gereken özelliklerden bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- Değişik işletme sıcaklıklarına dayanım,
- Fiziksel mukavemet,
- Basma mukavemeti,
- Mekanik mukavemet,
- Uygulama kolaylığı.

Yalıtım malzemelerinde performansı belirleyici özelliklerin başında bu malzemelerin ısı iletim katsayıları gelmektedir. Isı iletim katsayısının mümkün olduğunca küçük olması, malzemenin ısıyı o derece az geçirdiğini göstermektedir. En sık kullanılan bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. Bir diğer önemli özellik olan su buharı difüzyon direnç katsayısı, malzemelerin su buharı geçişine karşı gösterdikleri direncin, havanın su buharı difüzyon direncine oranlanması ile elde edilir. Su buharı sıcaklık ve neme bağlı olarak, kısmi buhar basıncı yüksek olan taraftan düşük

olan tarafa ilerler ve bu sırada bir direnç ile karşılaşır. Eğer su buharı tamamen geçebiliyorsa bu katsayı 1, hiç geçmiyorsa  $\infty$  (sonsuz) olacaktır. Önemli oranda buhar kesici olarak tanımlanan malzemelerde bu katsayı genellikle 10000 ile 100000 arasındadır.

Yalıtım malzemelerinin hacimce su emme miktarlarının da az olması istenmektedir. Çünkü havadaki su buharı bir yalıtım malzemesinin bünyesine ne kadar kolay giriyorsa, malzeme bünyesinde yoğunlaşma riski o kadar artacaktır. Bu durum kesinlikle istenmez. Malzemelerin su emmesi, difüzyon veya direkt suyla temas yoluyla olmak üzere farklı şekillerde olabilir. Korozyon, çürüme, küflenme gibi etkenlere karşı direncinin yüksek olması; bu özellikleri gösterebilmek için de olabildiğince nötr olup, suda çözünebilen klorları bünyesinde bulundurmaması gerekir. Yalıtım malzemeleri ayrıca üretim, uygulama ve kullanım sırasında insan sağlığına zarar vermemelidir.

**Tablo 1.** Bazı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları.

Isı Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı [W/mK]
Poliyeten	0.040
Cam yünü	0.040
Taş yünü	0.040
Elastomerik kauçuk köpüğü	0.036
Poliüretan	0.035
Aerojel	0.013

Isı yalıtım malzemeleri kullanım yerlerine göre basınca, çekmeye, gerilmeye ve sarsıntıya karşı dayanıklı olmalıdır. Fiziksel etkiler ve ısı değişiklikleri sonucu boyut ve şekil değiştirmemesi, küçülmemesi ve büyümemesi gereklidir. Aksi takdirde uygulama sonrasında olası şekil değişimleri yalıtımın zarar görmesine neden olur.

Yalıtım malzemelerinde kullanım sıcaklığı da dikkat edilmesi gereken önemli bir faktördür. Malzemenin hangi sıcaklıklar arasında kullanılabileceği, alev ve yanmaya karşı dayanımının hangi mertebelerde olduğu mutlaka göz önüne alınmalıdır. Gerek tesisatta gerekse yapıda kullanılan yalıtım malzemeleri yangın güvenliği açısından güvenilir olmalıdır. Malzemenin tutuşması, alevini yayması, çıkardığı duman ve toksisite yangın güvenliği açısından en önemli kriterlerdir.

Tüm bu sayılan kriterlerin tek bir malzemede bir arada bulunması beklenmemelidir. Bunun yerine, kullanım yerine ve ihtiyaca göre uygun malzemenin seçilmesi önemlidir. Bu nedenle zaman içerisinde birçok farklı yalıtım malzemesi geliştirilmiştir (örn; cam yünü, taş yünü, seramik yünü, polistren köpük, ekstrude polistren köpük, poliüretan köpük, elastomerik kauçuk köpüğü v.b.). Geleneksel yalıtım malzemelerine kıyasla daha iyi özellikler gösteren ve nanoteknolojiden faydalanılarak geliştirilen bir yalıtım malzemesi ise aerojel olmuştur (Şekil 1). Aerojel 1930'larda keşfedilmiş olan nano gözenekli bir katıdır. Aerojelin laboratuvar uygulamasından çıkarak endüstriyel kullanıma geçmesi ise iki gelişme sayesinde olmuştur. İlk önce süperkritik CO<sub>2</sub> uygulamasıyla çözeltilerin uzaklaştırılması döngü zamanını aylardan saatlere indirmiş, sonrasında da ıslak jel halinde olan malzeme lifli bir tabakaya emdirilerek mekanik bütünlük sağlanmıştır.

Aerojeller, partiküllerinin %97'si 45 mm'den büyük olan şekilsiz silislerdir. Malzemenin sadece gözenekleri nano boyuttadır. Yapının %99'u gözeneklerden oluşur ve bu gözenekler içerisinde hava bulunmaktadır. En önemli özellikleri toksisiteye sahip olmaması, kansere yol açan riskler içermemesi, silislerin cilt tarafından emilmesinin mümkün olmaması dolayısıyla da insan sağlığına zarar vermemesidir. Üreticiye ve farklı kullanım sıcaklık aralığına göre farklı isimler alabilmektedir. Soğuk uygulamalar için üretilen tipleri -273 °C ile 90 °C kullanım aralığına sahipken, yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edilen aerojeller, -40 °C'den 650 °C'ye kadar kullanılabilmektedir. Bu malzemelerin klasik ısı yalıtım malzemelerine kıyasla ısı iletim katsayıları 3 ile 5 kat daha düşüktür. Su ve neme karşı duyarlılık açısından bakıldığında aerojeller hidrofobiktir ve su ile nenden hiçbir şekilde etkilenmezler. Aerojel yalıtım malzemeleri 689.5 kPa (100 psi)' dan büyük herhangi bir yüke, baskıya maruz kalsa da kolaylıkla normal ısı performansını gösterebilmektedir. Kırılğan bir mekanizması yoktur, A sınıfı yangın güvenliğine sahiptir.



**Şekil 1.** Aerojel yalıtım malzemesi [1].

Aerojeller ile yapılan yalıtım uygulamaları ile ilgili bilimsel çalışmalar incelendiğinde, bu alanda araştırmacıların daha çok binalarda ısı yalıtımında aerojel kullanımı üzerinde durdukları görülmüştür [2, 3, 4]. İbrahim v.d.'nin yaptığı deneysel ve sayısal çalışmada bir binada mantolama uygulamasının aerojel ile yapılmasının maliyet analizi ve yalıtım kalınlığı optimizasyonu konuları incelenmiştir [2]. İlgili çalışmada Fransa'da hem yeni hem de restore edilen binalara silika bazlı aerojeller ile yapılacak yalıtım uygulamasında optimum yalıtım kalınlığının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışma için tam boyutlarda bir ev inşa edilmiş, sayısal analizler ise EnergyPlus programı ile gerçekleştirilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Numerik analizin, deneysel veriler ile kanıtlanmasından sonra, optimum yalıtım kalınlığı üzerine analizler yapılmış ve bu analizler farklı iklim koşulları için eski binalarda güçlendirme çalışmaları durumu için incelenmiştir. Yalıtım kalınlığı; yıllık ısıtma yükü, şimdiki değer faktörü, uygulama maliyetleri ve ısıtma set sıcaklığına göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, optimum kalınlığın 1.7 – 4.4 cm aralığında olduğunu ve geri ödeme sürelerinin ise iklime bağlı olarak 1.4 ile 2.7 yıl arasında olacağını öngörmektedir.

Bir başka çalışmada aerojel cam kaplamaların ve nano vakumlu yalıtım panellerinin enerji performansı ve ekonomik uygulanabilirliği çok katlı bir ofis binası için araştırılmıştır [3]. Çalışmada binanın enerji performansı yalıtımsız, geleneksel yalıtım ile ve aerojel cam kaplama ile nano vakumlu yalıtım panellerinin bir arada kullanıldığı 3 farklı durum için araştırılmıştır. Binanın modeli Autodesk Revit programı ve enerji simülasyonu ise Ecotect yazılımı ile yapılmıştır. 3 farklı tipte yalıtım uygulamasının maliyet analizleri de aynı zamanda yapılarak, ekonomik fizibilite analizi gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda camlarda aerojel kaplama kullanmanın binanın yıllık enerji tüketiminde %14 düşüş sağladığını, nano yalıtım panellerinin enerji tasarrufuna etkisinin ise %0.8 oranında olduğunu bulmuşlardır. 3 durum birbiri ile karşılaştırıldığında ise çalışmanın konusu olan bina için en iyi seçeneğin camlarda aerojel kaplama, duvar ve çatıda ise polistiren olduğu sonucuna varmışlardır.

Binalarda aerojel ile yalıtım uygulamalarının kapsamlı bir şekilde bir araya getirildiği derleme bir çalışma ise Cuce v.d, [4] tarafından yapılmıştır. İlgili çalışmada aerojel malzemelerin özel akustik özellikleri olduğu ve en önemlisi de ısı iletkenliklerinin 0.013 W/mK mertebelerinde, yani klasik yalıtım malzemelerine göre oldukça düşük olduğu belirtilmiştir. Bu malzemelerin ayrıca üstün fiziksel ve kimyasal özelliklere (örn; saydamlık) sahip oldukları da araştırmacıların ulaştıkları önemli bilgilerdendir. Araştırmacılar bu derleme kapsamında yalıtım malzemelerinde ısı iletimi özellikleri, aerojel malzemelerin sentezi, karakteristik özellikleri, aerojel malzemeler ile klasik yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması ve aerojel malzemelerin binalarda yalıtım amaçlı kullanımına ait uygulama örneklerini bir araya getirmişlerdir.

Tüm üstün özelliklerinin ve nanoteknoloji kullanılarak üretilmesinin doğal bir sonucu olarak aerojel yalıtım malzemelerinin muadillerine kıyasla daha pahalı olduğunu tahmin etmek zor değildir. Ancak getirmiş olduğu yenilikleri ve uygulamadaki avantajları düşünülürse, bu malzemelerin kullanım alanı da giderek genişlemektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak bu çalışmada bir gıda fabrikasının kazan dairesinde aerojel ile ısı yalıtım uygulamasının teknik ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kazan dairesi içerisinde bulunan çeşitli elemanlar üzerinde termal kamera ölçümleri yapılmış, izole edilmemiş ve arızalı izoleli yüzeyler tespit edilmiştir. Daha sonra ilgili yüzeylerin aerojel izolasyon malzemesi ile izole edildiklerinde oluşacak enerji kazancı ve amortisman

süreleri belirlenmiştir. Ortam sıcaklığı 31 °C olarak ölçülmüş, sistemin yıllık çalışma süresi 7200 saat olarak kabul edilmiştir. Aerojel izolasyon malzemesi ile yalıtım yapılması durumunda oluşacak toplam tasarruf miktarı (enerji kazancı) yaklaşık 82.166,24 TL/yıl olarak belirlenmiş, yalıtılmadan önce aynı yüzeylerin yıllık ısı kaybı tutarı yaklaşık 91.188,06 TL/yıl olarak hesaplanmıştır.

## 2. MATERYAL ve METOD

Çalışmada buhar kullanım kapasitesi yüksek bir gıda fabrikasına ait çeşitli tesisat elemanları incelenerek, yapılacak 10 mm kalınlıktaki aerojel yalıtımın teknik ve ekonomik getirileri değerlendirilmiştir. Öncelikle termal kamera ile yapılan analizler ile farklı yüzey sıcaklıklarına sahip çeşitli tesisat elemanları gruplandırılmıştır. Seperatörler, metal körüklü vanalar, pislik tutucular, buhar sayaçları, flanşlar, termostatik vanalar, glob vanalar, yaylı basınç düşürücü vanalar, flanşlı çekvalfler, kondens grupları, kompansatörler, kollektörler, kondenstoplar ve borular gibi yalıtımsız veya yalıtımları zarar görmüş tesisat elemanları termal kamera ölçümlerine göre 160 °C, 150 °C, 130 °C, 115 °C, 100 °C, 95 °C ve 75 °C, yüzey sıcaklıklarına göre gruplandırılmış ve yalıtımsız durumdaki yüzey alanları ile 10 mm kalınlıkta aerojel ile yalıtımları neticesinde oluşacak yüzey alanları tespit edilmiştir. Tesisat elemanları genellikle silindirik geometride olduğundan yalıtımsız ve yalıtımlı haldeki ısı kayıpları ve yalıtım sonrası yüzey sıcaklıkları aşağıdaki ifadeler temel alınarak hesaplanmıştır.

Yalıtımsız eleman ısı kaybı;

$$Q = \frac{\Delta T}{\sum R} = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{1}{2\pi r_1 L h}} \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Burada Q, ısı geçişi (W), R, ısı direnç (°C/W), T<sub>s</sub>, yüzey sıcaklığı (°C), T<sub>∞</sub> ortam sıcaklığı (°C), r, yarıçap (m) ve h, ısı taşınım katsayısıdır (W/m<sup>2</sup>°C). Yalıtım sonrası ısı kaybı ise;

$$Q_{yal} = \frac{\Delta T}{\sum R} = \frac{T_s - T_\infty}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_y} + \frac{1}{2\pi r_2 L h}} \quad (2)$$

ifadesi ile tespit edilebilmektedir. Burada r<sub>2</sub>, yalıtım sonrası yarıçap (m), k<sub>y</sub>, ise yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısıdır (W/m<sup>2</sup>°C). Yalıtım sonrası yalıtım üstü yüzey sıcaklığı T<sub>y</sub> ise;

$$Q_{yal} = \frac{\Delta T}{\sum R} = \frac{T_y - T_\infty}{\frac{1}{2\pi r_2 L h}} \quad (3)$$

ifadesinden çekilerek tespit edilebilmektedir. Aerojel malzeme için ısı iletim katsayısı k<sub>y</sub>=0.013 W/mK, hareketsiz ortamda ısı taşınım katsayısı h=20 W/m<sup>2</sup>K olarak alınmıştır. Tespitler yapılırken ortam sıcaklığı da T<sub>∞</sub>=31 °C olarak ölçülmüştür.

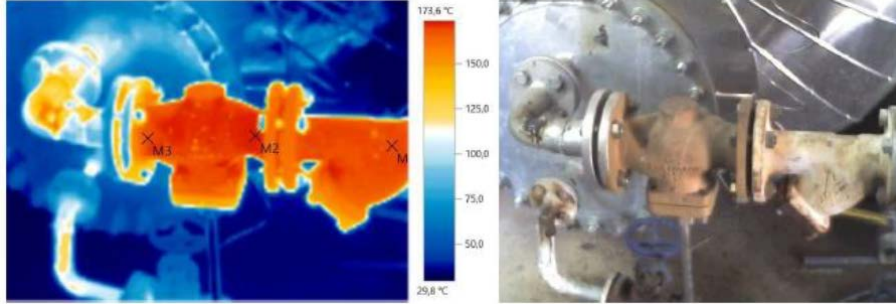
Yalıtım öncesi ve sonrası ısı kayıpları tespiti sonrası Tablo 2.' de sunulan veriler kullanılarak ısı kayıplar nedeniyle tüketilen doğalgaz miktarları ile bunların parasal karşılıkları tespit edilerek, 10 mm aerojel yalıtımın maliyeti de dikkate alınmak suretiyle geri ödeme süreleri tespit edilmiştir.

**Tablo 2.** Ekonomik analizde kullanılan veriler.

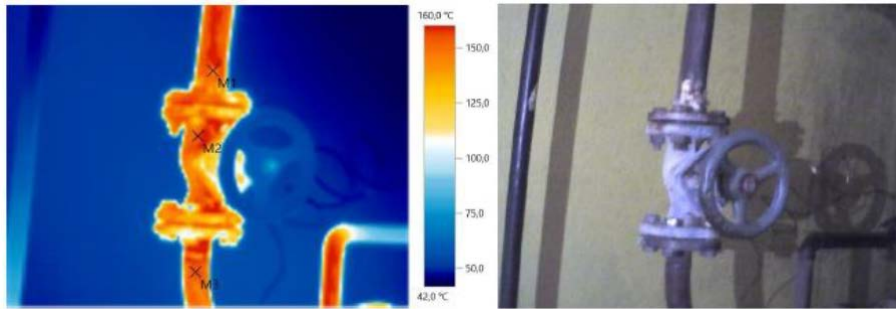
<b>Toplam çalışma süresi</b>	300 iş günü/yıl = 7200 h/yıl
<b>Doğalgazın ısı enerjisi</b>	8250 kcal/h-m <sup>3</sup>
<b>Yakma verimi</b>	%90
<b>Doğalgazın net ısı enerjisi</b>	8.64 kW/m <sup>3</sup>
<b>Doğalgazın fiyatı</b>	0.74 TL/m <sup>3</sup>

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

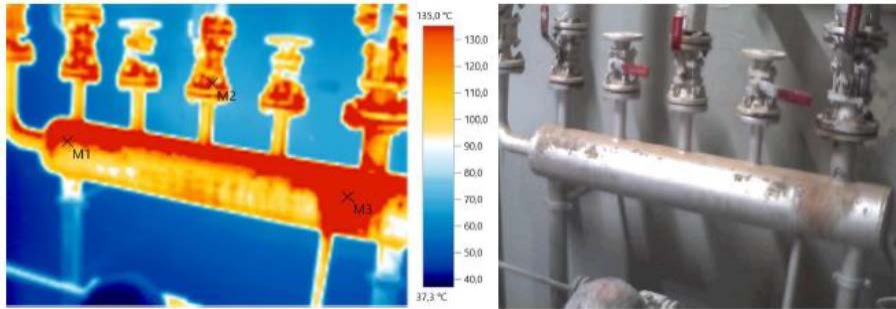
Endüstriyel tesiste yapılan termal kamera analizleri neticesinde yalıtımsız tesisat elemanlarına ait örnekler 160 °C, 150 °C, 130 °C, 115 °C, 100 °C, 95 °C ve 75 °C yüzey sıcaklıklarına göre sırasıyla Şekil 2 – 8.' de sunulmuştur. Yalıtımsız bu elemanlardan olan ısı kayıplarının oldukça yüksek olacağı aşikârdır. Zira yüksek sıcaklığa sahip bu yüzeyler iş güvenliği açısından da problem oluşturabilecek niteliktedir.



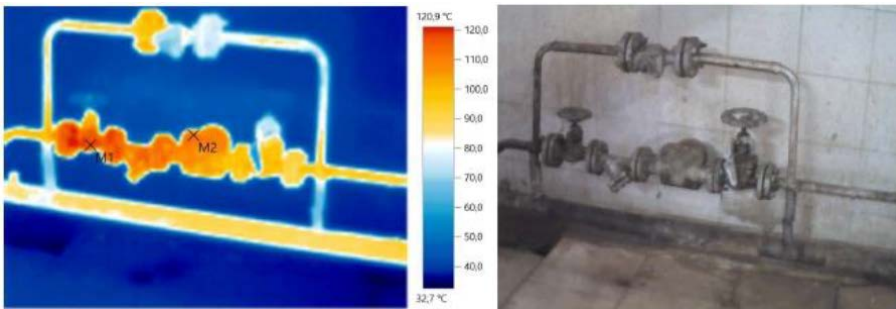
Şekil 2. 160 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (termostatik vana ve pislik tutucu).



Şekil 3. 150 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (glob vana).

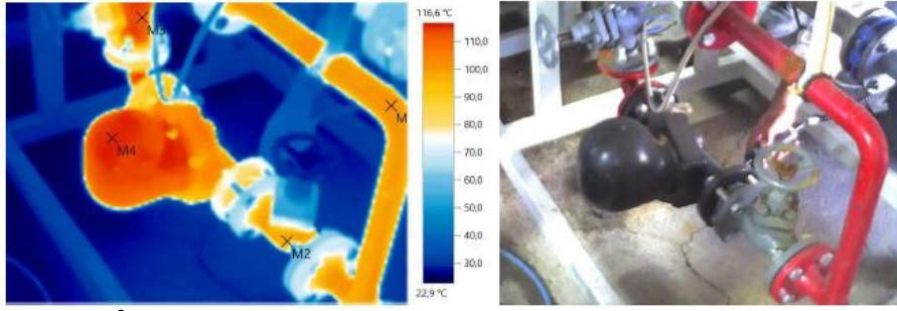


Şekil 4. 130 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (kolektör ve vanalar).

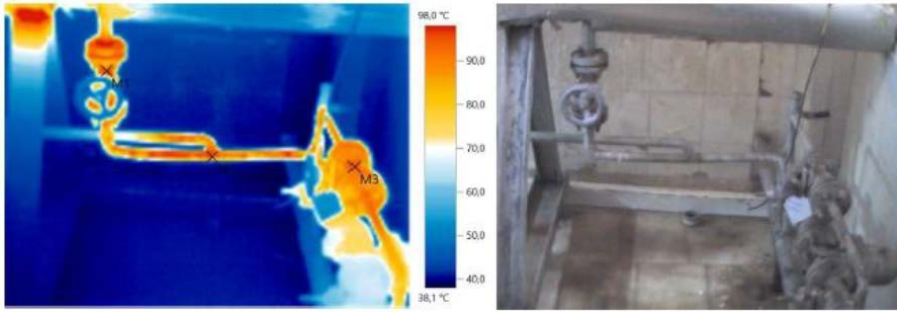


Şekil 5. 115 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (kondens grubu).

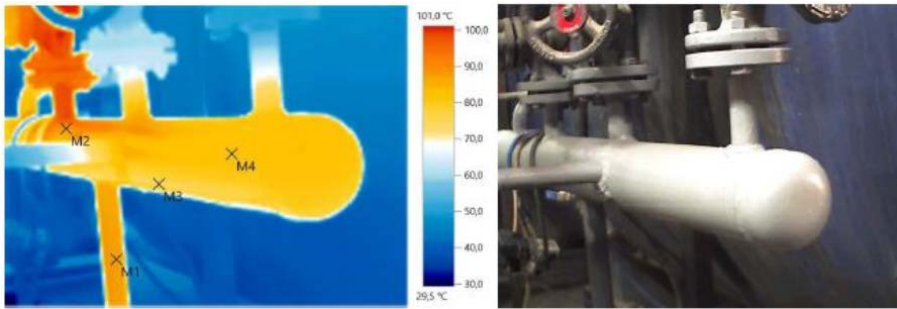




Şekil 6. 100 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (şamandıralı kondensstop).



Şekil 7. 95 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (kondens grubu).



Şekil 8. 75 °C yüzey sıcaklığına sahip tesisat örnekleri (kollektör).

Şekil 2 – 8.' de örnekleri sunulan çok sayıdaki yalıtımsız tesisat elemanının mevcut durumu termal kamera ile tespit edilerek yüzey sıcaklığına göre gruplandırılmış ve bu elemanların yalıtımsız ve 10 mm kalınlıkta arojel yalıtım malzemesi ile yalıtımı sonrası oluşan toplam yüzey alanları hesaplanarak Tablo 3.' de sunulmuştur.

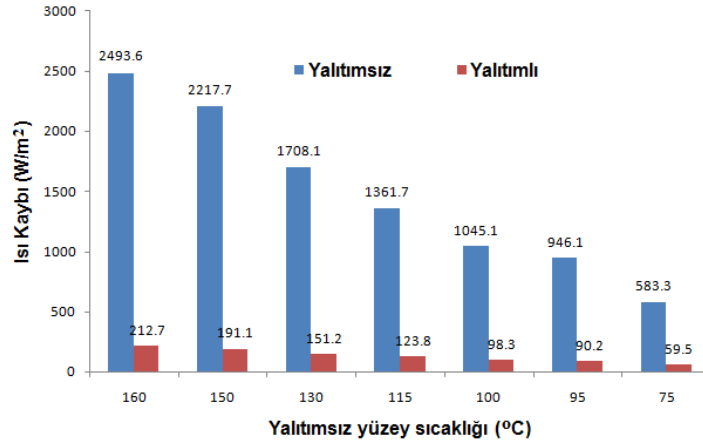


**Tablo 3.** Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip yalıtımsız tesisat elemanları ile mevcut hal ve 10 mm aerojel yalıtım sonrası yüzey alanları.

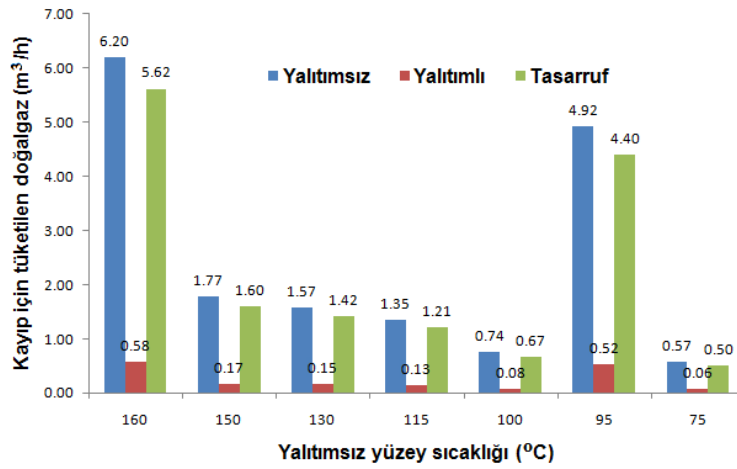
Yüzey sıcaklığı [°C]	Eleman	Toplam yalıtımsız yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]	Toplam yalıtımlı yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
160	Seperatör, metal körüklü vana, pislik tutucu, buhar sayacı, flanş, termostatik vana, boru, glob vana, yaylı basınç düşürücü vana, elektrik aktüatörlü vana, flanşlı çekvalf, kondens grubu	21.47	23.61
150	Kompansatör, flanş, metal körüklü vana, kör flanş, yaylı basınç düşürücü, termostatik vana, pislik tutucu, boru	6.89	7.58
130	Metal körüklü vana, üç parçalı vana, kondens grubu, boru, termostatik vana, pislik tutucu, kollektör, kondenstop	7.96	8.76
115	Kondens grubu, kollektör altı, çekvalf, kazan bacası, pistonlu vana, termostatik vana, kondens grubu, boru, metal körüklü vana, pislik tutucu	8.56	9.42
100	Flanşlı çekvalf, pistonlu vana, şamandıralı kondenstop, boru, üç parçalı vana	6.14	6.75
95	Boru, kondens grubu, metal körüklü vana	44.9	49.39
75	Kollektör, ceketli vana, metal körüklü vana, termodinamik kondenstop, pislik tutucu, boru, flanşlı çekvalf, şamandıralı kondenstop, 3 yollu vana	8.41	9.25

Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip yalıtımsız tesisat elemanlarından olan ısı kaybı birim yüzey alanı için hesaplanarak Şekil 9.' da sunulmuştur. Aynı grafikte 10 mm kalınlıkta aerojel yalıtım yapılması durumunda oluşan ısı kayıpları da verilmiştir. Azalan yüzey sıcaklığı ile birim yüzey alanından ortama olan ısı kaybı da doğal olarak azalmakla birlikte, şekilden de açıkça görüldüğü üzere 10 mm kalınlıkta aerojel yalıtım ile tesisattan olan ısı kayıplarını yaklaşık %90 azaltmak mümkündür.

Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarından olan ısı kayıpları nedeniyle harcanan doğalgaz miktarları da yalıtımsız ve 10 mm kalınlıkta aerojel yalıtım yapılması durumları için Şekil 10.' da verilmiştir. Şekilden de açıkça görülebileceği üzere ısı kayıpları nedeniyle tüketilen doğalgaz yalıtım yapılması durumunda yalıtımsız durumun yaklaşık %10 kadarına tekabül etmektedir. Bu durumda büyük oranda yakıt tasarrufu sağlanabildiği yine Şekil 10.' dan görülebilmektedir. 95 °C yüzey sıcaklığına sahip elemanların birim yüzey alanından olan ısı kaybı yüksek sıcaklıklı yüzeylere nazaran düşük olsa da bu sıcaklıktaki elemanların yüzey alanlarının yüksek olması normal olarak doğalgaz tüketimlerini de arttırmıştır.

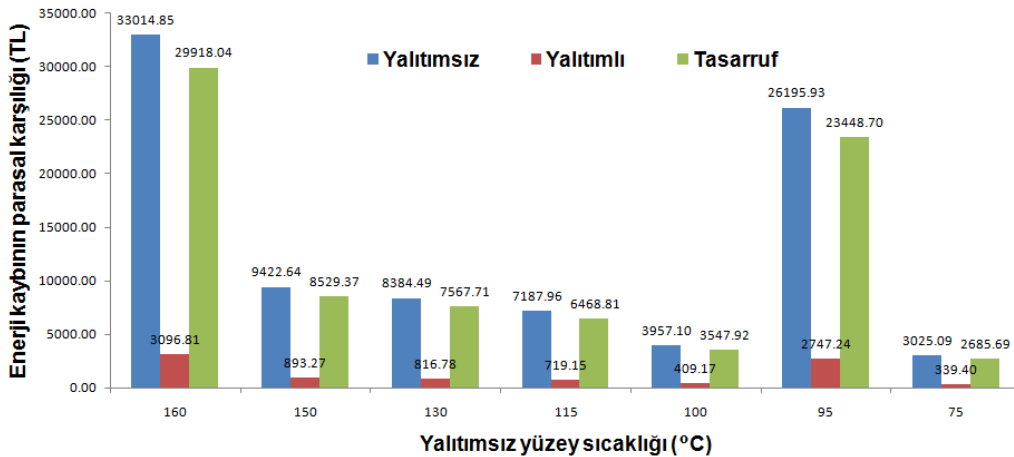


**Şekil 9.** Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarının birim yüzey alanından olan ısı kaybının yalıtımsız ve yalıtımlı durum için karşılaştırılması.



**Şekil 10.** Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarından olan ısı kayıpları nedeniyle harcanan doğalgaz miktarlarının yalıtımsız ve yalıtımlı durum için karşılaştırılması.

Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarından olan enerji kayıplarının parasal karşılığının yalıtımsız ve yalıtımlı durum için karşılaştırılması ve sağlanan tasarruf miktarları Şekil 11.' de verilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere yalıtımlı durumlarda enerji kaybı nedeniyle harcanan maliyet doğalgaz tüketimindeki azalmayla orantılı olarak yalıtımsız durumun %10 kadarına düşmekte bu da yüksek miktarlarda parasal tasarruf sağlamaktadır.



**Şekil 11.** Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarından olan enerji kayıplarının parasal karşılığının yalıtımsız ve yalıtımlı durum için karşılaştırılması.

Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarının 10 mm kalınlıkta aerojel malzeme ile yalıtımı sonrası yüzey sıcaklıkları, elde edilebilecek ısı kazanç, tasarruf edilebilecek doğalgaz miktarı, yıllık kazanç ile yalıtımın maliyeti ve geri ödeme süreleri Tablo 4.' de özetlenmiştir. Yalıtım sonrası yalıtım malzemesi üzerindeki sıcaklıkların 60 °C' nin altına düştüğü, yüzey sıcaklığına bağlı olarak amortisman süreleri değişmekle birlikte böyle bir endüstriyel tesisin yalıtılmadan önce toplam enerji kaybının parasal karşılığı 91.188,06 TL/yıl iken yalıtımı neticesinde toplam tasarruf miktarının 82.166,24 TL/yıl olduğu ve bunun da toplam 35.272,68 TL olan yalıtım maliyetinin yaklaşık 0.43 yılda geri ödenmesini sağladığı tablodan açıkça görülebilmektedir.

**Tablo 4.** Farklı yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarının 10 mm kalınlıkta aerojel ile yalıtımının sağladığı kazançlar ve amortisman süreleri.

Yüzey sıcaklığı [°C]	Yalıtım sonrası yüzey sıcaklığı [°C]	Toplam ısı kazanç [kW]	Tasarruf edilen doğalgaz [m <sup>3</sup> /yıl]	Yıllık Kazanç [TL/yıl]	Yalıtım maliyeti [TL]	Amortisman süresi [yıl]
160	50.4	48.52	40429.79	29918.04	11428.03	0.38
150	48.7	13.83	11526.18	8529.37	2563.42	0.30
130	45.5	12.27	10226.64	7567.71	4140.02	0.55
115	43.2	10.49	8741.63	6468.81	2548.3	0.39
100	41	5.75	4794.491	3547.92	1799.59	0.51
95	40.3	38.02	31687.43	23448.70	9690.73	0.41
75	37.5	4.36	3629.315	2685.69	3102.59	1.16
<b>TOPLAM</b>				82166.24	35272.68	0.43

## SONUÇ

Çalışmada nano teknoloji ile üretilen ve 0.013 W/mK gibi oldukça düşük ısı iletim katsayısına sahip aerojel yalıtım malzemelerinin endüstriyel tesisatlarda kullanımının getirebileceği avantajlar detaylarıyla analiz edilmiştir. Yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip tesisat elemanlarının 10 mm kalınlıkta aerojel ile yalıtılması durumunda yüzey sıcaklıklarının 60 °C' nin altına düşebileceği, elemanların birim yüzey alanından olan ısı kaybının yaklaşık %90 oranında azalabileceği, kayıp nedeniyle tüketilen doğalgaz miktarları ve bunun parasal karşılığının yalıtımsız durumun yaklaşık %10' u kadar olabileceği tespit edilmiştir. Yapılacak 10 mm kalınlıkta aerojel yalıtım ile 82.166,24 TL/yıl tasarruf sağlanabileceği ve böylece yalıtımın kendisini yaklaşık 5 - 6 ay gibi kısa bir sürede geri ödeyebileceği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] TAVUKÇUOĞLU, M., "Isı Yalıtımı ile Enerji Tasarrufu", Ayvaz Globally Local Yeniliklerin Sempozyumu, 27 – 30 Ekim 2016, s.76 – 104, Antalya.
- [2] İBRAHİM, M., BIWOLE, P.H., ACHARD, P., WURTZ, E. and ANSART, G., "Building Envelope with a New Aerogel-Based Insulating Rendering: Experimental and Numerical Study, Cost Analysis, and Thickness Optimization", Applied Energy, 159: 490-501, 2015.
- [3] MUJEEBU, M.A., ASHRAF, N. and ALSUWAYIGH, A., "Energy Performance and Economic Viability of Nano Aerogel Glazing and Nano Vacuum Insulation Panel in Multi-Story Office Building", Energy, 113: 949-956, 2016.
- [4] CUCE, E., CUCE, P.M., WOOD, C.J. and RİFFAT, S.B., "Toward Aerogel Based Thermal Superinsulation in Buildings: A Comprehensive Review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34:273-299, 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

### M. Yalçın ÖZÇELİK

1981 yılında Konya'da doğmuştur. 2005 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun olan M. Yalçın ÖZÇELİK, imalat mühendisliği ile başladığı meslek hayatında sırasıyla, proje, taahhüt ve son olarak satış mühendisliği görevleriyle buhar sistemlerinde 10. Yılıni tamamlamıştır. Ülkemizdeki birçok gıda tesisinde enerji verimliliği üzerine çalışmalar yapmış, aynı zamanda endüstriyel çamaşırhane projelendirme ve işletmenin buhar sistemlerinde kayıp ve kaçak analizleri konusunda detaylı raporlamalar hazırlamıştır. Beş yıldan beri AYVAZ A.Ş. de “Antalya Bölge Müdürü” görevini üstlenen M. Yalçın ÖZÇELİK evli ve bir çocuk babasıdır.

### Sezgi KOÇAK SOYLU

1985 yılında Ankara'da doğmuştur. 2009 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden aldığı lisans derecesinin ardından öğrenimine yine aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü'nde devam ederek 2012 yılında Master derecesini almaya hak kazanmıştır. Şu anda Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak görev yapmakta ve doktora öğrenimine devam etmektedir. Araştırma alanlarının arasında nanoakışkanlar ve uygulamaları, ısı pompaları ve güneş enerjisi bulunmaktadır.

### İbrahim ATMACA

1979 yılı Antalya doğumludur. 1999 yılında Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Lisans, 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalından yüksek lisans ve 2006 yılında aynı Enstitüden Doktora derecelerini aldı. 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalına Yardımcı Doçent olarak atandı, 2014 yılında Doçent oldu. Güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemleri, güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemleri, iklimlendirilen ortamlarda ısı konfor ve iç hava kalitesi, nanoakışkanların çeşitli ısı uygulama alanları, binalarda ısı yalıtımı ve enerji verimliliği, termoelektrik soğutuculu damıtma sistemleri, evaporatif soğutma ile iklimlendirme sistem verimlerinin iyileştirilmesi konularında çalışmalarını sürdürmektedir. Halen Akdeniz Üniversitesinde Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı olarak görevini sürdürmektedir. MMO Antalya Şube Başkan vekilliği görevini yürüten İbrahim Atmaca, evli ve bir çocuk babasıdır.