



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ ANABİLİM DALI**

**BOR İLAVESİNİN PERLİT ESASLI ISI
YALITIM MALZEMELERİNİN ISIL VE
MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

FETHULLAH ÖZLÜK

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ HASAN OKTAY

**Ağustos-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Fethullah ÖZLÜK tarafından hazırlanan “Bor İlavesinin Perlit Esaslı Isı Yalıtım Malzemelerinin Isıl ve Mekanik Özelliklere Etkisi” adlı tez çalışması 19/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY

.....

Üye

Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Enstitü 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.

Fethullah ÖZLÜK

Tarih: 19.08.2021

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****BOR İLAVESİNİN PERLİT ESASLI ISI YALITIM MALZEMELERİNİN ISIL VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ****Fethullah ÖZLÜK****Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY****2021, 100 Sayfa****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY
Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ
Prof. Dr. Hüseyin AYDIN**

Teknolojik gelişmeler ve malzeme bilimindeki ilerlemeler günlük hayatımızı kolaylaştıracak birçok malzemeyi kullanıma sunmaktadır. Kullandığımız bu malzemelerin birçoğu kolay şekil verilebilir, ucuz ve ham petrolün yan ürünleri olarak elde edilen hidrokarbon polimerleridir. Binalarımızda ısı yalıtımı yönteminden faydalanarak enerji tasarrufu sağlama amacıyla kullandığımız bu polimerler yanmaya karşı son derece dayanıksız olup olası bir yangın durumunda insan hayatını tehlikeye atabilecek şartlar oluşturabilmektedir. Bu çalışmanın amacı binalarımızda ısı ve ses yalıtımı sağlaması amacıyla kullanılan ve stirenden oluşan hidrokarbon polimerlerinin yerine geçebilecek ve ülkemizde bol bulunan bor bileşikleri ilavesinin perlit esaslı ısı yalıtım malzemesinin mekanik ve ısı özelliklerine etkisini belirlemek ve bu alanda yapılan çalışmalara katkı sağlamaktır. Laboratuvar ortamında geliştirilen numunelere uygulanan testler sonucunda mekanik özelliklerde iyileşmeler görülmüştür. Malzemenin birim hacim ağırlık değerinde maksimum %34'lük bir artış sağlanırken tek eksenli basınç dayanımında %50, üç nokta eğme testinde %49 ve ısı iletkenlik katsayısında maksimum %24'lük bir artış sağlanmış ve bu artışın olduğu numunenin ısı iletkenlik katsayısı 0,066 W/mK olmuştur. Yanmazlık tutuşmazlık testi sonucunda ise 5 dakika boyunca pürümüze alevine 5 cm uzakta tutulan malzemelerin termal kamera görüntülerinde bir tarafı 900 C dereceyi bulurken diğer tarafı 38,6 C derecede kalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: alev geciktirici, bor, kompozit, perlit, polimer, yalıtım

ABSTRACT**MS THESIS****INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BORON ADDITION ON
THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PERLITE BASED
THERMAL INSULATION MATERIALS****Fethullah ÖZLÜK****INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENERGY****Advisor: Asst. Prof. Dr. Hasan OKTAY****2021, 100 Pages****Jury****Asst. Prof. Dr. Hasan OKTAY****Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ****Prof. Dr. Hüseyin AYDIN**

Technological developments and advances in material science offer many materials that will make our daily life easier. Many of these materials we use are hydrocarbon polymers that are easily shaped, inexpensive, and obtained as by-products of crude oil. These polymers, which we use in our buildings for the purpose of saving energy by making use of the heat insulation method, are extremely resistant to burning and can create conditions that may endanger human life in case of a possible fire. The aim of this study is to determine the effect of the addition of boron compounds, which can replace hydrocarbon polymers consisting of styrene, which are used to provide heat and sound insulation in our buildings and which are abundant in our country, on the mechanical and thermal properties of perlite-based thermal insulation material and to contribute to the studies in this field. As a result of the tests applied to the samples developed in the laboratory environment, improvements in mechanical properties were observed. While a maximum increase of 34% was achieved in the unit volume weight value of the material, an increase of 50% in the uniaxial compressive strength, 49% in the three-point bending test and a maximum of 24% in the thermal conductivity coefficient was achieved and the thermal conductivity coefficient of the sample with this increase was 0.066 W/mK. has been. As a result of the non-flammability test, in the thermal camera images of the materials kept 5 cm away from the flame of our furnace for 5 minutes, one side finds 900 C degrees, while the other side remains at 38.6 C.

Keywords: boron, composite, flame retardant, insulation, perlite, polymer,

ÖNSÖZ

Enerji tasarrufu ve milli kaynakların kullanımı gibi iki önemli başlık etrafında gelişmiş ve birkaç olumlu sonuç elde etmiş bu tezin hazırlanması sürecinin her adımında desteğini hissettiğim değerli danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Hasan OKTAY’a, tezin jürisine katılma nezaketi gösteren Sn. Prof. Dr. Recep YUMRUTAŞ ve Sn. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN’a şükranlarımla.

Fethullah ÖZLÜK
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	vi
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Yanma Olayı	3
1.1.1. Piroliz	5
1.2. Alev Geciktirme Mekanizması ve Alev Geciktirici Malzemeler.....	7
1.2.1. Alev geciktirme mekanizması.....	7
1.2.2. Alev geciktirici malzemeler	9
1.3. Isı Yalıtımı	16
1.3.1. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri.....	20
1.3.2. Perlit esaslı ısı yalıtım malzemeleri	21
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Agregalar	23
3.1.2. Sertleştiriciler.....	24
3.1.3. Bağlayıcılar	27
3.1.4. Çalışmada kullanılan malzemeler	29
3.2. Yöntem.....	39
3.2.1. Yalıtım malzemesinin hazırlanması.....	39
3.2.2. Yalıtım malzemesine uygulanan testler	48
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	60
4.1. Mekanik Testler	61
4.1.1. Birim hacim ağırlık testi	61
4.1.2. Tek eksenli basınç dayanımı tayini.....	62
4.1.3. Üç nokta eğme (MOR) tayini	63
4.1.4. Ultrasonik Ses Hızı Tayini.....	64
4.1.5. Isıl iletkenlik tayini	65
4.1.6. Yanmazlık – tutuşmazlık tayini	66
4.1.7. Rötire (boyut küçültme miktarı) tayini	67
4.2. Regresyon analizleri:	69

4.3. Karakterizasyon Testleri	72
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	77

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Yalıtım malzemesi alanında yapılan akademik çalışmalar.....	2
Şekil 1.2: Organik katı molekülün piroliz etkisiyle parçalanması	5
Şekil 1.3: Küresel Enerji Tüketimi.....	16
Şekil 1.4: Küresel Enerji Kaynakları.....	17
Şekil 1.5: Türkiye’de Kullanılan Enerjinin Sektörlere Dağılımı	18
Şekil 1.6: Konutlarda Enerji Tüketimi	18
Şekil 1.7: Türkiye’de derece-gün yöntemine göre belirlenen ısı yalıtım bölgeleri.....	19
Şekil 3.1: Çinko Boratın X-Işını Kırınım Analizi	36
Şekil 3.2: Borik Asidin X-Işını Kırınımı Grafiği	38
Şekil 3.3: Agrega Gradasyonu.....	41
Şekil 3.4: Malzemelerin hassas terazide tartılarak eklenmesi.....	43
Şekil 3.5: 100x100x100mm ebatlarındaki numunenlerin şekillendirilmesi.....	45
Şekil 3.6: 300x75x25mm ebatlarındaki numunelerin şekillendirilmesi.....	45
Şekil 3.7: Kurutma işlemi kullanılan cihaz modeli	46
Şekil 3.8: Numunelerin benzer görünüşleri	47
Şekil 3.9: Tek eksenli basınç dayanımı test cihazı	50
Şekil 3.10: Üç nokta eğme test düzeneği	50
Şekil 3.11: Üç nokta eğme test cihazı	51
Şekil 3.12: Rötire test cihazı modeli.....	54
Şekil 3.13: Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi	55
Şekil 3.14: Ultrasonik ses geçiş hızı deney düzeneği.....	55
Şekil 3.15: Isı iletkenlik testi deney düzeneği	56
Şekil 3.16: Yanmazlık testi deney düzeneği	57
Şekil 3.17: Taramalı elektron mikroskobu cihazı	58
Şekil 3.18: Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım cihazı	58
Şekil 3.19: X-ışını difraktometre cihazı	59
Şekil 4.1: Üretilen numunelere ait yoğunluk değerleri	61
Şekil 4.2: Üretilen numunelere ait basınç dayanım değerleri	62
Şekil 4.3: Üretilen numunelere ait kopma modülü değerleri	63
Şekil 4.4: Üretilen numunelere ait ses geçiş hızı değerleri	64
Şekil 4.5: Üretilen numunelere ait ısıl iletkenlik değerleri	65
Şekil 4.6: Üretilen numunelere ait termal kamera görüntüsü.....	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1: Oksijen İndeksine göre alev geciktiriciler	11
Çizelge 1.2: Günümüzde en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri.....	20
Çizelge 3.1: Saf Suyun Fiziksel Özellikleri	30
Çizelge 3.2: Saf Suyun Mineral Değerleri	30
Çizelge 3.3: Perlitin Genel Özellikleri	31
Çizelge 3.4: Ham Perlitin Fiziksel Özellikleri	32
Çizelge 3.5: Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri	32
Çizelge 3.6: Perlitin Kimyasal Özellikleri	32
Çizelge 3.7: Sodyum Silikatın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	34
Çizelge 3.8: Kolemanitin Kimyasal Özellikleri	34
Çizelge 3.9: Çinko Boratın Fiziksel Özellikleri	35
Çizelge 3.10: Borik Asidin Kullanım Alanları.....	36
Çizelge 3.11: Borik Asidin Fiziksel Özellikleri	37
Çizelge 3.12: Numuneleri oluşturan malzemelerin karışım oranları	41
Çizelge 4.1: Numuneleri oluşturan malzemelerin karışım oranları	60
Çizelge 4.2: Üretilen yalıtım malzemelerinin rötre değerleri.....	68
Çizelge 4.3: Yanmazlık testi sırasındaki ağırlık değişimleri.....	66

1. GİRİŞ

Çevresini etkileme ve değiştirebilme yeteneği insanlar için bilinen tarih kadar eskidir. Bu yetenek insanlar çevresindeki malzemeleri değiştirdikçe gelişmiş, ateşin keşfinden sonra artarak devam etmiş ve sanayi devriminden sonra insanı Ay'a taşıyabilen roketlere kadar ileri gidebilmiştir. Malzeme alanındaki bu gelişmeler insanın konfor seviyesinde artış sağlamış ve malzeme bilimi doğmuştur.

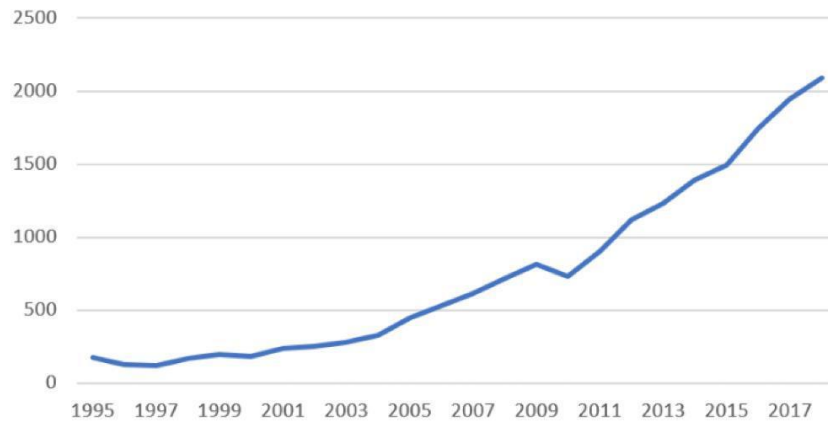
İnsanın konforunu ve estetik kaygısını karşılayan ve günlük yaşamımızda kullandığımız araç gereçlerden sosyal yaşantımızda önemli bir yer edinen giysilerimize, yaşam alanımızı saran mobilya, dekorasyon ve binalarımızın cephelerine ve daha birçok alanda karşılaştığımız ürünler malzeme biliminin günlük kullanımımıza sunduğu ürünlerdir. Bu ürünler can ve mal kaybına sebep olabilen yangınlara karşı dayanıksız ve yangının yayılmasını kolaylaştıran polimerlerden oluşabilmektedir. Kolayca şekil verilebilirliği ve ucuz hammadde cazibesi nedeniyle günlük yaşam konforumuzu sağlayan odun ve plastik gibi organik polimerlerin kullanımından doğabilecek olumsuz şartların engellenebilmesi için araştırmalar devam etmektedir.

Günlük hayatımızın birçok noktasında ve yaygın biçimde Elektrik-Elektronik sektöründe kullanım alanı bulan polimerler hafif olma ve ucuzluk gibi avantajlarının yanında yangına karşı dayanıksızlığıyla da kullanımında dikkat edilmesi gereken malzemeler haline gelmektedir. (Yıldırım, 1996). Organik polimer malzemelerin yangına karşı dayanıksızlığı nedeniyle ham olarak kullanılması maddi ve manevi sonuçlara sebebiyet verebilir.

Sebep olduğu hasarlara karşı bu ürünlerin üretilmesinde ve kullanılmasında bazı kısıtlamalara gidilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacı karşılayacak bazı teşvik ve destekler bu polimerlerin yangının yayılma hızını düşürecek şekilde üretilmesiyle Avrupa Birliği ve gelişmiş ülkelerce sağlanmaktadır. Bunun yanında tehlike teşkil edebilecek bazı ürünlerin kullanılması da zorlaştırılmaktadır (Çiftçi, 1996). Örneğin, Avrupa Birliği, bromlu difeniloksit yanmayı geciktiricilerinin kullanımını sınırlamayı önermiştir. Çünkü yanma sırasında yüksek derecede toksik ve kuvvetli kanserojeni bromlu furanlar ve dioksinler oluşabilir. Yeni alev geciktirici sistemlerin, sık sık değişen yeni çevre

yönetmelikleri, standartlar ve test metotlarının isteklerini karşılamak için geliştirilmeleri gereklidir.

Polimerlerin bu çalışmanın da odak noktası olan bir başka kullanım şekli polistiren köpüklerdir. Binalarda ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan bu köpükler iyi oranda yalıtım sağlamaktadır. Isı yalıtımı pratikte ısı kaybının engellenmesine denk geldiği için yapıların enerji ihtiyacının azalmasına sebep olarak enerji giderlerini azaltır ve ekonomiye pozitif değer katar. Bu kadar faydalı özelliklere sahip olmalarına rağmen bu malzemelerin alternatifleri üzerine çalışmalar Resim 1.1’de görüleceği üzere son zamanlarda artmıştır. Bu çalışmaların en büyük ortak özelliği yangına tepki sınıfları D-E olan yani alev kaynağının sürekli temas etmesi ile yanmaya devam eden ve alev kaynağı uzaklaştırılınca yanması duran bu malzemelerin yangın performanslarının iyileştirilmesidir. Bu yalıtım malzemeleri yangına karşı daha dayanıklı olabilmeleri için ya katkı madde ilavesiyle daha güçlü hale getiriliyorlar ya da bu durum araştırmacıları yeni tip ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilmesine sevk ediyor. Isı yalıtım malzemelerinin bu çarpıcı avantaj ve dezavantajlarının daha iyi anlaşılabilmesi için yanma olayı, alev geciktiriciler, ısı yalıtımı ve perlit esaslı ısı yalıtım malzemeleri konuları irdelenmiş elde edilen sonuçlara göre bor ilavesinin malzemenin ısı ve mekanik özelliklerine olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 1.1: Yalıtım malzemeleri alanında yapılan akademik çalışmaların yıllara dağılımı

1.1. Yanma Olayı

Günümüz yapılarının karşılaştığı en büyük tehlikelerden biri de yangındır. İnsan yaşamının sonlanmasına, maddi kayıpların yaşanmasına ve emsali olmayan sanat ve tarihi eserlerin kaybına sebep olabilen yangınlar dünya üzerinde her yerde meydana gelebilir. Yangınlar olduğu çevrenin şartlarına bağlı olarak değişmekle birlikte ortalama olarak 30 saniyede tahrip ettiği alan iki katına çıkarken ilk 4 dakikada 11 katına çıkabilmektedir. Meydana gelen yangınlar içerisinde ev yangınlarının payı yüksektir ve ülkemiz gibi gelişmekte olan ekonomilerde nüfus artışının hızlı olması, kentleşmenin çarpık olması ve sanayinin hızlı gelişmesi sonucu meydana gelen yangın miktarları artmakta ve bu durum neticesinde maddi ve manevi kayıpların artmaktadır (Kaya, 1999).

Evimizde kullandığımız birçok eşya genellikle ahşap, plastik ve tekstil sanayinin kullanımımıza sunduğu yüksek hidrokarbon içeren ve kolay yanmasının yanında alevin iletilmesini sağlayan malzemelerdir. Bina dışına baktığımızda ise tasarıma bağlı olarak kullanılan yalıtım malzemeleri ısıtıldığı zaman yüzeyleri çabuk ısınır. Malzemenin yanıcı olması durumunda bu durum alevlenmeye sebep olur. Malzemenin alevlenmesi iletkenlik, yoğunluk ve ısı kapasitesi olarak bilinen termal özelliğine bağlıdır. Yalıtım malzemelerin termal özelliği düşüktür (Stec ve Hull, 2010). Bu tip malzemeler yandığı zaman toksik gazlar salınır bu durum yangınlarda yaşanan can kayıplarının en önemli nedenlerindendir.

Yanma; Yakıt kaynağı, oksijen ve ısıyla gerçekleşen ekzotermik bir reaksiyondur ve yakıt kaynağında bulunan bağların kopmasıyla kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüştüğü fiziksel bir süreçtir. Bu süreç bu üç bileşenden herhangi biri tüketildiği ürece devam eder. Isı bileşeni alevlenmeyi başlatan etkidir ve atmosferden sağlanan oksijen ve organik malzemenin bileşenlerinden hidrokarbonla birleşerek yanmada önemli rol oynar (Kısakürek, 2003)

Polimerlerin bozunması sonucu ortaya yanıcı gazlar ve moleküller çıkabilmektedir. Bu gazların veya moleküllerin havadaki oksijenle etkileşime girmesi ve yanması esnasında alevlenme denilen olay görülür. Yanma olayı esnasında ortam ısısı nedeniyle polimerleri oluşturan zincirler sürekli olarak parçalanır ve ortamda alevlenme durmaksızın devam eder. Polimer zincirlerinin parçalanması sonucu ortama çeşitli gazlar

salınır ve bu gazların türü polimerlerin yapısıyla ilgilidir. Örneğin yapılarında halojen atomları barındıran poli (vinil klorür) ve poli (tetra-flor etilen) benzeri bileşiklerin yanması sonucu ortama karbon ve hidrojen gibi yanıcı gazlar salınır. Halojen bileşikleri daha sonra hidrojen atomlarıyla birleşerek Hidrojen-Florür (HF), Hidrojen-Bromür (HBr) ve Hidrojen-İyodür (HI) benzeri zehirli gazların ortama salınmasına sebep olurlar. Ortama salınan bu zehirli gazlar insan sağlığı üzerinde ciddi tehlike oluşturur ve yangın esnasında ortaya çıkan ısı kadar tehlikelidir. Yangın esnasında ortamda bulunan polimerlerin bu olumsuz özellikleri yapısında bulundukları ve konutlarda kullanılan plastik, ahşap, halı, döşeme, mobilya ve dekoratif objelerin kullanımında bazı iyileştirmelere gidilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Yoğun miktarda polimerden oluşan bu tip nesnelerin yapısına alev geciktirici çeşitli malzemenin eklenmesiyle bu olumsuz özellikler azaltılmaya çalışılmaktadır. Alev geciktiricilerin kullanılmasıyla;

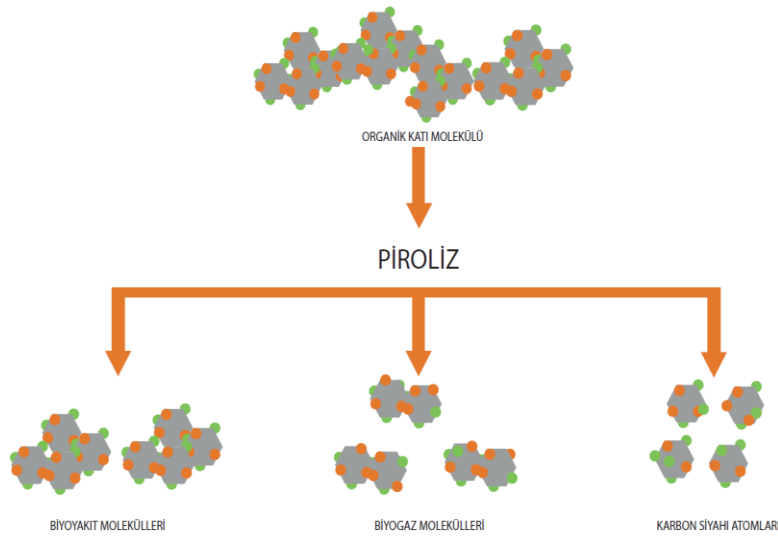
- Polimerlerin yanma süresi azalır,
- Yangın esnasında ortamdaki uzaklaşma süresi 15 kat artar,
- Yanma esnasında meydana gelen ısıнын $\frac{3}{4}$ 'ünün dışarı aktarılması engellenir,
- Yanan malzeme miktarı %50 oranında azaltılır ve
- Zehirli gazların $\frac{2}{3}$ 'ünün ortama salınması engellenir.

Yangın geciktirici olarak yüksek oranda polimer bileşiklerinden oluşan malzemelerin yapısına katılmak üzere genellikle halojen bileşikleri seçilmektedir fakat polimerlerin parçalanmasıyla ortaya çıkan hidrojen atomları ile halojen bileşiklerinin oluşturduğu hidrojen halidinin zehirli olma ve metalleri paslandırma gibi dezavantajları bulunmaktadır (Kracklauer, 1978).

Polimerlerin yanması sonucu ortaya çıkan elementlerden biri de Karbon (C)'dur. Oksijen yetersizliği bulunan ortamlarda meydana gelen yangınlar esnasında karbon oksijenle birleşerek karbon monoksit (CO) gazı açığa çıkarır. Karbon monoksit yüzeylerde siyah bir is tabakası oluşturur. Yangının erken evrelerinde ortaya çıkan karbon monoksit gazının solunması halinde kana geçen bu madde asıl görevi iç organlarımıza ve beynimize oksijen taşımak olan kandaki hemoglobin ile birleşerek kanda taşınan oksijen miktarını düşürür ve ani bayılmalara sebep olabilir (Kracklauer, 1978).

1.1.1. Piroliz

Organik malzemelerde yanma olayının başlayabilmesi için piroliz evresinin tamamlanması gerekmektedir. Piroliz, yunanca ısı anlamına gelen “pyro” ve parçalanmak anlamına gelen “lyse” kelimelerinden oluşan; yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda organik maddelerin termal kırılmaya uğradığı termo kimyasal sürecin adıdır. Süreç sonunda organik maddelerin içerisindeki sabit karbon ve uçucu ayrılır. Uçucunun daha sonra yoğunlaştırılmasıyla sıvı ve gaz formda iki farklı yakıt elde edilir. Piroliz kabaca, büyük moleküllerin daha küçük gaz, sıvı ve katı moleküllere dönüşmesidir.



Şekil 1.2: Organik katı molekülün piroliz etkisiyle parçalanması

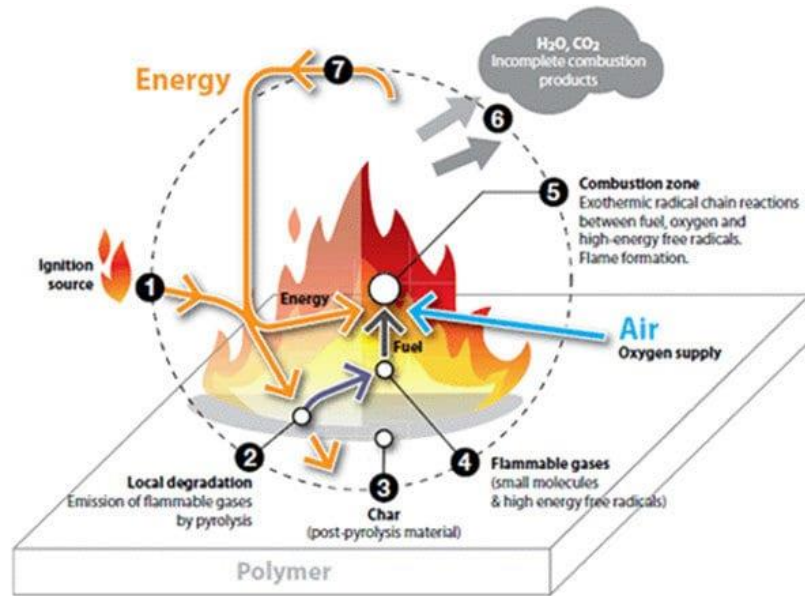
Malzemenin termik özellikleri sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir. Malzemenin soğutulması ya da ısı ile belirli bir enerji verilmesi halinde malzemenin yüzey sıcaklığının artmasıyla termik özellikleri değişir. Büyük oranda Hidrojen (H), Karbon (C) ve Oksijen (O) ihtiva eden organik polimer malzemeler piroliz olayı açısından bakıldığında yüksek sıcaklıklarda kendilerini oluşturan polimer zincirleri hemen kırılmakta ve örneğin tahtada olduğu gibi 4 kat hızlı çözünme sürecine girmektedirler.

Yanma olayı esnasında yanıcı gazlar yüksek sıcaklıklarda oluşur. Bunun bir nedeni yüksek sıcaklıklarda piroliz hızının yüksek olması ve Polipropilen örneğinde olduğu gibi malzemenin kendisinden daha yanıcı olan propan gazı gibi maddelerin oluşabilmesidir. Yüksek sıcaklıkta ve yüksek piroliz hızında oluşan bu yanıcı gazlar havadaki oksijenle birleşir ve kıvılcım anında yanma olayı gerçekleşir (Laoutid, 2003).

Yanmanın dağılmaması ve polimerlerin yanmaya karşı dayanıklı olması için;

- Düşük sıcaklıklarda malzeme yüzeyinde hızlı bozunum gerçekleşmeli ve yüzeyi yanmayan bir tabaka ile kaplanmalı,
- Ergime sıcaklığı yüksek ve yüksek sıcaklıklarda ısı kararlılığı olmalı
- Düşük sıcaklıklarda piroliz etkisiyle alevlenme gerçekleştiğinde karbondioksit, hidroklorik asit ve su gibi yanmayan maddeler ortaya çıkmalı (Lu, 2002).

Şekil 1,3'te yangın olayı şematize edilmiş ve yangının üç bileşenin pirolizin de yardımıyla ekzotermik reaksiyonu başlattığı açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.3: Isı, yakıt ve oksijenin yanma reaksiyonu

Organik maddeler dünyamızın her yerinde görülebildiği için dünyanın her tarafı yanma olayının gerçekleşebileceği yerlerdir. Bu yangınlar insan yaşamının son bulmasına sebep olabileceği gibi emsali olmayan sanat eserleri ve tarihi yapıların yok olmasına da sebep olabilir. Dünyaya paralel bir biçim de ülkemizde de sanayinin gelişmesi ve hızlı kentleşmeden dolayı meydana gelen yangınların ve bu yangınlarda meydana gelen maddi kayıpların miktarı her yıl artmaktadır. Meydana gelen yangınların %80'ine sahip olan ev yangınları ayrıca yangından ölümlerin de %90'ını barındırmaktadır (Kaya, 1999). Ev yangınlarının önlenmesi ile yangından ölümlerin önüne geçilebilir.

1.2.Alev Geciktirme Mekanizması ve Alev Geciktirici Malzemeler

1.2.1. Alev geciktirme mekanizması

Alev geciktirme mekanizması 5 şekilde karşımıza çıkabilir. Bunlar; Fiziksel Seyreltme, Kimyasal etkileşim, inert gaz ile seyreltme, termal su sentezi ve koruyucu tabaka oluşturmaktır.

1.2.1.1. Fiziksel seyreltme:

Bazı alev geciktiriciler termal kuyu olarak davranıp malzemenin ısı kapasitesini artırabilir ya da yakıt içeriğini alevlenme miktarının altına çekebilirler. İnert yapıdaki cam fiberleri ve talk gibi mineraller bu şekilde davranırlar.

1.2.1.2. Kimyasal etkileşim

Kimyasal etkileşim özelliği gösteren alev geciktiriciler serbest radikaller oluşturarak yanma zincirini kesebilirler (Wicklein ve diğ., 2014). Bromlu alev geciktiriciler etkinliği bu şekilde görülebilir.

1.2.1.3. İnert gaz

Bu yöntemle etkinlik gösteren alev geciktirici malzemeler termal bozunma sırasında bol miktarda tepkimeye girmeyen gaz salgılayarak ortamdaki oksijen miktarını kısıtlar ve yanma zincirini zayıflatarak alevlenmeyi keserler (Vilches ve diğ., 2005). Metal hidroksit, metal karbonat ve bazı nitrojen salgılayıcı materyaller bu yolla alevle mücadele ederler.

1.2.1.4. Termal su sentezi

Bazı endotermik tepkimelerde su sentezlenir ve ortamdaki ısı miktarı düşürülerek malzeme üzerinde yanmaz bir tabaka oluşturulabilir. Metal hidroksitler ve karbonatlar bu gruba örnektir (Laoutid ve diğ., 2008).

1.2.1.5. Koruyucu tabaka oluşturma

Koruyucu tabaka oluşturarak etkinlik gösteren alev geciktiriciler yandığı zaman malzeme yüzeyinde karbonca zengin bir tabaka oluştururlar ve bu tabaka polimeri korur, piroliz (parçalanma) sürecini yavaşlatır ve malzeme içinde yeni yanıcı gazların salınmasını engellerler. Fosforik asit salınımı yapan fosfor içerikli alev geciktiriciler bu gruba örnektir.

Çok fazla sayıda kimyasal malzemenin sinerjik etki oluşturarak organik malzemelere katılmasıyla oluşturulan alev geciktirici malzemeler düşük ısı özellik gösterebilmekte ve üretilmeleri için hem çok fazla enerji harcanması gerekmekte hem de karmaşık ve pahalı ekipmanlar gerektirmektedir (Wang ve diğ., 2017, Ullah ve diğ., 2011).

Termal özelliklerinin iyi olması ve düşük maliyetleri nedeniyle EPS ve XPS gibi köpük malzemeler yalıtım sektörüne hâkim konumdadırlar. Bu malzemeler organik polimer yapıları nedeniyle yangına karşı dayanıksızdırlar ve olası bir yangının binanın tüm cephesine yayılmasını sağlarlar. Yangınlarda oluşabilecek can ve mal kayıpları açısından problem teşkil eden bu gibi yalıtım malzemelerinin yanmayı geciktirici halojen içermeyen ve çevreye tehdit oluşturmayan bazı katkı maddeleri ile yeniden tasarlanması yanma hızını yavaşlatabilir (Kaya ve Öz, 1999, Wicklein ve diğ., 2014, Aydın ve diğ., 2016). Aksi durumda yangın esnasında CO salınımıyla kandaki hemoglobinin işlevsiz kalır ve ani bayılmalar ve sonrasında da ölümler görülebilir (Yıldırım ve Çelik, 2014).

Alev geciktiriciler bu denli hayati önemleri sebebiyle birçok araştırmaya konu olmuşlardır. Birçok bileşik alev geciktirme özellikleri bakımından incelemeye tabi

tutulmuş ve bu malzemeler fonksiyonel elementleri temel alınarak aşağıdaki gibi 6 sınıfta incelenmişlerdir (Prabhakar ve diğ., 2015).

1.2.2. Alev geciktirici malzemeler

Günlük hayatımızda önemli bir yeri olan plastik malzemelerin tamamının hidrokarbon esaslı olması ve benzer olarak yüksek derecede yanma özelliğine sahip organik esaslı tekstil malzemeleri yanma esnasında önemli risk faktörü haline gelmekte ve yanma performanslarının iyileştirilebilmesi için alev geciktirici malzemelerin kullanımının artmasına sebep olmuştur (Katırcıoğlu, 2018).

Yanmayan ve yanma performansını iyileştirici malzemelerin kullanımıyla yangınlardan dolayı oluşacak can ve mal kaybı en aza indirilebilir (Ttçyak, 1996). İnorganik minerallerden veya bileşiklerden meydana gelen alev geciktirici malzemeler dumanı bastırma ve alevin yayılmasını engelleme özellikleriyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu malzemelerin sınıflandırılması katkı maddeleri ve reaktif maddeler olarak yapılır. Karışım içinde dolgu malzemesi görevi yapan katkı maddeleri reaktif maddeler gibi karışımı oluşturan diğer bileşenlerle tepkimeye girmez (Mureimk 1998).

Metaller ve seramikler ark etkisiyle oluşan yangın olaylarında polimerlere göre daha güçlüdürler ancak pahalı olmaları araştırmacıları nanokompozit teknolojisi yardımıyla polimer malzemelere alev geciktirici malzemeler katma yöntemiyle polimerleri güçlendirme yolunda çalışmaya itiyor (Aydın, 2016).

Fiziksel seyreltme yöntemiyle çalışan alev geciktirici malzemeler eklendikleri malzemenin yanıcılık alt sınırını düşürür ya da ısı kapasitesini arttırırlar. Metal hidroksit gibi alev geciktiriciler kullanıldıklarında yanma esnasında büyük miktarda yanmayan gaz oluştururlar. Bu gazlar ortamdaki yanıcı gazları veya polimerleri seyrelterek yanma alt sınırına ulaşılması sağlar. Antimon (tri-hidroksit) ve magnezyum (hidroksit) gibi bazı alev geciktirici malzemeler yanma esnasında bozulduklarında oksit ve su sentezler. Su senteziyle malzeme üzerindeki ısıнын soğurulması sağlanır ve meydana gelen bu endotermik tepkimeyle alevin dağılmasını engeller ve malzeme yüzeyinde sıcaklığın düşmesine sebep olur. Malzeme yüzeyinde bir tabaka oluşturup piroliz sürecini yavaşlatan ve alevin yayılmasını engelleyen bir mekanizmayla çalışan örneğin fosfor

bileşikleri gibi alev geciktiriciler malzemenin oksijenle temasını kesmektedir (Prabhakar, 2015).

Alev geciktirici malzemelerden istenen katıldığı malzemenin yapısını bozmamak ve alevi geciktirme etkinliğini bozmamaktır. Belirli miktarlarda eklenen alev geciktiriciler malzemeyi seyrelterek oksijenle temasını kesmekte ve malzemenin yanmaya devam edebilmesi için ortamda bulunması gereken en düşük oksijen miktarını ifade eden oksijen indeksi değeri düşürmektedir. Bu şekilde çalışan alev geciktirici malzemelerden şunlar istenir;

- Oksit oluşturarak malzemenin oksijenle temasının kesilmesini sağlamak,
- Parça boyutu küçük olmak,
- Beyaz renkli veya renksiz olup ayrıca zehirsiz olmak,
- Sodyum tuzları gibi çözünmeyen malzemelerden oluşmak,
- Sertlik değeri Mohs sistemine göre en fazla 4 olmalı (Kaya, 1999).

Oksijen İndeksi test yöntemi yada (Limiting Oxygen Index test method) herhangi bir malzemenin yanma olayı başladıktan sonra devam edebilmesi için o anda ortamda bulunması gereken en düşük oksijen miktarının belirlenmesinde kullanılır. Bir maddenin LOI değerinin yüksek olması o maddenin zor yandığı anlamına gelmektedir çünkü bu malzemelerin yanması için ortamda yüksek miktarda oksijen bulunmalıdır.

LOI (Limiting Oxygen Index) test metodu malzemelerin alevlenebilirliği ve yanma karakteristiklerini görme açısından en iyi test metotlarından birisidir. LOI değeri, bir materyalin havada yanmaya devam etmesi için gereksinim duyduğu % oksijen miktarı anlamına gelmektedir. Yüksek LOI değeri standart atmosfer ortamlarında o malzemenin daha zor yanma karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir. Oksijen İndeksi bir malzemenin alev geciktirici olup olmadığının belirlenmesinde de kullanılır (Kaya, 1999). Schmidt, 1999'a göre LOI değeri %24'ten küçük malzemeler yanabilir alev alabilir sınıfından kendilerine yer bulurken LOI değeri %34'ten büyük malzemeler ekstra alev geciktirici olarak sınıflandırılır. Bu durum Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1: Oksijen İndeksine göre alev geciktiriciler

<%24	Yanabilir, alev alabilir	%29-34	Alev geciktirici
%24-28	Sınırlı alev geciktiriciler	>%34	Ekstra alev geciktirici

Alev geciktirme sektörüne baktığımızda pastanın en büyük dilimleri organik polimerlerin yoğun olarak kullanıldığı inşaat, elektrik-elektronik elemanları ve nakliye sektörüne aittir. Alev geciktiriciler faydalı olabildiği örneğin bromlu difeniloksit gibi yanma esnasında toksik ve kanserojenik maddeler oluşabilmektedir. Yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılan bu olumsuz sonuçların oluşmaması için örneğin AB’de olduğu gibi ürünlerin kullanımının yasaklanmasına gidilebilmektedir (Çiftçi, 1996).

1.2.2.1. Geleneksel alev geciktiriciler

Alev geciktirici olarak kullanılan geleneksel malzemeler antimon-halojen grubuna ait antimon trioksit ve bunlara nazaran daha ucuz olan metal hidroksitlerdir. Metal hidroksit grubunda ise yüksek sıcaklıklarda iyi performans gösteren magnezyum hidroksit ve pazar payı en yüksek olan alüminyum trihidroksit bulunmaktadır. Antimon trioksit ise yanma esnasında zehirli gazların oluşmasına sebep olduğu için bu maddelerin kullanımı Çevre Koruma Ajansı tarafından EPA (Environmental Protection Agency) yasaklanmıştır (Ayar, 2007).

1.2.2.2. Mineral esaslı alev geciktiriciler

Mineral esaslı alev geciktiriciler düşük maliyetli, yanmaya karşı dayanıklı ve çevre dostu malzemelerdir. Bu grubun en önemli üyeleri kalsiyum karbonat, bor ve mika gibi minerallerdir (Çelebi, 2009).

1.2.2.3. Metal hidroksitli alev geciktiriciler

Metal hidroksit bazlı alev geciktiricilerin duman salınımları düşüktür. Bu malzemeler ısındığından metal oksit bileşikleriyle birlikte su buharına bozunurlar. Su

buharı ortamın soğutulmasını sağlarken metal oksit bileşiği ise yüzeyde bir tabaka oluşturarak oksijenin, ısıнын ve alevin malzemenin içine doğru ilerlemesini engeller. Metal hidroksit bazlı alev geciktiricilere örnek olarak Alüminyum trioksit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), Magnezyum dihidroksit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), Antimon trioksit (Sb_2O_3) ve Genişletilebilir Perlit örnek gösterilebilir (Zhang ve Horrocks, 2003).

1.2.2.4. Hidroksikarbonatlı alev geciktiriciler:

Hidroksikarbonat içeren alev geciktiriciler metal hidroksit içeren alev geciktiricilere alternatif olabildiği gibi çevresel endişeleri de azaltan bileşiklerdir. Alevle temas etmeleri halinde yaydıkları su ve gaz bileşikleri alevin kesilmesini sağlar. Magnezyum karbonat ve kalsiyum karbonat dışındaki diğer tüm karbonat çeşitleri 1000 derecenin üzerinde CO_2 saldığı için çevre için nispeten daha iyi bileşiklerdir (Prabhakar ve diğ., 2015).

1.2.2.5. Boratlı alev geciktiriciler:

Borat içeren alev geciktiriciler çevre dostu, düşük zehirlilik gösteren ve ısıtıldıklarında yüzeylerinde kurşun benzeri camsı bir yüzey oluşturarak ve polimerlerin oksijenle temasını keserek bozunurlar. 290 C ile 450 C arasında bozunan borat bileşikleri yapılarındaki su, borik asit ve boron oksit (B_2O_3) bileşikleri üreterek aleve karşı dayanım sağlarlar. En çok kullanılan borat bileşiği çinko borattır ($2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$).

1.2.2.6. Kalsiyum karbonat

CaCO_3 kimyasal formülüne sahip kalsiyum karbonat çöktürme yöntemiyle edilir. Ucuz bir hammadde olan bu bileşik dolgu maddesi ya da alev geciktirici olarak kullanılır (Briggs, 1998). Nano boyutlu kalsiyum karbonat malzemesinin Polipropilene katıldığında ısı yayılım oranlarında iyileşme olduğu görülmüştür (Deodhar, 2006). Kalsiyum karbonat dolgu malzemesi özelliğiyle silikon endüstrisinde kullanılmaktadır

(Xu, 2008). Bu malzemenin ayrıca silikon elastomer için istenmeyen asit kalıntılarını nötrleştirir (Hermansson, 2003).

1.2.2.7. Talk

Hidrofobik bir yapıya sahip olan talk elektrik ekipmanlarının yalıtımında ve de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Toporcer, 1993). Elektrik kablolarında ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan talk minerali kalsiyum karbonat ile birlikte dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (George, 2006).

1.2.2.8. Bor

Dünyadaki rezerv dağılımına baktığımızda bu rezervlerin %73,5'i Türkiye'de bulunan bor bileşiği cam, seramik, tarım vb. sektörler için önemli bir alev geciktirici malzemedir (Aydın, 2016).

Bir bor bileşiği olan borik asit bileşiği organik maddelere yanmazlık özelliği kazandırılması amacıyla kullanıldığı için bu minerale olan talep sürekli artmaktadır (Laoutid ve diğ., 2009).

Zehirli gazların salınımına sebep olmayan ve yüksek sıcaklıklarda camsı koruma tabakası oluşturan borlu bileşiklerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Sadowska, 2015).

1.2.2.9. Vollaŝtonit

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan vollaŝtonit kendiliğinden oluşan bir mineraldir (Pritchard, 1998, Park, 2007). Yapılan bir çalışmada vollaŝtonit ilavesinin kauçuk malzemenin çekme ve yırtılma mukavemetinde artma gözlemlenmiştir (Nicholson, 2000).

1.2.2.10. Mika

Esnek tabakalı katmanlı bir yapıya sahip mika kullanım açısından temel olarak iki gruba ayrılır. Bu grubun ilk üyesi Muskovit ve diğeri ise flogopittir. Silikon ağına mika eklenmesiyle mekanik özelliklerdeki değişimlerin gözlemlendiği bir çalışmaya göre mika ilavesi polimerin elastiklik modülüne olumlu etkisi olmuştur (Briggs, 1998, Osman, 2001).

1.2.2.11. Halojenli alev geciktiriciler

Halojen içeren alev geciktiriciler serbest radikalleri tutma becerileri sayesinde etkili alev geciktirici malzemeler olarak tanımlanır. Flor, Klor, Brom ve İyot gibi halojenlerin atomik boyutları $F < Cl < Br < I$ şeklinde sıralanır. Flor içeren alev geciktiriciler atomik bağların daha stabil olduğu için yüksek sıcaklıklara İyot içeren bileşiklere göre daha iyi dayanır. Organoklorin ve organobromin içeren bileşikler en çok kullanılan halojenli alev geciktiricilerdir.

1.2.2.12. Fosforlu alev geciktiriciler

Fosfor içeren alev geciktiriciler oksijence bol malzemelerle kullanıldığında çok etkili olmaktadır. Bu tür alev geciktiriciler termal bozunmayla fosforik asit ve suya dönüşürler. Bu durum hem sıcaklığın düşürülmesine hem de alevin yayılmasının engellenmesine neden olur. Bu tür alev geciktiricilere örnek olarak amonyum polifosfat, klorofosfat ve bromofosfat gösterilebilir (Prabhakar ve diğ., 2015).

1.2.2.13. Nitrojenli alev geciktiriciler

Nitrojen içeren alev geciktiriciler de çevre dostu ve düşük toksik özellik gösteren malzemeler arasında gösterilebilir. Bu tür kimyasallar amonyum ve bol nitrojen salgılayarak malzeme yüzeyinde yanmaz bir tabaka oluşturarak etkinlik gösterirler. Bu tür malzemelere örnek olarak melamin, melamin siyanürat ve amonyum polifosfat bileşikleri gösterilebilir (Laoutid ve diğ., 2008).

1.2.2.14. Silikonlu alev geciktiriciler

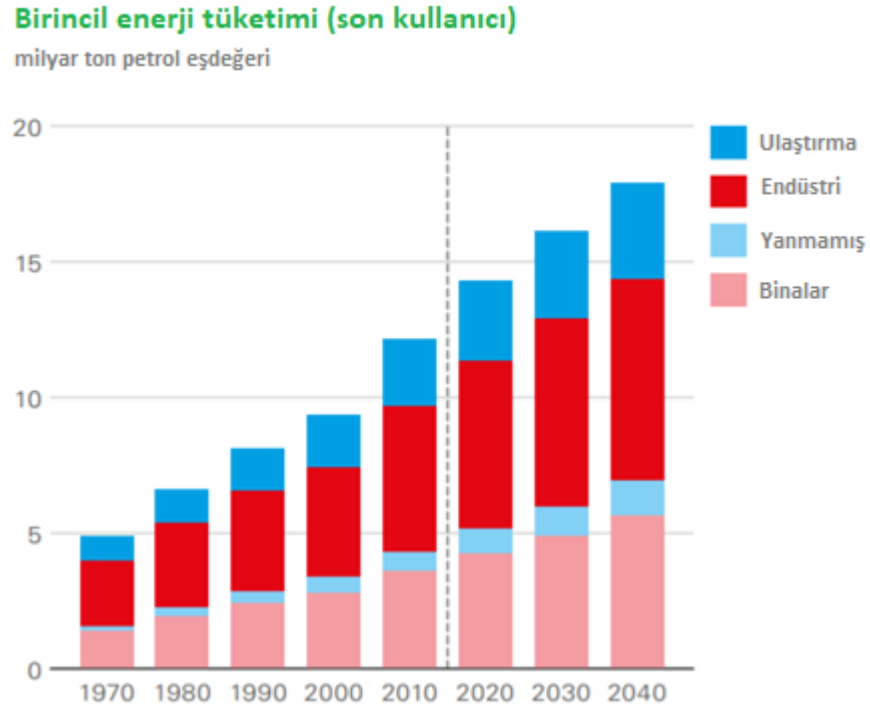
Birçok silikon bazlı bileşik polimerik malzemeler için potansiyel alev geciktirici olarak görülmektedir. Silikon, silika ve silikat bileşikleri bu bileşikler arasındadır. Silikon bazlı bileşikler termal kararlılıkları ve düşük toksik gaz salınımları nedeniyle uygun alev geciktirici malzemeler olarak sınıflandırılırlar. Bu bileşikler alev geciktirme özelliklerini malzeme yüzeyinde oluşturdıkları yanmayan katman sayesinde gösterirler.

1.2.2.15. Nano boyutlu tanecik içeren alev geciktiriciler

Karbon nanotüp, nano kil ve metal oksit partikülleri içeren nano boyutlu bileşikler ısı yalıtımı sağlama, mekanik özellikleri güçlendirme ve yangına karşı koruma gibi özellikleri sayesinde son yıllarda bu alanlardaki araştırmalar için odak noktası olmuşlardır. Karbon nanotüp bileşikleri kararlı karbon bağı yapıları sayesinde yüksek sıcaklığa dayanır ve malzemeyi aleve karşı korurken nano kil içerikli malzemeler tek başlarına aleve karşı koruyamazken diğer alev geciktiricilerle birlikte kullanılır. Metalik oksit içerikli malzemeler de kararlı morfolojik yapıları sayesinde yüksek sıcaklıklara karşı bozunmadan kalabilirler. Magnezyum oksit, Çinko oksit ve demir oksit bileşikleri metal oksit bileşiklerine örnek olarak gösterilebilir (Yıldırım ve Çelik, 2014, Özdemir ve diğ., 2013, Wicklein ve diğ., 2014, Prabhakar ve diğ., 2015, Aydoğan ve Usta, 2015, Aydın ve diğ., 2016, Çoban ve Aytaç, 2017, Katırcıoğlu, 2018, Savaş ve Doğan, 2018).

1.3. Isı Yalıtımı

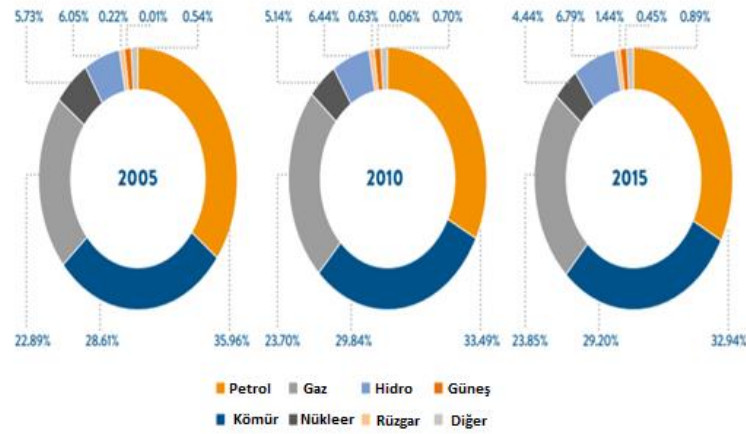
Enerji 21. yüzyıl insan hayatının sürdürülebilmesi için en önemli kaynaklardan biridir. Teknolojinin baş döndürücü bir hızla ilerlemesi ve insan konforu ile yaşam kalitesini geliştirmeyi amaçlayan ürünlerin kullanıma sunulması enerji dönüşümü sayesinde olmaktadır. Artan nüfus ve sanayi ile teknolojiye gelişmeler enerji talebini arttırmakta böylece enerji tüketimi gün geçtikçe artmaktadır (Bektaş ve diğ., 2017). Şekil 1.4’te sunulan ve British Petroleum (BP) tarafından her yıl düzenli olarak yayınlanan Enerji Atlasının 2019 raporuna göre endüstri ve konutların en önemli paya sahip olduğu küresel enerji tüketiminin yansıtılmış tahminlerle 2040 yılına kadar düzenli olarak artacağı belirtilmiştir.



Şekil 1.4: Küresel Enerji Tüketimi (BP, 2019)

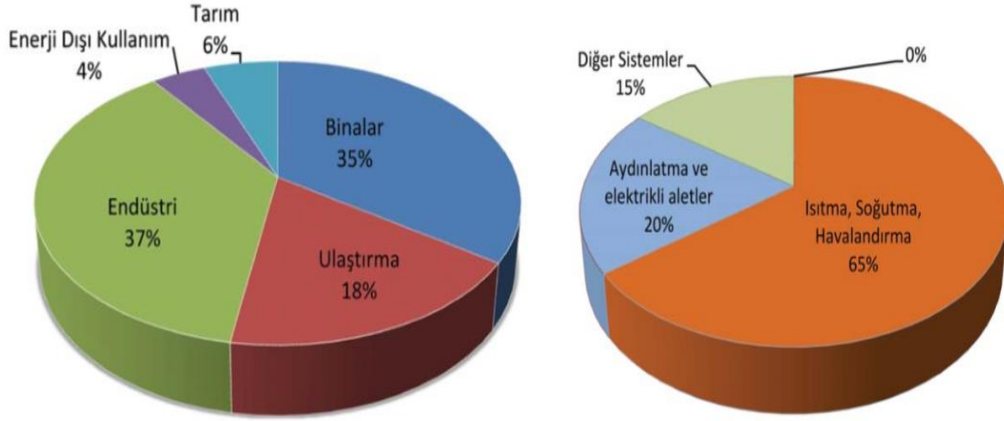
Artan enerji talebi günümüzde halen geçmişte yaşamış olan bitki ve hayvan kalıntılarının karbonlaşma süreci sonunda oluşan fosil kaynaklardan sağlanmakta ve bu sürecin sonunda gezegenimizin atmosferinde değişikliğe sebep olan iklim değişikliği konusunda dramatik sonuçları beraberinde getiren karbondioksit gazı ile birlikte zehirli sera gazları da salınmaktadır (Ji ve diğ., 2015). Şekil 1.5’te küresel enerji üretiminin sağlandığı kaynaklar gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 10 yıllık süreç içinde kullanılan

enerji kaynaklarında belirgin bir değişim olmadığı ve bu kaynakların petrol, doğalgaz ve kömüre büyük oranda bağlı olduğu görülebilir. Fosil kaynakların bu denli yoğun olarak kullanılması bu kaynaklarca fakir olan Türkiye gibi ülkeler için ciddi sonuçlar doğurabilmekte ve enerjide dışa bağımlı olmakla ekonomik zorluklar baş gösterebilmektedir (Bektaş ve diğ., 2017). Bunun önüne geçilebilmesi için güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hidrolik enerjiden faydalanılması ve enerjinin etkili ve verimli bir biçimde kullanılması zorunluluğu doğmuştur (Uluer ve diğ., 2017, Bayraktar, 2016).



Şekil 1.5: Küresel Enerji Kaynakları (Kaynak: <https://www.worldenergy.org/>)

Enerjinin verimli kullanabilmek için kayıpları azalmak gerekir. Enerjinin kullanıldığı alanlara baktığımızda konutların büyük payı olduğu görülür. Şekil 1.6’da Türkiye’de enerjinin kullanıldığı alanlar belirtilmiştir. Türkiye’de enerji tüketiminin %30’a sahip konutlarda yapılacak verimlilik çalışmaları enerjide dışa bağımlılık ve ekonomik kaygılar açısından faydalı olacaktır. Bu nedenle yeni yapılacak olan binaların güvenlik ve konfor şartlarını yerine getirebilmeleri için bu binaların inşa sürecinden yıkımına kadar tüm safhalarında enerjiyi verimli bir şekilde kullanmaları gerekmektedir (Asdrubali ve diğ., 2015). Konutlarda enerjinin kullanıldığı alanları gösteren Şekil 1.7’ye baktığımızda %65 ile ısıtma, soğutma ve havalandırma işlemlerinin en büyük paya sahip olduğunu görülebilir. Bu alanda yapılacak en iyi verimlilik çalışmaları bu işlemler sonucunda oluşan ısı kayıplarını engellemekle mümkün olabilmektedir (Bektaş ve diğ., 2017, Asdrubali ve diğ., 2015, Uluer ve diğ., 2017, Stec ve Hull, 2010, Tıkız ve diğ., 2018, Yıldız ve Arslan, 2018, Pamukçu ve diğ., 1997, Kaynaklı ve Yamankaradenedeniz, 2007, Won ve diğ., 2012, Binici ve Aksogan, 2014, Erdoğan, 2015).



Şekil 1.6: Türkiye’de Kullanılan Enerjinin Sektörlere Dağılımı

Şekil 1.7: Konutlarda Enerji Tüketimi

Kısaca farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı geçişini sınırlamak için kullanılan ısı yalıtımı terimi binalarda ısı kayıplarını azaltacak ve ısı kazancını artıracak işlemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Bayraktar, 2016). Yüksek sıcaklık dağılımlarında yansıtıcı yüzeyler ışınlama ısı geçişini önemli ölçüde azaltırken düşük dağılımlarda malzemenin iletim ve taşınım ile olan ısı iletkenliğini engellemesi beklenir. Bu durum genellikle gaz boşlukları oluşturularak sağlanır (Stec ve Hull, 2010). Isı yalıtımıyla istenilen konfor şartları daha az enerjiyle mümkün olabildiği için bu enerjinin üretilmesi sırasında oluşan karbondioksit emisyonunun azalması dolayısı ile atmosfere daha az zehirli gaz salınımıyla küresel ısınma ve iklim değişikliğine pozitif katkı sağlanır. Bu sayede ülke ekonomisine katkı sağlanabilmekte, çevre kirliliği azaltılabilmekte ve geliştirilen teknolojik yalıtım malzemeleriyle nem, küf ve mantar gibi zararlıların çoğalması engellenerek insan sağlığı korunabilmektedir (Asdrubali ve diğ., 2015, Uluer ve diğ., 2017, Stec ve Hull, 2010, Tıkız ve diğ., 2018, Yıldız ve Arslan, 2018, Pamukçu ve diğ., 1997, Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007, Won ve diğ., 2012, Binici ve Aksogan, 2014, Erdoğan, 2015). Ayrıca enerji tüketimi azaltıldığı için israfın önüne geçilebilmektedir (Bektaş ve diğ., 2017). Enerji tüketimini azaltmaya yönelik bazı çabalar Birleşik Devletler Enerji Bakanlığı tarafından sürdürülmekte ve bu çabaların sonunda binalarda enerji tüketiminin 2020 sonlarına doğru %20 azaltılması hedeflenmektedir (Li ve diğ., 2016). Ülkemizde ise TS 825 standardı ile binalarda ısı yalıtımı kuralları belli bir düzenlemeye tabi tutulmuş ve 4 bölgeye ayrılan ülkemizde bölgelere göre kullanılacak

ısı yalıtım malzemelerinin maksimum ısıl iletkenlik katsayıları standartlaştırılmıştır (Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007). Bu bölgeler Şekil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.8: Türkiye’de derece-gün yöntemine göre belirlenen ısı yalıtım bölgeleri

Isı yalıtım malzemeleri genellikle organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılır. Organik malzemeler yüksek hidrokarbon içerikleri nedeniyle alev karşısında dayanıksız olmakla birlikte alevin yayımcılığını artırmaktadır. Bunun yanında yangınları durumunda çevreye zararlı toksik gazlar da salan bu malzemelerin kullanımı sınırlandırılmakta ve inorganik yalıtım malzemeleri gelecek araştırmalar için öne çıkmaktadır (Ji ve diğ., 2015).

Günlük hayatımızın birçok noktasında ve yaygın biçimde Elektrik-Elektronik sektöründe kullanım alanı bulan polimerler hafif olma ve ucuzluk gibi avantajlarının yanında yangına karşı dayanıksızlığıyla da kullanımında dikkat edilmesi gereken malzemeler haline gelmektedir. (Yıldırım, 1996). Organik polimer malzemelerin yangına karşı dayanıksızlığı nedeniyle ham olarak kullanılması maddi ve manevi sonuçlara sebebiyet verebilir. Sebep olduğu hasarlara karşı bu ürünlerin üretilmesinde ve kullanılmasında bazı kısıtlamalara gidilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyacı karşılayacak bazı teşvik ve destekler bu polimerlerin yangının yayılma hızını düşürecek şekilde üretilmesiyle Avrupa Birliği ve gelişmiş ülkelerce sağlanmaktadır. Bunun yanında tehlike teşkil edebilecek bazı ürünlerin kullanılması da zorlaştırılmaktadır (Çiftçi, 1996).

1.3.1. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri

Bina yalıtımı genel olarak petro-kimyasal polistiren köpükler gibi organik malzemeler veya yüksek enerji tüketimiyle işlenen cam ve taşyünü gibi inorganik mineral malzemelerle yapılmaktadır. Organik ürünler üretim aşamasında ortaya çıkan çevreye zararlı toksik gaz emisyonları ve yaşam döngülerini tamamladıklarında geri dönüştürülemez gibi özellikleriyle çevre üzerinde olumsuz örnekler teşkil etmektedir (Asdrubali ve diğ., 2015, Ji ve diğ., 2015). Bu nedenle çevreye duyarlı, estetik kaygıları giderebilecek, kullanım ömrü yüksek, kaliteli, darbeye dayanımlı ve ısı iletkenlik katsayısı düşük inorganik bazlı yalıtım malzemelerin geliştirilmesi akademik araştırmalar için yeni bir alan açmaktadır. (Bektaş ve diğ., 2017, Yıldız ve Arslan, 2018).

Günümüzde en çok kullanılan yalıtım malzemeleri; yangına tepki sınıfı, ısı iletkenlik katsayısı, kullanım sıcaklığı ve su buharı difüzyon katsayısı gibi bazı özellikleriyle İZODER Bina ve Tesisatlarda Isı Yalıtımı ve İnşaat Mühendisleri Odasının Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri kataloglarından derlenerek Çizelge 1.2’de sunulmuştur.

Çizelge 1.2: Günümüzde en çok kullanılan ısı yalıtım malzemeleri

Yalıtım Malzemesi	Yangına Tepki Sınıfı	Isıl İletkenlik (W/mK)	Kullanım Sıcaklığı (°C)	Güneş Işıklarına Tepki	Su Buharı Difüzyon Katsayısı (μ)
Camyünü	A1-A2	0.035-0.050	-50/+250	Etkilenmez	1
Taş yünü	A1-A2	0.035-0.050	-50/+650	Etkilenmez	1
EPS	D-E	0.035-0.040	-50/+75	Hassastır	20-100
XPS	D-E	0.035-0.040	-50/+75	Hassastır	80-250
PUR	D-E-F	0.025-0.040	-200 / +110	Hassastır	30-100
Fenol Köpüğü	B-C	0.030-0.045	-180 / +120	-	10-50
Cam Köpüğü	A	0.045-0.060	-260 / +430	Etkilenmez	∞ (geçirimsiz)
Gen. Perlit	A	0.045-0.065	-250 / +1000	Etkilenmez	5
Polietilen	D-E	0.035-0.040	-40/105	Hassastır	3500
Poliölefin	D-E	0.035-0.040	-80/95	Dayanıklısıdır	7000

Cam yünü, Taş yünü, Perlit, Ponza mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılırken; Poliüretan köpük, Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük (EPS), Ekstrüde Polistiren Sert köpük (XPS), PVC (Polivinil köpüğü) sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılmaktadır (Karadayı ve Yüksek, 2016, Yasdıman, 2017).

Cam yünü ve taş yünü genellikle yanmayan yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılır. Bunun nedeni düşük piroliz özellikleriyle malzeme yüzeyinde yanmayan bir tabaka oluşturmaları ve ateşin yayılmasını engellemeleridir. Yapılan bir çalışmada cam yünü, taş yünü EPS, XPS, Poliüretan köpük ve Fenolik köpüğün toksik özellikleri incelenmiş ve cam yünü ve taş yünü dışındaki malzemelerin hidrojen siyanid gibi zehirli gazlar yaydığı ortaya konulmuştur (Stec ve Hull, 2010).

Yaygın kullanıma ve düşük ısı iletkenlik değerlerine sahip olmalarının yanında EPS ve XPS gibi köpük malzemeler yangın esnasında kötü performans sergilemeleri ve insan hayatını riske atmaları sebebiyle kullanımlarının sınırlandırılması ve alternatif malzeme arayışları başlamıştır. Bu alternatifler arasında göze ilk çarpanlar cam ve taş gibi inorganik minerallerden elde edilen lifli yapıdaki yünlerdir. Ayrıca uçucu tozlar, atık porselen tozu, ponza, perlit, kil, keten, ananas yaprakları ve atık zeytin çekirdeklerinin kullanımıyla oluşturulan yalıtım malzemeleri de mevcuttur (Asdrubali ve diğ., 2015, Uluer ve diğ., 2017, Stec ve Hull, 2010, Tıkız ve diğ., 2018, Yıldız ve Arslan, 2018, Pamukçu ve diğ., 1997, Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007, Won ve diğ., 2012, Binici ve Aksogan, 2014, Erdoğan, 2015, Ji ve diğ., 2015, Binici ve Aksogan, 2016, Oktay, 2016).

1.3.2. Perlit esaslı ısı yalıtım malzemeleri

Çizelge 1.2’de özetlenen ısı yalıtım malzemelerine ek olarak üzerinde ciddi araştırmalar ve laboratuvar deneyleri yapılan bir diğer malzeme ise perlit esaslı ısı yalıtım malzemesidir. Perlit esaslı ısı yalıtım malzemeleri üzerine (Oktay, 2017) ve arkadaşları araştırmalar yapmış ve bu malzemenin uygun koşullarda hazırlanıp kürlenmesiyle aleve dayanıklı ve ısı iletkenlik katsayısı düşük yapı malzemelerinin üretilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmalarda dış cephe mantolama (yalıtım malzemesi) için üretilen yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı 0.05 W/mK’nin altında olduğu görülmüştür. Bu değerler yangından korunma, yalıtım ve milli kaynaklardan yararlanma alanlarında polistiren köpüklere alternatif olabilecek düzeylerde dir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Akarıslan (2015), borik asitin alev geciktirme özelliğinden yararlanmak istemiş ve pamuklu kumaş üzerine borik asit ilave etmiştir. Elde ettiğı sonuçlara göre pamuklu kumaşın alev geciktirici özelliğı artmıştır.

Giúdice (2001) alev geciktirici malzemelerinin oksijen indeksine etkilerini araştırmış ve başlangıçta LOI değeri %23,7 olarak tespit edilen tahta parçasına çinko borat karışımı eklendiğinde bu değerin %55'e çıktığını gözlemlemiştir.

Ayar (2014) pamuklu kumaşa çinko borat ilave etmiş ve başlangıç oksijen konsantrasyonu %19,39 olan pamuklu kumaşın oksijen konsantrasyonunun çinko borat ilavesiyle %42,43'e çıktığını gözlemlemiştir.

Atalay (2012) tahta parçasını magnezyum boratlı yüksek sıcaklık boyası ile kaplamış ve LOI değerinin %22'den %39'a çıktığını gözlemlemiştir.

Başka bir çalışmada ise EPS ve XPS gibi iyi yalıtım malzemelerin içindeki gözenekli yapılarda bulunan nispeten düşük ısı iletim katsayılı gazların zamanla havayla yer değiştirerek ısı iletimini arttırdığı ve 5 yıl boyunca incelenen bu köpük malzemelerin ısı iletim katsayılarının yükseldiğı belirtilmiştir (Uluer ve diğ., 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Agregalar

3.1.1.1. Feldispat

Yapılarında bulunan Sodyum (Na), Potasyum (K) ve Kalsiyum (Ca) miktarlarına göre Feldispatlar; Sodyum feldispat olarak cam üretiminde gerekli olan alümina ihtiyacının karşılanmasında Albit, Potasyum feldispat seramik ve porselen üretiminde Mikroklin ve Kalsiyum feldispat ise Anortit olarak üçe ayrılırlar.

Feldispatların başlıca kullanım alanları cam ve porselen olarak;

Cam:

- Optik Levhalar
- TV ekranı
- Pencere

Porselen ve Seramik

- Fayans
- Seramik
- Porselen mutfak eşyası olarak gösterilebilir.

Bunların dışından sert olması, kütleme sonrası beyaz renk alması ve bağlayıcılık gibi özellikleri sayesinde kaynak çubuklarının kaplanması ve mermer üretiminde de kullanılırlar (Burat, 2017).

3.1.1.2. Kuvars

İçerisindeki yüksek miktarda silikon sayesinde yerkabuğunda bolca bulunan kuvars minerali yüksek saflıkta ve şu anda kullanılan birçok teknolojik malzemenin hammaddesinde bulunur.

Kuvarsın başlıca kullanım alanları:

- Ampuller
- Mikroelektronik aletler
- Silikon solar hücreler
- Yarı iletkenler ve
- Seramik olarak sıralanabilir (Tosun ve ark., 2020).

3.1.1.3. Mika

Bir alüminyum silikat türü olan mika yer kabuğunda bulunan kayalar üzerinde %3,8 paya sahiptir. Mikalar silisyum ve alüminyum dışında magnezyum, potasyum ve lityum elementleri de içerirler. Lityumlu, magnezyumlu ve potasyumlu mika adını almaları bundandır (Oktay, 2017).

3.1.2. Sertleştiriciler

3.1.2.1. Asetik asit

Suda tamamen çözünabilen ve sentetik yollarla elde edilebilen zayıf bir asit türü olan asetik asitin tuz formuna asetat denir. Asetik asitin bir başka türü olan glasiel formu %99,5 saflıktadır ve kristal yapıya dönmesi 17°C'de gerçekleşir.

Asetik Asitin başlıca kullanım alanları:

- Vinil asetat olarak kimyasal maddelerin üretiminde,
- Sirke imalatı,
- Turşu yapımı,
- Sanayide çözücü olarak sıralanabilir (Oktay, 2017).

3.1.2.2. Fosforik asit

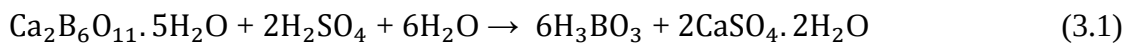
F, H ve O atomlarının birleşmesinden meydana gelen ve H_3PO_4 olarak formüle edilen fosforik asit bileşiği kristal formunda rengi olmayan katı bir kimyasaldır. Birçok sektörde ve endüstriyel üründe kullanılan fosforik asit tarımda pektisit ilacı ve gübre, kaplama sanayinde boya asitliğini dengeleyici olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.1.2.3. Kolemanit

Maden ve Enerji endüstrilerinde kendine yer bulan bor elementi yaygın olarak birden fazla sektörde kullanılmaktadır. Bor elementi, doğal / ham bor minerallerinde bor trioksit (B_2O_3) olarak bulunur. Türkiye rezervleri dünya çapında %73 dağılıma sahipken kapasite 955 milyon tona denk gelmektedir. Bor mineralleri arasında yaygın olarak bulunan cevherlerden bir tanesi de kolemanittir. Son zamanlarda yapı sektöründe özellikle beton teknolojisinde yoğun olarak araştırılan bu mineral yoğunlaştırıcı tesiste zenginleştirme işleminden sonra konsantre cevher şeklinde elde edilir. Bu cevhere uygulanan kırma ve öğütme gibi fiziksel işlemlerden sonra paketlenerek hazırlanır. Bu araştırmalar sonucunda kolemanit minerali katkısının betonun sertleşme süresini artırdığı ancak zamanla basınç dayanımına olumlu katkıları olduğu belirtilmektedir. Kolemanitin basınç dayanımı üzerindeki olumlu etkisi, kolemanitin mineral yapısı ile açıklanmaktadır (Kutuk-Sert ve diğ., 2020).

3.1.2.4. Borik asit

Birçok üretim yönteminin yanında borik asit genellikle aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi sülfürik asit ile kolemanitin kimyasal reaksiyona girmesiyle üretilmektedir. Bu heterojen (katı-sıvı) reaksiyon aşağıda gösterildiği gibi gerçekleşmektedir. Katı kolemanit ve sıvı sülfürik asitin tepkimesi sonucu borik asit çözelti halinde kalırken jips kristal halde dibe çökmektedir (Çelikoyan ve diğ., 2010).



Borik asidin zehirliliği üzerine yılında yaptığı bir çalışmada 1170 ppm borik asit ve boraks verilen deney fareleri üzerinde iddia edildiği gibi doğurganlık, emzirme, ağırlık ve görünüm ile ilgili herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Ancak borik asidin canlı metabolizmasına etkilerini inceleyen ve tavşanlar üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise içme suyuna katılan 31.25, 62.5 ve 125 mg/kg (canlı ağırlık) borik asidin serum alkali fosfataz enzim aktivitesini artırdığı ve serumdaki fosfor ve çinkonun serumdaki düzeylerini artırıcı etkide bulunduğu belirtilmiştir. Kemiğin yapısıyla ilgili bu parametrelerin borik asitten etkilenmesi bor ile daha yüksek dozlarda yeni çalışmaların yapılması bu çalışma kapsamında önerilmiştir Weir ve diğ., 1972, Yiğit ve diğ., 2013).

3.1.2.5. Hidrojen peroksit

Hidrojen peroksit (H_2O_2) suyla serbestçe karışabilen ve hücre zarını geçebilen mavi renkli bir sıvıdır. Fizyolojik durumu maruz kalma süresi ve etki ettiği hücre tipine göre zehirli olabilir. Kimyasal açıdan, H_2O_2 zayıf reaktiftir: hafif bir oksitleyici veya hafif bir indirgeyici madde olarak hareket edebilir, ancak lipidler, DNA ve proteinler dahil olmak üzere çoğu biyolojik molekülü kolayca oksitlemez. Hidrojen peroksit tehlikesi büyük ölçüde ya ultraviyole ışığa maruz kalma ya da muhtemelen en önemlisi demir olan bir dizi geçiş metali iyonu ile etkileşim yoluyla reaktif hidroksil radikale dönüştürülmesinden kaynaklanmaktadır (Halliwell ve diğ., 2000).

3.1.2.6. Sodyum klorür

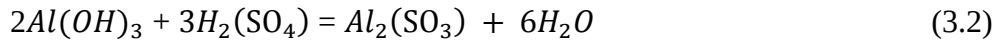
Sodyum Hidroksil ve Hidrojen Klorür bileşiklerinin kimyasal tepkimesinden meydana gelen sodyum klorür kristali bolca bulunan bir tuz türüdür ve yapı sektöründe incelenmesi özellikle kış aylarında asfaltta meydana gelen don olaylarının önüne geçilmek üzere kullanılmasıyla başlar.

Suda kolayca çözünebilen sodyum klorür kristalleri sıvı formuyla beton ve asfalt yapılarına nüfuz eder ve sıcaklık artıp su buharlaştığında ise beton içerisindeki boşluklarda birikerek buralarda kristal yapılar oluşmasını sağlar. Bu kristaller betonda donma-çözülme kaynaklı hasarların oluşmasını sağlar (C. Kara ve diğ., 2020).

3.1.2.6. Alüminyum sülfat

Bazik alüminyum sülfat, $Al(SO_4)_3$ formülünün gerektirdiğinden önemli ölçüde daha az sülfürik asit içeren veya $Al_2(SO_4)_3$ formülünün gerektirdiğinden fazla alümina içeren, aksi takdirde sıklıkla $Al_2(SO_3)$ olarak yazılan alüminyum sülfattır (Sargent, 1940).

Yapılan bir çalışmada alüminyum hidroksit ve sülfürik asidin kimyasal tepkimesiyle alüminyum sülfat elde edilmiştir. Bu çalışma aşağıda belirtilen denklem doğrultusunda iki birim alüminyum hidroksit tepkimesi sonucu onun yarısı alüminyum sülfat eldesi gerçekleştirilmiştir (Çelik, 2015).



3.1.3. Bağlayıcılar

Bağlayıcı malzemeler başlangıçta sıvı halde bulunup suyunu kaybedip kuruyunca da diğer malzemeleri birbirine bağlayıp güçlü bir matris oluşturan malzemelerdir. Yapı sektöründe kullanılan bağlayıcılar genellikle toz halinde bulunan bağlayıcı özelliği gösterebilmesi için suyla karıştırılıp hamur haline getirilen ve kuruması beklenen kireç, alçı ve çimento gibi malzemelerdir.

Toz halindeki bağlayıcılar su katılmasıyla hamur haline gelir ve kurutulunca da bağlayıcı özelliği gösterir. Bu şekilde toz malzemenin bağlayıcı özellik göstermesine priz bu sürece de prizlenme süreci denir.

3.1.3.1. Alçı

İnsanoğlunun yerleşik yaşama geçmesinden bu yana yapılarında kullandıkları bağlayıcılar pek değişmemiştir. Bunlardan en önemlilerinden biri de alçı olmuştur. İlkel

zamanlarda yüksek sıcaklıklara ulaşmak çok zor olduğundan 190 °C gibi nispeten düşük derecelerde kireçtaşıdan elde edilebilen kireç önemli bir bağlayıcı maddesi olmuştur. Daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilen uygarlıklar ise kireçtaşını 600 °C'nin üzerinde ısıtmışlar ve bağlayıcı özelliği yüksek dış etkenlere karşı korumalı anhidrit alçıyı kullanmışlardır. Bu tip alçının kullanım ilk kullanım alanlarına baktığımızda Mısır Firavunu Amonhotep II'nin inşa ettirdiği Karnak Tapınağının taşları ve mısır piramitlerinin derz dolgu malzemeleri karşımıza çıkmaktadır (Akman, 2003).

3.1.3.2. Çimento

Çimento günümüz yapı sektöründe en çok kullanılan malzemelerden bir tanesidir. Yüksek mukavemet ve bağlayıcılık özelliğinden dolayı kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlayıcı madde alçı malzemesinde olduğu gibi toz halde bulunur ve su ile hidrasyonu sonucu yüksek mukavemet gösteren amorf yapıdaki çimento malzemesine dönüşür. Bu dönüşümün sağlanabilmesi için plastik hamur halindeki çimento harcının kimyasal (su ile hidrasyon), fiziksel (suyun uzaklaşmasıyla katılaşma) ve mekanik (kristal taneli yapıların oluşması) süreçlerin sırayla gerçekleşmesi gerekmektedir.

Çimento hamuru, agrega tanelerinin birbirine bağlanması için kullanılan, ani bir durumdaki kristal ve amorf yapıya sahip çimento danelerinin, suyla hidrasyonu sonucu oluşmuş, jel halinde bir bağlayıcı maddedir. Plastik hamur halindeki bu madde zaman içinde katılaşarak mukavemet kazanır. Çimentonun katılaşarak mukavemet kazanabilmesi için hidrasyon (kimyasal), katılaşma (fiziksel) ve sertleşme (mekanik) olaylarının birbirini takip etmesi gereklidir (Erdoğan, 2005).

3.1.3.3. Silikat

Sodyum silikat sodyum oksit ve silika içeren ve genellikle camsuyu veya çözülebilir cam gibi isimlerle adlandırılan bir bileşiktir. Katı, toz yada solüsyon şeklinde bulunabilen bu tür bileşikler su arıtma tesisleri, yapıştırıcı ve deterjan gibi birçok biçimde

kullanılmaktadır. Sodyum silikatlar genel olarak sodanın silikatlaştırılması şeklinde üretilir ve bu yöntem 1800'lerden beri kullanılmaktadır (Kadioğlu, 2014).

3.1.3.4. Polivinil Alkol

Sentetik bir polimer türü olan polivinil alkol suda çözünür, biyo bozunur ve biyo uyumlu bir yapıya sahiptir. İçerisinde bulunan hidroksil grupları sayesinde çapraz bağlanabilir bu nedenle çok sayıda kimyasal çapraz bağlayıcı ile bağlanma sonucu yeni kullanım alanları bulabilmektedir. Her ne kadar çapraz bağlanabilme yeteneği yüksek olsa da bağlandığı bazı kimyasal bağlayıcılar enzim ve protein gibi biyomoleküllerin üzerinde olumsuz etki gösterebilir. Bu nedenle bu alanda yapılan çalışmalar

Poli (vinil alkol) (PVA), suda çözünür ve aynı zamanda bünyesinde bulunan hidroksil grupları sayesinde çapraz bağlanabilme özelliğine de sahip biyo uyumlu ve biyo bozunur, sentetik bir polimerdir. PVA pek çok kimyasal çapraz bağlayıcı ile çapraz bağlanmakta ve bu sayede de kullanım alanları genişletilmektedir. Ancak kimyasal çapraz bağlayıcıların kullanımı, çeşitli toksik kalıntılara sebep olabildiği gibi, biyomedikal alanda kullanılan bazı biyomoleküllerin (protein, enzim, çeşitli ilaç molekülleri vs.) zarar görmelerine neden olabilmekte ve özellikle medikal uygulamalarda tercih edilmemektedir. Bu amaçla özellikle son yıllarda PVA'nın çeşitli kil mineralleri ile çapraz bağlanmasına yönelik yoğun araştırmalar yapılmaktadır. PVA-montmorillonit (MMT) nanokompozitleri de yüksek mekanik ve termal dayanımları, yüksek şişme kapasiteleri, biyo uyumlu olmaları ve insan vücudunda toksik etki yaratmamaları sebebiyle özellikle farmasötik uygulamalarda çok tercih edilen malzemelerdir.

3.1.4. Çalışmada kullanılan malzemeler

3.1.4.1. Saf su

Saf su doğada yalın halde bulunmayan ve normal suyun filtrelenmesi yada damıtılması yöntemiyle içerisindeki tüm minerallerden arınmasıyla elde edilir. Saf suyun eldesinde kullanılan filtreleme yönteminde çok hassas filtrelerin kullanıldığı ters osmos sistemleri, damıtma yönteminde ise suyun genelde 70-80 °C'ye kadar ısıtılıp buharının

başka bir ortama aktarılıp yoğunlaştırılması esasına dayanan makineler kullanılır. Bu yöntemlerin kullanılması sonucu renksiz, tatsız ve kokusuz bir ürün elde edilir.

İçerisinde herhangi bir mineral varlığı olmadığı ve elektrik iletkenliğinin sıfıra yakın olması sebebiyle saf su genelde akvaryumlarda, kireç içermediği için uçak motorlarının soğutma sistemlerinde, iletkenlik özelliğinden dolayı araba akülerinde, kozmetik endüstrisinde ve ürünlerin tadını etkilemediği için alkollü içecek sektöründe kullanılır (Anonim 2021).

Saf suyun bazı fiziksel özellikleri ve içerdiği minerallerin sınır değerleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Saf Suyun Fiziksel Özellikleri (Kaynak: su.gen.tr)

Sıcaklık	20 °C
Bulanıklık	<5
Koku	Yok
Tuzluluk	0

Çizelge 3.2: Saf Suyun Mineral Değerleri (Kaynak: su.gen.tr)

Saf Suyun Mineral Değerleri (ppm)	
Karbonat (CO):	<0.01
Bikarbonat (HCO):	<0.01
Klorür (CL):	<0.01
Nitrat (NO):	<0.3
Sülfat (SO):	<0.01
Fosfat (PO):	<0.01
Kalsiyum (CA):	<0.01
Potasyum (K):	<0.01
Magnezyum (MG):	<0.01
Sodyum (NA):	<0.01
Demir (FE):	<0.01

3.1.4.2. Perlit

Volkanik bir kayaç türü olan perlit 800-1200 °C ısıtıldığında hacminde 25 kata kadar genleşmeye gider. Bu şekilde kullanılan perlitin özgül ağırlığı 32-180 kg/m³ aralığında değişir. Yoğunluğunun en düşük olduğu yerde ısı iletkenliği 0,04 W/mK, en yüksek olduğu yerde ise 0,055 W/mK aralığında değişir. Nemli ortamlarda ısı iletkenliğinin artması sebebiyle yalıtım malzemesi olarak kullanılacak ise kaplama yöntemine gidilmesi tercih edilen geliştirilmiş perlit malzemesi uygun şartlarda

kullanıldığında (-250) – (+1000) °C aralığında yangına tepki sınıfı A olarak karşımıza çıkmaktadır.

Volkanik bir kayaç türü olan perlit eriyik haldeki bu kayaçların hızlı soğuması nedeniyle camsı bir yapıya sahip olur ve bu yapı perlitin karakteristik özelliğini oluşturur. Bir başka karakteristik özelliği de hızlı soğuma esnasında meydana gelen büzüşmeler sonucu oluşan süngerimsi boşluklu yapısıdır ki perlit hammaddesi bu özelliklerine göre petrografik olarak;

- Ponza Yapılı
- Tane Yapılı
- Fenokristal Yapılı
- Kum Yapılı
- Lif Yapılı ve
- Konsantrik olarak 6 sınıfta incelenir.

Çizelge 3.3: Perlitin Genel Özellikleri

Hafiflik	Genleştirilmiş Perlit (GP) için özgül ağırlık 32-180 kg/m³ aralığındadır.
Isıl Geçirgenlik	Özellikle Genleştirilmiş Perlit (GP) 0,04 W/mK değerlerine kadar inebilen ısı iletkenlik katsayısına sahiptir.
Aleve Tepki	Perlit yanmaz bir malzemedir. 1150-1250 °C kadar erimeden katı formunda kalabilir.
Ses Yalıtımı	Özellikle Genleştirilmiş Perlit 125-400 Hz şiddetine sahip sesin ortalama 0,6 kadarını iletir. Bu değerler betondan daha iyidir.
Porozite	Perlit malzemesinin su emme kapasitesi gözenekli yapısından dolayı %10-25 arasındadır.
Mukavemet	Gözenekli yapısı, camsı özelliği ve taneler arası boşluğun fazla olmasından dolayı perlit malzemesinin dayanım değerleri beton malzemesinin 10'da 1'i değerdedir.

Çizelge 3.4: Ham Perlitin Fiziksel Özellikleri

Görünüm	Grinin açık tonları
Genleşme Noktası	800- 1100 °C
Erime Noktası	1315 – 1390 °C
pH	6,6 - 8
Özgül Isı	0.20 kcal/kg°C
Özgül Ağırlık	2,2-2,4 gr/cm ³
Yoğunluk	1400- 1700 kg/m ³
Bağımsız Nem	%0,5
Ağırlık Kaybı	%0,5

Çizelge 3.5: Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri

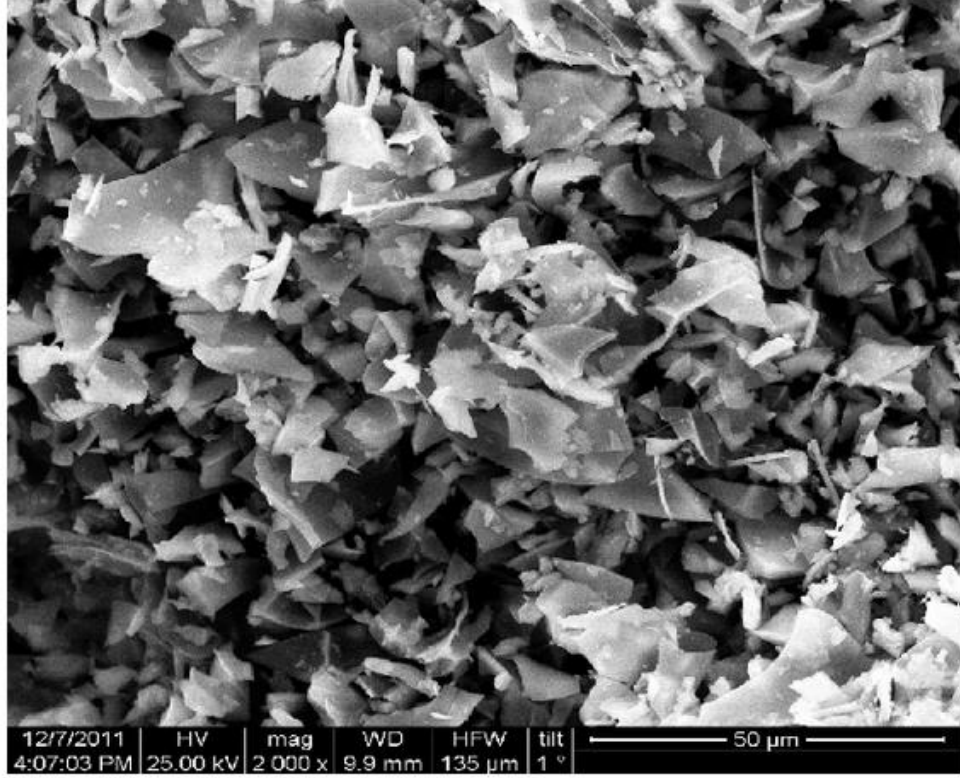
Görünüm	Beyaz
Erime Noktası	>1300 °C
Özgül Isı	0,2 kcal/kg°C
Özgül Ağırlık	2,2-2,4 gr/cm ³
Yoğunluk	25-190 kg/m ³
Isıl İletkenlik	0,34-0,040 kcal/mhC°
Ses İletimi	18 dB

Çizelge 3.6: Perlitin Kimyasal Özellikleri (%)

SiO₂	60- 80
Al₂O₃	10- 20
H₂	2- 10
Na₂O	2,5- 5
K₂O	2,5- 5

İçerdiği Na_2O ve K_2O sayesinde genleşmesi mümkün olabilen perlit hammaddesi 0,1 mm’den küçük eleklerden geçebilecek seviyeye getirilir. Bundan sonraki aşama perlit içinde bulunan gevşek bağlı suyun 350 °C’de 20 ile 30 dakika arasında buharlaştırılması işlemidir. İçerisinde gevşek halde bulunan bağlı suyun buharlaştırılmasından sonra sıcaklık 750-1200 °C’ye çıkartılır ve perlitin yumuşamaya başlamasıyla içerisinde kalan bağlı suyun da etkisiyle malzeme içerisinde sayısız boşluk olur. Bu şekilde genleşen perlitin hacmi 30 kata kadar artar ve yoğunluğu 25-190 kg/m³ aralığına kadar düşer (Anonim, 2021).

Saf perlite ait 2 Bin kez büyütülmüş Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir. Mikroskop görüntüleri incelendiğinde perlit malzemesinin mikro tanecikli tanecikli agrega yapısında olduğu görülebilir.



Şekil 3.1: Saf perlite ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü (Giannouri ve diğ., 2013)

3.1.4.3. Sodyum silikat

Sodyum silikat en iyi bilinen üyesi Na_2SiO_3 olarak bilinen sodyum metasilikat olan ve $Na_2(SiO_2)_nO$ kimyasal formülü ile gösterilen bileşiklere verilen genel addır. Sodyum silikat endüstriyel kullanımı sıvı fazdadır olan ve sıvı cam olarak da adlandırılır. Bu bileşiğin demir benzeri yabancı maddeler içeren ticari örnekleri yeşil ve maviye yakın renklerde olabilirken saf bileşikler ise şeffaf veya beyaz renktedir.

Bağlayıcı malzeme olarak yapı ve kimya endüstrisinde geniş bir kullanım alanı olan sodyum silikat bileşikler yangınlara karşı korumada, tekstil sanayinde daha birçok alanda kullanılır.

Saf sodyum silikat eldesi sodyum karbonat ve silikon dioksitin tepkimesi sonucu olur (Greenwood, N. 1997).



Çizelge 3.7: Sodyum Silikatın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Görünüş	Bulanık, kıvamlı, koyu renkli
Ağırlıkça Modül	3,17
Moleküler Modül	3,27
Be' (20 °C'de)	41,6
Yoğunluk (gr/ cm ³)	1402
Na ₂ O (%)	9,01
SiO ₂ (%)	28,57
Viskozite (20 °C'de, cp)	301

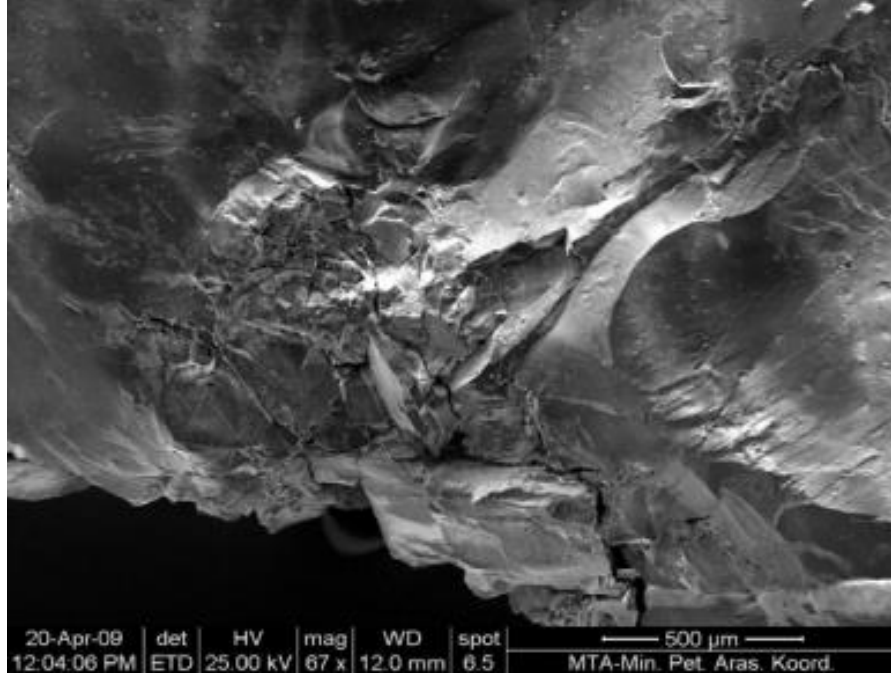
3.1.4.4. Kolemanit

Kurak bölgelerde göl ve benzeri yapılarda boraks ile oluşan mono klinik yapıda ve cam gibi parlayan kolemanit 2CaO.3B₂O₃.5H₂O kimyasal formülüne sahiptir. Sudakine nispeten HCl 'de hızlı çözünen bir mineral türüdür. Bu mineral genellikle Türkiye'de Bigadiç ve ABD'de bulunur.

Çizelge 3.8: Kolemanitin Kimyasal Özellikleri

B ₂ O ₂	%40
CaO	%27
SiO ₂	%4
SO ₄	%0,6
As	35 ppm maks.
Fe ₂ O ₃	%0,08
MgO	%3
SrO	%1,5
Al ₂ O ₃	%0,04
Na ₂ O	%0,5
L.O.I	%25 maks.
Nem	%1 maks.
Yoğunluk	1000kg/m ³ maks.

Kolemanite ait 67 kez büyütülmüş Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Kolemanite ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü (Çelik ve diğ., 2014)

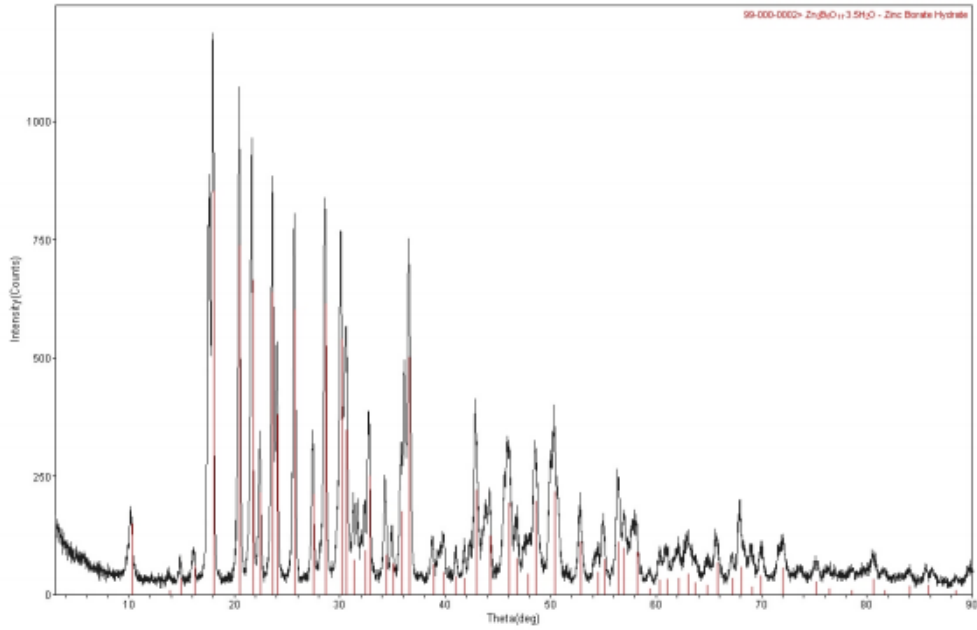
3.1.4.5. Çinko borat

Çinko borat, borik asidin çinko oksit ile kimyasal tepkimesi sonucu oluşan ve birçok endüstriyel kullanım alanı olan beyaz renkli, kokusuz ne nem tutmayan bir bileşiktir.

Yangın geciktirici olarak birçok kullanım alanı vardır. Bunlardan en önemli olanları elektrik elektronik sektöründe kablo kaplamaları, otomobil ve uçak sanayiinde kullanılan araçların iç kaplamaları ve kâğıt endüstrisinde kullanılan malzemelerin yangına karşı korunmasıdır.

Çizelge 3.9: Çinko Boratın Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlığı	2,71 (25°C)
Moleküler Ağırlık	434,6 g/mol
Ergime Noktası	650°C



Şekil 3.3: Çinko Boratın X-Işını Kırınım Analizi (Kaynak:Eti Maden)

3.1.4.6. Borik asit

Borik asidin kimyasal formülü $B(OH)_3$ 'tür ve bu bileşik zayıf bir bor asididir. Genellikle kolemanitin serbest halde sülfürik asit ile tepkimesinden meydana gelir.

Borik asidin birçok farklı kullanım alanı vardır ve bu alanlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

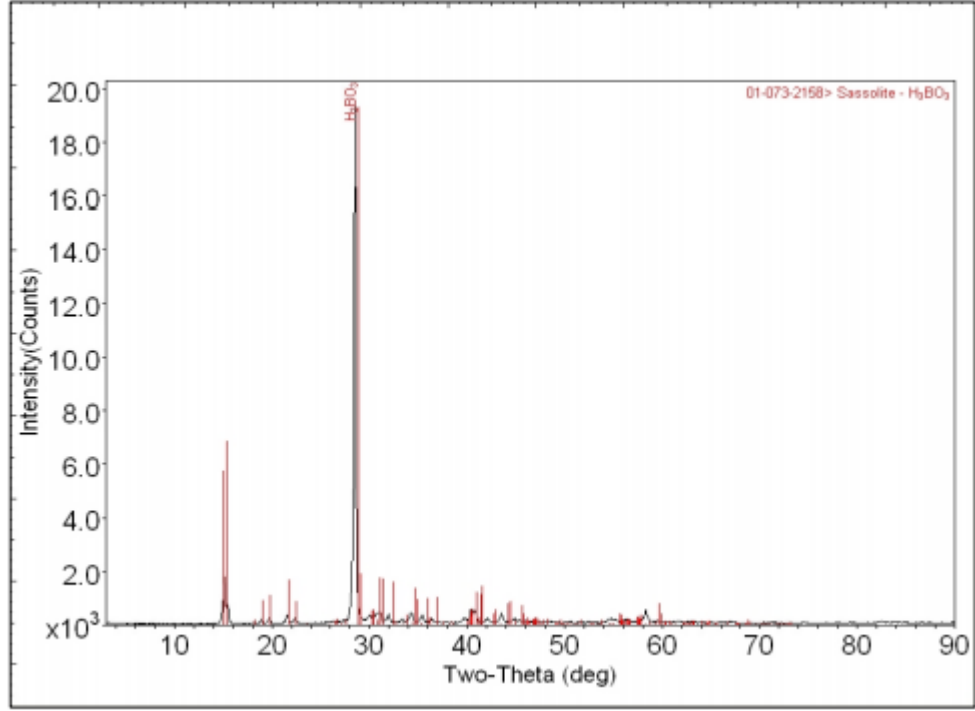
Çizelge 3.10: Borik Asidin Kullanım Alanları

Cam	Devitrifikasyonu önlemesi nedeniyle cam sanayiinde ısı ve kimyasal etkilere karşı koruma amaçlı kullanılır.
Seramik	Seramik üretiminde daha düşük erime noktalarına ulaşmak için kullanılır ayrı darbe emici özelliğinden dolayı da tercih edilmektedir.
Deterjan	Mikroplara karşı etkili olması ve su yumuşatma özelliğinden dolayı deterjanlarda kullanılmaktadır.

Tarım	Bitkilerde çiçeklenme ve tohum oluşumuna katkısı nedeniyle gübre olarak kullanılabilir.
Alev Geciktirici	Kolay yanabilen ahşap ve plastiklerin yapısına katılarak bu malzemelerin alev geciktirici özelliği kazanmasına sebep olur.
Nükleer Enerji	Fisyon oluşum hızına etkisi nedeniyle nükleer santrallerde kullanılmaktadır.
Ahşap Koruma	Ahşaplarda alev geciktirici özelliğinin yanında çürümeye karşı dayanım özelliği de kazandırır.
Temizlik	Anti bakteriyel özelliğinden dolayı temizlik ürünlerinde kullanılır
Yağlama	Seramik ve metal yüzeylerde daha kaygan bir tabaka elde edebilmek için bu maddenin koloidal süspansiyonları yağlara eklenerek kullanılır.

Çizelge 3.11: Borik Asidin Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlık	1,51 gr/cm³ (20°C)
Yoğunluk	0,892 gr/cm ³
Molekül Ağırlığı	61,83 g/mol
Ergime Noktası	450°C
Kaynama Noktası	1860°C
Isıl Kapasite	24,7J/g°C
Isıl İletkenlik	0,407 W/mK
Özgül Yüzey Alanı	<1 m ² /g
Yayılm Katsayısı	1,1x10 ⁻⁵ cm ² /s
Yüzey Gerilimi	63,83 mN/m
Renk Ölçüm Testi	94,52



Şekil 3.4: Borik Asidin X-Işını Kırınımı Grafiği (Kaynak: Eti Maden)

3.2. Yöntem

Bu tez çalışmasında enerji tasarrufu yüksek, ısı yalıtım özelliği yüksek, mekanik özellikleri uygun, yanmayan, perlit esaslı ve yangına karşı dayanıklı ısı yalıtım malzemelerinin incelenmesi ve bu malzemelerin ısı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda 3 aşamadan oluşan bir deney gerçekleştirilecektir. İlk aşamada Çizelge 3.12’de gösterilen oranlarda malzemeler hazırlanacak ve uygun kalıplara dökülecektir. İkinci aşamada elde edilen ürünler üzerine testler yapılacaktır. Test çalışmalarının yapılmasından sonra elde edilen sonuçların yorumlanması yapılacaktır.

3.2.1. Yalıtım malzemesinin hazırlanması

Ana bileşeni geliştirilmiş perlit olan ısı yalıtım malzemelerinin yangına karşı dayanım ve üstün yalıtım özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin de iyileştirilmesi gerekmektedir. Binaların statik yapıları göz önünde bulundurulduğunda kullanılan yalıtım malzemelerinin binaya ek ağırlık getirmeyecek kadar hafif ve uzun kullanım sonucunda dağılıp cepheye zarar vermeyecek şekilde üstün mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu koşullar altında ve literatür çalışmaları ışığında aşağıdaki parametreler optimize edilmeye çalışılmıştır.

- Genleştirilmiş perlitin tane boyutu aralığı ve oranı
- Bağlayıcı olarak kullanılacak olan silikatın türü ve silikat/perlit oranı
- Bor bileşiği olan minerallerin cinsi ve karışımda kullanılma oranları
- Saf su kullanım oranları
- Gevşek halde bulunan malzemenin sıkıştırma oranı
- Sertleştirici ajan tayini
- Malzemenin kuruma süresi ve etüvde kürlenme süreleri

Literatür doğrultusunda yukarıdaki parametreler için optimum değerler belirlendikten sonra kullanılacak agregaların gradasyonu, karışımın önceden belirlenmiş miktarlarda hazırlanması, hazırlanan malzemenin test standartlarına uygun ölçülere getirilmesi ve

kullanılacak sıkıştırma oranının belirlenmesi ile uygun şekle getirilen malzemenin kurutulması ve etüvde kürlenmesi aşamaları takip edilmiştir.

3.2.1.1 agrega gradasyonu

Agregalar, günümüz yapılarının önemli bir bileşeni olan betonun hazırlanmasında kullanılan ve betonu oluşturan elemanlar arasında %75'lik bir paya sahip olan kum, çakıl ve kırma taş vb. kayaç veya minerallerin genel adıdır. Betonun yapısında kullanılan agregalar 4 mm elekten geçip geçmediklerine göre ince agrega veya iri (kaba) agrega olarak adlandırılırlar. Bunun dışında ince ve iri agregaların karışımından oluşan agrega tiplerine tüvanan (karışık) agrega denir. Standartlara uyan agrega malzemeleri genelde boşluk içermeyen, sert ve mekanik dayanımı yüksek olan; toprak ve betona zarar vermeyecek yapıda maddeler içerir.

Agrega boyutlarının çok küçük olması tanecikler arasındaki temas noktalarını artıracığından daha yüksek bir ısı transfer yüzeyinin oluşmasına sebep olur böylece yalıtım malzemesinden beklenen ısı iletkenlik değerlerinin yakalanması zorlaşır. Tane boyutları büyük agregaların kullanılması ise taneler arasından büyük boşluklar oluşmasına dolayısıyla mekanik özelliklerin düşmesine sebep olur. Isıl ve mekanik özellikleri etkileyen bir parametre olarak ele alınan tane boyutu için en uygun agregalar olan ince agregalar seçilmiştir.



Şekil 3.5: Agrega Gradasyonu. (Kaynak: <https://kisi.deu.edu.tr/selcuk.turkel/Ders3-agrega.pdf>)

3.2.1.2. Karışımın hazırlanması

Karışım hazırlanırken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta karışımı oluşturan bileşenler birbirleriyle fiziksel ve kimyasal tepkimeye girerek kristalize olmaya başlamadan önce kalıba dökme ve sıkıştırma işlemlerinin yapılmasıdır. Bu durumun önüne geçmek için karışıma girecek dolgu, bağlayıcı, sertleştirici ve diğer katkı malzemelerin miktarları belirlenir.

İstenilen fiziksel yalıtım malzemesine dönüşecek malzemelerin oranları belirlenirken düşük birim ağırlık, yüksek mekanik ve fiziksel dayanım, kolay işlenebilirlik, gözeneklilik ve düşük ısı iletim katsayısına sahip olması için optimum dolgu malzemesi/ bağlayıcı malzeme oranı ve katkı malzemesi oranı belirlenir. Bu oranlar belirlendikten sonra karışımın kuru ve ıslak ağırlıkları hesaplanır. Kuru karışım ağırlığı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$V_k = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\delta_i} 100 \quad (3.4)$$

$$G_k = \left(\frac{S}{V_k} \right) \sum_{i=1}^n P_i 100 \quad (3.5)$$

V_k : Karışıma giren malzemelerin toplam hacmi	m^3
P_i : Karışımındaki malzemelerin kullanım oranları,	%
δ_i : Kullanılan malzemelerin birim hacim ağırlığı,	kg/m^3
G_k : Numunenin kuru karışım ağırlığı,	kg
S = sıkıştırma oranı,	

Üretilcek numunelerin mekanik ve ısı özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesi de saf su oranıdır. Saf su bağlayıcı olarak kullanılacak silikat çözeltilerindeki silika bağlarının oluşuma etki etmektedir. Kullanılacak saf su miktarı belirlenirken yüksek miktarda ve düşük miktarda su kullanımının nasıl etkiler yaratacağı benzer çalışmalarda incelenmiştir. Buna göre yüksek saf su kullanımı agregada segregasyon (ayırışma) yaparak ve presleme esnasında su miktarının fazla olmasından dolayı malzemenin kolay dağılabilir bir yapıda olmasına neden olur. Bunun yanında yüksek su miktarı karışımda bulunan silikat çözeltisinin seyrelmesinde sebep olarak silika bağlarının oluşumuna engel olur ve mekanik dayanımı düşürür. Bu durumun tam tersi olarak az miktarda saf su kullanmak güçlü bağlar oluşturup mekanik özellikleri iyileştirecek silikat çözeltisinin malzemenin her tarafına yayılmasını engellediği oluşan çözeltinin de yoğunluğu düşük ve kuru dolgu malzemesi (Genleştirilmiş perlit) tarafından emildiği ev bölgesel topaklanmalar oluşturarak malzemeyi daha kırılgan bir hale getirerek mekanik özelliklerinin düşmesine sebep olduğu görülmüştür. Kuru haldeki perlit agregasının su emiş kapasitesi göz önüne alınarak ve aşağıdaki denklemden yararlanılarak karışımda kullanılacak olan saf su miktarı belirlenmiştir.

$$G_T = G_k + G_s = G_k + M_p w_{pdky} \eta_s + G_{ys} w_{ys} \quad (3.6)$$

$$G_s = M_p w_{pdky} \eta_s + G_{ys} w_{ys} \quad (3.7)$$

burada:

G_T : karışımın toplam ağırlığı,	kg
G_k : karışımı oluşturan malzemelerin kuru ağırlığı,	kg
G_s : karışımındaki suyun toplam ağırlığı,	kg
M_p : perlitinin kuru ağırlığı,	kg
w_{pdky} : perlitin doymuş kuru yüzey halindeki su emme oranı,	%

η_s : su emme sabiti	(0.5-1)
G_s : silikat çözeltisinin toplam ağırlığı,	kg
w_{ys} : silikat çözeltisindeki su oranı,	%

Dolgu malzemesi ve yapıştırıcı miktarları belirlendikten sonra saf su miktarı yukarıdaki denklemden elde edilmiştir. Numunelerin mekanik özelliklerine etki etmesi istenilen diğer katkı malzemelerinin oranları da benzer çalışmalar ışığında ve çalışmaların yetersiz geldiği durumlarda deneysel olarak belirlenmiş ve aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Ön Kurutma	-10%	-10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arağı			10	10	10	10	10	10	10	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
			%	%	%	%	%	%	%										
Sinterleme	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Sıcaklığı (°C)																			
Sinterleme	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h
Arağı																			
Kuru Hacim	164,57	183,5	185	187	191	183	185	188	191	183,	185,	188,	191,	201,	205,	201,	207,	201,	205,
İçeriğı (gr)		9	,61	,88	,58	,61	,67	,02	,82	61	68	04	85	76	61	79	23	88	86
Su İçeriğı (gr)	127,66	142,0	141	141	141	142	141	142	141	142,	141,	142,	142,	158,	159,	158,	156,	158,	159,
		0	,51	,98	,80	,01	,56	,09	,98	01	57	10	00	78	10	81	83	88	29
Silika Sıvısı	74,06	82,06	82,	81,	81,	82,	82,	81,	81,	82,0	82,4	81,8	81,7	86,2	85,5	86,2	87,9	86,2	85,6
İçeriğı (gr)			41	73	61	07	44	79	72	8	4	0	3	4	6	5	1	9	6
Ttoplam Sıvı	201,72	224,0	223	223	223	224	224	223	223	224,	224,	223,	223,	245,	244,	245,	244,	245,	244,
İçeriğı (gr)		6	,92	,71	,42	,09	,00	,88	,70	09	01	89	73	02	66	06	74	16	95
Toplam (gr)	366,29	407,6	409	411	415	407	409	411	415	407,	409,	411,	415,	446,	450,	446,	451,	447,	450,
		5	,53	,59	,00	,70	,68	,90	,52	70	69	93	58	78	28	86	97	04	81
Katı/Sıvı	2,23	2,22	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2,22	2,21	2,19	2,17	2,21	2,19	2,21	2,18	2,21	2,19
Yoğunluğu			1	9	7	2	1	9	7										
Bağlayıcı/Agre	1,07	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,07	1,07	1,07	1,07	1,03	1,02	1,03	1,05	1,03	1,02
ga Oranı			7	7	7	7	7	7	7										
Saf Su İçeriğı (%)	34,85	34,83	34,	34,	34,	34,	34,	34,	34,	34,8	34,5	34,5	34,1	35,5	35,3	35,5	34,7	35,5	35,3
			56	50	17	83	56	50	17	3	6	0	7	4	3	4	0	4	3
Sıvı İçeriğı (%)	55,07	54,96	54,	54,	53,	54,	54,	54,	53,	54,9	54,6	54,3	53,8	54,8	54,3	54,8	54,1	54,8	54,3
			68	35	84	96	68	35	84	6	8	5	4	4	4	4	5	4	4
Sıkıştırılmış İçerik (% 5	174,66	194,7	196	199	202	194	196	199	203	194,	196,	199,	203,	214,	217,	214,	219,	214,	218,
water) (gr)		9	,80	,07	,75	,81	,87	,22	,01	82	88	23	04	01	85	05	46	14	10
Sıkıştırılmış İçerik (% 10	184,74	205,9	208	210	213	206	208	210	214	206,	208,	210,	214,	226,	230,	226,	231,	226,	230,
water) (gr)		9	,00	,25	,92	,02	,07	,41	,19	02	08	43	23	26	08	30	70	40	35

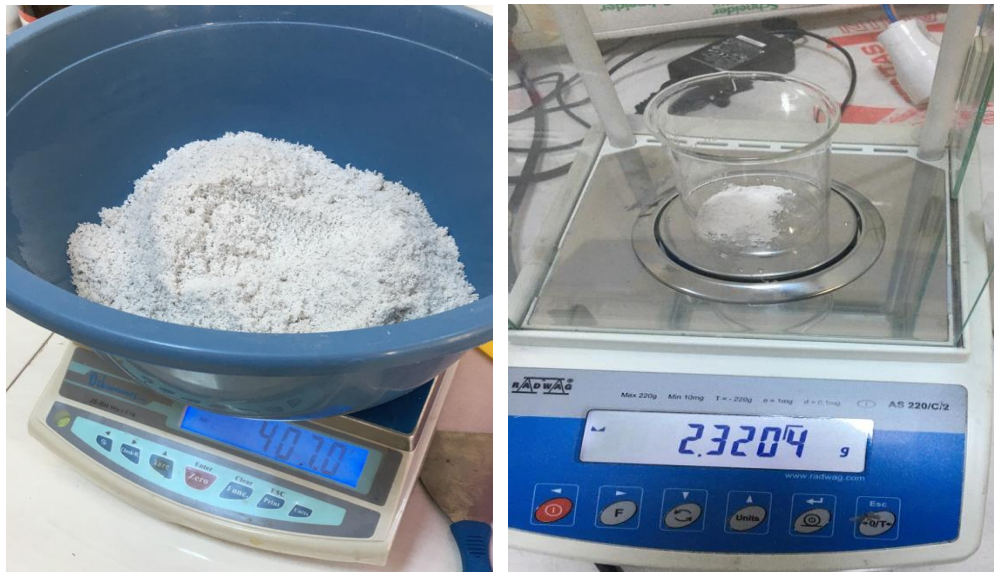
Bending	Doygun perlit su	201,72	224,0	223	223	223	224	224	223	223	224,	224,	223,	223,	245,	244,	245,	244,	245,	244,
			6	,92	,71	,42	,09	,00	,88	,70	09	01	89	73	02	66	06	74	16	95
	Katı İçerik (gr)	213,94	238,6	241	244	249	238	241	244	249	238,	241,	244,	249,	262,	267,	262,	269,	262,	267,
			6	,29	,25	,06	,69	,37	,43	,37	70	39	45	41	29	30	33	40	44	61
	Su İçeriği (gr)	165,96	184,5	183	184	184	184	184	184	184	184,	184,	184,	184,	206,	206,	206,	203,	206,	207,
			9	,97	,57	,34	,62	,03	,71	,58	62	04	73	60	42	83	45	88	54	08
	Silika Sıvısı(gr)	96,27	106,6	107	106	106	106	107	106	106	106,	107,	106,	106,	112,	111,	112,	114,	112,	111,
			8	,13	,25	,10	,70	,17	,33	,23	70	18	34	25	11	23	13	28	17	36
	Toplam Sıvı(gr)	262,23	291,2	291	290	290	291	291	291	290	291,	291,	291,	290,	318,	318,	318,	318,	318,	318,
			8	,10	,82	,44	,31	,20	,04	,81	32	22	06	85	53	06	58	17	71	44
	Toplam (gr)	476,17	529,9	532	535	539	530	532	535	540	530,	532,	535,	540,	580,	585,	580,	587,	581,	586,
			4	,38	,07	,50	,01	,58	,47	,18	01	60	51	26	82	36	91	56	16	05
	Yoğunluk	2,23	2,22	2,2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2,22	2,21	2,19	2,17	2,21	2,19	2,21	2,18	2,21	2,19
				1	9	7	2	1	9	7										
	Toplam Ağırlık	842,46	937,5	941	946	954	937	942	947	955	937,	942,	947,	955,	1027	1035	1027	1039	1028	1036
			9	,91	,67	,50	,70	,26	,37	,70	72	30	45	84	,60	,64	,77	,53	,20	,86

Tabloda türleri ve karışım oranları belirtilen malzemeler laboratuvar ortamında aşağıda belirtilen şekilde hazırlanmıştır:

Dolgu malzemesini oluşturacak agregalar ve kaktı malzemeleri her numune için belirtilen miktarlarda tartılır ve karıştırma için büyük kaplara alınır. Üretilcek numune için hassas tartılarda tartılan saf suyun üçte biri bu dolgu malzemesinin üzerine yavaşça dökülür ve bir taraftan da karışım agregaların parçalanıp toz haline gelmesini önleme amacıyla kuvvet uygulamadan malzeme topaklardan arındırılmış homojen bir görüntü verene kadar karıştırılır ve dolgu malzemesinin fiziksel yapısını bozmadan bu suyu emmesi sağlanır.

Bağlayıcı malzeme her bir numune için belirlenen miktarda hassas olarak tartılır ve üzerine kalan saf su ilave edilerek manyetik karıştırıcıda 3-5 dakika arasında orta devirde homojen bir görüntü elde edilene kadar karıştırılır ve karışım içinde daha rahat hareket ederek her noktaya ulaşabilmesi için seyreltilir.

Farklı kaplarda hazırlanan dolgu-katkı-su karışımının üzerine az miktarlarda bağlayıcı-su karışımı eklenir ve karışım topaklardan arındırılana ve homojen bir görüntü elde edilene kadar dolgu malzemesinin parçalanıp ufalanmasına sebep vermeden karıştırılır ve daha yukarıdaki tabloda hesaplanan miktarlarda 0.1 g hassasiyette tartıldıktan sonra şekillendirme kaplarına alınır.



Şekil 3.6: Malzemelerin hassas terazide tartılarak eklenmesi

Karışım hazırlanırken Hobart vb. mikserlerin kullanılması yüksek devirde karıştırma kanatlarının oluşturacağı kuvvetle agregaların parçalanmasına ve oluşacak karışıma hamurumsu karakter kazandırıp ısı özelliklerinin düşmesine neden olabileceğinden dolayı tavsiye edilmemektedir.

3.2.1.3. Şekillendirme

Karışım hazırlandıktan sonra gevşek halde bulunan malzemelerin sıkıştırılması işlemi için mekanik ve ısı testlere uygun olarak iki farklı kalıp hazırlanmıştır. Bu kalıplar 100x100x100mm ve 300x75x25mm ebatlarındadır ve kolay ayrılabilmesi için cıvatalı bağlantılara sahiptir. Kalıpların iç yüzeyleri sıkıştırma sonrası kalıptan çıkan malzemenin yapışmasını engellemek için kaplanıp yağlanmıştır. Tabloda belirtilen toplam karışım ağırlığı bu iki kalıba dökülmüş ve kalıplara alınan karışım malzemesi hassas terazide tartıldıktan sonra sıkıştırma işleminin daha iyi yapılabilmesi için sarsma tablasında 5-10 saniye düşük vibrasyona maruz bırakılmıştır.

Kalıba alınan malzemeler için bir diğer önemli faktör olan sıkıştırma oranı belirlenmiştir. Bunun için ön çalışma için hazırlanan malzemeler 0,5 ile 5 arasında sıkıştırma oranlarında sıkıştırılmış ve düşük sıkıştırma oranlarında dolgu malzemesi ve yapıştırıcının tanelerinin arasındaki boşluğun bu tanelerin bağlanmalarına izin vermediği bunun sonucunda da istenilen miktarda bağ oluşmadığı için malzemenin gevşek ve kırılgan bir yapıda olduğu görülmüştür. Aksine, sıkıştırma oranlarının yüksek olduğu numunelerde ise karışımı oluşturan malzemelerin birbirine bağlandığı fakat bu durumda da yüksek basınçtan dolayı perlit tanelerinin ufalanarak toz halini aldığı ve numune içindeki hava miktarı azaldığı için ağır ve ısı yalıtımı düşük özellikte ürün ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Bu konuda yapılan çalışmalar ve ön değerlendirme sonucunda hazırlanan numunelerin 1-2 arasında sıkıştırma oranında (0,14-0,36MPa) sıkıştırılmasına karar verilmiştir. Bu sıkıştırma işlemi bittikten sonra numuneler kalıptan çıkarılmadan 1-2 dakika arasında yüzey sertleştirme işlemi için CO₂ gazıyla temas ettirilmiştir.



Şekil 3.7: 100x100x100mm ebatlarındaki numunelerin şekillendirilmesi



Şekil 3.8: 300x75x25mm ebatlarındaki numunelerin şekillendirilmesi

3.2.1.4. Kurutma

Kalıpta sıkıştırılan numunelerin üzerindeki fazla sudan kurtulması ve rijit bir şekil alabilmesi için kalıptan çıkarılmadan önce oda sıcaklığında 12-15 saat arası bekletilmiştir. Kuruyan ve numuneler kalıptan dikkatlice çıkarılarak içerisindeki sudan tamamen kurtulabilmesi için etüv fırınına alınmıştır. Etüv fırınında numuneler üzerinde içerisindeki bağıl nem %40-60 arasında ve su miktarı %10 olana kadar nem alma işlemi uygulanmıştır. Nem alma işlemi 100 °C'nin altında yapılmıştır çünkü 100 °C üzerinde su

gaz fazına geçtiğinden yoğun enerjili gaz tanecikleri malzemenin yapısına zarar verip dağılmasına sebep olmaktadır.



Şekil 3.9: Kurutma işlemi kullanılan cihaz modeli

3.2.1.5. Kürlenme

Kürlenme tuğlada olduğu gibi agrega bazlı karışımlara mekanik özellik kazandırma işleminde oldukça önemli bir parametredir. Yüksek sıcaklıklara ulaşılması silikat bazlı yapıştırıcılar için de önemlidir. Yüksek sıcaklıklarda tanecikler yüksek enerjili oldukları için diğer taneciklerle yer değiştirmeleri ve bağ oluşturmaları daha kolay olmaktadır. Ancak çok yüksek sıcaklıklar malzemelerin daha iyi yapılar oluşturup mekanik özelliklerinin artmasına yardımcı olduğu gibi bu eriyik haldeki bileşenlerin soğuma esnasında hacim kaybederek çökmesine ve yoğunluk kazanmasına sebep olur bu da ısı iletkenliklerinin artmasına yani ısı performanslarının düşmesine sebep olur. Kürlenme sıcaklığının belirlenebilmesi için aşağıdaki literatür kaynakları takip edilmiştir:

Borik asit, potasyum, magnezyum ve çinko gibi maddeler kaynama noktası altında silikatın alkali bölümüyle tepkimeye girebilir. Yüksek miktarda katkı maddesi kullanmak silikatın genişlemesini önleyebilmektedir. Portlan çimentosu, demir oksit ve çinko oksit gibi maddeler silikat çözeltisiyle 121 °C'nin altındaki sıcaklıklarda tepkimeye girmezler (Gooding ve Temple, 1973). Kil, sodyum sülfat ve alüminyum hidroksit gibi inorganik tozların bir kısmı kristalize olduklarında su tutmakta ve yüksek sıcaklıklarda bu su buharlaşabilmektedir. Çinko oksit, kil ve mineral gibi bazı kimyasal ajanlar 260 °C'de bileşenlerine ayrılarak silikat çözeltisiyle reaksiyona girerler. Bu ajanlar aynı zamanda 704 °C ve üzeri sıcaklıklarda kürlendikten sonra malzemeye hidrofobik (suyu

iten) karakter kazandıran film tabakası oluşturlar. Borik asit vb. yangına geciktirici ajanlar 15 °C ila 120 °C arasında köpürtülen perlit bazlı karışımlarda bu malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ayrışamayacağı seviyelerde eklenmelidir aksi halde yangın geciktirici özelliklerini kaybedebilirler. Sodyum karbonat vb. köpürtücü ajanların ayrışması ve silikat ile tepkimeye girebilmeleri için belli sıcaklıkların aşılması gerekmektedir. (Matsuda ve ark., 1976).

Bu çalışmalar göz önünde bulundurularak katkı maddesi miktarları düzenlenmiş ve kütleme sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda üretilen numunelerin bazıları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Numunelerin genel görünümü

3.2.2. Yalıtım malzemesine uygulanan testler

Yukarıda belirtildiği üzere uygun şartlarda hazırlana ve kalıplara alınan numuneler kütleme işlemi için kurumaya tabi tutulmuş ve etüv fırınına alınmıştır. Uygulanacak testlerden daha iyi sonuç alabilmek için her numuneden üçer adet üretilmiş ve test sonuçları bu üç numunenin ortalaması alınarak düzenlenmiştir.

Üretilen bu numunelerin yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebilmesi ve bağ yapılarının gözlemlenebilmesi için ısı testler, mekanik testler ve malzeme karakterizasyonu testleri uygulanmıştır. Numunelerin mukavemet değerleri ve tanecik boyutunda bağ yapılarının incelenebilmesi için bu aşamadan sonra üretilen numuneler mekanik, ısı ve karakterizasyon testlerine tabi tutulmuştur. Hazırlanan malzemenin mukavemetini ve oluşan bağların fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için;

- Birim Hacim Ağırlık Tayini,
- Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini,
- MOR Tayini (Üç Nokta Eğme),
- Rötire (Boyut Küçültme Miktarı Tayini),
- Su Emme Kapasitesi Tayini,
- Yanmazlık-Tutuşmazlık ve
- Ultrasonik Ses Hızı deneyleri;

Isıl özelliklerinin yanında yalıtım malzemesi standartlarına uyup uymadığının belirlenebilmesi için;

- Isıl İletkenlik,
- Özgül Isı ve
- Isıl Yayılm Testleri ile

Malzemeyi oluşturan bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkinin ve malzemenin karakterizasyonunun yapılabilmesi için;

- Bet Surface (Porozite ve Özgöl Yüzey),
- X-Işını Kırınım yöntemi (XRD),
- Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) testleri uygulanmıştır.

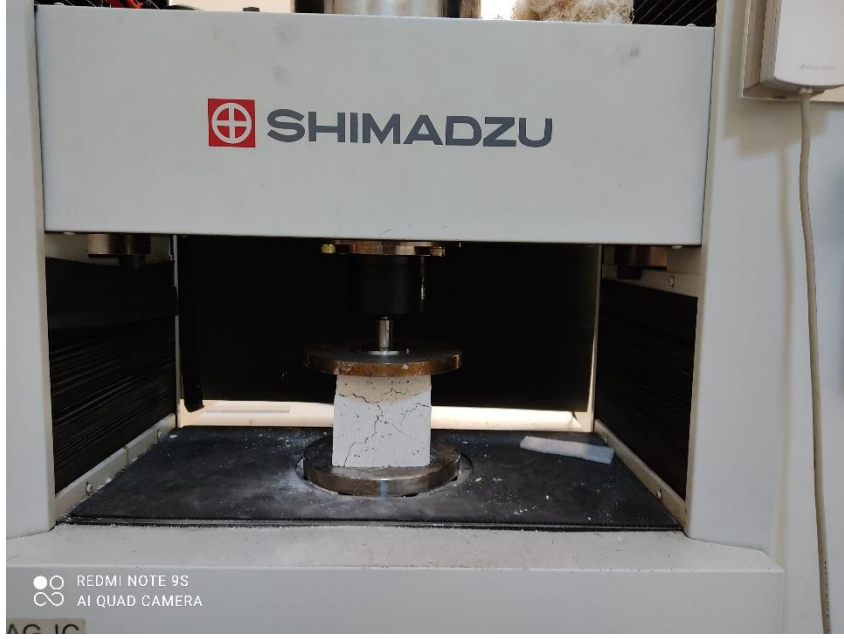
3.2.2.1. Birim hacim ağırlık deneyi:

TS EN 12390-7, 2002 standardına göre agrega esaslı kompozit yapılar hazırlanırken bu yapıların ıslak ve kuru ya da gevşek ve sıkı formlarının kaplayacağı hacmi belirlemektir. Birim hacim 1 m³ malzemenin ağırlığıdır. Bu deney şekillendirme kabını dolduran agreganın hacminin darası alınmış kabın ağırlığına oranıdır. Hazırlık aşamasından sonra kaba dökülen malzemenin birim hacmi alındıktan sonra kuruma kütleme işlemi yapılan malzemenin birim hacmiyle karşılaştırılır.

3.2.2.2. Tek eksenli basınç dayanımı tayini

Tek Eksenli Basınç Dayanımı testi malzemelerin mukavemet özelliklerini değerlendiren bir testtir. Bu test yönteminde birbirine paralel iki plaka arasına alınan test malzemesi üzerinde tek yönlü kuvvet uygulanır ve malzeme fiziksel yapısını kaybedene kadar kuvvet artırılır. Malzemenin dayanabildiği en son gerilme miktarı kaydedilir. Bu test malzemenin mukavemet özellikleri hakkında bilgi verdiği için özellikler yapı sektöründe kullanılan malzemeler üzerinde binaların statik özelliklerinin belirlenmesi esnasında kullanılır. Bu testin uygulanması esnasında yararlanılan standart ASTM C165 (2012) standardıdır. Bu standarda göre yükleme hızı plakalar arası hareket dakikada 1,27mm'dir ve agrega esaslı yapı malzemelerinde deformasyon miktarının %5'i geçmemesi tavsiye edilmektedir.

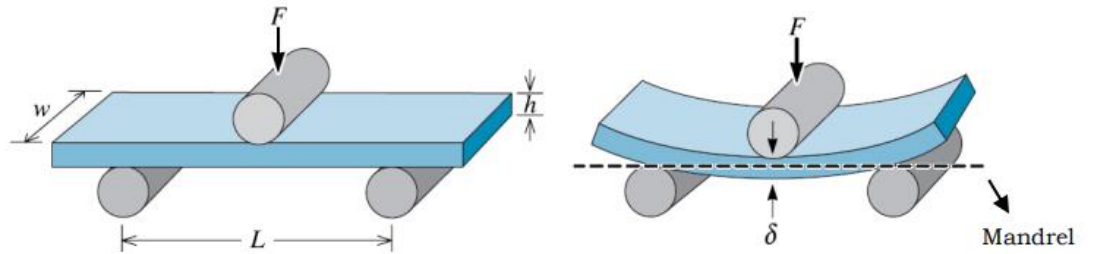
Üretilen numunelerin testinde Shimadzu marka universal test cihazından faydalanılacaktır. Bu cihazın kapasitesi 250 kN'dur. Her katkı maddesi için oluşturulan numunelerin test sonrası basınç değerleri alınacak ve ortalama basınç diyagramları oluşturulacaktır.



Şekil 3.11: Tek eksenli basınç dayanımı test cihazı

3.2.2.3. Mor tayini (üç nokta eğme) testi

Eğilme deneyi enine yük taşıyan ve eğilmeye maruz kalan kiriş benzeri yapı elemanlarının mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Eğilme kuvvetine maruz kalan kirişlerde eğilme momenti oluşur ve bu momentin değeri homojen veya homojen kabul edilebilir malzemeler için eğilme denklemlerinden elde edilir. Eğilme Testi uygulamalarında takip edilen TS EN ISO 7438 standardına göre test edilecek numunelerin uzun kısmı sabitlenmiş iki desteğe oturtulur ve ortasından hareketli bir yük ile basılır. Test düzeneği aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 3.12: Üç nokta eğme test düzeneği

Eğme deneyi sonunda;

- Eğme momenti
- Eğilme gerilmesi

M_e

σ_e

- Elastisite modülü E_e, ε
 - Sehim miktarı δ
- Değerleri hesaplanabilmektedir.

Sehim; yapı elemanlarının belirli bir kuvvet etkisinde yapmış olduğu yer değiştirme miktarıdır.

Malzemelerin eğme dayanımlarının hesaplanması için uzunluk ölçüleri (w,h ve L), uygulanan kuvvetin miktarı (F) ve kuvvet etkisinde oluşan sehim miktarı (δ) belirlenmiş ve malzemenin Eğme Momenti (M_e), Eğilme Dayanımı (σ_e) ve Elastisite Modülü (ε);

$$M_e = F.L/4 \quad (3.8)$$

$$\sigma_e = (3F.L)/(2.w.h^2) \quad (3.9)$$

$$\varepsilon = (6.\delta.h)/L^2 \quad (3.10)$$

Denklemleriyle hesaplanmıştır.



Şekil 3.3: Üç nokta eğme test cihazı

3.2.2.4. Su emme ve porozite (gözeneklilik) tayini deneyi (ASTM C 642, 2002):

Üretilen numuneler boşluklu yapıda olduğu için bu boşlukların arasına su girebilmek ve mekanik ile ısı özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Numunelerin su emme ve gözeneklilik özelliklerinin belirlenebilmesi bu nedenle önem teşkil etmektedir. Bu testin uygulanmasında ASTM C 642, 2002 standardı izlenir ve bu standarda göre kuru ağırlıkları ve hacimleri ölçülen numuneler saf su içerisinde 48 saat bekletilerek su emmesi sağlanır. Havuzdan alınan numuneler kurutularak ıslak ağırlıkları ve hacimleri hesaplanır daha sonra etüv fırınında 24-48 saat arasında ve 105 °C'de kurutularak ağırlık ve hacim değerleri alınır. Bu değerler aşağıdaki denklemler yardımıyla malzemenin kuru yoğunluk, gözenek hacmi ve etkili porozite değerlerinin hesaplanmasında kullanılır;

Kuru Yoğunluk:

$$\rho_d = \frac{m_d}{B_v} \quad (3.11)$$

ρ_d : kuru yoğunluk (kg/m^3)

m_d : kuru ağırlık (kg)

B_v : bulk hacmi (m^3)

Gözenek Hacmi:

$$P_v = \frac{(m_s - m_d)}{\rho_w} \quad (3.12)$$

P_v : gözenek hacmi

m_s : doymuş Ağırlık

m_d : kuru ağırlık

ρ_w : suyun yoğunluğu

Etkili Porozite:

$$n = \frac{P_v}{B_v} \cdot 100 \quad (3.13)$$

n: etkili porozite

P_v : gözenek hacmi

B_v : bulk hacmi

Boşluk oranı:

$$e = \frac{\%n}{100 - \%n} \quad (3.14)$$

3.2.2.5. Boyut küçülme miktarı ölçümü (ASTM C 356, 2010):

Harç malzemeleri kalıba dökülüp kuruma ve kürleme işlemlerinden sonra gerçekleşen sıvı kaybı ve moleküller arasındaki etkileşimden dolayı hacim kazanır ya da kaybeder. Oluşan bu hacim kaybı veya artışı shrinkage, rötre veya çekme testi olarak adlandırılan testlerle tayin edilir. Rötre testleri ASTM C 356 (2017) ve ASTM C610 (2017) standartlarına göre yapılmaktadır. Bu standarda göre rötresi alınacak malzemeler kalıptan çıkarıldıktan sonra boyutları 0,1mm hassasiyette kumpasla birkaç defa ölçülür ve ortalama değerler alınır. Hazırlanan kalıp malzemesi daha sonra 24-48 saat arasında 650 °C fırında bekletilir ve fırından çıkan malzemenin boyutları yine hassas kumpasla birkaç kez ölçülür ve ortalama değerler alınır. Rötre miktarı alınan bu değerlerin aşağıdaki denklem yoluyla hesaplanmasıyla bulunur:

$$R = \left[(L_1 - L_2) / L_1 \right] \times 100 \quad (3.15)$$

Burada:

R = Rötre değişimi, %

L_1 = başlangıç uzunluk değerleri, mm

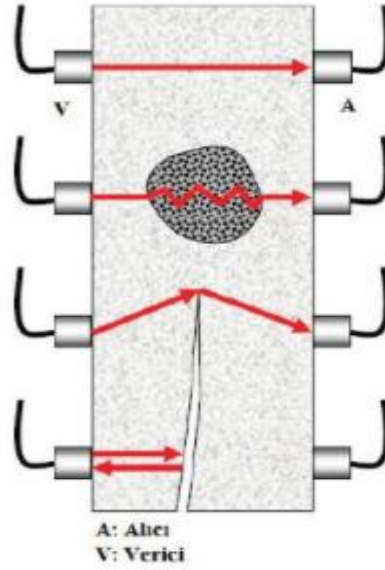
L_2 = son uzunluk değerleri, mm



Şekil 3.14: Rötre test cihazı modeli

3.2.2.6. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Testi

Ultrasonik ses geçiş hızı ölçülmek istenen numunenin karşılıklı iki tarafına bir alıcı ve verici koyularak yapılan ve numune içinde sesin vericiden çıkıp alıcıya ulaşma süresini hesaplayan bir testtir. Bu test genelde malzemenin basınç dayanımı, homojenliği ve çatlak gibi kusurların ölçülmesinde kullanılır. Numunenin basınç dayanımı ultrasonik ses hızı ile doğrudan ilişkili değildir. Ultrasonik ses hızı malzemenin yoğunluğu hakkında bilgi verir buda malzemenin basınç dayanımı ile ilişkilidir.



Şekil 3.5: Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi

Ultrasonik ses hızı testi yapılmadan önce ASTM C597 (2009) standardına göre cihaz kalibrasyonu yapılacak ve kurutma öncesi numunelerin ses hızları Matets 24048 test cihazı ile tayin edilecektir. Daha sonra bu malzemeler etüvde 105 °C’de kurutulduktan sonra tekrar teste tabi tutulacaktır.



Şekil 3.16: Ultrasonik ses geçiş hızı deney düzeneği

3.2.2.7. Isıl iletkenlik, özgül ısı ve ısı yayılımı testi

Isı yalıtım malzemelerinde aranan en önemli özelliklerden biri ısı iletkenlik katsayısıdır. Isıl iletkenlik katsayısı malzemelerin ısı iletme kapasiteleri hakkında bilgi veren termofiziksel özelliklerinden biridir. Ultrasonik ses geçiş hızı test düzeneğine benzer biçimde malzemenin üzerine ısı iletkenlik ölçer prob konulur TS EN 12667 (2003) standardına göre malzemenin ısı iletme ve ısı yayılım eğrileri ölçülür. Kullanılan proba göre belli aralıklarda ölçüm yapılır. Bu deneyde ISOMET 2104 test cihazı ve 0.04 – 0.1 W/mK ölçüm probu kullanılmıştır.



Şekil 3.17: Isı iletkenlik testi deney düzeneği

3.2.2.8. Yanmazlık ve tutuşmazlık testi (TS EN ISO 1182, 2010 ve ASTM E162, 2015)

Yanmazlık ve tutuşmazlık testi malzemenin yangına tepki sınıfının ölçülmesi ve yalıtım malzemesinin yangına tepkisini ölçmekte kullanılmaktadır. TS EN ISO 1182, 2010 ve ASTM E84 (2017) standartlarına göre yapılan yanmazlık ve tutuşmazlık testleri alev kaynağı (pürümüz), test parçası ve ısı ölçerden (termal kamera) oluşmaktadır. Test edilecek numunelerin boyut ve ağırlıkları ölçülür. Test düzeneğine yerleştirilen parçalar alev kaynağından 5 cm uzakta tutularak 5 dakika boyunca aleve maruz bırakılmış ve Testo 8211-2 markalı termal kamera ile numunenin aleve doğrudan maruz kalan ön yüzünde ve arka yüzünde oluşan maksimum sıcaklık noktaları tespit edilmiş ve yangına tepki sınıfı belirlenmiştir. Daha sonra numunelerin boyut ve ağırlık ölçümleri yapılmış ve önceki değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.18: Yanmazlık testi deney düzeneği

3.2.2.9. Malzeme karakterizasyonu testleri

Birçok malzemenin karışımından oluşan numunelerin yüzey morfolojisinin ve malzemeler arasındaki fiziksel ilişkinin belirlenebilmesi için JEOL JSM 7001F marka SEM (taramalı elektron mikroskobu), malzeme yüzeyindeki gözenekler ve yüzey analizi için TriStar II Plus 3030 cihazı, malzemenin kristal yapısının belirlenebilmesi ve malzemeyi oluşturan elementlerin analizi için Bruker D8 Advance marka XRD (X-ışını difraktometre) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.19: Taramalı elektron mikroskobu (SEM, JEOL JSM 7001F) cihazı



Şekil 3.20: Yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım (BET, Micromeritics-TriStar II Plus 3030) cihazı



Şekil 3.21: X-ışını difraktometre (Bruker D8 Advance) cihazı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Enerji 21.yüzyıl toplum yapısının merkezinde bulunan en önemli kaynaklardan biridir. Ancak enerjinin elde edilmesinde gezegenimizin atmosferine olumsuz etkileri kanıtlanmış fosil yakıtların kullanılması insan soyunun devamlılığını tehdit eden bir hal almıştır. Enerjinin üretilme sürecinde ortaya çıkan bu olumsuz tablonun etkisini kırmak için enerji tasarrufu ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada enerji tasarrufu denince akla ilk gelen yöntemlerden biri olan ve binalarda kullanılan ısı yalıtım irdelenmiştir. Isı yalıtım malzemelerinin dezavantajlı yönlerini gidermek bunu yaparken de ülkemizin dışa bağımlılığını azaltacak yerli kaynaklardan elde edilen ürünler üretme amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ülkemizde bol bulunan ve yeni araştırmalara konu olmuş perlit esaslı ısı yalıtım malzemelerinin yine toplam rezerv açısından ülkemizin dünyada bir numara olduğu bor bileşiklerinin ilavesiyle ısı ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma üretilen numunelere ısı, mekanik ve yüzey karakterizasyon testleri uygulanmış ve malzemenin termofiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.1: Numuneleri oluşturan malzemelerin karışım oranları

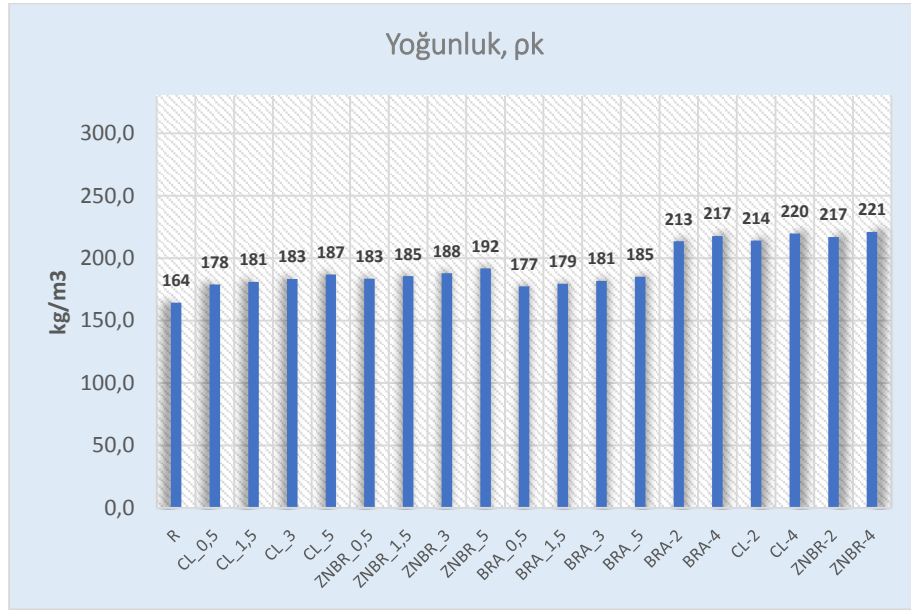
	σ_c	ρ_k	σ_c/ρ_k	σ_m	σ_m/ρ_k	λ	λ/ρ_k	upv	L (cm)	μ
R	237,3	164,2	1,4	216,3	1,3	0,1	0,0	0,7	10,0	134,2
CL_05	241,9	178,9	1,4	183,1	1,0	0,1	0,0	0,8	10,0	131,6
CL_15	284,3	180,9	1,6	226,8	1,3	0,1	0,0	0,8	10,0	121,2
CL_3	295,5	183,2	1,6	270,0	1,5	0,1	0,0	0,8	10,0	118,1
CL_5	327,1	186,9	1,8	322,4	1,7	0,1	0,0	0,9	10,0	106,1
ZNBR_05	241,3	183,4	1,3	167,7	0,9	0,1	0,0	0,8	10,0	132,0
ZNBR_15	284,7	185,5	1,5	219,4	1,2	0,1	0,0	0,9	10,0	117,2
ZNBR_3	314,2	187,8	1,7	198,5	1,1	0,1	0,0	1,0	10,0	102,4
ZNBR_5	306,3	191,6	1,6	195,4	1,0	0,1	0,0	1,0	10,0	102,9
BR_05	291,0	177,5	1,6	171,3	1,0	0,1	0,0	0,8	10,0	122,5
BR_15	332,3	179,4	1,9	191,9	1,1	0,1	0,0	1,0	10,0	104,6
BR_3	344,0	181,6	1,9	219,1	1,2	0,1	0,0	1,0	10,0	102,0
BR_5	324,5	185,2	1,8	214,0	1,2	0,1	0,0	1,0	10,0	102,3
BRA-2	356,7	213,5	1,7	259,9	1,2	0,1	0,0	1,1	10,0	93,1
BRA-4	337,0	217,5	1,5	232,9	1,1	0,1	0,0	1,1	10,0	94,9
CL-2	301,3	213,9	1,4	271,9	1,3	0,1	0,0	0,9	10,0	107,2
CL-4	342,5	219,6	1,6	311,6	1,4	0,1	0,0	1,0	10,0	100,2
ZNBR-2	308,0	216,8	1,4	250,6	1,2	0,1	0,0	1,0	10,0	100,2
ZNBR-4	322,7	221,1	1,5	236,3	1,1	0,1	0,0	1,0	10,0	98,7

4.1. Mekanik Testler

4.1.1. Birim hacim ağırlık testi

Üretilen numunelerin yoğunlukları $164,2 \text{ kg/m}^3$ ile $221,1 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Grafik incelendiğinde çinko borat katkısının karışımın yoğunluğunu en çok artıran bileşik olduğu görülebilir. %4 çinko borat bileşiği içeren numune referans numunenin yoğunluğunu %34 artırmıştır.

Saf su, genleştirilmiş perlit ve sodyum silikatın kullanıldığı referans numunenin yoğunluğu $164,2 \text{ kg/m}^3$ ile en düşük değerde çıkmıştır. Bunu sırasıyla kolemanit ve borik asitli bileşikler takip etmektedir. Şekil 4.1'den çıkarılabilecek bir diğer sonuç ise bazı istisnalar olmasına rağmen referans numuneye göre yoğunluğun karışıma eklenen malzeme miktarıyla doğru orantılı olduğudur.

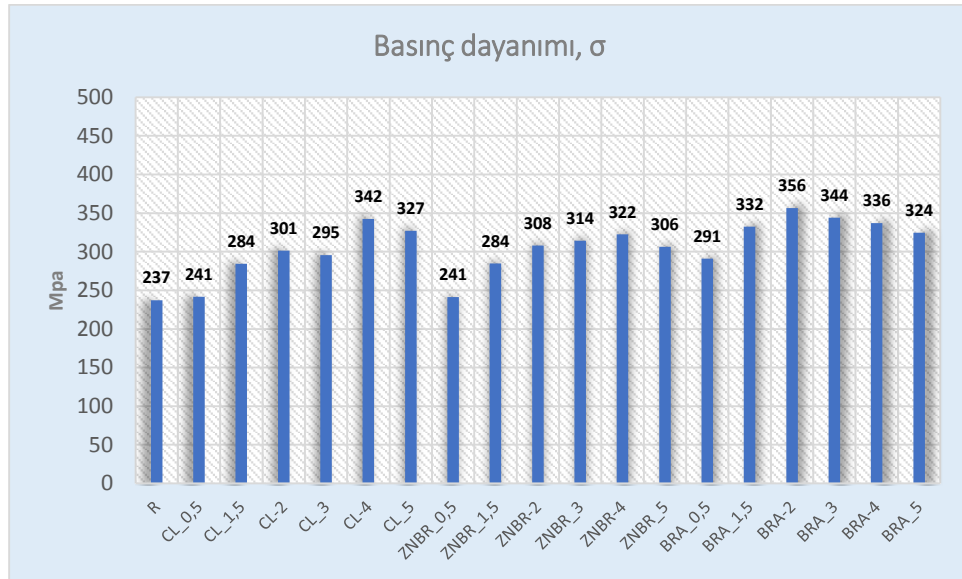


Şekil 4.1: Üretilen numunelerin yoğunluk değerleri

4.1.2. Tek eksenli basınç dayanımı tayini

Üretilen numunelere tek eksen yönünde uygulanan basınç testinde Referans numuneye ait basınç değeri 237.28 Mpa olarak ölçülmüştür. Borik asit içeren numunelerin basınç dayanım değerleri en yüksek değerlere ulaşıırken bunu sırasıyla çinko boratlı ve kolemanitli numuneler takip etmektedir. %2 borik asit bileşiği ilave edilen numunenin basınç dayanımı 356 Mpa olarak ölçülmüştür. Bu değer referans numuneye göre basınç dayanımının %50 civarında arttığını göstermektedir.

Yoğunluk değerleri incelendiğinde karışıma eklenen her bileşik için belli bir değer aşıldığında basınç dayanımı değerinin düştüğü görülebilir. Karakterizasyon test sonuçları incelendiğinde Borik asit, Çinko borat ve Kolemanit taneciklerinin Perlit taneciklerinden çok küçük olması sebebiyle belli bir değere kadar ilave edildiğinde bu boyut farkının perlit tanecikleri arasındaki tutunmayı arttırdığı, belli bir değerden sonra ise perlit tanecikleri arasına girip tutunma bölgelerinde daha küçük tutunma yüzeyi oluşmasına sebep olduğu için dayanım test sonuçlarını düşürdüğü görülebilir.



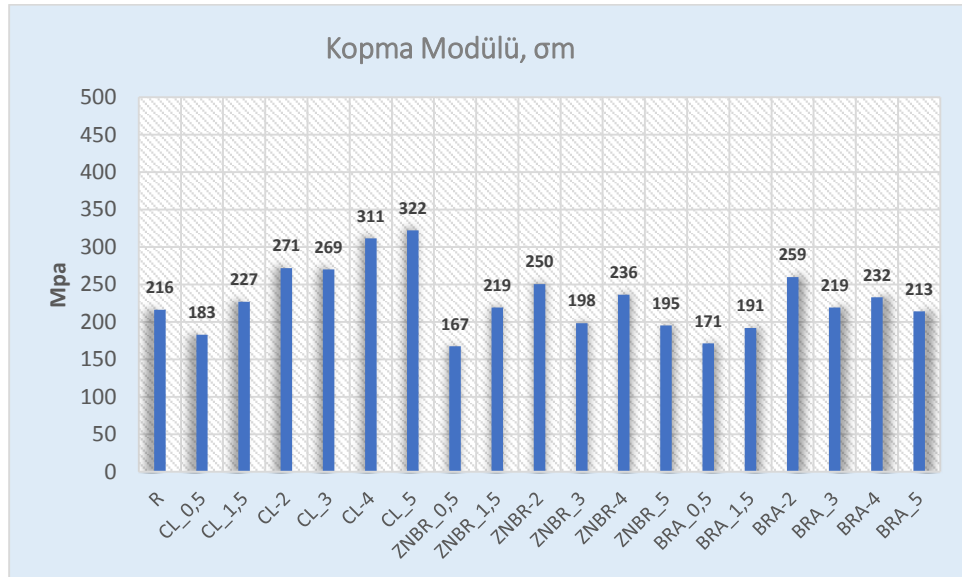
Şekil 4.2: Üretilen numunelere ait basınç dayanım değerleri

4.1.3. Üç nokta eğme (MOR) tayini

Üretilen numunelerin üç nokta eğme deney sonuçları 167.65 Mpa ile 322.35 Mpa arasında değiştiği görülmektedir. Çinko boratlı bileşikler referans numuneye kıyasla daha düşük değerlere sahipmiş gibi görünse de %2 ve %4 çinko borat bileşiği içeren numunelerde bu değerler referans değerlerin üzerinde çıkmıştır. Çinko boratın düşük değerlerde düşük yüksek değerlerde ise referans numuneye göre daha yüksek değerlere ulaşması özellikle mukavemet özellik istenen ürünlerde çinko borat miktarının artırılması gerektiği sonucunu düşündürmektedir.

Üç nokta eğme testinde en başarılı sonuçlar veren numuneler ise kolemanitli bileşikler olmuştur. Bu durumun sebebinin kolemanitin borik asidin de etkisiyle perlit bileşiklerine daha iyi tutunması olarak düşünülmektedir.

Kolemanit içeren bileşiklerde en düşük değer 183,03 Mpa olurken en yüksek değer ise 322.35 Mpa olarak tespit edilmiştir. Bu değerlere göre referans numunenin kopma modülü %49 civarında artmıştır. Diğer bileşiklerin karışımdaki oranı arttıkça kopma değerleri bir yerde pik değere ulaşip miktar arttıkça kopma değeri düşerken kolemanit içeren bileşiklerde bu değerlerin bileşik miktarı arttıkça daha da yüksek değerlere ulaştığı test sonuçlarından elde edilen önemli bir sonuç olmuştur.



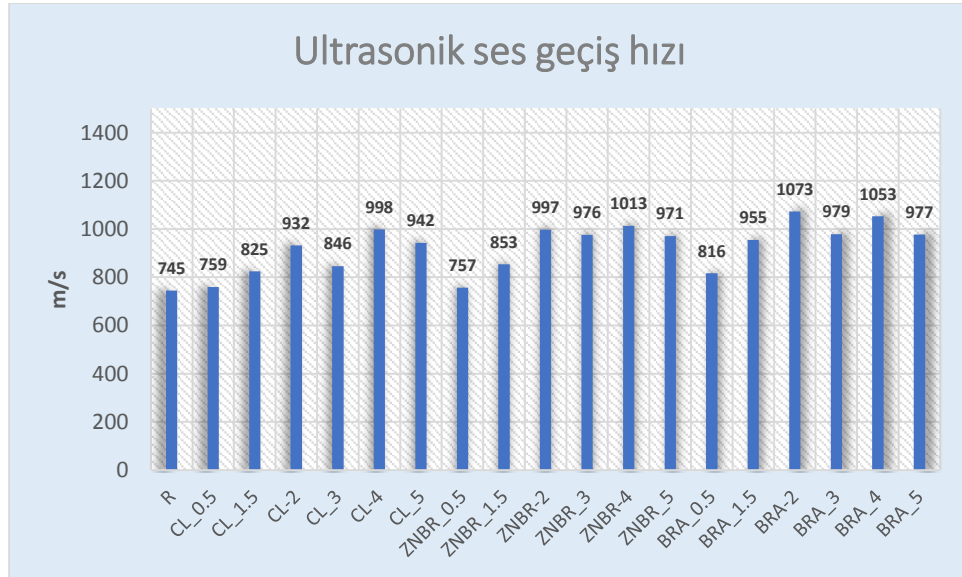
Şekil 4.3: Üretilen numunelerin kopma modülü değerleri

4.1.4. Ultrasonik Ses Hızı Tayini

Ultrasonik ses geçiş hızı tayini binalarda ısı yalıtımının yanı sıra ses yalıtımı da sağlanması istenen yalıtım malzemelerde aranan fiziksel özelliklerden bir tanesidir. Üretilen numunelerde ses geçiş hızı 0,8 m/s ile 1,1 m/s arasında değişmektedir. Bu değerler sesin havada 330 m/s ve alüminyum malzemede 5100 m/s ile iletildiği düşünüldüğünde çok iyi olarak değerlendirilmektedir. Karışıma eklenen malzeme miktarlarının ses geçiş hızı üzerindeki etkisi Şekil 4.4'te verilmiştir.

Şekil incelendiğinde çıkarılabilecek başlıca sonuçlar şunlardır:

- Karışıma eklenen malzeme miktarı arttıkça ses geçiş hızı artmıştır.
- %2 Borik asit ilavesi numunenin ses geçiş hızını %44 arttırmıştır.
- Karışımın yoğunluğu arttıkça ses geçiş hızı artmıştır
- Borik asit ilavesi ses geçiş hızını belli bir noktaya arttırmış daha sonra ses hızı azalmıştır.

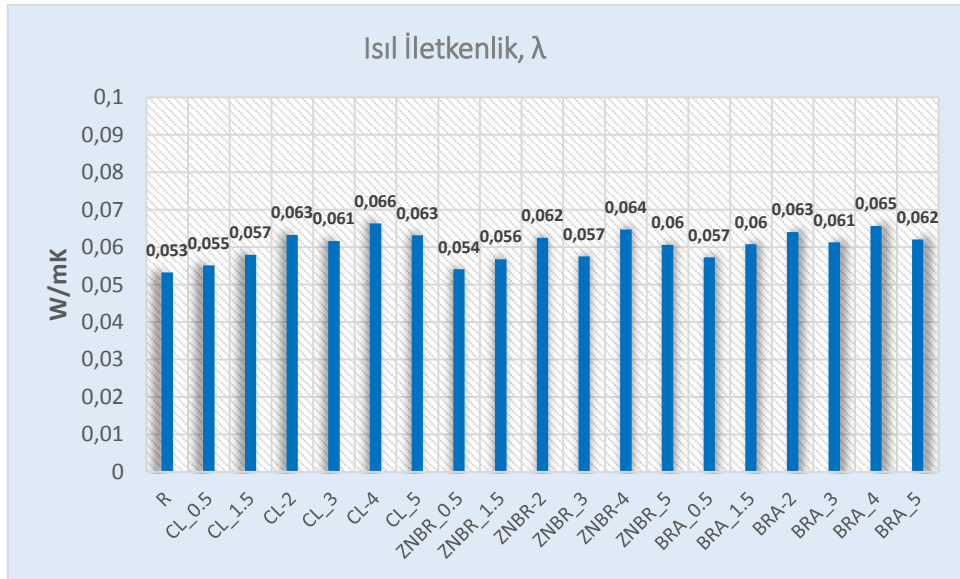


Şekil 4.4: Üretilen numunelerin ses geçiş hızı değerleri

4.1.5. Isıl iletkenlik tayini

Üretilen numunelerin ısı iletkenlik değeri; referans numunesi için en düşük değerde olup 0,053 W/mK'dir. En yüksek ısı iletkenlik katsayısı değeri ise %4 kolemanit ve %4 borik asit içeren numunelerde görülmüş olup 0,065 W/mK değerindedir. Tüm numunelere ait ısı iletkenlik katsayı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil incelendiğinde karışıma eklenen malzemelerin ısı iletkenlik değerini arttırdığı fakat tüm numune gruplarından belli bir noktadan sonra ısı iletkenlik katsayısı değerinin düşmeye başladığı sonucu çıkarılabilir. Bunun sebebi olarak referans numuneye madde ilavesi yapıldıkça karışımda bulunan ve yüksek ısı iletkenliğe sahip sodyum silikat miktarının azaldığı ve bu durumun numunenin ısı iletkenliğini düşürdüğü düşünülmektedir.

Bu tezin kapsamı %5'e kadar madde ilavesiyle perlit esaslı ısı yalıtım malzemelerinin mekanik ve ısı özelliklerine etkisinin incelenmesi olduğundan %5'ten fazla miktarda madde ilavesiyle üretilen numunelerin ısı iletkenlik katsayısının düşürölüp düşürölmemeyeceğı başka çalışmaların önünü açmıştır.



Şekil 4.5: Üretilen numunelerin ısı iletkenlik değerleri

4.1.6. Yanmazlık – tutuşmazlık tayini

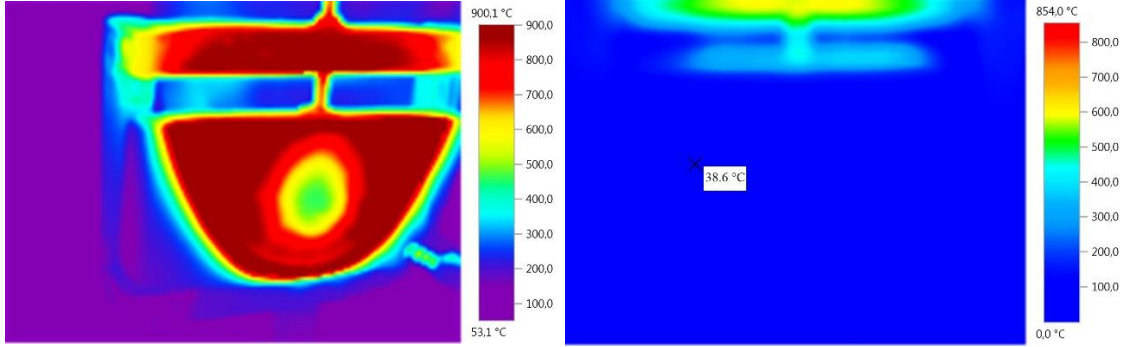
Yangına dayanıklı ısı yalıtım malzemelerinde önemli bir gösterge de malzemelerin yangın esnasında kaybettikleri madde miktarıdır. Bu madde miktarının belirlenebilmesi için yanmazlık testi uygulanır.

Üretilen numunelere uygulanan yanmazlık testi sonrası elde edilen veriler Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde malzemelerin yüksek ısı altında ağırlıklarından %0,82 ile %2,5 arasında değer kaybettikleri görülebilir. Bu değerler malzemelerin aleve mukavemet gösterdikleri ve olası bir yangın esnasında aşırı bir kütle kaybına uğramayarak yapılarını koruyacağını göstermektedir.

Çizelge 4.2: Yanmazlık testi sırasındaki ağırlık değişimleri

Malzeme	İlk ağırlık (g)	Son ağırlık (g)	Değişim (%)
R	55.9	54.5	2.50
CL_0.5	54.3	53.2	2.03
CL_1.5	61.7	60.5	1.94
CL_3	59.8	58.8	1.67
CL_5	65.8	64.8	1.52
ZNBR_0.5	52.9	51.9	1.89
ZNBR_1.5	59	58.1	1.53
ZNBR_3	56.6	55.9	1.24
ZNBR_5	47.5	47.1	0.84
BR_05	62.3	61.2	1.77
BR_1.5	60	59.1	1.50
BR_3	52	51.3	1.35
BR_5	61.1	60.6	0.82
BRA-2	70.3	69.4	1.28
BRA-4	57.3	56.7	1.05
CL-2	66.1	65.2	1.36
CL-4	62.1	61.4	1.13
ZNBR-2	67.3	66.4	1.34
ZNBR-4	64.8	64.1	1.08

Üretilen numunelerin alev dayanıklılıklarının bir diğer göstergesi de Şekil 4.6’da gösterilen ve numuneye ait termal kamera görüntüsüdür. Yaklaşık 5 dakika süresince pürümüz alevine karşı tutulan numunelerin bir tarafı 900 °C olurken diğer taraf ortam sıcaklığının biraz üstünde 38,6 °C olmuştur.



Şekil 4.6: Numuneye ait termal kamera görüntüsü

4.1.7. Rötire (boyut küçültme miktarı) tayini

Rötire testi karışım malzemelerinin statik yapısını anlamak için etkili bir yöntemdir. Statik olarak rijit olan malzemeler fiziksel olarak farklı ortamlarda daha az şekil değişikliğine uğrar. Rijit olmayan malzemelerde, örneğin köpük ve benzeri, ortam sıcaklığına bağlı olarak boyut değişikliği daha fazla hissedilirken rijit malzemeler bu gibi çevresel faktörlerden daha az etkilenir. Çizelge 4.2’de görüleceği üzere üretilen yalıtım malzemelerinden olan ve bor bileşiklerinin ilave edilmediği referans numunede boyutsal değişimler %1.25 ve %2.83 arasında gerçekleşmiştir. Değişimin yönünün pozitif olması yani malzemenin boyutsal olarak büyüme eğiliminde olması malzeme içerisindeki hava boşlukları ve suyun ısı etkisiyle hacimce genleşme eğiliminde olması ve bunun da malzemede hacimsel büyümeye sebep olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

Referans numunesi dışında kalan diğer karışımların boyutsal değişim miktarının referans numuneye kıyasla daha az olması ise bu karışımların içerisindeki hacimce daha küçük olan bor bileşiklerinin malzeme içerisindeki boşlukları doldurması ve ayrıca karışım içerisinde bulunan diğer bileşiklerle kurduğu bağlar sayesinde malzemenin rijitliğini sağlaması nedeniyledir.

Rötre testi sonucunda bor ilavesinin malzemenin karakteristik özelliklerini iyileştirdiği ve malzemeye daha rijit bir yapı kazandırdığı görülmüştür.

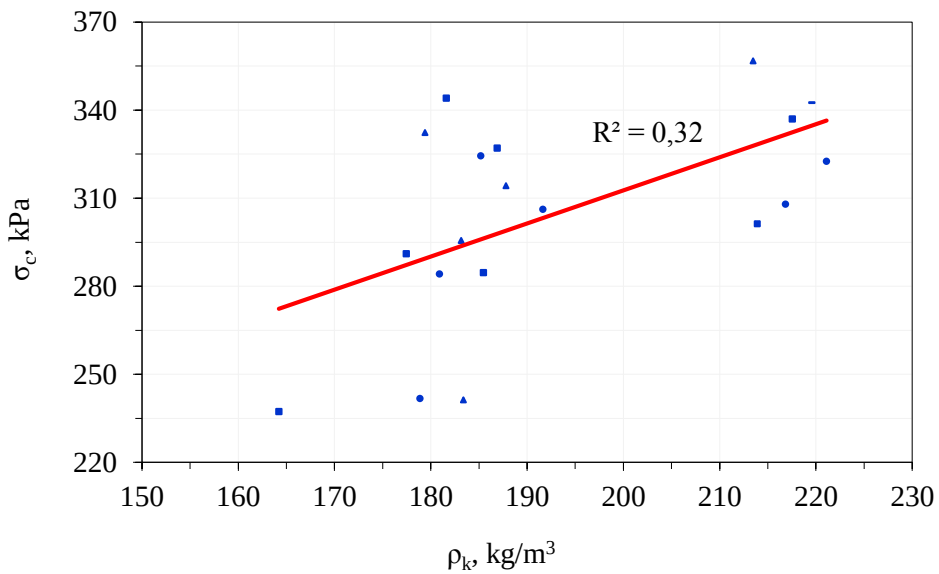
Çizelge 4.3: Üretilen yalıtım malzemelerinin rötre değerleri

Malzeme	Genişlik değişimi (%)	Uzunluk değişimi (%)	Kalınlık değişimi (%)
R	1.25	1.95	2.83
CL_0.5	0.38	-0.17	1.86
CL_1.5	-0.25	-0.4	1.79
CL_3	0.26	-0.17	1.48
CL_5	-0.64	-0.1	-0.34
ZNBR_0.5	-0.51	0.1	1.26
ZNBR_1.5	-0.13	0.71	1.02
ZNBR_3	-0.77	0.33	1.97
ZNBR_5	0.88	-0.34	1.72
BR_0.5	0.51	-0.08	-1.09
BR_1.5	0.38	-0.07	-1.07
BR_3	0.28	0.21	0.28
BR_5	-0.27	-0.06	-0.22
BRA-2	-0.77	-0.47	0.74
BRA-4	0.35	-0.13	-0.37
CL-2	-0.25	-0.27	1.77
CL-4	0.59	0.33	1.57
ZNBR-2	0.13	0.23	0.34
ZNBR-4	0.51	-0.17	-0.69

4.2. Regresyon analizleri:

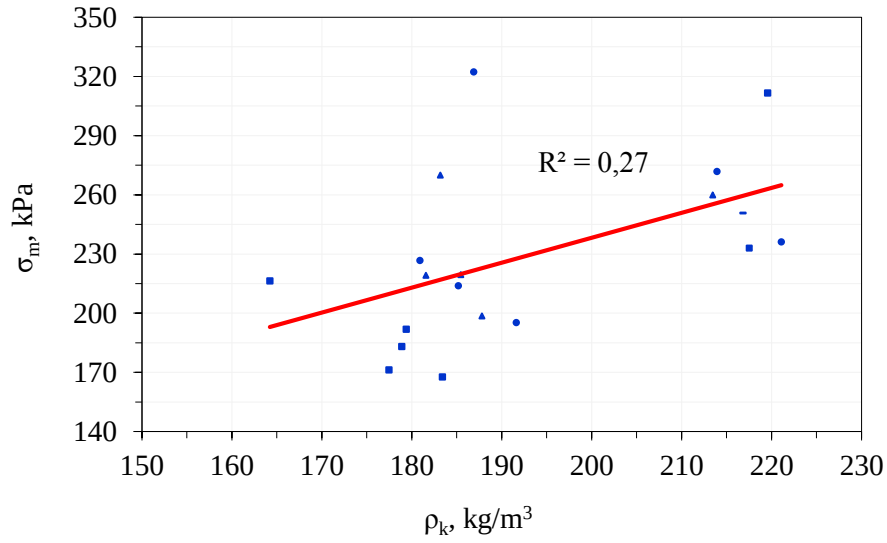
Regresyon analizlerinin amacı, test edilen tüm sayısal sonuçların analitik biçimde karşılaştırılıp aralarında bir ilişki olup olmadığını ortaya çıkarmak ve ortaya çıkan ilişkileri değerlendirmektir. Test edilen özellikler arasındaki olası ilişkileri bulabilmek için, Microsoft Excel gibi ücretsiz bir istatistiksel yazılım kullanılarak çok değişkenli bir regresyon analizi yapılmıştır. Bir veri kümesinde regresyon modelinin doğruluğu, çoklu belirleme katsayısı R^2 'nin karesi hesaplanarak ispat edilir. R^2 ne kadar "1'e" yakınsa o veri kümesine ait en uygun model tespit edilmiş olur. Çalışmada yapılan regresyon analizlerinde yoğunluk temel parametre olarak seçilmiş ve değişimler bu parametreye göre incelenmiştir. Bunun sebebi, yoğunluğun en temel, basit ve hızlı ölçülebilir bir test parametresi olmasıdır.

Şekil 4.7'de üretilen numunelerin basınç dayanım ve yığınsal yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi numunelerin yoğunluğu arttıkça genel olarak basma dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir. R^2 değerlerine sahip numuneler için sonuçların bileşimine dayanarak iyi bir ilişki gösterdiği ispat edilmiştir. Diğer taraftan $R^2=0,32$ değeri üretilen yalıtım malzemelerinin yoğunluğunu basma mukavemet değerine göre doğrudan bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bu ise karışıma eklenen minerallerin, yapıştırıcının ve sertleştirici malzemelerin etkisinin basma dayanımı üzerinde büyük etkisi olduğu sonucuna dayanmaktadır.



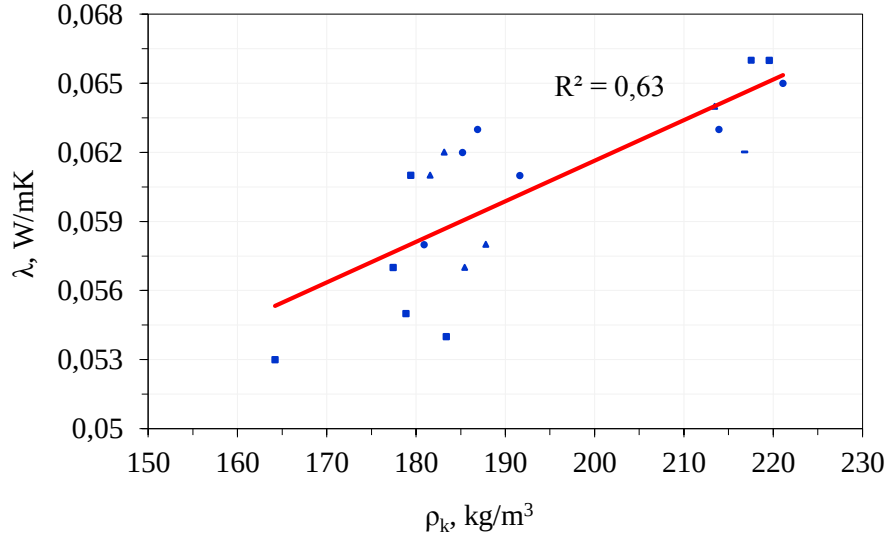
Şekil 4.7. Numunelerin basınç dayanımı ve yoğunluk arasındaki ilişki

Şekil 4.8’de üretilen numunelerin kopma modülü ile yığinsal yoğunluk değerleri arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Şekilden bir önceki grafikte olduğu gibi üretilen numunelerin yoğunluğu arttıkça genel olarak basma dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir. Diğer taraftan $R^2=0,27$ değeri üretilen yalıtım malzemelerinin yoğunluğunun kopma modülü değerine göre doğrudan bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bunu da aynı şekilde karışıma eklenen minerallerin, yapıştırıcının ve sertleştirici malzemelerin etkisinin basma dayanımı üzerinde büyük etkisi olduğu sonucuna dayanmaktadır.



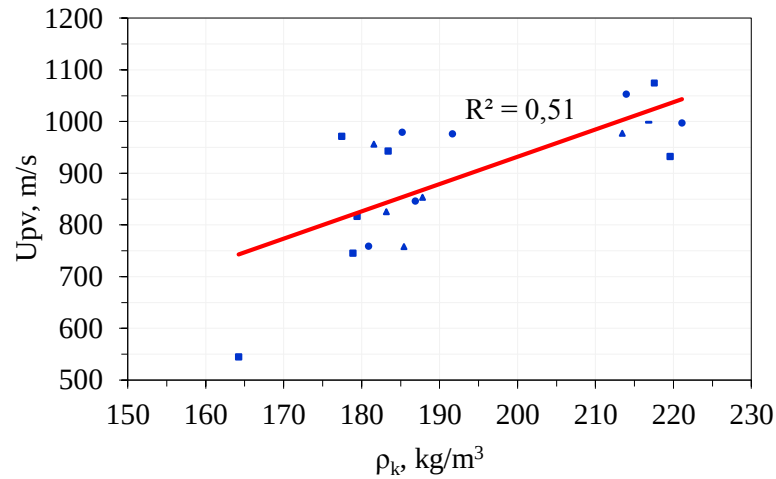
Şekil 4.8. Numunelerin basma dayanımı ile kopma modülü arasındaki ilişki

Şekil 4.9’da üretilen numunelerin etüv kuru yoğunluğunu ile ısı iletkenlikleri arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Tüm numunelerin yoğunluk ile ısı iletkenlik için doğrusal eğrileri çizilmiş olup ilişki $R^2 = 0.63$ ile temsil edilmiştir. Sonuçlara baktığımızda yoğunluk ile ısı iletkenlik arasında güçlü bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebini yoğunluğun arttıkça numunelerin içerisindeki gözenekliliğin azalmasıyla açıklayabiliriz. Düşük ısı iletkenliği sağlayan durgun hava ($\lambda=0,024$) miktarının artmasıyla birlikte malzemenin de ısı iletkenliğinin azalmasını bu sonuca dayandırabiliriz.



Şekil 4.9. Numunelerin etüv kuru yoğunluğunu ile ısı iletkenlikleri arasındaki ilişki

Şekil 4.10’da üretilen numunelerin yoğunluğunu ile ultrasonik ses hızları arasındaki ilişkiyi gösterilmektedir. Tüm numunelerin yoğunluk ile ısı iletkenlik için doğrusal eğrileri çizilmiş olup ilişki $R^2 = 0,51$ ile temsil edilmiştir. Sonuçlara baktığımızda yoğunluk ile ultrasonik ses hızı arasında önemli bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebini yoğunluğun arttıkça numunelerin içerisindeki gözenekliliğin azalmasıyla açıklayabiliriz. Normal şartlarda düşük ultrasonik ses hızını sağlayan durgun hava ($V=346$ m/s, 25°C) miktarının artmasıyla malzeme içerisindeki boşluk oranının arttığı bu ise malzemenin içerinden geçen ses hızının azalmasına sebep olduğunu söyleyebiliriz. Sonuç olarak yüksek boşluk yapısına sahip numunelerin yüksek ısı ve ses yalıtımı sağladığı görülmektedir.



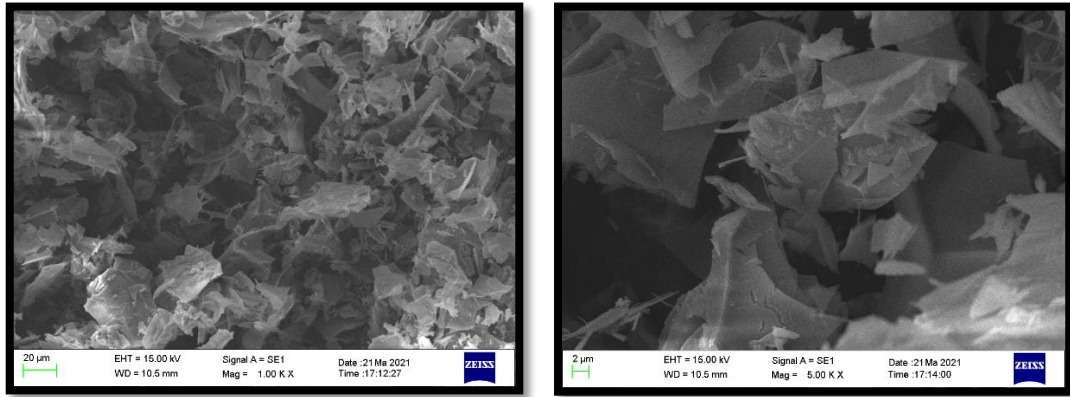
Şekil 4.10. Numunelerin yoğunluğunu ile ultrasonik ses hızları arasındaki ilişki

4.3. Karakterizasyon Testleri

Karakterizasyon testleri numuneyi oluşturan bileşenlerin kendi aralarında oluşturduğu fiziksel bağların çok küçük ölçeklerde (bu çalışmanın sonuçlarına göre 2-20 mikrometre) incelenmesi için yapılır. Bu testler neticesinde numuneye eklenen bileşiklerin kendi aralarında oluşturdukları yapılar daha net anlaşılabilir.

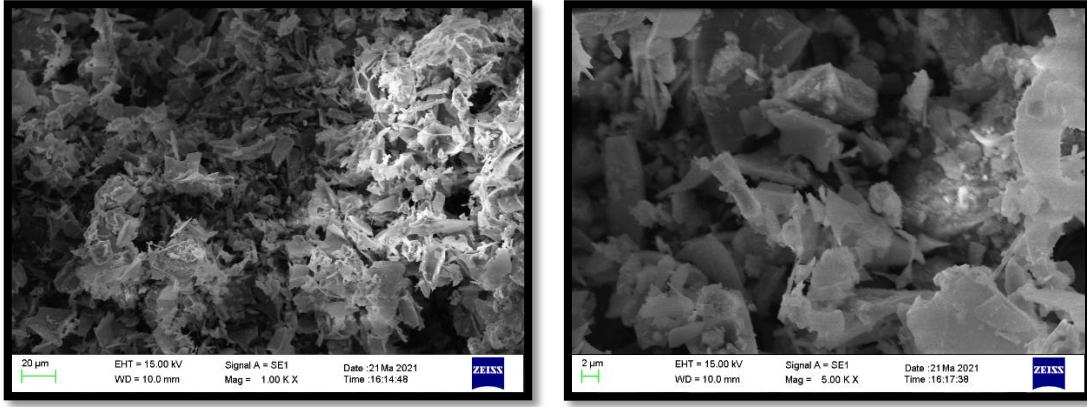
Hazırlanan numunelerin karakterizasyonlarının incelenebilmesi için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Elektron Microscope) Cihazı kullanılmıştır.

Şekil 4.11’de Saf su, Sodyum silikat ve Genleştirilmiş Perlitten oluşan Referans numunesine ait 20 mikrometre ve 2 mikrometre ölçekli SEM görüntüsü verilmiştir. Şekil incelendiğinde perlit tanelerinin düzgün olmayan tanecikli yapısı kendi içerisinde karmaşık bir yapı oluşturarak numuneye rijitlik kazandırmaktadır. Perlit taneciklerine kıyasla daha küçük yapıdaki sodyum silikat bileşiği ise perlit taneciklerine yapışarak agrega çeşitliliği oluşturmakta ve karışımın mekanik özelliklerine katkı sağlamaktadır.



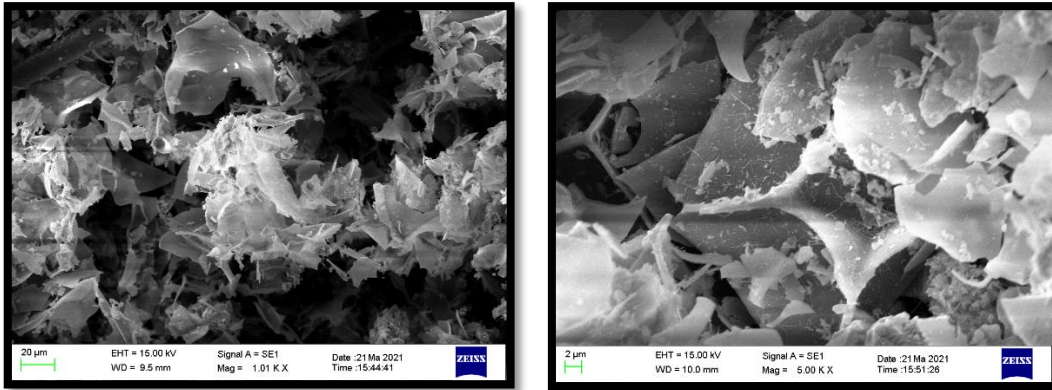
Şekil 4.11. Referans numuneye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.12’de ise Borik aside ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüsü verilmiştir. Şekil incelendiğinde Borik asit taneciklerinin boyut olarak Perlit taneciklerinden daha küçük olduğu fakat karışım içerisinde iyi bir dağılım sergilediği görülmüştür. Nitekim bu dağılım basınç dayanım test sonuçlarına da yansımış ve borik asit ilaveli numunelerin Tek Eksenli Basınç Dayanım Testi ve Üç Nokta Eğme Testi değerleri referans numuneye göre daha yüksek olmuştur.



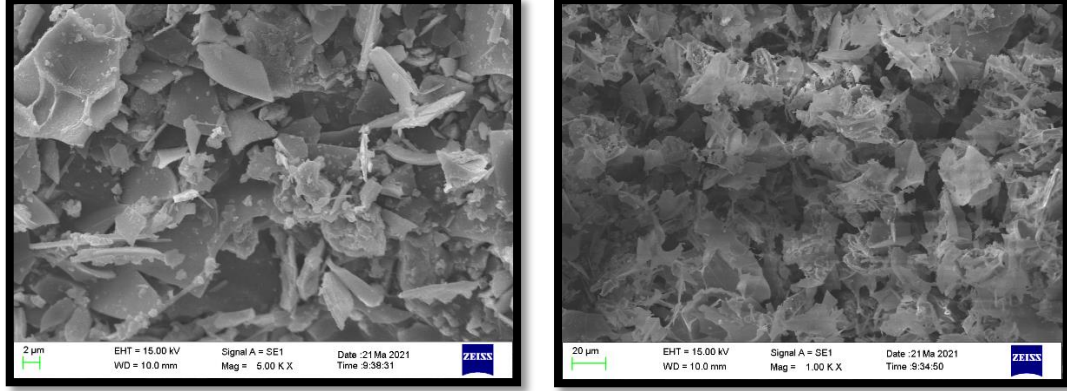
Şekil 4.12. Borik asit ilaveli numuneye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.13'te Kolemanite ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde kolemanit taneciklerinin Borik asit taneciklerine benzer biçimde Perlit taneciklerine kıyasla çok küçük olduğu görülebilir. Borik asit taneciklerinden daha küçük olmasına rağmen Perlit taneciklerinin yüzeylerine daha iyi tutunabildiği için basınç dayanım testlerinde referans numuneye kıyasla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Borik aside benzer şekilde karışımdaki kolemanit miktarı arttıkça perlit taneciklerinin tutunma bölgelerinde daha küçük tutunma yüzeyleri oluşturduğundan mekanik test sonuçlarından miktar arttıkça dayanım değerleri azalmaktadır.



Şekil 4.13. Kolemanit ilaveli numuneye ait SEM görüntüleri

Şekil 4.14'te Çinko borata ait Taramalı Elektron Mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde Çinko borat bileşiğinin de Borik aside ve Kolemanite benzer yapılar oluşturduğu görülebilir.



Şekil 4.13. Çinko borat ilaveli numuneye ait SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mekanik ve karakterizasyon testleri ile regresyon analizleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. İlave edilen bileşikler karışımın yoğunluğunu arttırmıştır.
2. Bileşik ilavesi referans numune ile karşılaştırıldığında tek eksenli basınç dayanımını arttırmıştır. %2 oranında Borik Asit ilavesi referans numunenin basınç değerini %50 oranında arttırmıştır.
3. %5 oranında kolemanit ilavesi referans numunenin üç nokta basma dayanımını %49 oranında arttırmıştır.
4. Bileşik ilavesiyle referans numunenin kuru yığmsal yoğunluğu artmıştır.
5. Ultrasonik ses geçiş hızı bileşik ilavesiyle artmıştır.
6. Isıl iletkenlik değerleri referans numune için <0.05 W/mK değerine çok yakın iken %4 kolemanit ilavesi sonucu maksimum değere ulaşmakta ve 0.066 W/mK olmaktadır.
7. Numuneler üretilirken karışıma eklenen bileşik miktarı arttıkça numunelerin yoğunluğu artmakta ve yoğunluğa bağlı olarak basınç dayanımı, kopma modülü, ısı iletkenlik ve ultrasonik ses hızı değerleri analitik olarak yükselmektedir.
8. Referans numuneye eklenen bileşikler perlit tanecikleri arasında agrega boyut çeşitliliği oluşturmakta ve bu da numunelerin mekanik ve termal özelliklerini etkilemektedir.

Bu sonuçlar ışığında;

1. Bağlayıcı eleman olarak sodyum silikat yerine perlite daha iyi bağlanabilen yeni bir bileşiğin kullanılmasıyla perlit taneciklerinin birbirine daha iyi bağlanabileceği,
2. İlave edilen bileşiklerin tanecik boyutu perlite kıyasla çok küçük olduğu için tanecik boyutu perlite daha yakın bileşiklerin kullanılmasıyla mekanik testlerde daha iyi sonuçlar elde edilebileceği,
3. Üretilen numunelerin yüksek sıcaklıklarda fırınlanmasıyla boşluklu daha rijit yapılar oluşturulabileceği düşünülmüş ve bu iyileştirmeler neticesinde çalışmanın iletilmesi tavsiye edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akarslan, 2015, Investigation on Fire Retardancy Properties of Boric Acid Doped Textile Materials, Acta Physica Polonica A, s.404
- Akman, 2003, Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426, s.33
- Anonim, "Yangınlarda Korunma Yönetmeliği", 1996, Türkiye Yangından Korunma ve İtfaiye Eğitim Vakfı (Tteyak), İstanbul, Sayı 3.
- Anonim, <http://Science.Ankara.Edu.Tr/~Kavusan/Borpage> (Erişim Tarihi 13.01.2019)
- Anonim, <http://www.enoven.com.tr/teknolojilerimiz/piroliz-nedir/> (Erişim Tarihi: 31/01/19)
- Anonim, <http://www.ido-forum.org/doga-ve-vevre/154676-bor-hakkinda-hersey.html> (Erişim Tarihi 13.01.2019)
- Anonim, [https://kisi.deu.edu.tr/selcuk.turkel/Ders3-agrega\(1\).pdf](https://kisi.deu.edu.tr/selcuk.turkel/Ders3-agrega(1).pdf) (Erişim Tarihi: 23.01.2021)
- Anonim, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mika>, (Erişim tarihi: 12.12.2020 7:24 pm)
- Anonim, <https://www.argeyapiizolasyon.com/perlit-nedir> , (Erişim Tarihi: 12.01.2021 2:31 pm)
- Asdrubali ve diğ., 2015, A Review of Unconventional Sustainable Building Insulation Materials
- Atalay Ö., 2012, Magnezyum Borat Sentezi ve Alev Geciktirici Pigment Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

- Ayar B., 2007, Çinko Borat Sentezi ve Yüksek Sıcaklıkta Pigment Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12-14
- Ayar B., Gürü, M. Çakanyıldırım, Ç., 2014, Solid Phase Synthesis of Anhydrous Zinc Borate From Zinc and Boron Oxide and Utilization as a Flame Retardant in Dye and Textile, Gazi University Journal of Science, s.988
- Aydın, D., 2016, Bor Bileşiklerinin Alev Geciktirici ve Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Pigment Olarak Uygulanabilirliği, s.3-6
- Aydoğan ve Usta, 2015, Nanokil ve Kabaran Alev Geciktirici İlavesinin Rijit Poliüretan Köpük Malzemelerin Isıl Bozunma ve Yanma Davranışlarına Etkilerinin İncelenmesi
- Aydoğan ve Usta, 2018, Kabaran Alev Geciktirici İlaveli Esnek Poliüretan Köpük Malzemelerin Yanma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi
- Azimi ve diğ., 2016, Processing and Properties of Geopolymers as Thermal Insulating Materials
- Bayraktar, 2016, Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı Uygulamalarının Değerlendirilmesi
- Bektaş ve diğ., 2017, Binalarda Isı Yalıtımının Önemi ve Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Yalıtıma Etkisi
- Binici ve Aksogan, 2014, Engineering Properties of Insulation Material Made with Cotton Waste and Fly Ash
- Binici ve Aksogan, 2016, Eco-friendly Insulation Material Production with Waste Olive Seeds, Ground PVC and Wood Chips
- Briggs, C.C., 1998, Calcium Carbonate. Plastics Additives: An A–Z Reference. s.14

- Briggs, C.C., 1998, Mica: Plastics Additives: An A–Z Reference, In Pritchard, G., (Eds.), London: Chapman & Hall, s.459
- Burat, 2017, Feldispat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, s.206
- C. Kara ve diğ., 2020, Öğütülmüş Kolemanit İçeren Betonlarda Sodyum Klorür Etkisi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol.8, s.500
- Çelebi, K., 2009, “Poliester Örne Kumaşların Güç Tutuşurluk Davranışının İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, s.19
- Çelik ve diğ., 2014, New Lightweight Colemanite-Added Perlite Brick and Comparison of its Physicomechanical Properties with Other Commercial Lightweight Materials. Construction and Building Materials, 62, s.59–66
- Çelik, 2015, Alüminyum Siyah Cüruflarındaki Alüminyumun ve Bileşiklerinin Hidro ve Pirometalurjik Yöntemler ile Geri Kazanılması, s.49-50
- Çelikoyan ve diğ., 2010, Kolemanitten Yeni Bir Yöntemle Borik Asit Üretim Prosesinin Geliştirilmesi, İTÜ Dergisi/d Mühendislik Cilt:9, Sayı:2, 15-26, s.17
- Çiftçi, A., 1996, Tekstil Boyama ve Baskısında Kullanılan Yardımcı Maddeler, Sümer Yayın, Bursa, s.3
- Çoban ve Aytaç, 2017, Alev Geciktiricilik Özelliği Geliştirilmiş ve Plastikleştirilmiş Poli(Laktik Asit)’in Özelliklerine Farklı Nano Katkıların Etkisinin İncelenmesi
- Deodharve diğ., 2006, Polypropylene Based Novel Flame Retardant Nanocomposite Compositions, In: Technical Papers in Composites, Convention and Trade Show American Composite Manufacturers Association, s.18-20
- Erdoğan, 2005, Çimento Harçlarının Niteliklerinin İyileştirilmesi, s.12

Erdoğan, 2015, Halı ve Bor Atıklarından İzolasyon Malzemesi Üretimi

George, C., Pouchelon, A., Thiria, R., 2006, Composition Polyorganosiloxanes Vulcanisables A` Chaud Utilisable Notamment Pour La Fabrication De Fils Ou Câbles` Lectriques, French Patent 2,899,905

Giannouri ve diğ., 2013, One-Step Synthesis of TiO₂ /Perlite Composites by Flame Spray Pyrolysis and Their Photocatalytic Behavior. International Journal of Photoenergy 2013, s.1-8

Giúdice C. A., Benítez J. C., 2001, Zinc Borates as Flame-Retardant Pigments in Chlorine Containing Coatings, Progress in Organic Coatings, 42 (1-2), 82-88

Gooding, W., & Temple, R., 1973, *U.S. Patent No. 3,719,510*. Washington, DC

Greenwood, 1997, Elementlerin Kimyası, s.26

Halliwell ve diğ., 2000, Hydrogen Peroxide in the Human Body. FEBS Letters, 486(1), 10–13, s.10

Hermansson, A., Hjertberg, T., Sultan, B.A., 2003, The Flame Retardant Mechanism of Polyolefins Modified with Chalk and Silicone Elastomer, Fire Mater., 27, s.51–70

Ji ve diğ., 2015 Synthesis, Characterization and Modeling of New Building Insulation Material Using Ceramic Polishing Waste Residue

Kadıoğlu, 2014, Döküm Endüstrisinde Sodyum Silikat Bağlayıcılı Kalıp / Maça Kum Özelliklerinin Mikrodalga Yöntemiyle Geliştirilmesi, s.20

Karadayı ve Yüksek, 2016, Yapılarda Isı Yalıtım Malzemeleri Seçimi Üzerine Bir Araştırma

Katırcıoğlu, D., 2018, Alev Geciktirici Mineral Dolgu Maddeleri, s.2-10

- Kaya, M., 1999, Mineral Esaslı Alev Geciktirici ve Duman Bastına Katkı Maddeleri, s.2-4
- Kaynaklı ve Yamankaradeniz, 2007, Isıtma Süreci ve Optimum Yalıtım Kalınlığı Hesabı
- Kısakürek, D., 2003, Yanmaya Dayanıklı Polimerler. XVII Ulusal Kimya Kongresi, s.20
- Kracklauer, J.I., 1978, Flame Retardant Polymeric Materials. New York: Plenum Pres, s.115-118
- Kutuk-Sert ve diğ., 2020, Öğütülmüş Kolemanit Minerali İkameli Beton Yollardaki Aşınma Kaybının Araştırılması, AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025601 (287-295), s.288
- Laoutid F., Bonnaud L., Alexandre M., Lopez-Cuesta, J.M., Dubois, P., 2003, “New Prospects in Flame Retardant Polymer Materials: From Fundamentals to Nanocomposites”, Mater. Sci. Eng. R, 63, s.100
- Lens ve diğ., 2019, Polymeric Flame Retardants for Reinforced Thermoplastic and Thermoset Resins
- Li ve diğ., 2016, Wood Composite as an Energy Efficient Building Material Guided Sunlight Transmittance and Effective Thermal Insulation
- Liang ve diğ., 2013, Recent Developments in the Fire Retardancy of Polymeric Materials
- Lu, S.-Y. and Hamerton, I., 2002, Progress in Polymer science. 27, 1661-1712
- Matsuda, T. ve diğ., 1976, *U.S. Patent No. 3,957,501*. Washington, DC: U.S.
- Mureimk, R J., 1998, Flame Retardants, Industrial Minerals, No- 364, s.47
- Nicholson ve diğ., 2000, “Flame Retardant Silicone Foams”, US Patent, 6,084,002

- Oktaý, 2017, Yalıtım Özelliđi Yüksek Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi ve Isıl Performanslarının İncelenmesi, s.4
- Osman ve diğ., 2001, “Reinforcement Of Poly (Dimethyl siloxane) Networks By Mica Flakes”, Polymer, 42, 6545–56
- Özdemir ve diğ., 2013, Yüksek Yođunluklu Lif Levhanın Isı İletkenliği ve Limit Oksijen İndeksi Üzerine Yanmayı Geciktiricilerin Etkisi, s.6
- Pamukçu ve diğ., 1997, Ponza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları, s.7
- Park, E.S., 2007, “Mechanical Properties And Processibility Of Glass-Fiber, Wollastonite And Fluro Rubber Reinforced Silicone Rubber Composites”, J. Appl. Polym. Sci., s.105
- Prabhakar M. N., 2015, Shah A., Song J., A Review on the Flammability and Flame Retardant Properties of Natural Fibers and Polymer Matrix-Based Composites, Composites Research, 28(2), s.32
- Pritchard, G., (Eds.), London, Chapman & Hall, 148–52
- Pritchard, G., Fillers, 1998, “Plastics Additives: An A–Z Reference.” In: Pritchard, G., (Eds.), United Kingdom, Chaall, s.251
- Sadowska J. P., Czupryn’ski B., Liszkowska J., 2015, Boron-containing fire retardant rigid polyurethane-polyisocyanurate foams, Part II – preparation and evaluation, Journal of Fire Sciences, 33(1), s.55
- Sargent, 1940, Preparation of Aluminum Sulphate, US Patent, 2,340,567, s.1
- Savaş ve Doğan, 2018, Genişleyen Grafit ve Organokilin Kabaran Amonyum Polifosfat Esaslı Polipropilen Karbon Elyaf Kompozitlerin Alev Geciktirici, Isıl ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, s.7

- Stec ve Hull, 2010, Assessment of the Fire Toxicity Of Building Insulation Materials
- Tıkız ve diğ., 2018, Bina Isı Yalıtım Sistemlerinin İncelenmesi ve Optimizasyonu
- Toporcer, L.H., Dibling, M.R., 1993, “Flame Retardant Elastomeric Composition”, US Patent 5,260,372
- Tosun ve diğ., 2020, Fiziksel Zenginleştirme ve Hidrometalurjik Yöntemlerle Kuvars Cevherinden Demir Uzaklaştırma. DEUFMD 22(64),187-197., s.188
- Ullah ve diğ., 2011, Effect of Boric Acid with Kaolin Clay on Thermal Degragation of Intumescent Fire-Retardant Coating
- Uluer ve diğ., 2017, An Investigation of Usability of Expanded Perlite in Heat Insulation Technologies
- Vilches ve diğ., 2005, Insulating Capacity of Fly Ash Pastes Used for Passive Protection Against Fire
- Wang ve diğ., 2017, Carbon-family Materials for Flame Retardant Polymeric Materials
- Weir, R. J. ve & Fisher, R. S. (1972). Toxicologic studies on borax and boric acid. Toxicology and Applied Pharmacology, 23(3), 351–364, s.356
- Wicklein ve diğ., 2014, Thermally Insulating and Fire-Retardant Lightweight Anisotropic Foams Based on Nanocellulose and Graphene Oxide
- Won ve diğ., 2012, Eco-friendly Fireproof High-strength Polymer Cementitious Composites
- Xu, X., Tao, X., Gao, C., Zheng, Q., 2008, “Studies on The Steady and Dynamic Rheological Properties of Poly (Dimethyl-Siloxane) Filled with Calcium Carbonate Based on Superposition of Its Relative Functions”, J. Appl. Polym. Sci., 107, 1590–

Yasdıman, 2017, The Evaluation of Innovative Insulation Materials for Energy Efficiency in Civil Engineering, s.8

Yıldırım ve Çelik, 2014, Alev Geciktirici Huntit ve Hidromanyezit Nanopartikül Takviyeli Polimetrik Kompozit Kaplamalar, s.5

Yıldırım, 1996, Alev Geciktirici Huntit ve Hidromanyezit Nanopartikül Takviyeli Polimerik Kompozit Kaplamalar, s.3-6

Yıldız ve Arslan, 2018, Cam Elyaf Takviyeli Beton Panellerin Dış Cephelerde Kullanımı, s.6

Yiğit ve diğ., 2013, Tavşanlarda Borik Asidin Kan Kimyasına Etkisi, Journal of Faculty of Veterinary Medicine, Erciyes University, 10(2), 77-85, s.82

Zhang ve Horrocks, 2003, A Review of Flame Retardant Polypropylene Fibers