

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK BRİKET TOZU KATKILI POLİMER BETONLARIN
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Turan UZUNBOY

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ahmet BENLİ

BİNGÖL-2024

**ATIK BRİKET TOZU KATKILI POLİMER BETONLARIN MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ahmet BENLİ danışmanlığında, Turan UZUNBOY tarafından hazırlanan bu çalışma 16/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu (.../...)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ *İmza* :
Üye : Doç. Dr. Ahmet BENLİ *İmza* :
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat DENER *İmza* :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmaları aşamaların da gerekli maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen tüm çalışmalarım da destek olan ve yönlendiren değerli danışmanım sayın Doç. Dr. Ahmet BENLİ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım da gerekli laboratuvar araç ve gereçlerini kullanmamda laboratuvar çalışmalarım da bilgi ve beceresiyle her daim beni destekleyen ve yönlendiren hiçbir konu da desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Öğr. Gör. Hasan POLAT ve Dr. Öğr. Üyesi Murat DENER hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elazığ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yapı laboratuvarında çalışmalarımız için bize destek veren ve lisans eğitimi aldığım dönemde çok değerli bilgilerinden istifade ettiğim sayın Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bizlere gerekli olan çalışma ve araştırma ortamını hazırlayan, emeği geçen Bingöl Üniversitesi hocalarına ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hiçbir konuda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan kıymetli eşime ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Turan UZUNBOY

Bingöl 2024

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ | i |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ | v |
| ŞEKİLLER LİSTESİ | vi |
| TABLolar LİSTESİ | viii |
| ÖZET..... | ix |
| ABSTRACT | x |
| 1.GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Polimerler | 3 |
| 1.1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması..... | 4 |
| 1.1.1.1. Termoset Plastikler | 5 |
| 1.1.1.2. Termoplastikler..... | 6 |
| 1.1.1.2.1. Epoksiler | 7 |
| 1.1.1.2.2. Polyesterler | 7 |
| 1.2. Polimer Beton | 8 |
| 1.2.1. Polimer Beton Çeşitleri | 10 |
| 1.3. Agregalar | 12 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 13 |
| 2.1. Polimer Betonun Mekanik Özellikleri..... | 14 |
| 2.2. Polimer Betonun Durabilite Özellikleri..... | 18 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 22 |
| 3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri | 24 |
| 3.1.1 Polimerler | 24 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1.1. Polyester Reçine | 24 |
| 3.1.2. Kobalt Oktoat | 25 |
| 3.1.3. Metil Etil Keton Peroksit(MEKP) | 25 |
| 3.1.4. Sodyum Sülfat | 26 |
| 3.1.5. Magnezyum Sülfat..... | 27 |
| 3.1.6. Kullanılan Numune Kalıpları ve Kalıp Ayırıcı Malzemeler | 28 |
| 3.1.7. Agrega | 29 |
| 3.1.7.1. Atık Briket Tozu..... | 29 |
| 3.2. Numunelerin Gruplandırılması..... | 30 |
| 3.3. Polimer Beton Üretiminde Karıştırma Yönteminin Tayini | 31 |
| 3.4. Kullanılan Cihazlar ve Yapılan Testler | 31 |
| 3.4.1. Birim Hacim Ağırlık Tayini | 32 |
| 3.4.2. Eğilme Dayanım Testleri..... | 32 |
| 3.4.3. Basınç Dayanım Testleri | 34 |
| 3.4.4. Ultrases Geçiş Hızı Testleri..... | 35 |
| 3.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi | 36 |
| 3.4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Analizi | 37 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 38 |
| 4.1. Polimer Beton Numunelerin Ağırlıkça Karışım Oranları | 38 |
| 4.2. Polimer Beton Numunelerin Basınç Dayanım Testi Sonuçları..... | 39 |
| 4.2.1. Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfata Maruz Bırakılan Polimer Beton Numunelerin Basınç Testi Sonuçları..... | 40 |
| 4.3. Polimer Beton Numunelerin Eğilme Dayanım Testi Sonuçları | 42 |
| 4.4. Polimer Beton Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları..... | 43 |
| 4.5. Polimer Beton Numunelerin Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları..... | 44 |

| | |
|--|----|
| 4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Analiz Sonuçları | 46 |
| 4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Analiz Sonuçları | 48 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 51 |
| KAYNAKLAR | 54 |
| ÖZGEÇMİŞ | 57 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|-----------------|---|
| PMB | : Polimer ile modifiye edilmiş betonlar |
| PEB | : Polimer emdirilmiş betonlar |
| MEKP | : Metil etil keton peroksit |
| CTP | : Cam takviyeli plastik |
| C | : Karbon |
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| Mpa | : Mega paskal |
| °C | : Derece |
| SEM | : Taramalı elektron mikroskobu |
| R | : Dayanım |
| Kg | : Kilogram |
| mm | : Milimetre |
| gr | : Gram |
| cm ³ | : santimetre küp |
| γ | : Gama |
| % | : Yüzde |
| mm ² | : Milimetre kare |
| δ | : Delta |
| σ | : Sigma |
| α | : Alfa |
| β | : Beta |
| N | : Newton |
| kN | : Kilo newton |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1. | Polimerlerin bağ yapıları..... | 4 |
| Şekil 1.2. | Termoset plastiklerin moleküler bağ yapısı..... | 6 |
| Şekil 1.3. | Termoplastiklerin moleküler bağ yapısı..... | 6 |
| Şekil 1.4. | Epoksilerin teras çatı yalıtımında kullanılması..... | 7 |
| Şekil 2.1. | Sürdürülebilirlikteki kriterler..... | 18 |
| Şekil 3.1. | Araştırma deneysel planı | 23 |
| Şekil 3.2. | Sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin muhafazası..... | 26 |
| Şekil 3.3. | Magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin muhafazası..... | 27 |
| Şekil 3.4. | Numune döküm için kullanılan 5x5x5 cm boyutlarındaki kalıp malzemesi | 28 |
| Şekil 3.5. | Numune döküm için kullanılan 4x4x16 cm boyutlarındaki kalıp malzemesi | 28 |
| Şekil 3.6. | Numuneleri kalıptan ayırmak için kullanılan kalıp ayııcı vaks | 29 |
| Şekil 3.7. | Briket tuğla üretimi sonrası ortaya çıkan atık malzeme..... | 29 |
| Şekil 3.8. | Çalışmada kullanılan atık briket tozu..... | 30 |
| Şekil 3.9. | Polimer beton üretiminde karıştırma yöntemi..... | 31 |
| Şekil 3.10. | Birim hacim ağırlık tayininde kullanılan hassas analitik terazi..... | 32 |
| Şekil 3.11. | Polimer beton numuneleri eğilme dayanım testi ve deney cihazı..... | 33 |
| Şekil 3.12. | Üç noktalı eğilme testi görseli..... | 33 |
| Şekil 3.13. | Polimer beton numuneleri basınç dayanım testi ve deney cihazı..... | 34 |
| Şekil 3.14. | Polimer beton numuneleri ultrases geçiş hızı testi ve deney cihazı | 35 |
| Şekil 3.15. | SEM görüntüleme analizi ve cihazı | 36 |
| Şekil 3.16. | Sputter coater kaplama cihazı | 36 |
| Şekil 3.17. | FT-IR spektrometre cihazı | 37 |
| Şekil 3.18. | Polimer beton numunelerinden alınan küçük parçalar..... | 37 |
| Şekil 4.1. | Polimer beton numunelerin ağırlıkça karışım oranları..... | 38 |
| Şekil 4.2. | Basınç dayanımına tabi tutulan polimer beton numuneleri..... | 39 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Şekil 4.3. | Polimer beton numunelerin basınç dayanım testi sonuçları..... | 40 |
| Şekil 4.4. | Basınç deneyine tabi tutulan sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan numuneler..... | 40 |
| Şekil 4.5. | Sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları..... | 41 |
| Şekil 4.6. | Magnezyum sülfata maruz kalan ve kalmayan numuneler arasındaki basınç dayanım farkları ve basınç dayanım yüzdeleri..... | 42 |
| Şekil 4.7. | Sodyum sülfata maruz kalan ve kalmayan numuneler arasındaki basınç dayanım farkları ve basınç dayanım yüzdeleri..... | 42 |
| Şekil 4.8. | Polimer beton numunelerin eğilme dayanım testi sonuçları..... | 43 |
| Şekil 4.9. | Polimer beton numunelerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları..... | 44 |
| Şekil 4.10. | Polimer beton numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları..... | 45 |
| Şekil 4.11. | Sodyum sülfata maruz kalan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları..... | 46 |
| Şekil 4.12. | Magnezyum sülfata maruz kalan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları..... | 46 |
| Şekil 4.13. | Sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan ve bırakılmayan numunelerin FT-IR sonuçları..... | 47 |
| Şekil 4.14. | PB10 ve PB50 numunelerine ait SEM görüntüleri..... | 49 |
| Şekil 4.15. | PB10-M ve PB50-M numunelerine ait SEM görüntüleri..... | 49 |
| Şekil 4.16. | PB10-S ve PB50-S numunelerine ait SEM görüntüleri..... | 49 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|------------|--|----|
| Tablo 2.1. | Polimer betonların genel olarak tercih edilen özellikleri..... | 13 |
| Tablo 3.1. | Doymamış polyester reçineye ait bazı teknik özellikler..... | 24 |
| Tablo 3.2. | Kobalt oktoata ait bazı teknik özellikler..... | 25 |
| Tablo 3.3. | MEKP'e ait bazı teknik özellikler..... | 25 |
| Tablo 3.4. | Sodyum sülfata ait teknik özellikler..... | 26 |
| Tablo 3.5. | Magnezyum sülfata ait teknik özellikler..... | 27 |
| Tablo 3.6. | Numunelerin gruplandırılması..... | 30 |

ATIK BRİKET TOZU KATKILI POLİMER BETONLARIN MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Endüstriyel sanayinin evrimi, beraberinde önemli ölçüde atık madde üretimini getirmiştir. Üretilen bu atıkların bir kısmı farklı sektörlerde ikinci bir kullanım için değerlendirilirken, diğer bir kısmı ise çevresel kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda yürütülen çalışmada, briket üretimi sürecinde ortaya çıkan atık briket tozunun kullanımı üzerinden polimer beton üretimine odaklanılarak, atıkların alternatif bir değerlendirme perspektifi sunma amacı güdülmüştür.

Bu çalışma kapsamında, polimer beton numunelerin üretimine yönelik olarak başlangıçta doymamış polyester reçine içerisine, metil etil keton ve peroksit (MEKP) eklenerek polimerizasyon reaksiyonu başlatılmış, ardından reaksiyonun hızını artırmak amacıyla uygun miktarlarda kobalt oktoat (%6) ilave edilerek polimer matris elde edilmiştir. Oluşturulan polimer matrisine, doymamış polyester reçinenin farklı oranlarında (%0, %10, %20, %30, %40 ve %50) atık briket tozu eklenerek polimer beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, ultra ses geçiş hızı, birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sülfat saldırısına karşı dirençleri ise basınç dayanım testinin yanısıra fourier dönüşümlü kızılötesi ve taramalı elektron mikroskobu analizleri ile incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, atık briket tozu miktarı arttıkça ultra ses geçiş hızında, basınç ve eğilme dayanımlarında azalma olduğu, birim hacim miktarı ve su emme miktarında artış olduğu görülmüştür. 28 gün boyunca normal şartlarda kür edilen polimer beton numuneleri ile 90 gün boyunca sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Magnezyum sülfata maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı normal numunelere göre %5,13 ile %12,58 arasında, sodyum sülfata maruz bırakılan numuneler ise normal numunelere %7,22 ile %22,69 arasında basınç dayanımlarında artış olduğu görülmüştür. Ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı arasındaki determinasyon katsayısının (R^2) 0,93 olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimer beton, doymamış polyester reçine, atık briket tozu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı.

DETERMINATION OF MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF WASTE BRICKET POWDER POLYMER CONCRETE

ABSTRACT

The evolution of the industrial industry has brought with it significant waste material production. While some of these wastes are used for secondary use in different sectors, the other part causes increased environmental pollution. In this context, the study aimed to present an alternative evaluation perspective of waste by focusing on the production of polymer concrete through the use of waste briquette powder generated during the briquette production process.

Within the scope of this study, for the production of polymer concrete samples, the polymerization reaction was initiated by adding methyl ethyl ketone and peroxide (MEKP) into the unsaturated polyester resin, and then the polymer matrix was obtained by adding appropriate amounts of cobalt octoate (6%) to increase the speed of the reaction. Polymer concrete samples were produced by adding waste briquette powder in different proportions of unsaturated polyester resin (0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50%) to the created polymer matrix. Compressive and bending strength, ultra sound transmission rate, unit volume weight and water absorption tests were carried out on the produced samples. The resistance of the samples against sulfate attack was examined by Fourier transform infrared and scanning electron microscopy analyses, as well as the compressive strength test.

As a result of the experiments, it was observed that as the amount of waste briquette powder increased, there was a decrease in the ultra sound transmission rate, pressure and bending strength, and an increase in the unit volume amount and water absorption amount. The compressive strength of polymer concrete samples cured under normal conditions for 28 days and samples exposed to sodium sulfate and magnesium sulfate solution for 90 days were compared. It was observed that the compressive strength of the samples exposed to magnesium sulfate increased between 5.13% and 12.58% compared to the normal samples, and the compressive strength of the samples exposed to sodium sulfate increased between 7.22% and 22.69% compared to the normal samples. It was concluded that the coefficient of determination (R^2) between ultra sound transmission speed and compressive strength is 0.93.

Keywords: Polymer concrete, unsaturated polyester resin, waste briquette powder, compressive strength, bending strength.

1. GİRİŞ

İnsanların yerleşik hayata geçmesi ile beraber inşaat sektöründe kullanılan malzemelere duyulan ihtiyaçlarda artmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle insanlar ihtiyaçları olan malzemeleri aramaya ve araştırmaya başladılar. Bu arama ve araştırmalar insanları yeni malzemeler bulmaya ve geliştirmeye yöneltti, böylece yapılan çalışmalar ve araştırmalar sonucunda endüstriyel sanayi alanı hızla gelişme göstermeye başladı. Endüstriyel sanayi alanındaki gelişmeler ve gittikçe artan ihtiyaçlar bilim insanlarına, çeşitli malzemeleri belli koşullar ve oranlarda karıştırarak daha kullanışlı ve dayanıklı malzemeler üretmesine öncülük etmiştir.

Polimer beton ile ilgili çalışmalar 1950'lerde başlamış olup 1960 ve 1970'lerde ABD ve Japonya da geliştirilmeye başlanmıştır. İlk olarak asfalt ve beton üretimin de kullanılmaya başlanan polimer betonlar, 90'lı yılların başlarından itibaren ise birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Polimer betonlar günümüze kadar gelen süreçte ise çok çeşitli formlar da üretilmeye ve kullanılmaya başlanması, kendi sektöründe çok büyük atılımların olması kullanım alanını gün geçtikçe artırmaktadır. Ayrıca polimer betonlar insanların yaşamlarını kolaylaştırmak ve çevresel kirliliğin önüne geçmek için birçok endüstride kullanılan yaygın bir malzeme haline gelmiştir.

Polimer betonların kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı farklı malzemeler ile belirli şartlarda ve oranlarda karıştırılarak çok sayıda işlem gerçekleştirilebilmesi her geçen gün kullanım potansiyelini artırmaktadır. Polimer betonların bu derece tercih edilmesinin de aşağıdaki faktörlerin; etkisi olduğunu söyleyebiliriz.

Polimer betonlar; sıcaklık değişikliklerine dayanıklı olması, ses yalıtımının iyi olması, su geçirmez özelliğinin iyi olması, hafif ve esnek olması, eğilme ve basınç dayanımlarının

yüksek olması ve çevresel atıkların azaltılmasına yardımcı olması gibi özelliklerden dolayı tercih edilmektedir.

Günümüzde inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemelerden biri de normal (bağlayıcısı çimento olan) betonlardır. Normal betonlar içeriğinde su, agrega, çimento ve gerekli görülen durumlar da kimyasal katkıları olan istenilen şekli verilebildiği bağlayıcılığı ve mukavemeti yüksek olan bunun yanında çekme ve eğilme kuvvetinin düşük olması, boşluk oranının fazla olması ve kimyasal etkilere maruz bırakıldığında performansın da kayıplar meydana gelen yapı malzemesidir (Özel, 2007).

Polimer betonların normal betonlara göre kullanım alanlarının daha fazla olmasından dolayı polimer beton ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Özel üretim ile üretilen polimer betonlar yüksek mukavemet, kimyasal etkilere karşı dayanımlı, su geçirimsizliğinin yüksek olması, hafif olması, çevre kirliliğini önlemede öncü olması ve en önemli özelliğinden biri de normal betona göre içyapısında su kullanılmamasından dolayı rötre çatlaklarının oluşmamaktadır (Topsakal, 2013).

Polimer betonlar; inşaat sektörü, otomotiv endüstrisi, tekstil, alt yapı uygulamaları, havacılık, gemi endüstrisi, nükleer enerji santralleri ve rüzgâr enerjileri gibi birçok sektörde kullanılmaktadır.

Polimerlerin betona dâhil edilmesi; polimer beton, polimer ile modifiye edilen betonlar (PMB), ve polimer emdirilmiş betonlar (PEB) olarak 3 ayrı biçimde sınıflayabiliriz (Ohama, 1997).

Polimer betonlar genel olarak reçine, sertleştirici, hızlandırıcı ve içerisine katılan agregalardan oluşmaktadır. Agregada cam tozu, çelik tel, atık plastik, atık lastik, atık tuğla tozu ve atık cüruf gibi çevre kirliliğine sebep olabilecek birçok atık malzeme kullanarak farklı özelliklere ve dayanımlara sahip polimer beton üretilmektedir.

Polimer betonlar içerisine katılan agregaların çeşidine, kimyasal yapısına, tane boyutlarına ile doymamış polyeşter ve agrega oranına bağlı olarak polimer betonun eğilme ve basınç mukavemetleri de farklılık göstermektedir.

Bu tez çalışmasında imalat ve tüketim esnasında kırılğan yapısından dolayı çok miktarda atık oluşturan atık briket tozu agrega olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile atık briket tozu kullanılarak çevre kirliliğinin önüne geçilmesi ve kullanılamaz hale gelen atık briketlerin geri dönüşüme kazandırılması amaçlanmıştır.

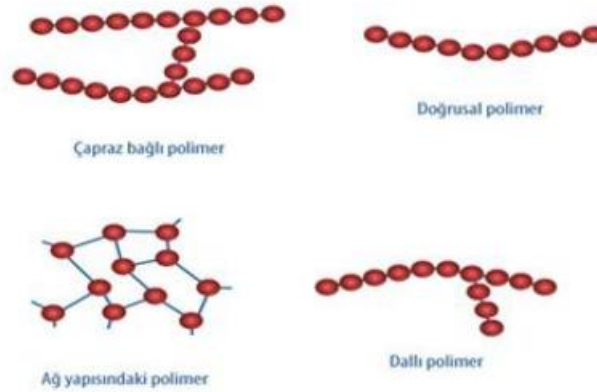
Bu çalışmada atık briket tozları için farklı bir kullanım alanı oluşturmak ve geri dönüşüme kazandırmak için, doymamış polyester reçinenin ağırlıkça farklı oranlarında (%0, %10, %20, %30, %40 ve %50) atık briket tozu ilave edilerek polimer beton numune grupları üretilmiştir. Polimer beton numunelerin üretiminde bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine, reçine ve monomerin sertleşmesi için çapraz bağ ile sonuçlanan kimyasal reaksiyon başlatıcı olarak Mekp ve reaksiyonu hızlandırmak için kobalt oktoat (%6) kullanılmıştır.

1.1. Polimerler

Tarihten günümüze kadar gelen süreçte polimer malzemeler, farklı amaçlar ve çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Polimerler birçok monomerin bir araya gelmesi ile oluşurlar. İlk olarak bitüm, nişasta, doğal kauçuk, selüloz gibi maddeler doğada var olduğu şekliyle uygulamada kullanılmıştır. Fakat doğal şekilde bulunan polimerik malzemelerin kullanımıyla beraber istenilen sonuçlar alınamamaktır bu da beraberinde bir takım problemler ortaya çıkarmıştır. Bu problemlerin en önemlileri fiziksel ve mekanik anlamda istenilen ihtiyaçlara cevap verememesi ve ham madde olarak bu maddelerin işlenmesinde bir takım sıkıntılar oluşmasıdır. Dolayısıyla zamanla bu maddeler üzerinde bazı değişiklikler yapılmış ve yarı sentetik polimerlere dönüştürülmüşlerdir (Akın, 2017).

Polimer malzemelerde bağ oluşumu, monomer denilen çok küçük boyuttaki moleküllerin farklı şekillerde dizilmesi ile meydana gelen çoklu ve uzun zincirli yapılardır. Polimerler içerisindeki bir zincirde yüzbinlerce monomer bulunmaktadır. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve bu zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri, polimer malzemedeki önemli rol oynamaktadır. Genellikle polimer malzemeler içerisinde en çok kullanılan çeşidi organik polimer malzemelerdir. Tabii inorganik polimer malzemeler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimeri meydana getiren zincirlerin dağılımını dört farklı şekilde (şekil 1.1) gösterebiliriz.

Ağ yapısının da olabilir, doğrusal yapı da olabilir, doğrusal polimerden bir kol ayrılırsa dallı polimer olur, iki doğrusal polimer birbiriyle çapraz olarak bağlanırsa çapraz bağlı polimeri oluşturur. Günümüzde kullanılan polimerin birçoğu çapraz bağdan oluşmaktadır (Akman, 1987).



Şekil 1.1. Polimerlerin bağ yapıları (Akman, 1987)

1.1.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler doğa da (doğal olarak) bulunanlar ve doğa da bulunmayanlar (yapay olanlar) olarak iki şekilde incelenmiştir.

- Doğal polimerler (doğal kauçuklar, selülozlar, proteinler, nikleit asitler, deri vb.); Farklı yapılardaki farklı moleküllerin bir araya gelmesi ile oluşan yapay olmayan polimerlerdir.
- Yapay polimerler (boyalar, sentetik lifler, plastikler, naylonlar, yapıştırıcılar vb.); Yapısal olarak amorf halde bulunup karmaşık ve uzun zincirler şeklinde olduklarından düzenli bir yapıları yoktur. Laboratuvar ortamında monomerlerden sentezlenerek üretilirler (Çökeliler, 2010).

Polimerleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

- Doğadaki varlığına ve sentez biçimine göre (doğal ya da yapay),
- Isıya karşı davranış tepkisi (termoset ya da termoplastik),
- Molekül ağırlıklarına göre,

- Birbirleri ile aralarında oluşan zincirin fiziksel ve kimyasal yapısına göre (lineer, dallanmış ya da çapraz bağlı),
- Araların da oluşan sentezleme tepkilerine göre (basamaklı veya zincirli),
- Organik ve inorganik olarak bulunmalarına göre,
- Zincir yapılarına göre (homopolimer ya da kopolimer olarak) (Özden Akkaya 2010; Öztürk 2013).

Polimerlerin ısıya verdiği tepkiye göre davranışları değişir. Bu değişimle beraber polimerler ikiye ayrılır, bunlar termoset plastikler ve termoplastiklerdir.

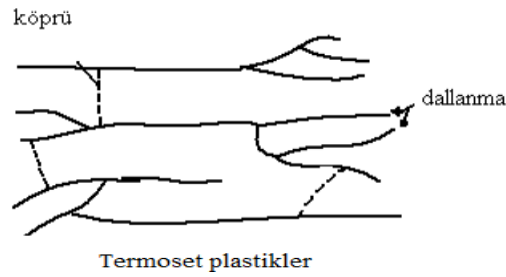
1.1.1.1. Termoset Plastikler

Termoset plastikler yüksek ısı etkisiyle kolay kolay erimeyen, sıcaklıkla beraber daha da sertleşerek yüksek çapraz bağ oluşturan polimerlerdir. Fakat çok yüksek ısıya maruz bırakıldıkların da deformasyona uğrayabilirler, bu deformasyonlar plastikleşme veya sıvılaşma şeklinde değildir.

Termoset plastikleri;

- Polieter termoset plastikler
- Fenoplast termoset plastikler
- Aminoplast termoset plastikler
- Poliüretan termoset plastikler olarak dört gruba ayırabiliriz.

Termoset plastikler içyapısında bulunan moleküller arasındaki bağlar Şekil 1.2’de gösterilmiştir. Termoplastiklerde bulunan moleküller arasındaki bağların farklı olmasıyla birbirinden ayrılırlar. Termoset plastikler de birbirine paralel olan bağlar arasında köprü görevi gören bağlar mevcut iken termoplastikler de birbirine paralel olan bağlar arasında köprü görevi gören herhangi bir bağ mevcut değildir (Akman, 1987).



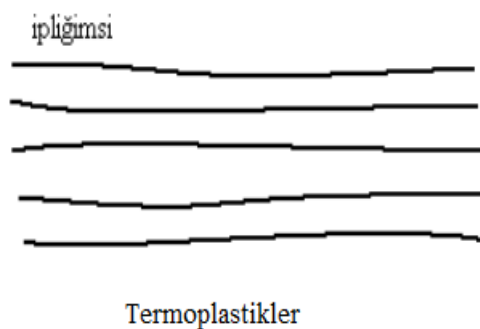
Şekil 1.2. Termoset plastiklerin moleküler bağ yapısı (Akman, 1987)

1.1.1.2. Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri arasındaki bağ Van der Waals bağlarıdır. Termoplastikler, Şekil 1.3' te gösterilen içyapısındaki bağların zayıf olması sebebiyle rijit bir yapıya sahip değildir. Isı etkisi ile yapıları değişmeyip şekil değişikliği gerçekleşmektedir. Termoplastikler yüksek sıcaklıklarda erime işlemi gerçekleşir. Soğutma işleminden sonra tekrar katı halini alır. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozitesi yüksektir. Bundan dolayı ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır. Şekil değiştirmede düşük sıcaklıklar olması yeterli olup bu özelliğinin olması malzemeyi mali olarak avantajlı kılar (Öztürk, 2013).

Termoplastikler;

- Poliamit termoplastikler
- Polyester, selülozik ve polieter termoplastikler
- Polialkol, vinilik ve polikarbür termoplastikler olarak sınıflandırabiliriz (Bulut,2016).



Şekil 1.3. Termoplastiklerin moleküler bağ yapısı (Akman, 1987)

1.1.1.2.1. Epoksiler

Epoksiler dayanım olarak güçlü olan, suya ve rutubete karşı iyi direnç gösterebilen daha çok kompozit malzemelerde kullanılan epoksit reçinelerden oluşurlar. Polyesterler ile karşılaştırıldığında bir takım üstün özellikleri mevcuttur. Isıl işlemlere tabi tutulduklarında epoksilerin polimerizasyon derecelerinin de düşüşler meydana gelmektedir. Bundan dolayı, epoksiler ısı işlemlere tabi tutularak çapraz bağ sayısı ve molekül ağırlığı artırılır. Isıl işlemlere tabi edilen epoksilerin hem dayanım mukavemetleri artmaktadır, hem de dış etkilere karşı daha dayanıklı olmaktadır. Epoksiler günümüzde birçok endüstri alanında kullanılmaktadır. Örneğin, Şekil 1.4'te belirtilen teras çatılarının yalıtımında, zemin kaplamalarında, inşaat güçlendirmelerinde ve sağlık sektörü gibi birçok alanda tercih edilmektedir (Pişkin, 2010).



Şekil 1.4. Epoksilerin teras çatı yalıtımında kullanılması

1.1.1.2.2 Polyesterler

Türkçe sözlükte polyester kelimesi karşılık olarak, çok anlamına gelen ‘‘poly’’ ve organik tuz manasındaki ‘‘ester’’ kelimelerinin bir araya gelmesi ile oluşan ifade polyester olarak isimlendirilmektedir. Polyester kelimesi çok sayıda organik tuz olarak tanımlanır. Ayrıca ester molekül zincirlerini de polimer olarak ifade edebiliriz. Doymamış polyester reçineler, birçok ülke tarafından cam takviyeli plastik (CTP) olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Doymamış polyester reçineler 1950’lerde cam elyafı ile beraber kullanıldığı zaman çok dayanıklı ve hafif bir malzeme olduğu görülmüştür. Doymamış polyester reçineler, geçmişten bugüne kadar gelen süreçte birçok yönden gelişme göstererek ilk kullanılmaya başlandığı dönemlere göre daha üstün özellik ve performans göstermektedir (Pişkin, 2010).

Doymamış polyester reçineler yapılarında çift bağ (C-C) karbon bulundurmaktadır. Bu yapılarından dolayı sertleşerek sağlam bir malzeme haline gelirler. Bu yapıdaki bileşimler dibazik asitlerin, dihidrik alkoller (glikol) veya dihidrik fenollerle ile tepkimeye girmesi sonucu şeklini almaktadır. Polimer malzeme sınıfına giren polyesterlerin temel durumları polyester bileşenini doymuş asitle veya alternatif malzeme olan glikol ile modifiye edilerek etkileşmesine dayanmaktadır. Ayrıca kür yapılarak bileşimin esnekliği artırılıp kopma mukavemeti iyileştirilmektedir. Yapısında C bulunan bu matrislerin nemini dış ortama rahat bir şekilde atmasını sağlayan düşük viskozite ve iyi dış etki dayanım özelliğine sahiptirler (Bağcı, 2010).

Polyester reçineler sentetik malzemelerdir. Düşük sıcaklıklara karşı dayanıklı, nem çekmeye karşı güvenli, su geçirgenliğinin düşük olması ve istenilen kalıp şeklini alabilmesinden dolayı birçok sektörde kullanılmaktadır. Polyester reçineler çok yönlü modifiye edilebilirler bundan dolayı en fazla kullanıldığı malzeme çeşidinin başında kompozit malzemeler gelmektedir.

Polyester reçineler, bazı zararlı mikroorganizmalara, asitlere, redüksiyon ve oksidasyon gibi kimyasal tepkimelere karşı dirençlidirler. Ayrıca elektrik akım iletimlerinde güçlü olduklarından birçok alanda tercih edilmektedirler.

1.2. Polimer Beton

Polimerler yapay ve doğal polimerler olmak üzere ikiye ayrılır. Polimer betonlar da yapay polimer sınıfına giren polyesterler, kimyasal katkıları ve agrega olarak da çok çeşitli malzemeler içeriğe dâhil edilerek üretilir. Geçmişten, günümüze polimer betonlar çok çeşitli formlarda üretilerek birçok sektörde vazgeçilmez ürünler üretilmesine olanak sağlamıştır. İnşaat sektöründe kullanılan birçok malzeme polimerlerin gelişmesiyle istenmeyen özellikler iyileştirilerek kullanıma yeniden sunulmuştur. Aynı zaman da polimerler onarım ve güçlendirme imalatlarında ve taşıyıcı eleman tasarımlarında tercih edilmeye başlanmıştır. Normal betonlara göre, çekme ve basınç dayanımındaki performansları ise polimer betonları bir adım daha ileriye götürmüştür. Polimer betonların sergilediği davranışlardan dolayı sağlayacağı avantajların tespitine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Topsakal 2013 ve Bayram, 2015).

Günümüzde kullanılan normal çimentolu betonların mühendislik karakteristiklerinin daha iyi hale getirilmesinde, polimerlerin kullanılma düşüncesi 1950'li yılların başında gündeme getirilmiştir. Araştırmacılar yapay polimerler üzerinde birçok çalışma yaparak polimerlerin birçok malzeme ile beraber kullanılarak farklı karakteristik özellikler gösteren yeni ürünler üretilbileceği fikri geliştirdi. Polimer beton üretimlerinde kullanılan malzemeler gün geçtikçe daha geniş kullanım alanı bulmasına rağmen normal çimentolu betonlara oranla maliyetinin daha yüksek olması, ekonomik olarak geri planda kalmasına sebep olmuştur. Fakat fiyat-gerilme oranı, kütle-gerilme oranı, kimyasal direnç ve zamana bağlı dayanım etkilerine bakıldığında, ekonomik boyuttaki olumsuzluklar göz ardı edilebilecek seviyede olduğu söylenebilir. Bundan dolayı polimer betonlar özel uygulama ihtiyacı olan sektörlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ateş, 1994).

Normal çimentolu betonun bazı istenmeyen özellikler sergilemesi sebebiyle araştırmacılar günümüzde polimer beton ile istenmeyen bazı davranışları iyileştirmek için çeşitli araştırmalar ve çalışmalar yapmaktadırlar (Şimşek ve Uygunoğlu, 2016).

Polimer betonlarla ilgili ilk çalışmalara 1950'lerde başlanılmış, 1970 ve sonrasında ise bu çalışmaların etki alanı daha da genişletilerek günümüze kadar geline süreçte birçok çalışmaya imza atılmıştır. Polimer betonlar, ara bağlayıcı olarak ağırlığının %8'i ile %15'i arasında sıvı reçine içermektedir (Yeon vd., 2017).

Polimer malzemeler geçmişten bu zamana kadar geline süreçte çok geniş alanlarda kullanım şansı bulan ve sürekli gelişim gösteren, bundan sonra da geliştirilmesi için önü açık olan malzemelerdir. Bilinen birçok farklı sektörde kullanım potansiyeli yüksek malzemelerin başında yer alır. Bu sektörlerin içerisinde inşaat sektörü de yer almaktadır. Polimer betonların, normal çimentolu betonlardan farkı bağlayıcısıdır. Normal betonlarda kullanılan bağlayıcı çimento olmasına karşın polimer betonlarda bağlayıcı polimerlerdir (Özden, 2010). Polimer betonların içeriğinde polimerik malzemeler mevcuttur. Polimerler, monomer dediğimiz çok sayıda mikro moleküllerin aralarında oluşturduğu kovalent bağlar ile bağlanarak meydana gelen büyük bir molekül zinciridir (Gençel vd., 2015).

Polimerlerin kimyasal yapısını incelediğimizde içinde bir birine çok fazla miktarda küçük moleküller ile bağlı monomerler bulunmaktadır. Bu monomerler bir araya gelerek polimerleri oluştururlar. Bu yapay polimerler son yarım asır içinde hızla gelişme göstererek metal ve diğer kompozit malzemeler gibi farklı alanlarda sık sık tercih edilmeye başlandı. Polimer malzemelerin hafif olması, kolay işlenebilmesi, kimyasal etkilere karşı dirençli ve dayanıklı olması, elektrik akımını iletmede başarılı olması gibi özelliklere sahip olması, tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Ayrıca polimerler içerisine birçok katkı malzemesi cam tozu, cüruf, çelik lif, bazı atık malzemeler vb. ilave ederek farklı dayanım ve özellikte malzemeler üretilmektedir (Öztürk, 2013).

Polimer betonlar, içerisindeki boşluk oranının ve su emme miktarının az olmasından dolayı normal çimentolu betona oranla mukavemetinin daha iyi olması, dış etkilere karşı daha dayanımlı olması gibi özellikleri ile inşaat güçlendirme imalatlarında ve inşaat taşıyıcı sistemlerinde kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Douba vd., 2017).

1.2.1. Polimer Beton Çeşitleri

Polimer betonları sahip oldukları teknik özelliklerden dolayı kullanım amacına uygun olarak istenilen formasyonda üretmek mümkün olabilmektedir (Polat, 2020).

- **Malzemeli Polimer beton:** Bu polimer beton türü, malzeme olarak özelliği yüksek polimerleri kullanarak üretilir. Genellikle betonun yoğunluk ve sertlik özelliklerini artırmak için tercih edilmektedir.
- **Poliester Polimer beton:** Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan bu tür polimer betonlar, köpük malzemeler ile daha hafif ürünler üretmek için tercih edilmektedir.
- **Yakın Kontrol Polimer betonu:** Bu polimer beton türü, polimerlerin dökme özellikleri kontrol edilerek bileşimi optimize edilir. Genellikle betonun aşırı asitli ortamlara maruz kalmasına veya mekanik yüke dayanıklı hale getirmek için tercih edilmektedir.
- **Poliüretan Polimer beton:** Bu polimer beton türü, özelliği yüksek poliüretan malzemeleri kullanarak üretilir. Genellikle betonun esnekliğini ve ekspanzif özelliklerini artırmak için tercih edilmektedir.

- Karbon Fiber Polimer beton: Bu polimer beton türü, karbon fiberlerin karışımı ile üretilir ve genellikle betonun yüksek mekanik özelliklerini artırmak için tercih edilmektedir.
- Sürgülü Polimer beton: Bu polimer beton türü, beton karışımına sürgüler eklenerek üretilir. Sürgüler sayesinde betonun dayanıklılığı artırılır ve betonun daha kuvvetli hale getirilmesi sağlanır.
- Magnetik Polimer beton: Bu polimer beton türü, demir tozu veya diğer metal parçacıkların malzeme karışımına eklenmesi ile üretilir. Metal parçacıklar sayesinde polimer betona magnetik özellikler verilir.
- Akım Kaplamalı Polimer beton: Bu polimer beton türü, yüzeylerin korozyona karşı dayanıklı hale getirilmesi için elektrolitik akım kullanılarak kaplanması ile üretilir. Bu tür polimer beton genellikle teras kaplamaları, duvar kaplamaları ve diğer alanlarda kullanılır.
- Kimyasal Polimer beton: Bu polimer beton türü, çeşitli kimyasal reaksiyonlarla üretilir. Kimyasal reaksiyonlar sayesinde betonun sertliği ve yoğunluğu artırılır ve kimyasal ortamlara dayanıklı hale getirilir.
- Katkılı Polimer beton: Bu tür polimer betonlar, çeşitli polimer katkılarının beton karışımına eklenmesi ile elde edilir. Genellikle betonun daha yüksek sertlik, darbe dayanımı ve daha yüksek esnekliğe sahip olması için tercih edilmektedir.
- Fibröz Polimer beton: Bu polimer beton türü, farklı mekanik özellikleri sağlamak amacıyla sert liflerin beton karışımına eklenmesi ile üretilir. Genellikle betonun daha güçlü olması ve dayanıklı hale getirilmesi için tercih edilmektedir.
- Akrilik Polimer beton: Bu tür polimer beton, akrilik malzemelerin özel karışımları ile üretilir. Genellikle betonun dayanıklılığını arttırmak ve estetik görünüm sağlamak amacıyla tercih edilmektedir.
- Yapıştırıcı Polimer beton: Bu polimer beton türü, çeşitli yapıştırıcılar kullanılarak üretilir. Genellikle beton yüzeylerinin bir araya getirilerek esnekliğin artırılması ve tozun önlenmesi için tercih edilmektedir.

Yukarı da açıkladığımız polimer beton çeşitleri, yapılan çalışmalar ile polimer betonlara farklı farklı kimyasal, fiziksel ve davranışsal özellikler aktarılarak polimer beton hangi amaçla kullanılacak ise o doğrultu malzeme üretme imkânı sağlamaktadır. Böylece günlük

hayatta kullanabileceğimiz bir çok ekipman ve malzemeyi polimer betonlar ile üretmenin ve tasarlamının mümkün olabileceğini göstermektedir.

1.3. Agregalar

Polimer betonlarda agrega olarak birçok atık malzemeyi değerlendirme ihtimalimiz bulunmaktadır. Polimer betonlarda kullanılan agregalar birim hacim ağırlıklarına göre hafif ve ağır agrega olarak isimlendirilmektedirler. Hafif agregalara vermikülit, pomza taşı, arduvaz, uçucu kül vb. ağır agregalara ise manyetit, hematit, kolemanit, limonit vb. malzemeleri örnek gösterebiliriz. Normal hazır betonda hafif veya ağır agregaları kullandığımız vakit bu agregaların betonda olumlu ve olumsuz davranışlar sergileyecektir. Örnek verecek olursak; hafif agregalar ısı ve ses yalıtımında iyi bir performansa gösterir. Fakat içerisindeki boşluk oranının fazla olması ve su emme oranı yüksek olması sebebiyle dayanımları güçleri zayıftır. Ağır agregaların da beton içerisinde kapladıkları alanın fazla olması itibari ile dayanımlarında düşüş meydana getirmektedir. Polimer betonların içeriğinde bu agregaların kullanılması ve birçok farklı sektörde değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik ve ekonomik olarak olumlu katkıları olacaktır (Gökçe vd., 2010).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Polimer betonların diğer malzemelere göre tercih edilmesindeki en önemli faktörlerden biri de farklı katkı malzemeleri farklı dayanım ve özelliklere sahip çok çeşitli malzeme üretilebilmesidir. Ayrıca polimer malzemeler yüksek viskoziteye sahip olduklarından istenilen şekilde bu malzemeler ile üretim yapma imkânı oluşturmaktadır. Polimer betonların genel olarak tercih edilen özellikleri Tablo 2.1’de belirtilmiştir (Sağlıyan, 1999).

Tablo 2.1. Polimer betonların genel olarak tercih edilen özellikleri (Sağlıyan 1999)

| Özellikler | Polimer Beton |
|---------------------------|-------------------------|
| Basınç Dayanımları | 40-140 Mpa |
| Eğilme Dayanımları | 8-35 Mpa |
| Elastisite Modülleri | 700-35000 Mpa |
| Isıl Genleşme Katsayıları | $5-10 \times 10^{-6}/c$ |
| Su Emme Oranları | < % 1 |
| Dona Karşı Dayanımları | İyi |
| Asite Karşı Dayanımları | Çok İyi |

Polimer betonların inşaat sektöründe kullanılması, dayanımlarının yanında geçirimsizlik özelliklerinin de iyi olması nedeniyle günden güne artmaktadır. Polimer betonlarda matris olarak kullanılan reçineler ile faz malzemelerin özellikleri, matris/faz oranına bağlı olarak çeşitli kimyasal ortamlardaki durabiliteleri, çekme dayanımları ve yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında sergiledikleri davranışlar değişebilmektedir (Kaplan, 2021).

Polimerin içerisindeki reçine oranı basınç dayanımını ve eğilme dayanımını doğrudan etkilemektedir. En iyi özelliklere sahip en düşük polimer içeriğine bakıldığında, ürün içeriği olarak en uygun reçine içeriğine ulaşılmış olacaktır. Eğilme mukavemeti ve basınç

mukavemeti reçinenin toplam ağırlık içerisinde %14 ile %16 arasında tutulması ile en iyi sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Bu alanda yapılan diğer çalışmalarda da kullanılan bu oranların benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda çeşitli reçine türleri ve oranları için polimer betonların dayanım değişimleri izlenmiştir (Abdel-Fattah and El-Hawary, 1999).

2.1. Polimer Betonun Mekanik Özellikleri

En yüksek mukavemet değerine ulaşmak için polimer oranının uygun seçilmesi, agrega içerisindeki nem miktarının iyi ayarlanması ve polimer betonların mekanik özelliklerinin en uygun şartları taşıması gereklidir. Yapılan çalışmalarda agregadaki nem oranının %0,5'i aşmaması önerilir. Polimer betonların üretiminden sonra belirli şartlarda kür edilmesi test sonuçları üzerinde olumlu etkileri olacaktır. Polimer betonların normal oda şartlarında kür edilmesi tavsiye edilir. Polimer betonların en büyük avantajlarından biri de hızlı kür özelliğinin olmasıdır, bir günde dayanımının yaklaşık %70'ine ulaşmaktadır. Çimentolu normal beton ise bir günde dayanımının yaklaşık %20'sine ulaşmaktadır. Polimer betonların erken dayanım kazanması birçok sektörde kullanılmasının önünü açmaktadır. Kür şartları ve süresi dayanım açısından önemlidir, genellikle normal oda şartlarında 7 gün boyunca kür edilen polimer betonlar dayanım açısından en uygun şart ve süre olarak kabul edilmiştir. Ayrıca polimer betonlarda kullanılan agregalar ile arasındaki bağlayıcılığı sağlayan bağlar arasındaki kuvvet mekanik özellikler açısından önemlidir. Silan bağlayıcı ajanlar, iki faz malzeme arasında kimyasal bağ kuvvetini artırarak yüzeyler arasındaki bağlanmayı iyileştirerek polimer betonların mekanik özellikleri üzerinde iyi etkiler bırakmaktadır. Araştırmalar polimer beton üzerinde yapılan bu çalışmaların doğruluğunu kanıtlar niteliktedir. Silan bağlayıcı ajanlar içeren polimer betonların basınç mukavemeti ve eğilme mukavemeti, farklı bağlayıcı içeren polimer betonlardan %15 ile %20 arasında daha yüksek sonuçlar elde edilmektedir. Epoksi reçineler, polyester reçineler, vinilester reçineler vd. reçinelere göre daha üstün mekanik özellik göstermektedir. Polimer betonlarda polyester reçine kullanıp içerisine mikro doldurucular ve silan birleştirme maddeleri ilave edilerek, epoksi reçineler kullanılarak üretilen polimer betonların performansına ulaşma imkânı olabilmektedir. Polimer beton ile ilgili yapılan çalışmalarda reçine miktarı seviyeli olarak arttırıldığında başta mukavemetin arttığı sonralarda ise mukavemetin değişmediği ya da azaldığı görülmüştür. Birçok araştırmacı yaptığı

çalışmalarda polimer betonlarda kullanılan reçine miktarını polimer beton ağırlılığının %12 ile %16'sı arasında kullanmanın en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir (Bedi et al., 2013).

Yapılan bu çalışma incelendiğinde yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan epoksi reğineli polimer betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışma ile epoksi reçine içerikli polimer beton üretimi yapılmıştır. Agrega boyut olarak 0-10 mm arasında kullanılmış, epoksi reçine ise içerik olarak %6 ile %16 arasında değişen çeşitli miktarlarda kullanılarak polimer beton numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler ile yapılan deneysel testler sonucunda en iyi mekanik davranış gösteren epoksi reçine oranı %13 olarak görülmüştür. Üretilen polimer beton numuneleri 3 saat süreyle 250°C lik ısı ortamında bekletilmiştir. Daha sonra bu polimer beton numuneleri ile geleneksel çimentolu beton numuneler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Numunelere etki ettirilen ısının 150°C'yi aşmasıyla beraber epoksi reçine içerikli polimer betonların dayanımı ciddi oranda düşmüştür. Dayanımın düşmesini epoksi reçine ile agrega arasındaki bağların zedelenmesi sonucu olduğu görülmüştür. Polimer betonlar geleneksel çimentolu betonlar ile karşılaştırıldığında mekanik olarak daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. (Oussama et al., 2012).

Polimer betonlar ile ilgili yapılan bu çalışmada, polimerler ile beraber normal betonlarda kullanılan imento bağlayıcı olarak kullanmış ve üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Polimer malzeme ile beraber %0, %2, %5, %10 ve %15 oranlarında normal betonlarda kullanılan R42,5 imento ilave edilerek numuneler üretilmiş ve sonrasında bu numuneler ile basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, aşınma testleri, kıvam deneyleri, su emme miktarı ve donma-çözülme gibi bir takım testler yapılmıştır. Bu testler sonucunda ilave edilen katkı oranı arttıkça mekanik özellikler olumsuz etkilenmiş ve genel olarak en olumlu sonuçları veren karşım oranının %2 olduğu gözlemlenmiştir (Bal, 1998).

Araştırmacı yaptığı bu çalışmada polimer ile modifiye edilen hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Polimer beton içerisinde hafifi agrega olan ponza tercih etmiştir. Karışım içerisinde agrega olarak ponza 400 kg/m³ ve 500 kg/m³ miktarlarında kullanılmış ve su/imento 0,35 olarak her numune için aynı alınmıştır. Ayrıca bazı numunelere uçucu kül ilave edilmiştir. Reçine olarak styrene-butadiene lateksi imento

miktarının %0, %5 ve %10'u oranında karışıma ekleyerek numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde su emme miktarı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan testler sonucunda styrene-butadiene lateksin polimer betonun basınç dayanımı ve eğilme dayanımı üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmüş fakat aşınma direnci ve su emme miktarı üzerinde olumsuz etkileri olduğu görülmüştür (Öztürk, 2013).

Yapılan bu çalışmada, polimer katkılı çimento esaslı kaplama malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretilen numunelerde normal beton çimentosu ve alüminatlı çimento, agrega olarak dane çapı 0-0.2 mm arası kalsit ile dane çapı 0-2 mm arası standart kum kullanılmış ve ayrıca akışkanlaştırıcı, köpük kesici, kıvam arttırıcı, çinko sterat, akrilik sıvı katkılı reçine ve üç çeşit toz kullanılarak numuneler üretilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, aşınma direnci, su emme miktarı tayini, rötre ve katkılı polimer harçlarda yayılma deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler sonucu mekanik özellikler bakımında katkılı polimerlerin %2.5 oranında kullanılması ve fiziksel özellikler bakımından ise katkılı polimerlerin %5 oranında kullanılması en uygun oran olarak görülmüştür. Üretilen numunelerde agrega olarak ise standart kum kullanımının kalsite göre daha olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir (Aktaş, 2014).

Polimer betonlarda bağlayıcı reçine olarak orthoftalik ve Isoftalik polyester reçineler ayrı ayrı kullanılarak durabiliteleri ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada bağlayıcı olarak isoflatik ve orthoflatik polyester reçine kullanılmış ve farklı oranlarda kum ve uçucu kül ilave edilerek numune üretimleri yapılmıştır. Üretilen numuneler üzerinde basınç mukavemeti, eğilme dayanımı ve kimyasal ortamlara (sülfürik asit, laktik asit, sitrik asit, asetik asit vb.) karşı davranışlarını incelemek için testler yapılmıştır. Kimyasal ortamlara maruz bırakılan numuneler daha sonra SEM görüntüleme ile numunelerin iç bağ yapılarında meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Bu deformasyonların polimer reçineler ile agregalar arasında oluşan bağların zayıflaması ile meydana geldiği görülmüştür. Isoflatik ve orthoflatik polyester reçine içeren polimer beton numuneleri durabilite ve mekanik özellikler bakımından iyi bir performans gösterdikleri yapılan deneyler sonucu görülmüştür. Isoflatik ve orthoflatik polyester reçine içeren polimerlere uçucu kül ve kum ilave edildiğinde sergiledikleri davranışların benzer olduğu belirtilmiştir.

İsoflatik reçine ile hazırlanan polimer betonlar maliyet açısından daha ekonomik olduğu için polimer betonlarda orthoflatik reçinenin kullanılması maliyet performans açısından değerlendirildiğinde ikinci sırada tercih edilmesi daha uygun olacaktır (Gorninski et al., 2007 b).

Polimer betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde kür şartlarının ve sürelerinin etkileri incelenmiştir. Reçine malzemesi olarak, ortoflatik esaslı doymamış polyester reçine ve çeşitli elek aralığından geçirilen mermer, andezit ve arduvaz agregaların faz malzeme olarak üretilen polimer beton numuneler ile fiziksel ve mekanik özelliklerini (minerallerin özgül ağırlıkları, basınç dayanımı, eğilme dayanımı) belirlemek için deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmalar ile kür süresi ve kür şartlarının polimer beton üzerindeki değişimleri nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda numunelerin kürlendiği oda şartlarının ve kür süresinin basınç mukavemeti ve eğilme mukavemetinin değerlendirilmesinde önemli bir parametre olduğu test edilmiştir (Soykan ve Özel, 2014).

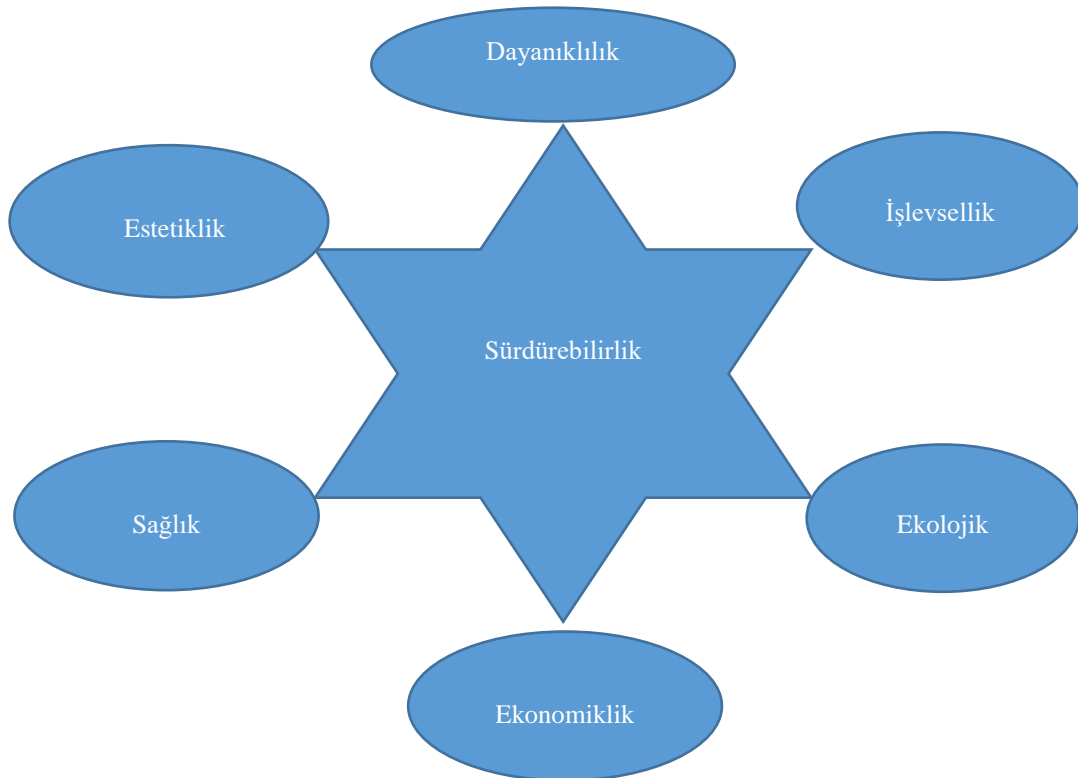
Doymamış polyester içerisine, mekp + kobalt oktoat ilave edilip karıştırılarak polimer matrisi elde edilmiştir. Üretilen bu polimer matrisler agrega olarak %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında barit mineral eklenerek numuneler oluşturulmuştur. Her bir grup için üçer adet numune üretilmiş olup bu numuneler 28 gün normal şartlarda kür edilmiş ve sonrasında bazı test ve deneyler yapılmıştır. Bu test sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmıştır.

- Polimer beton basınç dayanımında ise en iyi değeri %0 ve %10 barit minerali içeren polimer beton verirken en düşük değeri %40 barit minerali içeren numuneler vermektedir.
- Ultrases geçiş hızı, barit minerali oranı arttıkça geçiş hızında düşüş olduğu gözlemlenmiştir.
- Polimer beton basınç ve ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki değeri ($R^2=0.9482$) olduğu görülmüştür.
- Polimer betonun eğilme dayanım değeri içeriğinde bulunan barit mineral oranına bağlı olarak eğilme dayanımında artış olduğu gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı ise içerikte bulunan barit mineral oranı ile ters ilişkilidir (Polat vd., 2020).

2.2. Polimer Betonun Durabilite Özellikleri

Durabilite, malzemenin iç ve dış yapısında dışardan gelen herhangi bir müdahale ile malzemenin belli bir süre sonra deformasyona uğraması olarak tanımlanabilir. Durabilite kavramı son zamanlarda sıkça karşımıza çıkmaktadır. Malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar sadece dayanımın ve işlenebilirliğin tek başına yeterli olamayacağı aynı zamanda malzemenin durabilitesinde değerlendirilmesi önemle vurgulanmıştır. Diğer bir deyişle herhangi bir malzemenin kendisine biçilen süre içerisinde herhangi bir deformasyona uğramadan malzemenin beklenen performansını eksiksiz olarak tamamlaması olarak tanımlamak mümkündür (Karagüler, 2003).

Günümüzde kullanılan malzemeleri yapay olarak üretilen ve doğada bulunan malzemeler olarak sınıflayabiliriz. Fakat bu malzemeler kullanım aşamasında birçok dış etkilere maruz kalarak sürdürülebilirlikleri sınırlandırılmaktadır. Malzemeleri istenilen en verimli şekilde kullanabilmek için sürdürülebilirlik çok önemli bir kriterdir. Sürdürülebilirlik kriterleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Bekem vd., 2009).



Şekil 2.1. Sürdürülebilirlikteki kriterler (Bekem vd., 2009)

Bu çalışmayı incelediğimizde polimer betonların durabilite özellikleri üzerinde birtakım çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Polimer betonlara farklı miktarlarda katılan dolgu malzemelerin ve liflerin polimer betonlara etkileri incelenmiştir. Polimer betonlara içerik olarak, farklı oranlarda polyester reçine, vinilester reçine, standart CEN kumu, polipropilen, cam, karbon ve çelik lifler katılarak iki grup polimer beton numuneleri üretilmiştir. Birinci grup polimer beton numunelerine polyester reçine ve vinilester reçine ile beraber %30 ile %60 oranlarında dolgu malzemesi, %4,4 ile %9 oranlarında lif katkısı ilave edilerek üretim yapılmış. İkinci grup polimer beton numunelerinde ise polyester reçine içerisine %30 dolgu ile %2,2 lif ve vinilester reçine içerisine %15 dolgu ile %4,5 lif katılarak polimer beton numuneleri üretilmiştir. Üretimi yapılan polimer beton numuneler ile basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı deneyi, reaksiyon sıcaklığı, schmidt yüzey sertliği deneyi ve -25°C ile 375°C arasındaki sıcaklık etkileri incelenmiş ve bu numuneler %20'lik Na₂SO₄, %20'lik MgSO₄ ve hava ortamlarında 28, 56 ve 90 gün kür edilerek durabiliteleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda polimer betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde faz malzemesinin özelliğinden çok faz malzemesinin katıldığı oranın etkili olduğu görülmüş ve durabilite de ise polimer beton numunelerin maruz kaldığı ortam ve süreden ziyade numunelere katılan reçine çeşidi ve kimyasal yapının etkili olduğu görülmüştür (Topsakal, 2013).

Polimer betonlar ile ilgili yapılan bu çalışmada, polimer betonların durabilitesi ve mukavemet dayanımları incelenmiştir. Polimer beton numunelerine içerik olarak doymamış polyester reçine, uçucu kül doğal ve geri dönüşümlü agrega kullanılarak, basınç mukavemeti, eğilme dayanımı ve donma-çözülme testleri yapılarak polimer beton numuneler üzerinde mekanik ve durabilite özellikleri incelenmiştir. Polimer beton numunelerinde içerik olarak doymamış polyester reçine %10 ile %12 oranında ve 5-10 mm ile 5-25 mm aralığında agrega kullanılmış ve %20'lik sülfürik asit çözeltisine maruz bırakılarak basınç mukavemeti, eğilme dayanımı ve donma-çözülme testleri yapılarak numuneler incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda geri dönüşümlü agrega ile üretilen polimer betonun basınç mukavemeti 85 Mpa ile 97 Mpa arasında ve eğilme dayanımı ise 17.9 Mpa ile 20.8 Mpa arasında olduğu görülmüştür. Bu testler doğal agrega ile yapıldığında, geri dönüştürülmüş agrega ile yapılan test sonuçlarına göre sonuçlar biraz daha yüksek çıkmıştır. Donma-çözülme testleri geri dönüşümlü agrega kullanılan numuneler üzerinde 300 döngü sonucunda değerlendirilmiştir. Donma-çözülme sonrası

numuneler üzerinde ağırlık kaybı %0,13 ile %1,42 arasında dayanıklılık ise %94 ile %99 arasında olduğu görülmüştür (Kim and Sung, 2009).

Yapılan bu çalışmayı incelediğimizde araştırmacı, polimer beton numunelerin içeriğini birinci seride reçine oranını %10 agrega oranını %90, ikinci seride reçine oranını %15 agrega oranını %85 ve üçüncü seride ise reçine oranını %20 agrega oranını %80 ayarlayarak polimer beton numunelerini üretmiştir. Üretimi yapılan bu polimer beton numuneleri üzerinde 28 günlük kür sonrası basınç mukavemetleri ve donma-çözülme deneyleri yapmıştır. Donma-çözülme numuneleri -10°C, -20°C, -30°C ve +5°C sıcaklıklara maruz bırakılarak 30 döngü sonucunda birim hacim ağırlık kayıpları belirlenmiş ve donma-çözülme deneyleri sonrasında basınç mukavemetleri ile birim hacim ağırlığında meydana gelen kayıplar karşılaştırılmıştır. Deney sonucuna göre yapılan karşılaştırmada reçinenin agregaya oranı arttıkça polimer beton numunelerinde basınç mukavemeti ve donma-çözülme dayanımlarında artış olduğu belirlenmiştir (Özden, 2010).

Araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmayı incelediğimizde, polimer beton ve normal çimentolu beton numunelerin içerisine ultra kısa, ultra ince ve kesme dalgalı çelik fiber ile polipropilen fiber belli oranlarda katılarak polimer beton ve normal çimentolu beton numuneler üretilmiştir. Üretilen bu hibrit fiber malzemeli numuneler üzerinde mekanik özellikler ve durabilite dayanımları yapılan deneyler sonucu aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- Hibrit fiber polimer beton ile yapılan çökme deneyinde su emme miktarı, viskozite ve kohezyon miktarları ile iyi bir performans sergiledikleri söylenebilir. Hibrit fiber polimer betonun yapılan testler sonucu elastisite modülü ortalama 35.93 GPa civarında belirlenmiş olup bu elastisite modülü, normal çimentolu betonların elastisite modülüne çok yakın bir değer olduğu görülmüştür.
- Normal çimentolu betonun 3 ile 7 günlük basınç dayanım testi hibrit fiber polimer betonun basınç dayanım testinden daha iyi sonuç verdiği, fakat numuneler 28 gün kür ortamında bekletildiğinde hibrit fiber polimer betonun basınç dayanımı normal çimentolu beton numunelere göre %31,23 oranında daha iyi dayanım sonucuna ulaşıldığı görülmüştür.

- Normal çimentolu beton ve hibrit fiber polimer beton numuneler ile 2 aşamalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyleri sonucunda her 2 aşamada da hibrit fiber polimer beton numuneleri, normal çimentolu beton numunelere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Hibrit fiber polimer beton numuneleri eğilme testinde başta iyi bir artma göstermiş sonrasında ise artış hızı yavaşlamasına rağmen hibrit fiber polimer betonlar eğilme testi sonucunda içyapılarında oluşan kuvvetli bağlardan dolayı tam kopma göstermeyerek başarılı bir performans göstermiştir. Normal çimentolu beton numuneler ise eğilme testi sonunda gevrek davranış sergileyerek kırılmıştır.
- Hibrit fiber polimer beton numuneler belli bir süre sülfat etkisine maruz bırakılmış ve eğilme deneyine tabi tutularak durabilite özelliği incelenmiştir. Sülfat etkisine maruz bırakılan hibrit fiber polimer numuneler eğilme testi sonucunda mukavemetinde az miktarda bir düşüş gözlenmiş ve bu da hibrit fiber polimer betonların içyapısındaki bağların sülfat ortamından çok fazla etkilenmediğini göstermiştir. Eğilme deneyi sonucunda korozyon direnci %81,31 olduğu gözlemlenmiştir.

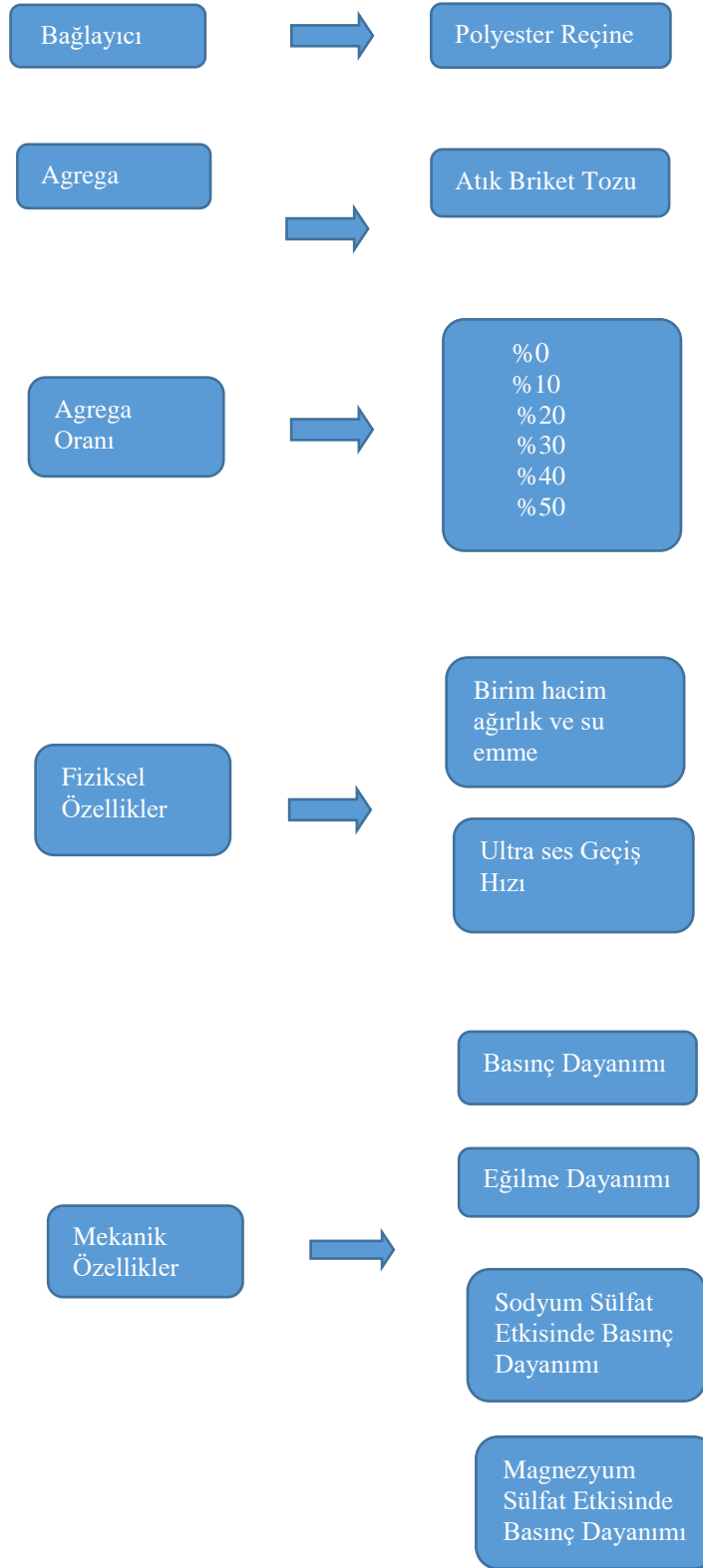
Hibrit fiber polimer beton ve normal çimentolu beton numunelerden SEM testinde görüntüler alındığında hibrit fiber polimer betonların içyapısında az mikro delik ve çatlak olduğu ve bağ yapılarının daha güçlü olduğu görülmüştür. Bu özelliklerinden dolayı hibrit fiber polimer betonlar normal çimentolu betonlara göre daha iyi mekanik ve durabilite özellik sergiledikleri incelenmiştir (Zhao et al., 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, yaptığımız tez çalışmasında polimer beton numunelerin üretiminde izlediğimiz yöntemleri ve polimer beton üretimi için kullandığımız malzemeleri açıklayıp, deneyler için gerekli olan ortam, makine, teçhizat ve aletleri tanıtarak, polimer beton numunelerin üretiminde hangi aşamaları takip ettiğimizi açıklayacağız.

Polimer beton numunelerin üretiminde matris malzeme olarak doymamış polyester reçine kullanılmış ve faz malzeme, agrega olarak ise atık briket tozu kullanılarak polimer beton numuneler üretilmiş ve bu polimer beton numuneler bir takım deney ve testlere tabi tutulmuştur. Polimer beton ile ilgili yaptığımız çalışmalarda, Bingöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı, Bingöl Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Laboratuvarı, Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı ve Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarlarında bu çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Araştırma için yapılan deneysel plan Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Polimer beton numunelerini üretmek için doymamış polyester reçine içerisine ağırlığının, %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında atık briket tozu eklenerek polimer beton numuneler üretilmiştir. Üretilen polimer betonlardan toplam 6 grup bulunmakta ve bir grup için 9 adet 5×5×5 cm, 3 adet de 4×4×16 cm boyutunda numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelerden 5×5×5 cm boyutunda olanlardan her bir gruptan 3 adet seçilerek 28 gün oda sıcaklığında kür havuzunda kür edildikten sonra basınç testine tabi tutulmuştur. Geriye kalan 6 adet 5×5×5 cm boyutlarındaki numunelerden 3 adet sodyum sülfat çözeltisinde ve 3 adet numune de magnezyum sülfat çözeltisinde dışardan hava almayacak şekilde kapatılan kutular içerisinde 90 gün bekletildikten sonra basınç testine tabi tutulmuştur. Her gruptan 3'er adet 4×4×16 cm boyutlarında üretilen numuneler ise eğilme testine tabi tutularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda polimer betonların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma deneysel planı

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Tarih boyunca, insanlığın varoluşundan bugüne kadar gelen süreçte araştırmacılar sürekli daha ergonomik malzeme tasarlama ve üretme çabası içerisinde bulunmuşlardır.

Yaptığımız bu çalışmada da son zamanlarda inşaat sektöründe popüler olan ve polimer kompozit malzeme sınıfına giren polimer beton üretilerek mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

3.1.1. Polimerler

Yapılan bu çalışmada polimer beton üretmek için bağlayıcı malzeme olarak doymamış polyester reçine, dolgu malzemesi olarak, atık briket tozu, reçine ve monomerin sertleşmesi için çapraz bağ ile sonuçlanan kimyasal reaksiyonu başlatıcı olarak Mekp ve reaksiyonu hızlandırmak için kobalt octoate (%6) kullanılmıştır.

3.1.1.1. Polyester Reçine

Polimer beton numunelerini üretmek için bu çalışmada bağlayıcı malzeme olarak doymamış polyester reçine kullanılmış olup seçtiğimiz reçine tipi Turkuaz polyester firmasının ürettiği 18 kg teneke şeklinde bulunan TP100 kodlu döküm tipi doymamış polyester reçinedir. Doymamış polyester reçineye ait bazı teknik özellikler Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Doymamış polyester reçineye ait bazı teknik özellikler

| Ürün Kodu | TP100 |
|-----------------|---------------------------|
| Ürün tanımı | Doymamış polyester reçine |
| Özgül ağırlık | 1,17 gr/cm ³ |
| Renk | Renksiz |
| Viskozite | 350-500 cps |
| Parlama noktası | >23 - <60°C |
| Koku | Strien kokusu |

3.1.2. Kobalt Oktoat

Kobalt oktoat polimer beton numunelerin üretiminde reaksiyon hızlandırıcı olarak doymamış polyester reçine miktarının %0,2'si kadar ilave edilerek kullanılmıştır. Kobalt oktoata ait bazı teknik özellikler Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Kobalt oktoata ait bazı teknik özellikler

| Ürün Kodu | Kobalt Oktoat(%6) |
|-------------------|-------------------------|
| Ürün tanımı | Kobalt Oktoat |
| Özgül ağırlık | 0,98 gr/cm ³ |
| Renk | Berrak sıvı |
| Co metal oranı | %10 |
| Parlama noktası | 39°C |
| Toplam katı oranı | %63 |

3.1.3. Metil Etil Keton Peroksit(MEKP)

MEKP diye tabir edilen bu malzeme metil etil keton ve peroksit karışımlarından oluşmaktadır. Polimer beton numunelerin üretiminde reçinenin ve monomerin sertleşmesi için reaksiyon başlatıcı olarak doymamış polyester reçine içerisine %1 ilave edilerek polimer beton numuneleri üretilmiştir. MEKP'e ait bazı teknik özellikler Tablo 3.3'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3. MEKP'e ait bazı teknik özellikler

| Ürün Kodu | Akperox A1 |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Ürün tanımı | Metil Etil Keton ve Peroksit karışımı |
| Özgül ağırlık | 1,16 gr/cm ³ |
| Renk | Renksiz |
| Aktif Oksijen İçeriği (%) | %9,4-9,6 |
| Peroksit İçeriği (%) | %40 |
| Parlama noktası | -9°C |

3.1.4. Sodyum Sülfat

Polimer beton numuneleri üretilip 27 gün oda şartlarında kür havuzunda kür edildikten sonra gerekli bütün veriler toplanarak 90 gün boyunca sodyum sülfat içerikli çözelti içerisinde dış ortama kapalı Şekil 3.2’de gösterilen kapalı kaplarda muhafaza edilmiştir. Hazırlanan 1 kg’lık çözelti için 50 gr sodyum sülfat ve 950 gr su hesaplanarak çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan sodyum sülfat çözeltisi içerisinde her gruptan 3 adet numune dâhil edilmiştir. Yapılan çalışmada Tekkim marka ve TK.170560 kodlu sodyum sülfat ürünü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sodyum sülfata ait teknik özellikler Tablo 3.4’te belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin muhafazası

Tablo 3.4. Sodyum sülfata ait teknik özellikler

| Ürün Kodu | TK.170560 |
|-------------------------------|-----------------------|
| Ürün tanımı | Sodyum sülfat (susuz) |
| Molar kütle | 142,04 gr/mol |
| HS kodu | 2833.11.00 |
| Safılık | >= %99,0 |
| Sodyum klorür (NaCl) | >= %0,3 |
| Demir (Fe) | >= %0,001 |
| Magnezyum (Mg) | >= %0,05 |
| Calcium (Ca) | >= %0,2 |
| Nem | >= %0,3 |
| Suda çözünme | >= %0,2 |
| pH (%1,H ₂ O,20°C) | 6,0 - 8,0 |

3.1.5. Magnezyum Sülfat

Polimer beton numuneleri üretilip 27 gün oda şartlarında kür havuzunda kür edildikten sonra gerekli bütün veriler toplanarak 90 gün boyunca magnezyum sülfat içerikli çözelti içerisinde dış ortama kapalı Şekil 3.3’de gösterilen kapalı kaplarda muhafaza edilmiştir. Hazırlanan 1 kg’lık çözelti için 102,29 gr magnezyum sülfat ve 897,71 gr su hesaplanarak çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan magnezyum sülfat çözeltisi içerisinde her gruptan 3 adet numune dâhil edilmiştir. Yapılan çalışmada Tekkim marka ve TK.120310 kodlu magnezyum sülfat ürünü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan magnezyum sülfata ait teknik özellikler Tablo 3.5’te belirtilmiştir.



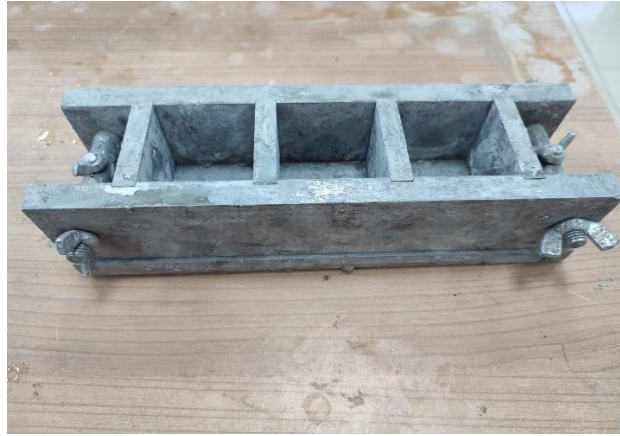
Şekil 3.3. Magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin muhafazası

Tablo 3.5. Magnezyum sülfata ait teknik özellikler

| Ürün Kodu | TK.120310 |
|------------------------------------|------------------|
| Ürün tanımı | Magnezyum sülfat |
| Molar kütle | 146,48 gr/mol |
| Suda çözünür magnezyum oksit (MgO) | %9,5 – 16,0 |
| Saflık | >= %98,0 |
| Klorür (Cl) | >= %0,03 |
| Demir (Fe) | >= %0,0005 |
| Kurşun (Pb) | >= %0,0005 |
| Mangan (Mn) | >= %0,001 |
| Nem | >= %2,0 – 2,5 |
| Suda çözünme (20°C) | >= %96,8 |
| pH (%5,H ₂ O,25°C) | 5,0 - 9,0 |

3.1.6. Kullanılan Numune Kalıpları ve Kalıp Ayırıcı Malzemeler

Polimer beton numunelerini üretmek için belli başlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunların başında numuneleri dökmek için kalıplara ve malzemeyi kalıptan rahat ayırmak için kalıp ayırıcıya ihtiyaç vardır. Bu çalışmada 6 grup ve her gruptan 9 adet 5x5x5 cm ölçülerine sahip Şekil 3.4’de gösterilen kalıplar ile 1. döküm eğilme dayanımı için ise 6 grup ve her gruptan 3 adet 4x4x16 cm ölçülerine sahip Şekil 3.5’te gösterilen kalıplar ile 2. döküm gerçekleştirilmiştir. Kalıp ayırıcı olarak ise Şekil 3.6’da gösterilen poliya markasının polivaks SV-6 vaksı temiz ve kuru bir bez ile 15 şer dakika arayla 3 kez tekrarlanarak uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Numune döküm için kullanılan 5x5x5 cm boyutlarındaki kalıp malzemesi



Şekil 3.5. Numune döküm için kullanılan 4x4x16 cm boyutlarındaki kalıp malzemesi



Şekil 3.6. Numuneleri kalıptan ayırmak için kullanılan kalıp ayıcı vaks

3.1.7. Agregas

Yapılan bu çalışmada polimer beton üretmek ve çevresel atıkları değerlendirmek için Bingöl Uzunyayla Şirketler Grubundan briket tuğla üretimi esnasında ortaya çıkan Şekil 3.7’de gösterilen atık malzeme geri dönüşüme kazandırılarak polimer beton numuneleri üretilmiştir.



Şekil 3.7. Briket tuğla üretimi sonrası ortaya çıkan atık malzeme

3.1.7.1. Atık Briket Tozu

Polimer beton numunelerini üretmek için agrega olarak 0-4 mm elek aralığından geçirilmiş pomza içerikli atık briket tozu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan atık briket tozu Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan atık briket tozu

3.2. Numunelerin Gruplandırılması

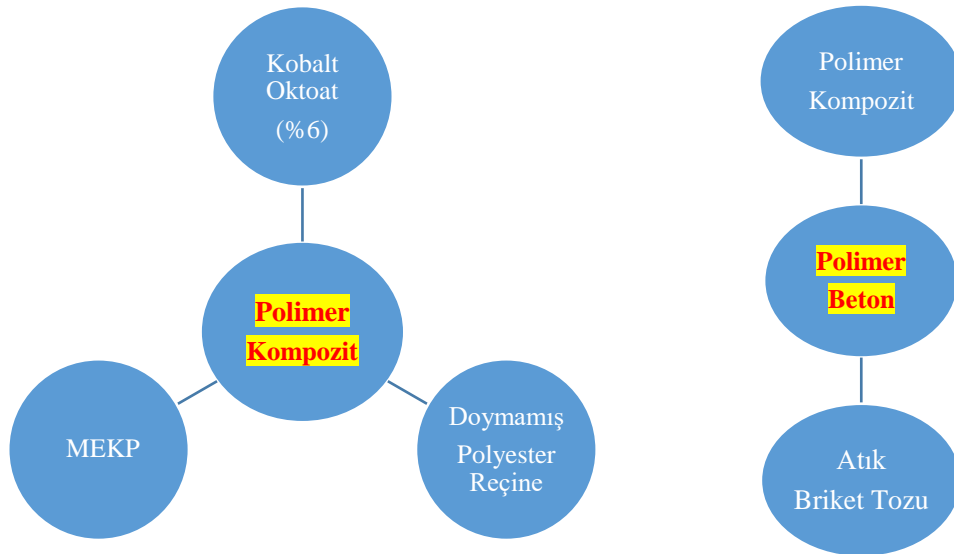
Yapılan çalışmada polimer beton üretmek için doymamış polyester reçine miktarının %0, %10, %20, %30, %40 ve % 50 oranlarında atık briket tozu kullanılmış olup ve numunelerin gruplandırılması da bu oranlar dikkate alınarak yapılmıştır. Örneğin; PB30 %30 atık briket tozu içeren numuneyi, PB30-S %30 atık briket tozu içeren ve sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numuneyi ve PB30-M ise %30 atık briket tozu içeren ve magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numuneyi göstermektedir. Numunelerin gruplandırılması Tablo 3.6’da belirtilmiştir.

Tablo 3.6. Numunelerin gruplandırılması

| Atık briket tozu | Polyester | Kod (Herhangi bir çözeltiye maruz kalmayan numuneler) | Kod (Sodyum-sülfat Çözeltisine maruz numuneler) | Kod (Magnezyum-sülfat Çözeltisine maruz numuneler) |
|------------------|-----------|--|--|---|
| %0 | % 100 | PB0 | | |
| % 10 | % 100 | PB10 | PB10-S | PB10-M |
| % 20 | % 100 | PB20 | PB20-S | PB20-M |
| % 30 | % 100 | PB30 | PB30-S | PB30-M |
| % 40 | % 100 | PB40 | PB40-S | PB40-M |
| % 50 | % 100 | PB50 | PB50-S | PB50-M |

3.3. Polimer Beton Üretiminde Karıştırma Yönteminin Tayini

Polimer beton numunelerinin üretimi esnasında belli başlı yollar ve karıştırma yöntemleri takip edilmiştir. Üretim aşaması 2 basamak şeklinde değerlendirilmiştir. 1. basamakta doymamış polyester reçine 45 sn. karıştırıldıktan sonra içerisine polimerizasyon reaksiyonunun başlatılması için %1 MEKP ilave edilip 120 sn. karıştırılmış ve ardından reaksiyonu hızlandırmak için %0,2 Kobalt Oktoat (%6) ilave edildikten sonra 230 sn. karıştırılarak polimer matrisi elde edilmiştir. 2. basamakta ise, polimer matrisinin içerisine doymamış polyester reçine ağırlığının %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında atık briket tozu ikame edilip yaklaşık 300 sn. karıştırıldıktan sonra polimer beton numuneler üretilmiştir. Polimer beton numunelerinin üretiminde takip edilen yöntem Şekil 3.9'da gösterilmiştir



Şekil 3.9. Polimer beton üretiminde karıştırma yöntemi

3.4. Kullanılan Cihazlar ve Yapılan Testler

Yapılan bu çalışmalar neticesinde polimer beton numuneleri üretilmiş olup ve bu numuneler üretildikten sonra birtakım cihazlar kullanılarak polimer beton numuneleri üzerinde bazı testler yapılmıştır.

3.4.1. Birim Hacim Ağırlık Tayini

Polimer beton numune yoğunluklarının belirlenmesi için birim hacim ağırlık deneyi TS EN 1015-10, 2001'e kullanılmıştır. Numuneler deneyden önce 0.01 gr hassasiyetinde tartılarak birim ağırlıkları bulunmuştur. Çalışmada Şekil 3.10'da gösterilen RADWAG AS 220 R.2 hassas analitik terazi kullanılmıştır. Birim hacim ağırlık tayininde kullanılan formül denklem 3.1'de belirtilmiştir.

$$\gamma = \frac{W_{pt}}{V_{pt}} \quad (3.1)$$

γ = Birim hacim ağırlık (gr/cm³)

W_{pt} = Polimer beton numunenin toplam ağırlığı (gr)

V_{pt} = Polimer beton numunenin toplam hacmi (cm³)



Şekil 3.10. Birim hacim ağırlık tayininde kullanılan hassas analitik terazi

3.4.2. Eğilme Dayanım Testleri

Her gruptan 3'er adet 4x4x16 cm boyutlarında üretimi yapılan polimer beton numunelerinin eğilme dayanım testleri TS EN 12390-5, 2010'a uygun şekilde yapılmıştır. Polimer beton numunelerinin eğilme dayanımı formülü denklem 3.2'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Eğilme dayanım testi Şekil 3.11'de gösterilen UTEST markasının iki kabinli

basınç/eğilme deney cihazı ile Şekil 3.12’de gösterilen 3 noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir.

$$\Sigma_e = (3*P*L)/(2*d*h^2) \quad (3.2)$$

Σ_e : Polimer beton eğilme dayanımı (N/mm²)

L: Mesnetler arası uzaklık (mm)

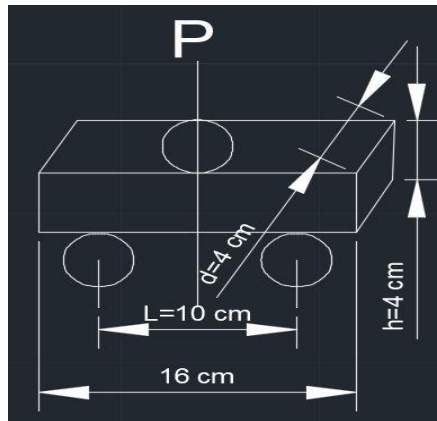
d: Numune kesitinin genişliği (mm)

h²: Numune kesitinin yüksekliği (mm)

P: Kırılma yükü (N)



Şekil 3.11. Polimer beton numuneleri eğilme dayanım testi ve deney cihazı



Şekil 3.12. Üç noktalı eğilme testi görseli

3.4.3. Basınç Dayanım Testleri

Her seriden 6'şar adet 5x5x5 cm boyutlarında üretimi yapılan polimer beton numunelerinin basınç dayanım testleri her bir numune için TS EN 12390, 2010'a uygun şekilde yapılmıştır. Basınç dayanım testlerine tabi tutulan 9 adet numuneden 3adet numune 28 gün oda şartlarında kür edildikten sonra 3 adet numune 90 gün boyunca sodyum sülfata maruz bırakıldıktan sonra 3 adet numune ise 90 gün boyunca magnezyum sülfata maruz bırakıldıktan sonra basınç dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanım testleri denklem 3.3'de belirtildiği şekilde yapılmıştır. Basınç dayanım testi Şekil 3.13'de gösterilen YÜKSEL KAYA MAKİNA markalı YKM-C206 kodlu 3000 kN'luk tam otomatik basınç dayanım deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

$$\sum_b = P_b/A \quad (3.3)$$

\sum_b = Basınç mukavemeti (N/mm²)

P_b = Kırılma yükü (N)

A = Numune yüzey alanı (mm²)



Şekil 3.13. Polimer beton numuneleri basınç dayanım testi ve deney cihazı

3.4.4. Ultra Ses Geçiş Hızı Testleri

Ultra ses geçiş hızı testi polimer beton numunelerinden 5x5x5 cm boyutunda olan numuneler üzerinde ASTM C 597 (1997)' ye uygun olarak yapılmıştır. Ultra ses geçiş hızı testleri denklem 3.4'te belirtildiği şekilde yapılmıştır. Ultra ses geçiş hızı ile polimer beton numunesi içerisinden geçen ses dalgasının hızı tespit edilmiş ve ses dalgasının geçiş hızı ile numunelerin basınç dayanımı arasındaki ilişki incelenmiştir. Ultra ses geçiş hızı testi için şekil 3.14'te gösterilen UTEST markasının UTC-3050(proceq) kodlu pundit lab+ultrasonik dalga hızı test cihazı kullanılmıştır. Kullanılan ultra ses geçiş cihazında geçiş süresi mikro saniye(μ s) olarak ölçülmüş ve çalışmada kullanılan ultra ses geçiş hızı km/s'ye çevrilerek kullanılmıştır.

$$V = (L/t)*10^6 \quad (3.4)$$

V = Ultra ses geçiş hızı(m/s)

L = Ses dalgalarının geçiş hızı(m)

t = Ses dalgalarının geçiş süresi(μ s)



şekil 3.14. Polimer beton numuneleri ultra ses geçiş hızı testi ve deney cihazı

3.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi

SEM görüntüleme işlemi 5x5x5 cm boyutlarındaki PB10, PB10-S, PB10-M, PB50, PB50-S ve PB50-M polimer beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM görüntüleme analizi Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde mevcut olan Şekil 3.15'te gösterilen JOEL markasının JSM 6510 modeli ile yapılmıştır. Numunelerden alınan küçük parçalar Şekil 3.16'da gösterilen sputter coater adında kaplama cihazı ile altın-paladyum karışımı ile homojen bir şekilde kaplandıktan sonra SEM görüntüleme cihazında incelenmiştir. Cihaz, elektronlar vasıtasıyla numune üzerinden yüksek kalitede üç boyutlu görüntü alma düzeneği ile çalışmaktadır.



Şekil 3.15. SEM görüntüleme analizi ve deney cihazı



Şekil 3.16. Sputter coater kaplama cihazı

3.4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Analizi

IR spektrometresi işlemi 5x5x5 cm boyutlarındaki PB10, PB10-S, PB10-M, polimer beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. IR spektrometre analizi Bingöl Üniversitesi Merkezi Laboratuvar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde mevcut olan Şekil 3.17'de gösterilen Perkin Elmer markasının Spektrum 100 FT-IR Spektrometer modeli ile yapılmıştır. Numunelerden alınan küçük parçalar Şekil 3.18'de gösterilen ufalandıktan sonra IR spektrometre analizi yapılmıştır. IR spektrometresi ile numunelerin içyapısında bulunan bağlar hakkında tanımlayıcı bilgiler elde ederiz. Cihazda bulunan optik sistemler ile 4500-400 cm^{-1} aralığında veri sunumu gerçekleştirmektedir. Genellikle polimer maddelerin kimyasal analizlerinde tercih edilmektedir.



Şekil 3.17. FT-IR spektrometre cihazı



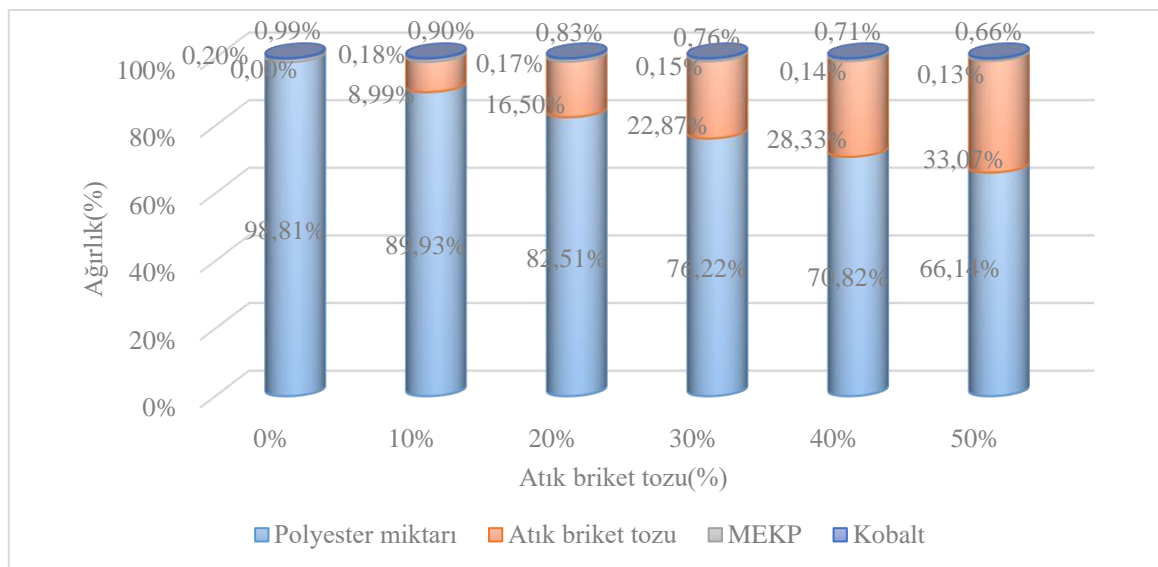
Şekil 3.18. Polimer beton numunelerinden alınan küçük parçalar

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmanın bu bölümünde 48 adet 5x5x5 cm ve 18 adet 4x4x16 cm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Üretilen polimer beton numuneler ile ağırlıkça karışım oranları, eğilme ve basınç dayanım testleri, ultra ses geçiş hızı deneyi, su emme ve birim hacim ağırlık deneyi, sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan numunelerin basınç dayanım testleri, fourier dönüşümlü kızılötesi analizi ve sem görüntüleme analizi deneyleri yapılarak sonuçlarına yer verilmiştir.

4.1. Polimer Beton Numunelerin Ağırlıkça Karışım Oranları

Üretilen polimer beton numunelerin ağırlıkça karışım oranları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Polyester reçine miktarı 2040 gr alınarak içerisine polyester reçine miktarının %0,2 (4,08 gr) oranında kobalt oktoat, %1 (20,4 gr) oranında MEKP ilave edilmiş. Ardından polyester reçine miktarının %0 (0 gr), %10 (204 gr), %20 (408 gr), %30 (612 gr), %40 (816 gr) ve %50 (1020 gr) oranlarında atık briket tozu ilave edilerek polimer beton numuneler üzerindeki deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Polimer beton numunelerin ağırlıkça karışım oranları

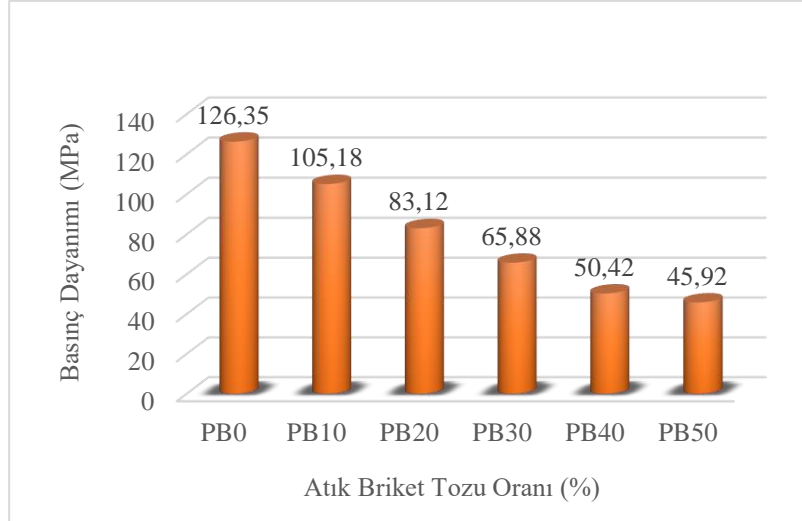
4.2. Polimer Beton Numunelerin Basınç Dayanım Testi Sonuçları

Üretimi yapılarak 28 gün boyunca kür ortamında bekletilen 6 seri 5x5x5 cm boyutlarındaki polimer beton numunelerden Şekil 4.2’de gösterildiği gibi her seri için 3 adet numune alınarak basınç dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanımına tabi tutulan her seriden 3 adet numunenin basınç dayanımlarının ortalamaları hesaplanarak dikkate alınmıştır.



Şekil 4.2. Basınç dayanımına tabi tutulan polimer beton numuneleri

Basınç dayanımına tabi tutulan PB0-1-2-3, PB10-1-2-3, PB20-1-2-3, PB30-1-2-3, PB40-1-2-3 ve PB50-1-2-3 numunelerinin basınç dayanımları incelendiğinde Şekil 4.3’de görüldüğü gibi atık briket tozu miktarı arttıkça basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmüştür. PB0 ortalama 126,35 Mpa ile basınç dayanımının en yüksek olduğu numune grubu ve PB50 ise ortalama 45,92 Mpa ile basınç dayanımının en düşük olduğu numune grubu olmuştur. Literatür taramasında, Polat vd. (2020); barit minerali kullanarak yaptıkları çalışmalar sonucunda barit miktarı arttıkça numunelerin basınç dayanımlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.3. Polimer beton numunelerin basınç dayanım testi sonuçları

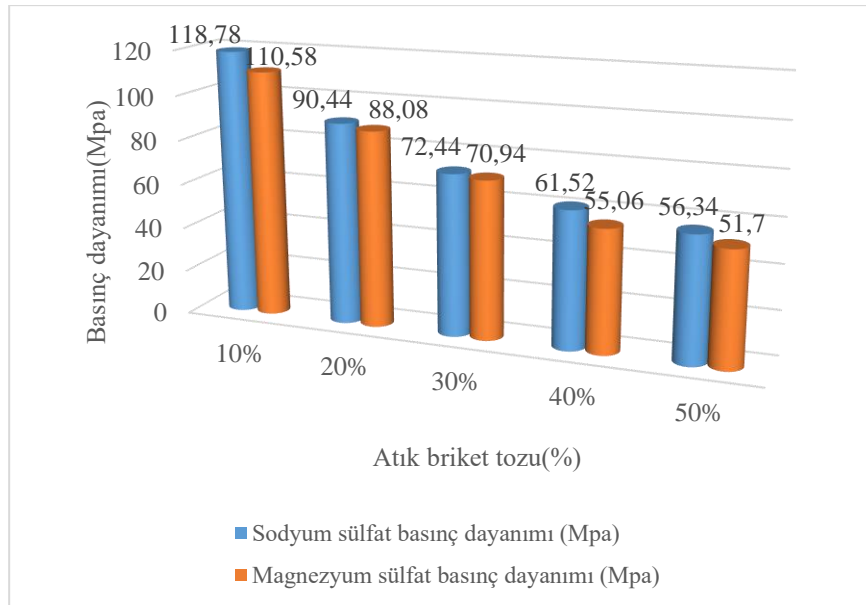
4.2.1. Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfata Maruz Bırakılan Polimer Beton Numunelerin Basınç Testi Sonuçları

Üretilen 5x5x5 cm boyutlarındaki polimer beton numunelerden Şekil 4.4'te gösterilen her seriden 3 adet %5 sodyum sülfat çözeltisi ve 3 adet te %5 magnezyum sülfat çözeltisi 90 gün boyunca dış ortama kapalı kür havuzunda bekletildikten sonra basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Basınç dayanım sonuçları her seri için ortalama basınç dayanımlarını göstermektedir.

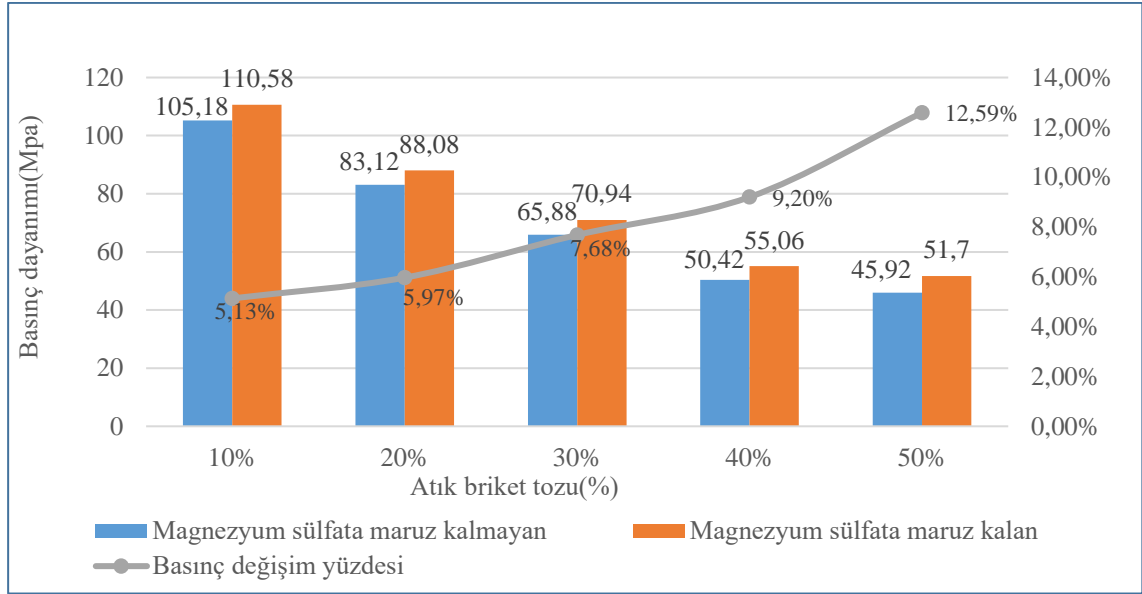


Şekil 4.4. Basınç deneyine tabi tutulan sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan numuneler

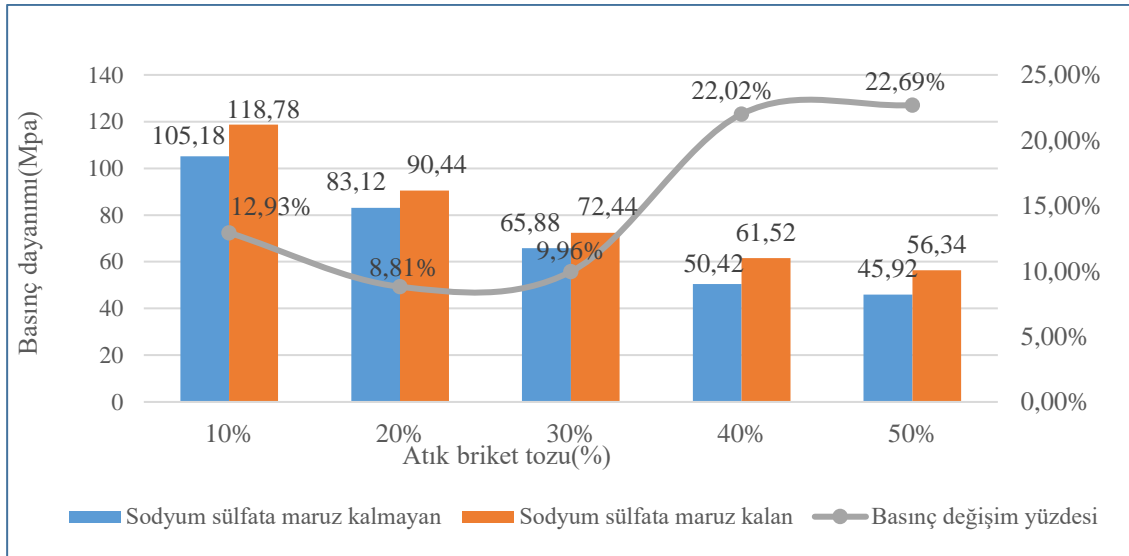
Magnezyum sülfat ve sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde agrega miktarı arttıkça basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmüştür. Fakat Şekil 4.5’de görüldüğü gibi 90 gün boyunca magnezyum sülfat ve sodyum sodyum sülfata maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımlarında azalma değil artış olduğu görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde magnezyum sülfata maruz bırakılmış en düşük sonucu veren numune 51,70 Mpa en yüksek sonucu veren numune 110,58 Mpa olduğu ve sodyum sülfata maruz bırakılmış en düşük sonucu veren numunenin 56,34 Mpa en yüksek sonucu veren numunenin ise 118,78 Mpa olduğu görülmüştür. Şekil 4.6. daki sonuçları incelediğimizde magnezyum sülfata maruz bırakılmış numunelerin, magnezyum sülfata maruz bırakılmayan numunelere göre basınç dayanımları %5,13 ile %12,59 oranları arasında daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 4.7’deki sonuçları incelediğimizde ise sodyum sülfata maruz bırakılan numunelerin, sodyum sülfata maruz bırakılmayan numunelere göre basınç dayanımları %8,81 ile %22,69 oranları arasında daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımları



Şekil 4.6. Magnezyum sülfata maruz kalan ve kalmayan numuneler arasındaki basınç dayanım farkları ve basınç dayanım yüzdeleri

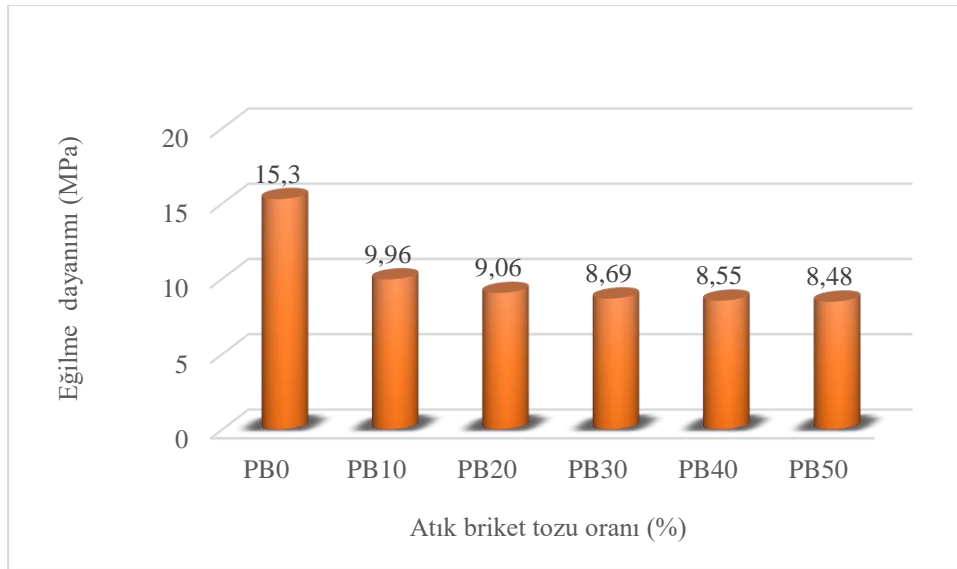


Şekil 4.7. Sodyum sülfata maruz kalan ve kalmayan numuneler arasındaki basınç dayanım farkları ve basınç dayanım yüzdeleri

4.3. Polimer Beton Numunelerin Eğilme Dayanım Testi Sonuçları

Üretimi yapılan 6 grup ve her gruptan 3'er adet 4x4x16 cm boyutlarındaki polimer beton numuneler kür şartlarında 28 gün bekletildikten sonra eğilme dayanım testleri yapılmıştır.

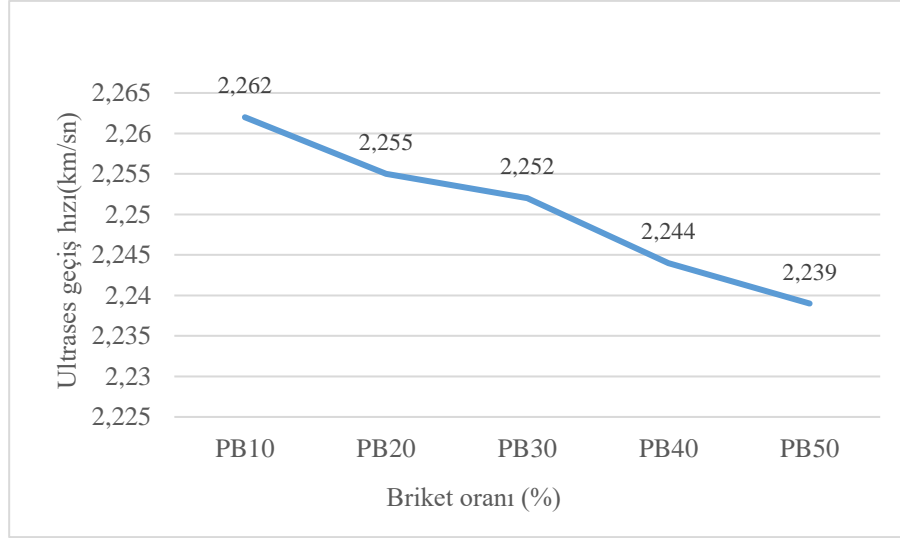
Eğilme dayanım testi sonuçları Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Gösterilen eğilme dayanım sonuçları her gruptaki numunelerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Polimer beton numunelerin eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde basınç dayanım testinde olduğu gibi numune içerisindeki agrega miktarı arttıkça eğilme dayanımlarında azalma olduğu görülmüştür. Hiç agrega içermeyen PB0 numunesinin eğilme dayanımı 15,30 Mpa en fazla agrega içeren PB50 numunesinin eğilme dayanımı 8,48 Mpa olarak ölçülmüştür. Agrega miktarı arttıkça eğilme dayanımlarında oransal olarak %44,57’lik bir azalma olduğu görülmüştür. Literatür taramasında, Topsakal vd. (2013); yaptıkları çalışmalara göre faz malzeme oranı arttıkça eğilme dayanım değerlerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.8. Polimer beton numunelerin eğilme dayanım testi sonuçları

4.4. Polimer Beton Numunelerin Ultra Ses Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

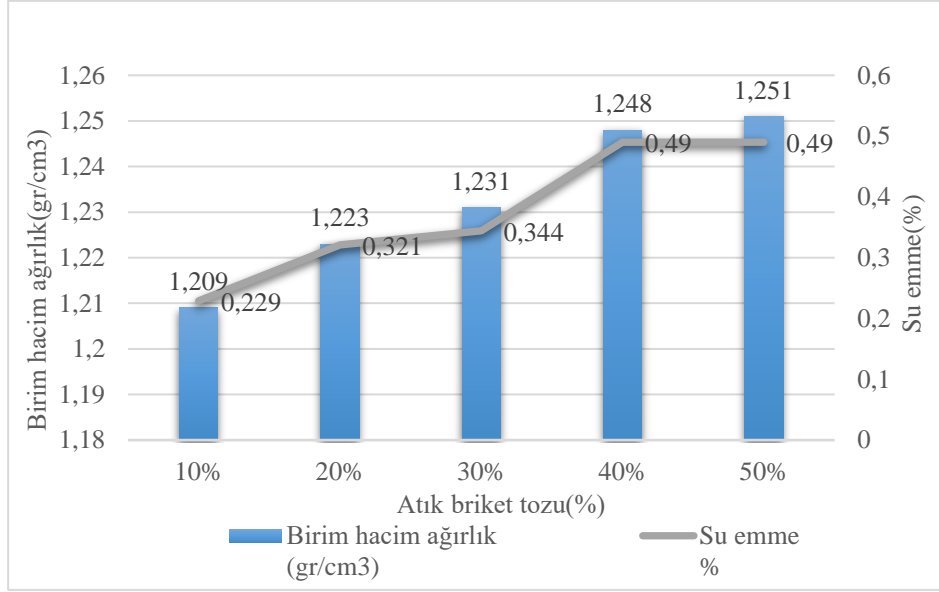
Ultra ses geçiş hızı deneyi 5x5x5 cm boyutlarında üretilen polimer beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Polimer beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen ultra ses geçiş hızı sonuçları Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Ultra ses geçiş hızı agrega oranı %10 olan numune grubunda en yüksek sonuç olan 2,262 km/sn ve agrega oranı %50 olan numune grubunda ise en düşük sonuç olan 2,239 km/sn olduğu görülmüştür. Agrega oranı arttıkça ultra ses geçiş hızında oransal olarak %1,017 azalma olduğu görülmüştür. Literatür taramasında, Polat vd. (2023); yaptıkları çalışmada atık tuğla tozu miktarı arttıkça ultra ses geçiş hızında azalmanın olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.9. Polimer beton numunelerin ultra ses geçiş hızı deneyi sonuçları

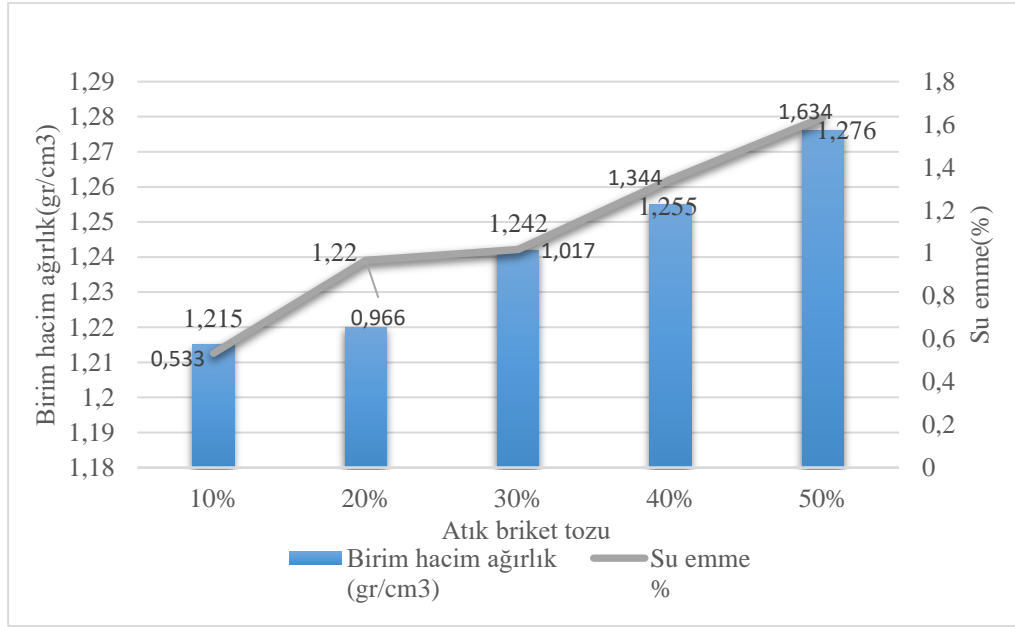
4.5. Polimer Beton Numunelerin Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri 5x5x5 cm boyutlarındaki polimer beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10’da numunelerin sodyum sülfat ve magnezyum çözeltisine maruz kalmadan önceki birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde agrega miktarı arttıkça birim hacim ağırlık ve su emme miktarında da artış olduğu görülmüştür. Agrega miktarı %10 olan numunelerin birim hacim ağırlık ortalamaları $1,209 \text{ gr/cm}^3$ ve agrega miktarı %50 olan numunelerin ortalama birim hacim ağırlığı $1,251 \text{ gr/cm}^3$ olduğu görülmüştür. Polimer beton numunelerin su emme miktarları incelendiğinde, agrega miktarı %10 olan numunelerin ortalama su emme miktarı %0,229 ve agrega miktarı %50 olan numunelerin ise ortalama su emme miktarı %0,490 olduğu görülmüştür. Literatür taramasında, Kolak vd. (2021); yaptıkları çalışmalarda dolgu miktarı arttıkça birim hacim ağırlığında artış olduğunu belirtmişlerdir.

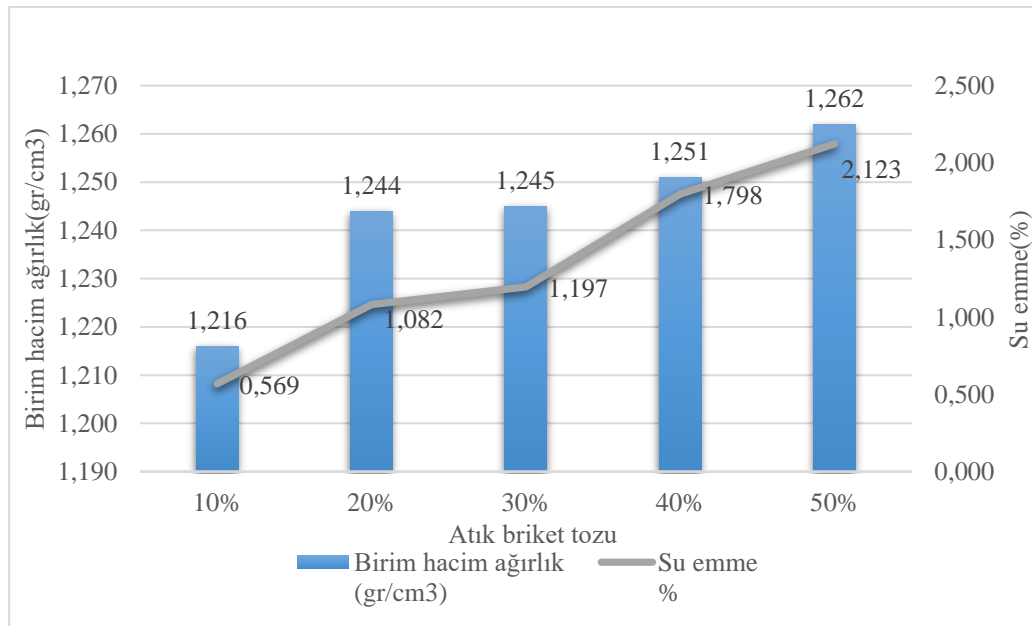


Şekil 4.10. Polimer beton numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları

Birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri polimer beton numunelerin 90 gün boyunca sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilisine maruz bırakıldıktan sonra tekrar yapılmıştır. Şekil 4.11’de sodyum sülfat ve Şekil 4.12’de magnezyum sülfat çözeltilisine maruz bırakılan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deney sonuçları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde %10 agregaya sahip sodyum sülfata maruz kalan numunenin birim hacim ağırlığı $1,215 \text{ gr/cm}^3$ ve %50 agregaya sahip numunenin ise birim hacim ağırlığı $1,276 \text{ gr/cm}^3$ olduğu görülmüştür. Sodyum sülfata maruz kalan numunelerin su emme sonuçları incelendiğinde %10 agregaya sahip numunenin su emme miktarı %0,533 ve %50 agregaya sahip numunenin ise %1,634 olduğu görülmüştür. Magnezyum sülfata maruz bırakılan %10 agregaya sahip numunenin birim hacim ağırlığı $1,216 \text{ gr/cm}^3$ ve %50 agregaya sahip numunenin birim hacim ağırlığı ise $1,262 \text{ gr/cm}^3$ olduğu görülmüştür. Magnezyum sülfata maruz bırakılan %10 agregaya sahip numunenin su emme miktarı %0,569 ve %50 agregaya sahip numunenin su emme miktarı ise %2,123 olduğu incelenmiştir.



Şekil 4.11. Sodyum sülfata maruz kalan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları

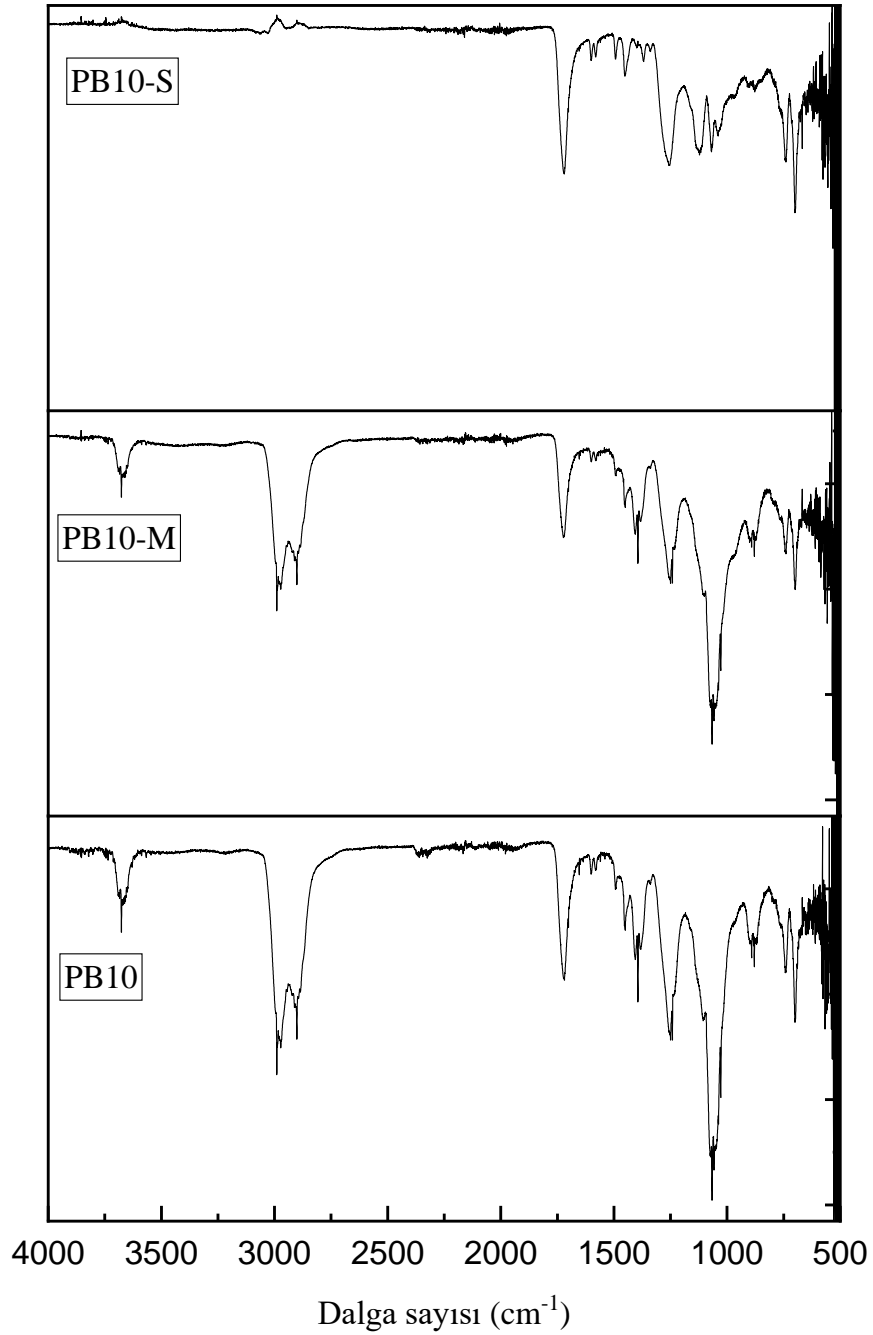


Şekil 4.12. Magnezyum sülfata maruz kalan numunelerin birim hacim ağırlık ve su emme deneyi sonuçları

4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Analiz Sonuçları

Yapılan çalışmada %10(PB10) agrega içeren sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmayan numuneler ile %10(PB10-S ve PB10-M) agrega içeren

sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan polimer beton numunelerin FT-IR analizleri yapılarak içyapılarındaki değişimler incelenmiştir. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan ve bırakılmayan numunelere ait FT-IR spektrumu Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



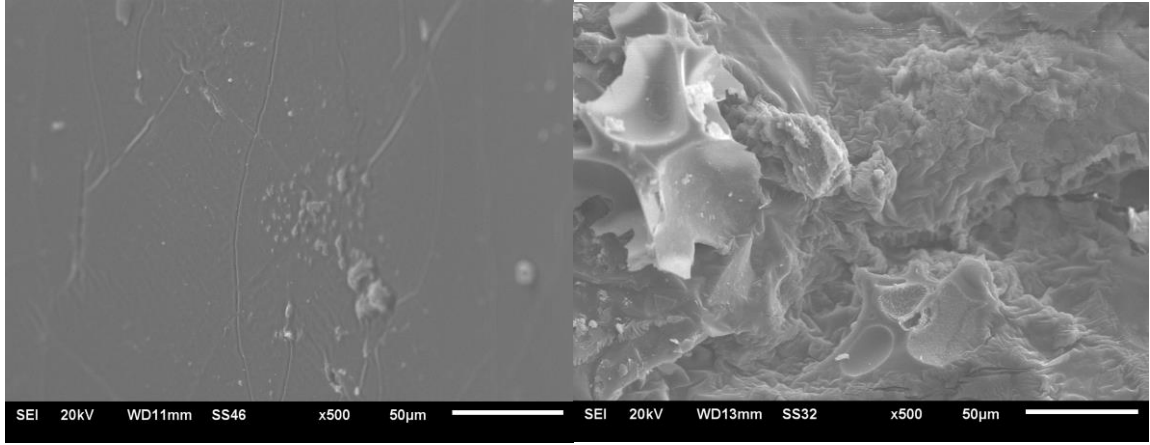
Şekil 4.13. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfata maruz bırakılan ve bırakılmayan numunelerin FT-IR spektrumu

FT-IR spektrumu incelendiğinde herhangi bir çözeltiliye maruz bırakılmayan PB10 numunesi, magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan PB10-M numunesi ve sodyum çözeltisine maruz bırakılan PB10-S numunelerinin spektrumlarında görülebilecek bazı kimyasal bağlar ve grupların dalga boyu aralıkları görülmektedir. 3676 cm^{-1} bölgesinde C-H gerilme bandı, 2750 cm^{-1} ve 3000 cm^{-1} bölgeleri arasında CH_2 ve CH_3 gruplarının C-H bükülme bandı ve aralarına serpilen metilen gruplarının CH_2 sallanma bandı 718 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Dalga sayısı 1100 cm^{-1} - 755 cm^{-1} bölgeleri arasında doğal kauçuk C=C ve eter bandı görülmektedir. Ayrıca 1750 cm^{-1} - 700 cm^{-1} bölgeleri arasında aromatik yapıyı gösteren C-Cl bandı karakteristik yapıyı göstermektedir. FT-IR Spektrumunun yorumlanması (Beşergil, 2008).

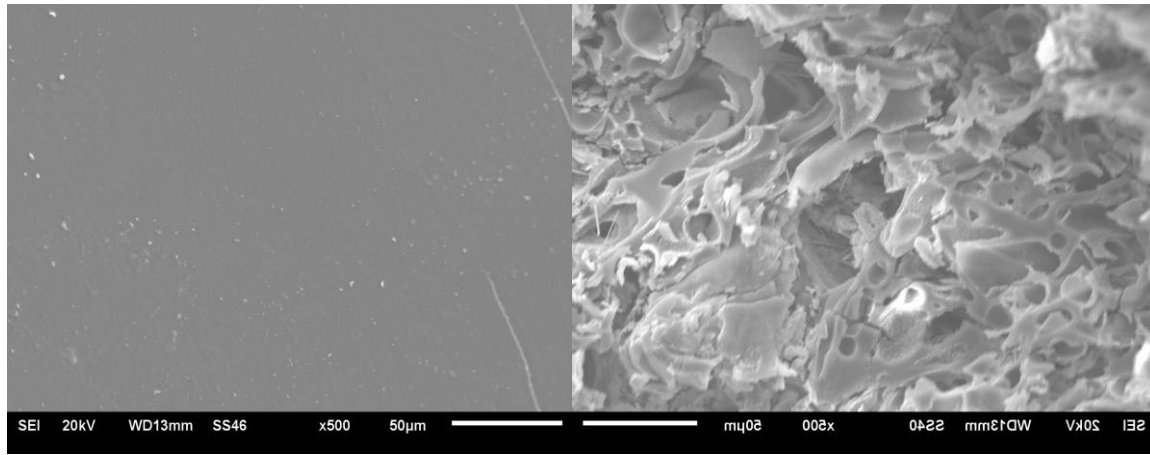
Magnezyum sülfata maruz bırakılan PB10-M numunesinin FT-IR spektrumu incelendiğinde dalga sayıları PB10 numunesi ile benzer olduğu fakat bağların geçirgenlik yüzdelерinin farklı olduğu görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde PB10-S numunesinin içyapısındaki bağlar sodyum sülfat ile tepkimeye girerek yeni bağ yapısı oluşturarak bağ yapısını kuvvetlendirmiştir. Bağ yapısının kuvvetlendirmesini basınç dayanımındaki %12,93 Mpa'lık artış FT-IR sonuçlarını desteklemektedir. PB10-M numunesi incelendiğinde PB10 numunesine göre içyapılarında iyileşme olduğu görülmüş ve magnezyum sülfat çözeltisinin numunenin içyapısına olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Basınç dayanımındaki %5,13 Mpa'lık artış FT-IR sonuçları ile uyusmaktadır.

4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Analiz Sonuçları

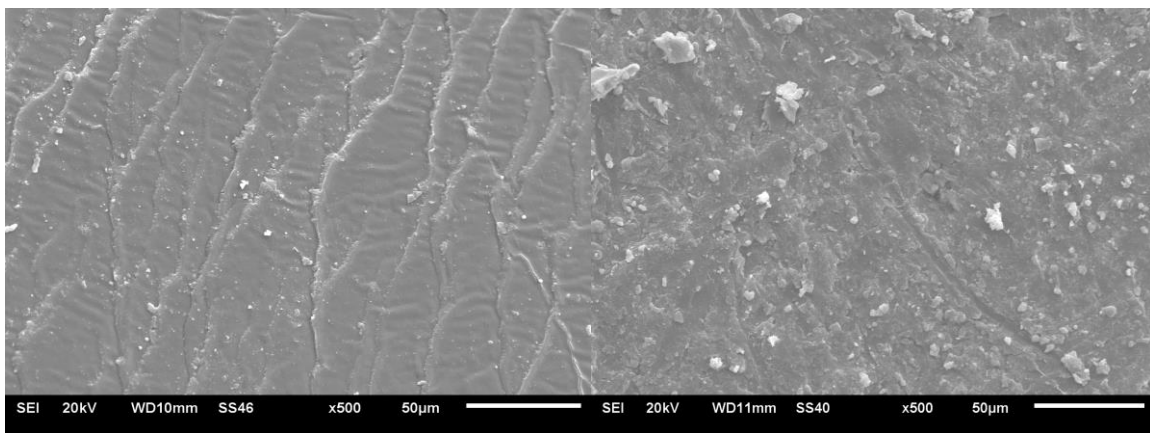
SEM görüntüleme analizi sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmayan $5 \times 5 \times 5$ cm boyutlarındaki PB10 ve PB50 numunelerinde ve 90 gün boyunca sodyum sülfat + magnezyum sülfat çözeltilerine maruz bırakılan $5 \times 5 \times 5$ cm boyutlarındaki PB10-S, PB50-S, PB10-M ve PB50-M numunelerinden ufak parçalar alınarak içyapı analizleri yapılmıştır. Şekil 4.14'te sırasıyla PB10+PB50, Şekil 4.15'te sırasıyla PB10-M+PB50-M ve Şekil 4.16'da sırasıyla PB10-S+PB50-S numunelerine ait SEM görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14. PB10 ve PB50 numunelerine ait SEM görüntüleri



Şekil 4.15. PB10-M ve PB50-M numunelerine ait SEM görüntüleri



Şekil 4.16. PB10-S ve PB50-S numunelerine ait SEM görüntüleri

SEM görüntüleri incelendiğinde PB10, PB10-M, PB10-S ve PB50, PB50-M, PB50-S numunelerinin içyapılarını karşılaştırdığımızda %10 agregaya sahip numuneler %50 agregaya sahip numunelere göre boşluk oranı daha az ve bağ yapılarının daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Yapılan basınç testleri ve FT-IR analizi de bu durumu destekler niteliktedir. Ayrıca SEM görüntülerini PB10-PB50, PB10-M-PB50-M ve PB10-S-PB50-S grupları şeklinde incelersek PB10-PB50 ve PB10-M-PB50-M numunelerinin içyapıları kıyaslandığında, magnezyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin içyapılarındaki boşluk miktarının azaldığı ve oluşan tepkime sonucu bağ yapılarında iyileşmeler olduğu görülmektedir. Bu durumda magnezyum sülfatın polimer beton numunelerin içyapılarında olumlu bir etki oluşturduğu söylenebilir. Basınç testleri ve FT-IR analizinde bu durumu destekler niteliktedir. PB10-S ve PB50-S numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ise sodyum sülfat çözeltisi ile polimer beton numuneleri arasında kimyasal tepkime olduğu görülmüştür. Oluşan tepkimeler sonucu polimer betonların içyapılarındaki boşluk miktarlarının azaldığı ve bağ yapılarında iyileşmelerin olduğu görülmektedir. Yapılan basınç testleri ve FT-IR analizi de bu durumu desteklenmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada atık briket tozu katkılı polimer betonların mekanik ve durabilite özelliklerinin belirlenmesi için 5x5x5 cm 4x4x16 cm boyutlarında polimer beton numuneler üretilerek basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultra ses geçiş hızı, fourier dönüşümlü kızılötesi analizi, taramalı elektron mikroskobu analizi, su emme ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ağırlıkça karışım oranlarına göre basınç dayanımı ve eğilme dayanımı karşılaştırıldığında agrega oranı en az olan numune gruplarının basınç ve eğilme dayanımlarının en yüksek olduğu, agrega oranı en fazla olan numune gruplarının basınç ve eğilme dayanımlarının en az olduğu sonucuna varılmıştır.
- Basınç dayanımı ortalaması en yüksek olan numune grubu 118,78 Mpa ile 90 gün boyunca sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan PB10-S numunesinden elde edilmiştir. Sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımının yüksek çıkması FT-IR ve SEM analizleri incelendiğinde sodyum sülfat çözeltisinin polimer beton numunelerin içyapılarındaki bağlar ile reaksiyona girerek bağ yapısını kuvvetlendirdiği ve kür etkisi yaptığı sonucuna varılmıştır.
- Basınç dayanımı ortalaması en düşük olan numune grubu 45,92 Mpa ile herhangi bir çözeltiliye maruz bırakılmayan 28 gün boyunca kür havuzunda normal şartlarda kür edilen PB50 numune grubunda elde edilmiştir.
- Polimer beton numunelerin basınç dayanımı ortalamaları karşılaştırıldığında en yüksek basınç dayanımı sodyum sülfata maruz bırakılan numunelerde, daha sonra magnezyum sülfata maruz bırakılan numunelerde en düşük basınç dayanımı sonucu veren numuneler ise herhangi bir çözeltiliye maruz bırakılmayan normal şartlarda 28 gün boyunca kür edilen numune gruplarında görülmüştür. Elde edilen sonuçlar FT-IR ve SEM görüntülerini desteklemektedir.
- Yapılan çalışmalar ile polimer beton numunelerin ortalama eğilme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek eğilme dayanımına sahip numune grubu 28 gün

boyunca kür ortamında bekletilen 4x4x16 cm boyutlarında olan 9,96 Mpa ile %10 agrega içeren PB10 numune grubu olduğu görülmüştür.

- En düşük eğilme dayanımına sahip numune grubu ise 28 gün boyunca normal şartlarda kür edilen 4x4x16 cm boyutlarında olan 8,48 Mpa ile %50 agrega içeren PB50 numune grubu olduğu görülmüştür.
- Polimer beton numunelerin ortalama ultra ses geçiş hızları karşılaştırıldığında agrega oranı arttıkça ultra ses geçiş hızının azaldığı görülmüştür. En yüksek ultra ses geçiş hızı 2,262 km/sn ile PB10 numune grubu en düşük ultra ses geçiş hızı 2,239 km/sn ile PB50 numune grubu olduğu görülmüştür.
- Ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki karşılaştırıldığında ultra ses geçiş hızı azalırken basınç dayanımında da azalma olduğu görülmüştür. Ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı arasındaki determinasyon katsayısı $R^2=0,9329$ olduğu görülmüştür.
- Yapılan çalışmalar ile polimer beton numunelerde birim hacim ağırlık miktarı arttıkça su emme miktarında da artış olduğu görülmektedir. Agrega oranı %10 olan 28 gün boyunca normal şartlarda kür ortamında bekletilen PB10 numune grubunun birim hacim ağırlığı 1,209 gr/cm³ ve su emme miktarı %0,229 iken %50 agregaya sahip PB50 numunelerin birim hacim ağırlığı 1,251 gr/cm³ ve su emme miktarı %0,490 olduğu görülmüştür.
- 90 gün boyunca sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan polimer beton numuneler incelendiğinde, %10 agregaya sahip PB10-S numune grubunun birim hacim ağırlığı 1,215 gr/cm³ ve su emme miktarı %0,533 iken, %50 agregaya sahip PB50-S numune grubunun birim hacim ağırlığı 1,634 gr/cm³ ve su emme miktarının ise %1,276 olduğu görülmüştür.
- 90 gün boyunca magnezyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan polimer beton numuneler incelendiğinde, %10 agregaya sahip PB10-M numune grubunun birim hacim ağırlığı 1,216 gr/cm³ ve su emme miktarı %0,569 iken, %50 agregaya sahip PB50-M numune grubunun birim hacim ağırlığı 1,262 gr/cm³ ve su emme miktarının ise %1,123 olduğu görülmüştür.
- Son yüzyılda artan kentselleşme oranı ile beraber çevresel atık miktarında ciddi artışlar oluşmuştur. Polimer malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalara gereken önem ve hassasiyet verilmesi halinde oluşan atıkları polimer malzemelere entegre ederek çevresel koşullara uyumlu ve dayanıklı yeni malzeme üretebilmenin önü açılmış

olacak ve çevresel atıklar geri dönüştürülerek ekonomiye önemli ölçüde katkı sunması beklenmektedir.

- Yaptığımız çalışmada polimer malzemelerin basınç dayanımının ve çevresel koşullara olan uyumunun çok iyi olduğu görülmüştür. Dış ortama açık alanlarda polimer katkılı malzemelerin kullanılması yapılan imalatın işlevselliğini artırması beklenmektedir.
- Polimer malzemelerin şeffaf görünümlü olmalarından dolayı içlerine istenilen malzemelerin de entegre edilmesi ile günlük kullanılan süs eşyalarında, mobilya gruplarında, mutfak tezgahları ve benzeri alanlarda kullanımının yaygınlaşması ile ekonomimize katkı sunması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Abdel-Fattah, H. And El-Hawary, M. M. (1999). Flexural behavior of polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 13(5), 253–262.

Akın, M. H. (2017). Polimer Betonların Özelliklerinde Atık Lastik Kullanımının Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Akman, M. S. (1989). Betonda Dayanıklılık Özelliği ve Önemi. 1. Ulusal Beton Kongresi, 24-26 Mayıs, İstanbul, 53-66.

Akman, S. (1987). Yapı Malzemesi Bilimi İ.T.Ü. İstanbul.

Aktaş, Ö. U. (2014). Polimer Katkılı Çimento Esaslı Kaplama Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ateş, E. (1994). Epoksi Polimer Betonun Makine Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir.

Bağcı, M. (2010). Cam Elyaf takviyeli kompozit malzemelerin Erozyon Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Konya, s-178.

Bal, H. (1998). Bazı polimerlerin harç ve betonda kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Bayram, Y. (2015). Polimer Betonların Bazı Termomekanik Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

Bedi, R., Chandra, R., and Singh S. P. (2013). Mechanical properties of polymer concrete. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Composites*, 2013(1), 9-12.

Bekem, İ., Gültekin, B. A., ve Dikmen, B. Ç. (2009). Examination of Construction Products With in the Context of “Service Life” Caseduty of Reinforced Concrete. 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13- 15/05/2009, Karabük (CD-ROM).

Beşergil, B. (2008). Polimer Kimyası, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.

Bulut, H. A. (2016). Elektronik plastik atık içeren polimer betonların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Çökeliler, P. (2010). Polimer Kimyası, Başkent Üniversitesi, Ankara.

Gençel, O., Uygunoğlu, T., Köksal, F., ve Durgun, M. Y. (2015). Hafif Agregalı Polimer Betonların Özellikleri. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, 3(2), 42-50.

Gökçe, H.S., Şimşek, O., Durmuş, G., ve Demir, İ. (2010). Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi. Politeknik Dergisi, 13 (2), 159-163.

Gorninski, J. P., Dal Molin, D. C., and Kazmierczak, C. S. (2007). Comparative assessment of isophthalic and orthophthalic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability. Construction and Building Materials, 21 (3), 546-555.

Kaplan, A. N. (2021). Arega ve Reçine Tipinin Polimer Betonun Performansı Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Karagüler, E. M. (2003). Onarım Harçlarında Performans Kriterleri ve Durabilite Sorunu. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 41, 1779-1783.

Kim, Y. I. and Sung, C. Y. (2009). Physical and mechanical properties of concrete using recycled aggregate and industrial by-products. Journal of the Korea Society of Agricultural Engineers, 52(6), 125-134.

Kolak, M. N. ve Oltulu, M. (2021). Atık malzeme içeren polimer bazlı kompozitlerin ısı iletkenlik özelliklerinin incelenmesi. International Journal of Engineering Research and Development, 13(2), 310-320.

Ohama, Y. (1997). Recent Progress in Concrete-Polymer Composites. Advanced Cement Based Materials. 5(2), 31-40.

Özden, Ç. A. (2010). Polimer Betonların Donma - Çözülme Etkisine Dayanıklılığı. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, s-58.

Özel, C. (2007). Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Öztürk, M. (2013). Polimer ile Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Pişkin, E. (2010). Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Polat, H., Demirel, B., Kolak, M. N., ve Oltulu M. (2020). Polimer betonlarda barit minerali kullanımının araştırılması. Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 1(1), 25-32.

Polat, H., Üstün, İ., Şafak, A., ve Çakılcıoğlu, A. N. (2023). Atık tuğla tozunun katkı malzemesi olarak kullanımı: mekanik özelliklerin incelenmesi. *Recep Tayyip Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 4(2), 76-86.

Topsakal, A. (2013). Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Sağlıyan, S. (1999). Polimer Bağlayıcıli Prepakt Agregalı Betonların Mekanik ve Ekonomik Yönden İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Soykan, O. ve Özel, C. (2014). Polimer Betonlarda Kür Süresinin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklere Etkisi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 35 (2), 1300-1349.

Şimşek, B. ve Uygunoğlu, T. (2016). Multi-Response Optimization of Polymer Blended Concrete: A TOPSIS Based Taguchi Application. *Construction and Building Materials*, 117, 251-262.

Yeon, K. S., Choi, Y. S., Kim, K. K., and Yeon, J. H. (2017). Flexural Fatigue Life Analysis of Unsaturated Polyester-Methyl Methacrylate Polymer Concrete. *Construction and Building Materials*. 140, 336–343.

Zhao, C., Yi, Z., Wu, W., Zhu, Z., Peng, Y., and Liu, J. (2021). Experimental Study on the Mechanical Properties and Durability of High-Content Hybrid Fiber-Polymer Concrete. *Journal of Materials*, 14(21), 15-17.