



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :10.04.2023
Kabul Tarihi :17.11.2023

Received Date :10.04.2023
Accepted Date :17.11.2023

SICAK BORU KAPLAMALARINDA FARKLI KOMPOZİT KAPLAMA MALZEMELERİN TERMAL PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMASI ÜZERİNE BİR ANALİZ

AN ANALYSIS ON THE COMPARISON OF THERMAL PERFORMANCES OF DIFFERENT COMPOSITE COATING MATERIALS IN HOT PIPE COATINGS

Lütfullah GÜNDÜZ¹ (ORCID: 0000-0003-2487-467X)
Şevket Onur KALKAN^{1*} (ORCID: 0000-0003-0250-8134)
Oktay POZAM² (ORCID: 0009-0004-5511-6825)

¹ İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye
² Shieldmix Teknolojik Yalıtım Kaplama Kimyevi Üretim İnşaat Taahhüt San.Tic.Ltd.Şti, İzmir, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Şevket Onur KALKAN, sevketonur.kalkan@ikcu.edu.tr

ÖZET

Boru hatlarının bütünlüğü farklı amaçlarla kullanılan çeşitli kaplama elemanlarının uygulanması ile sağlanabilmektedir. Her ne kadar farklı amaçlarla boru kaplamaları yapılsa da boru kaplamalarının en önemli uygulama amaçlarından biri yalıttır. Son yıllarda, çift katmanlı, üç katmanlı ve hatta bazı uygulamalarda üçten fazla katmanlı olarak uygulanan geleneksel ısı izolasyon kaplamalarının yerini tek katmanlı uygulamaların alması gelişen teknoloji ile gündeme gelmiştir. Bu deneysel çalışmada, içerisinden yüksek sıcaklıkta akışkan geçen boru hatlarının kaplanması için tek kat olarak uygulanabilecek üç farklı kaplama malzemesinin deneysel sonuçları paylaşılmaktadır. Bu kaplama malzemeleri; akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesi, çimento+stiren akrilik kopolimer bağlayıcı genleşmiş cam, seramik, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden kaplama malzemesi ve çimento bağlayıcı genleşmiş kil, doğal volkanik tüf, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden kaplama malzemesidir. Sabit özellikteki bir çelik boruya, her bir kaplama malzemesinden eşdeğer uygulama kalınlığı 24 mm olacak şekilde boru yüzeyine kaplama uygulaması yapılarak üç farklı harcın termal özellikleri tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, eşdeğer kaplama kalınlığında uygulandığında akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin yüzey sıcaklık değerinin daha düşük derecelerde elde edilmesi sebebiyle ısı performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak boru, kaplama, termal performans, enerji tasarrufu, yalıtım

ABSTRACT

The integrity of the pipelines can be ensured by the application of various coating elements used for different purposes. Although pipe coatings are made for different purposes, one of the most important application purposes of pipe coatings is insulation. In recent years, it has come to the fore with the developing technology that single-layer applications replace the traditional heat insulation coatings, which are applied as double-layer, three-layer and even more than three layers in some applications. In this experimental study, the results of three different coating materials that can be applied as a single layer in the coating of pipelines through which fluid flows at high temperatures are shared. These coating materials: acrylic dispersion-based coating material, cement+styrene acrylic copolymer binder-containing expanded glass, ceramic, perlite and cement-binding expanded clay, natural volcanic tuff, perlite and inorganic filling materials. The thermal properties of three different mortars were determined by applying a coating to a fixed steel pipe on the pipe surface, with an equivalent application thickness of 24 mm from each coating material. According to the results of the study, it has been determined that the thermal performance of the acrylic dispersion-

ToCite: GÜNDÜZ, L., KALKAN, Ş.O., & POZAM, O., (2024). SICAK BORU KAPLAMALARINDA FARKLI KOMPOZİT KAPLAMA MALZEMELERİN TERMAL PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMASI ÜZERİNE BİR ANALİZ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(1), 16-29.

based coating material is higher when applied at an equivalent coating thickness, since the surface temperature value is obtained at lower temperature.

Keywords: Hot pipe, coating, thermal performance, energy saving, insulation

GİRİŞ

Boru yalıtımı, boruların taşıdığı sıvı ve/veya gazın dış ortamlardan etkilenmeksizin özelliği ve sıcaklık değerleri değişime uğramadan taşınıp hedef noktasına ulaşması için yapılan izolasyon uygulamasıdır. Boru hatları konutlar, fabrikalar, iş merkezleri, alt yapı tesisatları vb. gibi birçok endüstriyel uygulama alanlarında güncel hayatımızda yer alan tesisat hatlarıdır. Boru hatlarının yer aldığı iç ve/veya dış mekân ortamında boru izolasyonu yaptırmanın en temel sebebi, ısı dolayısıyla enerji kaybının minimuma indirilmesidir (Nsofor, 2011). İzolasyon yapılmayan borular, çevrelerinde bulunan soğuk ya da sıcak fark etmeksizin dış etkenlerden fazlasıyla etkilenip verimden düşebilmektedir. Bu boruların yeterli verimle çalışmasını sağlamak, enerji kaybını en aza indirmek hatta sıfırlamak ve sağlanan bu enerji tasarrufuyla yüksek miktarda kazanımlar istenildiğinde boru izolasyonu kaçınılmaz bir gereklilik olmaktadır. Bununla birlikte, borunun izole edilmesi, bu kazanımlara ilaveten tesisatın korunması ve uzun ömürlü kullanım açısından da büyük avantajlar sağlayacaktır (Nsofor, 2011; Simpson vd., 2019; Tesisat İzolasyonu, 2020; Temimy vd. 2021). Boru hatlarının ısı yalıtımı, boru sistemlerinin düzenli çalışması için gereklidir. Taşınan sıvıların ve gazların özelliklerine bağlı olarak (ısıtma ve su tedarik sistemleri, sıvı ve gazların pompalanması, yağ ve gaz tedarik sağlama sistemleri) ısı yalıtım malzemeleri için gereksinimler çok farklıdır (Isollat, 2023; Sargison, 2006).

Boru yalıtımları yapılan izolasyon işlemine göre genellikle Sıcak Yalıtım, Soğuk Yalıtım, Kişisel Koruma İzolasyonu ve Ses Yalıtımı gibi çeşitli parametrelere göre sınıflandırılmaktadır (Dey, 2023). Sıcak Yalıtım, boru sistemi içinde sıcak su ve/veya gaz taşınımının yapıldığı bir tesisat hattında boru sisteminde taşınan sıvı veya gazdan ısı enerjisi akışını önlemek için boru sisteminin sıcak yüzeylerine uygulanan izolasyon işlemidir. Bu uygulamaya sıcak boru yalıtımı adı da verilmektedir. Sıcak boru yalıtımının temel amacı ısı tasarrufudur. Sıcak borular, genellikle fabrikalar, kazan ve boru hatları, LPG, su tesisatları, yakıt tankları, tuğla ve ekmek fırınları ve kullanım alanı oldukça geniş bina ve konutlarda ısıtma ve sıcak su dağıtımını gibi uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Nsofor, 2011). Sıcak boru yalıtımında güncel olarak kullanılan izolasyon malzemeleri arasında, uygulama performansları farklı sıcaklık değerleri aralığında değişim göstermekle birlikte mineral cam fiber, mineral yün, kaya yünü, cam yünü, kalsiyum silikat, genleşmiş perlit, genleşmiş silika, refrakter fiber, hücresel cam ve seramik fiber vb. gibi malzeme türlerinin kullanımları görülebilmektedir. Soğuk yalıtım, dış ortam hava sıcaklığına göre görece çok daha düşük sıcaklık değerinde bir akışkan veya gazın boru sisteminin içinde taşındığı bir tesisatta, borunun soğuk yüzeylerinde dışarıdan ısı kazanımını veya yoğuşmayı önlemek amacıyla yapılan yalıtımdır. Sıcak boru yalıtımında güncel olarak kullanılan izolasyon malzemeleri arasında, Poliüretan Köpük, Genleştirilmiş Perlit Köpük, Genleştirilmiş Polistiren Köpük vb. malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı görülebilmektedir (Dey, 2023, İzoder, 2023).

Kişisel Koruma İzolasyonu ise, kişisel ısı yaralanmasını önlemek için sıcak boru sistemlerinde kişisel koruma yalıtımı uygulaması da yapılmaktadır. Soğukun borulara zarar vermesini önlemek için tasarlanan boru yalıtımının yanı sıra, çevredeki alanı borulardan akan maddelerin neden olduğu aşırı sıcaklıklardan korumak için aynı yaklaşım kullanılabilir. Genellikle 65 °C'yi aşan tüm açıkta kalan boru yüzeylerine kişisel koruma izolasyonu uygulanması prensip edinilmektedir. Örneğin, Isıtma borularının duvar boyunca ilerlerken temas ettiği yerlerde, insanların kazara kendilerini yakmalarını önlemek için yalıtımın yapılması gerekli olmaktadır. Borular açıkta kaldığında, yalıtım normalde boruların etrafına sıkıca oturabilen ve çevredeki renk düzeniyle uyum sağlayacak şekilde boyanabilen malzemelerden oluşur. İnşaat veya işletme personelinin erişemeyeceği alanlar açıkta bırakılabilir. Kişisel koruma yalıtım malzemesi olarak açık ağ metal koruyucu, mineral yün vb. gibi malzemeler bu amaçla kullanılabilir. Boru sistemlerinde ses yalıtımı ise, potansiyel bir ses kaynağı olduğu düşünülen tüm borular için farklı kalınlıklarda kaplama şeklinde akustik yalıtım uygulaması yapılmaktadır. Bundaki temel amaç, gürültüyü (titreşimi) kabul edilebilir bir sınıra indirmektir. Akustik yalıtım malzemesi olarak akustik köpük, cam elyafı, polyester/poliüretan köpükler ve taş yünü gibi malzemeler kullanılabilir (Dey, 2023, İzoder, 2023).

Boru yalıtımı, borular ve borulardan akan herhangi bir madde için kabul edilebilir bir sıcaklığın korunmasına yardımcı olmak üzere tasarlanmış boru etrafına sarılarak veya doğrudan boru yüzeyine tatbik edilerek uygulanan koruyucu bir kaplamadır (Abdullah, 2022; Nsofor, 2011; Sargison, 2006). Çoğu durumda boru yalıtımı, boru sıcaklığının yakın çevre üzerindeki etkisini de en aza indirerek, enerji kayıplarını büyük ölçüde azaltır. Yalıtımın

işyerlerinde, apartmanlarda ve evlerde bazı boru sistemlerinin oluşturduğu gürültü miktarını azaltması da alışılmadık bir durum değildir.

Güncel ısı yalıtım uygulamalarında belirli kalınlıklarda kullanılan fiberglas, mineral yün, taş yünü, cam yünü, polistren köpük, genişmiş perlitli plaklar ve kalsiyum silikat gibi malzemelerin termal performansı, genellikle levha şeklindeki numuneleri üzerinde ısı akışının standartlar kapsamında değerleri ölçülerek belirlenebilmektedir. Isı akışı ne kadar düşük olursa yalıtım performansları da o oranda daha etkili olduğu kabul edilir. Ancak, bu tarz test ve ölçme yöntemi sıcak boru termal kaplamalarına uygulanamaz. Çünkü sıcak boru kaplamalarında kaplama kalınlığı ince olup, kaplamaları test etmek için yeterli kalınlığı elde etmek için birçok katman gerekir. Bu da test uygulaması zor bir süreci işaret etmektedir. 2008 yılında Kuzey Amerika Yalıtım Üreticileri Derneği'nin (NAIMA) talebi üzerine akredite bağımsız bir laboratuvar tarafından sıcak boru kaplamalarının termal performansı üzerine bir test yöntemi geliştirilmiş (NAIMA, 2023) ve 2013 yılında Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) (2013) tarafından da bu yöntem kullanılmıştır. NAIMA ve ASHRAE çalışmalarında, çıplak çelik ve yalıtılmamış bir termal boru test düzeneğinin öncelikle belirli bir sıcaklık aralığında boru içi ve boru yüzey sıcaklık değişimleri ölçülerek kaydedilmiştir. Sonrasında çıplak çelik boru yüzeyine ince bir katman şeklinde kaplama malzemesi uygulanarak kaplanmış boru düzeneğindeki ısı akışı, boru içi sıcaklık değerleri, kaplama yüzeyi sıcaklık değerleri ve ısı kaybı miktarları ölçülerek hesaplanmıştır. Kaplama malzemesinin çıplak çelik boruya sağlamış olduğu termal performans değerleri kaplamasız v kaplamalı boru verilerinin karşılaştırmalı hesabı ile tanımlanarak yorumlanmıştır (NAIMA, 2023; Manville, 2023; ASTM, 2021; ASHRAE, 2013). Bu yöntem bir yaklaşım olarak daha sonraki dönemlerde de sıcak boru kaplamalarının termal performanslarının belirlenmesi amacıyla farklı araştırmacılar tarafından da uygulanmıştır (Yarbrough, 2008).

Boru hatlarının ısı yalıtımı için kullanılan en yaygın malzemelerin başında mineral (bazalt) yün gelmektedir (Isollat, 2023). Ancak mineral yünün sıcak boru kaplamalarda uygulanmasında ortamda yer alabilecek buhar ve sudan kolaylıkla etkilenecek, kaplama malzemesi ısı yalıtım performansını önemli ölçüde kaybeder (Isollat, 2023). Ayrıca ısıtma ve sıcak su borularının köpük türü malzemeler ile yalıtılmasında da birtakım dezavantajlar oluşabilmektedir. Bunlar arasında UV radyasyonuna karşı iyi bir koruma sağlama ihtiyacı söz konusudur. Bu tip yalıtımın aktif metal korozyonuna neden olabilmesi bir diğer dezavantaj olarak kaydedilmektedir (Isollat, 2023). 100°C sıcaklığın üzerinde poliüretan köpük izolasyonlu boruların kullanılması kaplama malzemesinin bu sıcaklık değerlerine dayanımının düşük olması sebebiyle kullanımı zorluklar içermektedir. Benzer şekilde, köpük kauçuktan yapılmış malzemelerde sıcaklık dayanım eşik değeri genellikle 80°C'den daha düşük olması sebebiyle daha yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybedebilmekte ve sıcak boru kaplamalarında yalıtım performansları kaybolabilmektedir (Isollat, 2023). Bununla birlikte geleneksel olarak uygulanan yalıtım malzemeleri, koruyucu kaplama gerektirir. Genelde bunun için galvanizli metal kaplamalar kullanılmaktadır. Bu uygulama şekli de hem mekân daralmasına sebebiyet verebilmekte hem yüksek maliyet hem de bakım masrafları gibi bazı dezavantajları gündeme getirebilmektedir (Isollat, 2023).

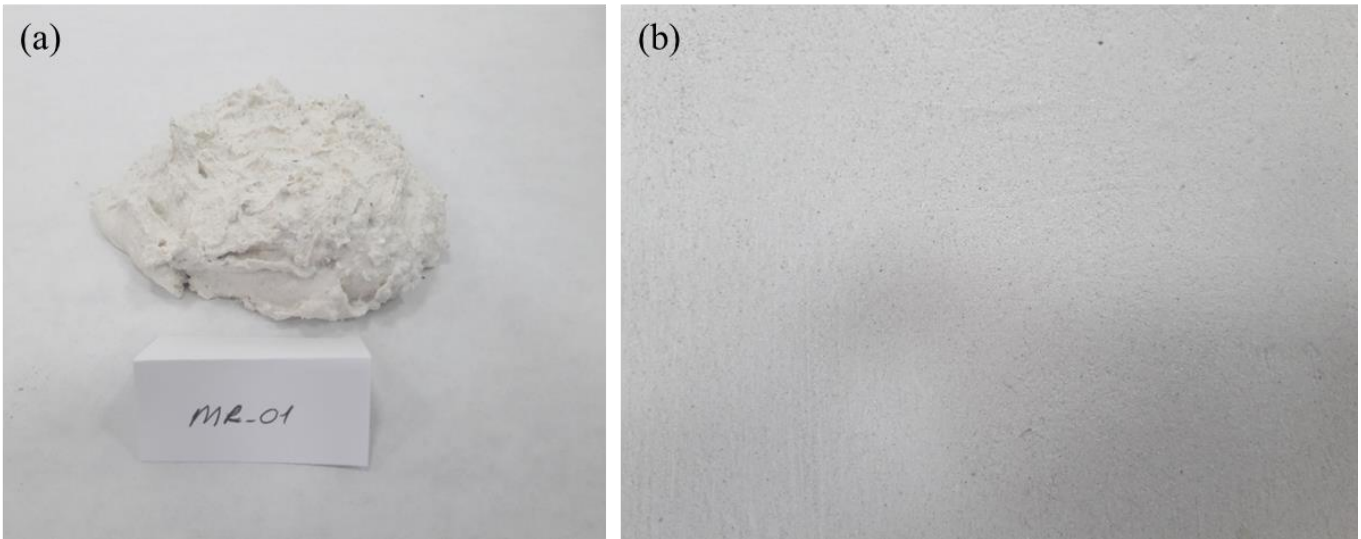
Yukarıda özetle verilen uygulamalarda karşılaşılan dezavantajları minimize etmek ve mümkün olduğunca tamamen ortadan kaldırmak amacıyla, günümüzde yeni nesil olarak da adlandırılacak yenilikçe boru kaplama malzemelerinin geliştirilmesi ihtiyacı kaçınılmaz olmaktadır. İnşaat sektöründe yalıtım uygulamalarına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş çimentolu ve/veya çimentosuz hafif agregalı harç kombinasyonlarının sıcak boru kaplama malzemesi hüviyetiyle kullanımları zaman zaman uygulamalarda görülebilmektedir. Bu tür harç malzemelerin sıcak ve/veya soğuk boru kaplama uygulamalarındaki ısı kazançları, termal performansları ve uygulanabilirlik kriterleri üzerine henüz yeter düzeyde tecrübeye de rastlanılamamaktadır. Ancak, bu malzeme bileşenlerinin kullanıldıkları ortamda duraylılığı, yanmaya karşı korunumu, atmosfer ortam koşullarından etkilenebileceği özelliği ve kullanım ömürlerinin daha uzun olması gibi özellikleri inşaat sektöründeki uygulamalarında tecrübe edinilmiştir. Ancak bu malzemelerin boru yüzeylerine uygulanmasındaki zorluklar, yeterli kalınlık unsurunun kolaylıkla sağlanamaması gibi hususlar dezavantaj oluştursa da ince katman şekliyle kullanımları görülebilmektedir. Bu amaçla sektörel malzeme gelişmelerinde sıcak boru yüzeylerine kolay uygulanabilirliği sağlanmış ve istenilen kalınlık değerine ulaştırılabilen akrilik dispersiyon esaslı yeni nesil kaplama harcı malzemelerinin uygulamalarda ısı kazançları açısından daha olumlu sonuçlar verdiği tecrübe edinilmeye başlanmıştır. Bu uygulamalarda kaplama malzemesinin boru hattını korozyona uğratmaksızın, yoğunlaşma oluşumunu engelleyerek uzun ömürlü ve ilave yalıtım katmanı veya materyaline gerek duyulmaksızın enerji tasarrufunun sağlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu makalede, sıcak boru kaplamalarında uygulamaları görülebilen üç farklı kaplama malzemesinin karşılaştırmalı analizi irdelenmektedir. Bu kaplama malzemeleri; akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesi, çimento+stiren akrilik kopolimer bağlayıcılı genişmiş cam, seramik, perlit ve inorganik dolgu

malzemeleri ihtiva eden kaplama malzemesi ve çimento bağlayıcılı genişmiş kil, doğal volkanik tüf, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden kaplama malzemesidir. Kaplama malzemelerinin uygulandığı sıcak boru hattında ısı dolayısıyla enerji kaybının minimuma indirgenme performanslarının karşılaştırması üzerine deneysel bir çalışmanın bulguları tartışmalı olarak sunulmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kompozit Kaplama Malzemeleri

Yüksek sıcaklık boru kaplamalarında borunun termal performansına etkisini analiz etmek amacıyla çalışma kapsamında üç farklı kompozit kaplama malzemesi deneysel olarak irdelenmiştir. Bu malzemeler MR_01, MR_02 ve MR_03 olarak kodlanarak deneysel analizlerde kullanılmıştır. MR_01; akrilik dispersiyon esaslı bor, seramik, perlit, kuvars teknolojiyle geliştirilmiş farklı endüstriyel alanlarda ısı yalıtımı amaçlı kullanıma uygun hazır formda inovatif bir kaplama malzemesi olup, ticari piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır. Düşük ve yüksek yoğunluklu vakumlanmış mikro seramik kürecik partiküllerini içeren su bazlı özel modifiyeli akrilik dispersiyon esaslı, uygulandığı yüzeylerde yüksek performanslı ısı geçirimsizliği oluşturan, nefes alabilen nitelikli bir yalıtım malzemesidir (Şekil 1). Sıcaklık değeri +900°C'ye kadar olan kazan ve boru hatları, LPG, su tesisatları, yakıt tankları, tuğla ve ekmek fırınları, termik bacalar ve diğer tüm ekipmanların ısı yalıtımı ve enerji tasarrufu sağlaması amacıyla endüstriyel kullanıma uygun geliştirilmiş bir malzemedir. Uygulama sonrası kuru yoğunluğu 350±30 kg/m³ olup, genellikle beyaz, açık renkli ve uygulama kalınlığına göre de grimsi renktedir. Püskürtme, rulo ve/veya fırça ile boru dış cidarına kolaylıkla uygulanabilen ve uygulama yüzeyinde homojen özellik sergileyen bir karakteristiğe sahiptir.

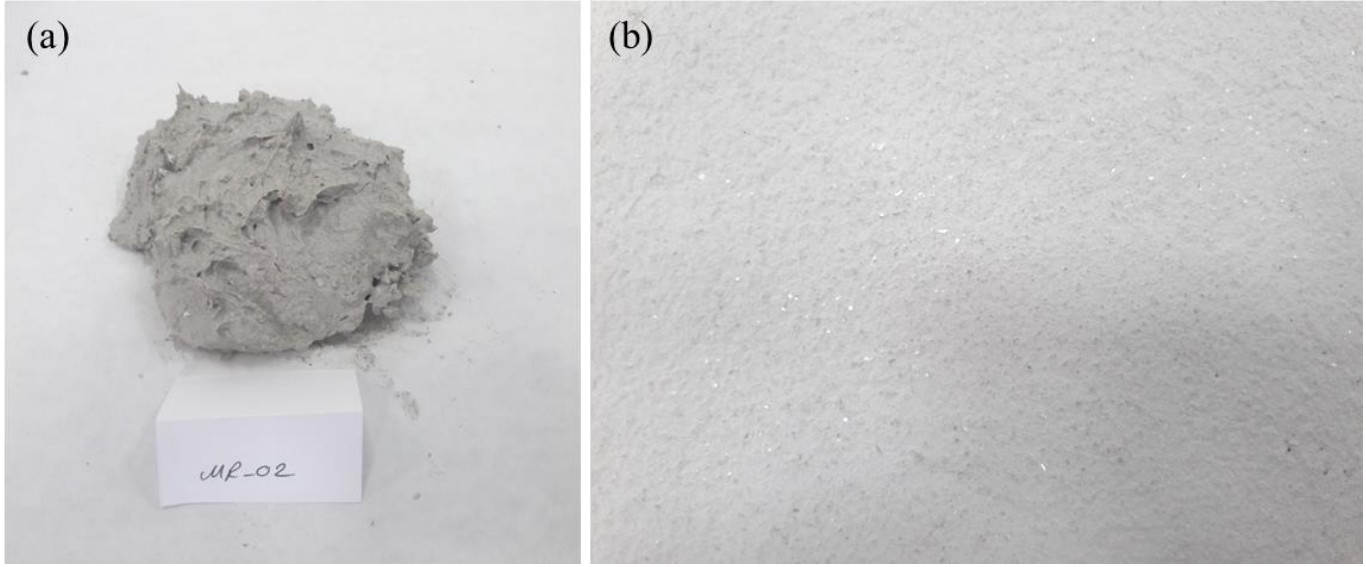


Şekil 1. MR_01 Akrilik Dispersiyon Esaslı Kaplama Malzemesi Genel Görünümü: (a) Uygulama Öncesi Hazır Kaplama Formu, (b) Kaplama Uygulamasının Sertleşmiş Yüzey Formu Görünümü

MR_02; çimento + stiren akrilik kopolimer bağlayıcılı genişmiş cam, seramik, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden endüstriyel alanlarda ısı yalıtımına katkı sağlamak amacıyla geliştirilmiş kullanıma uygun hazır yaş formda bir kaplama harcı malzemesi olup, ticari piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır (Şekil 2). Bu kaplama malzemesi içeriğinde yer alan akrilik kopolimer, çimento esaslı yapı kimyasalları için üretilmiş, elastik, düşük camsı geçiş sıcaklık (T_g) değerine ve asitlik değerine sahip, yüksek alkali ve su dayanımı olan çimento ile alkali reaksiyon yapmayan stiren akrilik kopolimerdir. İnşaat endüstrisinde binaların iç ve/veya dış bölme duvarlarında ısı yalıtımına katkı sağlamak ve binanın daha enerji tasarruflu olması amacıyla sektörel alanda kullanımı görülebilen endüstriyel bir kompozit malzemedir. Sertleşmiş kuru yoğunluğu 240±25 kg/m³ olup, genellikle açık renkli bir uygulama formu göstermektedir. Genellikle mala ve fırça ile de uygulanabilen ve uygulama kesitinde heterojen yapısal özellik gösteren bir karakteristiğe sahiptir. Bu çalışma kapsamında MR_02 deneysel irdemelerde diğer kaplama malzemeleriyle karşılaştırma amaçlı boru dış cidarına fırça ile tatbik edilerek sıcak boru kaplama malzemesi şeklinde değerlendirilmiştir.

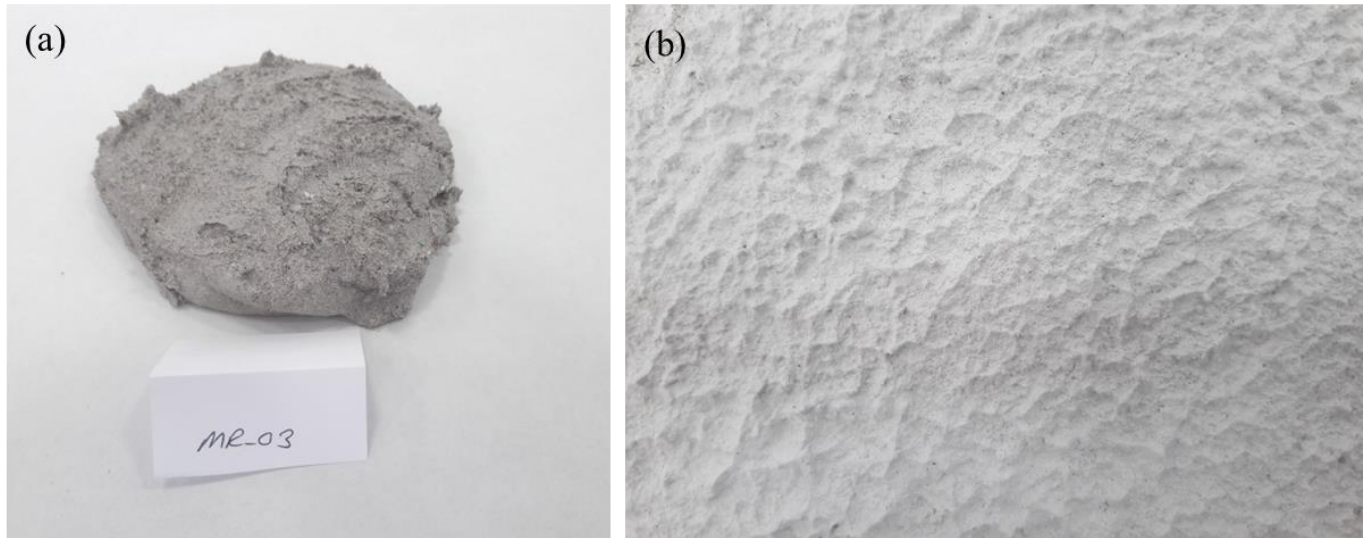
MR_03; çimento bağlayıcılı genişmiş kil, doğal volkanik tüf, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden inşaat sektöründe binaların ısı yalıtımına katkı sağlamak amacıyla geliştirilmiş TS EN 998-1 standardına göre ısı

performansı T₂ kategorisinde, basınç dayanım değeri CS II kategorisinde yer alan toz formda bir kompozit harç malzemesi olup, ticari piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. MR_02 Çimento+Stiren Akriolik Kopolimer Esaslı Kaplama Malzemesi Genel Görünümü: (a) Uygulama Öncesi Hazır Kaplama Formu, (b) Kaplama Uygulamasının Sertleşmiş Yüzey Formu Görünümü

Kompozit harç örneği, toz formda temin edildikten sonra çalışma kapsamında boru yüzeyi kaplama harcı olarak kullanımı için öncelikle su/katı oranı 0.85 olacak şekilde karma suyu ile bir mikser içerisinde homojen bir yaş karışım elde edilinceye kadar 7 dakika karıştırılmış ve sonrasında 5 dakika dinlemeye bırakılmıştır. Dinlenmiş yaş harç, daha sonra deney örneğinin hazırlanmasında boru dış cidarına küçük bir spatula yardımıyla tatbik edilmiş ve sonrasında fırça ile yüzeyi düzeltilmiştir. MR_03 kompozit harcın sertleşmiş kuru yoğunluğu $740 \pm 35 \text{ kg/m}^3$ olup, uygulama kesitinde heterojen yapısal özellik gösteren bir karakteristiğe sahiptir. Bu çalışma kapsamında MR_03, deneysel irdemelerde MR_01 ve MR_02 kaplama malzemeleriyle karşılaştırma amaçlı boru dış cidarına tatbik edilerek sıcak boru kaplama malzemesi şeklinde değerlendirilmiştir.

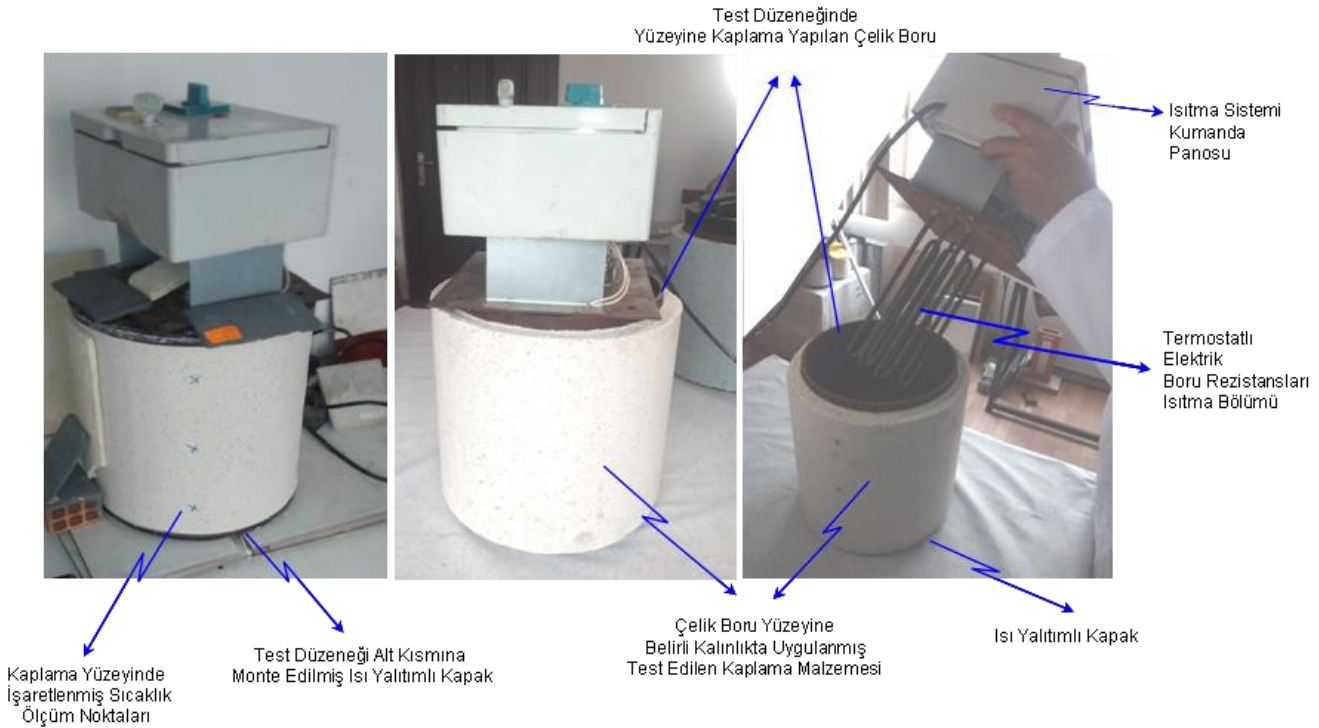


Şekil 3. MR_03 Çimento Esaslı Kaplama Harcı Genel Görünümü: (a) Uygulama Öncesi Hazır Kaplama Formu, (b) Kaplama Uygulamasının Sertleşmiş Yüzey Formu Görünümü

Deneysel Metodoloji

Yüksek sıcaklık boru kaplama uygulamalarında farklı alternatif malzemelerin kullanılageldiği bilinmektedir. Ancak, uygulamalarda çoğunlukla bu malzemelerin önceden kalıp şeklinde bir forma büründürülüp, sonrasında boru üzerine sarma ve/veya kenetleme yöntemiyle kaplamanın yapıldığı ve çoklu ayrı katmanlardan oluşan uygulamalar olarak da sıklıkla görülmektedir. Bu tür uygulamalarda özellikle kaplamada kullanılan birimlerin birleşim yerlerinde farklı

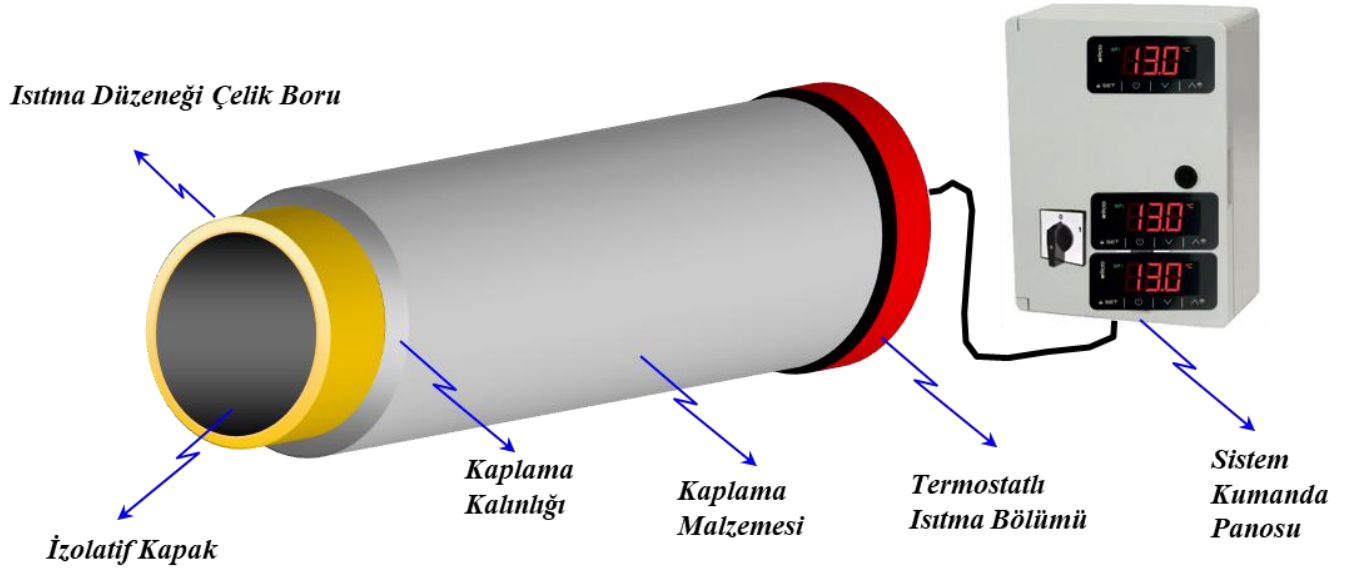
açıklıklarda derzler oluşmakta ve bu derzlerin kapatılması için de ayrı bir uygulama yapma zorunluluğu gündeme gelmektedir Aynı zamanda, bu derzler sebebiyle boru yüzeyinde kaplama birimleri uzanımı boyunca ısı köprüleri de oluşabilmekte, bu da kaplama performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, bu tür uygulamalarda uygulama sonrası boru yüzeylerinin bütünlüğünde yekpare bir kaplama uygulanamamasından kaynaklı rahatsız edici görsellikler de oluşabilmektedir. Bu amaçla, yüksek sıcaklık boru kaplama uygulamalarında yekpare kaplama uygulamasına imkân tanıyan, derz boşlukları veya açıklıkları meydana gelmeyen, uygulama sonrası tamir, tarama veya onarımı oldukça kolay, ince katman şeklinde tek bir malzeme kullanılarak uygulanabilen, doğrudan çelik boru yüzeyine yapışabilme kabiliyetine sahip yeni nesil niteliğinde kaplama malzemelerinin kullanımı önemli olmaktadır. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında bu gereklere cevap verebilecek ve yukarıdaki bölümde bileşenleri tanımlanan 3 farklı kaplama malzemesinin uygulama performansının etüdü amacıyla bir test yöntemi ve test düzeneği tasarlanarak geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan test ölçüm düzeneğinin genel görünümü ve detayları Şekil 4'te verilmiştir. Üç farklı kaplama malzemesinin yüksek sıcaklık boru kaplamasında ısıl performanslarının karşılaştırılması amacıyla anma boyutu 40 mm, dış çapı 48,3 mm, iç çapı 38,3 mm, et kalınlığı ortalama 5 mm ve yoğunluğu ortalama 5,34 kg/m olan bir çelik çekme borudan ortalama 600 mm uzunluğunda test ünitesinin kaplama yapılacak ana boru malzemesi kısmı seçilmiştir. Test düzeneğindeki bu ünite, Şekil 4'de "*test düzeneğinde yüzeyine kaplama yapılan çelik boru*" tanımı ile gösterilmiştir. Testler sırasında her bir kaplama malzemesi ve farklı kalınlıkları için eşdeğer özellikte ayrı bir çelik çekme boru kullanımı düşünülmüştür. Bu boyutlardaki bir çelik çekme boru kullanılarak borunun bir tarafı eşdeğer özellikte bir çelik plaka "*test düzeneği alt kısmına monte edilmiş ısı yalıtımlı kapak* (Şekil 4)" ile kapalı forma getirilerek diğer tarafına ise termostatlı ve kümelenendirilmiş farklı elektrik akımı değerlerine sahip elektrik boru rezistanslarından oluşan bir ısıtma düzeneği tasarlanarak monte edilmiştir (Şekil 4). Daha sonra borunun ısıtma bölümü tarafından başlanılmak üzere ortalama 550 mm uzunluğa sahip olacak şekilde borunun tüm dış cidarı ısıl performansı irdelenecek kompozit kaplama malzemesi ile kaplanarak, test örneği ve ölçüm düzeneği analiz için hazır hale getirilmiştir.



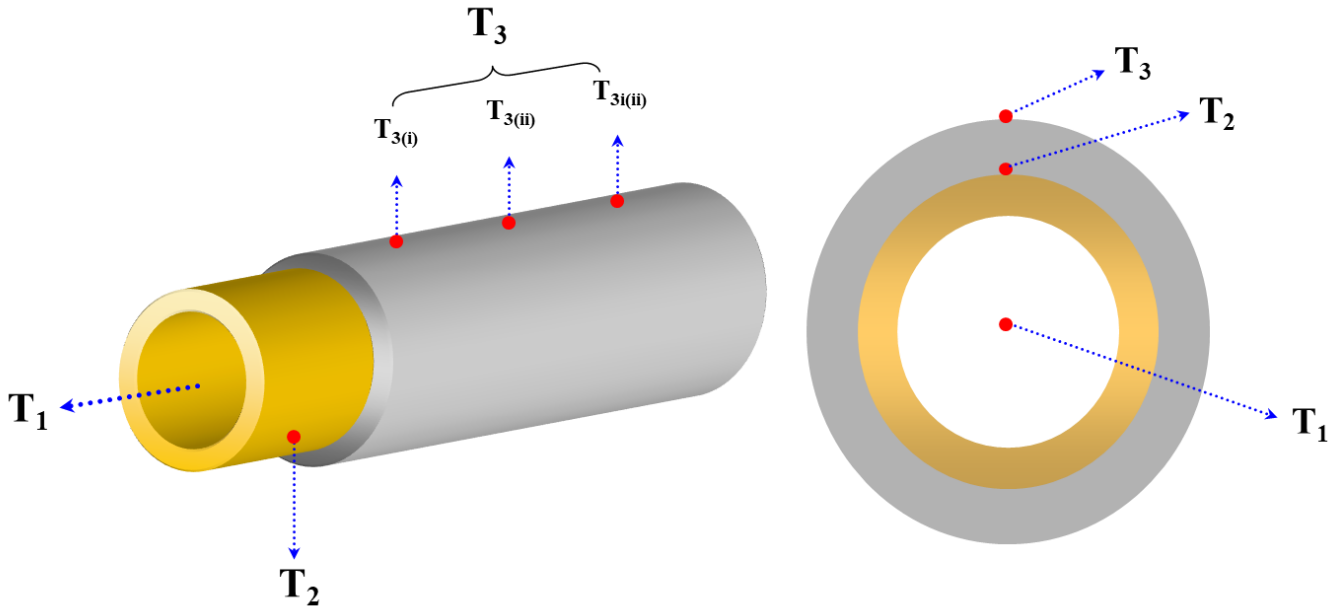
Şekil 4. Test Düzeneğinin Genel Görünümü ve Detayları

Çalışma kapsamında her bir kaplama malzemesi öncelikle üretici beyanına uygun şekilde karma suyu ilave edilerek kaplama harcı formu şekline getirilerek kullanım için hazırlanmıştır. Sonrasında, her bir kaplama malzemesinden ayrı ayrı test örneklerde olmak koşuluyla eşdeğer uygulama kalınlığı 24 mm olacak şekilde boru yüzeyine kaplama uygulaması yapılarak, kaplama malzemesi 22 ± 2 °C oda ortamı sıcaklığında sertleşmeye bırakılmıştır. Uygulama sonrası her bir kaplama malzemesinin 72 saat sonrasında boru içerisindeki sıcaklık 22 °C değerinden başlanılmak üzere ortalama 500 ± 15 °C sıcaklık değerine kadar artırımlı olarak ısıtılarak, her bir sıcaklık artırımında en az 60 dakika boyunca test düzeneğindeki sıcaklık değişimleri her 5 dakikada bir kayıt altına alınmıştır. Deneysel analizde her bir kaplama malzemesi örneği için 12 ayrı sıcaklık artırımını uygulanmış olup, her bir sıcaklık değeri için 3 farklı

test sıcaklık ölçümü kaydedilmiştir. Bunlar: T_1 , T_2 ve T_3 sıcaklık değerleridir (Şekil 5 ve Şekil 6). T_1 sıcaklığı, boru iç bölümüne yerleştirilen $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ hassasiyetli termokupl sıcaklık ölçüm sensörünün ortalama sıcaklık değerini temsil eder. T_2 sıcaklığı, test düzeneğini oluşturan çelik borunun dış cidarına mont edilen $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ hassasiyetli termokupl sıcaklık ölçüm sensörünün ortalama sıcaklık değerini temsil eder. T_3 sıcaklığı ise, test düzeneğinde boru dış cidarına kaplama olarak uygulanmış malzemenin 3 farklı noktasına yerleştirilen $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ hassasiyetli termokupl sıcaklık ölçüm sensörlerinin ortalama sıcaklık değerini temsil eder.



Şekil 5. Test Düzeneği ve Çalışma Prensibi-Sembolik Görünümü



Şekil 6. Test Düzeneğinde Ölçülen Sıcaklık Değerleri-Sembolik Gösterimi

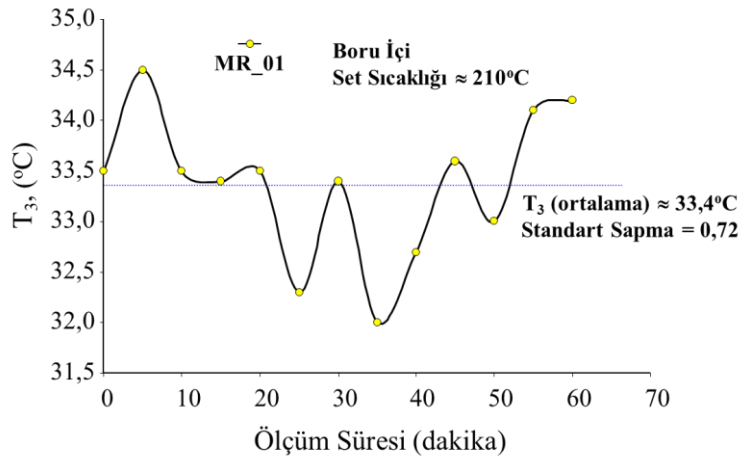
BULGULAR

Deneysel çalışmada her bir kompozit kaplama malzemesi ile ortalama 24 mm kaplama kalınlığı için $22\text{ }^\circ\text{C}$ – $510\text{ }^\circ\text{C}$ aralığında 12 ayrı sıcaklık değerinde test düzeneğinde sıcaklık değişim değerleri kaydedilmiştir. Boru iç bölgesinde set olarak ayarlanan her bir sıcaklık değerinde minimum 60 dakika boyunca her 5 dakikada bir T_1 , T_2 ve T_3 sıcaklık değerleri kaydedilerek ortalama değerleri belirlenmiştir. Çizelge 1'de MR_01 kodlu akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin $210\text{ }^\circ\text{C}$ boru içi sıcaklık değerindeki ölçüm değerleri test bulgularına örnek olarak verilmiştir.

Tablo 1. MR_01 Örneği İçin 210°C Boru İçi Sıcaklık Değerindeki Ölçüm Bulguları

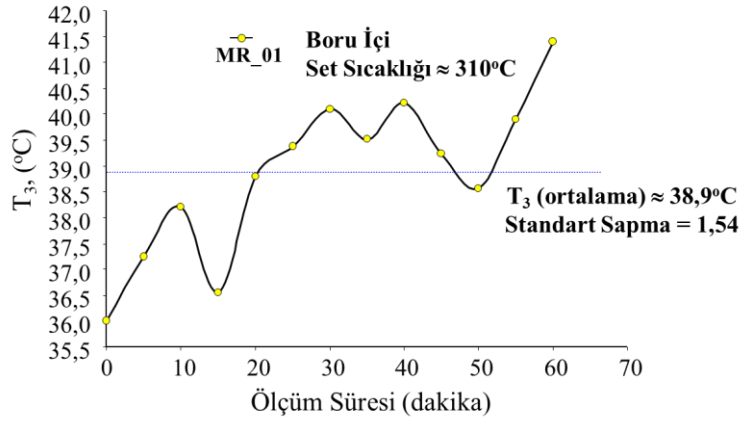
Ölçüm Sırası	Ölçüm Zamanı	Süre (dakika)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	T ₁ -T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₂ -T ₃ (°C)
1	18:00	0	210,1	208,2	1,90	33,5	174,73
2	18:05	5	210,2	208,1	2,13	34,5	173,58
3	18:10	10	210,6	208,4	2,21	33,5	174,89
4	18:15	15	209,8	208,2	1,62	33,4	174,81
5	18:20	20	209,8	208,4	1,44	33,5	174,88
6	18:25	25	210,2	208,0	2,17	32,3	175,70
7	18:30	30	210,2	208,0	2,22	33,4	174,61
8	18:35	35	210,2	208,3	1,91	32,0	176,25
9	18:40	40	209,9	208,6	1,35	32,7	175,86
10	18:45	45	209,7	208,7	1,05	33,6	175,08
11	18:50	50	209,9	208,6	1,22	33,0	175,63
12	18:55	55	209,9	208,5	1,47	34,1	174,36
13	19:00	60	210,3	208,6	1,62	34,2	174,44
Ortalama:			210,1	208,3	1,72	33,4	174,99
Standart Sapma:			0,244	0,239	0,401	0,72	0,720
Varyans:			0,059	0,057	0,160	0,52	0,518

Çizelge 1'den görüldüğü üzere, MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesi 210°C sıcaklık değerinde 60 dakika boyunca boru içi sıcaklık değeri hemen hemen sabit kalması durumunda kaplama malzemesinin yüzeyindeki ortalama sıcaklık (T₃) 32,0°C ile 34,5°C aralığında kısmi bir dalgalanma oluşturarak değişim göstermektedir. T₃ sıcaklık ortalaması ise 33,4°C'dir. Zamana bağlı T₃ sıcaklık değişimi grafiksel olarak Şekil 7'de görülmektedir.

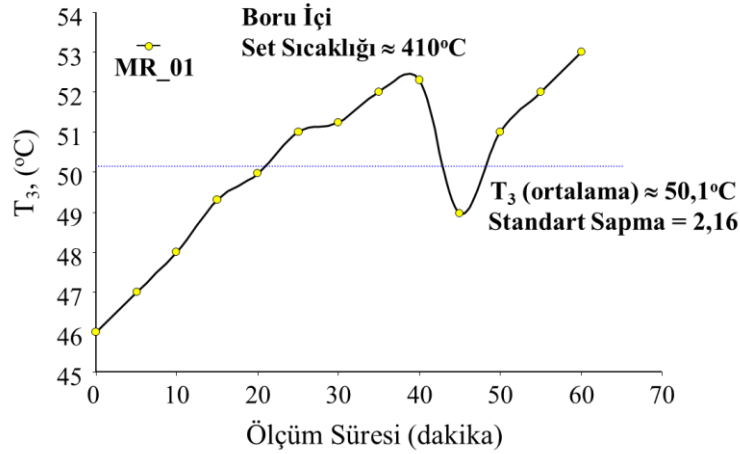
**Şekil 7.** MR_01 Örneği İçin 210°C Boru İçi Sıcaklık Değerinde Kaplama Yüzeyindeki Sıcaklık Değişimi

60 dakikalık ölçüm periyodunda kaplama malzemesinin yüzey sıcaklığının 0,72°C standart sapma değeriyle değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Yüzey sıcaklığındaki dalgalanmanın, kaplama yüzeyinden ısı transferinin homojen bir eğilim göstermemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle, boru içi sabit sıcaklıkta ölçüm periyodunun yarı zaman diliminde kaplama sıcaklığının daha düşük değerlerde oluşabileceği gözlenmiştir. Bu dalgalanmadaki bir diğer faktörün boru içi sıcaklık değerinin büyüklüğünün de etkili olduğu düşünülmüştür. Bu bağlamda boru içi sıcaklık değeri arttıkça, bu dalgalanmanın artan bir eğilimde artış gösterebileceği tahmin edilmiştir. 210°C'lik boru içi sıcaklık değerinde, MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesiyle hazırlanmış test örneğinin sıcak çelik boru ortamına sağladığı 60 dakikalık zaman dilimindeki ısı kazancı ortalama %83,99, test örneği yüzeyinde oluşan ısı kaybı ise ortalama %16,01 olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgularından 310°C ve 410°C boru içi sıcaklığı değerleri için de benzer analiz grafiksel olarak irdelenmiş olup, her iki sıcaklık değeri için Şekil 8 ve Şekil 9'da sırasıyla verilmiştir.

MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesi için 310°C boru içi set sıcaklık değerinde 60 dakikalık zaman periyodunda kaplama malzemesinin yüzeyindeki ortalama sıcaklık (T₃) 36,0°C ile 41,4°C aralığında kısmi bir dalgalanma oluşturarak değişim göstermektedir. T₃ sıcaklık ortalaması ise 38,9°C'dir. Bu set sıcaklığı değeri için kaplama malzemesinin yüzey sıcaklığının 1,54°C standart sapma değeriyle değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 8. MR_01 Örneği İçin 310°C Boru İçi Sıcaklık Değerinde Kaplama Yüzeyindeki Sıcaklık Değişimi



Şekil 9. MR_01 Örneği İçin 410°C Boru İçi Sıcaklık Değerinde Kaplama Yüzeyindeki Sıcaklık Değişimi

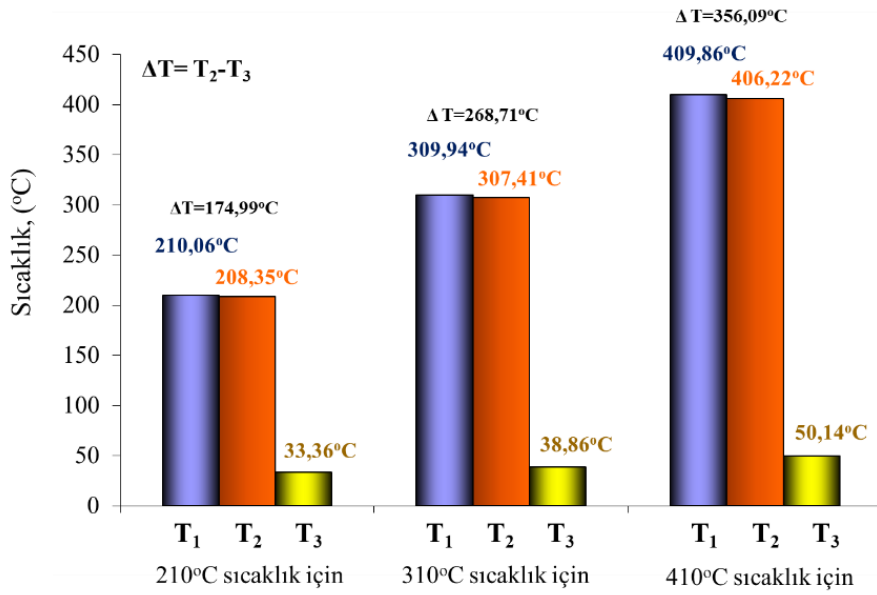
MR_01 kaplama yüzeyinden zamana bağlı artan bir eğilimle sıcaklık artışının olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, 410°C boru içi set sıcaklık değerinde 60 dakikalık zaman periyodunda ise MR_01 kaplama malzemesinin yüzeyindeki ortalama sıcaklık (T_3) 46,0°C ile 53,0°C aralığında değişim göstermiştir. T_3 sıcaklık ortalaması ise 50,1°C'dir. Bu set sıcaklığı değeri için kaplama malzemesinin yüzey sıcaklığının 2,16°C standart sapma değeriyle değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. 310°C'lik boru iç sıcaklık değerinde, MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesiyle hazırlanmış test örneğinin sıcak çelik boru ortamına sağladığı 60 dakikalık zaman dilimindeki ısı kazancı ortalama %87,37, test örneği yüzeyinde oluşan ısı kaybı ise ortalama %12,63 olarak belirlenmiştir. Benzer olgu 410°C'lik boru iç sıcaklık değerinde ise sırasıyla %87,66 ve %12,34 olarak belirlenmiştir. Üç ayrı boru içi set sıcaklık değerinde MR_01 kaplama örneği için elde edilen test bulgularının genel bir karşılaştırması ortalama değerler olarak Şekil 10'da verilmiştir.

Bu üç detay analiz bulgusuna göre, boru içi set sıcaklığı arttıkça MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin ısı kazancı performansının göreceli olarak artış eğilimi sağladığı görülmüştür. Bu sıcaklık değerlerinin hiç birisinde kaplama malzemesi yüzeyinde ve malzemenin matris yapısında yapısal herhangi bir bozunma olgusu gelişmediği ve malzeme bütünlüğünün korunduğu gözlenmiştir.

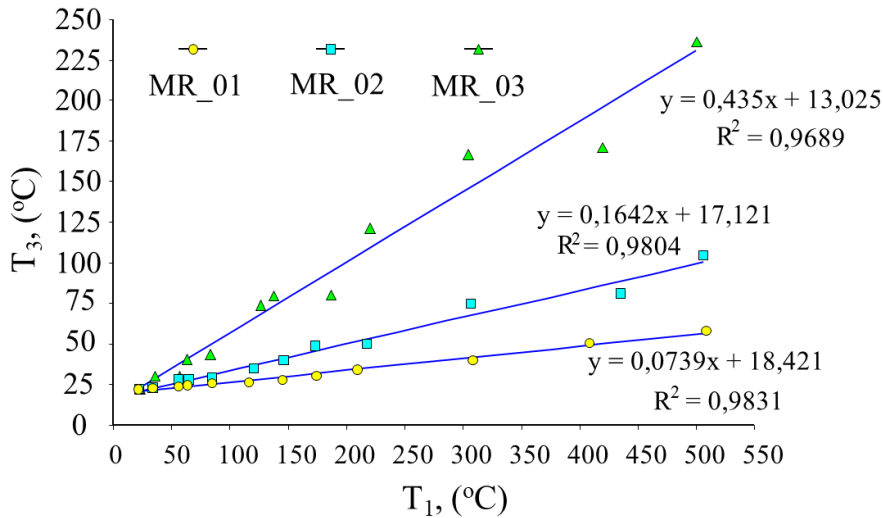
Çalışma kapsamında üç ayrı MR_01, MR_02 ve MR_03 kaplama malzemesi örneklerinin boru içi set sıcaklıkları (T_1) değişimine bağlı kaplama malzeme yüzey sıcaklıkları (T_3) arasındaki ilişki, karşılaştırmalı olarak Şekil 11'de verilmiştir.

Şekil 11 irdelendiğinde eşdeğer kaplama kalınlığında uygulandığında MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin eşdeğer T_1 sıcaklık değerlerinde diğer iki tür MR_02 ve MR_03 kaplama malzemelerine kıyasla T_3

yüzey sıcaklık değerinin daha düşük derecelerde elde edilmesi sebebiyle ısı kazanç performansının daha yüksek olduğu görülmektedir.



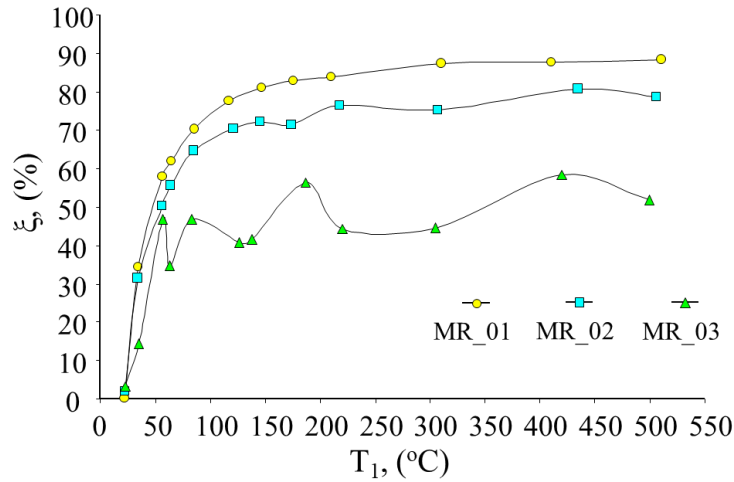
Şekil 10. MR_01 Örneği İçin Analiz Bulgularının Karşılaştırması



Şekil 11. Kaplama Malzeme Örneklerinin T₁ ve T₃ Sıcaklık Etkileşimi İlişkisi

Örneğin, boru içi set sıcaklığı 55°C değerinde MR_01 kaplamalı örneğinin T₃ sıcaklığı ortalama 23,2°C, MR_02 kaplamalı örneğinin T₃ sıcaklığı ortalama 27,4°C ve MR_03 kaplamalı örneğinin T₃ sıcaklığı ortalama 29,9°C'dir. Bu bulgulara göre MR_01 kaplama malzemesi, MR_02'ye göre yaklaşık %18, MR_03'e göre de yaklaşık %29 oranında daha ısı kazançlı kaplama malzemesi olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde bir diğer boru içi set sıcaklığı örneğin 120°C değeri irdelendiğinde ise; MR_01 kaplamalı örneğinin T₃ sıcaklığı ortalama 26,1°C, MR_02 kaplamalı örneğinin T₃ sıcaklığı ortalama 35°C ve MR_03 kaplamalı örneğinin T₃ sıcaklığı ortalama 73,4°C'dir. Bu bulgulara göre MR_01 kaplama malzemesi, MR_02'ye göre yaklaşık %34, MR_03'e göre de yaklaşık %180 oranında daha ısı kazançlı kaplama malzemesi olduğunu temsil etmektedir. Bu analiz bulgularından da görüleceği üzere, akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin artan boru içi set sıcaklık değerlerinde diğer iki tür çimento+stiren akrilik kopolimer esaslı kaplama malzemesi (MR_02) ve çimento esaslı kaplama harcı (MR_03) örneklerine kıyasla çok daha belirgin bir ısı kazancı sağladığı görülmektedir. Diğer bir değişle, akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin ısı kazancı değişimi açısından daha duraylı ve daha kararlı bir matris yapı özelliği sergilemektedir. Çelik çekme boru yüzeyine uygulama yapıldıktan sonra kaplama malzemesinin matris yapısında gerek malzeme bileşenlerinden gerekse uygulama koşullarından kaynaklı olası oluşabilecek porozite, kaplamanın performansını etkileyebilecek bir diğer faktördür. Ancak bu çalışma kapsamında bu bağlamda olası porozite oluşumu ve etkileri değerlendirmelere alınmamıştır.

Çalışma kapsamında her bir kaplama malzemesi ile yapılmış test örneklerinin boru içi set sıcaklık değişiminde kaplama yüzeylerinde oluşan sıcaklık değişimi dikkate alınarak ısı kazancı oranları (ξ) detaylı olarak analiz edilmiş olup, analiz bulguları grafiksel olarak Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Kaplama Malzeme Örneklerinin T₁ Sıcaklık - Isı Kazancı Oransal Etkileşim İlişkisi

MR_01 kaplama örneğinin sıcaklık değişimine bağlı ısı kazanç oranı yüzde değerlerinin düzenli bir artan eğilim formu gösteren karakteristiğe sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra MR_02 çimento+stiren akrilik kopolimer esaslı kaplama malzemesinin ise MR_01’e göre daha düşük ısı kazanç yüzde değerlerine sahip ve aynı zamanda ısı kazancı değişimi açısından kısmen kararlı olarak kabul edilebilecek bir matris yapı özelliği sergilemektedir. MR_03 çimento esaslı kaplama harcıyla oluşturulmuş test örneğinin ise diğer örneklerle kıyasla ısı kazancı değişiminin çok daha düşük bir karalılıkta artan eğilim gösterdiği belirlenmiştir.

Isı transferi, iki sistem arasında ısıнын yayılarak değiş tokuş edilmesi ile oluşan fiziksel termal enerjidir. Sıcaklık ve ısı akışı kavramları, ısı transferinin iki temel prensibidir. Mevcut termal enerji miktarı sıcaklık tarafından belirlenir ve ısı akışı termal enerjinin hareketini temsil eder (Püsgül, 2018). Mikroskobik boyutta incelendiğinde, moleküllerin kinetik enerjisi direkt olarak termal enerji ile ilişkilidir. Sıcaklık yükseldikçe, moleküllerin doğrusal hareketi ve titreşimi ile ortaya çıkan termal çalkalanma artar. Böylelikle, daha yüksek kinetik enerjinin olduğu bölgeler, enerjiyi daha düşük kinetik enerjiye sahip noktalara aktarır (Püsgül, 2018). Çalışma kapsamında elde edilen bulgulardan her bir test ortamının ve kaplama yapılmış sıcak boru kesiti bileşenlerine göre kaplama yüzeyinden oluşan ısı transferi değerleri hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu hesaplamada tek veya birçok katmandan oluşan bir kesitin birim alanından (m²) birim zamanda (1 saat) gerçekleşen ısı kaybı değeri temel algoritma olarak kullanılmış olup, hesaplamada aşağıda belirtilen eşitlik (1) uygulanmıştır (Yakut vd., 2022):

$$q = U \times (T_1 - T_h) \quad (1)$$

Burada;

q : Sistemden yayılan ısı transferi miktarı, W/m²,

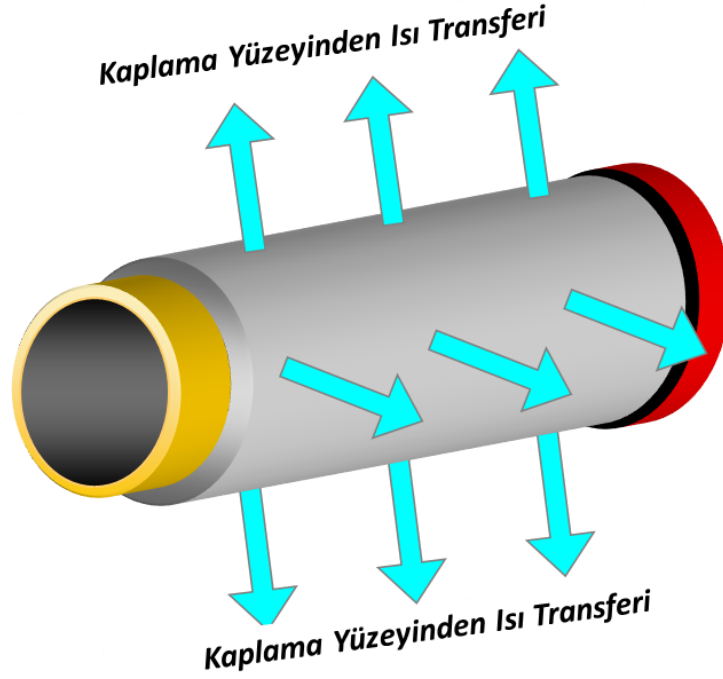
U : Sistemin ısı geçirgenlik değeri, W/m²K,

T₁ : Boru içi sıcaklık değeri, W,

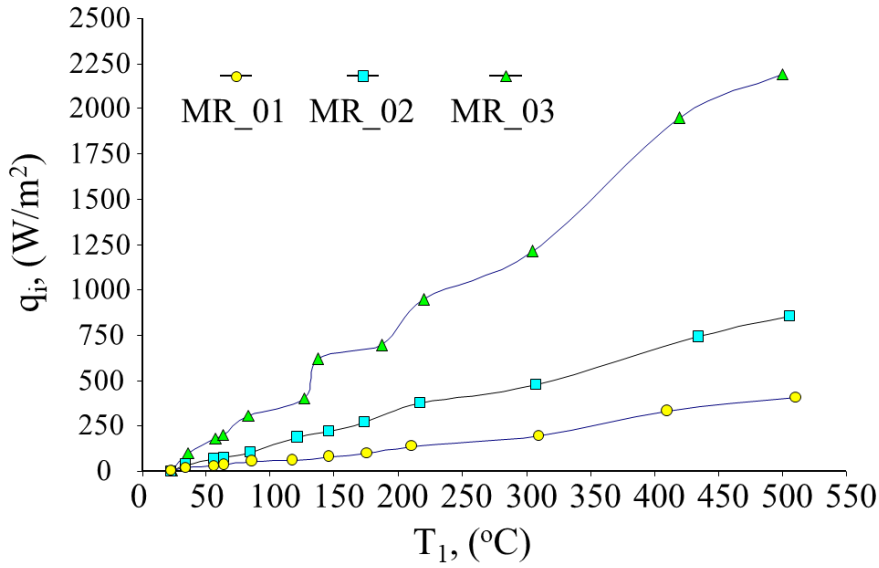
T_h : Sistem dışındaki ortamın sıcaklık değeri, W.

Bu değerlendirmeye göre MR_0,1, MR_02 ve MR_03 test örneklerinin 24 mm kalınlıkta kaplama yapıldıktan sonra boru sisteminin yüzeyinden oluşan ısı transferi (Şekil 13), test sürecinde boru iç sıcaklık değişimleri bağlamında grafiksel analizi Şekil 14’te verilmiştir.

MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama örneğinin boru içi T₁ sıcaklık artışı değişimine bağlı kaplamalı boru sisteminde oluşan ısı transferi lineer kabul edilebilecek bir eğilimle artış karakteristiği göstermiştir. Ortalama 22°C’lik T₁ sıcaklık değerinde oluşan ısı transferi yaklaşık 0.70 W/m² iken bu ısı miktarının T₁ sıcaklığının 510°C’ye ulaşması durumunda ise yaklaşık 405 W/m² değerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 13. Boru Sisteminin Yüzeyinden Oluşan Isı Transferi Sembolik Gösterimi



Şekil 14. Boru İçi Sıcaklık Değeri – Isı Transferi İlişkisi

MR_02 çimento+stiren akrilik kopolimer esaslı kaplama örneğinin boru içi T_1 sıcaklık artışı değişimine bağlı kaplamalı boru sisteminde oluşan ısı transferi de MR_01 kaplama malzemesine benzer şekilde lineer kabul edilebilecek bir eğilimle artış karakteristiği göstermiştir. Bu kaplama malzemesi için de ortalama 22°C 'lik T_1 sıcaklık değerinde oluşan ısı transferi yaklaşık 1.69 W/m^2 iken bu ısı miktarının T_1 sıcaklığının 510°C 'ye ulaşması durumunda ise yaklaşık 858 W/m^2 değerine ulaştığı görülmektedir. MR_01'e göre ısı transferi miktarındaki artış $2,11 - 2,41$ kat aralığında değişim göstermiştir. Diğer taraftan, MR_03 çimento esaslı kaplama harcıyla oluşturulmuş örneğinin boru içi T_1 sıcaklık artışı değişimine bağlı sistemde oluşan ısı transferinin genel karakteristiğinin ise MR_01 ve MR_02 örneklerinin performansından göreceli olarak daha farklı olduğu belirlenmiştir. MR_03 kaplamalı sistemde ise ortalama 22°C 'lik T_1 sıcaklık değerinde oluşan ısı transferi yaklaşık 5.44 W/m^2 iken bu ısı miktarının T_1 sıcaklığının 510°C 'ye ulaşması durumunda ise yaklaşık 2194 W/m^2 değerine ulaştığı görülmektedir. Bu değerler bağlamında kaplama malzemelerinin ısı transferi bağlamında değişimi irdelendiğinde MR_03 kaplamalı sistemin MR_01'e göre

ısı transferi miktarındaki artışı 5,41 – 7,77 kat aralığında değişim göstermiştir. Boru içi T_1 sıcaklığı düştükçe, kaplama malzemelerinin ısı transferi miktarlarındaki karşılaştırma aralığının arttığı, T_1 sıcaklığının artan değerlerinde ise bu aralığın azaldığı görülmüştür. Elde edilen bulgular bağlamında genel bir yaklaşım olarak, MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin sıcak boru sisteminde diğer MR_02 ve MR_03 kaplama malzemelerine kıyasla, boru sistemini ısı kayıplarına karşı daha korumalı bir sistem oluşumuna olanak sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, MR_02 çimento+stiren akrilik kopolimer esaslı kaplama malzemesinin de sıcak boru sisteminde MR_03 kaplama malzemesine kıyasla, boru sistemini ısı kayıplarına karşı daha korumalı bir sistem formuna dönüştürmektedir. Sıcak boruların ısı kaybına karşı daha izolatif ve aynı zamanda minimum ısı transferi miktarları bağlamında üç ayrı alternatif kaplama malzemesi mukayese edildiğinde performans yaklaşımının $MR_01 > MR_02 > MR_03$ kaplama malzemeleri şeklinde sıralandığı görülmüştür.

SONUÇLAR

Bu makalede, sıcak boru kaplamalarında tek kat olarak uygulanabilen üç farklı kaplama malzemesinin karşılaştırmalı analizi irdelenmektedir. Bu kaplama malzemeleri; akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesi, çimento+stiren akrilik kopolimer bağlayıcı genleşmiş cam, seramik, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden kaplama malzemesi ve çimento bağlayıcı genleşmiş kil, doğal volkanik tüf, perlit ve inorganik dolgu malzemeleri ihtiva eden kaplama malzemesidir. Kaplama malzemelerinin uygulandığı sıcak boru hattında ısı dolayısıyla enerji kaybının minimuma indirgenme performanslarının karşılaştırması üzerine deneysel bir çalışmanın bulguları tartışmalı olarak sunulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre;

MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesi 210°C sıcaklık değerinde 60 dakika boyunca boru içi sıcaklık değeri hemen hemen sabit kalması durumunda kaplama malzemesinin yüzeyindeki ortalama sıcaklık (T_3) $32,0^{\circ}\text{C}$ ile $34,5^{\circ}\text{C}$ aralığında kısmi bir dalgalanma oluşturarak değişim göstermektedir. 210°C 'lik boru iç sıcaklık değerinde, MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesiyle hazırlanmış test örneğinin sıcak çelik boru ortamına sağladığı 60 dakikalık zaman dilimindeki ısı kazancı ortalama %83,99, test örneği yüzeyinde oluşan ısı kaybı ise ortalama %16,01 olarak belirlenmiştir. 310°C boru içi set sıcaklık değerinde 60 dakikalık zaman periyodunda kaplama malzemesinin yüzeyindeki ortalama sıcaklık (T_3) $36,0^{\circ}\text{C}$ ile $41,4^{\circ}\text{C}$ aralığında kısmi bir dalgalanma oluşturarak değişim göstermektedir. 410°C boru içi set sıcaklık değerinde 60 dakikalık zaman periyodunda ise MR_01 kaplama malzemesinin yüzeyindeki ortalama sıcaklık (T_3) $46,0^{\circ}\text{C}$ ile $53,0^{\circ}\text{C}$ aralığında değişim göstermiştir. 310°C 'lik boru iç sıcaklık değerinde, MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesiyle hazırlanmış test örneğinin sıcak çelik boru ortamına sağladığı 60 dakikalık zaman dilimindeki ısı kazancı ortalama %87,37, test örneği yüzeyinde oluşan ısı kaybı ise ortalama %12,63 olarak belirlenmiştir. Benzer olgu 410°C 'lik boru iç sıcaklık değerinde ise sırasıyla %87,66 ve %12,34 olarak belirlenmiştir.

MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama malzemesinin eşdeğer T_1 sıcaklık değerlerinde diğer iki tür MR_02 ve MR_03 kaplama malzemelerine kıyasla T_3 yüzey sıcaklık değerinin daha düşük derecelerde elde edilmesi sebebiyle ısı kazanç performansının daha yüksek olduğu görülmektedir. MR_01 kaplamalı örneğinin T_3 sıcaklığı ortalama $26,1^{\circ}\text{C}$, MR_02 kaplamalı örneğinin T_3 sıcaklığı ortalama 35°C ve MR_03 kaplamalı örneğinin T_3 sıcaklığı ortalama $73,4^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu bulgulara göre MR_01 kaplama malzemesi, MR_02'ye göre yaklaşık %34, MR_03'e göre de yaklaşık %180 oranında daha ısı kazançlı kaplama malzemesi olduğunu temsil etmektedir.

MR_01 akrilik dispersiyon esaslı kaplama örneğinin boru içi T_1 sıcaklık artışı değişimine bağlı kaplamalı boru sisteminde oluşan ısı transferi lineer kabul edilebilecek bir eğilimle artış karakteristiği göstermiştir. Ortalama 22°C 'lik T_1 sıcaklık değerinde oluşan ısı transferi yaklaşık $0,70 \text{ W/m}^2$ iken bu ısı miktarının T_1 sıcaklığının 510°C 'ye ulaşması durumunda ise yaklaşık 405 W/m^2 değerine ulaştığı görülmektedir. MR_02 örneğinin MR_01'e oranla ısı transferi miktarındaki artış 2,11 – 2,41 kat aralığında değişim göstermiştir. MR_03 kaplamalı sistemin MR_01'e göre ısı transferi miktarındaki artışı 5,41 – 7,77 kat aralığında değişim göstermiştir.

Tüm çalışma çıktıları birlikte değerlendirildiğinde, sıcak boruların ısı kaybına karşı daha izolasyonlu ve aynı zamanda minimum ısı transferi oluşturması bağlamında üç ayrı kaplama malzemesi mukayese edildiğinde en uygun tek kat kaplama malzemesinin MR_01 olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, A. S., Mohd Nawi, M. N., Othuman Mydin, M. A., Sari, M. W., Ahmad, R. & Abdullah, M. M. A. B. (2022). The Significant Effect of Mechanical Treatment on Ceramic Coating for Biomedical Application. *Materials*, 15(19), 6550. <https://doi.org/10.3390/ma15196550>
- ASHRAE, 2013. Thermal Performance of Selected Insulating Coatings on Piping and Ductwork. Research Report 1550-RP 8/2013.
- ASTM C518, 2021. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- Dey, A. K. Piping Insulation: Types of Pipe Insulation (With PDF). (2023). <https://whatispiping.com/piping-insulation/> Erişim 27.03.2023.
- Isollat. Sıcak ve Soğuk Boru Hatları Isı Yalıtımı. (2023). <https://www.isollat.com/uygulama-alani/sicak-ve-soguk-boru-hatlari-isi-yalitimi> Erişim 27.03.2023
- İzoder. Tesisatlarda Isı Yalıtımı. (2023). <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/tesisatlardaisiyalitimi.pdf> Erişim 27.03.2023.
- Manville, J. (2023). Industrial Insulation, Comparing The Thermal Performance Of Insulation Coatings Vs. Traditional Insulation, Technical Bulletin, A Berkshire Hathaway Company, IND-TB024 02/28/23 (Replaces 02/12/21)
- NAIMA. Insulation Products for Commercial and Industrial Applications: Thermal Performance of Coatings Used to Insulate Pipes, Ducts, and Equipment. (2023). <https://insulationinstitute.org/wp-content/uploads/2016/01/CI224.pdf> Erişim 27.03.2023.
- Nsofor, E. C. and Vijay, V., 2011. Pipe insulation model for energy conservation in buildings. *Energy Engineering*, 108(3), 37-50.
- Püsgül, T. (2018). Isı Transferi Nedir ? Çeşitleri Nelerdir ? <https://muhendistan.com/isi-transferi-nedir/> Erişim 27.03.2023.
- Sargison, J. E. (2006). Pipeline protection and extension of internal coating life. *Corrosion & Materials*, 31(2), 10-14.
- Simpson, A., Fitton, R., Rattigan, I. G., Marshall, A., Parr, G. & Swan, W. (2019). Thermal performance of thermal paint and surface coatings in buildings in heating dominated climates. *Energy and Buildings*, 197, 196-213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.027>
- Temimy, A. A., Abdulrasool, A. A., & Hamad, F. A. (2021). Study of Heat Pipe Thermal Performance with Internal Modified Geometry. *Fluids*, 6(7), 231. <https://doi.org/10.3390/fluids6070231>
- Tesisat İzolasyonu. Tesisat İzolasyonu Neden Önemlidir?. (2020). <https://tesisatizolasyonu.com/boru-izolasyonu-neden-onemlidir#> Erişim 27.03.2023.
- Yakut, A. K., Selbaş R., & Yakut, M. Z. (2022). Mühendislikte Isı Transferi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Yayını, Yayın No:008, ISBN: 975-605-81136-8-8, s401
- Yarbrough, D.W. (2008). Measurement of Heat Loss from Coated and Insulated Steel Pipes, R&D Services Report, December 2008.