



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PETROL-DOĞALGAZ VE JEOTERMAL
KUYULARINDA YENİ ÜRETİLEN ISI
YALITIM MALZEMELERİ KULLANILARAK
ISI KAYIPLARININ ENGELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan

Sevim KIZIL

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

Ağustos-2021

BATMAN

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sevim KIZIL tarafından hazırlanan “Petrol-Doğalgaz ve Jeotermal Kuyularında Yeni Üretilen Isı Yalıtım Malzemeleri Kullanılarak Isı Kayıplarının Engellenmesi” adlı tez çalışması 12/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

.....

Üye

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

.....

Üye

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

.....

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sevim KIZIL

Tarih: 09.09.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PETROL-DOĞALGAZ VE JEOTERMAL KUYULARINDA YENİ ÜRETİLEN ISI YALITIM MALZEMELERİ KULLANILARAK ISI KAYIPLARININ ENGELLENMESİ

Sevim KIZIL

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK

2021, 80 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK

ÖZET

Tezde, yeni ve yerli olarak üretilen yalıtım malzemeleri ile yüksek sıcaklık gradyentine maruz bırakılan çıplak borulardaki boru ve ekipman hasarının en aza indirilerek enerji giderlerinin düşürülmesi ile farklı özelliklerdeki petrol, doğalgaz ve jeotermal sahalarında kullanılan kuyu ekipmanları ve tijlerdeki ısı kayıplarının azaltılarak özellikle yüksek viskoziteli nano-newtonlu petrol üretim sahalarındaki boru tıkanmalarının önüne geçilmesiyle tubing malzemelerde oluşan hasarların bertaraf edilmesi hedeflenmektedir. Bahsedilen ihtiyaçlara cevap verebilecek, perlit ve bor gibi ülkemizin kaynak bakımında dünyaca üstün rezervlerine sahip olduğu malzemeler kullanılarak yüksek ısı yalıtım özelliği sağlayan yerli ve yeni ısı yalıtım malzemelerin üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışmamızda öncelikle farklı özelliklere sahip yalıtım numuneleri üretilmiş olup numunelerin mekanik ve ısı özellikleri ASTM ve EN standartlarına göre tespit edilmiştir. Daha sonra, üretilen numunelerin test özellikleri karşılaştırma yapıp tüm numunelerin ortalama özelliklerini gösteren K1 numunesi boru kaplama malzemesi olarak seçilmiştir. Son aşamada ise Ansys fluent programı kullanılarak mevcut petrol üretim sahasının sistem modeli çıkarılmış olup farklı kalınlıklarda giydirilmiş boruların ısı kayıpları tespit edilmiştir. Mekanik ve ısı test sonuçlarına göre üretilen yalıtım malzemesinin (K1) mevcut petrol kuyularında kullanılan seçilmiş referans malzemeye (G sınıfı beton) göre basınç dayanımında ve özgül ısı değerlerinde sırasıyla % 99 ve % 27 azalma meydana gelirken ısı yayılım değerinde % 25 artma olduğu görülmüştür. Üretilen yalıtım numunelerinin ısı iletkenlik ve yoğunluk değerleri karşılaştırıldığında ise referans numunesine göre sırasıyla %92 ve % 91 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ansys modelleme sonuçlarına göre üretim borularındaki petrol çıkış sıcaklığı yalıtımsız boruda 23.7°C iken, 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi ile kaplanmış borularda petrol çıkış sıcaklığı sırasıyla 27.4°C, 31.1°C ve 36.1°C olmuştur. Bununla birlikte, 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi ile kaplanmış borularda ısı kaybı değerlerinde yalıtımsız boruya göre sırasıyla %8.3, %16.3 ve %27.1 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre geliştirilen yöntemin mevcut petrol-jeotermal üretim kuyularında kullanımı ile birlikte mevcut üretimlerin artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Ansys modelleme, bor, boru yalıtımı, ısı kaybı, jeotermal, perlit, petrol, yalıtım malzemesi

ABSTRACT

MS THESIS

PREVENTION OF HEAT LOSSES USING NEWLY PRODUCED THERMAL INSULATION MATERIALS IN PETROLEUM-NATURAL GAS AND GEOTHERMAL WELL

Sevim KIZIL

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Hasan OKTAY

The Second Advisor: Asst. Prof. Dr. Sarper ÖZTÜRK

2021, 80 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Hasan OKTAY

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

Prof. Dr. Rasim BEHÇET

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Assist. Prof. Dr. Sarper ÖZTÜRK

ABSTRACT

In the thesis, using newly and locally produced insulation materials, It is aimed to minimize the damage to the pipes and equipment in the bare pipes exposed to high temperature gradient and the energy costs and to reduce the heat losses in the well equipment and rods used in oil, natural gas and geothermal fields with different properties and to eliminate the damages in tubing materials by preventing pipe blockages especially in oil production fields with high viscosity nano-newtons. It is aimed to produce domestic and new thermal insulation materials that can meet the aforementioned needs, provide high thermal insulation properties, by using materials such as perlite and boron, which our country has world-class reserves in welding care. In our study, primarily insulation samples with different properties were produced and the mechanical and thermal properties of the samples were determined according to ASTM and EN standards. Then, the test properties of the produced samples were compared and the K1 sample, which showed the average properties of all samples, was chosen as the pipe coating material. At the last stage, the system model of the existing oil production field was created using the Ansys fluent program, and the heat losses of the pipes dressed in different thicknesses were determined. According to the mechanical and thermal test results, it was observed that the compressive strength and specific heat values of the insulation material (K1) produced according to the selected reference material (G class concrete) used in existing oil wells decreased by 99% and 27%, respectively, while there was a 25% increase in the thermal diffusivity value. Besides, the thermal conductivity and density values of the produced insulation samples were compared, and it was determined that there was a decrease of 92% and 91%, respectively. According to the Ansys modeling results, the petroleum outlet temperature in the production pipes was 23.7°C in the uninsulated pipe, while the outlet temperature in the pipes covered with insulation material in 1 cm, 4 cm and 10 cm thicknesses was 27.4°C, 31.1°C and 36.1°C, respectively. Besides, it was determined that the heat loss values of pipes covered with insulation material in 1 cm, 4 cm and 10 cm thicknesses decreased by 8.3%, 16.3% and 27.1%, respectively, compared to the uninsulated pipe. According to these results, it is aimed to increase the current production with the use of the developed method in the existing oil-geothermal production wells.

Keywords: Ansys modeling, boron, geothermal, heat loss, insulation material, perlite, petroleum, pipe insulation

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bu çalışmanın gerçekleşmesinde, yardımını hiç esirgemedi, bir sorun olduğunda hiç çekinmeden kendisine danışabildiğim ve beni büyük bir sabırla dinleyip bana faydalı olmak için elinden gelenin daha fazlasını yapmaya çalışan güler yüzlülüğü ve insani değerlere önem verip kimseyi kırmayan incitmekten bile çekinip herkese yardım etmeye çalışan yapacağım çalışma ile ilgili yılmamam gerektiğini söyleyip bana büyük bir motivasyon desteği veren saygıdeğer tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY çok teşekkür ederim bu çalışmada ikinci danışmanım olan Dr. Öğr. Üyesi Sarper ÖZTÜRK neşesini samimiyetini gerçekliğini hiç kaybetmeden tek amacı insan kazanmak olduğunu söyleyen ve bunu ciddi anlamda davranışa dönüştüren bana büyük yardımda bulunarak tez boyunca hep yanımda olarak tüm bilgi ve tecrübesini esirgemedi benimle paylaşan ikinci danışmanıma da çok teşekkür ederim. Bununla birlikte tez konumda bana yönlendirmelerde bulunan saygıdeğer hocalarımdan olan Prof. Dr. Şehnaz TİĞREK ve Dr. Öğr. Üyesi Zerrakki IŞIK, hocalarıma da ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Sevim KIZIL
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNÜMÜZDE KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ	4
3. PETROL	18
4. KAYNAK ARAŞTIRMASI	23
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	25
5.1 Yalıtım Malzemelerinin Üretimi ve Uygulanacak Testler	25
5.1.1 Yalıtım malzemesinin üretiminde kullanılan malzemeler	25
5.1.2 Yalıtım malzemesinin üretim aşamaları.....	37
5.2. Yalıtım Malzemelerine Uygulanan Testler.....	41
5.2.1. Tek eksenli küp basınç dayanım testi	41
5.2.2.Üç nokta eğme dayanım testi (kopma modülü testi).....	43
5.2.3.Kuru yığınsal yoğunluk testi	43
5.2.4. Boyut küçülme miktarı ölçümü testi (rötre testi)	44
5.2.5. Isıl İletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı testi	45
5.3. Petrol Borularındaki Isı Transferinin Modellenmesi	45
6.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
6.1 Üretilen Yalıtım Malzemelerinin Özellik Test Sonuçları.....	47
6.2 Ansys Modelleme Sonuçları.....	53
7. SONUÇLAR.....	58
8. ÖNERİLER.....	60
KAYNAKÇALAR	61
ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_s	: taşınımın olduğu yüzeyin alanı (m^2)
c_p	: özgül ısı ($J/kg\ K$)
h	: taşınım katsayısı ($W/m^2\ ^\circ C$)
$\dot{m}$	: kütleli debi (kg/s)
Q	: ısı geçişi (W)
T_s	: yüzey sıcaklığı ($^\circ C$)
T_∞	: akışkan sıcaklığı ($^\circ C$)
α	: ısı yayılım katsayısı (m^2/s)
λ	: ısı iletim katsayısı ($W/m\ K$)

Kısaltmalar

EPS	: Expande Polistren Köpük
PUR	: Poliüretan Köpük
XPS	: Ekstrüzyonla üretilen (ekstrüde) polistiren

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1. Korozyondan dolayı hasara uğramış borular (Anonim, 2021)	3
Şekil 2. 1. Bir duvarda geçen ısı transferi (Çengel, 2011)	5
Şekil 2. 2. Oluklu mukavva (Akıncı, 2007)	10
Şekil 2. 3. Cam yönü (Çöl, 2020)	11
Şekil 2. 4. Taş yönü (Oktay, 2017)	11
Şekil 2. 5. Extrude polistren levha (Abak, 2020).....	14
Şekil 2. 6. Levha halinde üretilen eletromerik kauçuk köpüğü (Akıncı, 2007).....	16
Şekil 2. 7. Aerojel (Akıncı, 2007).....	17
Şekil 2. 8. Vakumlanmış ısı yalıtım malzemeleri (Aydın, 2010)	17
Şekil 3. 1. Tipik bir sondaj kulesi (Anonim, 2021)	19
Şekil 3. 2. At başı üretim kuyusu (Anonim, 2021)	20
Şekil 3. 3. Sondaj çamuru operasyonu ve casing indirmeleri (Anonim, 2021)	22
Şekil 5. 1. Feldispar ve pul mika	26
Şekil 5. 2. Mika tozu, kuvars, kaolin kili ve mikro silika.....	27
Şekil 5. 3. Sodyum hidroksit, polivinil alkol ve çinko oksit.....	30
Şekil 5. 4. Sodyum klorür ve alüminyum hidroksit, kolemanit ve sodyum tetraborat	32
Şekil 5. 5. Sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat	35
Şekil 5. 6. Silikat bağlayıcıların su ile karıştırılması	37
Şekil 5. 7. Karışımların kalıplara doldurulması	38
Şekil 5. 8. Karışımların kalıplarda şekillendirilmesi	39
Şekil 5. 9. Karbondioksit Gazı ile sertleştirme	39
Şekil 5. 10. Numunelerin kalıptan çıkarılması	40
Şekil 5. 11. Etüvde kurutulma ve kürlenme.....	40
Şekil 5. 12. Üretilen numunelerin bir kısmı.....	41
Şekil 5. 13. Tek eksenli basma testine maruz kalmış numunenin görüntüsü	42
Şekil 5. 14. Basma dayanım testi grafiği	42
Şekil 5. 15. Rötire testi için kullanılan fırın.....	44
Şekil 5. 16. Isıl özellikler tesbit cihazı.....	45
Şekil 5. 17. Petrol kuyusu boruların mesh görünümü.....	46
Şekil 6. 1. Üretilen yalıtım malzemelerin basınç dayanımı değerleri.....	47
Şekil 6. 2. Üretilen yalıtım malzemelerin üç nokta eğme dayanımı değerleri.....	48
Şekil 6. 3. Üretilen yalıtım malzemelerin yoğunluk değerleri.....	49
Şekil 6. 4. K3 numunesi için basma kuvveti- uzama değişim grafiği	50
Şekil 6. 5. K3 numunesi için üç nokta eğme kuvveti- uzama değişim grafiği	50
Şekil 6. 6. Üretilen yalıtım malzemelerin ısıl iletkenlik özellikleri.....	51
Şekil 6. 7. Üretilen yalıtım malzemelerin özgül ısı değerleri	51
Şekil 6. 8. Üretilen yalıtım malzemelerin ısı yayılım değerleri.....	52
Şekil 6. 9. Rezerv sıcaklığı ile Ansys Fluentten elde edilen sıcaklıkların karşılaştırılması	55
Şekil 6. 10. Rezerv sıcaklığı ile Ansys Fluentten elde edilen sıcaklıkların karşılaştırılması	55
Şekil 6. 11. Borulardaki petrol sıcaklık değişimi.....	56
Şekil 6. 12. Ansys Fluent yazılımından elde edilen bu borulara ait ısı kaybı değerleri	57

TABLO LİSTESİ

Tablo 2. 1. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı iletkenlik katsayıları (Çengel, 2011)	6
Tablo 2. 2. Bazı malzemelerin 300 K'de yayıcılığı (Çengel, 2011).....	8
Tablo 3. 1. Petrolün sınıflandırılması	21
Tablo 5. 1. Sodyum silikatın özellikleri (Tomaç, 2016).....	28
Tablo 5. 2. Kaolinin kimyasal bileşimleri (Demir, 2020).....	29
Tablo 5. 3. Sodyum hidroksitin özellikleri (Anonim, 2021)	29
Tablo 5. 4. Sodyum klorürün özellikleri (Anonim, 2021)	31
Tablo 5. 5. Alüminyum hidroksitin özellikleri (Baygöl, 2017)	31
Tablo 5. 6. Kolemanitin kimyasal içeriği (Anonim, 2021).....	32
Tablo 5. 7. Borik asitin özellikleri (Anonim, 2021)	33
Tablo 5. 8. Çinko oksitin özellikleri (Kasapoğlu, 2014)	34
Tablo 5. 9. Magnezyum karbonat için özellikler (Anonim, 2021)	34
Tablo 5. 10. Sodyum karbonatın özellikleri (Anonim, 2017).....	35
Tablo 5. 11. Kullandığımız malzemelerin işlevleri kullanım amaçları	36
Tablo 6. 1. Üretilen yalıtım malzemelerinin rötre değerleri	53
Tablo 6. 2. Modellemesi yapılan üretim sahası için sistem girdi değerleri	54

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde nüfusun çoğalması ile endüstrileşme, yatırımların genişlemesi ile yaşam standartlarının yükselmesi ile beraber enerji alanında teknolojik ve bilimsel çalışmaları mecbur kılmaktadır. Enerji, vazgeçilmez bir unsur olup çağdaş toplumların yaşamlarını sürdürmeleri açısından büyük önem taşımaktadır. ABD Enerji Bilgi Yönetimi bilgileri dikkate alındığında 2050 yılında dünyanın toplam enerji tüketiminin 267 trilyon kWh olacağını ve bu tüketimin 84 trilyon kWh'lık kısmını OECD (İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı) üyesi olan ülkelerin oluşturduğu, 183 trilyon kWh'lık kısmını ise OECD üyesi olmayan ülkelerin oluşturduğu tahmin edilmektedir. 2018 yılı içinde aynı raporda tüketimde yararlanılan kaynaklar içinde petrolün payı % 32 ile ilk sırada olduğu görülmektedir. Petrolden sonra % 24'lük kısım ile kömür, % 23'lük kısım ile de doğalgaz sırasını almaktadır. 2050 yılı için enerji tüketiminin büyük bir bölümü yapılan tahminlere göre fosil yakıtlardan sağlanmaya devam edeceği düşünülmektedir (International Energy Outlook, 2019).

Enerji ihtiyacının artmasıyla hem ekonomik sorunları hem de fosil yakıt kullanımından dolayı çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların yanması esnasında CO₂ gazı açığa çıkar CO₂ gazı atmosfere salınır ve diğer gazlarla beraber çevre kirliliği ile küresel ısınmayla iklim değişikliğinin oluşmasına neden olup doğaya zarar vermektedir. CO₂ emisyonundaki yükselişten dolayı yaşam için önemli olan su kaynaklarına ve tarıma zarar vermektedir. Enerji maliyetlerinin yükselmesi ile ve fosil yakıtların sebep olduğu çevresel faktörlerden dolayı gelişmiş ülkeler enerji ve ısı yalıtımı konularına yoğunlaşarak araştırmalarını bu yönde yapmaktadır (Davraz, 2009).

2018 sonu itibarıyla yıllık %1.47 oranında nüfus artış hızı olan (TÜİK,2019). Türkiye ise enerji ihtiyacının yaklaşık olarak %75'lik kısmını öbür ülkelerden sağlar. Çünkü Türkiye sınırlı enerji kaynaklarına sahiptir. Bundan dolayı ülkemiz enerji konusunda tasarruflu ve enerjiyi verimli kullanma açısından daha tedbirli davranmak zorundadır (Erdal vd.2008).

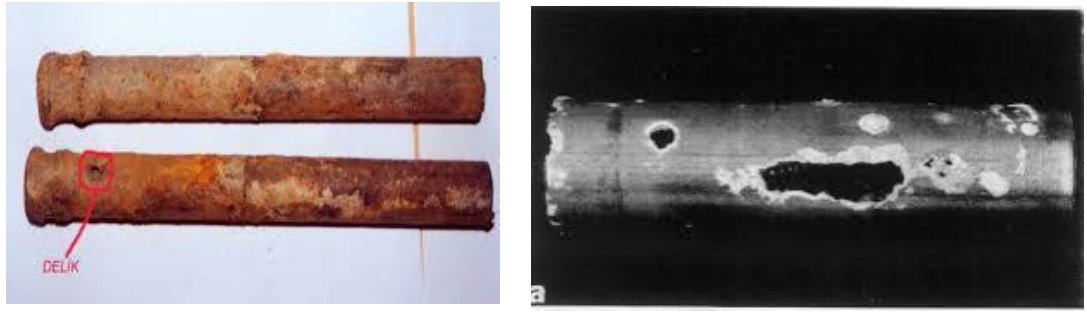
Termodinamiğin ikinci yasasında da belirtildiği gibi ısı bir enerji şeklidir ve sıcaklığı yüksek olan ortamdan sıcaklığı düşük olan ortama doğru transfer edilmektedir. Akışın basit sağlanacağı, direncin en düşük olduğu kısım boyunca ısı akışı en yüksek olur. Sıcaklığın yüksek olduğu yerden, sıcaklığın düşük olduğu yere doğru sıcaklık gradyenti oluşur. Sıcaklık gradyentinin içinde ısı akışı vardır ısı yalıtımı ısı akışını azaltarak sıcaklık gradyentini muhafaza eder. Kısaca belirtecek olursak iki değişik ortam

arasındaki ısı alışverişinin engellenmesi olayına ısı yalıtımı denir (Tübitak, 2010). Isı yalıtımı enerjiyi daha verimli kullanarak enerjiyi israftan korur. Bu yüzden ısı yalıtımının önemi büyüktür. Isı yalıtımının yapıldığı yerlere bağlı olarak enerjiden % 85 oranında tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir (TMMOB, 2005).

Bu yüzden binalarda, tesisatta ve ekipmanlarda ısı yalıtımı yapmak Ülkemiz için son derece önemlidir. Çünkü ısı yalıtımı; öncelikle enerji tasarrufu sağlamak, hava kirliliğini azaltmak, rahat ve konforlu yaşam ortamının sağlanması, ısı kayıplarının yol açtığı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için yapılmaktadır. Bunun için, özellikle binalarda ısı kayıpları ile ilgili standartlarda ısı kayıplarının olması gereken değerler belirlenmiş ve bu değerlere uymak yasal bir zorunluluk olmuştur (TMMOB, 2005). Bu nedenle ısı yalıtımında ulusal, ekonomi ve çevre ilişkisinin ortaya konulması ve rasyonel çözümlere varılabilmesi önem arz etmektedir. Enerji kaynaklarında olduğu gibi yalıtım malzemelerinde de dışa bağımlı olan ülkemizde; yerli, hafif ve yanmayan, yalıtım özellikleri yüksek malzemelerin ve teknolojilerinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu malzemelerin geliştirilmesi ve üretilmesi sonucunda dışa bağımlılığımız azalacak ve rekabet gücümüz de artacaktır. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklı akışkanların taşındığı boru sistemlerinde kullanılan çıplak borular yüksek sıcaklık gradyentine (farkına) maruz kalmakta bu ise boru sistemlerinde birçok problemler oluşturmaktadır. Bu borularda ısıtma nedeniyle artan sıcaklıkla birlikte boru gövdesinin elemanları genişlemekte ve bu tür genleşmeler sürekli bir ortamda serbestçe ilerleyemediğinden malzeme ömrünü sınırlayacak kadar yüksek ısı gerilmelere neden olmaktadır. Bu gerilmeler sebebiyle boru yüzeylerinde aşınma, boru parçalarının burkulması veya kırılmasıyla sonuçlanabilmektedir (Al-Zaharnah, 2002)

Özellikle jeotermal sahalarındaki sıcak suyun taşınmasında kullanılan borularda oluşan bu tür gerilmeler, boru ve ekipmanlarda büyük hasarlara yol açmaktadır. Bütün bu problemler borularda doğru yalıtım uygulamalarıyla giderilebilmektedir. Petrol, gaz ve jeotermal kuyularının üretimi, ülkelerin kalkınma göstergelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ülkemizdeki petrol sahalarının büyük çoğunluğu nano-newton petrolerdir ve bu petrolerin üretim sürecinde diğerlerine göre daha yüksek maliyet, ekip ve ekipman ihtiyacı gerekmektedir. Petrol, gaz ve jeotermal yataklarının farklı özellikler göstermesi, üretimi sırasında bazı ek işlemler yapılmasına akıbetinde de maliyetin artmasına neden olmaktadır. Yapılan ek işlemler mevcut kaynakların korunmasını ve daha verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Nano-newton petrollerinin üretimi sırasında içeriğinde yüksek oranda bulunan üç organik madde (paraffin, asphalt ve katran) ham petrolün

yüzeye hareketi sürecinde ısı kayıplarına uğramaları neticesinde tijlerde, kuyu başı donanımlarında tıkanmalara sebebiyet vermekte (Şekil 1.1) bu ise üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum petrol mühendislerini rezervdeki ham petrolün yüksek sıcaklığının rezervden yüzeye doğru korumanın yöntemlerini araştırmaya yönlenmiştir. Üretim sahalarındaki yaşanan problemler; kuyu sisteminin değiştirilmesi, ek teçhizat ve insan gereksiniminin artması, rezerv yapısının etkilenmesi, uygulama zorluklarının ortaya çıkması ve üretim maliyetlerinin artması gibi birçok problemi de beraberinde getirmiştir. Bu amaçla yapılan ve ham petrol üretimini arttırmak için uygulanan ilave operasyonlar; ısıtım sonrası yönlü ısıtma, gazla doymuş petrol ürünleri enjeksiyonu, sitim enjeksiyonu, düşük viskoziteli solvent enjeksiyonu, yüzey aktif maddelerin (surfactant) sulu çözeltileri enjeksiyonu, depresan (baskılayıcı) katkı maddelerinin enjeksiyonu olarak sıralanmaktadır.



Şekil 1. 1. Korozyondan dolayı hasara uğramış borular (Anonim, 2021)

Tezde, kuyu ekipmanları ve tijlerde kullanılacak uygun yalıtım malzemeleri ile yaşanan bu problemlerin farklı özelliklerdeki petrol, doğalgaz ve jeotermal sahalarındaki sıcak suyun taşınmasında kullanılan borulardaki ısı kaybının azaltılması, yüksek sıcaklık gradyentine maruz bırakılan çıplak borulardaki boru ve ekipman hasarının en aza indirilebilmesi ve buradaki enerji sarfiyatlarını minimize edilmesi ve özellikle yüksek viskoziteli nano-newtonlu petrol üretim sahalarındaki boru tıkanmalarının önüne geçilerek tubing malzemelerde oluşan hasarların bertaraf edilmesi amacıyla en uygun yalıtım malzemelerinin üretilmesi ve bu alanlarda kullanılması hedeflenmektedir. Yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara cevap verebilecek, perlit ve bor gibi ülkemizin kaynak bakımında dünyaca üstün rezervlerine sahip olduğu malzemeler kullanılarak yüksek ısı yalıtım özelliği sağlayan, yeterli mekanik dayanım ve yüksek sıcaklığa karşı dayanımı olan yerli ve yeni ısı yalıtım malzemelerin üretilmesi hedeflenmiştir. Çalışmamızda öncelikle farklı özelliklere sahip yalıtım numuneleri üretilecek ve üretilen numunelerin

mekanik ve ısı özellikleri ASTM ve EN standartlarına göre tespit edilecektir. Ardından üretilen izolasyon numuneleri ile farklı kalınlıklarda kaplanmış boruların ısı kayıplarının elde edilmesi için Ansys fluent programı kullanılacak ve mevcut üretim sahasının sistem modeli çıkarılarak farklı kalınlıklarda giydirilmiş boruların ısı kayıpları tespit edilecektir. Böylece yüksek enerji verimliliğinin sağlanması ile birlikte, enerji giderleri ve yakıt giderleri azaltılarak, dışa bağımlılığın azaltılmasına ve ülkemiz ekonomisine doğrudan, çevresel değerlerin iyileştirilmesine ise dolaylı olarak katkı sağlayacak yeni ve çok daha verimli yalıtım malzemelerinin üretimi sağlanacaktır.

2. GÜNÜMÜZDE KULLANILAN ISI YALITIM MALZEMELERİ

Kapalı yerlerde iç ortamdaki sıcaklık derecelerini istenilen değerde tutabilmek ayrıca iklim koşullarının elverişliliğine çözüm olarak yapılan soğutma ve ısıtmada harcanılan enerjide tasarrufu sağlamak bununla birlikte hava kirliliğini önleyerek bunu düşük düzeye getirmek çevre sorunlarına çözüm üretmek için yapılarda alınan önlemlerdir. Bununla beraber ısı yalıtımı yapıyı dış faktörlerden koruyup işletme maliyetini düşürüp ömrünü uzatmaktadır (Fırat, 2013).

Isı yalıtımını şu şekilde ifade edecek olursak teknik anlamda sıcaklıkları farklı iki ortam arasındaki ısı geçişini düşürmeye yönelik yapılan işlemlerdir. Isı sıcaklığı yüksek olan ortamdan sıcaklığı düşük olan ortama hareket eder. Isınan iç ortamdan hareket ederek dış ortama yönelim söz konusu olmaktadır. Binalar düşünüldüğünde binaların duvarları ve pencereleri yalıtımsız mekânlarda veya eksik yalıtımlı mekânlarda yüzey sıcaklıkları düşük olmakla beraber sıcak hava soğuk yerlere hareket eder. İç kısımda konforlu bir ortamın oluşması amacıyla kaybedilen ısıya ya bir ısıtma sistemi telafi edilmesi ya da ısı kaybının azaltılıp ısı kaybına müdahale edilmesi gerekmektedir. Konforlu bir ortam sağlamak binanın ömrünü artırmak ve bununla birlikte yakıt ve soğutma giderlerinde kazanç sağlamak amacıyla ısı yalıtımı yapılmaktadır (Şen, 2006).

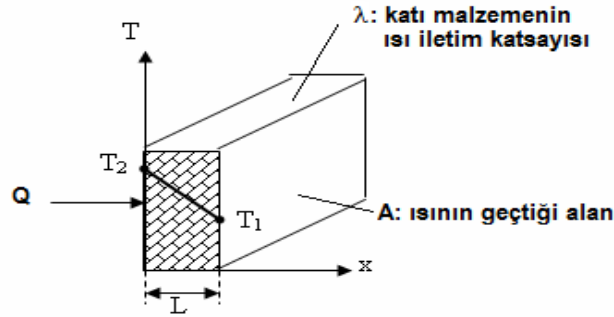
Isı yalıtımı bir ortamdan diğer ortama üç değişik biçimde yayılır ışıyım, taşınım ve iletim biçiminde yayılır. Isı yalıtımı, sadece farklı yalıtım malzemeleriyle yapılan işlem şeklinde algılanmamalıdır. Isı yalıtımının konutlarda veya bir yapıda tam olarak sağlanabilmesi için taşınım iletim ve ışıyım biçimindeki yayılmaya karşı önlem alınması gerekmektedir. Bir yapıda çevresel faktörler iklim özellikleri, mekânların bakacağı yön ve coğrafi özellikler ısı kaybını etkileyen çok önemli parametrelerdir (Şen, 2006).

Isı İletimi

Daha öncede bahsettiğimiz gibi sıcaklığı yüksek olandan sıcaklığı düşük sisteme doğru kendiliğinden her zaman bir akım oluşur. Dört değişik biçimde gerçekleşir. Bunlar Konveksiyonla (taşınım), radyasyonla (ışıyım), kondüksiyonla (iletim) ve buharlaşma ile gerçekleşmektedir (Aydın, 2010).

Kondüksiyonla iletim:

Maddenin yüksek enerjiye sahip parçacıklardan yanındaki düşük enerjili parçacıklara enerji aktarılma olayıdır. Sıcaklığı yüksek olan atomlarda kinetik enerjide yüksektir. Yanlarındaki atomlara çarptıklarında onların hızlarını artırırılar. Çarpmalar sonucunda sıcaklığı fazla olan yerdeki enerji sıcaklığı az olan yere iletilir. Bu aktarım yüksek sıcaklıkta olan yerin sıcaklığını az da olsa düşürür. Diğer kısmın sıcaklığını ise yükseltir ve böylelikle tüm kütlenin sıcaklık değeri bir süre sonra eşitlenir (Aydın, 2010).



Şekil 2. 1. Bir duvarda geçen ısı transferi (Çengel, 2011)

$$Q = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.1)$$

Şekilde geniş düzlem bir duvarda “ $\Delta x=L$ ” kalınlıklı, dik duvar alanı A olan bir duvar malzemesinden geçen tek boyutlu ısı transfer enerji dengesini yazarsak:

$$\begin{pmatrix} X'deki \\ \text{Isı İletim} \\ H_{1z1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x+\Delta x 'deki \\ \text{Isı İletim} \\ H_{1z1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Eleman İçindeki} \\ \text{Üretim} \\ H_{1z1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Elemanın Enerji} \\ \text{İçerisindeki} \\ \text{Değişim } H_{1z1} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Isı iletim katsayısı “ λ ”, T sıcaklığına bağlı olup ısıl iletkenlik türev dışına çıkarılmaz. Ayrıca ısıl iletkenlik pek çok uygulamada sabit kaldığı ortalama bir değerde kabul edilmektedir (Çengel, 2011). Bunun sonucunda ısı üretimi olmayan duvarla sabit iletkenli ve zamana bağlı denklem ifade edilirse;

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.3)$$

Bu kısımda α , ısı yayılım olmakla beraber malzemenin yoğunluk, ısı iletkenlik, özgül ısı özelliklerine bir katsayısıdır (Çengel, 2011).

Isıl iletkenlik

Isıl iletkenlik malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin ölçüsüdür. Yüksek ısı iletkenlik değeri o malzemenin ısı iletken olduğunu, düşük ısı iletkenlik değeri için ise o malzemenin ısı yalıtkan olduğu anlamına gelmektedir (Çengel, 2011). Tablo 2.1’de, bilinen bazı maddelerin oda sıcaklığı koşullarında ısı iletkenlik değerleri verilmiştir. Bu değerlerde görüldüğü üzere hava (durgun hava) çok üstün yalıtım özelliğine sahiptir. Bu özellik dikkate alınarak Tabloda mevcut olan ağaç, üre tan, strafor, gibi malzemeler üre tilmiştir. Dikkat edilecek olursa havaya çok yakın ısı iletkenliği bulunan üre tan olup üre tanın kapalı gözenek boşluğu % 95’in üzerindedir. Günümüz yalıtım malzemelerinin büyük bir kısmı kapalı veya açık gözenekli durgun hava sistemini kullanmaktadır (Çengel, 2011).

Tablo 2. 1. Bazı malzemelerin oda sıcaklığında ısı iletkenlik katsayıları (Çengel, 2011)

Madde	λ , W/mK
Gümüş	429
Altın	317
Demir	80.2
Elmas	2300
Bakır	401
Alüminyum	237
Tuğla	0.72
Ahşap (meşe)	0.17
Hava (gaz)	0.026
Üre tan, sert köpük	0.026
Yumuşak kauçuk	0.13
Helyum (gaz)	0.152

Özgül ısı

Malzemeler için çok önemli bir diğer özellik ise özgül ısıdır. Özgül ısı bir maddenin birim kütesinin sıcaklığını bir derece artırmak için gerekli olan enerji olarak ifade edilmektedir. Bu enerji aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2.4)$$

İki tür özgül ısı vardır. Sabit hacimde ve sabit basınçta özgül ısı olarak ifade edilmektedir. Gazlarda iki değer arasındaki fark gaz sabitine eşit olup sıvı ve katılar için ise özgül ısı birbirine eşittir (Çengel, 2011). Eşitlik 2.4 dikkate alındığında birim kütlede yüksek ısıya sahip malzemeler ısıyı bünyelerinde depolar bundan dolayı verilen birim ısı enerjisinde düşük sıcaklık farkına neden olduğundan özgül ısı, yalıtkan malzemeler için önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır.

Isıl yayılım

Zamana bağlı ısı iletim çözümlemesinde ortaya çıkan başka bir malzeme özelliği, bir malzeme içerisinde ısının ne kadar hızlı yayıldığını gösteren ısıl yayılım katsayısıdır ve:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (2.5)$$

Biçiminde ifade edilir. Isıl iletkenlik, λ bir malzemenin ısıyı ne ölçüde ilettiğini, ρc ise malzemenin birim hacminde ısıyı ne kadar depoladığını gösterir. Malzeme içinde iletilen ısının malzemenin birim hacmi başına depoladığı ısıya oranı, bir malzemenin ısıl yayılım katsayısını verir. Isının ortam içindeki hızının yüksek olması için ısıl yayılımında yüksek olması gerekmektedir. Küçük ısıl yayılım değeri ise malzemenin ısıya karşı tembel olduğu ve ısının küçük bir miktarının daha ileri iletildiği anlamına gelir (Çengel, 2011).

Isıl yayılım değerinin küçük olması malzemenin ısıya karşı tembel olduğunu ısının az bir miktarının daha ileri iletildiği sonucunu çıkarır (Çengel, 2011). Yüksek ısıl yayılım özelliği gösteren malzemelerin her ne kadar ısıl iletkenlik katsayısı düşük olsa

da, ısı yalıtkanlık noktasında dezavantajlar bulunmaktadır. Bu açıdan hem düşük ısı iletkenlik hem de düşük ısı yayılım değerleri taşıması bir yalıtım malzemesinden beklenen özelliklerdir (Çengel, 2011).

Konveksiyonla (taşıma) ısı iletimi:

Akışkan ile iletim hareketinin birleşik etkileri kapsamakta olup hareket halinde bulunan gaz ile sıvı arasında ve ona bitişik katı yüzey arasında gerçekleşmektedir. Atom ile molekül hareketi sonucu enerjinin iletimi gerçekleşir (Aydın, 2010).

$$Q_{\text{taşıma}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (2.6)$$

Bu denklemdeki (Çengel, 2011) T_s yüzey sıcaklığı, h taşıma ısı transfer katsayısı, T_{∞} ise yüzeyden yeteri kadar uzaklıkta akışkan sıcaklığı, A_s taşımanın olduğu yüzeyin alanıdır. Burada h yani taşıma katsayısı akışkanın bir özelliği olmayıp h katsayısı deneysel yolla bulunarak değeri ise akışkan özelliklerine akışkanın yığın hızına, akışkan hareketinin tabiatına ve yüzey geometrisine, bağlı bir parametredir.

Radyasyonla (ışınım) ısı iletimi:

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu neticesine göre Foton isminde enerji paketçikleri mevcuttur. Enerjileri dalga boyunun küçülmesi ile artmaktadır. Mutlak sıfır sıcaklığının 273°C üzerinde bulunan cisimler ısı ışınlar vasıtasıyla etraflarına enerji yayarak çevrelerinden de ısı ışınlarla enerji alırlar. Işınım yoluyla ısı enerjisinin bir taşıyıcıya ihtiyaç duymadan elektromanyetik dalgalar biçiminde oluşan ürüne geçiş sağlayan iletme ısı ışınmı denilmektedir (Aydın, 2010).

Cisimlerin sıcaklıklarından dolayı çevrelerine yaydıkları ışınm türü olan ısı ışınm ısı transfer çalışmalarından ilgilenilen bir konu olmaktadır. Işınım, sıcaklıkla bağlantısı olmayan gama ışınları, x ışınları, radyo ve televizyon dalgaları elektromanyetik ışınm öbür şekillerinden değişiktir. Daha öncede bahsettiğimiz gibi mutlak sıfırın üzerinde bulunan sıcaklıklarda cisimlerin tümü ışınm yayarlar. T_s (K veya R olarak) termodinamik sıcaklıkta bulunan yüzeyden yayılabilecek en yüksek ışınm hızı Stefan-Boltzmann kanunu ile,

$$Q_{\text{ışınım}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (2.7)$$

Biçiminde gösterilmiştir. Denklemden “ σ ” değeri Stefan-Boltzman sabiti, “ ε ” ise yüzeyin yayıcılığı olup değeri $0 < \varepsilon < 1$ dir. Bu değer siyah maddelerde 1’dir. Bazı yüzeylerin yayıcılıkları Tablo 2.2’de verilmiştir (Çengel, 2011).

Tablo 2. 2. Bazı malzemelerin 300 K’de yayıcılığı (Çengel, 2011)

Malzeme	Yayıcılık, ε
Parlak bakır	0.03
Siyah boya	0.98
Beyaz kâğıt	0.92-0.97
Kırmızı tuğla	0.93-0.96
Toprak	0.93-0.96
Parlak paslanmaz çelik	0.17
Parlak altın	0.03
Alüminyum Folyo	0.07
Asfalt döşeme	0.85-0.93
Eloksallı alüminyum	0.82
Parlak gümüş	0.02
Su	0.96
Ahşap	0.82-0.92
Beyaz boya	0.90

Önemli özelliklerden biride bir yüzey için yüzeye gelen ısıtım enerjinin “ α ” soğurganlığıdır. Soğurganlık değeri de yayıcılıkta ki gibi de 0 ile 1 arasında değişmektedir. Kara cisim üstüne gelen ısıtımın hepsini soğurur. Buradan da anlaşılacağı gibi kara cisim mükemmel soğurgan olup bunla beraber mükemmel bir yayıcıdır. ($\alpha=1$). Aynı malzemede olmasına rağmen değişik renklere göre farklı değerler almaktadır. Yüzeyin ısıtım soğurma hızı,

$$Q_{\text{hapsolan}} = \alpha Q_{\text{gelen}} \quad (2.8)$$

Yukardaki denklemde ifade edilmiştir. (Çengel, 2011). Bazı yüzeyler geçirgen değildir o yerlere ısıtım geldiği zaman soğurulmayan ısıtım tekrar geri gönderilir. Mevsimlerden yazın ise yüksek miktarda güneş ısıtımını mevcut olup ısınmış olan

binalarda dış renk rengi beyaz renkte boyanmalı çünkü içeri kısma girecek olan ısı transferini düşürecektir.

Günümüzde enerji sorunun olmasıyla beraber Isı yalıtımı ciddi anlamda büyük önem taşımaktadır. Bina konforunun daha az enerji kullanılmak maksadıyla önem arz etmektedir. Bunun nedeni ise dünyada enerjiye duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmakta sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle enerjiye önem verilmekte fakat enerji kaynaklarımız azalmaktadır (Akıncı, 2007).

Isı yalıtım malzemeleri

Türk standartları TS 825 ve Alman DIN normu 4108'e göre ısı yalıtım malzemesi oluklu mukavvalar, fenol köpüğü, taş yünü, sentetik kökenli extrude polistren ve cam köpüğü, poliüretan, pamuk keçeleri gibi ısı iletkenlik değeri (λ) 0.060 W/mK bu değerin altındaki malzemelere verilen addır (Ekinci, 2003).

Yalıtım için seçilen tüm malzemelerin standartlara uygun olması, hangi malzemenin seçileceğine dair detaya dikkat edilmesi, binanın sağlığı ile yalıtımın performansı yönünden ciddi anlamda önem farz etmektedir (Rubacı, 2006).

Isı Yalıtım Malzemelerinde Aranılan Genel Özellikler

İstenilen sonuçlara ulaşabilmemiz için ısı yalıtım malzemesinin sadece bir özelliğine odaklanmak istenilen sonuçlara varmamızı imkânsızlaştırır. Sadece yoğunlaşma, ısı iletkenlik ve nem gibi faktörlerin yanında diğer faktörleri de içerisinde bulundurmalıdır.

Isı iletkenlik değeri, difüzyon, maliyeti, su buharı geçirgenliği, yangın dayanımı, kimyasallara karşı dayanımı, su emme, bu gibi özellikler dikkate alınarak ısı yalıtım malzemesi seçilmelidir. Bununla beraber yalıtımın uygulanacağı yere, yapının kullanım amacına, malzemenin kalınlığına, taşıyıcı sistemlerine, iklime, çevresel etkilere, malzemenin üretimine, malzemenin kalınlığına bunun gibi bütün özellikler gözeterek malzeme seçilmelidir (Akyol, 2006). Günümüzde yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemeleri ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

Oluklu mukavvalar

Tahta kıymıklarından mukavvanın imalinden faydalanılır. Bu durumda bağlayıcı elemana gereksinim yoktur. Neme karşı mukavveti yüksek olması için asfalt yada lak emdirilmektedir. Bununla beraber oluklu mukavvalarda ısı iletim katsayısını düşürmek için hava kanallarının olacak biçimde monte edilir ve iletim katsayısı 0.086 W/m.K değere kadar düşürülebilmektedir. Soğutma tesislerindeki yalıtım da için tercih edilmemektedir. Çünkü yoğuşan sular bu duruma sebep olabilmektedir. Yoğunlukları ise olukların cinsi sayısı bu gibi durumlara bağlı olarak $220\text{-}600 \text{ kg/m}^3$ aralığında farklılaşmaktadır. 80°C de ki sıcaklık değerine kadar kullanışlıdır (Akıncı, 2007).



Şekil 2. 2. Oluklu mukavva (Akıncı, 2007)

Cam yünü

Cam yünü ham maddesi inorganik olup silis kumuna $1200\text{--}1250^\circ\text{C}$ yüksek sıcaklık uygulanıp basınç kullanılarak eritilip elyaf biçimine getirilerek oluşturulur. Açık gözeneklidir (Akelçi, 2016).

Cam yünü dökme, levha, şilte ve boru biçimlerinde üretilip değişik boyutta ve yoğunluk ve kalınlıkta üretilmektedir. $-50/+250^\circ\text{C}$ ise kullanım sıcaklığına sahip olup ısı iletkenliği $0,04 \text{ W/mK}$, difüzyon değeri $1'$ dir. Özel cam yünlerini $-200/+450^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında üretmek mümkün olmakla beraber bağlayıcısız cam yünleri ise 500°C de kadar kullanılabilir. Korozyona uğramaz. Maliyeti az buharı kolay geçirir. Yanmaz bir malzemedir (Türkmen, 2016).



Şekil 2. 3. Cam yünü (Çöl, 2020)

Cam yünü teknik özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çöl, 2020).

- Yanma sınıfı: A sınıfı yanmaz,
- Kullanım sıcaklığı: en fazla 250 °C,
- Su emme: hacimce % 3–10
- Isı iletkenlik: 0,04 W/mK
- Mekanik dayanım ise 1,5–6,5 ton/m² basınçtır.
- Yoğunluğu: 14–100 kg/m³,
- Buhar difüzyon direnç katsayı değeri ise; 1'dir.

Uygulama esnasında cam yünü sorun çıkaran bir malzemedir. Göz tahrişi deri tahrişi ve solunum yollarında büyük sorunlar çıkarabilmektedir (Yılmaz, 2016).

Taş Yünü

Taş yünü bazalt, diabez ve kireçtaşı gibi minerallerin (1350 °C – 1400 °C) sıcaklık aralığında eritilip elyaf biçimine getirilmesi sonucu oluşan ısı yalıtım malzemesidir.

Taş yünüde diğer yalıtım malzemeleri gibi kullanım yününe göre istenilen teknik özelliklere getirilebilmektedir. Taş yünü ısı ve ses yönünden bulunduğu sınıftan dolayı yangın yalıtımında kullanılmaktadır. Yanmaz malzeme olup A sınıfındadır (Abak, 2020).



Şekil 2. 4. Taş yünü (Oktay, 2017)

Taş yününün özellikleri

- TS EN 13501-1 standartlarına göre "A" sınıfı yanmaz malzemedir.
- -50 ile +750 °C aralığında kullanıma uygun sıcaklık aralığıdır.
- Kullanım alanına göre 30-200 kg/ m³ arasındaki yoğunluklarda temin edilir.
- Isı iletkenlik değeri 0,040 W/m.K'dır.
- Sıcaklığın etkisiyle bozulma veya boyutlarda değişim söz konusu değildir.
- Küflenme ve çürüme olayı olmaz
- Böcekler gibi zarar veren mikro organizmalardan etkilenmez.
- Taş yününün, ergime sıcaklığı >1000 °C'dir.
- Uzun bir süreçten sonra bile korozyon ile paslanma gerçekleşmez.
- İşçiliği basittir çünkü kolay şekil verilebilmektedir (Abak, 2020).

Seramik Yünü

Seramik yünü lifli bir malzeme olup 650 °C – 1450 °C sıcaklık aralığında bükülme işlemi sonucu üretilir. Yüksek sıcaklıklarda genellikle taş yününün kullanılmadığı durumlarda kullanılır. Levha, rulo, ve dökme biçiminde bulunmaktadır. Esneyebilme özelliği olup basınç kuvvetine dayanıklı değildir. Temini yurt dışında olur. Her asitten etkilenmezler fosforik asit ile hidroflorik asitten etkilenirler (Özer, 1974).

Mantar levhalar

Mantar levhalar heterojen yapıda ve bitkisel kökenli olup doğal ısı yalıtım malzemesidir. Temini ise Akdeniz bölgesi iklimine ait ağaçlardan elde edilir. Ağaçların yüzeyi aşındırılarak elde edilir üretim kısmından geçip granül haline getirilerek kurutulup kızgın buhar işleminden geçirilir. Buhar işlemine bırakıldıktan sonra tekrardan kurutma işlemi ve sonrasında soğuk su etkisi yapılarak soğutulmaya bırakılır. Bekleme işleminden sonra tercih edilen şekil ve boyutta kesme işlemine tabi tutulmaktadır (Abak, 2020).

Mantar levhaya ait özellikler:

- Isıl iletkenlik katsayısı ise 0,045-0,055 W/m.K’bu aralığındadır.
- Kullanıma uygun sıcaklık değeri -180 ile +100 °C ‘aralığındadır.
- Yangın sınıfı E sınıfındadır.
- Su buharı difüzyonuna karşı direnç $\mu=5-10$ değerindedir.
- Güneş ışınından gelen zararlı mor ötesi ışınlar olmasına rağmen bu ışınlardan etkilenmemektedir (İzoder, 2003).

Expand Polistren Köpük (EPS)

Polistren maddesinin birden fazla uygulama sonrası EPS malzemesi elde edilir. Isı EPS malzemesi ayrıca ambalajlarda da kullanılmaktadır. Bununla beraber EPS ısı yalıtım malzemesi olarak iyi bir malzemedir. Çünkü yapısında hava kabarcıkları bulunur ve bundan dolayı da hafif bir malzemedir. EPS’ nin Isıl iletkenlik katsayısı öbür yalıtım malzemelerine kıyasla daha azdır. EPS, tercih edilen büyüklükte ve boyutta temin edilebilir (Paralı, 2009).

EPS’nin başlıca özellikler:

- Isı iletkenlik katsayı değeri ise; $\lambda \leq 0,040$ W/m.K
- Yoğunluğu 10-40 kg/ aralığındadır.
- TS EN 13501-1 standartlarına göre E ve F sınıfındadır.
- Uygun kullanım sıcaklığı -50 ile +75 °C aralığındadır.
- Kapiler emicilik özelliği yoktur. (İzoder, 2003).
- Kırılgan değildir.

- Üretimi esnasında sadece metan gazı kullanıldığı için çevreye zararı yoktur.
- Sera gazı gibi doğaya zarar veren gazı oluşturmaz ozon tabakasına zararı yoktur.
- Çevreye zarar vermez. Geri dönüşümü vardır.
- Çürüme yoktur küflenme oluşturmaz (Paralı, 2009).

Exstrüzyonla üretilen (ekstrüde) polistiren(XPS)

Ekstrüde polistren levha, polistren hammaddesinden ekstrüzyon yöntemi kullanılarak levha biçiminde olan bir ısı yalıtım malzemesidir (Candan, 2007).

XPS bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılır ve kullanılacak binanın şekli göz önüne alınarak değişik boyutlarda oluşturulabilir. Kullanımı oldukça yaygındır. Kapalı gözenekli homojen bir yapıya sahiptir böylelikle malzemelerin su geçirgenliği minimum seviyededir. Özellikle çatılarda kullanılır çünkü burada su teması fazladır (Abak, 2020).



Şekil 2. 5. Extrude polistren levha (Abak, 2020)

- XPS levhalarda iletkenlik 0.030 ile 0.0407/mK biçiminde gruplanır.
- B1 yangın grubuna sahiptir. Zor alev alır.
- Su emme olarak hacimce % 1 in aşağısındadır.
- Sınır sıcaklığı -50 C ile +80 C dir (Aydın, 2010).

Poliüretan Köpük (PUR):

Poliüretan Köpük değişik iki bileşenin birleşiminden oluşur. Daha çok endüstriyel alanlarda tercih edilip kullanılır. Değişik boyutta ve şekillerde kullanım alanına göre

üretir. Sızdırmazlık yoktur çünkü hepsinde kapalı gözenekli yapı mevcuttur (Kaya ve Öztürk, 2014).

Poliüretan köpük genel itibariyle ısı yalıtım malzemesi adı altında bilinir fakat değişik alanlarda kullanım alanına sahiptir. Sızdırmazlığı sağlayan ekipmanlar, kayışlar ve dişliler bunlara örnek verilir. Bunlar poliüretan köpükten üretilmiştir (Erdem, 2008).

(Poliüretan köpük) için başlıca özellikler:

- Kullanıma uygun sıcaklık değeri aralığı -200 ile $+110$ °C 'dir.
- Yangın sınıfı olarak E, F ya da D'dir.
- İletkenlik katsayısı $0,025-0,040$ W/m.K değerleri arasındadır.
- Su buharının difüzyon direnç katsayı sayısal olarak değeri $\mu=30-100$ arasında değişiklik gösterir.
- Hacim olarak su emme ise % 3-5 oranındadır.
- Rahatlıkla alev alan bir malzemedir.
- Güneşten çevreye gelen zararlı mor ötesi ışınlarına karşı hassaslık gösterir ve bozulmalara sebep olur (İzoder, 2003).

Cam köpüğü

Yüksek sıcaklıkta eritilen cam daha sonra soğuması için bekletilir. Çok ince toz şekline getirildikten sonra karbon eklenerek sıcaklığı 1000 °C olan fırınlardan geçirilir. Son olarak levha boru şeklinde olması için tavlama fırınlarda şekillendirilir (Özer, 1974).

Kırılgan bir yapıda olup basınca dayanıklı ama sürtünmede ise güçsüzdür. Buharı ise hiç geçirmez ve yüzey kısmı sürtünme yoluyla tozlaşan bir yalıtım malzemesidir. Yangına dayanıklı olup güne ışınlarını geçirmez. Bununla beraber cam köpüğü için ekolojik bir malzeme denilmektedir. Çünkü üretim esnasında zehirli gazlar bulunmaz ve bağlayıcı madde yoktur. Ayrıca geri dönüşümü de mevcuttur. İçeriğine su almaz çünkü gözenekleri kapalı haldedir. Yalnızca yüzey kısmına girintilerden dolayı su dolabilir. Burumda çok fazla suya maruz kalan kısımlarda malzeme azda olsa korozyon olayı gerçekleşebilmektedir (Çöl, 2020).

Levha şeklinde olduğu gibi büyük panolar halinde de olabilir. Gözenek yapısı %93-94 civarında olup cam, alüminyum folyo gibi malzemeler kaplanabilmektedir (Çöl, 2020).

Cam köpüğü özellikleri;

- Yangın sınıfı A'dır.
- Su buhar geçiş değeri $0 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ve su emme oranı % 0'dır.
- Isıl iletkenlik katsayı değeri aralığı $0,045-0,060 \text{ W}/\text{m.K}$ 'dir.
- Kullanım için uygun sıcaklık aralığı -260 ile $+430 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir.
- Güneşten çevreye gelen zararlı mor ötesi ışınlarına dayanıklıdır.
- Farklı yoğunluklarda ($100-150 \text{ kg}/\text{m}^3$) üretilmektedir (İzoder, 2003).

Fenol köpüğü

Fenol köpük inorganik maddeler ve fenol-formaldehit bakalitinin eklenmesiyle oluşmaktadır. Uygun öz kütlede levha pano ve boru biçiminde üretilip metal ile folyo uygulanarak kaplama yapılmaktadır (Abak,2020).

PF (Fenol köpüğü) ait özellikler:

- Kullanım için uygun sıcaklık -180 ile $+120 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığındadır.
- Yangın sınıfı için folyo veya metal kaplı olmasına göre farklılık göstermektedir.
- Isıl iletkenlik katsayısı $0,030-0,045 \text{ W}/\text{m.K}$ değerlerindedir.
- Su buharı difüzyonuna direnci ise; $\mu=10-50$ sayıları arasındadır (Abak, 2020).

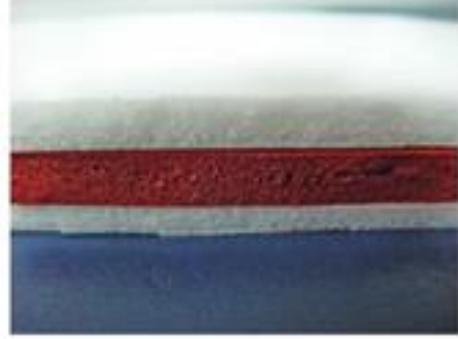
Elastomerik kauçuk köpüğü

Kauçuk köpüğü ülkemize 10-15 yıl önsesi gelmekte olup yoğun olarak tercih edilen bir malzemedir. Tümü esnek ve genişletilmiş siyah esnek sentetik kauçuk boru ve levhalardır. İçeriğindeki yüksek oranda kauçuk bulundurulduğundan dolayı değişik uygulama alanlarında kullanılabilmektedir (Akıncı, 2007).

Kullanılan sıcaklığa göre ısı iletim değerleri katsayı olarak aşağıda verilmiştir.

- $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ için $0.034 \text{ W}/\text{m.K}$ 'dir.

- 0 °C için 0.036 W/m.K'dir.
- +20 °C için 0.038 W/m.K'dir.



Şekil 2. 6. Levha halinde üretilen eletromerik kauçuk köpüğü (Akıncı, 2007)

Elastomerik kauçuk köpüğü mekanik açısından 60-90 kg/m³ arasında bulunan yoğunlukta mükemmel esnektir (Akıncı, 2007).

Aerojel

Aerojel 1930'larda Samuel S. Kistler adındaki kişi tarafından %95-99.9 hava içermesi yönünden ve laboratuvar ortamında geliştirilen nanoteknolojik malzeme olan aerojel yeryüzündeki en hafif katı madde belirtilmiştir. İçinde mevcut olan hava molekülleri hareket halinde olmadıklarından dolayı yüksek biçimde ses ve ısı yalıtım gerçekleşmektedir. Isıl iletkenlik hesaplanmış değeri ise $\lambda_h=0.018$ W/mK'dir (Özgündüz, 2019).

Neme ve küfe karşı koruma sağlayan bir malzemedir çünkü hidrofobik bir yapısı vardır. Kullanım süresini geçince de yalnızca kum ortaya çıkmaktadır. Yani bu durumdan dolayı sürdürülebilir malzeme özelliği bulunmaktadır (Özgündüz, 2019).

Bu malzemenin dayanılacak sıcaklık değeri yapılan çalışmalarda 1300°C ve süre olarak da 30 dakika olarak belirlenmiştir (Yu, Z.L., Yang, 2018).

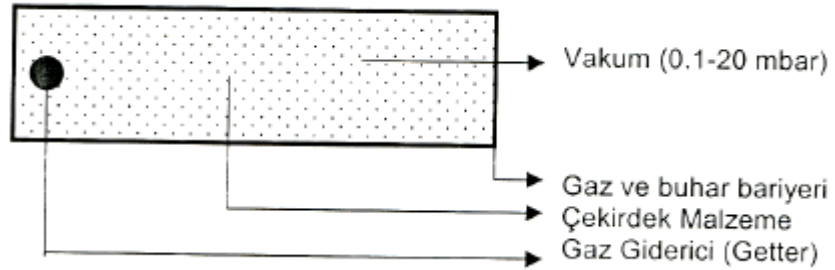


Şekil 2. 7. Aerojel (Akıncı, 2007)

Aerojeller mikro gözenekli yapıda ve gözenekleri çok ufaktır bundan dolayı gazdaki iletim değeri $0,005-0,010 \text{ W/mK}$ bu değere düşmektedir. Aerojellerde opak yapısından dolayı ısıma etkisi düşmekte, Isıl Prosesten Geçirilmiş Silika malzemelerde bu özellik sağlamak maksadıyla opak gibi özellikleri sağlayan katkıları eklenilmektedir. Yani silika aerojel ürünlerde ısı iletim katsayısı $0,020 \text{ W/Mk}$ bu değerin aşağısında kalmaktadır (Aydın,2010).

Vakumlanmış ısı yalıtım malzemeleri

Aşağıda bulunan şekilde vakumlu panellerin yapısını gösterebiliriz. Bu panellerde $0,005 \text{ W/mK}$ değerinin aşağısında ısı iletim katsayılarını elde etmek mevcuttur buda bu vakum panellerde hava boşaltıldığında oluşur. Buradaki panellerde birden fazla uygulama alanı mevcuttur (Aydın, 2010).



Şekil 2. 8. Vakumlanmış ısı yalıtım malzemeleri (Aydın, 2010)

3. PETROL

Yerküre içerisinde organik materyalin başkalaşımı ile oluşmuş ve gözenekli kayalar içerisinde depolanmış sıvı haldeki hidrokarbonlara verilen isme ham petrol denir. Ham petrolden, rafinerilerde bileşenlerine ayrıştırılarak yaşamımızda kullandığımız pek çok ara madde ve akaryakıt ürünleri elde edilir (Anonim, 2021).

Akarsu, deniz ve göllerde yaşamını kaybeden hayvansal ve bitkisel ölü organizmaların akarsuların bu yerlere taşıdığı kum, mineral ve kil tanecikleri ile birlikte dibe çökerek yığılmasıyla oluşmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde nüfusun çoğalması ile endüstrileşme, yatırımların genişlemesi ile yaşam standartlarının yükselmesi ile beraber enerji alanında teknolojik ve bilimsel çalışmaları mecbur kılmaktadır. Enerji toplumların yaşamlarını devam ettirme açısından vazgeçilmez unsurlardan biridir. Kullanılan enerji kaynaklarını tarih boyunca düşünürsek doğalgaz ve petrolün ciddi anlamda tüketim açısından bağımlılığa dönüştüğü görülmektedir. Fiyatlarla ilgili belirsizliklerin olmasına rağmen, doğalgaz ve petrolün tercih edilmesinden dolayı bunların bağımlılık haline gelmesi birçok ekonomik, siyasi ve hatta yaşamsal riskinde oluşmasına sebep olmaktadır. Arzda yaşanan sorunlar, tüketimin frenlenememesi, çoğu zaman ikamenin mümkün olmayışı; üretimin tüketimi karşılama oranını gün geçtikçe düşürmektedir. Dünya piyasası genelinde çalkantılar düşünüldüğü zaman Türkiye gibi ciddi bir şekilde ithalat yapan ülkemizin bundan dolayı gün geçtikçe ülkemizin durumu kritikleşmektedir. Ülkemizin üretim ve arama çalışmalarında geride kalmış olmasından dolayı ithalatın yükselmesine bunun sonucunda da ülkemizin ekonomisi olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Ülkemizde bu durumun önüne geçmek için acil bir şekilde arama, üretim ve arge çalışmalarına yönelmelidirler (Peker, 2007).

Kuyularda planlanması gereken arge çalışmalarının dünyada bulunan üretim kayıplarının en aza düşürülmesi ve daha az enerji ile verimli şekilde gerçekleştirilmesi zamanla sektörde büyük önem kazanmaktadır. Stratejik bir öneme sahip olmakla beraber bunun nasıl değerlendirileceği de çok önemlidir.

Sondaj

Yer altı rezervlerinde bulunan petrole erişmek amacıyla Petrol çıkarma şirketlerinin yaptığı bir tekniktir. Birçok petrol kuyusu hedeflenen rezervuarın üzerinde

konumlandırılmıştır. Bu yüzden bunlara erişim, yüzeyden aşağıya doğru dikey olarak sondajı içerir (Anonim, 2021).

Petrol ve doğalgaz sondaj sektöründe en çok kullanılan rotary sondajlarında, sahalarda kullanılan ekipmanların maliyetinin fazla olmasından dolayı yapılan operasyonların dikkatli ve özenle uygulanmasını gerektirmektedir. Sondaj çalışmalarında rezerve ulaşmak amacıyla kullanılan ekipmanlar, lokasyonun formasyonuna uygun seçilmesi, maliyet ve zaman yönünden önem kazanmaktadır .



Şekil 3. 1. Tipik bir sondaj kulesi (Anonim, 2021)

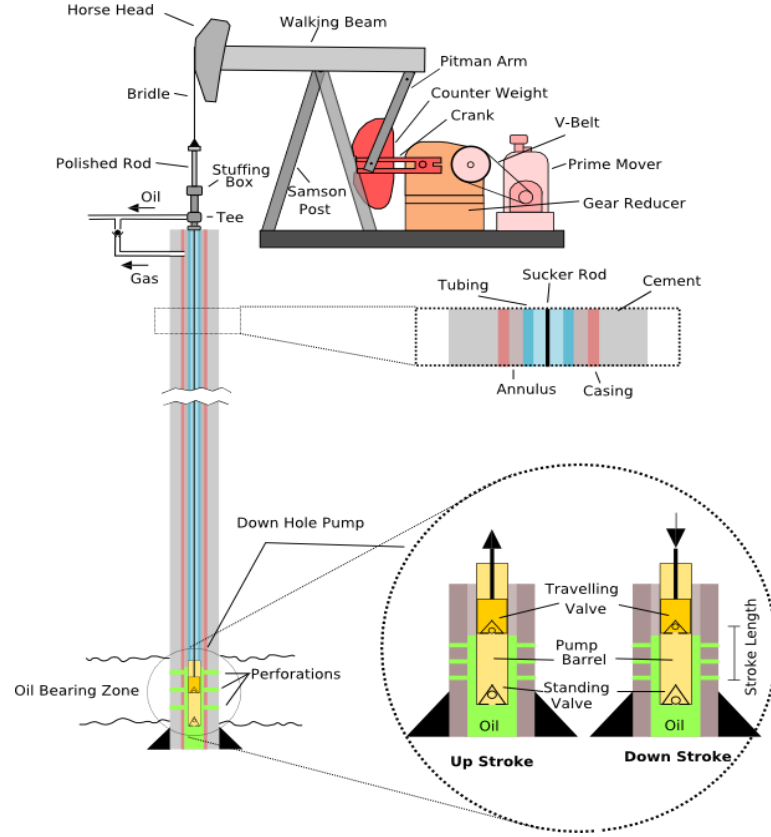
Üretim

Ülkemiz petrol ile doğalgaz aramacılığının büyük bir kısmını Güneydoğu Anadolu ile Trakya bölgelerinde yer almaktadır. Özellikle sondaj öncesi arama yatırımları olarak nitelendirilen jeolojik ve jeofizik çalışmalarda kendini belli etmektedir. Yeraltında hazne kaya içerisinde bulunan hidrokarbonun rezervuardan kuyuya akışını sağlayan temel mekanizmaları beş maddede özetleyebiliriz.

- Bunlar;
- Üretimle oluşacak basınç düşüşü ile kaya ve mayi genişmesi,

- Petrolün içinde erimiş halde bulunan gazın basınç düşüşü ile serbest hale gelerek genleşmesi
- Rezervuarın keşfi sırasında rezervuarda serbest gaz var ise bu durumun bu gaz kütlelerinin genleşmesi,
- Su itimi
- Yer çekimi (Gravite) etkisidir.

Rezervuardaki hidrokarbonların bu mekanizmaların yardımı ile kuyu içine akmasıyla gerçekleştirilen üretime “birincil üretim” denir. Rezervuardaki hidrokarbonların doğal mekanizmalar yardımı ile kuyu içerisine akmasının sağlanamadığı durumlarda üretimi arttırma amaçlı kuyuya su, karbondioksit, çeşitli kimyevi maddeler, buhar, hidrokarbonlar v.b. maddeler basılmasına ise “ikincil üretim” denir. Hidrokarbon yeraltında yüksek basınca sahip ise açılan kuyudan kendi enerjisi ile yüzeye gelir. Türkiye’de bulunan petrol sahalarının basınçları, ekonomik miktarlardaki mayii artezyen olarak üretebilecek düzeyde değildir. Bu nedenle üretim çeşitli pompaların kullanımı ile gerçekleşmektedir. Türkiye’de kullanılan pompalar Dünya’da da en fazla kullanıma sahip olan at başı şeklindeki pompalardır (Şekil 3.2). Ayrıca kuyunun potansiyeli ve üretilen akışkan özellikleri dikkate alınarak, elektrikli dalgıç pompa, hidrolik pompalar, burgu pompalarda (genellikle günlük 200 varilin altında üretim yapan kuyularda) kullanılmaktadır.



Şekil 3. 2. At başı üretim kuyusu (Anonim, 2021)

Dünyada özellikle ağır petrol içeren, düşük kurtarım oranına sahip karmaşık jeolojik yapılı olan petrol sahalarında daha önce uygulama maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle çoğu kez düşünülmeyen polimer enjeksiyonu, buhar enjeksiyonu, karbon dioksit enjeksiyonu bunun gibi gelişmiş üretim yöntemleri dünyada çoğunlukla uygulanmaya başlanmıştır. Uygulama yöntemine göre değişmekle birlikte petrol kurtarımının ciddi miktarda artışı oluşmaktadır. Ülkemizde bu yöntemlerden yalnızca karbon dioksit enjeksiyonu Batı Kozluca ve Batı Raman sahalarında gerçekleştirilmektedir.

Ağır petrol içeren, düşük kurtarım oranına sahip karmaşık jeolojik yapılı olan sahalar ülkemizde yaygın biçimde mevcuttur. Özellikle buhar enjeksiyonu gibi ısısal uygulamalarda ve marjinal petrol sahalarında başarı, kalan petrolün nerede olduğunun bilinmesiyle gelmektedir. Dünyada üretilen petrolün sınıflandırılmasında ciddiye alınan önemli faktörler petrolün içerdiği kükürt miktarı, özgül ağırlığı, akmaazlığıdır. Amerikan Petrol Enstitüsü (American Petroleum Institute - API) tarafından çıkarılan ve özgül ağırlığa bağlı API Gravite tanımı, bütün dünyada petrolün sınıflandırılması için genel

kabul görmüştür. Bu tanıma göre düşük özgül ağırlıklı petrolün gravitesi yüksek, yüksek özgül ağırlıklı petrolün gravitesi düşük olarak değerlendirilmiştir. Bu tanıma göre petrolün sınıflandırılması Tablo 3.1'deki gibi yapılmaktadır.

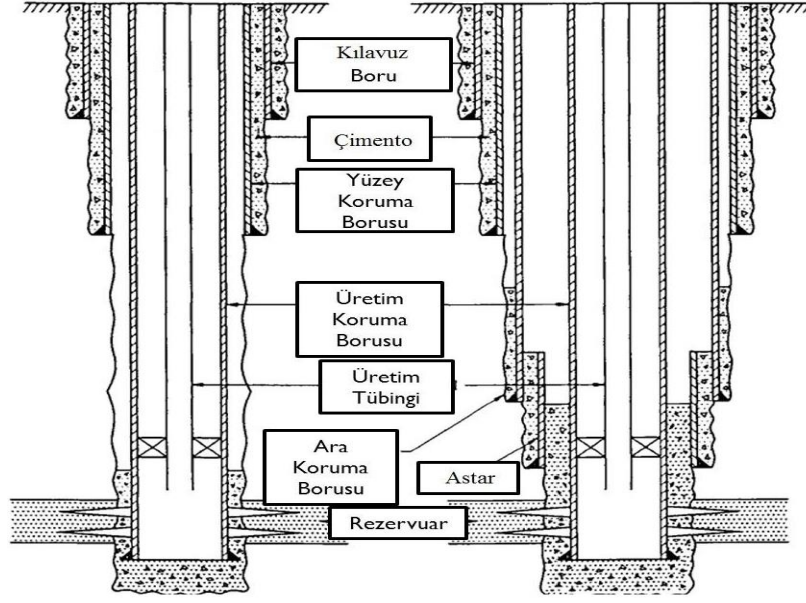
Tablo 3. 1. Petrolün sınıflandırılması (Anonim, 2021)

	API	Rezervuar sıcaklık ve basıncında alışkanlık (mPaS)
Hafif	>31.1	-
Orta	20-31.1	<100
Ağır	10-20	100-1000
Tabii bitümen	<10	>10000

İşlenebilmesi, taşınabilmesi, rahat üretilebilir olması ile günümüzde dünya petrol talebinin % 90'ı hafif ve orta petrol ile karşılanmaktadır. Diğer taraftan dünya petrol kaynaklarının ancak % 25'ini hafif ve orta ağırlıkta petrol teşkil etmektedir. Ülkemizdeki petrol sahalarından yapılan üretimin yaklaşık %25'i ağır, %75'i ise ağırlık olarak orta olmak üzere küçük kısımda hafif petrollü sahalardan yapılmaktadır.

Ağır petrolün taşınması ve mevcut rafinerilerde hammadde olarak kullanılabilmesi için iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmasının yanında, ağır petrolün bulunduğu kaynakların ortaya çıkarılması ve geliştirilmeleri içinde ek maliyetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Enerji arz talep dengeleri, petrol fiyatlarındaki farklılıklar, yeni ve gelişmiş teknolojilerin ortaya çıkması ve hafif petrollü (gravitesi yüksek) sahaların giderek azalması, ağır petrollü sahaların geliştirilmesi ve işletilmesi çalışmalarına önem ve hız kazandırmaktadır.

Kuyunun üretim aşamasına kadar yapılan operasyonlarda rotary sondajına destek amacıyla kuyuya indirilen casing boruları ve bunları sabit tutabilmek hemde kuyu duvarlarının çökmesini engellemek vede analüs kaçaklarını engellemek, çamur kaçaklarını önlemede, kuyudan yüzeye kontrolsüz doğal gaz veya petrol akışını önlemede, kuyu dibini doldurmada, kuyunun terkedilmesinde ve artık üretmeyen perforasyonların kapatılmasında petrol kuyusu çimentolama operasyonu yapılır. Koruma boruları indirildikleri derinliğe kadar çimentolanır. Örnek olması amacıyla, Şekil 3.3'te farklı derinliklere indirilmiş koruma borusu ve çimentolama yapılmış bölgeler görsel olarak verilmiştir (Peker, 2007).



Şekil 3. 3. Sondaj çamuru operasyonu ve casing indirmeleri (Anonim, 2021)

Ülkemizde yüksek viskoziteli nano-Newton petrol (ağır petrol) yatakları oranı Newton petrollerine (hafif petrol) oranla çoktur. Nano-Newton petrollerinin üretimleri içeriğinde bulunan parafin, asfalt ve katran oranlarının yüksek olmasına dayalı problemler oluşturmaktadırlar. İçeriklerinde yüksek oranda bulunan 3 organik madde (paraffin, asphalt ve katan) ham petrolün yüzeye hareketi sürecinde ısı kayıplarına uğramaları neticesinde tijlerde, kuyu başı donanımlarında tıkanmalara neden olurlar ve de bu üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada ise petrolün içerisinde bulunan parafin-asfalt-katranın rezervden yüzeye doğru hareketleri sırasında soğumalarından kaynaklanan üretim borularındaki tıkaç problemlerinin giderilmesi için daha düşük maliyette, daha düşük kimyasal sarfiyatı, daha düşük enerji ile verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Petrol sahalarımızda nano-Newton petrollerinin üretiminde asfalt, parafin ve katran gibi organik maddelerin yüzeye doğru formasyonlardan kaynaklanan soğumaları neticesinde yaşanan problemler, jeotermal sahalarımızda da karşılaşılan formasyon geçişlerinden kaynaklanan ısı kayıpları problemleriyle aynı pencereden incelenebilir (Anonim, 2021).

4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sanayi ile kimyasal işleme tesisleri kompleks ve masraflı boru yalıtımları içerir. Birden fazla durumlar için kullanılmamakta olup bunlar bölgesel soğutma-ısıtma, su temini ile yangın koruma gibi uygulamalarda yer almaktadır. Bundan dolayı, boru sistemlerinde daha uygun yalıtım kullanımında fosil yakıt kullanımı sonucu istenmeyen emisyonların düşürülmesi ve enerji tasarrufunun sağlanması açısından oldukça önemlidir. Yalıtım malzemesi seçerken önemli olan parametreler ise şunlardır; yalıtım malzemesi için ısı iletkenlik, yalıtım malzemesinin maliyeti ile o bölgeye ait ortalama dış ortamın sıcaklığı önemsenmektedir. Isıtma için enerji tüketiminin düşük olması için yalıtım malzemesinde kalınlık artırılmaktadır (Çallı, 2016). Kalınlık artışı ile birlikte artan yalıtım maliyeti toplam yatırım maliyetini de etkilemektedir. Toplam yatırım maliyetinin küçültmek için optimum yalıtım kalınlığı dikkate alınmalıdır. Isı kayıplarını düşürmek için yapılacak en uygun seçim doğru yalıtım malzemesi tercih etmek ve optimum yalıtım kalınlığını belirlemektir. Boru sistemleri için yaygın olarak kullanılan uygulama, ısı transferini azaltmak ve izolasyon yüzey sıcaklığını öngörülen bir güvenlik sınırının altında tutmak için tek bir yalıtım malzemesi katmanını kullanmaktır (Çallı, 2016; Aziz, 1997; Petal, 1993).

Borular için yalıtım malzemesi ayırt edip kullanmak için ve uygun yalıtım kalınlığını tespit etmek adına bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Değişik yalıtım malzemeleri (kalsiyum silikat ve taş yünü) çift tabakalı yalıtılmış petrol borusu hattında termal yalıtım yapmak amacıyla ekonomik analiz yapılmıştır. Bunun için ise yalıtım başlangıç maliyeti ve yıllık enerji kaybını bulmak maksadıyla açık doğrusal olmayan maliyet fonksiyonu kullanılmıştır. Analiz yaparken kızgın buhar, furfural, ham petrol akışkanların aktığı boru hatları (nominal boyutları 100–273 mm) olacak şekilde istihdam edilmiştir (Zaki ve AlTurki 2000). Uzun dışındaki uygulamalarda konveksiyon ile radyasyon oluşması durumlarında boruların dış yüzey sıcaklığını azami yani maksimum olmasını sağlamak için yalıtım kalınlığı değişimi sıra ile analitik ile sayısal şekilde modellenmişlerdir. Böylelikle boru yüzeyindeki yalıtım kalınlığının değişimini beyan etmişlerdir (Şahin, 2004; Şahin, 2005). Sıcak su borulama sistemleri optimum tasarım boru çapı ile yalıtım kalınlığını optimize eden dört değişik termoekonomik yöntem geliştirmişlerdir. İlki ısı kaybı önemsenmeden toplam maliyetin en düşük hale indirilmesine yönelik boru çapının sıralı bir şekilde optimizasyonudur. İkinci ise termodinamiğin birinci kanunu ile maliyet dikkate alınarak borunun çapı ile yalıtım 3

kalınlığının aynı zamanda oluşan optimizasyonudur. Üçüncü ise maliyet önemsenmeden ekserji verimlilik maksimize dayalı yalıtım kalınlığı ile borunun çapı eş zamanlı olarak saptanmasıdır. Dördüncüsü ekserji verimliliğinin maksimizasyonuna ile maliyet durumunun ise minimizasyonun yönelik ve bunun temelinde boru çapı ile yalıtım kalınlığı eş zamanlı olarak saptanmasıdır. Dört değişik yöntemi aralarıyla karşılaştırmış ve en iyi veren yöntemin dördüncü yöntemdeki ekserji ve maliyet parametrelerinden oluşan metot olduğu bildirmişlerdir (Öztürk vd. 2006). eksergoekonomik analiz kullanarak 100 mm ile 1000 mm'lik sıcak su dağıtım borularının optimum yalıtım kalınlığını belirlemişlerdir. Bununla beraber yalıtım kalınlığı ve optimum boro çapı ile alakalı su sıcaklığının etkisi, yıllık işletme zamanı, kütleli debinin etkilerini araştırmıştır (Karabay, 2007). Klima kanalının (yuvarlak galvanizli çelik kanal 500 mm) camyünü ile kauçuk yalıtım malzemelerinden oluşmuş olan çift katmanlı yalıtım için termoeekonomik yöntem kullanarak optimum yalıtım kalınlığı bulunması üzerine çalışmalar yaparak araştırma yapmışlardır. İklimlendirme sistemin yıllık eşdeğer tam yük soğutma saati işletilmesi temel olarak hesaplamalar yapılmıştır. Optimum yalıtım kalınlıkla alakalı olarak kanalın hem içinde hem de dışında ısı transfer katsayısına etkisi üzerine araştırmışlar herhangi bir etkisinin bulunmadığını bildirmişlerdir. Bununla beraber ısı yalıtımı yakıt tüketimini düşürerek hem enerji tasarrufu sağlar hem de, yoğuşma, donma ve küf sıkıntılarını düşürerek yapıların ömrünü artırmaktadır (Soponpongpiat vd. 2010). Isı yalıtım malzemesi ve ısıtma kablosu ile donmaya soğuk yerlerde donmaya karşı su borularını koruma metotlarını analiz etmişlerdir. 20 mm ile 200 mm değerleri arasında farklılaşan değişik çaplardaki borular için optimum yalıtım kalınlığını kestirebilmek için türetilmiş basit bir cebirsel formülü bir formül ile termoeekonomik optimizasyon analizi gerçekleştirilmiştir. En iyi yalıtım kalınlığı olarak yalıtım malzemesinin maliyeti ve malzemenin termal iletkenliği ile ters orantı olduğu belirtmişlerdir (Li ve Chow, 2005).

5. MALZEME VE YÖNTEM

Dünyada enerji kaynaklarının azalması ve giderek yükselen nüfus miktarından dolayı Dünya büyük bir tehlike altına girmektedir. Bu çalışmada düşük sıcaklık potansiyelli jeotermal sahalarındaki sıcak suyun taşınmasında kullanılan borulardaki ısı kaybının azaltılması, özellikle yüksek sıcaklık gradyentine maruz bırakılan petrol üretim sahalarındaki ısı gerilmelerden kaynaklı tubing malzemelerde oluşan hasarları en aza indirilmesi ve buradaki enerji sarfiyatlarını minimize edilmesi amacıyla boru yalıtımı hedeflenmektedir. Ülkemizde yüksek miktarda perlit ve bor malzemeler kullanılarak dayanım, ısı, ses ve yangın yalıtımı yüksek olan yalıtım malzemelerinin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek maksadıyla bu projede birden fazla deneysel ve teorik araştırmalar yapılacaktır. Öncelikle boruların dış yüzey kaplama malzemesi için kullanılacak malzemeler ve agrega esaslı ürünler bunların geliştirme metotları araştırılacaktır. Tez çalışmaları 3 aşamada gerçekleştirilecektir. Bu aşamalar; yalıtım ürünlerin geliştirilmesinde ve hazırlanmasında kullanılacak olan malzemelerin ve özelliklerinin tespit edilmesi, üretilen numunelerin mekanik ve ısı özelliklerinin tespit etmek amacıyla testlerin yapılması ve Ansys fluent programı kullanılarak var olan üretim sahasının sistem modeli çıkarılacak üretilen izolasyon numuneleri ile farklı kalınlıklarda kaplanmış boruların ısı kayıplarının elde edilmesidir.

5.1 Yalıtım Malzemelerinin Üretimi ve Uygulanacak Testler

Bu kısımda yalıtım malzemesini üretmek için gerekli olan malzemelerin isimleri ve yalıtım malzemesinin üretim aşamaları anlatılmıştır.

5.1.1 Yalıtım malzemesinin üretiminde kullanılan malzemeler

Agregalar

Agregalar yalıtım malzemelerinin temel bileşenleridir. Bu yalıtım malzemeler perlit, lastik agregaları ve pomzalıdır (Oktay, 2017).

Dolgu (filler) malzemeleri

Filler olarak isimlendirilen agrega malzemeler 63 µm den daha ufak malzemeler olup yalıtım malzemelerinin rijitlik vb. birden daha fazla mekanik özelliğini artırmaya yönelik

olarak kullanılmıştır. Bu bölümde minerallerle ilgili bilgilerden bahsedilecektir (Oktay, 2017).

Mika

Yeryüzünde pullar ve yapraklar şeklinde bulunup ve çok önemli bir mineral olarak bilinen mikalar doğada magmatik kayalar içinde mevcut olarak bulunur ayrıca mikalar fillosilikatlar grubunda bulunan bir mineral türüdür (Harben, 1995).

Mikalar pulcuklar halinde ince levha biçiminde bulunduğundan dolayı tanınmaları kolaydır. Elastik yapıda olmalarından dolayı jipsten rahat bir şekilde ayrılır (Arguvanlı,1978).

Pul mika ise ince taneli olup değişik kayalardan zenginleştirme işleminden sonra oluşan mikayı ifade etmektedir. Pul mika çoğu kez hurda mika olarak değerlendirilirken kaolin zenginleştirilmesi ve şist pigment oluşan ürünü karakterize etmektedir (Seyrekbasan,2020).

Aşağıda şekilde pul mika ve Feldspat malzemeleri bulunmaktadır.



Şekil 5. 1. Feldspar ve pul mika

Feldspat

Susuz alümina silikat olan feldspatlar yer kabuğunun %60-65 arasında bir bölümünü oluşturur ve bu malzemeler sodyum kalsiyum baryum ve bazen de elementinin izomorf birleşiminden oluşur. Bu bahsettiğimiz mineraller magma kütlelerinde farklı şekillerde rastlanmaktadır bunun nedeni ise bu minerallerin soğuma sonu kristalleşme olayına maruz kalmakta bu da feldspat yataklarının oluşmasını sağlamaktadır.

Feldispatlar ülkemizde sıkça bulunup camın hammaddesini ve seramiğin temel ana yapısını oluşturan mineraldir.

Mohs sertlik değeri 6-6.5değerinde ve öz kütlesi ise 2.5-2.76 g /cm aralığında olup Sanayide kullanım alanı olarak plastik cam, boya ve plastik sanayisin de yaygın biçimde bu minerallerden yararlanılır (Kogel, 2006).

Bileşimlerine göre değişik isimleri olan feldispatlar vardır Sanayide tercih edilen feldispatlar ise sodyum ve potasyumlu feldispatlardır bunlar ortoklas, oligoklas, albit mikroklinindir (Demirbaş, 2010).

Kuvars

Kuvars minerali yaygın bir şekilde rastlanan ve birçok yerde tercih edilen bir mineraldir. Ayrıca toprakta da yoğun bir şekilde bulunur ve kimyasal ve fiziksel özelliklerinde ötürü jeolojik ve arkeolojiktde kullanılır. Bununla birlikte pizielektrik gibi özelliğinden dolayı elektrik sektöründe ve saatlerde kullanılır (Şağbanoğlu, 2012).

Kuvars yalıtımlı hafif bir malzemedir. Özellikleri ise fiziksel olarak renksiz, ince taneli yapıda ve açık beyaz renklidir. Empüriterlerinin oranları çeşitleri bulunduğu yere göre farklılık göstermektedir. Mohs skalasında ergime sıcaklığı 1785 °C, sertliği 7olmakla beraber özgül ağırlığı ise; 2.65 gr/cm³ tür. Doğal kuvars katı eriğik şeklinde bulunup ve Mg, Al, Li,, Ti, Na belli başlı elementleridir. Çok değişik renklerden oluşup genel itibariyle renksizdirler. Renkli yapıda olanlar sıvı, katı, gaz kapanımlarla oluşup bunlar H₂O, CaCO₃, CO₂, aktinot, hidrokarbon, rutil gibi minerallerdir. Kuvars minerali yalnızca hidroflorik asitte çözünmeye uğrar. Çünkü üfleçte erime gerçekleşmemektedir. Kuvars kumu iki cins olarak ikiye ayrılır. Bunlar kriptokristalen ve iri kristalli şeklindedir (Kumbasar, 1977; Çetinel ve ark., 1996; Kurşun ve İpekoğlu, 1995).

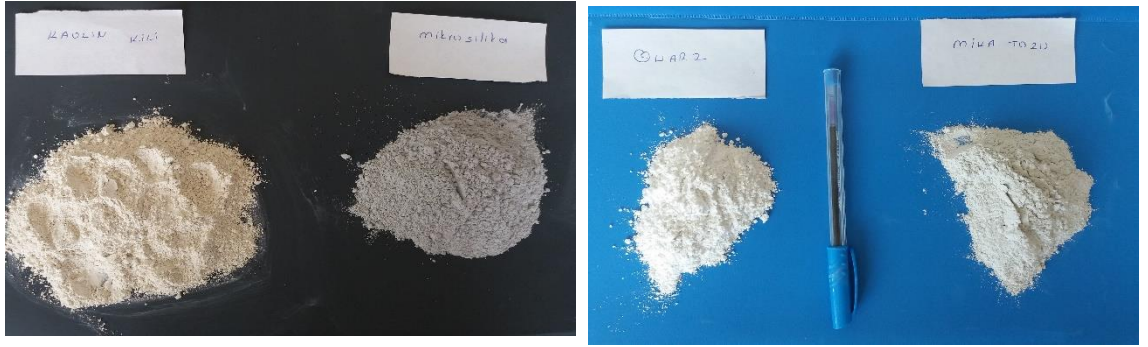
Mikrosilika (silis dumanı)

Silis dumanı çok ince taneli toz olup amorf bir yapıda ayrıca büyük oranda SiO₂ içermekte mükemmel puzolanik malzemedir. Silis dumanı düşük sıcaklıkta fırınların üst kısmında SiO gazı ile havayla temas halinde okside olup ve yoğunlaşarak bu silis dumanın yapısının büyük bir kısmını oluşturur. Buna silis tozu, mikrosilis gibi isimlerde verilir (Gürbüz, 2013).

Silis dumanı beton üretiminde de kullanılmaktadır ve betonda kullanılmasıyla beraber yoğun bir şekilde karışım suyuna gereksinim vardır. Bunun için yapılması

gereken şey su azaltıcı katkıları eklenerek kullanılmaktadır. Ayrıca silis dumanı çok ince taneli ve yapısından dolayı beton yüzeyinin düzeltilmesi zorlaşmakta çünkü terlemeyi azaltmaktadır (Topçu, 2006).

Silis dumanı ülkemizde Antalya Etibank Elektrometalürji Sanayi işletmelerinde temin edilmektedir. 1970 yılından önce pek önemsenmeyen ve ekonomik anlamda değer verilmeyen silis dumanı günümüzde beton üzerinde etkilerinin görülmesiyle kullanımı hızla artmıştır (Yıldırım, M.S, 2019)



Şekil 5. 2. Mika tozu, kuvars, kaolin kili ve mikro silika

Yapıştırıcılar (Bağlayıcı veya Matris)

Yapıştırıcılar yani matrisler kompozit malzemenin iskeletini oluşturmakla beraber fiber ile taneciklerin iki unsurunu birlikte tutma özelliği bulunmaktadır. Daha öncesinde bahsettiğimiz gibi yapıştırıcılar genel itibarı ile ikiye ayrılır. Bunlar organik ve inorganik yapıştırıcılardır. Bununla birlikte kompozit malzemeyi oluşturmadan hangi yapıştırıcıyı kullanacağımıza önceden karar verilmesi gerekmektedir. Bu çalışmadaki esas amacımız yanmazlığı hedeflememiz bunun için organik yapıştırıcılar değil inorganik yapıştırıcılar kullanılmıştır (Oktay, 2017).

Sodyum silikat

Günümüzde kimyasal enjeksiyonların hemen hemen tümünü sodyum silikat oluşturmaktadır (Karol, 2003).

Sodyum silikat Van Helmont tarafından alkali kimyasalını ve sıkayı karıştırarak sıvı olan sodyum silikatı ilk defa elde etmiştir. 1864 yılına kadar olan süre zarfında sodyum silikat sabun imalatının hammaddesi şeklinde kullanılmıştır (Demir, 2020).

Cam suyu olarak adlandırılan zayıf asit silikayı bünyesinde bulundurmakla beraber kimyasal bir yapıda olan cam suyu bazik karakterdedir. Sodyum silikatın elde edilmesi ise silika kumu ve herhangi bir formda olan Na_2CO_3 ve yüksek sıcaklıkta yaklaşık olarak 900°C de ısıtım işlemi uygulanarak elde edilir. Rafine işlemi uygulanmasıyla sıvı kıvamda akışkan biçiminde oluşup sonrasında su eklenerek istenilen konsantrasyon elde edilir (Tomaç, 2016).

Silikatlar çalışmamızda ana organik yapıştırıcı görevinde bulunup yalıtım malzemesinin kullanımı için önemli bir görevdedir. Çünkü sahip olduğu özellikler düşük ısıtım iletkenliği, yüksek yangın direnci bunun gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı tercih edilmektedir (Oktay, 2017). Çalışmamızda kullanılan sodyum silikatın özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5. 1. Sodyum silikatın özellikleri (Tomaç, 2016)

Özellikler	Sodyum Silikat
Görünüş	Bulanık kıvamlı, koyu) renkli sıvı
Ağırlıkça modül $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$,	3.17
Moleküler modül $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	3.27
Be (20°C)	41.6
Yoğunluk (20°C)	1.402
Na_2O %	9.01
SiO_2 %	28.07
Viskozite (20°C)	301

Kaolin

“Kaolin” Ca ve Na montmoryonit kaolinit minerali karakterize olabilen bir hammadde olup Endüstride kaolin “kalsine” edilmiş haliyle istatistiklerde kullanılır. Ayrıca yüksek yapıştırıcı aktivitesi olduğu için bağlayıcı olarak tercih edilir. kaolinin bir diğer önemli özelliği ise agrega yapılı yalıtım malzemelerinde düşük bozulma ile yüksek ateş direnci gibi özelliğinden ötürü kili çalışmada kullanılmıştır. (Samanta, 1994).

Kaolinin kullanım alanı oldukça geniş olmakla beraber seramik, boya, çimento, kağıt, plastik, kozmetik, cam elyaf, ilaç, tekstil ve izolasyon gibi geniş endüstriye sahiptir (Demir, 2020).

Dünyada en fazla kaolin yatakları Rusya, Amerika ve İngiltere gibi büyük ülkeler oluştururken Türkiye’de ise büyük çoğunluğu hidrotermal kökenlidir (Bosbıyık, 2020). Çalışmamızda yararlanılan kaolinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. 2. Kaolinin kimyasal bileşimleri (Demir, 2020)

Kimyasal Bileşik	Kaolin
Fe ₂ O ₃	0.35%
Al ₂ O ₃	38.2%
SiO ₂	46.6%
TiO ₂	1.42%
Na ₂ O	0.04%
MgO	0.58%
CaO	0.43%
L.O.I. (Kızdırma kaybı)	13.9%

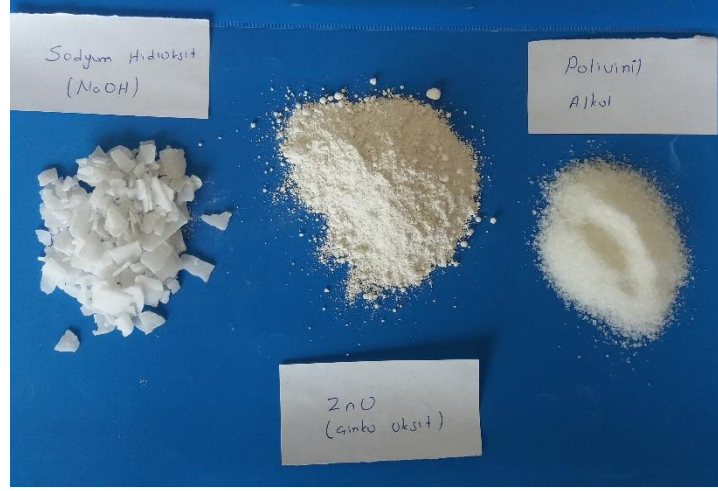
Sodyum hidroksit

Sodyum hidroksit inorganik bir bileşik olup diğer adı ise kostik soda yada sud kostik olarak bilinmektedir ve beyaz renktedir. Etanol metanol ve suyun içerisinde çözünmektedir. Sodyum hidroksit, genellikle tekstil, sabun, içme suyu, kağıt hamuru üretiminde kuvvetli kimyasal baz ile drenaj temizleyici olarak pek çok endüstride kullanılmaktadır. Ayrıca su ile ortalama %50 doymuş çözelti meydana getirir (Anonim, 2021).

Tablo 5. 3. Sodyum hidroksitin özellikleri (Anonim, 2021)

Kimyasal Formülü	NaOH
Ergime Noktası	323°C
Yoğunluk	2.13 g/cm ³ (20°C)
Molar Kütle	40.00/mol
Çözünürlük	1090g/l (20°C)
Buhar Basıncı	(20°C)
Ph Değeri	14(50g/l H ₂ O 20°C)

Daha öncede belirtildiği gibi endüstri kullanım alanı yüksek olup daha kimyasal endüstride deterjan, kâğıt, yapay ipek, sanayi gibi petrol rafinelerinde büyük oranda tercih edilir. Bu malzemenin kullanım amacı da yine diğer malzemelerde olduğu gibi agrega yapılı malzemelerde bağlayıcılık görevinde bulunduğundan dolayı kullanılmıştır (Lee ve Jackson, 1969).



Şekil 5. 3. Sodyum hidroksit, polivinil alkol ve çinko oksit

Polivinil alkol

Polivinil alkol bir polimer olup asetat grubunun hidrofil gruplarıyla değiştirilmesi ile oluşur. Ayrıca suda çözünebilen kokusuz bir maddedir. Saf halde bulunan sulu çözeltisi ise asidiktir. Erime noktaları $212\text{ }^{\circ}\text{C} - 267\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Etanolde az miktarda çözünür. Dünyanın büyük bir kısmında koruyucu kolloit biçiminde kullanılır. Yapıştırıcı üretiminde endüstri hatta tarımda da kullanılır. Tekstil sektöründe de kullanım alanına sahiptir. Bu malzemeyi çalışmamızda kullandık çünkü yüksek bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır (Anonim, 2021).

Polivinil alkolün kullanım alanı geniştir; göz tedavisi, yapay kıkırdak, kozmetik, lens, ilaç salınımı, hücre ve enzim immobilizasyonu gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Özaydın, 2019).

Sertleştiriciler

Bazık biçimde tepkimeye giren asit üre ile asitle reaksiyona uğrayan bileşiklere sertleştiriciler olarak belirlenmiştir. Alkali silikat silisyonları bunlar yalnızca yeterli olmayıp sertlik, iklim sıcaklık kararlılığı esneklik su gibi özellikleri tam

karşılamadığından alkaliye sayısız bir kilde eklemeler yapılmış olup metal silikat çözeltisi şeklinde geliştirilmeye çalışılmıştır. Sertleştiricilerin seçim tercihi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Çünkü asit gruplar silika bağlarına ciddi şekilde zarar vereceği belirlenmiş (Oktay, 2017).

Sodyum klorür

Beyaz renkte kristal yapıda bir bileşiktir. Sodyum klorür yemek tuzu olarak bilinir. Ticari anlamda önemli olduğu gibi canlılar ile insanların ihtiyacı olan önemli bir besin kaynağıdır. Dünyanın tüm yerinde bulunabilen sodyum klorür insanlar tarafından kullanıldığı için ticaret içinde önemli bir konumdadır. Ayrıca dericilikte kimya sanayisinde, hayvan besiciliğinde büyük oranda kullanılmıştır (Anonim,2021).

Çalışma esnasında yararlanılan sodyum klorürün özellikler

Tablo 5. 4. Sodyum klorürün özellikleri (Anonim, 2021)

Kimyasal Formülü	NaCl
Ergime Noktası	801°C
Kaynama Noktası	1461°C(1013hPa)
Yoğunluk	2.17 g/cm ³ (20 °C)
Buhar Basıncı	1.3 hPa (865 °C)
Ph Değeri	4.5(100g/l H ₂ O20 °C) 7.0
Molar Kütle	58.44g/mol
Çözünürlük	358g/l (20 °C)

Alüminyum hidroksit

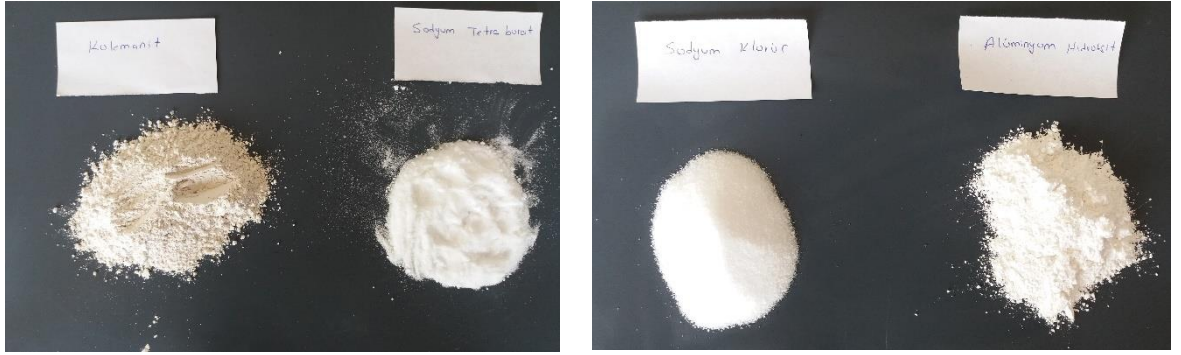
Yüksek saflık ve beyaz olan alüminyum hidroksit alümina çözeltisi ve Bayer prosesinden temin edilir. Halojen içermez yoğunluğu 2.42 g/cm³,tür (Kuşaklı, 2018).

Asidik ortamda [Al(H₂O)₆]³⁺ ve bazik ortamda ise [Al(OH)₄]⁻ biçiminde çözünerek iyonlaşır erime sıcaklığı 300 °C olup renk olarak beyaz olup amfoter özellikte katı bileşiktir (Baygöl, 2017).

Boya, kâğıt, cam, izolasyon, seramik petrokimya, yalıtım, deterjan, tekstil gibi endüstrilerde kullanılmaktadır. Polimerik malzemelerde İnce taneli biçiminde olanlar yanmayı geciktirici ve duman bastırıcı olarak kullanılmaktadır (Temiz, 2019).

Tablo 5. 5. Alüminyum hidroksitin özellikleri (Baygül, 2017)

Formül	$\text{Al}(\text{OH})_3$
Suda Çözünürlük	Çözünmez
Kimyasal Ağırlığı	Hidratealumina; Aluminyumtrihidrat
Mol Ağırlığı	78g/mol
Tanımı	Kokusuz beyaz toz



Şekil 5. 4. Sodyum klorür ve alüminyum hidroksit, kolemanit ve sodyum tetraborat

Kolemanit

Mineral açısından zengin bir bor çeşididir ve birçok sektörde kullanılmaktadır. Seramik ile cam sektöründe içinde bulunduğu malzemelerin dayanımını artırarak kullanım ömrünü artırmaktadır. Cam elyafı, metalürji, gübre, deterjan ve kozmetik sektörlerinde de sıklıkla tercih ediliyor (Anonim, 2021).

Kolemanit monoklinik kafes yapısında kristalleşme olayı bulunmaktadır. Yarı elmas ve renksizdir saydam yarı saydam olmakla beraber Yoğunluğu 2.42 gr/cm^3 tür. Ülkemizde Kırka, Bigadiç, Susurluk ve Emet’ bulunmaktadır (Kuşaklı, 2018).

Kolemanit bor bileşik içinde en fazla kullanım alanına sahiptir. Radyoaktif bir element olup killerin içinde cevher boşluklarında bulunur. Büyük parlak saydam kristal biçimindedir. Yapısında organik madde içeriği yoktur doku olarak ve minerolojik kısımlarına bakıldığı zaman saf bir mineral olarak bilinmektedir (Velioğlu ve Şimşek, 2003).

Tablo 5. 6. Kolemanitin kimyasal içeriği (Anonim, 2021)

İçerik	Kolemanit
Al ₂ O ₃	% 0.40 max.
CaO	% 27.00 ± 1
Na ₂ O	% 0.35 max.
SiO ₄	% 0.60 max.
As	35 ppm max.
Nem	% 1.00 max.
B ₂ O ₃	% 40.00 ±0.50
MgO	% 3.00 max.
SrO	% 1.50 max.
SiO ₂	% 4.00 - 6.50
Kızdırma Kaybı	% 24.60 max.
Fe ₂ O ₃	% 0.08 max.
Dökme Yoğunluk	1.00 max. ton/m ³

Borik Asit

Borik asit ile ortoborik asit olarak bilinmekler beraber kristal borik asit beyaz renktedir. Kristal yapı olarak ise triklinik şeklinde ve dört molekül H₃BO₃ bulundurur (Çolak, 2020).

Son derece zayıf asit olan borik asit borik asit çözeltilerinin Ph değerindeki 90°C’ de değişiklik göstermektedir konsantre borik asit çeşitleri ise asetik gücü için asetik asete yaklaşmaktadır (Yakut, 2015).

Borik Asit, kokusuz suda çözünen beyaz kristaller biçiminde olup koku giderici havada kararlı ve böcek ilacı olarak kullanılır. Borik asit çözeltilerde bulunmakla beraber mineral biçiminde bulunur. Türkiye de borik asit kolemanitten üretilmektedir (Anonim, 2021). Çalışmada yararlanılan borik asitin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. 7. Borik asitin özellikleri (Anonim, 2021)

Formülü	H ₃ BO ₃
Mol Ağırlığı	61.83 g/mol
Kimyasal Adı	Hidrojen borat
Tanım	Beyaz kristaller
SO ₄	325 ppm
Erime sıcaklığı	170.9 °C
Kaynama sıcaklığı	213.5 °C
B ₂ O ₃	%56.32
Dökme Yoğunluk	780-815 kg/m ³
Yoğunluk	1435 g/cm ³
Saflık	%100.04

Çinko oksit

Çinko oksit doğada zencite yani doğal çinko oksit mineralidir. Kırmızımsı sarı bir renge sahiptir çünkü mangan ve diğer elementleri yapısında bulundurur. Saf halde ise renksizdir fakat 300 °C de ise sarı rengine dönüşür. Her sıcaklık değişimlerinde farklı renklere döşür kırmızı sarı kahverengi yeşil gibi. Bu renk değişimlerinin nedeni çinko oksitin kristalindeki boşluklardan kaynaklanmaktadır. Kristaldeki boşluklar %0,02-0,03 oranındadır (Kasapoğlu, 2014).

Çinko oksit bir inorganik bileşik olup formülü ZnO dur. Çinko oksit beyaz bir toz olup suda çözünmez. Genellikle seramik, cam, boyalar, yapıştırıcılar, pigmentler, yangın geciktiriciler olarak kullanılır. Mineral çinko oksit doğal biçimde ortaya çıkar Birçok çinko oksit sentetik olarak üretilir (Altuntaş, 2019).

Tablo 5. 8. Çinko oksitin özellikleri (Kasapoğlu, 2014)

Kimyasal Formülü	ZnO
Koku	Kokusuz
Molar Kütle	81.408g/mol
Yoğunluk	5.606 g/cm ³ (20°C)
Sudaki Çözünürlük	Çözünmez
Kaynama Noktası	1975°C (ayırışma)

Magnezyum karbonat

Magnezyum kaynağı olarak dolomonit veya manyezit olarak kullanılıp ve birden çok alanda tercih edilir. Sanayide, kozmetiklerde, camda katkı maddesi biçiminde, kauçuklarda, ısı izolasyonunda, mürekkeplerde ve gıdalarda kullanılır. Ayrıca mide ve bağırsak gibi hastalıklarda ülser tedavisinde kullanılır (Anonim, 2021).

Çalışmada yararlanılan magnezyum karbonatın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 5. 9. Magnezyum karbonat için özellikler (Anonim, 2021)

Formülü	MgCO ₃
Tanımı olarak ifadesi	Suda çözünmeyen, hafif beyaz toz
HCl çözünmeyen	>%0.01
Demir	>%0.03
MgO	>%41-45
Klor	>%0.15
Mangan	>%0.004
Yoğunluk	3g/l
Refraktif İndeks	1.52
CaO	>%0.45
Sülfat	>%0.15

CO₂ gazı

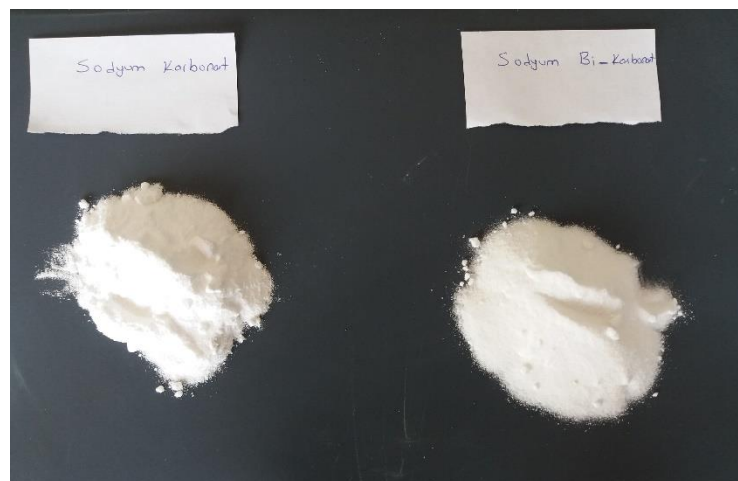
Renksiz kokusuz özelliğe sahip ve atmosfer basıncında sıvı duruma geçen ekşimsi bir tadı olan ve birden fazla özelliği bulunduğundan birçok kullanım alanında tercih edilen bir gazdır. Normal şartlarda havadan ağırdır. Ama atmosferik basınçta hal değişimine uğrayarak katı hale geçmektedir. Asidik olup suda çözünbilmektedir. Atmosferdeki oranı % 0,03 den az, Hacimsel genleşme oranı olarak 629, Simgesi CO₂, kaynama noktası -78 °C, molekül ağırlığı 44.009 g/mol gibi özellikleri vardır. Ayrıca asit düzenleyici olarak maden sodası, şarap meşrubat gibi gazlı içeceklerde kullanılır. Bununla birlikte yangın söndürmek içinde karbondioksit gazından faydalanılır. (Anonim, 2021).

Sodyum karbonat

Sodyum karbonat halk dilinde çamaşır sodası olarak bilinen bir inorganik bileşiktir. Sodyum karbonat sodyum açısından verimli göl sularından çıkarıldığı gibi sodyum açısından zengin toraklarda yetiştirilmekte olan bitki küllerinden temin edilir. Sodyum karbonatın kullanım alanı olarak en fazla cam, sabun, kâğıt suni ipek ve deterjan üretiminde kullanılır (Anonim, 2021). Çalışmada yararlandığımız sodyum karbonatın özellikleri Tablo 5.10' da verilmiştir.

Tablo 5. 10. Sodyum karbonatın özellikleri (Anonim, 2017)

Kimyasal Formülü	Na_2CO_3
Ergime Noktası	854°C
Yoğunluk	02.53 g/cm ³ (20°C)
Molar Kütle	105.99g/mol
Çözünürlük	220g/l (20°C)
Kaynama Sıcaklığı	1600°C (ayrışma)
Ph	11.5 (50g/l H ₂ O 20°C)



Şekil 5. 5. Sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat

Sodyum bikarbonat

Suda çözünebilen ve kimyasal formülü ise NaHCO_3 şeklinde ifade edilip ve antiasit özellikte olan bir bileşiktir. Sodyum karbonat daha çok kabartma tozu olarak kullanılır.

Kabartma tozunun hemen hemen %50 sini oluşturur. Sodyum karbonat kullanım alanları ise temizlik preparatlarında ilaç maden cevheri yangın söndürücüler de baca gazı muamelesi, endüstriyel de tercih edilir. (Anonim, 2021).

Tablo 5. 11. Kullandığımız malzemelerin işlevleri kullanım amaçları

Katkı maddeleri	Yalıtım malzemesindeki görevi	Kompozit yapı için yararları
Mika	Mineral	Köpük stabilizesini artırır.
Feldispat	Mineral	Yüksek sıcaklıkta bulunan yükleme durumunda mekanik özelliklerini artırır.
Kuvars	Mineral	Malzeme stabilizini artırır.
Sodyum klorür	Kürleyici	Sıcaklı yüksek olduğunda erimeyi önler.
Silis dumanı	Mineral	Dayanımı artırma özelliğine sahiptir.
Çinko oksit	Kürleyici	Yüksek sıcaklıklarda su direncini artırarak dayanımı artırır.
Kil kaolin	Yapıştırıcı	Şekillendirilmiş kompozitlerin nem bozulma dirençlerini artırır.
Sodyum silikat	Yapıştırıcı	Yanmaz inorganik yapıştırıcıdır. Agrega malzemeleri bir arada tutar.
Sodyum bikarbonat ve sodyum karbonat	Yüzey aktifleştirici	- Jel-zamanı ve son karışımın kalıp ömrünü etkileyerek reaksiyon ürününün stabilizesini olumlu bir şekilde artırır
Sodyum hidroksit	Yapıştırıcı	-Yüksek sıcaklıklarda güçlü bağlayıcılık sağlar - Reaksiyonun oda sıcaklığının altında gerçekleşmesini sağlar
Borik asit	Kürleyici	Güçlendirici ajan

		-Kimyasalların toplam parlama noktasını azaltarak çekirdek kompozitin yanmazlık derecesini artırır
Kolemanit	Kürleyici	Sodyum silikatın silis içeriğinin stabilizesini artırır.
Magnezyum karbonat	Kürleyici	Vizkoziteyi artırır. alev geciktirici özelliği vardır ve su itici etki yapar.
Alüminyum hidroksit	Kürleyici	Yangın önleyici ajan
CO ₂	Kürleyici	Sertleştirici ajan
Polivinil alkol	Yapıştırıcı	Akustik performansın artmasını sağlar.

5.1.2 Yalıtım malzemesinin üretim aşamaları

Bu kısımda kaplama malzemeleri için numunelerin üretimi hedeflenmekte burada Sertleştirici malzemesinin ve dolgu ile ilgili malzemelerin kullanılabilecek yüzde oranlarının belirlenmesi ve numunelerin hazırlanması için gerekli olan bilgi detaylı şekilde anlatılmıştır.

Sonrasında ise malzemeler miktar olarak belirlendikten sonra laboratuvarda hazırlanmıştır. Büyük bir kapta bir araya getirilen malzemeler dolgu ve tüm agrega malzemeleridir.

Burada en çok dikkat edilecek bir kısım ise karışım hazırlanırken karışımı oluşturan bileşenler kimyasal ile fiziksel olarak tepkimeye girerek kristalize olmaya başlamadan önce kalıba dökme ve sıkıştırma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Çünkü burada zamana karşı bir yarış başlayacaktır Bunun önüne geçmek için karışımında kullanılacak sertleştirici, bağlayıcı ve dolgu katkı maddelerinin miktarları belirlenir



Şekil 5. 6. Silikat bağlayıcıların su ile karıştırılması

- Şekil de görüldüğü gibi toplam suyun üçte biri ile bağlayıcılar manyetik karıştırıcıda karıştırılır.
- Sonrasında ise öteki manyetik karıştırıcıda sertleştirici malzeme kalan suyla beraber karıştırılır.

İlk olarak kuru malzeme ve bağlayıcı-su solüsyonu yavaş biçimde dikkatli olarak 3-5 dk karıştırılır sonrasında ise homojen karışım haline getirilen su çözeltisi ve sertleştirici eklenerek 2-3 dk arası homojen haline gelen bir karışım oluncaya kadar karıştırılır. Yalnız bu kısımda dikkat edilmesi gereken durum ise karışım esnasında perlit parçacıklarının karılmaya maruz kalmasıdır. Çünkü bu durum oluşursa karışımın yalıtım özelliğini kaybeder. Bir yandan da karışımın içine bazı malzemeler yani silikon, akışkanlaştırıcı (dispersant, çinko oksit (ZnO), gibi malzemeler de eklenecekse o zaman bu malzemelerin bağlayıcı ile karıştırılması gerekmektedir.



Şekil 5. 7. Karışımların kalıplara doldurulması

Malzeme ilk olarak ıslak taneli parçacıklar biçiminde görünecektir. Kalıplar ise birbirine monteli olanlar tercih edilmiştir. Çünkü numunelerin kalıba yapışmaması ve daha rahat biçimde çıkabilmesi için bu dikkate alınmıştır. Bunun dışında yapışma olayı gerçekleşmemesi için kalıplar kaplanarak bu durumun önüne geçilmeye çalışılmıştır. 30×8×2.5 cm'lik ve 10×10×10 cm bu boyutta bulunan ve öncesinde yağlanıp kullanılabilir hale getirilen kalıplarımıza numuneleri darası hesaplanmış hassas terazi üzerine döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Karışımların daha doğru şekilde dolmasını gerçekleştirmek için karışımları ikişer tabaka biçiminde dökülür. Daha sonra 3-5 sn arası sarsma tablasında vibrasyon işlemi yapılmıştır. 5 farklı karışım oluşturularak biz numunelerimizi üretirken bir karışım numunesi için üç tane basma dayanım üç tane eğme dayanım bir tane ısıl özellik testi için bir tane rötre (şekil değişimi) testi için her bir karışım için sekiz toplamda 40 farklı yalıtım numunesi üretildi



Şekil 5. 8. Karışımların kalıplarda şekillendirilmesi



Şekil 5. 9. Karbondioksit Gazı ile sertleştirme

Bu kısımda numuneler $22\pm 3^{\circ}\text{C}$ oda sıcaklığında kalıplara boşaltılan numuneler 12-14 saat arası dinlenilmesi için bırakılır. Sonrasında 2-3 saat arası 50°C üzerinde bulunan etüve kalıplaralar beraber konular daha sonra ise kalıplardan çıkarılmıştır.

Sonrasında numuneler kalıplardan çıkarılarak su seviyesinin % 10'un altına indirilerek tercih olarak 76.7 °C (74 ila 105 °C) ayrıca bağıl nem olarak ise % 40 veya % 60 değerleri arasında kurutma işlemi yapılır.



Şekil 5. 10. Numunlerin kalıptan çıkarılması



Şekil 5.11. Etüvde kurutulma ve kürlenme

Kurutmada mükim olan nokta basınç olarak 1 atm sıcaklık olarak ise 99 °C altında işlemin yapılmasıdır. Çünkü suyun 99 °C nin üstüne çıktığı zaman su hal değişimine uğrar ve bu aşama gerçekleşirse su kaynadığından dolayı numune iskeletine zarar verecektir.



Şekil 5. 12. Üretilen numunelerin bir kısmı

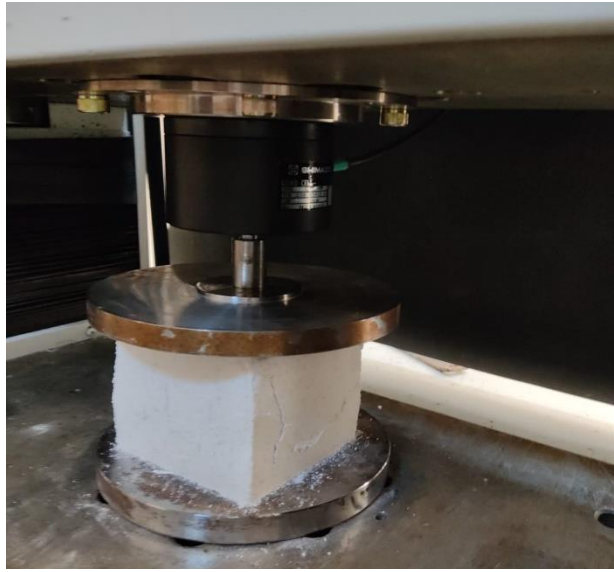
Yukarıda bahsettiğimiz parametrelerin yanı sıra en önemli parametre kürlenme safhasıdır. Çünkü bu safhada perlit yapılı malzemelerimizi üstün mekanik özelliklere sahip olması bu aşamada kazandırılır. Yapılan bu işlem numune için yüksek dayanma gücü yüksek stabilize durumuna ulaşmak maksadıyla yapılmakta olup yüksek kürlenme sıcaklığı dayanaklı malzemelerin oluşmasına düşük kürlenme durumunda ise malzemenin sıcaklığa hafif yalıtımlı bir hale getirmektedir. Ayrıca kürlenme sıcaklığı perlit yapılı malzeme üretimi için kullanılan malzemelerin cins ve özellik yapılarına bağlı olarak değişir ve bu durum kısıtlayıcı haller oluşturmaktadır.

5.2. Yalıtım Malzemelerine Uygulanan Testler

Yalıtım malzemelerine uygulanan testler kısmında mekanik malzeme karakterizasyon ve ısı olarak üçe ayrılmaktadır. Mekanik testler; boyut küçülme miktarı tayini (rötre), yanmazlık-tutuşmazlık testi; üç nokta eğme (MOR) tayini; tek eksenli basma dayanım tayini ve rötre (şekil değiştirme) testlerinden oluşturmaktadır. Isıl testler ise; ısıl yayılım, özgül ısı ve ısıl iletkenlik testlerinden oluşturmaktadır.

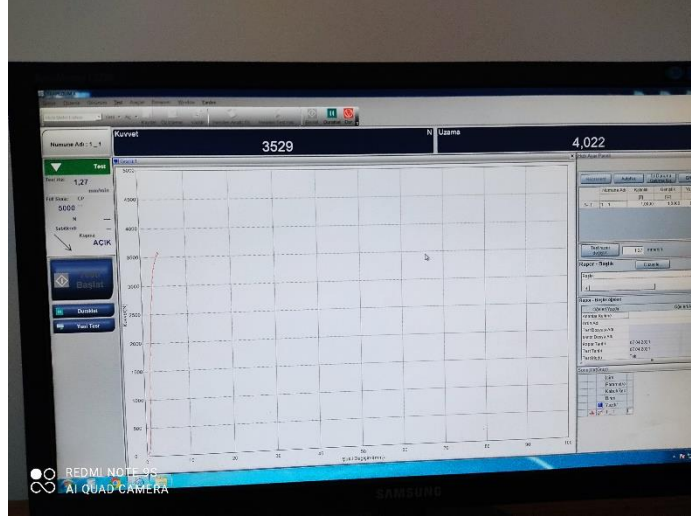
5.2.1. Tek eksenli k p basınç dayanım testi

En yüksek gerilim olarak tanımlanır yapı malzemesinin taşıyacağı en yüksek gerilimdir. Basınç dayanım deneyi çok önemli bir özelliktir.        bu deney pratik bir deney olup yapı sektöründe kullanılacak malzemeyi belirleyebilmek ve kalite kontrol açısından önemlidir. Her seri için 10 10 10 cm boyutlarında üç tane küp numune bu deneye tabi tutulmuştur. K p basınç deneylerinde kullanılan  niversal test cihazı 250 kN kapasiteli cihaz tercih edilmişt r.



Şekil 5. 13. Tek eksenli basma testine maruz kalmış numunenin görüntüsü

Yükleme hızı 1.27 mm/dk seçilerek Cihaza numunenin boyutları girilip, yükleme hızı belirlendikten sonra deneyi başlatarak numune kırıldığı esnada ulaşılan en yüksek uzama ve y k belirlenerek MPa ve kN cinsinden bilgisayarda bu değerler okutulmuştur. Bu kısımda dikkate alınması gereken nokta ise deformasyon yani uzama miktarının % 5'i (100 mm'de 5 mm yi aşmaması gerekmektedir (ASTM C165 (2012) standardı). Deney testin bitiminde ulaşılan verilerle her seriye ilişkin bütün verilerin ortalaması dikkate alınarak deney sonuçlanmıştır.



Şekil 5. 14. Basma dayanım testi grafiği

5.2.2.Üç nokta eğme dayanım testi (kopma modülü testi)

Bu kısımda da 3 tane numune ve her seriyle ilgili 30×8×2.5 cm boyutlarında olup bu deneye tabi tutulmuştur. ASTM C 203 (1999) standartları dikkate alınmıştır. Bilgisayara yazılacak yükleme hızı ise

$$H = ZL^2/6d \quad (5.1)$$

L = destek aralığı, mm

Z = dış fiberin gerilme oranı, mm/mm. Z, 0.01'e eşit olacaktır.

H = yükleme hızı, mm/dakika

d = kiriş derinliği, mm

Burada yükleme hızı numunenin boyutu dikkate alınıp 4.71 mm/dk olarak belirlenmiştir. Cihaza numune boyutlarının değerleri girilerek yükleme hızı belirlendikten sonra testi oynatarak numunelerin ayrılma esnasında vardığı en yüksek değer olarak uzama (mm) ve (N) bilgisayardan belirlenmiştir. Buna bağlı olarak ulaşılan yüklere göre eğme dayanımının tespiti için aşağıdaki formüller hesaplanmıştır.

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \quad (5.2)$$

d = test edilen kiriş derinliği, mm

σ_f = dış fiberlerde oluşan gerilme, MPa

L = test edilen destek aralığı, mm

b = test edilen kiriş genişliği, mm

P = yük, N

Testin sonuçlanması için Her serinin tüm değerlerinin ortalanması alındı.

5.2.3.Kuru yığmsal yoğunluk testi

ASTM C303 (2016)'de bu standart göz önünde bulundurularak ve serilere ait 10×10×10 cm boyutların olan ve 3 tane küp numunede bulunan nem miktarı %1'in aşığına indiğinde 0,01 gram hassasiyet ile ölçölür. Kumpasla numune boyutları birkaç defa 0.1 mm hassasiyetle ölçüm yapılarak ortalama değerler ulaşılıp bu değerler dikkate alınıp numune hacmi (V) bulunur. Sonrasında numunelerin ortalaması bulunup aşığıdaki hesaplama yapılır.

$$\rho_k = \frac{M_k}{V} \quad (5.3)$$

5.2.4. Boyut küçölme miktarı ölçölümü testi (rötre testi)

Bu kısımda boyuta önem verilir boyutun sabit kalması öncelikle önem farz eder. Boyut değışimi řu durumlarda gerçekleşir malzemedan kaynaklı boyut değışimi veya farklı sıcaklıklarda genleşmeden kaynaklı boyut değışimi gerçekleşmektedir. Zamana bağılı olarak levhalarında boyutlarında gerçekleşen değışime rötre ismi verilir. Başlarda hızlı olup sonrasında yavaşlayıp en sondada durur. Toplam rötre bazı durumlarda değışiklik göstermektedir. Bunlar öz kütle ve üretim şekline göre değışim göstermektedir. ASTM C 356 (2017) ve ASTM C610 (2017) dikkate alınarak 1000 °C'lik etöv fırınının da 3'er numunenin rötreleri için test yapılmıştır. Ortalama değerlerini bulmak için numune boyutları 0.1 mm hassasiyet ile kumpasla ölçölümüştür. Numuneler 650 °C

sıcaklıkta ve tam olarak bir gün bekletilip bu seferde son boyutların ölçmek için numuneler etüvden çıkarılıp kumpas kullanılarak ve birkaç defa 0.1 mm hassasiyetle tekrar ölçüldü. Buna bağlı olarak aşağıda bulunan hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 5. 15. Rötire testi için kullanılan fırın

$$R = \left[(L_1 - L_2) / L_1 \right] \times 100 \quad (5.4)$$

L_1 = Isıya maruz kalmadan önceki numune boyutları, mm

R = Rötire değişimi, %

L_2 = Isıya maruz kaldıktan sonraki numune boyutları, mm

5.2.5. Isıl İletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı testi

Tercih edilen $10 \times 10 \times 10$ cm edatında bulunan etüv kurusu numune de ses hızı hesabı için yine aynı işlemle yapıldı. TS EN 12667 (2003), bu standartta göre testler yapılmıştır. Bu deneyde ve yalıtım numunesinin ısı yayılımı, ısı yayılımı ve ısınma ısınısını ölçümünü yapmak için ISOMET 2104 cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz katı ile sıvı halde bulunan maddelerin ısı özelliklerini ölçer. $0.04 - 0.1$ W/mK değerleri arasında ölçüm yapan prob tercih edilerek katıların ısı özelliğinin ölçümü bu şekilde yapılmıştır. Bununla beraber testin sonucuna varmak için her numunenin 5 ayrı yerinden ısı özelliği belirlenip ortalamaları alınmıştır.

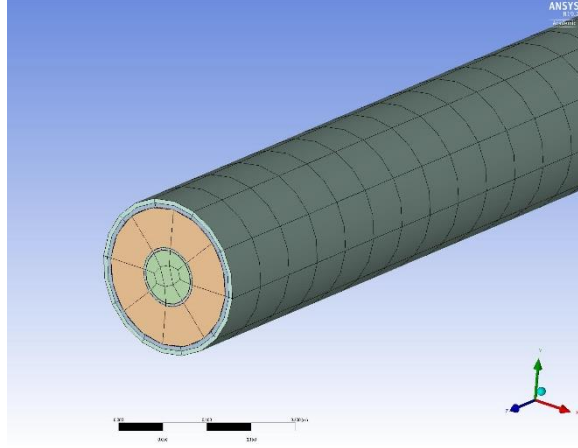


Şekil 5. 16. Isıl özellikler tesbit cihazı

5.3. Petrol Borularındaki Isı Transferinin Modellenmesi

Bir ürünün tasarımı yapılırken işletme koşullarındaki performansını test etmek, mevcut koşulları iyileştirmek ve ideal sonuçlara ulaşmak amacıyla analizler yapılır. Katı modeller oluşturmak ve analizler yapmak amacıyla Solidworks, Catia ve Ansys gibi bilgisayar programları kullanılmaktadır. Çalışmamıza esas olarak sonlu eleman temelli yazılım olan Ansys-Fluent yazılımı kullanılacaktır. Ansys ile katı modeller gibi akışkan içeren tüm mühendislik alanları üzerinde çalışmalar ve analizler yapılabilmektedir. Ansys-Fluent programı ile sıvı, gaz ve yarı akışkan haldeki maddelerin simülasyon ve analizleri yapılabilir. Bu proje kapsamında Ansys fluent programı kullanılarak var olan üretim sahasının sistem modeli çıkarılarak sahada ölçülen petrol-çimento özgül değerleri programa girdi olarak verilerek modelin gerçek verilerle uygunluğu tespit edilecektir.

Çalışmamızda öncelikle var olan petrol kuyuları için katı model Ansys Workbench 19.1 programı içerisinde yer alan Geometry kısmında sistem oluşturulacaktır. Geometri oluşturulduktan sonra sayısal ağ yapısı oluşturmak amacıyla Mesh kısmına geçilir. Mesh kısmında akışkanların giriş ve çıkış bölgeleri, duvar yüzeyleri ve akışkan bölgeleri tanımlanır. İlk olarak yalıtım olmayan sistem için örnek ağ yapısı Şekil 5.17’ de verilmiştir.



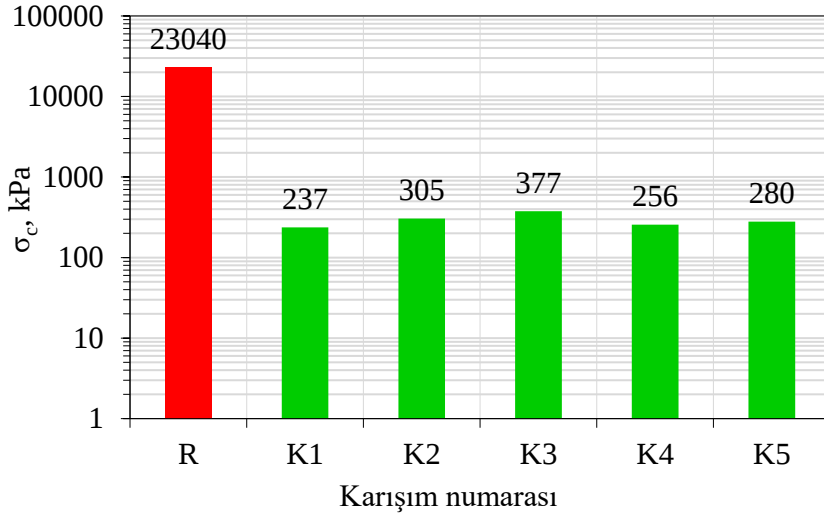
Şekil 5. 17. Petrol kuyusu boruların mesh görünümü

Mesh işlemi bitirildikten sonra analitik çözüm hesaplamaları için yapılması gereken ayarlar yapılacaktır. Gerekli malzeme özellikleri girilerek, sınır şartları (boundary conditions) olarak analizde kullanılan akışkanların girişlerin hızları (velocity inlet), ve sıcaklıkları (temperature), çıkışta ise normal giriş basınçları (pressure inlet) olarak girdi yapılacaktır. Sınır şartları girildikten sonra çözüm için ilgili menülerden başlangıç değerleri seçilir. Daha sonra iterasyon için değerler seçilir ve başlatılır. Çözüm yakınsama işlemi tamamlandıktan sonra sonuçlar, Workbench ara yüzünde sonuç (Results) menüsünden alınır. Aynı işlemler yalıtım yapılan sisteme eklendiğinde tekrar yapılır.

6.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1 Üretilen Yalıtım Malzemelerinin Özellik Test Sonuçları

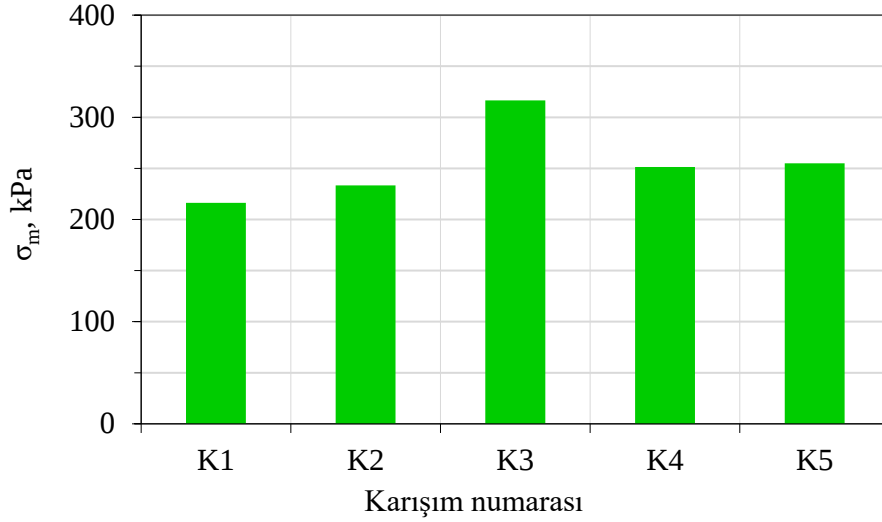
Çalışmada üretimi yaptığımız numunelerin mekanik ve ısı testleri tayin edilmiş olup bu özellikler mevcut petrol kuyularında çimentolama malzemesi olarak kullanılan G tipi betonun özellikleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Mevcut kullanılan G tipi betonun mekanik ve ısı özellikleri literatürden temin edilmiştir. (Won ve diğ., 2015, ve Li ve diğ. 2017). Genel olarak, perlit yapılı yalıtım malzemelerinde basınç dayanımı; yoğunluk, sıkıştırma oranı, kullanılan perlitin birim hacimde gevşek ağırlığı, karışımda kullanılan su miktarı, yapıştırıcının cinsi ve miktarı, kürleme zaman olarak süresi ve sıcaklığı ve diğer katkıların kullanılma miktarı gibi parametreler den etkilenmektedir.



Şekil 6. 1. Üretilen yalıtım malzemelerin basınç dayanımı değerleri

Şekil 6.1 de görüldüğü gibi en büyük basınç dayanımı R numunesinde 23040 kPa olduğu, en düşük basınç dayanımı K1 numunesinde 237.28 kPa olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanım grafiği dikkate alındığında, K1 numunesinin basınç değeri referans numunesine göre % 98.97 azalma olduğu, K2 numunesinin referans numunesine göre basınç dayanım değeri %98.67 azalma olduğu, K3 numunesinin basınç dayanım değeri referans numunesine göre %98.37 azalma olduğu, K4 numunesinin basınç değeri ise referans numunesine göre %98.88 oranında azalma olduğu ve K5 numunesi ise referans numunesine göre %98.78 azalma olduğu görülmüştür. Şekil 6.1 de görüldüğü gibi üretilen yalıtım malzemeleri içerisinde en büyük basınç dayanımı K3 numunesinde 376.81 kPa olduğu, en düşük basınç dayanımı K1 numunesinde 237.28 kPa olduğu tespit

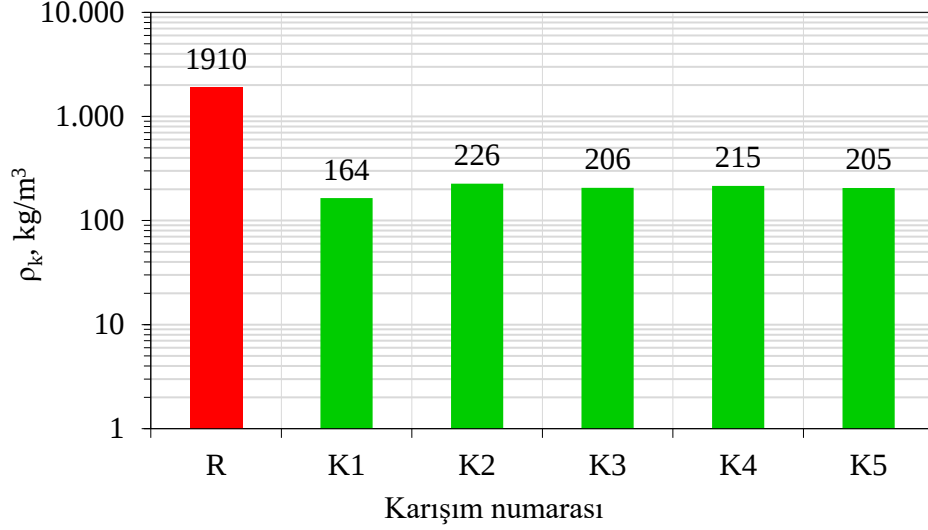
edilmiştir. Yalıtım numunelerinin kendi aralarında karşılaştırması yapıldığında; K2 numunesinin basınç değeri K1 numunesine göre %28.53 artış sağladığı, K3 numunesinin K1 numunesine göre basınç dayanım değeri %58.80 artış sağladığı, K4 numunesinin basınç dayanım değeri K1 numunesine göre %8.01 artış sağladığı ve K5 numunesinin basınç değeri ise K1 numunesine göre %17.8 oranında artış sağladığı görülmüştür.



Şekil 6. 2. Üretilen yalıtım malzemelerin üç nokta eğme dayanımı değerleri

Test edilen üç nokta eğme dayanım değerleri incelendiğinde, en yüksek eğme dayanım değeri 316.56 kPa olup en düşük eğme dayanım değeri ise 216.34 kPa olduğu görülmüştür. K2, K3, K4 ve K5 numunelerinin eğme dayanım değerleri K1 numunesine göre sırasıyla %7.89, %46.32, %16.19, %17.85 artmış olduğu görülmüştür. Hem basınç dayanımı hem de eğme dayanımı değerleri incelendiğinde bir yalıtım malzemesinin yüksek dayanım değerlerine sahip olabilmesi için en önemli etkenler aşağıda özetlenmiştir:

- Sıkıştırma oranlarının artması ve yoğunluğun artması
- Karışımındaki yapıştırıcı oranının artması
- Karşıma giren maddelerin etkisi ile bağ yapılarının kuvvetlenmesi, katkıları sertleştirici malzeme bunlar bağları kuvvetlendirir.
- Dayanımı arttırmada kürlenme ve kurutma süre ve sıcaklıkların etkisi büyüktür. Çalışmamızda optimum kürlenme ve kurutma süre ve sıcaklıkları tespit edilmiş olup her numuneye aynı şartlarda uygulanmıştır.

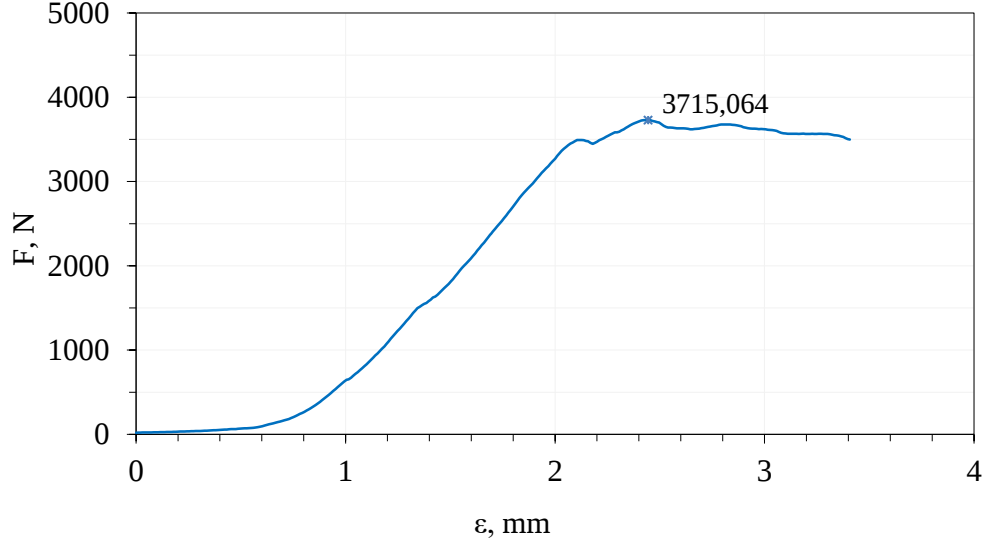


Şekil 6. 3. Üretilen yalıtım malzemelerin yoğunluk değerleri

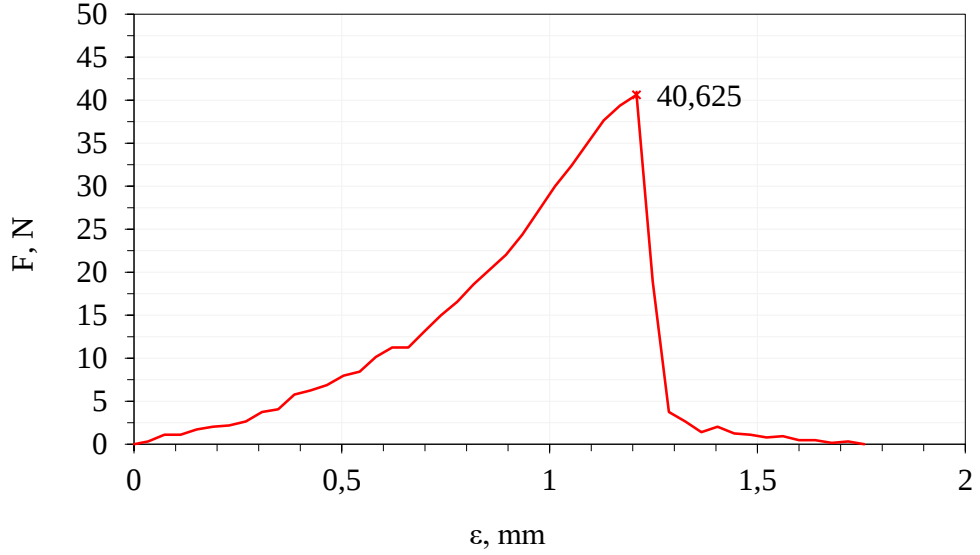
Şekil 6.3 incelendiğinde yoğunluk değerleri 164.21 kg/m^3 ile 1910 kg/m^3 arasında değiştiği görülmüştür. Yoğunluk azalışı K1 numunesi için referans numunesine göre %91.40 azalma gerçekleşmiştir. K2, K3, K4 ve K5 numuneleri için ise referans numunesine göre sırasıyla %88.17, %89.22, %88.74 ve %89.25 oranında azalma görülmüştür. Yalıtım numunelerinin kendi aralarında karşılaştırması yapıldığında; yoğunluk artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %37.53 artış sağlamış ve K3, K4 ve K5 numuneleri K1 numunesine göre sırasıyla %25.33, %30.88 ve %25.01 artış sağladığı tespit edilmiştir. K2, K3, K4 ve K5 numunelerinin yoğunluk değerlerinin K1 numunesine daha yüksek olmasının en önemli nedenlerinden biri sıkıştırma oranıdır. Sıkıştırma oranlarının yüksek tutulmasının nedeni ise diğer karışıma yeni bir malzeme eklenmesi durumunda bu malzemenin genişletilmiş perlitten yer değiştirmesidir. Malzemelerin istenilen mekanik özelliklere sahip olabilmesi için karışımdaki perlit hacminin düştüğü durumlarda, üretilecek yeni karışımların sıkıştırma oranları K1 numunesine göre %10 ila %30 değerleri arasında artırılmaktadır. Çalışmamızda sıkıştırma oranı artırımını %12 olarak belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının üretilen malzemelerin özelliklerinin değişiminde çok büyük etkisi olduğundan ve bu oranın etkisinden bağımsız bir karşılaştırma yapılması istendiğinden tüm üretilen malzemelerde sıkıştırma oranı sabit bırakılmıştır.

100 mm bindirme uzunluğuna sahip K3 numunesine ait basma dayanımı için uygulanan kuvvet-yer değiştirme grafiği Şekil 6.4’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi

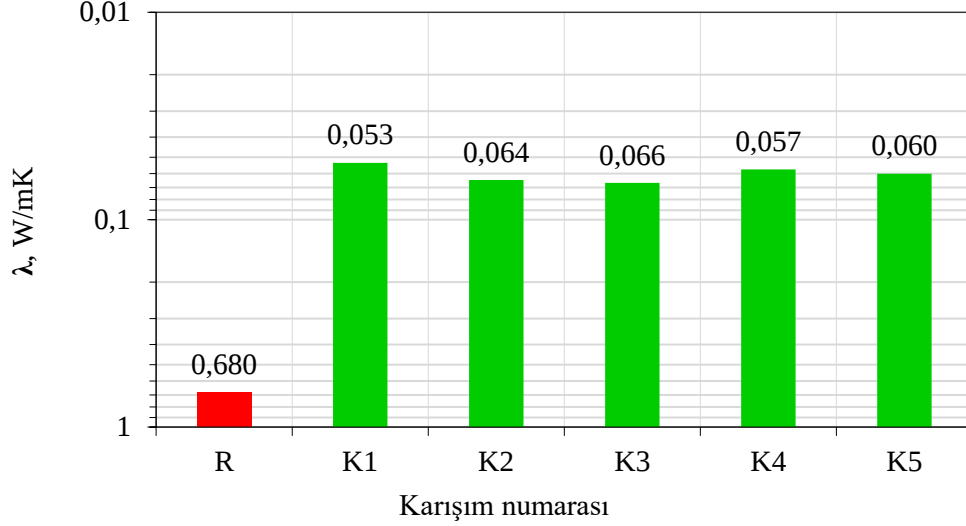
K3 numunesinin hasar yükü 3715,1 N olmuştur. Şekil 6.5'te ise 300 mm bindirme uzunluğuna sahip K3 numunesine ait üç nokta eğme dayanımı için uygulanan kuvvet-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi K3 numunesinin 1,22 mm uzama esnasında kopma yükü 40,6 N olmuştur.



Şekil 6. 4. K3 numunesi için basma kuvveti- uzama değişim grafiği

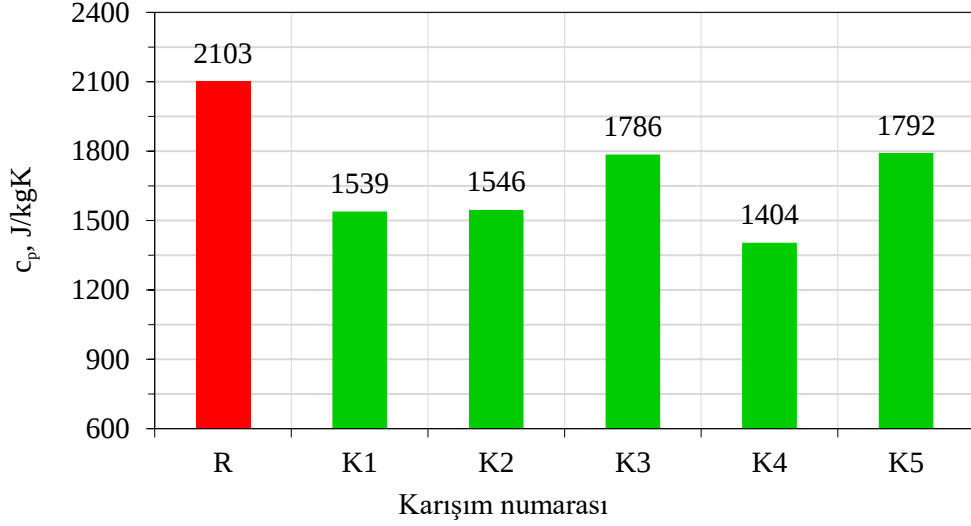


Şekil 6. 5. K3 numunesi için üç nokta eğme kuvveti- uzama değişim grafiği



Şekil 6. 6. Üretilen yalıtım malzemelerin ısı iletkenlik özellikleri

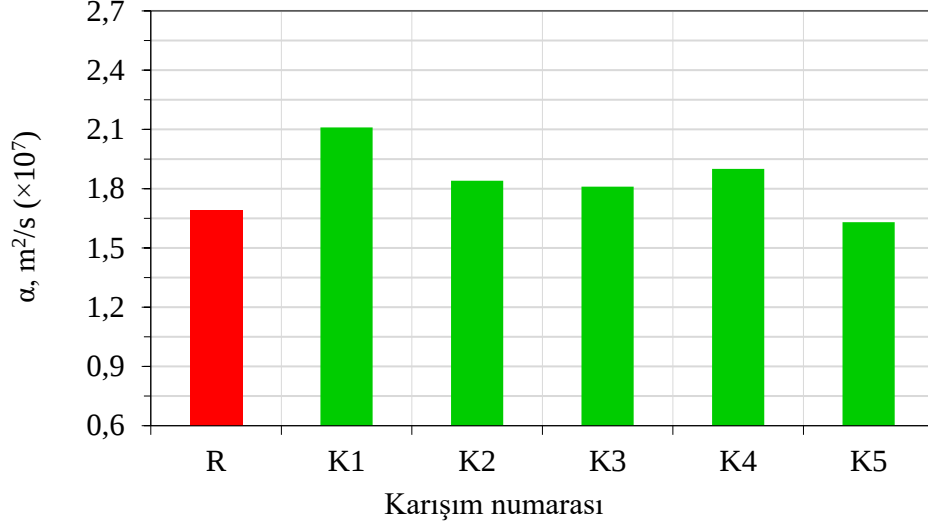
Şekil 6.6 incelendiğinde ısı iletkenlik değeri 0.680 W/mK ila 0.066 W/mK arasında değıştiğı görülmüştür. Isı iletkenlik azalışı K1 numunesi için referans numunesine göre %92.20 azalma görülmüş ve K2, K3, K4 ve K5 numuneleri için ise referans numunesine göre sırasıyla %90.58, %90.29, %91.61 ve % 91.17 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Yalıtım numunelerinin kendi aralarında karşılaştırması yapıldığında; ısı iletkenlik artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %20.75 artış sağlamış ve K3, K4, K5 numuneleri için ise K1 numunesine göre sırasıyla %24.52, %7.54, ve %13.20 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir. Yalıtım malzemesi içeriğindeki gözeneklilik ile ısı iletkenlik arasında doğrudan bir ilişki vardır (Oktay, 2017). Gözeneklilik artışı iç yapıda yer alacak hava miktarını artırmaktır. Durgun havanın ısı iletkenlik değeri 0.024 W/Mk olup, beklenen etki yapı içinde hava miktarının artışıyla bu değere yaklaşımdır.



Şekil 6. 7. Üretilen yalıtım malzemelerin özgül ısı değerleri

Özgül ısı malzemelerin ısı depolama gibi özelliği anlamında önemli bir parametre olup o malzeme ısıyı ne kadar fazla bünyesinde hapsederse o düzeyde yalıtım özelliği de artmış olmaktadır. Şekil incelendiğinde özgül ısı değerleri 1403.75 J/kg.K ile 2103 J/kg.K arasında değiştiği görülmüştür. Özgül ısının azalışı K1 numunesi için referans numunesine göre %26.83 oranında azalış tesbit edilmiştir. K2, K3, K4 ve K5 numuneleri için ise referans numunesine göre sırasıyla %26.47, %15.09, %33.25, %14.77 oranında azalma olduğu tesbit edilmiştir. Yalıtım numunelerinin kendi aralarında karşılaştırması yapıldığında; zzzgül ısı artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %0.48 artış sağlamış ve K3, K5 numuneleri için ise referans numunesine göre sırasıyla %16.04, %16.48 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir K4 ise %8.76 azalmıştır. Yalıtım malzemesinin içinde boşluklar arttığı zaman buna bağlı özgül ısıda artar. Buna ek olarak numune içerisindeki toplam boşluk oranının artması malzemenin toplam yoğunluğu düşürdüğünden (havanın yoğunluğu) yoğunluk ile özgül ısı arasında bir ters orantının var olduğu görülmektedir. Bunun yanında numuneyi oluşturan her bir farklı malzemenin de özgül ısı değerine etki ettiği sonuçlardan görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde K2 numunesinin yoğunluğunun (225.87 kg/m^3) K5 numunesinden (205.29 kg/m^3) göre değerlendirildiğinde daha yüksek olduğu ve buna ters orantılı olarak özgül ısı değerlerinin K5 numunesine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Buna karşın K2 numunesinin ile K4 numunesi karşılaştırıldığında K2 numunesinin yoğunluğu (225.87 kg/m^3), K4 (214.93 kg/m^3) numunesine göre daha yüksek olmakla birlikte özgül ısısının da daha yüksek

olduğu görülmüştür. Bu durum numuneyi oluşturan her bir farklı malzemesinin de özgül ısı değerine bir etkisi olduğu sonucunu desteklemektedir.



Şekil 6. 8. Üretilen yalıtım malzemelerin ısı yayılım değerleri

Şekil 6.8 incelendiğinde test sonuçlarından elde edilen ısı yayılım değerleri 1.63 m²/s ile 2.11 m²/s değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Isıl yayılım artışı K1 numunesi için referans numunesine göre %24.85 oranında artma K2, K3, K4 numuneleri için ise referans numunesine göre sırasıyla %8.87, %7.10 ve %12.42 oranında artma olduğu tespit edilmiştir. K5 ise %3.55 oranında azalma olduğu görülmüştür. Yalıtım numunelerinin kendi aralarında karşılaştırması yapıldığında; ısı yayılım artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %12.79 azalmıştır. K3, K4, K5 numuneleri için ise K1 numunesine göre sırasıyla %14.21, %9.95 ve %22.74 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Daha öncede bahsedildiği gibi ısı yayılım değerinin artması ısı geçişini hızlandırmakta, ısı yayılım değerinin azalması ise ısı geçişini yavaşlatmaktadır.

Yalıtım levhaları için önemli olan konulardan biri malzemenin boyutunun sabit kalmasıdır. Bu boyutun farklılaşma durumu ise değişik sıcaklıklarda ısı genleşmeden kaynaklanması ile yani zamana bağlı olarak ya malzemeden yada dış etkenlerden bağımsız biçimde kaynaklanma olma ihtimali bulunmaktadır. Bu hedefle üretimi yapılan numuneler içerisinde en elverişli ortalama yoğunluğu olan her numunenin rötreleri ASTM C 356 (2017) ve ASTM C610 (2017) standartlarına göre belirlenmiştir. Her

numune 24 saat boyunca 650 °C'lik sıcaklıkta bekledikten sonra boyut ölçümleri tespit edilerek hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6. 1. Üretilen yalıtım malzemelerinin rötre değerleri

Malzeme	Genişlik değişimi (%)	Uzunluk değişimi (%)	Kalınlık değişimi (%)
K1	1.25	1.95	2.83
K2	0.58	-0.37	1.26
K3	-0.25	-0.4	0.59
K4	0.66	-0.57	1.48
K5	-0.94	-0.9	-0.84

Tablo 6.1 incelendiğinde üretilen numunelerin genişlik rötreleri -0.94 ila % 1.25, uzunluk değişimleri % -0.9 ila 1.95 ve kalınlık değişimleri %-0.84 ila % 2.83 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde perlit karışımlarına eklenen yeni malzemelerin rötre değişimine etkisi olumlu yönde olduğu gözlemlenmiştir. Diğer taraftan üretilen numuneler içerisinde bor malzemesi kullanımı şekil değiştirmede olumlu yönde etkili olduğu görülmüştür. Üretilen numunelerin genel olarak rötre değerleri ASTM C610 (2017)'daki rötre limitlerinin altında olup ve izolasyon malzemesi olarak yüksek sıcaklıklarda dahi kullanılabilirliğinin olduğu tespit edilmiştir.

6.2 Ansys Modelleme Sonuçları

Bu bölümde bir petrol üretim kuyusundaki ısı transfer mekanizmalarının modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modellemede kullanılacak örnek üretim kuyusu Batman Raman sahasında yer almakta olup çalışmada sahadan alınan gerçek veriler kullanılmıştır. Çalışmanın ilk kısmında seçilen üretim sahasının modellenmesi Ansys Fluent yazılımında yapılarak, programdan elde edilen veriler ile gerçek saha verileri karşılaştırılarak üretim sahası için kullanılan modelin gerçek verilerle uygunluğu tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan mevcut boru yalıtımsız boru olarak adlandırılmış olup boru dıştan G tipi çimentolama malzemesi ile 5 cm kalınlıkta kaplanmış olarak modellenmesi yapılmıştır. İlk durumda mevcut çimentolama yapılmış borunun modellenmesi yapılmış ve Ansys Fluent programı ile doğrulanması yapılmıştır. Daha sonra doğrulanması yapılmış olan modele farklı özellikte ve farklı kalınlıklardaki yalıtım

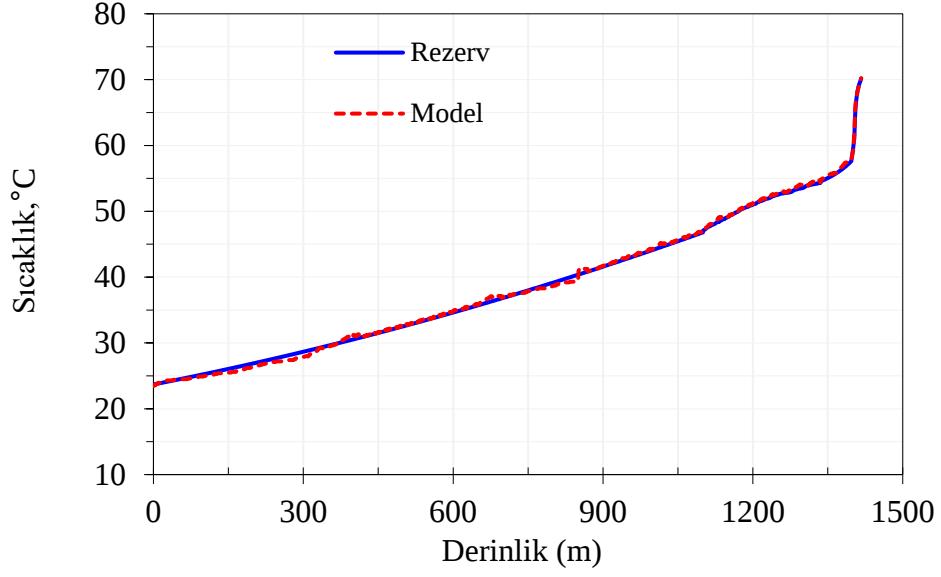
malzemesi girdi olarak verilerek her farklı durum için petrol sıcaklığı ve ısı kayıpları tespit edilmiştir. Ansys Fluent yazılımının modelleme aşamaları şu şekilde özetlenmiştir:

Ansys Workbench 19.1 programı kullanılarak yapılan modellemede ilk olarak Geometry kısmında sistem oluşturulmaktadır. Bunun için en içteki üretim borusu, ardından muhafaza, dış borular ve en dışta çimentolama malzemesi çizildikten sonra geometrileri oluşturulduktan sonra sayısal ağ yapısını oluşturmak amacıyla Mesh kısmına geçilmiştir. Mesh kısmında akışkanların giriş ve çıkış bölgeleri, duvar yüzeyleri ve akışkan bölgeleri tanımlanmıştır. Mesh işlemi bitirildikten sonra analitik çözüm hesaplamaları için yapılması gereken ayarlar yapılmış olup gerekli malzeme özellikleri sisteme girdi olarak verilmiştir. Sınır şartları da girildikten sonra çözüm için ilgili menülerden başlangıç değerleri seçilmiştir. Daha sonra programa iterasyon için değerler seçilmiş ve program başlatılmıştır. Çözüm yakınsama işlemi tamamlandıktan sonra sonuçlar, Workbench ara yüzünde sonuç (Results) menüsünden alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan modellemede petrole en yakın akışkan olarak fuel-oil kullanılmış olup seçilen üretim sahasına ait sisteme girilen tüm değerler Tablo 6.2’te verilmiştir.

Tablo 6. 2. Modellemesi yapılan üretim sahası için sistem girdi değerleri

Malzeme	İç çap (mm)	Dış çap (mm)	Uzunluk (m)	Sınır Şartları			
Üretim borusu	62	68	1417	Hız (m/s)	Sıcaklık (K)	Basınç (MPa)	
Muhafaza borusu	160	168	1417			Giriş	Çıkış
Akışkan özellikleri		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg.K)				
İç akışkan (Fuel-oil)		960	1880	0.004174	343	0,02	0
Dış akışkan (Hava)		1,24	1007	0	340	6.81	0,12

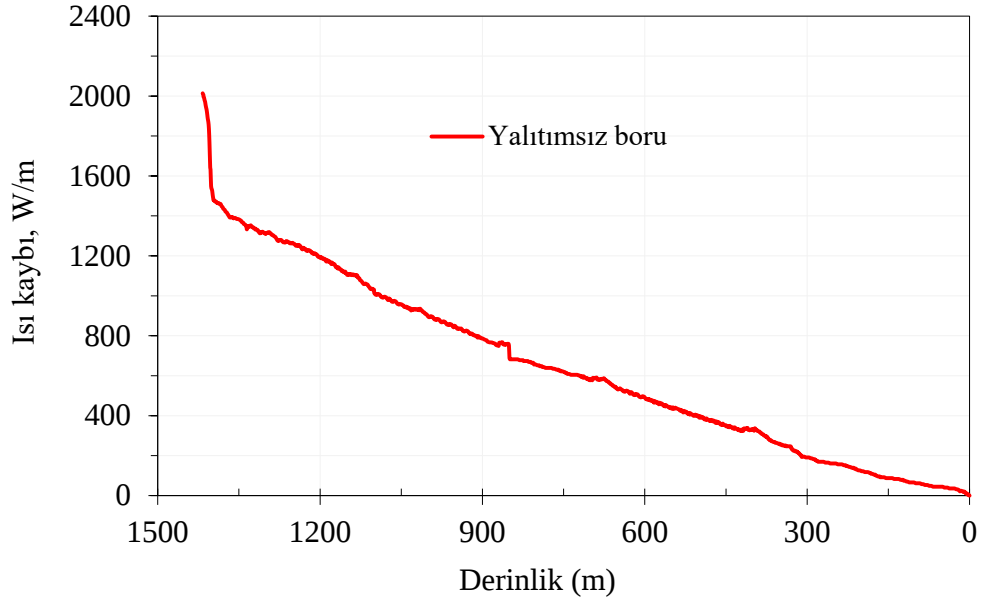
Bu işlem gerçekleştikten sonra çalışma sonucunda elde edilen izolasyon malzemelerinin termo-fiziksel özellikleri Ansys yazılımı kütüphanesine eklenmiştir. Daha sonra aynı işlemler sisteme en dıştan yalıtım yapılarak eklendiğinde modelleme tekrardan çözdürülmüştür.



Şekil 6. 9. Rezerv sıcaklığı ile Ansys Fluentten elde edilen sıcaklıkların karşılaştırılması

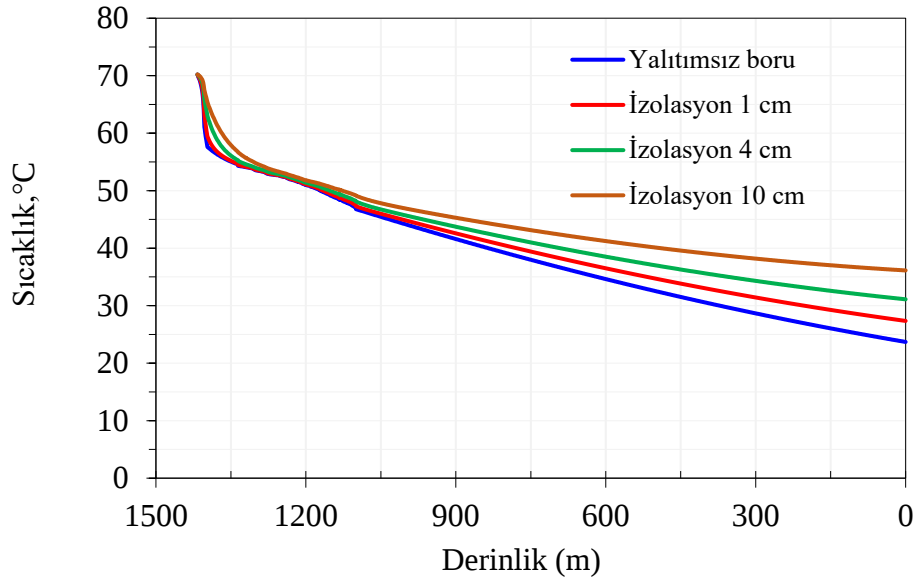
Şekil 6.9’da Ansys modelleme sonuçları ile gerçek bir petrol üretim sahasından elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi her iki sonucun birbirine çok yakın olduğu bu ise Ansys Fluent’te oluşturulan modelinin doğrulandığını ve gerçek bir model olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Şekil 6.10’da yalıtımsız boru için Ansys Fluent’ten elde edilen birim uzunluğa karşılık gelen ısı kaybı (W/m) değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ısı transferindeki ilk ani düşüşün büyük kısmı rezervden 16 m uzaklaştığında gerçekleşmiştir. Isı transfer miktarı bu derinlikten sonra yüzeye doğru doğrusal olarak azalmaktadır.



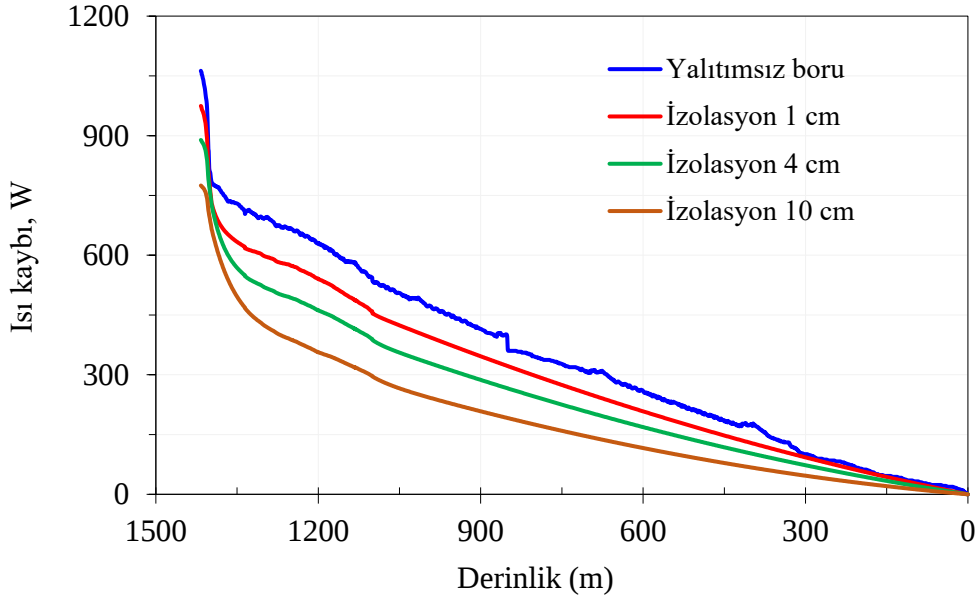
Şekil 6. 10. Rezerv sıcaklığı ile Ansys Fluentten elde edilen sıcaklıkların karşılaştırılması

Bu işlem gerçekleştirildikten sonra 5 farklı yalıtım malzemesi Ansys kütüphanesine eklenmiş olup karşılaştırma yapmak amacıyla tüm numunelerin ortalama özelliğini gösteren K1 numunesi seçilmiştir. Bu aşamadan sonra K1 numunesinin muhafaza borusuna dıştan 3 farklı kalıklarda (1 cm, 4 cm ve 10 cm) kaplanması ile oluşan sıcaklık ve ısı transfer değerleri incelenmiştir.



Şekil 6. 11. Borulardaki petrol sıcaklık değişimi

Şekil 6.11’de 70,2°C rezervuar sıcaklığına sahip petrol kuyusundan üretimi yapılan 4 farklı boru tipine ait petrol sıcaklık değişimleri verilmiştir. İlk boru tipi yalıtımsız boru (G tipi çimentolanmış) tipi olup diğer borulara sırasıyla 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi giydirilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere tüm boru tiplerinde sıcaklık değişimleri yaklaşık olarak birbirlerine paralel olup petrol çıkış sıcaklığı yalıtımsız boruda 23.7°C iken, 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi ile kaplanmış borularda petrol çıkış sıcaklığı sırasıyla 27.4°C, 31.1°C ve 36.1°C olmuştur. Özellikle 4 cm kalınlıktaki izolasyonla kaplanan boruların sıcaklık değişimine etkisi daha belirgin olup 10 cm izolasyonlu borularda sıcaklık düşüşü büyük ölçüde azalmıştır. Petrolün içindeki ana maddelerden olan parafin ve asfalt 35°C altında katılaştığı ve tıkanıklığa sebebiyet verdiği için bu boruların 10 cm kalınlıkta izolasyon ile kaplanması durumunda bu donmalar engellenerek, ekipman ve teçhizat hasarlarının önüne geçilecektir.



Şekil 6. 12. Ansys Fluent yazılımından elde edilen bu borulara ait ısı kaybı değerleri

Şekil 6.12’ de 70.2°C rezervuar sıcaklığına sahip petrol kuyusundan üretimi yapılan 4 farklı boru tipine ait Ansys Fluent yazılımından elde edilen bu borulara ait ısı kaybı değerleri gösterilmiştir. İlk boru tipi yalıtımsız boru (G tipi çimentolanmış) tipi olup diğerleri sırasıyla 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi giydirilmiş boru tipleridir. Şekilde görüldüğü üzere tüm boru tiplerinde ısı kaybı değerleri incelendiğinde maksimum ısı kaybı yalıtımsız boruda 1062.8 W değerinde olup maksimum ısı kayıp değerleri 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi ile

kaplanmış borularda sırasıyla 974.6 W, 889.1 W ve 774.9 W olarak hesaplanmıştır. Borulardaki ısı kaybı değerleri karşılaştırıldığında 1 cm izolasyonlu borudaki ısı kaybı yalıtımsız boruya göre %8.3, 4 cm ve 10 cm izolasyonlu borudaki ısı kaybı yalıtımsız boruya göre sırasıyla %16.3 ile % 27.1 oranında azalmıştır. Şekilde görüldüğü gibi özellikle 4 cm kalınlıktaki izolasyonla kaplanan boruların ısı kaybı değişimine etkisi daha belirgin olup 10 cm izolasyonlu borularda ısı kaybı değeri büyük ölçüde azalmıştır. Üretim borularına yapılacak olan izolasyon giydirmelerinde kalınlığın 4 cm üzerinde olması gerektiği bu şekilden anlaşılmış olup optimum yalıtım kalınlığı ise yalıtım kalınlığı/maliyet oranında tespit edilmesi ileriki çalışmalarda hedeflenmektedir. Üretim borularına izolasyon malzemesi giydirilmesi sonucu üretim aşamasındaki kuyularda destek için kullanılan ek ekipman ve zaman giderlerinin düşürülmesi ve üretimin aksamasının önüne geçilerek ekonomik olarak üretim maliyetimizin düşürülmesi sağlanacaktır.

7. SONUÇLAR

Bu tezde yüksek sıcaklık gradyentine maruz bırakılan çıplak borulardaki boru ve ekipman hasarının en aza indirilebilmesi ve özellikle yüksek viskoziteli nano-newtonlu petrol üretim sahalarındaki boru tıkanmalarının önüne geçilerek tubing malzemelerde oluşan hasarların bertaraf edilmesi amacıyla en uygun yalıtım malzemelerinin üretilmesi ve bu alanlarda kullanılması hedeflenmektedir. Yukarıda bahsedilen ihtiyaçlara cevap verebilecek, perlit ve bor gibi ülkemizin kaynak bakımında dünyaca üstün rezervlerine sahip olduğu malzemeler kullanılarak yüksek ısı yalıtım özelliği sağlayan, yeterli mekanik dayanım ve yüksek sıcaklığa karşı dayanımı olan yerli ve yeni ısı yalıtım malzemelerin üretilmesi hedeflenmiştir. Hem deneysel hem de modelle olarak birçok çalışmayı içeren bu tezde, sırasıyla şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Yalıtım numunelerinin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında; K2, K3, K4 ve K5 numunelerin basınç dayanım değerlerinin K1 numunesine göre sırasıyla %28.53, %58.80, %8.01 ve %17.8 oranında artış sağladığı görülmüştür. Genel olarak, perlit yapılı yalıtım malzemelerinde basınç dayanımı; yoğunluk, sıkıştırma oranı, kullanılan perlitin birim hacimde gevşek ağırlığı, karışımında kullanılan su miktarı, yapıştırıcının cinsi ve miktarı, kürlenme zaman olarak süresi ve sıcaklığı ve diğer katkıların kullanılma miktarı gibi parametreler den etkilenmektedir.
- Her zaman yüksek dayanım istenmemektedir. Çünkü dayanımın artmasıyla yoğunluk artışı ve dolaylı olarak ısıl iletkenlik katsayısının artmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum ise malzemenin yalıtım özelliğini kötüleştirmektedir. Bu yüzden her uygulamaya özel dayanım değerlerinin hedeflenmesi optimum çözüm olacaktır.
- Üretimi yapılan numuneler için üç nokta eğme dayanım değerleri incelendiğinde, K2, K3, K4 ve K5 numunelerinin eğme dayanım değerleri K1 numunesine göre sırasıyla %7.89, %46.32, %16.19, %17.85 artmış olduğu görülmüştür.
- Test sonuçlarından elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde; yoğunluk artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %37.53 artış sağlamış ve K3, K4 ve K5 numuneleri K1 numunesine göre sırasıyla %25.33, %30.88 ve %25.01 artış sağladığı tespit edilmiştir.

- Test sonuçlarından elde edilen ısı iletkenlik artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %20.75 artış sağlamış ve K3, K4, K5 numuneleri için ise K1 numunesine göre sırasıyla %24.52, %7.54, ve %13.20 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir.
- Test sonuçlarından elde edilen özgül ısının azalışı K1 numunesi için referans numunesine göre %26.83 oranında azalış tesbit edilmiştir. K2,K3, K4 ve K5 numuneleri için ise referans numunesine göre sırasıyla %26.47, %15.09, %33.25, %14.77 oranında azalma olduğu tesbit edilmiştir.
- Test sonuçlarından elde edilen ısı yayılım artışı K2 numunesi için K1 numunesine göre %12.79 azalmıştır. K3, K4, K5 numuneleri için ise K1 numunesine göre sırasıyla %14.21, %9.95 ve %22.74 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Üretilen numunelerin genişlik rötreleri-0.94 ila % 1.25, uzunluk değişimleri % -0.9 ila 1.95 ve kalınlık değişimleri %-0.84 ila % 2.83 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde perlit karışımlarına eklenen yeni malzemelerin rötre değişimine etkisi olumlu yönde olduğu gözlemlenmiştir.
- Ansys modelleme sonuçları ile gerçek bir petrol üretim sahasından elde edilen değerler karşılaştırılmış olup her iki sonucun birbirine çok yakın olduğu bu ise Ansys Fluent'te oluşturulan modelinin doğrulandığını ve gerçek bir model olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.
- Yalıtımsız boru için Ansys Fluent'ten elde edilen birim yüzeye karşılık gelen ısı kaybı değerleri incelendiğinde ısı transferindeki ilk ani düşüşün büyük kısmı rezervden 16 m uzaklaşıldığında gerçekleştiğini daha sonra yüzeye doğru doğrusal olarak azaldığı görülmüştür.
- Ansys modelleme sonuçlarına göre üretim borularındaki petrol çıkış sıcaklığı yalıtımsız boruda 23.7°C iken, 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi ile kaplanmış borularda petrol çıkış sıcaklığı sırasıyla 27.4°C, 31.1°C ve 36.1°C olmuştur. Bununla birlikte, 1 cm, 4 cm ve 10 cm kalınlıklarda izolasyon malzemesi ile kaplanmış borularda ısı kaybı değerlerinde yalıtımsız boruya göre sırasıyla %8.3, %16.3 ve %27.1 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Üretim borularına izolasyon malzemesi giydirilmesi sonucu üretim aşamasındaki kuyularda destek için kullanılan ek ekipman ve zaman giderlerinin düşürülmesi ve üretimin aksamasının önüne geçilerek ekonomik olarak üretim maliyetimizin düşürülmesi sağlanacaktır.

8. ÖNERİLER

Üretim borularına yapılacak olan izolasyon giydirmelerinde kalınlığın 4 cm üzerinde olması gerektiği bu çalışmadan anlaşılmış olup optimum yalıtım kalınlığının tespiti için ise yalıtım kalınlığı/maliyet oranından hesaplanması ileriki çalışmalarda hedeflenmektedir.

KAYNAKÇALAR

- Abak, S. S. 2020, Binaların farklı kısımlarında kullanılan çeşitli ısı yalıtım malzemeleri optimum kalınlıkların araştırılması Yüksek Lisans Tezi, *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kars, sayfa 31-32.
- Akelçi, B., 2016, Kentsel dönüşüm kapsamında dıştan ısı yalıtım uygulamalarının irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s.15
- Akıncı, H., 2007, Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri, Yüksek lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 27-28.
- Akyol, T., 2006, Binaların Isı Yalıtımında Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir
- Altuntaş, N., 2019, Çinko oksit (ZnO) katkılı polietilen (PE) termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Anonim, 2021, <https://www.etimaden.gov.tr/kolemanit> [Ziyaret tarihi:2 Haziran2021].
- Anonim, 2017, <http://www.molarkimya.com/icerik/merck-sodyum-klorur-ff6> [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017].
- Anonim, 2021, tekniksondaj.com.tr [Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2021].
- Anonim, 2021, <http://akbelkimya.com.tr/sodyum-bikarbonat-148-urun> [Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2021].
- Anonim, 2021, <http://istanbul-maden.com.tr/10-magnezyum-karbonat> [Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2021].

Anonim, 2021, <http://www.gaz.gen.tr/karbondioksit-gazi.html> [Ziyaret Tarihi: 16 Ocak 2021].

Anonim, 2021, <https://inovatifkimyadergisi.com/sodyum-hidroksit-naoh> [Ziyaret tarihi: 9 Mayıs 2021].

Anonim, 2021, <https://okimya.com.tr/alkoller/polivinil-alkol/> [Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2021].

Anonim, 2021, <https://tr.thelittlecollection.com/directional-drilling-17794> [Ziyaret tarihi: 11 Haziran 2021].

Anonim, 2021, https://tr.wikipedia.org/wiki/Sodyum_karbonat [Ziyaret tarihi: 11 Haziran 2021].

Anonim, 2021, https://web.itu.edu.tr/~yamanlar/faq_t/#1 [Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2021].

Anonim, 2021, <https://www.asit.gen.tr/borik-asit.html> [Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2021].

Anonim, 2021, http://tr.wikipedia.org/wiki/Petrol_kuyusu [Ziyaret tarihi: 5 Temmuz 2021].

ASTM C165-07, 2012, Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations, United States: ASTM International.

ASTM C303-10, 2016, Standard Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block and Board-Type Thermal Insulation, United States: ASTM International.

ASTM C356- 17, 2017, Standard Test Method for Linear Shrinkage of Preformed High-Temperature Thermal Insulation Subjected to Soaking Heat, United States: ASTM International.

- ASTM C610-17, 2017, Standard Specification for Molded Expanded Perlite Block and Pipe Thermal Insulation, United States: ASTM International.
- ASTM, C203-99, 1999, Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation. ASTM International: West Conshohocken, PA.
- Aydın, D. Y., Gürü, M., Ayar, B. ve Çakanyıldırım, Ç., 2016, Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği, *Journal of Boron*, 1 (1), 33-39.
- Aydın, İ., 2010, Binalarda uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 6-7.
- Aziz, A., 1997, Critical Thickness of Insulation, *Heat Transfer Eng.*, vol. 18, no. 2, pp. 61-91.
- Baygül, M., 2017, Eti alüminyum Fabrikası Alüminyum hidroksit üretim prosesinde lityumun ayrılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Bayram, L., 2019, Kontakt lens çözeltisindeki hidrojen peroksitin amperometrik olarak tayin edilmesi için fonksiyonel silika jel destekli Au nanoparçacıkların sentezlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 25-26.
- Bosbıyık, C., 2020, Bentonit ve kaolin killlerinin kolemanit minerali ile stabilizasyonu Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 92-93.
- Butch, B., 1995, Spreadsheets for Heat Loss Rates and Temperatures, *Chem. Eng.*, vol. 102, no. 12, pp. 107-109.
- Candan, N., 2007, Isı yalıtım sistemleri ve özelliklerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya

- Çallı, E., 2016, Boru yalıtımı uygulamalarında ısıtma derece günlere göre optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Çengel, Y. A., Tanyıldızı, V., & Dağtekin, İ. 2011, Isı ve kütle transferi, Güven Kitabevi.
- Çetinel, G., Esenli, F., Baş, H., 1996, Diğer Endüstri Mineralleri 1. Yeni Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, DPT Raporu, 2421.
- Çolak, S.H., 2020, Kolemanit atıklarından kolamanit atıklarından kimyasal liç yöntemiyle bor türevlerinin eldesi, Yüksek Lisans Tezi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çanakkale, s.13-14.
- Çöl, F., 2020, Isı yalıtımı açısından konvansiyonel malzemelerle nanoteknolojik malzemelerin karşılaştırılması Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, 19-20.
- Davraz M., 2009, Yüksek ısı yalıtım performanslı ve ekonomik vakum yalıtım panelleri üretilebilmesi için alternatif çekirdek malzemelerinin araştırılması”, Tübitak Proje No: 109 M 407, 2010.
- Demir, S., 2020, Kaolin ve sodyum silikat esaslı inorganik bağlayıcının basma dayanımına kimyasal kompozisyonun etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük, 7-8.
- Demirbaş, E., 2010 Kavşit (çine-aydın) yöresinin jeolojisi ve feldispat yataklarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya , 16-17.
- Ekinci, C. E., 2003, Yalıtım Teknikleri, 1. Baskı, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 29.
- Energy Information Administration. International Energy Outlook 2019. Highlights.

- Erdal G, Erdal H, Esengün K., 2008, The causality between energy consumption and economic growth in Turkey.” *Energy Policy*, 36: 3838–3842.
- Erdem, S., 2008, Çatıda kullanılan polimer kökenli levhaların karşılaştırmalı analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Erguvanlı, K.1978, Mühendislere Jeoloji, İTÜ Yayınları:1126, İstanbul, s. 41-42.
- Fırat, İ., 2013, Erzincan ilindeki barajlarda ısı yalıtım uygulamaları ve ısı yalıtımının enerji tasarrufuna etkisinin ekonomik analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 32-33
- Gürbüz, M., 2013, Çelik tel ve silis umanı içeren betonların sodyum klorürlü ortamda mekanik davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *Bozuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat, 30-31.
- Harben, P., 1995, The industrial minerals handbook: a guide to markets, specifications & prices. London. Industrial Minerals Division/Metal Bulletin PLC.
- İzoder 2003, Isı yalıtımı. İnşaat teknolojisi, s. 4-8
- Karabay H., 2007, The thermo-economic optimization of hot-water piping systems: a parametric study of the effect of the system conditions, *Strojniski Vestnik – Journal of Mechanical Engineering* 53:548–55.
- Karol, R.W., 2003, Chemical Grouting and Soil Stabilization. (3). New Jersey/USA: Macel Dekker Inc, 130-150.
- Kasapoğlu, A. E., 2014, Sol-Jel Spin Kaplama Metodu ile Büyütülen ZnO ve ZnO:Fe İnce Filmlerin Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Kaya, D., Öztürk, H., 2014, Isı Yalıtımı İle Enerji Tasarrufu. Sanayide enerji yönetimi ve enerji verimliliği, Kocaeli. Umuttepe yayınevi, 448-464.

- Kogel, J. E. Ed., 2006, Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses. SME.
- Kuşaklı, S., 2018, Bor ve alüminyum hidroksit katkılı yanmaya dayanıklı yeni epoksi reçine kompozitlerin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, sayfa 16-17.
- Lee, J.M., Jackson L., 1969, Perlite composition, porous low density perlite structure and method of making same, U.S. Patent No 3,445,253
- Li YF, Chow WK., 2005, Optimum insulation thickness for thermal and freezing protection. *Applied Energy* 2005; 80:23–33.
- Li, L., 2017, Study on properties and testing methods of thermo-responsive cementing system for well cementing in heavy oil thermal recovery. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1864, No. 1, p. 020064). AIP Publishing LLC.
- Oktay, H., 2017, Yalıtım özelliği yüksek yapı malzemelerinin geliştirilmesi ve ısı performanslarının incelenmesi, Doktora Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Özaydın, E., 2019, Polivinil alkol, jelatin ve hidroksimetil selüloz içeren çabraz bağlı hidrojele lipaz enziminin immobilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 13-14.
- Özer, M., 1974, Yapılarda Isı – Su Yalıtımları, Özer Yayıncılık, 30-31.
- Özgündüz, K., 2019, Yüksek sıcaklık etkisinde ısı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, 26-27.
- Öztürk IT, Karabay H, Bilgen E., 2006, Thermo-economic optimization of hot water piping systems: a comparison study. *Energy* 2006; 31:2094–107.

- Paralı, D., 2009, Bina duvarlarında uygulanan ısı yalıtım sistemlerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Petal, M. R., and Mehta, B. P. S. 1993, Optimize Thermal Insulation, J. Hydrocarbon Processing, pp. 51–55,
- Peker H. ve diğ., 2007, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi/ Petrol Ve Doğal Gaz Çalışma Grubu, ankara, s.8
- Polat, H., 2012, Kolemanit’li betonların bazı durabilite incelenmesi, *Süleyman Demirel Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 25-26.
- Rubacı, E., 2006, Konutlarda Enerji Tasarrufu, İzolasyon Dünyası Dergisi, 58, 55.
- Samanta, S. C., 1984, U.S. Patent No. 4,446,040. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Seyrekbasan, A., 2020, Çimento bağlayıcılı kompozit harçlarda mika tane boyutu etkisinin irdelenmesi, Yüksek lisans Tezi, *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 4-5.
- Soponpongpiat N, Jaruyanon P, Nanetoe S., 2010, The thermo-economic analysis of the optimum thickness of double-layer insulation for air conditioning duct. Energy Research Journal, s.18
- Şağbanoğlu, E., 2012, Kuvars mineralinin ışıma özelliklerinin farklı tanecik boyutlarına göre düzenlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 15-16.
- Şahin AZ, 2005, Kalyon M. Maintaining uniform surface temperature along pipes by insulation. Energy 2005; 30:637–47.
- Şahin AZ., 2004, Optimal insulation of ducts in extraterrestrial applications. International Journal of Energy Research 195–203.

- Şen, A.O., 2006, Binalarda uygulanan yalıtım sistemleri dünyada ve Türkiye’de yalıtım, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 5-6.
- Temiz, H.İ., 2019, Alüminyum hidroksit kiralizasyonu üzerine lityum safsızlığının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 9-10.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2005, MMO Yayın No: 2005/399, ‘Yalıtım’, s.7-15,19-37,81-104.
- Tomaç, S. K., 2016, Borik asit-sodyum silikat enjeksiyonlu kumların mühendislik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12667, 2003, Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performans-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini, s. 151.
- TUIK. Türkiye İstatistik Kurumu 2019. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?tb_id=39&ust_id=11. [Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2021]
- Türkmen, M., 2016, Bina kabuğunda ısı yalıtımı uygulamalarının yapısal performansı ve etkinliğinin İstanbul’da bir alan çalışması ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Velioglu S., Şimşek, A., 2003, İnsan Sağlığı ve Beslenme Açısından Bor, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 123-130.
- Vural, T., Çelen, E., 2005, Sıvı Dezenfektan Olarak Hidrojen Peroksit, Perasetik Asit ve Türevi Alet Dezenfektanlarının Kullanım İlkeleri, Kombinasyonlarının kıyaslanması 4. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi, Samsun, Ankara, Bilimsel Tıp, 200-206.
- Won, J., Lee, D., Na, K., Lee, I. M., & Choi, H. 2015, Physical properties of G-class cement for geothermal well cementing in South Korea. *Renewable Energy*, 80, 123-131.

- Yakut, Y., 2015, Borik asit (H_3BO_3) katkılı bir AlSiCu alaşımı kaymalı yatak malzemesinin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Yıldırım, M.S., 2019, Silis dumanı, çelik ve bazalt liflerin harçların mekanik özelliklerine ortak etkisi, Yüksek lisans tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat, 21-22.
- Yılmaz, G., 2016, İnorganik esaslı kompozit ısı izolasyon panel üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon
- Yu ve diğ., 2018, Fire-Retardant and Thermally Insulating Phenolic-Silica Aerogels, *A Journal of the German Chemical Society*, 57(17),
- Zaki GM, Al-Turki AM. 2000, Optimization of multilayer thermal insulation for pipelines. *Heat Transfer Engineering*; 21:63–70.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sevim KIZIL
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Yahya Kemal Beyatlı lisesi, Merkez, Batman	2011
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Merkez, Batman	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi	
Doktora	:	