

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

**BİTLİS AHLAT POMZASI İLE ÜRETİLEN HAFİF
BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**İnş. Müh. Cuma DEMİRTAŞ
(132139107)**

**Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Cevdet Emin EKİNCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

ELAZIĞ – 2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİTLİS AHLAT POMZASI İLE ÜRETİLEN HAFİF
BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Cuma DEMİRTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Ağustos 2019

Danışman : Dr.Öğr.Üyesi Cevdet Emin EKİNCİ (F.Ü.)

Üye : Prof.Dr. Kazım TÜRK (İ.Ü.)

Üye : Doç.Dr. Yüksel ESEN (F.Ü.)

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmaya baőlamamda ve çalıőmalarım esnasında bana her tŸrlŸ konuda yardımcı olan akademik danışman hocam Sayın Dr.Őgr.Ÿyesi Cevdet Emin EKİNCİ'ye teőekkŸrlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Aynı zamanda bu çalıőmamda desteğini esirgemeyen sevgili eőime teőekkŸr ederim.

Cuma DEMİRTAŞ
ELAZIğ-2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇ KAPAK	I
ONAY SAYFASI	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ	1
1.1 Beton	1
1.2. Pomza ve Hafif Beton	4
1.3. Genleştirilmiş-Genleştirilebilen Polisterin(EPS)	9
1.4. Lifli Beton	10
1.5. Betonda Yüksek Sıcaklık	13
1.6. Hafif Agregalı Betonda Basınç Dayanımı	15
1.7. Betonda Su Geçirimsizlik Süreci	17
2. MATERYAL VE METOT	20
2.1. Materyal	20
2.1.1. Pomza Agregası	20
2.1.2. Agrega	20
2.1.3. Çimento	21
2.1.4. Genleştirilmiş-Genleştirilebilir Polisterin (EPS).....	21
2.1.5. Karma Suyu	22
2.1.6. Lif	22

2.2. Beton Karışımı	23
2.3. Basınç Dayanımı Deneyi	26
2.4. İki Noktadan Yüklemeli Eğilme Deneyi	27
2.5. Betonların Sıcaklık İle İlgili Fiziksel Özellikleri	27
2.6. Su Emme Deneyi	28
2.7. Yüksek Sıcaklık Sonrası Su Emdirilme Deneyi	28
3. BULGULAR VE YORUMLANMASI	30
3.1. Basınç Dayanım Deneyi Bulguları	30
3.2. İki Noktadan Yüklemeli Eğilme Dayanımı	31
3.3. Betonların Sıcaklık İle İlgili Fiziksel Özelliklerinin Tayini	34
3.4. Su Emme Yüzdesi Tayini	35
3.5. Yüksek Sıcaklık Sonrası Su Emdirilme İle İlgili Bulgular	37
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	44

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kullanılan pomza örneği	20
Şekil 2.2. Kullanılan agrega örneği	20
Şekil 2.3. Kullanılan EPS örneği	22
Şekil 2.4. Kullanılan polipropilen lif	23
Şekil 2.5.1. Pomza ve agrega karışımları	24
Şekil 2.5.2. Pomza, agrega ve EPS karışımları	24
Şekil 2.5.3. Pomza, agrega, EPS ve lif karışımları	24
Şekil 2.5.4. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi	25
Şekil 2.5.5. Kalıptan çıkarılan beton numunelerinin kür havuzunda bekletilmesi	26
Şekil 2.6. İki noktadan yüklemeli eğilme deneyi	27
Şekil 2.7. Yüksek sıcaklık sonrası numunelere su emdirilme	29
Şekil 3.1. Betonların 28 günlük ortalama basınç dayanımı	31
Şekil 3.2. İki noktadan yüklemeli eğilme deneyi	32
Şekil 3.3. İki noktadan yüklemeli eğilme dayanımı	33
Şekil 3.4. Betonların sıcaklık ile ilgili yüzde değişimi	35
Şekil 3.5. Betonların su emmeyle ilgili yüzde değişimi	36
Şekil 3.6. Betonların 300°C sıcaklık sonrası su emme ile ilgili fiziksel özellikleri	38

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri	21
Tablo 2.2. EPS'nin temel özellikleri	21
Tablo 2.3. Polipropilen liflerin teknik özellikleri	22
Tablo 2.4. Beton karışım oranları	25
Tablo 3.1. Betonların 28 günlük basınç dayanım sonuçları	30
Tablo 3.2. İki noktadan yüklemeli eğilme dayanımı sonuçları	32
Tablo 3.3. Betonların sıcaklık ile ilgili fiziksel özellikleri	33
Tablo 3.4. Betonların su emme ile ilgili fiziksel özellikleri	35
Tablo 3.5. Betonların 300°C sıcaklık sonrası su emme ile ilgili fiziksel özellikleri	36

BİTLİS AHLAT POMZASI İLE ÜRETİLEN HAFİF BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, pomza ile üretilen hafif betonların bazı mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Pomza malzemesi Bitlis Ahlat yöresinden temin edilmiştir. Çalışma kapsamında 11 farklı karışimli betonlar üretilmiştir. Bunlar birinci grupta kontrol betonu (%100 kırma taşla), ikinci grup kontrol betonu pomzalı beton (%100 pomza), üçüncü grup kırma taş + pomzalı beton (%50P%50A, %60P%40A, %70P%30A), dördüncü grup kırma taş + pomza + EPS'li beton (%50P%40A%10E, %60P%30A%10E, %70P%20A%10E) ve beşinci grupta kırma taş + pomza +EPS + lifli betonlardır. EPS'li betonların hazırlanmasında hacim sabit, ağırlık değişken esas alınmıştır. Lif miktarı ise çimento ağırlığının %0.125 oranında kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, EPS ve lif katkıli betonlarda basınç dayanımında düşüş olurken, eğilme dayanımında artış, su emme miktarında azalış, yüksek sıcaklık altında da ağırlık azalması olmaktadır. Sonuç olarak, basınç dayanımı, iki noktadan yüklemeli eğilme davranışı ve yüksek sıcaklık karşısındaki mekanik ve fiziksel davranışlarda en kararlı sonuçlar %50 pomza katkıli betonlardan elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, Pomza katkıli beton, EPS katkıli beton, Lif katkıli beton, Betonlarda basınç dayanımı gelişimi, İki noktadan yüklemeli eğilme dayanımı.

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF LIGHT CONCRETES PRODUCED BİTLİS AHLAT PUMICE

SUMMARY

In this study, some mechanical properties of lightweight concrete produced by pumice were investigated experimentally. Pumice material was obtained from Bitlis Ahlat region. In this study, 11 different concretes were produced. These are in the first group, control concrete (100% crushed stone), second group control concrete, pumice concrete (100% pumice), third group crushed stone + pumice concrete (50%P50%CS, 60%P40%CS, 70%P30%CS), fourth group crushed stone + pumice + EPS concrete (50%P40%CS10%E, 60%P40%CS10%E, 70%P20%A10%E) and in the fifth group crushed stone + pumice + EPS + fibrous concrete. In the preparation of EPS concretes, the volume is fixed and the weight is variable. Fiber amount was used as 0,125% of cement weight. According to the test results, while compressive strength decreases in EPS and fiber doped concrete, increase in bending strength, decrease in water absorption amount and weight decrease under high temperature are observed. As a result, the most stable results in mechanical and physical behavior against compressive strength, two point loading bending behavior and high temperature were obtained from 50% pumice added concrete.

Keywords: Lightweight concrete, Pumice added concrete, EPS added concrete, Fiber added concrete, Compressive strength development in concrete, Two point loading bending strength



1. GİRİŞ

1.1. Beton

Günümüz inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi betondur. Beton kolay üretilmesi ve maliyetinin az olması nedeni ile barajlar, yollar, kent mobilyaları, su depoları, santraller, istinat duvarları, hava alanları, köprüler, binalar gibi birçok yapıda yaygın olarak kullanıldığını göre bilmekteyiz. Önceleri sadece su, çimento ve agregadan meydana gelen “iyi” betona bir takım kimyasal ve mineral katkıları eklenerek bileşenlerinde istenilen bazı hususlar kazandırılmakta ve iyileştirilmektedir.

Beton; agrega, su, çimento ve gerekli görüldüğünde farklı tür bağlayıcı katkı maddesi eklenerek oluşturulan, karışım oranları belirli ölçülere ve standartlara uygun ayarlanmış bir karışımı, istenen ebatlarda kalıplar içine homojen ve sıkıştırılarak konularak gerekli bakım koşulları dikkate alınarak sertleştirilmesi sağlanarak elde edilen karma bir malzemedir [1,29]. Betonun kullanım amacı ne olursa olsun üretilen betonun sahip olması gereken üç özelliğe sahip olması gerekir. Bunlar;

- Dayanımlı olmalı,
- İşlenebilir olmalı,
- Dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır.

Dayanım, betonun diğer tüm özelliklerini etkileyen bir etkidir. Dayanımı yüksek bir beton aynı zamanda geçirimsiz, durabilitesi yüksek ve minimum poroziteye sahiptir. Bu koşulları sağlayabilmek için betonu oluşturan malzemelerin birbirine bağlanarak dolu bir beton oluşturmaları gerekmektedir [1].

Betonun çeşitli yapılarda başlıca kullanılma nedeni sertleştikten sonraki basınç dayanımıdır. Çok katlı yapıların yapılmasından dolayı beton dayanımının artırılması düşünülmüş ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Betonun sıkılaştırmanın yerleştirme sırasında betonun dayanımı artırdığını kanıtlamış ve böylece yapılarda kullanılan betonların dayanımı artırılabilmiştir. Özellikle süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanılmasıyla yoğun malzemeli beton malzemesinin akışkanlık problemi giderilmiş ve daha yüksek dayanımlı betonlar elde edilmiştir. Yüksek dayanımlı beton elde edilerek basınç mukavemetleri 200 ile 800 MPa aralığında değişmekte olup çekme dayanımları ise 25 ile 150 MPa aralığında değerler alan yüksek performanslı betonlar elde edilmiştir. Çağdaş (modern) inşaat mühendisliği alanında yüksek dayanımlı betonlar sınıflandırırken yalnızca basınç mukavemetine bakmak yeterli değildir. Bu sınıflandırmada dayanım ile birlikte gerekli dayanıklılığa (durabiliteye) sahip olması için bazı kriterlere sahip olup bu kriterleri sağlamalıdır. Çünkü betonun basınç

dayanımı yüksek olmasına rağmen çok düşük bir çekme mukavemetine ve orta seviyede bir kesme dayanımına sahiptir. Betonun kesme dayanımı, basınç dayanımının %35-%80'ni arasında, çekme dayanımı ise basınç dayanımının %10'u civarındadır. Kırılgan (gevrek) bir malzeme olan betonun süneklilik özelliği çok zayıftır. Farklı bir takım koşullar nedeni ile büzülme ve sünme meydana gelmektedir [2, 29].

Çekme dayanımı mukavemeti az olan betonlara bakıldığında dinamik yüklerin oluşan çatlaklara ve mevcut çatlakların da artmasına sebep olur. Meydana gelen bu çatlaklar tekrar eden yükler nedeni ile çatlakların büyümesine neden olarak ani kırılmalar görülebilir. Betonların süneklilik özelliğindeki zayıflıkları iyileştirmek amacıyla uygulamalarda çelik donatılar veya lifler kullanarak bu dayanım artırılabilir. Fakat çelik donatılar mikro çatlaklara müdahale edemez ve makro çatlaklarda etkili olurlar. Uygulanan bu yöntem betonun çatlama mukavemetini ve tokluk özelliklerini arttırmak için kullanılan en iyi yöntemin lifler olduğunu göstermektedir [2].

Dünyada uzun yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmakta olan betonun birim hacim ağırlığının yüksek olması sebebi ile yapıların ölü yük ağırlıkları artmaktadır. Taşıtılabilecek olan yüklerle zati-ölü yük karşılaştırıldığında bu değerlerin bir birine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, deprem ve temel yüklerini arttırmakta ve yapı maliyetini arttıracak çözümlere varılmak zorunda kalınmaktadır. Normal betonda bu dezavantajı belli bir mukavemeti sağlamak şartıyla, birim hacim ağırlığının azaltılmasını gerektirmektedir. İşte bu nedenle üretilmiş beton türlerinden biri de hafif betonlardır [3].

Hafif betonlarla imal edilmiş yapıların zati ağırlığında önemli derecede azalmalar sağlanmaktadır. Bu durum, yapı elemanlarındaki kesit boyutlarının küçülmesine, temel problemlerinin çözümünün kolaylaşmasına ve dolayısıyla yapı maliyetlerinin daha ekonomik hale kazanmasında etkili olmaktadır. Fakat hafif betonların bazı sakıncalı tarafları da bulunmaktadır. Basınç mukavemetinin normal betona göre daha düşük olması, imalatında ve yerleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşılması bunlardan bazılarıdır [3].

Beton malzemesinin dayanıklılığının yanı sıra mekanik özellikleri farklı türde katkı malzemeleri eklenerek iyileştirilmeye uğraşmaktadır. Günümüzde katkı malzemesi olarak kimyasal maddelerle birlikte farklı boyutlarda çelik liflerin kullanımı da görülmektedir. Son zamanlarda çelik lif karıştırılmış betonlar karayollarında, tünel kaplamalarında, beton borularda ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olumlu katkıları ve enerji yutma kapasitesinin artması sebebiyle geniş bir kullanım piyasası bulmaktadır [3].

Hafif betonların alışla gelmiş betonlara oranla daha düşük ağırlıkları sebebiyle yapılarda kullanılan donatı miktarlarında artışa neden olup, kolon ve temel gibi taşıyıcı elemanların boyutlarının azaltılabilmesi, dış parametrelere karşı daha iyi mukavemet

göstermesi ve daha fazla ısı yalıtım özelliğini sağlaması gibi üstünlükleri bulunmaktadır. Hafif betonların dezavantajları ise mukavemetinin yaygın olarak kullanılan betonlara göre daha düşük olması, rötre ve permeabilitenin yanın da su emme oranının fazla olması şeklinde sıralana bilir [4].

Alışıla gelmiş agregalarla üretilen betonların taşıyıcı karakteristiğinin fazla olmasına karşın, birim kütle ağırlıklarının fazla olması, özellikle temel maliyetini artırmaktadır. Pratik hayatta geçilmesi gerekli normalden daha fazla açıklıklarda, betonla yapılan eğilme elamanları kısmen kendi ağırlıklarını taşıyamaz duruma gelmektedir. Bunun yanında alışıla gelmiş betonların ısı iletkenlik değerinin büyük oluşundan dolayı bu betonla inşa edilen yapıların ısıtılmalarında kullanılan yakıt giderlerini önemli derecede arttırdığını da bilinmektedir. Bunun gibi birçok neden ile inşaatların yapımında geleneksel, alışıla gelmiş betonlar yerine hafif betonların kullanımı önerilmektedir [4, 31].

Teknolojinin gelişmesiyle beraber beton sektöründe de gelişmeler yaşanmış olup beton üretimindeki bu kazanımlar beton sektörüne “özel betonlar” ismi ile yer almıştır. Özel betonlar, kullanım alanlarına göre çeşitli ihtiyaç ve beklentileri gidermek amacıyla üretilen betonlardır. Ağır beton, taşıyıcı hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton, ısı yalıtım özellikli beton, özel betonun farklı özelliklerden bazılarıdır. Geleneksel betona kazandırılan farklı nitelikteki betonun bileşenlerinin yanında farklı özellikteki yapı malzemelerini karışıma eklemekle elde edilmektedir[1].

Özel beton türlerinden bir diğeri de hafif betonlardır. Hafif betonlar; kütlesi az, yalıtım özelliği fazla, mukavemeti yeterli ve yanma ısısı yüksek bir madde olan betonlardır. Hafif beton gelişen ve büyüyen inşaat sektöründe geleceğin mimarları açısından büyük önem taşıyacak olan bir malzemedir. Alışıla gelmiş betondan farkı, hafif olmasının yanında ısı yalıtımı sağlayan boşluklarının olmasıdır. Bu boşluklar, boşluklu agregalar kullanılarak veya boşluklu bir içyapı oluşturmakla ya da ince harç içinde gaz kabarcıkları oluşturularak elde edilmektedir [1].

Doğada ve Türkiye’ de kolaylıkla bulunabilen pomza, perlit gibi hafif agregalar, yüksek boşluk miktarı, düşük ağırlığı, homojen yapısı, genleşmeye uygun olması nedeniyle inşaat sektöründe daha fazla tercih edilmeye başlamışlardır. Günümüzde bölgesel nüfus yoğunluklarının hızla artması ve mevcut kaynakların sınırlı olmasına nedeniyle, beton teknolojisinin temel amaçları dışında üretilen betonlara enerji tasarrufuna yönelik görevlerde yüklenmek istenmiştir. Bu nedenle beton üretiminde ısı yalıtımı ve buna bağlı olarak ısı yalıtım amaçlı hafif beton önem kazanmıştır. Kimyasal ve fiziksel yapısı uygun olan hafif agregalar yapı malzemesi üretiminde; özellikle harç, hafif beton, hafif sıva vs. yapımında kullanılır olmuştur. Böylece beton teknolojisi, temel amaçları dışında enerji verimliliği sağlaması açısından da önemli bir görev üstlenmiştir [1].

1.2. Pomza ve Hafif Beton

Pomza, volkanik kökenli bir kayaç olup boşluklu ve süngerimsi bir yapıya sahiptir. Türkiye’de, değeri yeni anlaşılan ve son 20 yılda endüstride kullanılmaya başlayan madenlerdendir. İtalyanca bir sözcük olan “pomza” (ponza) terimi, farklı dillerde değişik şekillerde (ponce, pumice, pumicite, bims, bimstein gibi) isimlendirilmektedir [5].

Pomza, volkanik aktivite patlaması sonucu oluşmuş, boşluklu yapısıyla, volkanik kökenli bir alüminyum silikattir. Boşluklu yapısı hafif ve izolasyon özelliklerinden ötürü pomza, yapıda yaygın kullanılan bir malzemedir. Türkiye’de “süngertaşı, köpüktaşı, nasırtaşı, hışırtaşı, küvek, şeklinde adlandırılan pomzaya özellikle Kayseri, Nevşehir, Niğde, Van ve Bitlis şehirlerde görülmektedir. Oluşumu sırasında bünyesindeki gazların serbest kalması ve ani soğumasıyla birlikte makro ölçekten mikro ölçeğe varınca ya kadar oldukça fazla gözenek oluşur. Gözeneklerinin arası genellikle bağlantı olmayıp boşluklardan oluştuğundan, permeabilitesi düşük, ses ve ısı yalıtımı ise oldukça yüksektir. Pomza, yapısı ve oluşumu gereği kendisine özgü bazı özellikleri olan Benzer volkanik camsı kayaçlardan ayrılır. Türkiye’de pomza, hafif beton üretimi için en geniş kullanımı olan agregadır ve tahminlere göre 3 milyon m³ kadar bir rezervi vardır. Düşük yoğunlukta olup orta düzeyli taşıma kapasiteli zeminde yapıya izin vermesi, daha az donatıya ihtiyaç duyması, daha yüksek binalar inşa edilebilmesi düşük maliyetli ve yüksek termal yalıtımlı hafif betonun avantajlarıdır [5, 30].

Pomza agregalı betonlar da sıcaklığa bağlı genleşme katsayısına bakıldığında normal betona oranla %25 daha düşüktür. Bu nedenle de hafif pomza agregalı betonlar sıcaklığa karşı dayanımı daha fazladır. Bu özelliği nedeni ile önemli ölçüde farklı sıcaklıklara maruz kalarak hiperstatik yapılarda kullanılan betonların hafif beton kullanılması daha yararlı olacağı görülmektedir. Isı iletkenliğinin bağlı olduğu parametrelere bakıldığında, birim hacim ağırlığa ve su muhtevasına göre değişiyor olmakla birlikte, bu iletkenlik normal beton iletkenliğinden daha düşük olarak değerlerdedir [5, 30].

Pomza, alışıla gelmiş beton agregalarına oranla daha çok şekil değiştirmeye meyilli olduğu için, büzülmenin etkisiyle çatlakların oluşma olasılığı normal betona oranla oldukça azdır. Pomza agregalı hafif betonların hafif ve boşluklu olması nedeni ile sünme-şekil değiştirme durumu alışıla gelmiş betona oranla yaklaşık olarak %40 daha büyüktür. Yangına karşı dayanımlara bakıldığında pomza agregalı betonların dayanımlarının normal betona oranla daha yüksek olmasının nedeni ısı iletkenlikleri ve genleşme katsayılarının küçük olmasıdır. Pomzanın suya doygun olmayan çok sayıda gözeneginin bulunması zarar görmeden buzlanma genleşmesine olanak sağlamaktadır. Bu da pomzalı betonların önemli oranlarda su hapsetmesine rağmen donmaya karşı dayanımını arttırmaktadır [5, 30].

Donatı-beton kenetlenmesi açısından ise, dayanım açısından CBE, düşey konumda kullanılan donatı çubukları normal betondaki bindirme boyunu, yatay durumdaki donatı çubuklarının aderansını arttırmak için geliştirilmiş donatılarla, bindirme boyunun 1,5 katını kullanmayı önermiştir. Aderansta gözlenen bu azalma, beton dökümün esnasında oluşacak boşluk ihtimalinin normal betona oluşacak boşluk miktarından daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Pomza agregalı betonun korozyona karşı dayanımı en az normal betonunki kadardır. Dinamik etkilere maruz kaldığındaki davranışı ele alındığında, pomza agregalı hafif betonların normal betonlulara göre dalga yayılma hızı yaklaşık olarak %25 daha küçüktür. Titreşimleri normal betona göre daha az ilettiliği ve şok etkilerini daha iyi yuttuğu görülür [5,30].

Hafif agregası; su, çimento ve gerekli olması durumunda katkı malzemeleri eklenerek karıştırılan hafif beton elde etmede kullanılan, serbest birim ağırlığının max değeri 1200 kg/m³'ü geçmeyen, kırılmış ya da kırılmamış boşluklu inorganik agregadır. Hafif agregalar kökenlerine göre farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bunların en önemli özelliğini yüksek boşluk oranları nedeniyle düşük hacim yoğunlukları oluşturur. Hafif agregalar sun'ni ve tabii olmak üzere başlıca iki gruba ayrılırlar [6].

Dünyada betonun yapı malzemesi olarak kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte betonun daha ucuz, daha hafif ve daha iyi yalıtım özelliğine sahip olarak üretilmesine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Hafif beton uygulama kolaylığı sağlaması nedeni ile son yıllarda önemli bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Birim ağırlığının azlığından dolayı, iyi derecede ısı yalıtımı özelliğine sahiptir. Bununla beraber hafif agreganın kullanımı 2000 yıl kadar öncelere dayanmaktadır. Etkin deprem kuşağında bulunan ülkemizde, betonarme inşaat alanında hafif beton kullanımını arttırmak depremin meydana getirebileceği zararları önemli ölçüde azaltacaktır. Ülkemiz hafif agregası kaynakları yönünden zengindir. Ancak ekonomik açıdan, ilk uygulamalarda hafif agregası olarak pomzanın kullanılması daha uygun olabilir. Almanya'da hafif inşaat malzemesi tüketiminde ilk sırayı pomza almaktadır [6].

Pomza, volkanik oluşum sırasında ani olarak soğuması sonucu gazların bulunduğu yerden ani olarak bünyeyi terk etmesinde dolayı oluşan oldukça gözenekli bir yapı kazanan volkanik kökenli bir kayadır. Diğer kayalara göre pomzalar gözenekli yapılarından dolayı düşük yoğunluk ve yüksek poroziteye sahiptirler. Gözenekleri birbirleriyle bağlantısız olduğu için pomzaların ısı ve ses iletkenliği oldukça düşüktür. Sahip olduğu gözeneklerin büyüklüğü gözle görülebilecek büyüklükten, çok küçük mikroskobik boyutlara varıncaya kadar çok sayıda gözenekten oluşmaktadır. Bu gözeneklerin her biri arasında camsı bir zar bulunmakta olup yalıtım bununla sağlanmaktadır. 1343°C ortalama erime noktası sahip olup 760°C'nin altındakisıcaklıkta herhangi bir hacim değişikliği olmamaktadır. Bu sıcaklık etkisinde pomzanın dış yüzeyindeki lifler buruşarak çekilir. Kimyasal bileşenleri arasında

bulunan SiO_2 , pomza taşının asidik veya bazik karakteristik özellik gösterdiğini sembolize etmektedir. Kayaç, içerisindeki SiO_2 oranı kayaca asidik özellik kazandırmasının yanında abrasif özellikte kazandırmaktadır. Aynı zamanda, kayaç bünyesindeki SiO_2 oranı yükseldikçe, kayacın asidiklik özelliği de yükselmekte ve kayacın agrega mukavemeti daha fazla olmaktadır. Ayrıca kayacın kimyasal bileşiminde bulunan Al_2O_3 miktarının fazla olması ateşe ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliği kazandırır. Bu bağlamda inşaat sektöründe kullanılan pomza taşının karakteristiğine bakıldığında asidik karakterde olması Fe_2O_3 oranının düşük, Al_2O_3 oranının ise yüksek olması tercih edilmektedir [7, 30].

Pomza genellikle doğal, düşük yoğunluklu agregalar içerisinde en çok kullanılanıdır. Yoğunlukları $480-880 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Pomza agregalarda, özgül kütle kuru kütle hacmine oranı (gözenek hacmi hariç) olarak değerlendirilen bir fiziksel özellik olup, pomza taşı oluşumlarında özgül ağırlık genellikle 2.1 gr/cm^3 'ün üzerindedir. Agregada hacim kütlesi, pomza agregada kuru kütle hacmine oranı olarak nitelendirilen bir büyüklük olup, yatağa ve tane iriliğine göre değişim gösterir. Pomza agregasının tane iriliği arttıkça, hacim kütle değeri düşmektedir. Diğer taraftan, tane boyutu arttıkça agregadaki gözenek oranı da artmaktadır. Pomza oluşumlarında genellikle görülen bir olgu, pomza taşının gözenek oranı pomzanın volkan bacasından uzaklaşmasıyla orantılı olarak artar. Pomzanın Gözenek oranının yüksek olması ve bundan dolayı düşük düşük birim hacim kütle değerine sahip olması, pomza taşının yalıtım amaçlı dökme malzemesi olarak kullanılmasını da sağlamıştır [7].

Binaların ölü (zati) yükünün azaltılması için inşaat sektöründe hafif malzeme kullanım gerekçesi ve önemi gün geçtikçe artmakta olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, binaların inşasında hafif malzemelerin kullanılması binaların zati ağırlıklarının düşük bir seviyede olmasına önemli derecede etki etmektedir. Binaların dayanıklılığı açısından, zati ağırlığının mühendislik statik değerleri korumak şartıyla azaltılmaya çalışılması, binanın titreşimlere ve yaşana bilecek şok darbelere karşı daha duyarlı ve kararlı (stabil) olmasını sağlamaktadır [5, 23].

Pomza, volkanik olaylar neticesinde kimyasal ve fiziksel etkenlere karşı mukavemetli, süngerimsi, gözenekli, camsı volkanik bir kayadır. Diğer bir ifadeyle, pomza çok gözenekli volkanik taş camıdır. Oluşum esnasında yapısındaki gazların, bir anda bünyeyi ayrılması ve ani soğuma sebebi ile büyük ölçekten küçük ölçeğe geçişi sırasında gözenekler oluşmuştur. Gözenekleri arasında genelde (küçük gözenekler) serbest boşluklar bulunduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı fazladır. Pomzanın ince taneli olanlarına pumisit denilmektedir. Pumisit çimento karışımında tras malzemesi olarak kullanılır. Büyük taneli olanlarına pumis adı verilmekte ve briket imalatın da kullanılmaktadır [8, 24].

Pomza (ponza) terimi İtalyan'ca bir sözcüktür. Farklı dillerde değişik adlandırmaları vardır. Akıcı levhaların püskürmesi esnasında içeriğindeki gazların aniden soğuması ve pomzayı terk etmesi sonucunda geride kalan boşluklu cam kayadır. Özgül ağırlığı 1 gr/cm^3 olup suda yüzebilir. Kristal suyu olmayıp volkanik camlarda %5 kristal su bulundurur. Bu camlarda $80-90^\circ\text{C}$ 'den sonra bulunan sular buharlaşır. Birbiri ile teması olmayan boşluklar bulundurur. Mikroskop ile incelendiğinde camsı özellikte olduğu görülmektedir. Ancak pomza volkanik cam değildir. Aşırı sıcaklıkta meydana gelen bir kayadır. Fazla sıcaklık esnasında içeriğindeki bazı elementler gaz fazına dönüşür. Birbirinden bağımsız mikro boşluklardan oluşur. Fazla hafif oldukları için volkanlar çevresinde "kubbe" biçiminde yığınlar oluştururlar. Rüzgarın ve suyun etkisinden dolayı 50 km ile 100 km'ye kadar uzağa taşınabilirler. Pomzanın en ayırt edici özellik olarak gözenekli ve camsı bir yapıya sahip olmasıdır. Özgül ağırlığı 0.5 ile 1 gr/cm^3 arasında olup sertliği 5-6 değerindedir. Hafif olması sebebi ile beton briket ve blokların yapımında, boşluklu yapısı sebebiyle ses ve ısı yalıtımı açısından inşaatların yapımında uygun bir malzeme olarak tercih edilmektedir [8, 30].

Pomza yatakları ülkemizde geniş alanlara yayılmış olup başlıca Orta, Doğu ve Batı Anadolu olmak üzere geniş bir alana yayılmıştır. Pomzanın asidik ve bazik olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olan ve en çok kullanılan türü beyaz ve kirli renkte olan asidik pomzadır. Bazik pomza ise Türkçede bazaltik pomza olarak adlandırılan (scoria) siyah ve kahverengimsi renkte olan pomza türüdür. Asidik magmanın yoğunluk oranı bazik olanlara oranla daha azdır. Asidik magmanın yoğunluğu $0.5-1 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Bazik pomzanın yoğunluğu ise $1-2 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Yoğunluğu 600 ile 1500 kg/m^3 , su hapsedme oranı %20-30 arasında olup, su nüfuz katsayısı 25, ses yutma özelliği 0.44, ısı iletim katsayısı $0.16 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ 'dir [8, 24].

Türkiye'de bulunan belli pomza yerleri sırası ile Nevşehir, Kayseri, Bitlis ve Isparta illerinde olup aşağı yukarı 3 milyar m^3 rezerve sahiptir. Pomza, asidik ve bazik pomza olarak iki türde bulunmakta, Ülkemizde bulunan yaygın türü asidik pomzadır. Homojen şekilde dağılmış, genelde birbiri ile bağlantısı olmayan makro ve mikro boyuttaki boşluklara sahiptir. Bu boşlukların hacimsel olarak oranı yaklaşık olarak %70'leri bulabilmektedir. Bu da pomzanın çok hafif olmasını (birim hacim kütlesi $350-650 \text{ kg/m}^3$) sağlamaktadır. Günümüzde modern yapı sektöründe kullanılan malzemelerde ısı ve ses yalıtımı aranan temel özelliklerin başında yer alır. Bilimsel çalışmalar yapılarak pomzanın inşaat sektöründe hafif beton yapımında ve blok elamanı imalatında kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bina yapımında, ısı yalıtımı, ses yalıtımı yapımında EPS köpüğü gibi doğal ürünlerin kullanımı ile alakalı araştırmalar yapıldığı görülmüştür [9].

İnşaat sektöründe hafif agrega, kullanım alanı çok geniş olduğu için önemli bir yere sahiptir. Bu alanda yaşanan gelişmeler teknik ve ekonomik alanlardaki gelişmelerle paralel olarak artmıştır. Hafif beton ve blokların yoğunluğu 700 ile 2000 kg/m³ aralığında değer almaktadır. Betonun yoğunluğunun azaltılmasıyla yapım malzemesinin zati ağırlığı azaltıp boyutları küçültülebilir. Böyle durumlarda kendi yükleri azaltılıp bunun yanında ısıyı ileten katsayı küçültülerek sesin yutma özelliği artırılabilir. Isı yalıtma açısından normal agregalı beton ve blokların hafif agregalı beton ve blokları günümüz enerji sorunu nedeniyle, daire inşasında kullanımı giderek önem kazanmıştır [9, 31, 32].

Hafif agrega kullanılarak üretilen beton bloklarda ısı yalıtımı, az yoğunluğa sahip olması, yangına karşı dayanımının yüksek olması ve deformasyona bağlı özellikleri önemli avantajlardır. Günümüzde gelişen ülkelerde hafif betonlu inşaatlarda ölü yükü azaltma tekniği kullanılırken ısı yalıtım amaçları ile kullanılan hafif beton ve blokların imalatına çaba gösterilmektedir [9, 32].

Hafif beton ve geleneksel beton bir birinden farklı özelliklere sahip beton türleridir. Hafif beton içeriğinde %75 civarında hava kabarcıkları bulunan, 400-1600 kg/m³ birim ağırlığında ve 1 ile 15 MPa aralığındaki basınç dayanımına sahip bir harç karışımından elde edilmiş beton denilebilir. Hafif beton normal betona oranla daha az yoğunluğa ve birim ağırlığına sahiptir. Hafif beton çeşitli alanlar da farklı şekillerde kullanılabilir.

Örnek olarak;

- Çatı yalıtım ve ara kat ısı yalıtım malzemesi,
- İç ve dış mekanlar da taşıyıcı olmayan duvar malzemesi,
- Ara katların şaplarında veya yüzey yükseltme işlemleri,
- Tutuşmayı ve yangını önleyici engeller ve boşlukların oluşturulması,
- Tesisat kanallarının yanı sıra geleneksel binaların tavan sıva malzemesi,
- Çelik inşaat aksamının etrafına kalıp yardımı ile dökülerek yangın koruyucu tabaka oluşturulması,
- Zemin stabilizasyonu ve dolgu malzemesi,
- Kanalizasyon,
- Yer altı boruları, kanal ve tünellerin doldurulması; yüzme havuzu, su depoları, maden ocakları gibi tekrar kazanılması gereken yüzeylerin doldurulmasında dolgu malzemesi,
- Arazi işlemleri,
- Dekoratif panellerin üretilmesi ile çok amaçlı yapı dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği gösterilebilir [10].

Hafif betonun antik roman çağından beri yaygın olarak başarılı bir şekilde kullanıldığı ve günümüzde ise yoğunluğu az olan, yüksek dayanabilite ve süper bir ısı yalıtımına sahip

olduğundan dolayı popülerleştiği görülmektedir. Kompleks yapıların yapımının artmasıyla büyük ölçekli ve geniş açıklıklı inşaatlarda dayanımı fazla, hafif, enerji yutma kapasitesine sahip betonlara ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla yapının zati yükünde ciddi anlamda bir düşüş sağladığı için yapıyı etkileyecek deprem yüklerinde önemli oranda bir düşüş sağladığı, binanın fazla deformasyon yapmadığı, yapının son derece iyi bir deprem davranışı sergilemesine neden olur. Bu belirtilen sebeplerden dolayı son zamanlarda yüksek dayanımlı hafif betonlar üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalardan çok iyi sonuçlar alınmasına rağmen, bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Çünkü normal agregaların tersine, farklı hafif agregalar çok farklı davranışlar sergilemektedir [11, 31].

Yüksek dayanımlı hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen faktörlerden en önemlisi, hafif agregaların su emme kapasiteleridir. Agregalar, düşük birim hacim ağırlığı ve istenilen mukavemeti sağlayacak özelliklerde olsa da, su emme özellikleri direkt betonun çökme ve işlenebilirliğini etkilediği için, bu özelliği betonun karıştırılması, taşınması ve yerleştirilmesi için yeterli zamanı sağlamalıdır. Bunu sağlamadığı zaman, sadece laboratuvar ortamında üretilebilen ve sektörde kullanılmayan bir beton elde edilir. Bu durumda agreganın beton üretiminde tamamen kuru, tamamen suya doygun veya belirli bir nem oranında kullanılmalı sorusu ortaya çıkmaktadır [11].

1.3. Genleştirilmiş-Genleştirilebilen Polisterin (EPS)

EPS (Expanded/Expandable PolyStyrene), genleştirilmiş veya genleştirilebilen polistren ülkemiz serbest piyasada styropor (stiropor) adıyla anılmaktadır. Styropor, bir Alman firmasının tescilli markasıdır. Fakat ülkemizde bu adla kullanılması yaygın olduğundan belirtilen adla anılmıştır [12].

Stiropor, petrolden elde edilen bir hidrokarbon olup %98'i havadan oluşan termoplastik esaslı bir yalıtım malzemesidir. Styrene monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Bu polimerizasyonda katalizör olarak peroksit, şişirme maddesi olarak da pentan kullanılır. Bünyesinde bulunan çok sayıda küçük gözenekli hücrelerde durgun hava hapsolmüştür. Bir m³ stiropor yaklaşık olarak 3-6 Milyar küçük gözenekli hücre içerir. Bu gözenekli yapı, ısı ve ses yalıtımı sağlar. Büyük bir kısmı havadan oluştuğu için de çok hafif bir malzemedir. İşlenmesi ve taşınması kolaydır [12].

1950'li yıllarda Almanya'da bulunan stiropor, hızla tüm dünyada kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yılların başından itibaren ülkemizde de üretilmektedir. 1960-1986 yılları arasında stiroporun ülkemizde yıllık ortalama tüketimi 1000 ton civarında iken, günümüzde bu miktar yaklaşık 10000 tondur [12].

1.4. Lifli Beton

Betonu oluşturan ana bileşen malzemeleriyle üretilen kompozit malzeme olan betonun, içine karışım sırasında farklı algoritmalar ile değişik miktarlarda liflerin eklenmesiyle oluşturulan malzemeye lifli beton adı verilmektedir [11].

Lifli betona bakıldığında geleneksel betona benziyor gibi görünse de farklı basınç etkisine karşı gözlenen şekil değişiklikleri ve mukavemet bakımından normal betondan daha farklı özellik gösterir. Lifleri beton içerisine her ne kadar gelişi güzel dağılmışsa da, lifli beton herhangi bir yük altında homojen bir yapı malzemesi gibi davranır. Malzeme içindeki mikro çatlaklar sebebi ile betonun içindeki gerilmeler düzensizdirler. Betona takviye edilen lifler çimento kıvamını güçlendirip, üzerinden gerilmelerin geçtiği küçük köprücük görevi görürler. Betonun içinde bulunan bu liflerin çatlak sonlarına bitişik olması sebebi ile lifler, çimento kıvamının çatlağın büyüme ve genişlemesine sebep olan gerilmeleri kendi üzerlerine ve çatlama alanlarına iletirler. İletilen gerilmeler çatlağın öteki yanına daha düşük gerilme olarak iletir. Liflerin önemli özelliği lifin sahip olduğu mekanik özellikler ve lifin cebirsel bir madde gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özelliklerdir. Kullanılan liflerin çapları 0.13-1 mm arasındadır. Uzunluk çap oranı ise 30-150 mm arasında değişmektedir. Lif boyları ise 13-70 mm arasında değişmektedir. Özellikle çekme ve kesme kuvvetlerine çalışan liflerin beton ile aderansı, lifli betonun işlevini olumlu ya da olumsuz yönde etkiler. Dalgalandırılmış ve uçları bükülmüş liflerin çekme kuvveti etkisi ile matristen ayrılması düz liflere oranla daha zordur. Çelik liflerin yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kırılıp kopmaları çok zordur. Ancak bu liflerin yükün belli bir gerilme değerinden sonra matristen sıyrılması, lifli betonun performansını olumsuz yönde etkileyen en önemli ögedir. Lifler, taşıma ve kullanımda kolaylık açısından 10 ya da 30 adedi suda eriyebilen ya da karışım sırasındaki mekanik etkilerle kopabilen bir tutkal ile bir birine yapıştırılmıştır. Lifli beton kompozitlerinde matrisin fonksiyonu, lifleri bir arada tutmak, lifleri korumak ve liflerle veya liflere gelen gerilme transferini sağlamaktır. Lifli betonların mekanik özellikleri, kullanılan lifin mekanik özellikleri kadar beton matrisinin özellikleri de etkili olmaktadır. Bu sebepten dolayı lifli betonlarda maksimum su/çimento oranını 0.55'den daha küçük, minimum bağlayıcı miktarının da 300 kg/m³'den daha fazla olması önerilmiştir. Lifler betonun,

- Yüksek elastik mukavemet ve çatlama karşı yüksek dayanım,
- Çok yüksek enerji tutma kapasitesi ve darbe dayanımı,
- Yorulma ve kesme kuvvetlerine karşı yüksek dayanım,
- Yüksek plastik deformasyon derecelerinde yük taşıma kapasitesine sahip olmasını sağlar [11, 29].

Lifler çeşitli şekillerde ve boyutlarda çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden üretilen, uzunluğu, bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan malzemedir. Genel olarak doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen maddeler doğal liflerdir. Yapay lifler, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddelerdir [13].

İlk insanların saman çöpü, keçi kılı ve insan saçı kullanarak tuğla ve harcı kuvvetlendirme çabaları, yapı malzemelerinin doğasını geliştirmeye yönelik girişimlerin oldukça eskilere gittiğini göstermektedir. Gerçekte, lifli betonlara esin kaynağı olan saman takviyeli kıl harcı (kerpiç) 4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin sürekli donatılarla kullanılması ancak betonarme betonu kadar eskidir [14, 27].

1960'lı yılların başında Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisleri Birliği, betonda oluşan çökme ve büzülme çatlamlarına yönelik bir araştırma programı başlatmıştır. Betonda yapısal olmayan çökme ve büzülme çatlaklarının azaltılması için kullanılan geleneksel yöntemler, yüzeyin bir sıva kür malzemesi ya da bir örtü kullanılarak kapatılmasını kapsamaktadır, ancak bu önlemler çatlakların kılcal olmasını sağlıyor, yine de betona yük bindiğinde çatlakların genişlemesini önlemiyordu. Araştırma programının sonunda "plastik büzülme çatlaklarının, betonun tasarlandığı mukavemet değerine ulaşıncaya kadar maruz kaldığı dinamik iç gerilmelerden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bir diğer sonuç "beton içerisine konulacak liflerin betonun balistik, enerji sönmüleme ve darbe dayanımını arttırdığı " şeklinde olmuştur [14].

Lifli betonlar rasgele dağıtılmış lifler bulunan ince veya iri agrega kullanılan, çimentolardan yapılmış kompozit bir malzemedir. Lifler çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden çeşitli şekillerde ve büyüklüklerde üretilmektedir. Lifler betona karıştırıcı içerisinde eklenirler. Liflerin boyutu genellikle 'narinlik oranı' olarak tanımlanır. Narinlik oranı; lifin uzunluğunun, çapına oranıyla elde edilir. Bu oran genellikle 6.4-7.6 mm arasında değişen lif uzunlukları için 30 ile 150 arasında değerler alırlar. Liflerin betona karıştırma ve kontrol kuralları TS 10514'de tanımlanmaktadır [14].

Betonun mekanik özelliklerini güçlendirmek için lif katılarak elde edilen kompozitlere lif takviyeli kompozitler denilir. Lif takviyeli kompozitleri oluşturmada kullanıldığı bilinen en eski doğal lifler; saman ve at yelesidir. Eski devirde mimar ve mühendisler yapılarını zamanın tahrip edici etkilerine karşı korumak için saman, hayvan kılları vb. doğal lifleri kullanarak mikro donatı tekniğini uyguladılar. Ülkemizde bulunan en eski uygulamaya Troia kazıları sırasında rastlanmıştır ve M.Ö. 2500 yıllarına ait olduğu saptanmıştır. O bölgede yaşayan

insanlar pişmiş tuğla ile yapılan örme duvar üzerindeki sıvalarda saman çöpü ve keçi kılı kullanarak mikro donatı teknolojisinin ilk örnekleri gerçekleşmiştir. Bilinen en eski lif takviyesi kerpiç duvarların sıvasında kullanılan saman takviyeli kildir. Bazı kaynaklara göre saman takviyeli kil harcı kullanımı, günümüzden 4500 yıl öncesine dayanmaktadır. Eski çağlardan beri kullanılan kerpiç malzemesinde, kil hamuru ile birlikte bitkisel liflerin (genellikle saman), bazı sıva uygulamalarında da keten ve kenevir liflerinin ve atkuyruğu, kuş tüyü gibi hayvansal liflerin kullanıldığı da bilinmektedir. Sentetik lifler daha çok yapı alanında kullanılan liflerdir. Polimer ve metalik lifler uygulamada en çok karşılaşılan sentetik lif türleridir. Metalik lifler başta mühendislik uygulamaları olmak üzere, birçok alanda sıkça kullanılırlar. Metallerin önemli özelliklerinden bir tanesi plastik şekil değiştirebilme yeteneğidir. Böylece çok basit şekillerden başlayarak, çok karmaşık şekil ve formlarda üretim yapabilmesine olanak sağlar. Uçak gövdesinden büyük petrol ve gaz borularına ve hatta günlük hayatta kullandığımız pek çok basit alete kadar metallerin kullanımına rastlanır. Lif formundaki metaller uzun zamandır kullanılmaktadır. Çelik lifler, betona katılan metalik liflerin en yaygın olanıdır. Polimer lifler çok geniş uygulama alanları ve çeşitleri olan bir lif türüdür. Bu sentetik polimer liflerin çoğu, çok düzenli ve kopya edilebilir özelliklere sahip olmakla birlikte, düşük elastisite modülüne sahip olduklarından, tekstil sektöründe kullanımları kısıtlı olmaktaydı. Sentetik polimerik liflerin başlıcaları; polipropilen, naylon, polietilen, aramid ve perlonur. Polipropilen lifler, aynı zamanda çimento esaslı malzemelerin takviyesinde de kullanılabilir [2, 29].

Lif çeşitlerinde sağlanması gereken en mühim unsur betonun içerisinde bulunan liflerin homojen şekilde dağılmasından sonra dahi lifli betonun özelliklerini yitirmeden bozulmamasıdır. Bu lifler homojen dağıldığından ötürü betonda meydana gelen çatlaklar arasında bir köprü görevi görerek bu çatlakların ilerlemesini ve yer yer yeni çatlakların oluşmasını engellemektedir. Bu çatlakların önlenmesi ile beton dayanımı daha fazla artmakta betonu dayanıklı yapmaktadır. Lifler ilk çatlama anında oluşan gerilmeleri sağlam alanlara ve kedi üzerine çekerek yapıdaki dayanımın azalmasını engellemektedir. Bu lifli betonların dayanıma olan etkileri göz önüne alınca önemli devasa yapılarda köprülerde barajlarda kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca lifli betonlara lifli çeliklerin katılması betondaki tokluk, erozyon yorulma ilk çatlak dayanımlarında daha sağlıklı ve dayanımının yüksek olmasını sağlayarak işlev açısından önemli etki ettiği görülmektedir. Ancak bu lifli çelik beton karışımının kullanımı basınç dayanımına olumlu ölçüde etki etmediği görülmüştür. Çünkü basınç gerilmeleri beton kalitesine bağlıdır çeliğe bağlı değildir. Beton tokluğunun artması deprem yükü altında betondaki sünekliliğinin arttığı görülebilir. Betondaki tokluk derecesine ait grafikler incelendiğinde çelik lif katkılı betonlardaki lif miktarının ve tipinin önemi anlaşılır [15].

Geleneksel beton ve lifli betonlar karşılaştırılırsa lifli betonlardaki homojen dağılımdan ötürü betonda meydana gelen çatlaklar arasında bir köprü görevi görerek bu çatlakların ilerlemesini ve yer yer yeni çatlakların oluşmasını engellediği ve Bu çatlakların önlenmesi ile beton dayanımı daha fazla arttığı ve betonu dayanıklı yaptığı görülür. Lifler ilk çatlama anında oluşan gerilmeleri sağlam alanlara ve kedi üzerine çekerek yapıdaki dayanımın azalmasını engellemektedir bu özellikler ve kompozitlerin ani yüklemelere veya tekrarlı yüklemelere maruz kalınca yeterli dayanıma sahip olması ve yutulan enerji miktarının fazlalığı nedeniyle lifli beton ve geleneksel beton arasında değişik yüklere maruz kalınca davranış ve performans açısından farklı özelliklere sahip olacakları açıkça görünmektedir. Çelik, naylon ve karma liflerin, basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri pek etkilememesine rağmen, eğilme- çekme dayanımı, süneklilik ve tokluk gibi mekanik özelliklerini çok yüksek oranda artırdığı, hatta kırılma enerjisini 70 kata kadar yükselttiği görülmektedir. Çelik tel mukavemeti fazlaştıkça kırılma enerjisi oldukça artmaktadır. Benzer şekilde, bu çalışmada da görüleceği gibi, yine bir kırılma mekaniği parametresi olan karakteristik boy da büyümektedir. Ayrıca eğilme tokluğunda olduğu gibi, basınç altındaki toklukta da artışlar kaydedilmiştir [16, 24].

1.5. Betonda Yüksek Sıcaklık

Yapılarda meydana gelen yangınlarda sıcaklıklar 1200°C'ye kadar ölçülebilmektedir. Bu sıcaklıklarda yapı tasarımında kullanılan yapı malzemelerinin dayanımını kaybettiği yandığı mukavemetlerini kaybederek yok olduğu birçok maddi ve manevi kayıplara yol açtığı bilinmektedir. Yapı malzemelerinde yangına ve yüksek derecelere en dayanıklı olanı betondur. Yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, betonun kimyasal ve fiziksel özellikleri önemli ölçüde değişir. Yaklaşık 110°C üstündeki sıcaklıkta kimyasal olarak kalsiyum silika hidratlara (CSH) bağlı suyun ayrılmasıyla, önemli ölçüde dehidrasyon oluşur. 300°C sonrasında kalsiyum silika hidratların dehidrasyon ve agreganın termal genişmesi içsel gerilmeyi artırır ve malzemede mikro çatlaklar oluşur. Çimento pastasının en önemli bileşenlerinden olan, kalsiyum hidroksit $Ca(OH)_2$ 530°C civarında betonun büzülmesi sonucu çözülmeye başlar. Çimento pastasına dayanım veren bileşik CSH jeli 600°C üzerinde ayrışır, 800°C'de beton genellikle parçalanır ve 1150°C üzerinde feldispat erir ve diğer mineraller cam fazına döner. Bunun bir sonucu olarak, önemli mikro değişiklikler oluşur ve beton dayanımını ve durabilitesini kaybeder [5, 23].

Betonarme yapılarda oluşan yüksek sıcaklıklı yangınlarda dayanım miktarı betonarme yapıyı oluşturan donatı ve beton içerisinde olan karışık bağıntılar nedeniyle dayanımı biraz daha artırır. Betonlarda yüksek sıcaklık altında sünme oranı çok artar. Betondaki mukavemet azalınca

plastik hale gelerek o şekilde davranış göstermektedir. Yani, Young Modülü'nde oluşan azalma hızla artan sünme ve çatlak oluşumları gözlenir. Beton içerisinde bulunan su oranı yüksek sıcaklıklı yangınlarda yok olarak ya da azalarak betonda büzülme ve çatlamalara neden olur. Bu durumda betonun renginde kristallenmesinde ve mukavemetinde kimyasal yapısında değişiklikler gözlenir [17, 25, 26].

Beton ve çelik çubukların birlikte oluşturduğu yapılarda betonarme davranışı gösterebilmesi için iç içe kenetlenmesi gerekmektedir. Bu kenetlenme arasında oluşacak olan kayma gerilmesine aderans denir. Bu çelik çubukların betona gömülmesi ve çıkmaması gerekmektedir bu nedenle betona gömülen çubuk boyuna kenetlenme boyu ve bu gömülen kısımda meydana gelen aderansa da kenetlenme aderansı adı verilir.

- Aderansın üç temel nedene dayandığı kabul edilir bunlar; çelik ve beton arasında yapışma olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvveti,
- Beton ve çelik çubuk arasındaki sürtünme kuvveti,
- Beton ve çelik çubuk arasındaki mekanik diş kuvvetleridir.

Aderansın etkilendiği durumlarda vardır aderansın başlıca etkilendiği değişkenler şunlardır, betonun çekme, çeliğin akma dayanımı, çubuğun yüzeyindeki geometri (nervürlü-düz) donatı çapı ve kenetlenme boyu olarak sıralanabilir [17, 25, 26].

Aderans dayanımı ve kenetlenme boyundaki miktarların kıyaslanması bunların miktarının ne olacağı ile ilgili sağlıklı sonuçlar almak için çokça deneyler yapıldı ancak alınan sonuçlar istenilen dayanım ve miktarı vermedi belki de hiçbir zaman aderans ve kenetle boyunu etkileyen parametrelerin fazlalığı nedeniyle sağlıklı sonuç alınamayacaktır [17, 25, 26].

Betonlardaki ısı aktarımı iletkenliği az olduğu için betonun hızlıca soğutulmaya ya da ısıtılmaya çalışılması iç ve dış durumdaki ısı miktarlarının farklı oluşu nedeniyle betonda çatlaklar oluşur. Bu termal farklılık betonun özgün ısı ve iletkenliğine bağlıdır.

Beton hazırlama esnasında önemli fiziksel ve kimyasal değişimlere maruz kaldığı için en kararsız beton bileşeni çimento hamurudur. 100-200 derecede buharlaşan su miktarı çimento hamurunun hazırlanmasında en etken rolü üstlenmektedir. Kimyasal ayrışma ve su kaybındaki miktar 100°C'nin üstündeki sıcaklıklarda, termal etkiler ise 600°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda daha önemli olmaktadır. Çimento hamurundaki kimyasal bağlar, kohezif kuvvetler, gözenek boyut dağılımı değişikliğe uğrar. Isıtılmış betonun çatlakları soğuma süresince büyür. Bu durum CaOH_2 'de meydana gelen hacim artışı sonrası ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle silis dumanı pomza, uçucu kül vb. katkı maddelerini içeren çimento hamurlarında puzolanik reaksiyondan dolayı CaOH_2 'nin azalması soğumadan kaynaklanan çatlakların azalmasını sağlar. CaOH_2 500°C'de ayrışır ancak bu sıcaklıkta çoğu beton yapısal özelliğini kaybeder [18].

Yanıcı maddelerin oksijenle veya başka oksitleyici maddelerle birlikte kararlı bir ekzotermik tepkimeye girerse yanma olayı gerçekleşir. Bu reaksiyonun gerçekleşmesi için yanıcı maddeyle birlikte oksijenin tutuşmasını sağlayan ısı enerjisi kaynağı gerekir. Yangından ve yanıcı maddelerden korunmak için yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin yangın ve yüksek sıcaklık altındaki davranışları dayanımları bilinmelidir. Bu malzemelerin davranışı ve dayanımı yüksek sıcaklık altında ısıyı iletimi ateş topu oluşturup oluşturmadığı yanma süresi ve sürekliliği dayanımına bakılarak belirtilmeli [19].

Kompozit bir malzeme olan betonun içindeki bileşenlerin termal genleşmelerinin birbirinden farklı olması nedeniyle betondaki sıcaklık değişimi, bileşenlerin birbirinden farklı hacim değiştirmesinden çatlak oluşumunu artırıp betondaki dayanımı azaltır. Bu olaya betonda termal uyumsuzluk adı altında geçer. Sıcaklık 800°C geçince betonda bulunan su miktarı yok olduğundan dayanımda yüzde 80'lere varan bir kayıp meydana gelir. Bu dayanımdaki azalma yapının yıkılmasına neden olur. Bu sıcaklık sonrası harç içindeki bileşenler özelliğini kaybedip büyük çatlaklara neden olur bu çatlaklar harç fazının birleştiği ara yüzde de meydana gelir. Bu olanlar sonucunda beton yük taşıma özelliğini tamamen kaybetmiş olur [19].

1.6. Hafif Agregalı Betonda Basınç Dayanımı

Binalarda hafif agregalı betonun kullanılması, binanın zati yükünü minimize eder, yapısal elemanların ebatlarını düşürür, inşaat programını hızlandırır. Chicago'daki 42 katlı "Prudential Life Building" ve ünlü "Nordhordland" köprüsü taşıyıcı hafif agregalı beton uygulamalarına güzel örneklerdir. Sekiz katlı bir ofis binası üzerinden, donatılı hafif beton ile normal beton yapım maliyeti bakımından karşılaştırıldığında, hafif betonla yapılan binanın yapım periyodunda 114 hafta kazanılmıştır. Hafif betonun maliyetinin geleneksel normal betondan %5'den fazla olmasına rağmen, toplam maliyet %4'e kadar azalmıştır [5].

Normal agregada olduğu gibi, basınç dayanımı arttıkça hafif agregalı betonun aşınma direnci artar. Ancak, hafif agregalı betonun matrisi, agrega taneciklerini açığa çıkaracak şekilde aşınırsa, nispeten hızlı yıpranacaktır. Aşınma dayanımı düşük yoğunluklu iri agrega ile doğal ince agreganın birleştirilmesi, matrisin kalitesinin iyileştirilmesi ve yüzey iyileştiriciler kullanılarak geliştirilebilir [5].

Bir malzemenin mukavemeti, kırılma olmaksızın, gerilmeye karşı koyma kabiliyeti olarak tarif edilir. Kırılma bazen çatlakların görülmesi ile tanınır. Buna rağmen şurası unutulmamalıdır ki, bir çok taşıyıcı malzemenin aksine beton daha harici gerilmelere maruz kalmadan ince çatlaklar ihtiva eder. Bu yüzden beton da mukavemet, kırık oluşturmak için gerekli gerilme ile ilişkilidir ve uygulanan gerilme maksimum değerine ulaştığında değeri tayin

edilir. Basınç deneylerinde numunede dış çatlaklar henüz görülmeden iç çatlaklar önce büyür daha sonra numunede kırılma olmadan taşıyabileceği maksimum gerilme oluşunca kırılma olur [20].

Beton üzerinde yapılan bir çok çalışmada, bu malzemenin muhtelif özellikleri ile basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler incelenerek elde edilen hususlara değinecek olursak şunlar söylene bilir. Betonun çeşitli mekanik özellikleri basınç dayanımıyla aynı doğrultuda farklılaştığını benimsemek mümkündür. Böylelikle basınç dayanımı fazla olan beton elde etmekle diğer mekanik özellikleri de yeteri seviyede farklı olan beton elde edilir. Bu konuda şunu söyleye biliriz. Betonun basınç mukavemeti maksimum değer alırken diğer özelliklerde maksimum değerlerini değil fakat maksimumdan az fark eden değerlere sahip olurlar. İşte bundan dolayı beton bileşiminin, basınç mukavemetinin yüksek olmasını sağlayacak şekilde saptanması ile betonda aranılan diğer özellikler de kendiliğinden yerine gelecektir [20].

Benzer tür beton mukavemeti için hafif agregalı betonlarda kullanılan çimento miktarı normal betona göre daha fazladır. Yüksek mukavemet düzeyine ek olarak çimento dozajı %50'den fazla alınabilir. Daha az su/çimento oranına ulaşabilmek için daha fazla çimento kullanmak gerektirir. Böylelikle matris mukavemeti oldukça yüksektir. Ayrıca agrega mukavemeti ile bu agregadan elde edilmiş beton mukavemeti arasında genel olarak bir bağ görünmemektedir. Bu ilişki genellikle hafif agregalı betonlarda mukavemet artışı, betonda kullanılması sağlanan agreganın birim hacim ağırlığıyla alakalıdır. Kısacası agreganın yoğunluğu fazlaştıkça hafif betonun mukavemeti de yükseltilebilir [21, 27, 28].

Genel bir ifadeyle hafif agregalı betonlarda mukavemet artma olayı, beton içerisindeki agrega malzemesinin yoğunluğuyla ilişkilidir. Yani, agreganın öz kütlesi fazlaştıkça hafif beton mukavemeti de yükseltilebilir [21, 27, 28].

Hafif betonda kullanılan hafif agregaların dayanımları bağlayıcının dayanımından daha düşük olduğundan, yüksek dayanımda bağlayıcı kullanılarak hafif betonun dayanımı artırılabilir. Alışıla gelen agregalı betonlar ise farklıdır. Çünkü normal agregaların mukavemeti bağlayıcının mukavemetinden daha fazladır. Böylelikle betona gelen yük bağlayıcıyla aktarılarak agregalar aracılığı ile taşınmaktadır. Böylelikle alışıla gelen betonlarda yük altında meydana gelen gerilmeler köşe noktalardan eksene doğru ilerlemektedir. Üzerine gelen yük bağlayıcı tarafından aktarılmakta ve yük agregalar tarafından taşınmaktadır [1].

Beton gevrek bir malzemedir. Dayanım değerlerinin içerisinde fazla olan basınç, en düşük olanı çekmedir. Betonda çekme dayanımının basınç dayanımına oranı %8 ile %14 aralığındadır. Genel olarak betonda meydana gelen çekme gerilmesi betona etki etmediği gibi hemen çatladığı kabul edilir. Ayrıca beton yalnızca basınca çalıştırılır. Betonun birim ağırlığının az olması içerisindeki agreganın dane boyutlarının boşluklu yapıya sahip olmasından

kaynaklanır. Dolayısıyla malzeme içerisindeki boşluk fazla olunca cismin dayanımı azalır ve böylelikle hafif betonların dayanımının normal betonlarından az olması son derece doğaldır [6].

Malzemenin su/çimento miktarı kullanılan çimentonun standart basınç dayanımı normal betonda kullanıldığı gibi etkisini gösterir. Fakat hafif betondaki boşluklu ve hafif agreganın zayıflatıcı etkisi olduğu için normal beton dayanımının oldukça altında kalır. Aynı birim ağırlığındaki yüzeyi düzgün kırılmış agregalar, delikli ve pürüzlü yüzeyli agregalara göre daha yüksek mukavemete sahip yapıdadır. Betonun çimento oranını etkileyen en önemli faktörün agrega mukavemeti ile agrega içerisindeki malzemenin boşluklu yapısı dikkat çekmektedir [22].

Hafif betonun dayanımı zamanla fazlaşması, bakım koşullarına ve geçen zamana göre normal beton gibi benzerlik gösterir. Hafif betonda sıcaklık geçirgenliği az olduğundan çimento hidrasyonu anında oluşan sıcaklık dışarıya çıkamaz. Böylelikle beton sıcaklığı artış gösterir. Böylece betonun içerisinde sıcaklıktan kaynaklı sertleşme hızlı olacağından dolayı dayanım çabuk gerçekleşir. Bu da betonun içerisindeki sıcaklıktan ötürü çatlama ve gevrekleşme gibi zararlara neden olur [22].

1.7. Betonda Su Geçirimsizlik Süreci

Hafif betonların su emmesi ağırlık olarak %30'u aşması mümkündür. Perlit betonlarında su emmenin %50 civarında olduğu ve su emmenin kılcallık olayıyla da olabileceği düşünülürse, yağmura ve dış ortam rutubetine karşı izole edilmemiş perlit betonundan ısı yalıtımından da yararlanılamayacağı ortaya çıkar. Uçucu küllerin betonun kılcallık ve su emme özelliklerine etkisi incelenmiş olup: %10, %20 ve %30 civarında çimento miktarı düşürülerek yerine uçucu kül konularak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneylerde %10'luk serilerde hava ortamında küre tabii tutulan betonlarda su emmenin şahit numunelere yakın, %20'lik serilerde biraz üstünde, %30'luklarda şahit numunelerin üstünde değerler aldığı gözlemlenmiştir. Su küre konulan numunelerde %10 ve %20'lik numuneler şahit numunelerden küçük değerler alırken, %30'luklarda şahit numunelerden büyük bulunmuştur [4].

Betonun boşluklarını dolduran su, betonun fiziksel özelliklerini kötü yönde etkilemekte olup betonun daha düşük seviyede su emmesi istenilir. Su emme özelliği hafif agrega ve dane boyutu ile agreganın boşluklu yapısına göre farklılıklar gösterir. Özellikle hafif betonların içerisinde bulunan hafif agregaların gözenekli ve pürüzlü olmasından dolayı su emmeleri ve su emme istekleri çok fazladır. Aynı agrega oranında dizayn edilmiş iki farklı beton içerisindeki malzemenin danelerindeki gözeneklerine göre su emme oranları aynı olamayabilir. Ayrıca fazla

kılcal su emme oranı veya miktarı doğrudan harç, agrega çimento arasında veya malzemedeki kılcal boşluklardan geçen su olup betonun gözeneklerinden ayrılır. Doğrudan kılcal boşluklarla alakalıdır [21, 27].

Beton içindeki boşluklara gazlar veya sıvı maddeler nüfuz edebilir. Permeabilite terimi betonun bünyesine bu maddelerin girişine izin verme özelliğini gösterir. Betonun permeabilitesi, sadece su yapıları ve elemanları (borular, kanallar veya su tankları) için değil, betonarmenin durabilitisinde de önemli ve belirleyici bir faktördür. Betonarmenin bozulması betonun porozitesi ve kapilaritesine bağlı olarak içinden su, karbondioksit, klorür iyonları, oksijen, sülfat iyonlarının geçişine imkan verilmesine beton içindeki elektrik akımına bağlıdır. Betonda akışkanların ve iyonların hareketinde aşağıdaki temel unsurlar etkilidir:

- Kapiler Emme: Beton içinde kapiler etkiden kaynaklanır,
- Permisyon: Basınçtan kaynaklanır ve
- Migrasyon: Elektrik potansiyelinden kaynaklanır.

Geçiş kinetiği, beton yüzeyinde bulunan çevresel durumlara ve bunların zamanla değişimine bağlı olduğu kadar, mekanizmaya, beton özelliklerine (porozite ve çatlak mevcudiyetine), hidrate çimento hamurunun taşınan maddelerine (bileşiklerine) göre değişir [5].

Hafif agregalı betondaki agrega tanecikleri kaliteli bir matris tarafından çevrelendiğinde fark beklendiği kadar büyük olmaz. Bu durum hafif agregalı betonun tipik normal agregalı betondan kütlece daha yüksek su emmeye sahip olması sonucunu doğurur. Hafif betonun su emme miktarının, dayanıklılıkla direkt bağlantılı olmadığı gösterilmiştir ve bu, betonlar karşılaştırıldığında, su emme değerlerinin hacimselden çok kütlece kullanılmasının uygunsuzluğundan kaynaklanıyor olabilir.

Bir agrega taneciğinin su emme miktarı ve su emme hızı;

- Boşluk hacmine,
- Tanecik bünyesindeki boşluk dağılımına,
- Boşlukların yapısına (Örneğin; birbirine bağlantılı olması ya da olmaması gibi) bağlıdır.

Hacimsel olarak nispeten yüksek boşluğa sahip hafif agrega taneciklerinin su emme hızının, doğal yoğun agregalardan çok daha fazla olması muhtemeldir. Fakat agrega taneciklerinin yüzey alan karakteristikleri emilim üzerinde büyük etkiye sahiptir. Öyle ki, doğal ve hafif agregalar arasındaki eşitsizlik, yoğunluktaki farktan beklendiği kadar büyük olmayabilir. Örneğin, bazı tanecikleri saran, küçük, nispeten birbirinden bağımsız boşluklar içeren sinterlenmiş “kabuk” (bunların genişmiş veya sinterlenmiş agregaları gibi) emilim prosesini engeller. Agregaların su emmesi çoğunlukla etüv kurusu kütlenin 30 dakika ve 24 saat sonra emdiği oran olarak ifade edilir. Pek çok normal agrega için 24 saatte su emme oranı yaklaşık %0.5-2, hafif agregalarda ise genellikle kuru ağırlığın %5-15’i kadardır. Karışım

süresince ve hemen sonra hafif agreganın su emilimi için yaklaşık bir düzeltme tahmini 30 dakikalık su emme miktarı üzerinden yapılabilir ki bu değer tipik olarak %3-12 aralığındadır. Genel olarak, malzemenin ince sınıfında su emmenin, doğal agregada olduğu gibi, iri kısmındakinden daha yüksek olacağı unutulmamalıdır [5].



2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Pomza Agregası

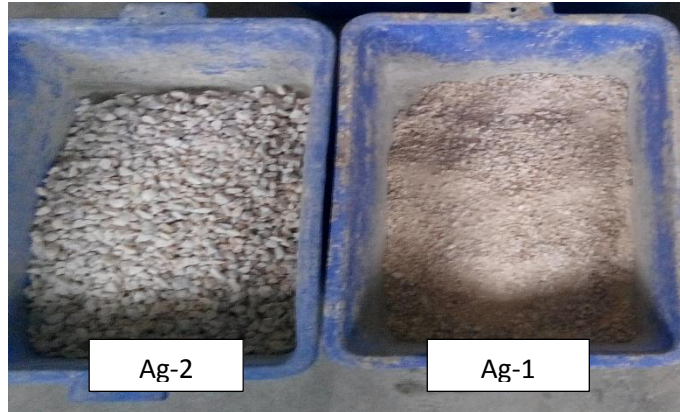
Beton karışımlarında kullanılan pomza Bitlis-Ahlat yöresinden temin edilmiş olup kullanılan pomza örneği Şekil 2.1’de verilmiştir. Yapılan deneylerde Bitlis-Ahlat yöresine ait 0/16 mm dane çaplı, TS 1114 standardına uygun yapıda pomza kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan pomza laboratuvar ortamında doğal kuru birim ağırlıkla kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Kullanılan pomza örneği

2.1.2. Agregası

Çalışmamızda Elazığ ilinde faaliyette olan Birlik Beton A.Ş. santrali sahasından kırma taş olarak elde edilen agregası kullanılmıştır. Her deney grubu için kullanılan agreganın %50’si 0/7 mm boyutlu (Ag-1) ve %50’si ise 7/16 mm boyutlu (Ag-2) agregası kullanılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Kullanılan agregası örneği

2.1.3. Çimento

Yapmış olduğum deney çalışmalarında beton numunelerinin elde edilmesinde bağlayıcı madde olarak Elazığ Çimento Fabrikası tarafından üretilmiş olan CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler(%)		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	18.55	90µ (elek altı)	0.6
Al ₂ O ₃	5.25	32µ (elek altı)	14.2
Fe ₂ O ₃	3.42	Blaine (gr/cm ²)	4047
CaO	63.16	Priz Başlangıcı (Dak.)	195
MgO	1.78	Priz Sonu (Dak.)	285
SO ₃	2.5	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.12
Na ₂ O	0.36	Yoğunluk (gr/cm ³)	1055
K ₂ O	0.80	HG	1
Kızdırma Kaybı	3.14	Mekanik Özellikleri	
Çözünmez Kalıntı	0.03	2.Gün	27.6 N/mm ²
Kalker	4	7.Gün	44.2 N/mm ²
Tayin Edilemeyen	1.04	28.Gün	54.8 N/mm ²
Cl-	0.006	Su Emme (%)	28.2

2.1.4. Genleştirilmiş-Genleştirilebilir Polisterin (EPS)

Bu tür malzemelere EPS malzemesi de denilmektedir. Deneylerde kullanılan EPS’nin temel özellikleri Tablo 2.2’de ve EPS örneği Şekil 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.2. EPS’nin temel özellikleri

Özellik	Sonuç	
Isıl İletkenlik Değeri	Laboratuvar Değeri	0.034 kcal/mh°C
	Hesap Değeri	0.040 kcal/mh°C
Durgun Hava İçeriği	%98	
Parlama Noktası	360-370°C	
Üretim Şekli	Levha ve/veya Dökme (Taneli)	
Kimyasal Tepki Durumu	Çimento, kireç, alçı, ahşap, metal, anhidrit gibi klasik malzeme ve bileşenlere karşı tepkisizdir.	
Yoğunluğu	10-30 kg/m ³	
Buhar Difüzyonu Direnç Katsayısı (µ)	20/100	
Ömrü	Sonsuz ömürlüdür.	
Biyolojik Özelliği	Mikroorganizmalara karşı bir besin maddesi değildir. Küflenmez, çürümez ve kokmaz.	
Elektrik Özelliği	Hava ile aynıdır.	
Sağlık Açısından Özelliği	Sağlığa zararlı değildir.	
Yapı Malzemesi Klasmanı	B1	
%10 Deformasyonda Basınç Dayanımı	0.07-0.28 N/mm ²	
E Modülü	0.012-0.062 N/mm ²	
Su Buharı Geçirgenliği	20-40 g/m ² .d	
Özgül Isı Kapasitesi	1500 J/(kg.k)	
Bünyesel Gözenek Durumu	1 m ³ ’de 3-6 milyar adet gözenek vardır.	



Şekil 2.3. Kullanılan EPS örneği

2.1.5. Karma Suyu

Çalışmada, beton karma suyu olarak Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Beton ve Malzeme Laboratuvarında kullanılan içilebilir nitelikteki şehir şebeke suyu kullanılmış olup pH'ı 6.5'tir.

2.1.6. Lif

Çalışmada, polipropilen lif kullanılmıştır. Şekil 2.4'de görülen lifin teknik özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir. Kullanılan lif çeşidi serttir ve plastik donatı gibidir.

Tablo 2.3. Polipropilen liflerin teknik özellikleri [33]

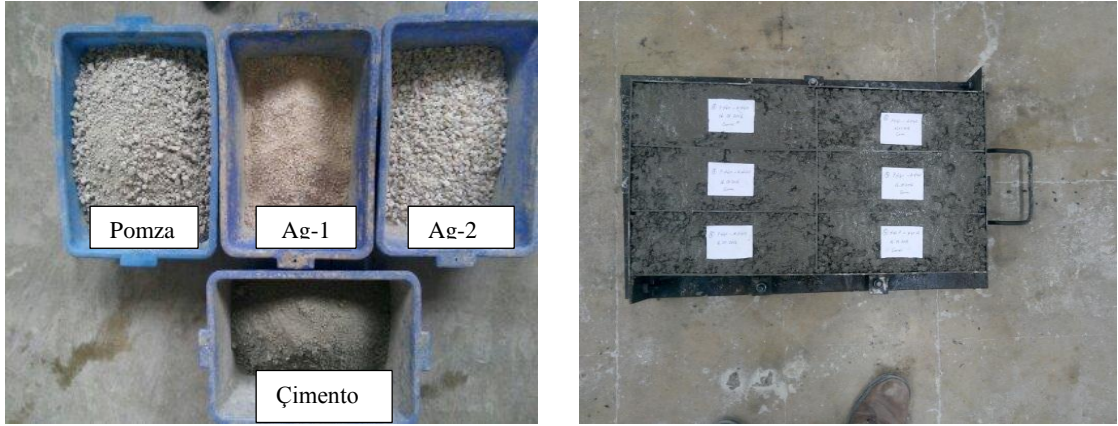
Özellikler	Polipropilen
Boyut (mm)	45
Özgül ağırlık (g/cm ³)	0.91
Elastisite modülü (GPa)	3.5
Çekme dayanımı (MPa)	724
En büyük uzama (%)	15
Elektirik geçirgenliği	Düşük
Erime noktası (°C)	164
Yanma noktası (°C)	550
Isıl iletkenlik	Düşük
Alkalilere direnci	Yüksek
Asitlere direnci	Yüksek
Tuzlara direnci	Yüksek



Şekil 2.4. Kullanılan polipropilen lif

2.2. Beton Karışımları

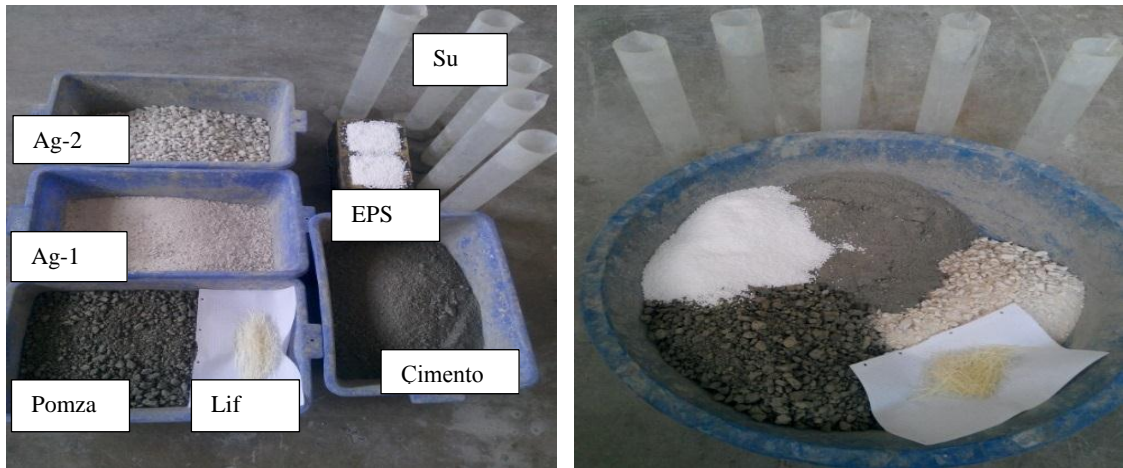
Bu çalışmada 11 grup beton üretilmiştir. Üretilen pomzalı ve agregalı hafif betonlarda dozaj sabit olup 400 kg/m^3 dozajlı numune serileri üretilmiştir. Bu betonların S/Ç oranı 0.75'dir. Bütün karışımlarda 0-16 mm pomza kullanılmıştır. Kullanılan agregaya ise Ag-1=0-7 mm ve Ag-2=7-16 mm olup karışımlarda %50 Ag-1 ve %50 Ag-2 kullanılmıştır. Diğer taraftan pomzaya ilaveten EPS ve lif katkılı betonlarda üretilmiştir. Bu karışımlarda hacim sabit ağırlık değişken esası kullanılmış. Karışımlarda kullanılan EPS ağırlığı ihmal edilmiş olup toplam hacmin %10'u kadar kullanılmıştır. 1. Grup olarak %100 Agregaya (A100), 2. Grup %100 Pomza (P100), 3. Grup %50 Pomza - %50 Agregaya (P50A50), 4. Grup %60 Pomza - %40 Agregaya (P60A40), 5. Grup %70 Pomza - %30 Agregaya (P70A30) olarak üretilmiş olup 6. Grup %50 Pomza - %40 Agregaya - %10 EPS (P50A40E10), 7. Grup %60 Pomza - %30 Agregaya - %10 EPS (P60A30E10), 8. Grup %70 Pomza - %20 Agregaya - %10 EPS (P70A20E10) betonları üretilmiştir. 9, 10 ve 11. gruplar ise 6, 7 ve 8. gruplara 10 gr lif katılarak (Çimento ağırlığının %0.125'i kadar) LP50A40E10, LP60A30E10 ve LP70A20E10 betonları üretilmiştir. Betonu oluşturan malzemelerin karışım miktarları Tablo 2.4'de belirtilmiştir. Hazırlanan karışımlar $10 \times 10 \times 30 \text{ cm}^3$ lük kalıplara yerleştirilmiş ve prizini alan beton numuneleri 24 saat sonunda kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca $20 \pm 2 - 3^\circ \text{C}$ sıcaklıkta bulunan kirece doymuş suda kürlenmiştir. Karışımlarda kullanılan malzeme örnekleri Şekil 2.5.1., Şekil 2.5.2., Şekil 2.5.3'te, taze betonun kalıplara yerleştirilmesi Şekil 2.5.4'de ve kalıptan çıkarılan numunelerin kür havuzunda bekletilmesi Şekil 2.5.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5.1. Pomza ve agregâ karışımları



Şekil 2.5.2. Pomza, agregâ ve EPS karışımları



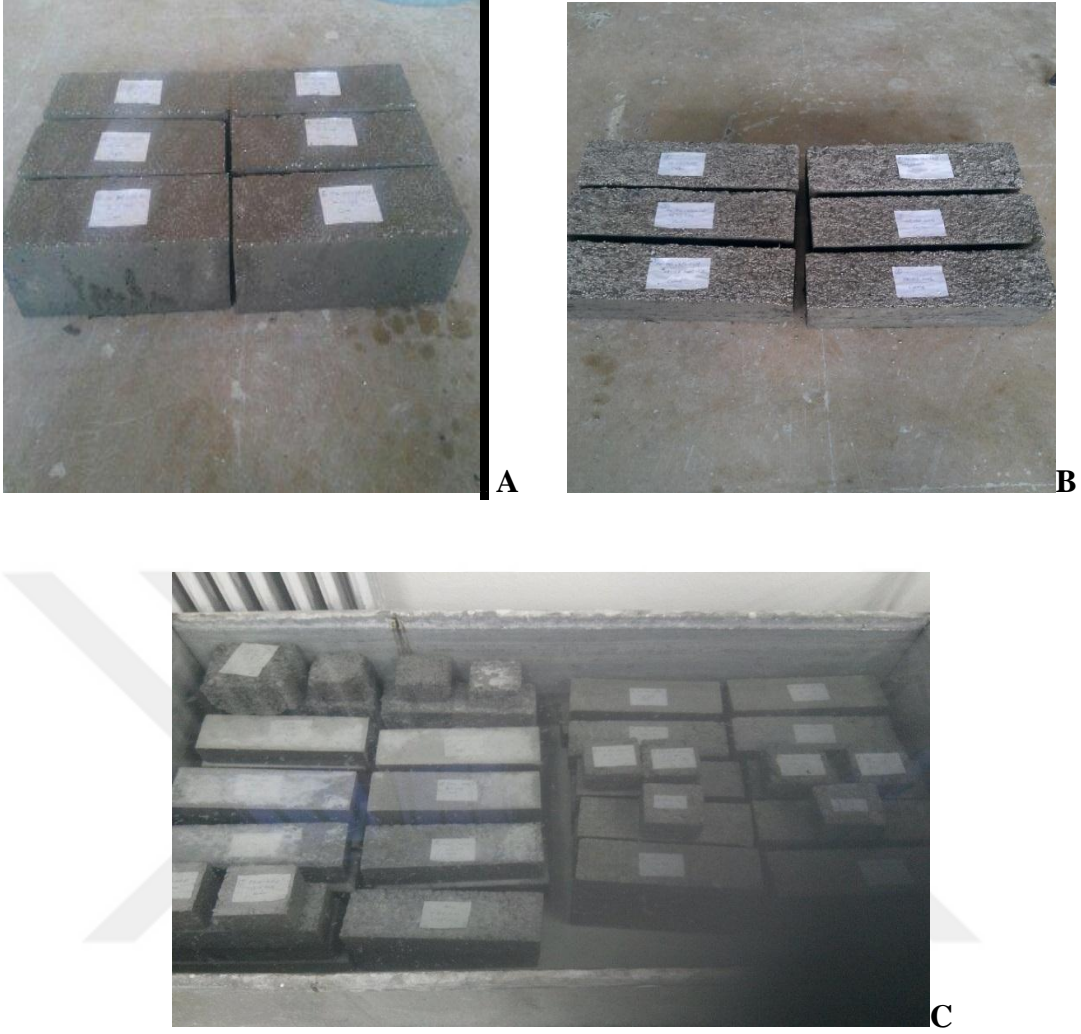
Şekil 2.5.3. Pomza, agregâ, EPS ve lif karışımları

Tablo 2.4. Beton karışım oranları

Deney	PÇ42,5 (kg)	Su (lt)	Pomza(0-16mm) (kg)	Ag1 (0-7mm) (kg)	Ag2 (7-16mm) (kg)	Lif (gr)	EPS (dm ³)
A100	8	6	-	14.6	15	-	-
P100	8	6	17	-	-	-	-
P50A50	8	6	8.7	7.2	7.3	-	-
P60A40	8	6	10.4	5.7	5.9	-	-
P70A30	8	6	12.2	4.3	4.4	-	-
P50A40E10	8	6	7.1	4.7	4.8	-	2
P60A30E10	8	6	8.5	3.5	3.6	-	2
P70A20E10	8	6	9.9	2.3	2.4	-	2
LP50A40E10	8	6	7.1	4.7	4.8	10	2
LP60A30E10	8	6	8.5	3.5	3.6	10	2
LP70A20E10	8	6	9.9	2.3	2.4	10	2



Şekil 2.5.4. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 2.5.5. Kalıptan çıkarılan beton numunelerin kür havuzunda bekletilmesi

2.3. Basınç Dayanım Deneyi

Belirli ebatlardaki beton karışımının belirli ve farklı doğrultularda etkiyen gerilmeler karşısındaki davranışları ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç karakteristiğine basınç dayanımı denilmektedir. Hafif ağırlıklı betonların basınç dayanım değerlerini belirlemek amacıyla 10x10x30 cm'lik numuneler beton kesim makinesi yardımıyla 10x10x10 cm'lik küp numuneler elde edilmiş olup ardından TS EN 12390-3 [34] standardına uygun olarak bilgisayar destekli beton test presini kullanılarak basınç dayanım ölçümleri yapılmıştır. Her numune grubundan 3'er adet (toplamda 33 adet) numune deneye tabi tutulmuştur. Kürden çıkartılan numuneler laboratuvar ortamında 24 saat bekletilen numuneler, tek eksenli gerilme pres cihazında TS EN 12390-3'e uygun olarak kırılmıştır.

numuneler 72 saat boyunca 100°C'de bekletildikten ve 2 saat laboratuvar ortamında dinlendirildikten sonraki ağırlıkları, kuru ağırlık ile arasındaki fark ve yüzde değişimleri bulunmuş oldu. Bu numuneler üçüncü olarak 72 saat boyunca 200°C sıcaklığa maruz bırakılıp 2 saat laboratuvar ortamında dinlendirildikten sonra ki ağırlığı ve kuru ağırlık arasındaki fark ile yüzde değişimleri bulundu. Son olarak 300°C sıcaklıkta 1 saat bekletilerek ağırlık azalması ve yüzde değişimi bulunmuştur.

2.6. Su Emme Deneyi

Sertleşmiş betonda su emme deneyi TS 3624 [36] standardına uygun olarak bulunmuş olup her numune grubundan 10x10x30 cm'lik numunelerden birer adet kullanılmıştır. Numunelerin 28 günlük kür sonunda doymuş kuru yüzey ağırlığı tespit edildi. Bu numunelerde 4 farklı su emme deneyi yapıldı. İlk olarak 28 günlük kür uygulanıp ve numunelerin ağırlıkları belirlenip laboratuvar ortamında 20±3°C sıcaklıkta 168 saat (7 gün) bekletildikten sonra kuru ağırlıkları bulunmuştur. Bu ağırlıklar arasındaki fark ve yüzde değişimleri bulunmuştur. İkinci olarak numunelerin üst yüzeyi 5 cm (h/2) su kaplayacak şekilde 72 saat suda bekletilip çıkarılan numune yüzeylerinin ıslaklığı kuru bir bez ile silinerek doymuş kuru yüzeyli numune ağırlığı bulunmuş olup kuru ağırlık ile farkı alınarak ağırlık artışı ve yüzdesi bulunmuştur. Üçüncü su emme deneyinde numunelerin üst yüzeyi 10 cm (h) ve son olarak 20 cm (2h) kaplayacak şekilde 72 saat suda bekletildikten sonra kuru ağırlık ile farkı alınarak ağırlık artışı ve yüzdesi bulunmuştur.

2.7. Yüksek Sıcaklık Sonrası Su Emdirilme Deneyi

28 günlük numunelerin her grubundan birer adet alınarak 300°C sıcaklığa maruz bırakıldı. Söz konusu ısıda 1 saat boyunca bekletilen numuneler 2 saat laboratuvar ortamında dinlendirildikten sonraki ağırlıkları tespit edildi. Bu sıcaklık sonrası üç farklı su emdirilme deneyi yapıldı. İlk olarak numuneler 5 cm (numune yüksekliğinin yarısı kadar (h/2)) suya daldırılarak 72 saat suda bekletildikten sonra çıkarılan numune yüzeylerinin ıslaklığı kuru bir bez ile silinip alındıktan sonra ağırlığı tespit edildi (Şekil 2.7.). Bu ağırlık ile 300°C sonraki ağırlık arasındaki fark ve yüzde değişimi bulundu. İkinci olarak numuneler 10 cm (numune üst yüzeyine kadar (h)) ve üçüncü olarak 20 cm (2h) suya koyularak 72 saat bekletilip çıkartıldıktan sonraki ağırlıklarındaki artış/azalış ile yüzde değişim oranı bulunmuştur.



Şekil 2.7. Yüksek sıcaklık sonrası numunelere su emdirilme



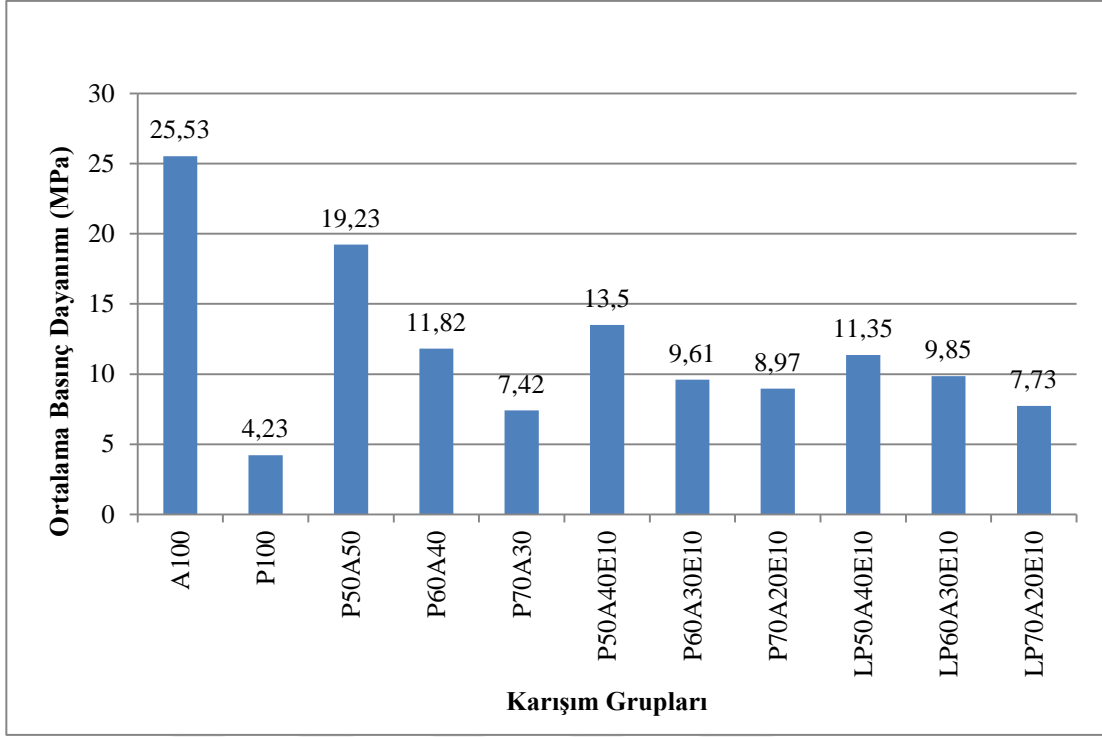
3. BULGULAR VE YORUMLANMASI

3.1. Basınç Dayanım Deneyi Bulguları

Beton numuneleri üzerinde yapılan 28 günlük kür uygulamasından sonra basınç dayanımı testlerinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde en düşük ortalama basınç dayanımı P100 (%100 Pomza), en yüksek basınç dayanımı ise A100 (%100 Agregası) olduğu görülmektedir. Burada daha hafif ve yüksek basınç dayanımlı betonlar elde edebilmek için belli oranlarda agrega, pomza ve EPS karıştırılarak elde ettiğimiz numuneler arasında basınç dayanımlarına bakıldığında ise en yüksek basınç dayanımı P50A50 (%50 pomza - %50 agrega), en düşük ise P70A30 (%70 pomza - %30 agrega) olduğu görülmektedir. EPS katılarak daha hafif betonlar elde edilmesi istenen betonların basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmüştür. Daha hafif betonların basınç dayanımlarını arttırmak için karışımlara lif katılarak elde ettiğimiz beton numunelere bakıldığında ise lifin EPS'li numunelere katkısı olmadığı görülmektedir. Betonların ortalama basınç dayanım sonuçları Tablo 3.1'de (Şekil 3.1.) görülmektedir.

Tablo 3.1. Betonların 28 günlük basınç dayanım sonuçları

Betonlar	Basınç Dayanımı (MPa)
A100	25.53
P100	4.23
P50A50	19.23
P60A40	11.82
P70A30	7.42
P50A40E10	13.5
P60A30E10	9.61
P70A20E10	8.97
LP50A40E10	11.35
LP60A30E10	9.85
LP70A20E10	7.73



Şekil 3.1. Betonların 28 günlük ortalama basınç dayanımı

3.2. İki Noktadan Yükleme Eğilme Dayanımı

Üretilen 11 farklı karışimli beton sınıflarına ait numuneler; bütün grupta değerlendirilmiş olup 10x10x30 cm ebatlarındaki numunelerin her grup ve her bir karışım için üç adet beton kullanıldı. Eğilme dayanımı deneyi numuneleri kür havuzunda 28 gün bekletilip çıkartıldıktan sonra laboratuvar ortamında 24 saat bekletilen numuneler iki noktadan yükleme eğilmede dayanımına tabii tutuldu. Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için ilgili TS EN 12390-5 Türk Standardı'na uygun olarak deney makinesinin tüm yükleme yüzeyleri temizlenip, numunenin silindirlerin temas edeceği yüzeylerindeki herhangi gevşek tane veya diğer fazlalık malzemeler alındıktan sonra deney numunesi makinaya tam merkezlenerek numune boyuna eksenine, üst ve alt yükleme silindirleri boyuna eksenine dik açı teşkil edecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.2.). Referans yükleme doğrultusunun, numunenin beton yerleştirme doğrultusuna dik olması sağlanıp, kırılmaya neden olan yük deney presinin göstergesinde okunan değer ve eğilme dayanımının (σ_c) hesaplanabilmesi için

$\sigma_e = \frac{M}{I} \times C$ formülü kullanılarak bulunan değerler Tablo 3.2’de görülmektedir (Şekil 3.3.).

Burada;

σ_e : Eğilme dayanımı, (N/mm²),

M: Maksimum moment (N.mm) ($M = \frac{PxL}{6}$)

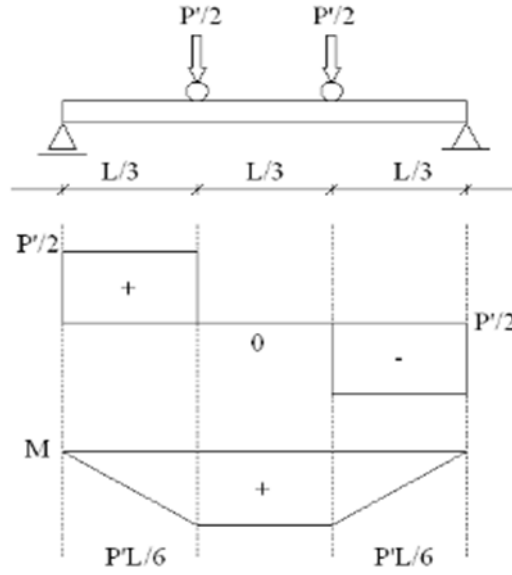
C: Tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık (mm) ($C = \frac{h}{2}$),

d: Kiriş kesitinin yüksekliği (mm),

b: Kiriş kesitinin eni (mm),

I: Atalet momentini ifade etmektedir (mm⁴) ($I = \frac{bxh^3}{12}$).

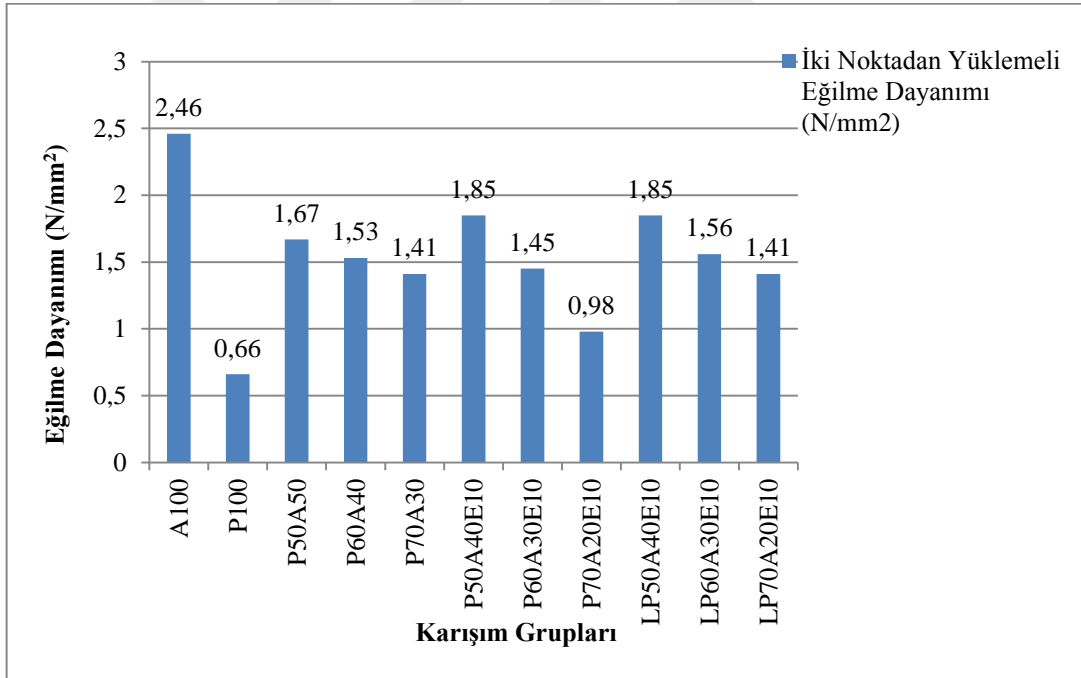
Bulunan bu değerlere bakıldığında en yüksek eğilme dayanımı 1. Grup (%100A), en düşük eğilme dayanımı ise 2. Grup (%100P) olduğu görülmektedir. Diğer gruplara bakıldığında ise aynı gruptaki karışımlarda pomza oranı arttıkça eğilme dayanımında düşme olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. İki noktadan yüklemeli eğilme deneyi [37]

Tablo 3.2. İki noktadan yüklemeli eğilme dayanımı sonuçları

Betonlar	Deney Presinde Okunan Değer (N)	İki Noktadan Yüklemeli Eğilme Dayanımı(N/mm ²)
A100	16460	2,46
P100	4410	0,66
P50A50	11160	1,67
P60A40	10170	1,53
P70A30	9370	1,41
P50A40E10	12300	1,85
P60A30E10	9650	1,45
P70A20E10	6520	0,98
LP50A40E10	12310	1,85
LP60A30E10	10390	1,56
LP70A20E10	9430	1,41



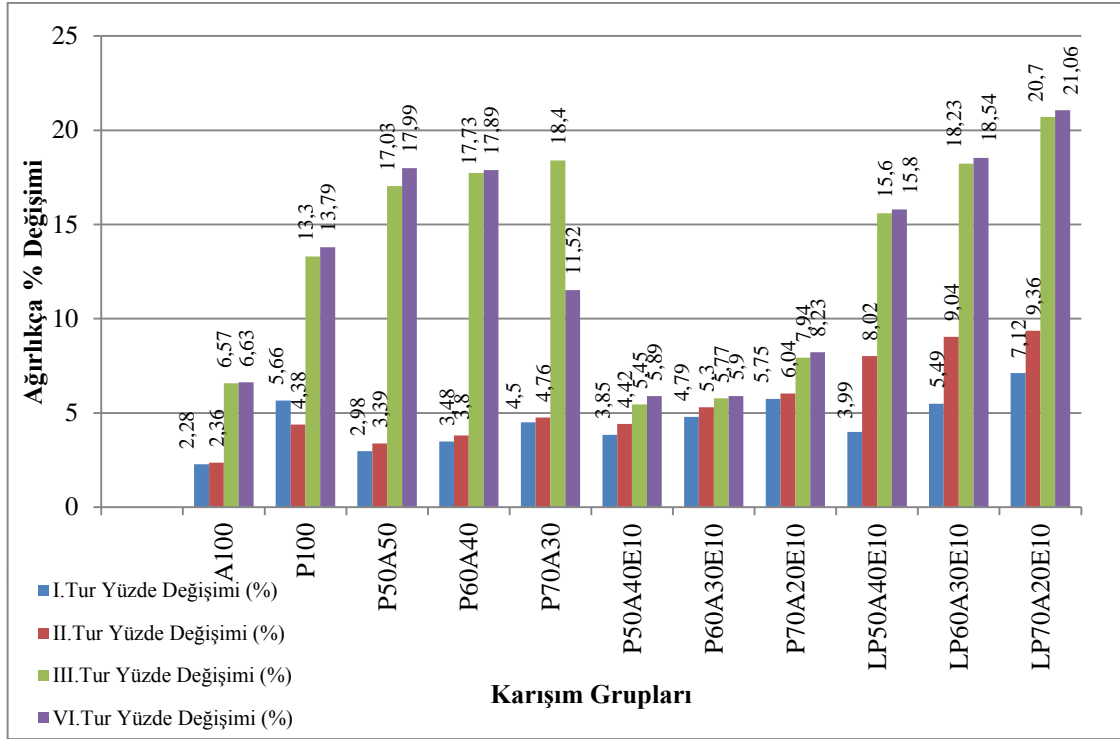
Şekil 3.3. İki noktadan yüklemeli eğilme dayanımı

3.3. Betonların Sıcaklık İle İlgili Fiziksel Özelliklerinin Tayini

Numunelerin 28 günlük kür uygulanmasından sonra DKY ağırlıkları tespit edilmiş olup dört farklı sıcaklık uygulanarak fiziksel değişimi tespit edilmiştir. Bu uygulamalarda ilk olarak 28 günlük külden sonra 7 gün bekletilerek ağırlık azalması tespit edilmiştir. İkinci tur ağırlık azalması ve yüzde tayini tespiti için 100°C sıcaklıkta, üçüncü tur ağırlık azalması ve yüzde tayini için 200°C sıcaklığa 72 saat maruz bırakılarak bulunmuştur. Son olarak 300°C sıcaklığa 1 saat maruz bırakılarak ağırlık azalması ve yüzde tayini bulunmuş olup bu değerler Tablo 3.3'te görülmektedir (Şekil 3.4). Tablo ve şekilde de görüldüğü gibi her numune grubuna uygulanan sıcaklık sonrası yüzde değişimlerinde artma görülmektedir. Yüzde değişimindeki en büyük artış 200 ve 300°C sıcaklık uygulamalarında görülmektedir. Birinci tur ve ikinci tur sıcaklık uygulamalarındaki yüzde değişimleri arasındaki fark bir birine yakın iken üçüncü ve dördüncü tur sıcaklık uygulamalarından sonra bu farkın en az iki katına çıktığı görülmüştür. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü tur ağırlık ve yüzde azalmasına ayrı ayrı bakıldığında aynı grup numunelerde (P50A50-P60A40-P70A30 gibi) kullanılan agrega miktarı azalıp pomza miktarı artan numunelerin ağırlık ve yüzde azalması arttığı görülmektedir. Bu da numunelerdeki pomza hacminin artmasından ve daha hafif bir özelliğe sahip olmasından dolayı yorumlanabilir.

Tablo 3.3. Betonların sıcaklık ile ilgili fiziksel özellikleri

Betonlar	28.Gün Sonu DKY Ağırlığı (gr)	168 Saat 20±3°C Lab. Hava KA (gr)	I. Tur Ağırlık Azalması (gr)	I. Tur Yüzde Değişimi (%)	100°C-72 Saat Lab. Hava KA (gr)	II. Tur Ağırlık Azalması (gr)	II. Tur Yüzde Değişimi (%)	200°C-72 Saat Lab. Hava KA (gr)	III. Tur Ağırlık Azalması (gr)	III. Tur Yüzde Değişimi (%)	300°C- 1 Saat Lab. Hava KA (gr)	IV. Tur Ağırlık Azalması (gr)	IV. Tur Yüzde Değişimi (%)
	A	B	(A-B)	(A-B)/B	C	(B-C)	(B-C)/B	D	(B-D)	(B-D)/B	E	(B-E)	(B-E)/B
A100	6895	6741	154	2.28	6582	159	2.36	6298	443	6.57	6294	447	6.63
P100	2819	2668	151	5.66	2551	117	4.38	2313	355	13.30	2300	368	13.79
P50A50	5530	5370	160	2.98	5188	182	3.39	4455	915	17.03	4404	966	17.99
P60A40	5129	4995	174	3.48	4805	190	3.80	4109	886	17.73	4101	894	17.89
P70A30	4316	4130	186	4.50	3933	197	4.76	3370	760	18.40	3654	476	11.52
P50A40E10	5254	5059	195	3.85	4835	224	4.42	4783	276	5.45	4761	298	5.89
P60A30E10	4703	4488	215	4.79	4250	238	5.3	4229	329	5.77	4223	265	5.90
P70A20E10	4251	4020	231	5.75	3757	243	6.04	3701	319	7.94	3689	331	8.23
LP50A40E10	5053	4859	194	3.99	4498	361	8.02	4101	758	15.60	4091	768	15.80
LP60A30E10	4745	4498	247	5.49	4125	373	9.04	3678	820	18.23	3664	834	18.54
LP70A20E10	4347	4058	289	7.12	3678	380	9.36	3218	840	20.70	3203	855	21.06



Şekil 3.4. Betonların sıcaklık ile ilgili yüzde değişimi

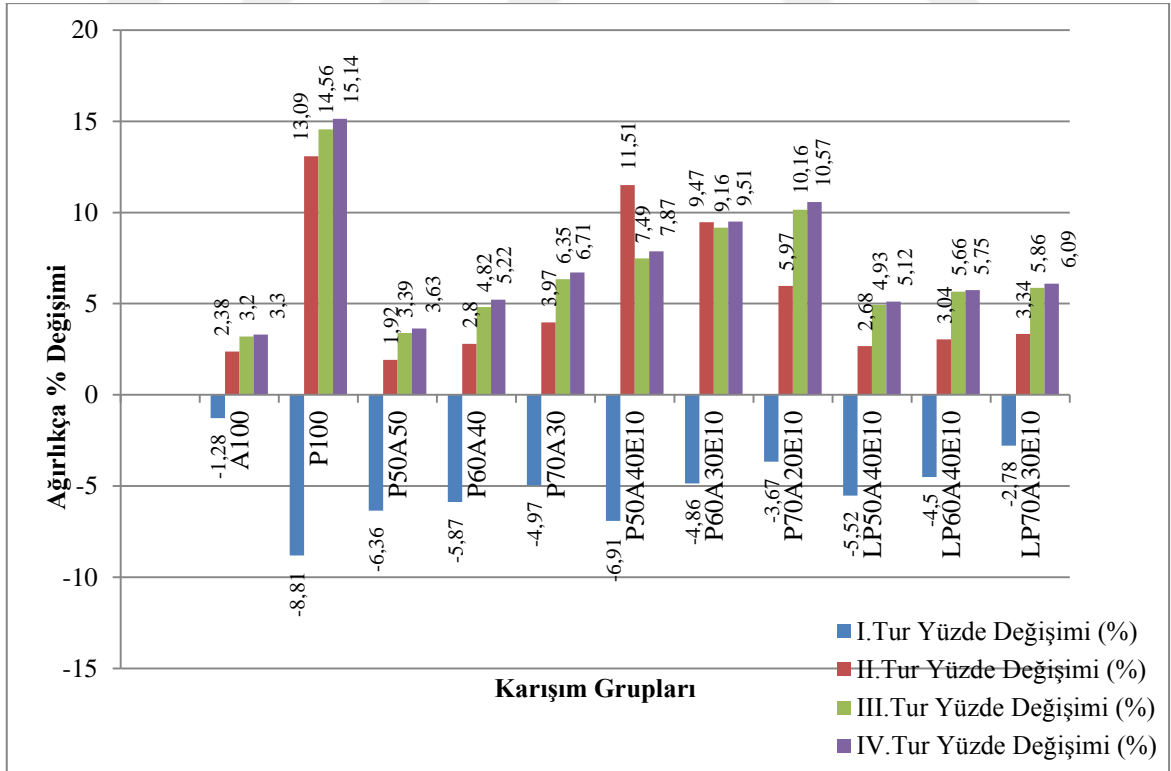
3.4. Su Emme Yüzdesi Tayini

Betonun su geçirirliliği, içindeki boşluk oranına bağlıdır. Katı cisim olmalarına rağmen yapı malzemeleri, içyapılarında gözle görülebilen veya görülemeyen boşluklara sahiptirler. Büyüklü küçüklü, sürekli veya süreksiz olabilen bu boşlukların betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilediği bilinmektedir. Deney kapsamında yer alan betonlara dört farklı su emdirilme tayini uygulandı. Birinci su emme numuneler 28 gün kür uygulamasından sonra laboratuvar ortamında 7 gün bekletildikten sonra ağırlık azalmasına bakıldığında en fazla ağırlık azalması P100 (%8.81), en az ağırlık azalması ise A100 (%1.28) olarak görülmektedir. İkinci su emme tayininde numunelerin üst yüzüne 5cm (h/2) su kaplayacak şekilde 72 saat bekletilen numunelerde en fazla ağırlık artışı P100 (%13.09), en az ise P50A50 (%1.92) olarak görülmektedir. Üçüncü su emme tayininde üst yüzüne 10cm (h) su gelecek şekilde 72 saat bekletilen numuneler de en fazla ağırlık artışı yine P100 (%14.56) ve en az ağırlık artışı A100 (%3.20) olarak görülmektedir. Son olarak numune üst yüzünü 20 cm (2h) kaplayacak şekilde 72 saat bekletilen numuneler de ise yine en fazla ağırlık artışı P100 (%15.14) ve en az ağırlık artışı ise A100 (%3.30) olarak görülmektedir. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi pomza agregaya göre boşluk oranı daha fazla olduğundan dolayı daha fazla suyu hapsediği için en fazla ağırlık artışı %100 pomzalı numunede görülmektedir. Pomza + agregaya karışımli numuneler ile pomza + agregaya + EPS karışımli numuneler karşılaştırıldığında ise EPS'li karışımlar EPS'siz

karışımlardan yaklaşık olarak %100 daha fazla su hapsetmiş olduğu görülmektedir. Lifli karışımlar ise lifsiz karışımlara göre daha az su hapsettiği Tablo 3.4'te görülmektedir (Şekil 3.5.).

Tablo 3.4. Betonların su emme ile ilgili fiziksel özellikleri

Betonlar	28 Gün Sonu DKY Ağırlığı (gr)	168 Saat 20±3°C Lab. Hava KA (gr)	I. Tur Ağırlık Azalışı (gr)	I. Tur Yüzde Değişimi (%)	5cm-72 Saat Su Ağırlığı (gr)	II. Tur Ağırlık Artışı (gr)	II. Tur Yüzde Değişimi (%)	10cm-72 Saat Su Ağırlığı (gr)	III. Tur Ağırlık Artışı (gr)	III. Tur Yüzde Değişimi (%)	20cm-72 Saat Su Ağırlığı (gr)	IV. Tur Ağırlık Artışı (gr)	IV. Tur Yüzde Değişimi (%)
	A	B	(A-B)	(A-B)/B	C	(C-B)	(C-B)/B	D	(D-B)	(D-B)/B	E	(E-B)	(E-B)/B
A100	6720	6635	-85	-1.28	6793	158	2.38	6847	212	3.20	6854	219	3.30
P100	3026	2781	-245	-8.81	3145	364	13.09	3186	405	14.56	3202	421	15.14
P50A50	5773	5428	-345	-6.36	5532	104	1.92	5612	184	3.39	5625	197	3.63
P60A40	5111	4826	-285	-5.87	4961	135	2.80	5236	241	4.82	5078	252	5.22
P70A30	4330	4126	-205	-4.97	4290	164	3.97	4388	262	6.35	4403	277	6.71
P50A40E10	5339	4994	-345	-6.91	5569	575	11.51	5368	374	7.49	5387	393	7.87
P60A30E10	4684	4467	-217	-4.86	4990	423	9.47	4058	409	9.16	4892	425	9.51
P70A20E10	4272	4121	-150	-3.67	4368	246	5.97	4541	419	10.16	4558	436	10.57
LP50A40E10	4967	4707	-260	-5.52	4833	126	2.68	4939	232	4.93	4948	241	5.12
LP60A40E10	4595	4397	-198	-4.50	4531	134	3.04	4646	249	5.66	4660	253	5.75
LP70A30E10	4557	4430	-123	-2.78	4578	148	3.34	4690	260	5.86	4700	270	6.09



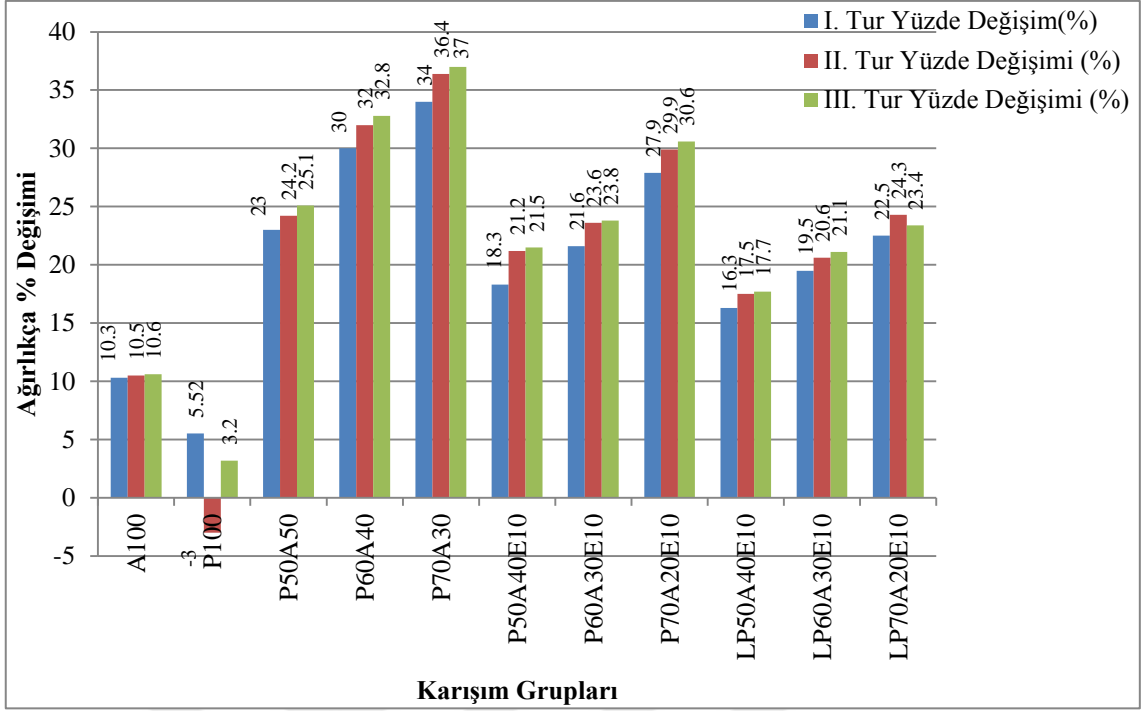
Şekil 3.5. Betonların su emmeyle ilgili yüzde değişimi

3.5. Yüksek Sıcaklık Sonrası Su Emdirilme İle İlgili Bulgular

28 günlük numunelerin 300°C sıcaklığa 1 saat süresince maruz bırakılıp 2 saat laboratuvar ortamında dinlendirildikten sonraki ağırlıkları tespit edilmiş olup tablodaki gibidir. Üç farklı su emdirilme işlemine tabi tutulan numuneler için ilk olarak numuneler 5 cm (h/2) kadar suya daldırılarak 72 saat bekletildikten sonra birinci tur ağırlık artışı-azalışı ve yüzde değişimi bulunmuş oldu. İkinci olarak numuneler üst yüzeyine (h) kadar suya daldırılmış olup ve üçüncü olarak numuneler 2h kadar suya daldırılıp 72 saat bekletildikten sonra ağırlık artışları-azalışı ve yüzde değişimleri bulunmuş oldu. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde %100 pomzalı (P100) numunede üç uygulama için de ağırlık ve yüzde değişimlerinde azalma görülmüştür. Diğer numune gruplarında ise artış görülmektedir. A100 (%100 Agregalı) numunesine bakıldığında üç uygulamada da ağırlık artışı ve yüzde değişimi yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Pomzalı ve pomza + EPS'li gruplar kıyaslandığında pomzalı grupların EPS'li gruplara göre ağırlık artışı ve yüzde değişimi daha fazla olduğu görülmektedir. Lif+EPS'li grupların ise EPS'li gruplara göre ağırlık artışı ve yüzde değişimi daha az olduğu Tablo 3.5'te görülmektedir (Şekil 3.6.). Buradan elde edilen sonuçlara göre Lif + EPS'li karışımların EPS'li gruplara göre, EPS'li grupların da EPS'siz gruplara göre daha az su emdiği görülmektedir.

Tablo 3.5. Betonların 300 °C sıcaklık sonrası su emme ile ilgili fiziksel özellikleri

Betonlar	300 °C Sonrası Ağırlığı (gr)	72 Saat Su Ağırlığı (gr) 5cm (h/2)	I. Tur Ağırlık Artışı-Azalışı (gr)	I. Tur Yüzde Değişimi (%)	72 Saat Su Ağırlığı (gr) 10cm (h)	II. Tur Ağırlık Artışı-Azalışı (gr)	II. Tur Yüzde Değişimi (%)	72 Saat Su Ağırlığı (gr) 20cm(2h)	III. Tur Ağırlık Artışı-Azalışı (gr)	III. Tur Yüzde Değişimi (%)
	A	B	(A-B)	(B-A)/A	C	(C-A)	(C-A)/A	D	(D-A)	(D-A)/A
A100	6318	6965	647	+10.3	6984	666	+10.5	6986	668	+10.6
P100	3333	3149	-184	-5.52	3234	-99	-3.0	3226	-107	-3.2
P50A50	4132	5082	950	+23	5142	1010	+24.2	5169	1037	+25.1
P60A40	3680	4785	1105	+30	4858	1178	+32.0	4886	1206	+32.8
P70A30	3319	4448	1129	+34	4528	1209	+36.4	4548	1229	+37.0
P50A40E10	4415	5224	809	+18.3	5350	935	+21.2	5364	949	+21.5
P60A30E10	3931	4790	849	+21.6	4860	929	+23.6	4865	934	+23.8
P70A20E10	3381	4323	942	+27.9	4392	1011	+29.9	4417	1036	+30.6
LP50A40E10	4850	5639	786	+16.3	5697	847	+17.5	5712	862	+17.7
LP60A30E10	4478	5352	874	+19.5	5400	900	+20.6	5422	944	+21.1
LP70A20E10	3709	4542	833	+22.5	4609	900	+24.3	4577	868	+23.4



Şekil 3.6. Betonların 300°C sıcaklık sonrası su emme yüzde değişimi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bitlis-Ahlat yöresi pomza malzemesi kullanılarak üretilen hafif betonların bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Bilindiği üzere normal betonların birim ağırlıkları 2.4 ton/m³ civarındadır. Bu değer binaların zati yüklerini önemli derecede artırmaktadır. Binanın zati yükünün azaltılmasıyla bina zemin etkileşimi açısından ortaya çıkabilecek birçok olumsuzluklar giderilebilir.

Pomzanın hafif beton üretiminde kullanılmasında çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ülkemiz pomza malzemesi itibarı ile zengin bir ülke olarak görülebilir. Dünyada yaklaşık olarak 18 milyar ton pomza bulunmaktadır. Bunun 2.8 milyar tonu Türkiye'dedir. Buna göre ülkemizin pomza rezervi dünya pomza rezervinin yaklaşık %15'ine sahiptir. Dünyanın en büyük pomza rezervi Amerika'dadır. Ülkemizdeki pomza rezervinin yaklaşık %44.8'i Bitlis ilimizde bulunmaktadır [38].

Binaları hafifletme, yeni kompozit malzeme geliştirme ve özellikle ısı, ses ve yangın yalıtımı açısından yeni ürünler geliştirme arayışları pomzanın yapı malzemesi olarak kullanım değerini arttırmıştır.

Pomza malzemesi ile daha hafif betonlar üretebilmek amacıyla ve bu betonların bazı mekanik özelliklerini ortaya koyma amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 11 farklı içerikli betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlarda elde edilen sonuçlar kontrol betonu sonuçlarıyla karşılaştırılarak olumlu veya olumsuz mekanik özellikleri üzerine değerlendirilmelerde bulunulmuştur. Değerlendirmeler beş ana grupta yapılmıştır. Birinci grupta kontrol betonu (%100 kırma taş agrega), ikinci grup kontrol betonu (%100 pomza), üçüncü grupta kırma taş + pomza katkılı betonlar, dördüncü grupta kırma taş+ pomza + EPS li gruplar, beşinci grupta kırma taş+ pomza + EPS + lif li betonlar üretilmiştir.

Bütün deney gruplarında dozaj 400 kg/m³'le sabit tutulmuştur. Ayrıca EPS'li betonlarda hacim sabit ağırlık değişken durumu esas alınmıştır. Deneyler için 10x10x30 cm'lik numuneler üretilmiştir. Bu numune gruplarından birinci (%100 Agrega) grup betonlarda kübik basınç dayanımını 25-30 MPa'ın arasında değerler elde edilirken ikinci grup (%100 pomza) betonların kübik basınç dayanımı 4-5 MPa arasındadır. Elde edilen sonuçlara göre birinci grup betonlar ikinci grup betonlara göre altı kat daha yüksek basınç dayanımı davranışı olmaktadır. Diğer grup betonlarda pomza ve EPS miktarı arttıkça basınç dayanımında önemli düşüşler gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan hareketle hafif agrega içeren betonlarda çimento dozaj miktarının artırılması yoluna gidilebilir.

En iyi iki noktadan yüklemeli eğilme davranışı birinci grupta (%100 Agregası) olduğu görülmüş, en düşük eğilme davranışı ise ikinci grupta (%100 Pomza) olduğu gözlemlenmiştir. Üçüncü grup (Agregası+Pomza) ile dördüncü grup (Agregası+Pomza+EPS) betonlar bir birine benzer davranışlar sergilerken, EPS ilavesi durumunda ise iki noktadan yüklemeli eğilme davranışında düşüşler görülmüştür. Hafif betonlara lif ilavesi durumunda eğilme davranışı dayanımında nispi bir iyileşmenin olduğu söylenebilir.

Kırma taş içeren betonlarda sıcaklık değişiminde bir kararlılık gözlemlenirken; pomza ve EPS ilevesinde bu kararlılık kaybolmaktadır. Yani betonların ağırlık yüzde değişiminde artışlar olmaktadır. Bunun nedeni pomza ve EPS'li betonların bünyesinde var olan suyun sıcaklık etkisi ile bünyeden buharlaşması şeklinde açıklanabilir.

Deneylere tabi tutulan betonlarda en fazla su emme ikinci grup (%100 pomzalı) betonlarda gözlemlenmiştir. İkinci sırada en fazla su emme dördüncü grup (Agregası+Pomza+EPS) betonlarda olmuştur.

Sonuç olarak; pomza ve EPS kullanımıyla betonların birim ağırlıklarında önemli bir düşüş olurken; basınç dayanımı, su emme ve yüksek sıcaklık karşısındaki davranışlarında bir olumsuzluk söz konusudur. Bu olumsuzlukları bertaraf etmek için daha yüksek dozlu çimentolu hafif betonların üretilmesi daha rasyonel sonuçların elde edilmesine neden olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, M., (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [2] Güngör, E., (2013). Karma Lifli Betonların Özelliklerinin Deneysel İrdelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [3] Aktaş, B., (2007). Çelik Lifli Hafif Beton İle İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kayseri: Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [4] Demirboğa, R., (1999). Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza İle Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi (Doktora Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [5] Yaltay, N., (2015). Kolemanit Katkılı Çimento İle Üretilen Pomza Agregalı Hafif Betonun Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması (Doktora Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı.
- [6] Türkmen, İ., (1997). Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [7] Bideci, Ö., (2013). Bor Kaplı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Edirne: Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Sağın, S. Demir, İ., (2018). Pomza İle Üretilen Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon. (<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11154.pdf>) (Erişim Tarihi:13.03.2018)
- [9] Serin, G., (1999). Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elamanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Ekinci, C.E., (2008). Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, Ankara: Data Yayınları.
- [11] Ulusu, İ., (2007). Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilirliğinin Araştırılması. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [12] Sönmez, R. Demir, M. ve Ekim, H., (2018). Stiropor Hafif Agregalı Beton. <https://docplayer.biz.tr/90088063-Stiropor-hafif-agregali-beton.html>. (Erişim Tarihi:20.04.2018)
- [13] Turker, S. Balanlı, A., (1992). Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [14] Arazsu, U., (2012). Polipropilen Lifli Betonların Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri. (Yüksek Lisans Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15] Osman, Ü. Tayfun, U. Osman, G., (2007). Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. Mühendislik Bilimleri Dergisi. Sayı: 1. Cilt: 13. Sayfa: 23-30.
- [16] Varol, K. ,Fahri, B., Lifli Betonda Boyut Etkisi Tokluk ve Kırılma Enerjisi. SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimleri Dergisi. Cilt: 4, Sayı: 3, Sayfa: 24-44.
- [17] Bingöl, A.F. Gül, R., (2009). Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme. TUBAV Bilim Dergisi. Cilt: 2, Sayı: 2, Sayfa: 211-230
- [18] Demirel, B., Keleştemur, O., (2011). Yüksek Sıcaklığa Maruz Pomza ve Silis Dumanı Katkılı Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Kür Yaşının Etkisi. Cilt: 7, Sayı:1, Sayfa: 1-13
- [19] Binici, H. Temiz, H. Sevinç, A.H. Eken, M. Kara, M. Şahir, Z., (2013).Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. Cilt: 9, No: 1, Sayfa:1-15
- [20] Şahin, R., (1996). Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi).Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
- [21] Dikici, T., (2010) Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı
- [22] Sönmezoğlu, C., (2005), Hafif Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Kür Şartlarının Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yapı Eğitimi Anabilim Dalı /Elazığ
- [23] Gündüz, L., Rota, A. ve Hüseyin, A. (2001). Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. Dördüncü Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 118, İzmir, Türkiye.
- [24] Köse, H., Pamukçu, N., Yalçın, N., Seçer, T.,(1997). Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 16-17 Ekim İzmir, Türkiye.
- [25] Bilal, F., Yangın ve Beton. İzolasyon Dünyası, 60, S:70-72. (200). Teknik Makale 75. Sayı.

- [26] Ersoy, U., (1985). Betonarme. Evrim Yayınevi.
- [27] Uygunođlu, T., (2008). Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [28] Neville, A.M., (1995). Properties of Concrete, Addison Wesley Longman Limited.
- [29] Kocataşkın, F., (1981). Betonun Dün, Bugünü Yarını, 2. Ulusal beton Kongresi Yüksek Dayanımlı Beton, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, S:23-42
- [30] Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uđur, İ. ve Çankıran, O., (1998). Pomza teknolojisi (İnşaat Sektöründe Pomza), Cilt II, Temmuz 1998, Isparta.
- [31] Neville, A. M., Properties Of Concrete , Pitman Publishing, PP. 606, 607 London 1975
- [32] Urhan, S., Hafif ve Çok Hafif Betonların Karakteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı:370, Ankara, 1994.
- [33] Açıkgenç, M., Arazsu, U., Alyamaç, K.E. (2012) Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri, SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler, Cilt.4, Sayı:3, 2012, Elazığ.
- [34] TS EN 12390-3, (2003). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3:Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü
- [35] TS EN 12390- 5, (2002). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü
- [36] TS 3624, (1981). Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [37] Özden, A.V., (2010). Betonun Basınç Ve Çekme Dayanımı İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma (Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [38] Elmastaş, N., (2012). Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı). Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi. 5(23), 197-206.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ-Maden ilçesinde doğdu. İlk ve Orta Öğrenimini Maden, Lise Öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü'nü 2005 yılında bitirdi. 2005-2013 yılları arasında çeşitli özel sektör kurumlarında çalıştı. 2013 yılında Mühendislik Tamamlama Programı ile Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girerek 2014 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2014 Şubat döneminde Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansa başladı. 2015 yılından beri UBM'de (Uluslararası Birleşmiş Müşavirler Müşavirlik Hizmetleri A.Ş.) Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

