

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



PERLİT VE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN YAPILARDA
KULLANIMININ ENERJİ VERİMLİLİĞİ
AÇISINDAN İNCELENMESİ

Kübra PAŞAOĞLU GÜL

Yüksek Lisans Tezi

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİSAN, 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

PERLİT VE GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN YAPILARDA
KULLANIMININ
ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Tez Yazarı
Kübra PAŞAOĞLU GÜL

Danışman
Prof. Dr. Filiz KAR

NİSAN, 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Perlit Ve Genleştirilmiş Perlitin Yapılarda Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi
Yazarı:	Kübra PAŞAOĞLU GÜL
İlk Teslim Tarihi:	5.4.2021
Savunma Tarihi:	6.5.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

	<i>İmza</i>	
Danışman:	Prof. Dr. Filiz KAR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Melek YILGIN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Ayşe BİÇER Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Perlit Ve Genleştirilmiş Perlitin Yapılarda Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

ELAZIĞ, 2021

Kübra PAŞAOĞLU GÜL



ÖNSÖZ

Hafif agregaların hafif beton üretiminde değerlendirilmesinin yapının deprem yükünün azaltılması yenilenmeyen doğal kaynakların korunması ve enerjinin korunması gibi açılardan oldukça avantajlı olacağı düşünülmektedir. Ve bu çalışmada, enerji verimliliğinin bir bütün olduğu ve pek çok sektörü kapsadığı düşüncesinden hareketle, enerjinin verimli kullanılabileceği belli başlı alanlardan olan bina sektörü incelenmiştir.

Bu çalışmada perlit ve genleştirilmiş perlit hafif harç üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırılacaktır. Deneylerin sadece iki farklı perlit agregaların kullanıldığı ve kum agreganın birlikte kullanıldığı iki grup harç numuneler üzerinde yürütülmesi planlanmaktadır. Ayrıca su oranını düşürmek için akışkanlaştırıcı kullanılarak harçlar hazırlanarak akışkanlaştırıcı oranının su oranı nasıl etkilendiği incelenecektir.

Bu araştırmanın planlanmasında ve yürütülmesinde, çalışmalarım süresince benden destek ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve hoşgörülerinden yararlandığım çok kıymetli Hocam Sayın Prof. Dr. Filiz KAR'a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Analizlerin yapımında yardımlarını gördüğüm F.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı personeline,

Benden hiçbir zaman destek ve ilgisini esirgemeyen bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme, özellikle anneme çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF. 19. 07 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir

Kübra PAŞAOĞLU GÜL

ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
1. Giriş	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Beton	3
2.1.1. Normal Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	5
2.2. Hafif Beton.....	5
2.2.1. Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	6
2.2.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması	6
2.2.3. Hafif Betonların Üretimi ve Kullanım Alanları	6
2.2.4. Hafif Beton Türleri	10
2.2.5. Beton Katkı Maddeleri	11
2.2.6. Hafif Betonun Önemi ve Geleceği	12
2.3. Perlit.....	13
2.3.1. Ham Perlit	16
2.3.2. Perlitin Minerolojik Kompozisyonu	17
2.4. Genleştirilmiş perlit.....	17
2.4.1. Genleştirilmiş Perlitin Kullanım Alanları.....	18
2.5. Dünyada Perlitin Mevcut Durumu	19
2.6. İthalat ve İhracat.....	20
2.7. Türkiye’de Perlit Durumu	20
2.8. Enerjide Verimlilik	22
2.8.1. Binalarda enerji verimliliği;.....	23
2.8.2. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825).....	23
2.8.3. Binalarda Enerji performansı:	24
2.8.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	26
2.8.5. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik	27
2.9. Konu ile İlgili Çalışmalar	28

3. MATERYAL METOT.....	31
3.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri	31
3.1.1. Çimento	31
3.1.2. Kum (ince agrega)	32
3.1.3. Perlit ve Genleştirilmiş Perlit	33
3.1.4. Karışım ve bakım suyu	33
3.2. Harç Karışım Oranları ve Numune Hazırlama	33
3.3. Beton Numunelerine Uygulanan Testler	37
3.3.1. Birim Ağırlık Deneyi	37
3.2.2. Basınç ve Çekme Dayanımı Deneyi	37
3.3.3. Yarmada-çekme dayanımı tayini	38
3.3.4. Su Emme ve Kuruma Hızları Deneyi	39
3.3.5. Isı İletim Katsayısı Deneyi	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1. Kuru Birim Ağırlık	41
4.2. Isı İletim Katsayısı	42
4.3. Basınç Dayanımı	44
4.4. Yarmada Çekme Dayanımı	46
4.5. Su emme Oranı	47
4.6. Kurutma Oranı	50
5. SONUÇLAR	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Yapılarda Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi

Kübra PAŞAOĞLU GÜL

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Mayıs 2021, Sayfa xi+61

Bu çalışmanın temel amacı, genleşmiş perlitin hafif betonun mekanik özellikleri ve ısı iletkenliği üzerindeki etkileri hakkında daha fazla veri sağlamaktır. Deney programında, doğal agreganın kısmen genleşmiş perlit ile değiştirilmesiyle karışımlar hazırlanmış ve neticede taze haldeki hafif betonların birim ağırlıkları 800 ile 2300 kg/m³ arasında değişmektedir. Tüm karışımlarda su / çimento oranı sabit tutulmuştur. Karışımların basınç dayanımı, su emme ve kuruma oranları belirlendi. Örneklerin ısı iletkenliği de belirlendi. Test sonuçları, perlit ve genleşmiş perlit içeriğinin artmasıyla basınç dayanımının azaldığını göstermektedir. Su emme ve kuruma oranı ise daha yüksek perlit içerikleriyle artmaktadır. Test sonuçları, ısı iletkenliğin perlit kullanımıyla önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş perlit agregası, Basınç dayanımı, Isı iletkenlik, Hafif beton

ABSTRACT

Investigation of the Use of Perlite and Expanded Perlite in Buildings from the perspective of Energy Efficiency

Kübra PAŞAOĞLU GÜL

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering
May 2021, Page xi+61

The main objective of this study is to provide more data on the effects of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. In the experimental program, mixtures were prepared by partially replacing natural aggregate by expanded perlite and as a result, unit weights of lightweight concretes in fresh state varied between 700 and 2000 kg/m³. Water to cement ratio was kept constant in all mixtures. Compressive strength, water absorption and drying ratio of the mixtures were determined. Thermal conductivity of the specimens was also obtained. Test results show that the compressive strength decreases with increasing in perlite and expanded perlite contents. Water absorption and drying ratio, however, increase with the higher perlite contents. The test results indicate that the thermal conductivity is substantially improved with the use of perlite.

Keywords: Expanded perlite aggregate, Compressive strength, Thermal conductivity, Lightweight concrete

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1.	Kum (ince agreganın) elek analizi sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	32
Şekil 3.2.	Numune hazırlamada kullanılan maddelerin hazırlık aşaması.....	33
Şekil 3.3.	Kalıplara dökülen harç numuneleri.....	34
Şekil 3.4.	Kalıplardan çıkarılmış numune betonlar.....	37
Şekil 3.5.	Basınç ve çekme dayanımı deney düzeneği.....	38
Şekil 3.6.	Isı iletim katsayısı ölçümü alınan beton numune.....	40
Şekil 4.1.	Çimento/perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde yoğunluğun perlit oranı ile değişimi.....	41
Şekil 4.2.	Çimento/genleştirilmiş perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde yoğunluğun genleştirilmiş perlit oranı ile değişimi.....	42
Şekil 4.3.	Çimento/perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde ısı iletim katsayısının perlit oranı ile değişimi.....	43
Şekil 4.4.	Çimento/genleştirilmiş perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde ısı iletim katsayısının genleştirilmiş perlit oranı ile değişimi.....	44
Şekil 4.5.	Beton numunelerde bulunan perlit oranının basınç dayanımı üzerindeki etkisi.....	45
Şekil 4.6.	Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının basınç dayanımı üzerindeki etkisi.....	46
Şekil 4.7.	Beton numunelerde bulunan perlit oranının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi.....	47
Şekil 4.8.	Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi.....	47
Şekil 4.9.	Beton numunelerde bulunan perlit oranının su emme oranı üzerindeki etkisi.....	48
Şekil 4.10.	Beton numunelerin su içerisinde kalma süresine bağlı olarak ağırlık değişimi.....	49
Şekil 4.11.	Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının su emme oranı üzerindeki etkisi.....	49
Şekil 4.12.	Beton numunelerin su içerisinde kalma süresine bağlı olarak ağırlık değişimi.....	50
Şekil 4.13.	Beton numunelerde bulunan perlit oranının 48 saat süren kuruma oranının üzerindeki etkisi.....	51
Şekil 4.14.	Kurumaya bağlı olarak perlit içeren beton numunelerin zamanla ağırlık değişimi.....	52
Şekil 4.15.	Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının 48 saat süren kuruma oranının üzerindeki etkisi.....	51
Şekil 4.16.	Kurumaya bağlı olarak genleştirilmiş perlit içeren beton numunelerin zamanla ağırlık değişimi.....	53

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.	Ham perlit ve genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri.....	13
Tablo 2.2.	Perlitin kimyasal analizi.....	14
Tablo 2.3.	Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri.....	17
Tablo 2.4.	Genleştirilmiş perlitin inşaat sektöründeki kullanım alanları.....	18
Tablo 2.5.	Genleştirilmiş perlitin sanayi sektöründeki kullanım alanları.....	19
Tablo 2.6.	Türkiye perlit rezervleri(1000 ton)	21
Tablo 3.1.	Çimentonun temel fiziksel ve kimyasal özellikleri	31
Tablo 3.2.	Kum (ince agreganın) elek analiz değerleri	32
Tablo 3.3.	Deneylelerde kullanılan perlit içetikli beton numuneler.....	35
Tablo 3.4.	Deneylelerde kullanılan genleştirilmiş perlit içetikli beton numuneler	36

1. GİRİŞ

Yapı sektörü ve yapı teknolojilerinden en çok kullanılan taşıyıcı eleman olarak malzeme betondur. Beton; bileşenleri olan çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda karışımlarından oluşmaktadır. Kullanım amacına göre birçok tiplerde beton elde etmek olasıdır. Betonu oluşturan ham maddeler doğada çok formda bulunurlar. Ucuz olması ve kolay şekil verilmesinin yanı sıra dış etkenlere karşı dayanıklı olması bakımından beton yaygın kullanılan yapı malzemesidir [1].

Teknolojinin ilerlemesiyle beraber beton endüstrisinde de ilerlemeler olmuş ve beton üretimindeki bu yenilikler beton teknolojisine özel betonlar adı oluşturulmuştur. Özel betonlar, kullanım amaçlarına göre farklı beklentileri karşılamak için elde edilen betonlardır [2,3].

Çimento ve beton endüstrisi, literatürde tamamlayıcı çimentolu malzemeler olarak bilinen ve fosil yakıt yanmasının yan ürünleri olan çeşitli malzemeleri kullanır: silisli ve kalkerli uçucu küller, çelik endüstrisi esas olarak granüllemiş yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğunun yanmasından kaynaklanan uçucu kül kullanılır. Öğütülmüş kireçtaşı, silis dumanı, nano-silika ve endüstriyel puzolan gibi diğer malzemeler de kullanılmaktadır. Son zamanlarda, atık cam giderek daha fazla ilgi görmektedir. Tamamlayıcı çimentolu malzemelerin kullanımı, çimento esaslı malzemeler alanındaki gelişimi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Tamamlayıcı çimentolu malzemeler de betonun özelliklerini hem taze hem de sertleşmiş durumda değiştirmesini sağlamaktadır. Dayanıklılık konuları en önemlilerinden biri olarak düşünülebilirken, diğer yandan tamamlayıcı çimentolu malzemelerin çevre üzerinde muazzam bir etkisi vardır. Kullanımları sayesinde özel uygulamalar için yüksek kaliteli betonlar üretmek mümkündür. Sürdürülebilir kalkınma stratejisi açısından bu tür malzemelerin kullanımı, yalnızca atık malzemelerin kullanımı nedeniyle değil, aynı zamanda Portland klinker tüketimindeki azalmadan da kaynaklanmaktadır. Çimento endüstrisi, kireçtaşının kalsinasyon süreci ve fırında yakıtların yanması nedeniyle küresel antropojenik CO₂ emisyonlarına yaklaşık %5 oranında katkıda bulunmaktadır. Yüksek tamamlayıcı çimento malzemelerinin kullanılması CO₂ emisyonlarını azaltmak için en pratik ve ekonomik yöntemdir ve bu beton alanında uygulanabilir. Mineral katkı maddeleri havuzunun genişletilmesiyle, diğer endüstriyel yan ürünlere dikkat çekilmiştir. Çimento esaslı kompozitlerin dayanıklılığı, bunların uygulanabilirliğini, görünümünü ve tasarımını etkileyen hayati bir özelliktir. Çimento macununun geçirgenliği, gözenek yapısı ve faz bileşimi tarafından belirlenen korozif ortamdaki dayanıklılığı etkileyen çok önemli bir faktördür

Hafif agregaların hafif beton üretiminde değerlendirilmesinin yapının deprem yükünün azaltılması, yenilenmeyen doğal kaynakların korunması ve enerjinin korunması gibi açılardan oldukça avantajlı olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, enerji verimliliğinin bir bütün olduğu ve

pek çok sektöru kapsadığı düşüncesinden hareketle, enerjinin verimli kullanılabileceği belli başı alanlardan olan bina sektöru incelenmiştir.

Bu çalışmada perlit ve geniştirilmiş perlit hafif harç üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini araştırıldı. Deneylerin sadece iki farklı perlit agregaların kullanıldığı ve kum agreganın birlikte kullanıldığı iki grup harç numuneler üzerinde yürütölmesi planlandı. Ayrıca su oranını düşürmek için akışkanlaştırıcı kullanılarak harçlar hazırlanarak akışkanlaştırıcı oranının su oranı nasıl etkilediği incelendi.



2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde çalışmanın kapsamı içinde olan ham madde ve ürünler hakkında genel bilgiler verilecektir.

2.1. Beton

Antik çağdan bu zamana volkanik patlamalar sonucunda tüf, pomza (sünger taşı), cüruf gibi tabii agregalar harç ve hafif beton üretiminde kullanılmıştır. Sümerler ve Babiller M.Ö 3000’li yıllarında yapıtlarında hafif beton kullanmışlardır. Romalılar ve Yunanlılarda da bina yapımında pomza kullanılmıştır. İstanbul’da Aya Sofya, Roma İmparatorluğu eserlerinden Pantheon ve Colosseum, Meksika’da Maya Piramitleri hafif betonu kullanmış olup şuan ki günümüze kadar gelen göz alıcı antik eserlerden olmuşlardır [4].

Günümüzde en çok tercih edilen doğal malzemeler fırınlarda yüksek sıcaklıkta genişletilmesiyle üretilen yapay hafif agregalar olmuş; 1900’lerin başlarında ilk üretim çalışmaları başlamıştır. İlk ticari olarak kullanılmaya I. ve II. Dünya Savaşı zamanında yeterli miktarda çelik bulunamaması sebebiyle, “ferrocement” ticari beton gemilerin üretimiyle başlamıştır [5].

Betonun dayanım gücü ve ağırlığının geliştirilmesi nedeniyle kullanılmış olan yapay hafif agregalar (genleştirilmiş şist tipi) beton gemilerinin üretiminde hız kazandırılmıştır. Genleştirilmiş şist ve arduvaz tipi yapay hafif agregaların teknik konularını geliştirerek taşıyıcı sistemde kullanımı 1952’de A.B.D’de yapay agrega üretim ve araştırmaları sonucuyla enstitü kurulması; Avustralya, Japonya ve Kanada’nın da katılımıyla sektöre hız kazandırılmıştır [5].

Hafif agreganın betonda kullanılmaya ilk 20. yüzyılda yük gemileriyle ortaya çıkmıştır. N.K. Fougner’in tasarladığı 25 m uzunluğundaki ilk beton mavna, Norveç’te 1917 yılında denize indirilmiştir. Çelik maddesinin olmaması sebebiyle A.B.D’de de ticari gemileri donatımı betondan üretme düşüncesi ortaya çıkarmıştır. Hayde, yaptığı araştırmalar neticesinde, 1918 yılında genleştirilmiş şist tipi hafif agreganın patentini almıştır [6].

Bu gelişme sonucunda, beklenen çalışmalar sonucunda kolay bulunabilen; üretimi, dane biçimi ve boyutu kontrol altında olan, güçlü dayanımıyla elde edilebilen doğal agregalara oranla yapay agregayı uygulama alanına konulması açısından güçlü bir basamak oluşturmuştur.

1917-1920 yıllarında normal agregalı yapılarda beton dayanımı sadece 17 MPa iken, üretilen donatılı beton gemilerde 1760 kg/m^3 yoğunluk ile 38 MPa basınç dayanımı (Ries vd., 2010) ve 23 GPa elastisite parçalar elde edilmiştir ve 90 yıl sonra betondan alınan karotlarda dayanımın 60 MPa’ya eriştiği görülmüştür. Bu gemilerle 4 yalnız kuru yük değil aynı süreçte petrol taşımacılığı da yapılmış, betona herhangi kötü bir sonuç izlenmemiştir [5].

Hafif beton, normal betona oranla farklı niteliklere sahip, boşluklu, birim ağırlığı az ve düşük dayanımlı betondur. Hafif betonlar; boşluklu (havalı), ince agregasız ve hafif agregalı betonlar olmak üzere sınıflandırılır [7].

Birim ağırlıkları, hafif betonların yaygın olarak 560-1850 kg/m³ arasında değerler alabilen yapısal hafif beton için yaygın olarak 1360-1840 kg/m³ arasında ve yalıtım betonlar için ise 320-1120 kg/m³ arasında değişebilir [8].

Hafif betonların ısı yalıtımının yüksek olması birim hacim ağırlıkları düşük olduğundandır. Birim ağırlıkları 960-1648 kg/m³ arasında değişebilen hafif betonların ısı iletkenlikleri 0.19-0.40 kcal/mh°C arasında değerler alabilmektedir [9].

Hafif betonlar yaygın olarak, birim ağırlık değerleri arttıkça, basınç dayanımı ve ısı iletimleri de artmaktadır. Gözeneklilik artmasıyla ısı iletkenlik ve basınç dayanımı azalır [10].

Binalara etki eden deprem kuvvetleri, yapıların kütlesiyle orantılı olmaktadır. Yapının kütlesinin azaltılması sismik riskin azaltılmasında büyük bir önem taşımaktadır. Bunlar da hafif beton inşasının kullanımıyla elde edilebilmektedir.

Yük taşıyan bileşenlerin hacmini azaltmak, ham maddeleri korumak ve ayrıca geleneksel beton ile kıyaslandığında daha iyi termal özellikler elde edilebilmesi amacıyla hafif betonlar geliştirilmektedir. Hafif betonda betonun ağırlığını azaltabilen, ek ağırlıkları azaltan ve karışımın hacmini arttırabilen genleşmiş hafif agregalar içermektedir.

Sentetik hafif agregalar yaygın olarak 1000 °C civarında ısı iletilen kil, şeyl, arduvaz, perlit ve vermikulit gibi malzeme biçimleridir. Malzemeler, kalsinasyon işleminden sonra ezilebilir veya öncesinde istenen boyuta indirilebilir. Genleşme, ısı işlem sırasında üretilen işlenmiş malzemelerin içinde bulunan gazların sıkışmasından kaynaklanmaktadır. İlk olarak pelet haline getirilmiş malzemelerin ısı işlem prosesi kullanılmasıyla, pelet haline getirilmemiş malzeme ile üretilen parçacıklara oranla %12-30 daha düşük su emme kapasitesi ve yarı geçirgen bir kaplamaya sahip küresel agrega parçacıkları üretmektedir. Bu sebeple kaplanmış partiküller işlenebilirlik açısından tercih edilebilir, ama kaplanmamış malzemelerden daha pahalıdır [11].

Bileşenleri açısından başlangıçta yalnızca su, çimento ve agregadan oluşan “iyi” betona bir takım kimyasal ve mineral katkıları ilâve edilerek istenen bazı özellikler kazandırılabilir [12,13].

Beton; çimento, agrega, su ve gerekli olan bir katkı maddesiyle, oranları belirli ölçülere göre ayarlanarak bir karışımı, istenen karışım ve boyutlarda ki kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirilerek ve uygun koşullar altında sertleştirme yoluyla elde edilen kompozit bir malzemedir [14].

2.1.1. Normal Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çimento, su, agrega ve yardımcı katkıların bir arada karışması sonucu elde edilen beton başlangıçta şekil verilebilir ve sıvı bir kıvamdadır. Zamanla beton içerisinde gelişen hidrasyon olayı sonrası beton sertleşir ve katı bir hal almaktadır [15].

a. İşlenebilirlik

İşlenebilme beton özelliklerinden en önemli olanlarından biridir. İşlenebilme; yeni yapılmış betonun, kullanılacağı amaca göre, yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilmesi sebebiyle gerekli olan akıcılıkta olduğunu gösteren bir değerdir. Yeterince işlenemeyen beton, yerleştirme, sıkıştırma ve düzeltme işlemleri istenilen seviyede olmadığından, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez.

b. Dayanım

Beton kullanıldığı duruma göre, farklı yönlerde ve büyüklüklerde kuvvetlerin (yüklerin) etkisinde kalmaktadır. Beton elemanları, bu yüklerin etkisiyle, çok küçük oranlarda şekil değiştirerek, yüklerin etkilerine karşı koyacak şekilde tasarlanabilir.

c. Dayanıklılık

Betonun geçirimsizliği betonda kullanılan agrega özellikleri, beton içerisindeki boşluk oranı ve bu boşluk yapısıyla ilgilidir. Betonun su emmesi, kurutma sonrasında boşalan ve suya batırma sonucunda suyla dolabilen boşluklardan oluşmaktadır [16,17].

Beton iyi bir taşıyıcı olmasından dolayı birim ağırlığı büyük ve ısı iletkenlikleri yüksektir. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanın öz ağırlıkları azaltılarak yapı hafifletilebilmektedir ve bu sayede taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülmüş olup ekonomi sağlanabilmektedir [18].

Diğer yandan ise ülkemizin büyük bir çoğunluğunun 1. derece deprem riski taşıyan bölgelerde kullanılması göz önüne alındığında, yapıların öz ağırlıklarının hafifletilebilmesi yapıya etkiyen deprem yükünü azaltıldığından dolayı olası depremlerdeki yapı hasarları da azaltılmış olacaktır [19].

2.2. Hafif Beton

Hafif betonun yapı malzemesi olarak kullanımıyla yapı yükünün azaltılması nedeniyle malzeme yönünden ekonomik olup düşük birim ağırlığı sayesinde de yüksek ısı ve ses yalıtımı gibi yararlar sağlanmıştır[20-22].

Yapay veya doğal agregalardan üretilen hafif betonlar dayanım ve birim ağırlık bakımından üç gruba ayrılmaktadır. Düşük dayanım (küp örneklerin) ve birim ağırlığına ($7-20 \text{ kgf/cm}^2$, $250-750 \text{ kg/m}^3$) sahip birinci sınıf hafif betonlar yalıtım malzemesi olarak, orta dayanıma ($20-142 \text{ kgf/cm}^2$ ve $1000-1400 \text{ kg/m}^3$) sahip ikinci sınıf betonlar blok duvar yapımında ve dayanımı yüksek ($173-418 \text{ kgf/cm}^2$ ve $1500-2000 \text{ kg/m}^3$) üçüncü sınıf yapısal betonlar ise taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılmaktadır [22, 23].

2.2.1. Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Beton işlenebilirlik özelliğine de sahiptir. Hafif betonların kullanımına, yerleştirilmesine, sıkıştırılmasına, iletim imkanlarına (pompa, kova vs.) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. . Hafif betonlarda beton kıvamı koyu veya orta tercih edilmelidir. Çünkü akıcı kıvamdaki taze betonun taneleri hafif olmaları sebebiyle seçilmeye uğramaktadır. Dayanım ise; Genellikle hafif agregalı betonlardaki dayanım artışı, betonda kullanılan agreganın birim hacim ağırlığıyla alakalıdır. Başka bir deyişle, agreganın yoğunluğu arttıkça hafif betonun dayanımı da arttırılabilir [24].

2.2.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif beton birim ağırlığı normal betona göre daha düşük olan betondur. Genel olarak birim ağırlığı 1800 kg/m^3 'ten küçük olan betonlar hafif beton sınıfına girmektedir [25]. Hafif betonlar birim ağırlıkları ve basınç karşı dayanımlarına göre şu şekilde sıralanır.

- Yalıtım betonu: Birim ağırlığı $0.2-0.6 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $0.2-2.5 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar.
- Hem yalıtım hem taşıyıcı beton: Birim ağırlığı $0.6-1.2 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $2,5-10 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar.
- Taşıyıcı beton: Birim ağırlığı $1.2-2.0 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $15-60 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar [3]. Normal beton ve hafif betonlarla yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde agrega beton hacminin yaklaşık % 45-70 arasındaki bir bölümünü kapsadığı gözükmemektedir [26]. Bu da agreganın beton içerisinde ne kadar önemli olduğunu gösterir.

2.2.3. Hafif Betonların Üretimi ve Kullanım Alanları

Hafif betonlar, bileşiminde hafif agrega kullanarak, ince agrega kullanmadan sadece iri agrega kullanarak ya da kimyasal katkıları yardımıyla çimento hamurunda gözenekler oluşturarak üretilmektedir. Hafif betonlar, kullanım amacı ve yerlerine göre, taşıyıcı hafif betonlar, taşıyıcı olmayan duvarlar ve yalıtım blokları olarak sınıflandırılır. Taşıyıcı hafif betonlarda kuru ağırlığın

2000 kg/m³'den ve silindir basınç dayanımının 17 N/mm²'den, yalıtım bloklarının ise 800-1800 kg/m³ ve dayanımının 0.7-7 N/mm²'den az olmaması istenir [27].

Hafif betonların kuru birim hacim ağırlıkları 800 kg/m³'den büyük ve basınç dayanımları 20 kg/cm²'den küçüktür [28]. 1 N/mm² altında basınç dayanımı olan hafif betonlar izolasyon amacıyla kullanılır. Buna rağmen, hafif betonlar basınç dayanımı 1 N/mm²'nin üzerindeyse, yük taşıyan yapı elemanlarında kullanılabilir [29].

Hafif betonlar son zamanlar birçok inşaat projesinde büyük endüstriyel talep oluşturan kaynak niteliğindeki bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Hafif betonun günümüzde düşük özgül ağırlığa, yüksek dayanıklılığa ve ısı yalıtım özeliğine sahip olması sebebiyle yaygınlaştığı görülmektedir [30].

Hafif betonlar genellikle birim ağırlık ve dayanım şartlarına göre sınıflandırılmaktadır. Taşıyıcı olan hafif betonların birim ağırlığı 1450-1800 kg/m³ aralığında bulunmaktadır. Mukavemetleri 7-17 N/mm² arasında olan bu betonlar yalıtım betonu ve orta dayanımlı beton sınıfına girmektedir [27]. Çok yönlü bir malzeme olan hafif betonlar, bazı teknik, ekonomik ve çevresel avantajlar sağlar [31].

Günümüzde hafif betonun temel kullanım amacı bir yapıdaki ölü yükü azaltmaktır. Bu, kolanların, temellerin ve yük taşıma elemanlarının boyutunun azalmasına izin verir. Yapısal hafif betonlar, yapısal elemanlarda daha verimli bir ağırlık oranı sağlamaktadır. Hafif betonun yüksek olan maliyeti, yapısal boyutların küçültülmesiyle dengelenir, bu şekilde benzer hacimsel kapasite için beton hacmini ve donatı çeliği miktarını azaltır. Duvarlardaki daha yüksek R (ısı direnç) değerleri daha iyi bir yalıtım ve enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Yüksek dayanımlı hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine etki eden en önemli sebep, hafif agrega tanelerinin su emme kapasiteleridir [32].

Hafif betonun basınca karşı dayanımını etkileyen en önemli sebep ise su/çimento oranıdır [33].

Doğal yollarla elde edilen perlit, kil, arduvaz, vermikülit gibi agregaların ısı işleme tabi tutulmasıyla elde edilen yapay agregaların ve uçucu kül gibi atık malzemelerden elde edilen, kille benzer şekilde sinterleştirilen yapay agregaların betonda hafif agrega olarak kullanımları mevcuttur [26,34].

Hafif betonlar birçok alanda kullanılabilir. Örnek olarak;

- Çatı ve ara kat ısı yalıtımı malzemesinde,
- İç-dış mekanlarda taşıyıcı özelliği olmayan duvar malzemesinde,
- Ara katların şaplarında veya yüzey yükseltme işlemlerinde,
- Yangını önleyici engeller ve boşlukların oluşturulmasında,
- Geleneksel binaların tavan sıva malzemesinde,
- Çelik inşaat aksamının çevresine yangından korumak için bir tabaka oluşturulmasında,

- Zemin stabilizasyonu ve dolgu malzemesinde,
- Kanalizasyonlarda,
- Yer altı boruları, kanal ve tünellerin doldurulması; sarnıçlar, su depoları, yüzme havuzları, maden ocakları gibi tekrar yüzeylerin doldurulması için gereken dolgu malzemesinde,
- Arazi işlemlerinde,
- Dekoratif panellerin üretimiyle çok amaçlı yapı dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği gösterilebilir [35].

Romalılar dönemine kadar uzanan doğal kaynaklardan hafif agrega üretimi günümüze kadar devam etmektedir. 19. yy. sonlarında betonarmenin gelişmesiyle birlikte gelişmiş ülkelerde doğal gözenekli agrega yataklarının az olması veya hiç olmaması nedeniyle yapay agrega üretimi için araştırmalar başlamıştır.

20. yy. başlarında demir üretimi endüstriyel alt yapının temelini oluşturmasından dolayı araştırmalar yüksek fırın cürufu üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece 1970'lerin başında geliştirilen yüksek fırın cüruflarında önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bu sebeple taşıyıcı betonlar için uygun olan daha pürüzsüz yüzeyli cüruf içerikli agregalar üretilmeye başlamıştır. Cürufla karşılaştırıldığında, 1913 yılından önce ABD'de yapılan araştırmalar kil ve şistlerin yakıldıkları zaman geniştiklerini ispat edilmiştir. 1917'de hafif betonların üretiminde kullanılabilecek geliştirilmiş kil ve şist agregalarını üretebilecek döner fırın sistemi Hayde tarafından tasarlanmıştır [6]. Bu sistem ilk defa 1919'da USS Selma adlı okyanus tipi geminin inşası esnasında kullanılmıştır. Taşıyıcı hafif betonlar ilk olarak 1921 yılında St. Louise'de Park Plaza Otel'in inşasında kullanılmıştır. 1950'li yıllardan sonra ise, hafif betonun birçok büyük yapıda kullanıldığını görülmüştür [36,37].

Normal betonlar iyi bir taşıyıcı olmasına rağmen, birim ağırlığı büyük olduğundan ısı iletkenlik değeri yüksektir. Normal betonların bu dezavantajlı yönlerini ortadan kaldırmak ve bazı avantajlı yönler kazandırmak için bugün sanayi ülkelerinin birçoğunda hafif betonlar kullanılmaktadır. Normal betonların dezavantajları belirli bir dayanımı sağlamak kaydıyla birim ağırlığının düşürülmesi sonucu sorunlu hale gelmektedir.

Betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle birlikte betonarme elemanların ağırlıkları azalarak yapı hafif hale getirilebilir. Bu şekilde elemanların kesit ölçüleri azaltılabilir. Bu da hem estetik hem de ekonomik açıdan faydalıdır. Ayrıca betonda birim ağırlığı azaltılarak ısı iletimi katsayısı azalır, ses yalıtımı artar. Isı yalıtımı yönünden normal betondan üstün olan hafif betonların günümüzdeki enerji sorunu sebebiyle yapılarda kullanılması önemli olmuştur [38].

Hafif beton, birim ağırlığı normal betonlardan yaklaşık %25 daha az olan betonlardır. Uluslararası standart beton üretim merkezi hafif betonları, kuru 10 birim ağırlığı 1200 ile 2000 kg/m³ arasında değişen beton olarak belirtmektedir. Kullanım amacına göre bu betonların birim ağırlıkları değişmektedir. Isı yalıtımında kullanılan hafif betonların birim ağırlıkları 300 ile 800

kg/m³ arasında değişir. Taşıyıcı olarak kullanılan hafif betonların birim ağırlıkları ise 2000 kg/m³'e kadar yükselebilmektedir [37].

Hafif betonlar, kuru birim ağırlığı 300-2000 kg/m³ arasında olan, kübik basınç dayanımları ise 10 kgf/cm²'den 612 kgf/cm²'ye kadar çıkabilecek şekilde üretilen betonlar hafif betonlardır [39].

ASTM C-330-69'a göre, birim ağırlıkları 1840 kg/m³' geçmeyen ve silindir basınç dayanımı 173 kgf/cm²'yi açan betonlar hafif beton sınıfına girmektedir [40].

Hafif betonların üretiminde en çok kullanılan yöntem hafif agrega kullanımındır. Çünkü hafif agregalar betonun yaklaşık %70-80'ini oluşturmaktadır. Agreganın beton karışımındaki yüksek orandaki kullanımı sebebiyle betonun mekanik ve diğer bazı özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır [37].

Hafif betonlar tipik olarak normal ve hafif agrega birleşimiyle üretilir. Tüm kaba ve ince hafif agregaların beton karışımında kullanılması, beton yoğunluğunu 90 lb/ft³ (1440 kg/m³)'n altına düşürebilir. Genel olarak birim ağırlığı 1800 kg/m³'ten az olan betonlar hafif beton olarak sınıflandırılır [41]. Hafif beton ve normal beton arasındaki en önemli fark, ayırt edilebilir termal ve dayanıklılık özelliklerinin yanında düşük yoğunluklu bir kütleye sahip olmasıdır. Düşük yoğunluğa sahip hafif beton elde edebilmek için içerisinde yeterli havanın sürüklenmiş olması gerekir. Bu da hava oluşturan ajanlar veya hafif agregalar kullanılarak elde edilebilir.

Hafif betonun avantajları;

- Yapı ağırlığının azalmasından dolayı dşy yüklerde azalmalar olmaktadır ve bununla birlikte yapıyı etkileyen atalet kuvvetleri de azalmaktadır. Bu sayede depremin yapıya verdiği zarar azalmaktadır.
- Hafif betonla üretilen yapı elemanlarının birim ağırlıklarının düşük olmasından dolayı yapıdaki l yükler azalmaktadır. Bu sayede temelleri ve diğer yapı elemanlarını daha küçük boyutlarda tasarlamaya ve inşa etmeye olanak tanımaktadır.
- Eğilme etkisindeki elemanların daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.
- Geçici taşıyıcılarla mesnet ve temeller gibi daimi taşıyıcı elemanlarda daha ekonomik olmaktadır.
- Isı iletkenlik katsayılarının diğer betonlara göre daha düşük olmasından dolayı daha iyi bir ısı ve ses izolasyonuna sahip olmaktadır.
- Hafif olmasından dolayı taşınması ve yerleştirilmesi daha kolaydır.
- Homojen bir özelliğe sahiptir.
- Yangına karşı dayanıklılığı çok fazladır [42].

Hafif betonun dezavantajları;

- Porozite içermesinden dolayı basınca karşı dayanımları düşük ve aşınmaya karşı dayanıksızdır.

- Sünme ve rötre değerleri normal betonlara göre daha fazladır.

- Normal betonlara göre daha çok çimento dozajı gerektirmektedir. Bu da maliyetlerin artmasına sebep olmaktadır.

- Normal betonlara kıyasla daha düşük bir kesme-kayma dayanımına sahiptir.

- Hafif agreganın bulmanın zor olmasından dolayı daha masraflı olmaktadır.

- İmalatı ve yerine konması zor olduğu için daha kaliteli ve usta işçilik gerektirmektedir. Bu da daha çok emek ve ek masraf demektir.

- Elastisite modülünün düşük olması sebebiyle taşıyıcı hafif betonlu kirişlerde, dönmeler daha yüksek olmaktadır [42].

Tüm bu sebeplerden ötürü, özellikle deprem riski altındaki bölgelerde yapısal hafif betonun tasarımı tercih edilmektedir [23]Taşdemir (1982), yaptığı bir çalışmada hafif betonların normal betonlara göre üstün yönlerini şu şekilde açıklamıştır:

1. Maliyeti azaltır.
2. Seslere karşı daha yalıtkan özelliğe sahiptir.
3. Betonarme elemanlarda kullanılan donatı azalır.
4. Deprem etkilerine karşı güvenliği daha yüksektir.
5. Yangına dayanımı normal betonlara göre daha iyidir.
6. Betonun kalıba taşınması ve yerleştirilmesi kolaylaşır.
7. Kalıp ve iskele yapımı ile takviyesi kolaylaşır, maliyeti azalır.
8. Isı yalıtımı yüksek olduğundan enerji tasarrufu sağlamaktadır.
9. Bina ağırlığı azalacağından dolayı kiriş, kolon vb. taşıyıcıların kesitler, daha küçük yapılabilir.
10. Don etkisine karşı daha dayanıklıdır.

2.2.4. Hafif Beton Türleri

Hafif betonlar; kumsuz beton, gaz beton, hafif agregalı beton olarak sınıflandırılır.

Kumsuz Beton

Kumsuz beton, çimento ve kaba agregadan yapılan hafif bir beton çeşididir. Düzenli bir şekilde dağılmış boşluklardan oluşur. Boşluklarını koruması ve duvara yerleştirildiğinde boşluk tabakası veya çimento filmi oluşturmaması bu beton çeşidinin ana özelliğidir. Genellikle iç-dış duvarlar, yük taşıma duvarları ve zemin katlarda kullanılmaktadır. Çimentonun içeriği arttıkça bu

betonun dayanıklılığı artmaktadır. Bunun yanında su bileşimine duyarlıdır. Yetersiz su olması durumunda parçacıklar arasında yapışma eksikliğine ve dolayısıyla betonun dayanıklılığının kaybına neden olabilmektedir. Benzer şekilde aşırı su kullanılması durumunda çimento filminin akmasına neden olabilmektedir [43].

Gaz Beton

Gaz beton, silis kumunun çimento esaslı bağlayıcı veya kireçle sulu ortamda karıştırılması ve karışıma gözenek oluşturuucu alüminyum tozu ilavesiyle yapılan bu yapı malzemesi hafif beton sınıfında yer almaktadır [44].

Alüminyum tozu eklenerek kimyasal tepkimeye giren karışımın hacmi iki kat kadar genişmekte ve oldukça gözenekli bir yapı oluşmaktadır [45]. Bu betonlar kaba agregaya içermemektedir.

Hafif Agregaya

Bu beton günümüzde en fazla kullanılan hafif agregalar, yüksek sıcaklıktaki fırınlarda doğal malzemelerin geliştirilmesiyle üretimi yapılan yapay hafif agregalar olup, ilk üretim çalışmaları 1900'li yılların başında başlamış, ilk ticari kullanımı ise I. Dünya Savaşı esnasında çeliğin az olması sebebiyle, "ferrocement" ticari gemilerin üretimiyle yapılmıştır [5].

Daha az gözenekli hafif agregalar, yapısal gerilime dayanabilecek güçtedir. Fakat yüksek gözenekli agregalarla yapılan betonlara göre daha yoğun ve daha az verimli ısı yalıtımına sahip olan betonlar üretebilir [46]. Hafif agregalarla üretilen betonların özelliği agreganın minerolojik yapısıyla birlikte granülometri karışımına, çimento miktarına, su çimento oranına bağlıdır. Genellikle betonun birim ağırlığı arttıkça dayanıklılığı artmakta ancak ısı yalıtımı azalmaktadır [47].

Hafif agregaya, cüruf, pomza ve volkanik kökenli olanların tamamı gibi doğal agregaya ve geliştirilmiş yüksek fırın cürufu, vermikülit ve klinker gibi yapay agregaya olabilmektedir. Hafif agregaların ana özelliği, düşük bir özgül ağırlıkla sonuçlanan yüksek porozitesidir. Hafif agregaların bu özelliği, düşük görünür özgül ağırlıklara sahip olmalarına sebep olmaktadır [1].

2.2.5. Beton Katkı Maddeleri

Beton katkı maddeleri, betonun bir kısım özelliklerinde değişiklik yaparak performansını artırmak ve betonu daha hesaplı olmasını sağlamak için kullanılır. Bazı kimyasal katkıları taze betonun işlenebilirliğini artırması, priz sürelerini değiştirmesi, sertleşmiş betonun dayanıklılığını artırması amacıyla beton üretiminde kullanılır. Kimyasal katkı maddeleri beton teknolojisinde, suda erime özelliği bulunan katkı maddeleri olarak tanımlanır [3]

Betonun karışım suyunu azaltan katkı maddeleri, taze betonun priz almasını hızlandıran veya geciktiren katkı maddeleri, kimyasal katkı maddeleri olarak belirtilen katkı grubu içerisinde yer alan maddelerdir [48].

Akışkanlaştırıcıların amacı, uygulamada su/çimento oranının azaltılmasıyla aynı işlenebilirliğe sahip olmak, daha yüksek dayanıklılık elde edebilmek, çimentonun azalmasını sağlayarak hidrasyon ısını düşürmektir [49].

Kimyasal katkıların kullanılmasını amacı, su/çimento oranını azaltmak, daha çok işlenebilirliği artırmak, yüksek dayanımlı beton üretmek, pompalanabilirliği kolaylaştırmak, sıcak ve soğuk havalarda betonun korunması ve iyi bir performans göstermesidir. Betonların üretimi esnasında çimento çeşidinde değişiklik yapıldığında kullanılan kimyasal katkı oranının ve etkilerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar çalışmasının yeniden yapılması gerektiği düşünülmektedir. Kullanılan katkı maddesi miktarı çimento miktarının %0.8 ile %1'i arasındadır. Katkı maddesi kullanımının beton üretimine ek maliyeti %1-3 arasında değişmektedir [3].

2.2.6. Hafif Betonun Önemi ve Geleceği

Geçtiğimiz otuz yıl içerisinde, hafif beton kullanımı birçok sanayi ülkelerinde, özellikle Almanya, İngiltere, Hollanda, Belçika, A.B.D ve Japonya'da hızla yayılmıştır. Bu ülkeler ve diğer ülkelerde hafif betonla birçok yapı inşa edilmiştir. Türkiye sınırları içerisindeki toprakların yaklaşık beşte biri volkanik kayalardan oluşmaktadır. Bu volkanik kayalar dünyanın en zengin ve en kaliteli doğal hafif agrega kaynaklarını oluşturmaktadır. Buna karşın, Türkiye'de hafif beton üretimi istenilen seviyede değildir. Bunun en önemli sebebi, bu betonların özelliklerinin geleneksel betonların özellikleri kadar bilinmemesinden kaynaklanmaktadır.

Hafif betonlar sahip oldukları özelliklerden dolayı inşaatların birçoğunda yaygın olarak kullanılır. Isıtılmalarında kullanılan yakıtların masrafının, geleneksel betonlarınkinden çok daha az olması hafif beton yapıların en büyük özelliklerindendir. Betonarme inşaatlarda hafif beton kullanımı, Türkiye gibi çok fazla depreme maruz kalan ülkelerde, depremin olası zararlarını azaltması mümkün görülmektedir. Türkiye doğal hafif agrega kaynakları açısından oldukça zengin bir ülke konumundadır. Bu sebeple Türkiye'de ekonomik açıdan doğal hafif agregaların kullanılması daha gerçekçi olacaktır. Oysa Türkiye'de hafif betonla yapılan inşaatlar çok fazla değildir. Bunun asıl nedeni, bir yandan alışkanlıklarımız, diğer yandan ülkemizde bu betonlar hakkında yeterli bilgi ve birikimin olmamasıdır. Bu noktada, yurtdışı ve Türkiye'de hafif betonlar konusunda yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen verilerin de her zaman birbirini desteklemediği ve kullanılan yöntemlerin farklı oluşuyla açıklanabileceğini belirtmek uygun olacaktır [50].

2.3. Perlit

Perlit terimi Fransızca inci anlamına gelmekte olan perle kelimesinden türetilmektedir. Perlit yapı olarak volkanik bir cam olan asidik özellikteki bir yapıya sahiptir. Perlit 750-1200 °C değerleri arasında ısıya maruz kaldığından dolayı hacmi 20 katına kadar genişlebilmektedir. Bu genişleme sonucunda ortaya çıkan gözenekli ve hafif yapıya genişleştirilmiş perlit adı verilmektedir. Saydam gri renkten oluşan perlit kayacı parlak siyaha kadar değişmekte olan renk skalasına sahip olmaktadır. Ama buna rağmen genişleştirildiğinde beyaz renk almaktadır. Yapısında bulunan %2 ile %6 arasında ki su genişleme sırasında buharlaşarak uzaklaşmaktadır. Suyun uzaklaşması sırasında perlit patlayarak gözenekli ve de hafif yapısına kavuşmaktadır. İçerisinde nitrat, fosfor, sülfat, ağır metal ve organik madde içermeyen suda çözünmeyen perlit kimyasal özelliğiyle kararlı yapıdadır [51].

Perlitin esnekliği, yüksek ses absorpsiyonu, düşük yoğunluğu, düşük ısı iletimi, hafifliği, yanmaması ve kimyasal kararlılığı en önemli özelliklerindendir. Perlit inşaat alanında; ısı ve ses izolasyon malzemesi olarak, çimentolarda çimentonun dayanıklılığını artırmak için, sıvalarda bağlayıcı olarak çokça kullanılmaktadır. Poroz yapısından dolayı toprağı havalandırmak ve su da çözünmemesi dolayısıyla suyu toprağı hapsedmek amacıyla tarım alanında da perlit sıkça kullanılmaktadır [51]. Ham perlit ve genişleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri Tablo 2.1’de kimyasal özellikleri ise Tablo 2.2’de verilmiştir

Tablo 2.1. Ham perlit ve genişleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri [52,53].

	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit
Renk	Gri, grinin tonları ve siyah	Beyaz, gri ve tonları, genişince tümüyle beyaz
Yumuşama Noktası	800-1100 °C	871-1093 °C
Erime Noktası	1315-1390 °C	1260-1343 °C
pH	6,6-8,0	-
Sertlik	-	5-6 mohs
Ozgül Isı	0,2 kcal/kg°C	0,2 cal/g°C
Ozgül Ağırlık	2200-2400 kg/m ³	-
Isı İletkenliği	-	0,04 W/Mk
Asitte Çözülme	Sıcak derişik baz, mineral konsantre asitlerde az erirken, seyreltik mineral veya yoğunlaştırılmış zayıf asitlerde çok az erirler.	Sıcak derişik baz ve hidrolik asitte çözünken, mineral yoğunlaştırılmış asitlerinde az, seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erirler.

Perlit, değişik ebatlarda çatlaklar bulunduran, soğan kabuğu şeklinde kúçük parçalara bölünmüş camsı bir yapıya sahiptir. Perlitin kayaç hali ise gevşek, kolay kırılabilir, ince tanecikli, gözenekli niteliktedir. Görünümlerine ve dokusuna bakılarak perlit aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Lifli perlit
- Feno kristalli perlit
- İrili ufaklı kum halinde perlit
- Taneli perlit
- Konsantrik yapılı perlit
- Ponzalı perlit [54].

Tablo 2.2. Perlitin kimyasal analizi [55].

Kimyasal Bileşenler	Miktar (%)
SiO ₂	71.0- 75.0
Al ₂ O ₃	12.5- 18.0
Na ₂ O	2.9- 4.0
K ₂ O	0.5- 5.0
CaO	0.5 – 2.0
Fe ₂ O ₃	0.1 – 1.5
MgO	0.02 – 0.5
TiO ₂	0.03 – 0.2
H ₂ O	2.0 - 5.0
MnO ₂ , FeO, Cr	0.0 – 0.1
Ba	0.0 – 0.05
PbO	0.0 – 0.03
NiO, Cu, B, Be	Eser
SO ₃ , Serbest Silis ve klorürler	0.0 – 0.2

Perlitin hacminin büyük bir bölümü (% 90–97) cam olup, biyotit ve feldspat gibi kristalleşen mineraller de bulundurulur. Birazda apatit ve manyetit görülebilir. Volkanik camdan oluşan hamur, fenokristaller ve mikrolitleri içerisinde bulundurur. Perlitin camsı yapısına karşın, soğan kabuğu görünümlü çatlaklarından ince bir şekilde dağılmış zeolit kristalizasyonu, yani morderit oluşumu bulunmuştur. Perlit yaklaşık 1,497 kırılma indis değerine sahiptir. Perlit camı polarize ışıkta görüldüğünde izotropik bir görünüme sahip olmasıyla birlikte bazı zamanlar hafif bir çift kırılma gösterebilir. Perlitlerin x ışını analiziyle (XRD) en fazla %4 oranında serbest silis bulundurduğu tespit edilmiştir [56].

Perlit madeninin üretimi açık işletmecilik yöntemiyle yapılmakta ve kırma, öğütme-sınıflandırma etabından sonra genleştirilmiş perlit oluşmaktadır. Perlit, ocağa uzak olmayan bir alanda gerekli tane iriliğine getirilir ve ilk kaba kırmadan geçirilir ise ekonomi sağlamaktadır [57].

Perlitin hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar ise:

- Olabildiği kadar perliti nodüllerine ayırmak veya küp biçiminde taneler oluşturmak
- Kabuksu dokusuna zarar vermeden ve çok inceltmeden gerekli tane iriliğine kadar perliti kırmak,
- Amaçlanan tane boyuna ayırmak olarak sıralanabilir.

Perlit, iyi öğütülebilen ve kolaylıkla kırılabilen bir kayadır. Ancak kırma darbeleri tane dağılımını etkilediği için öğütücü ve kırıcı seçimine önem verilmelidir [56].

Perlit hazırlama tesislerindeki aşamalar aşağıdaki gibidir [57].

- Ön öğütme
- Kurutma
- Öğütme
- İnce öğütme
- Eleme, sınıflandırma, boyutlama
- Depolama

0,05 mm; 0,3-1 mm; 0,3-1,6 mm; 0,3-2 mm (0,3 mm altındaki miktar en çok %8)

0,3-2 mm (0,3 mm altındaki miktar en çok % 40)

0-0,4 mm; 0 – 1,2 mm (0,3 mm altındaki miktar en çok % 10)

0,8-1,6 mm; 0-2,0 mm (0,3 mm altındaki miktar en çok % 40)

0-0,4 mm; 0,4-1,2 mm; 1,2-2,0 mm.

Perlitin tüketim alanları çok fazla olup başlıcaları aşağıda verilmiştir:

- Tarım sektörü - fideler için üreme ortamı oluşturmak
- toprağı havalandırmak vb.
- Sanayi sektörü - gıda, ilaç ve kimya sanayiinde filtre yardımcı maddesi olarak: örn., meyve suları, bitkisel yemeklik yağları, şeker ve mısır şerbetini süzme işlemlerinde; atık suları temizleme ve süzme işlemlerinde;
- ilaç ve kimya sanayiinde dolgu maddesi olarak: örn., temizleyici tozlarda, çeşitli ilaçlarda, gübrelerde, boya ve sabunda vb.;
- seramik ve cam sanayiinde katkı maddesi olarak; - metalürjide: döküm kumuna katkı maddesi olarak, ergimiş metalin cüruf kontrolünde vb.;
- perlitli yalıtıcı refrakterlerin üretiminde;

- gemi diplerini kaplama ve yalıtımında; - ambalajlamada dolgu malzemesi olarak;
- plastik köpük ve plakalara dolgu ve katkı malzemesi olarak;
- ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi olarak
- yangına karşı özellikle çelik konstrüksiyonlarda yalıtım katı olarak vb [58]
- İnşaat sektörü - yalıtım ve izolasyon malzemesi olarak; - özel amaçlı betonlarda; - perlitli sıvalarda; - tuğlalarda vb.

2.3.1. Ham Perlit

Ham perlit, kayaç haldeki perlitin boyutlandırma ve öğütme aşamalarının ardından meydana gelen doğal halidir. Ham perlitte renk saydam açık griden parlak siyaha kadar değişiklik gösterebilmektedir. Ham perlitteki en önemli hususlardan biri de ham perlitin kararlılığını oluşturan, hidratasyona uğramış camsı silika yapısındaki % 2.5 oranında bileşik halinde bulunan sudur [57].

Genleştirilmiş perlit gibi ham perlitinde geniş kullanım yerleri vardır. Kimyasal bileşimlerinde alüminyum ve silisli bileşiklerin bulunmasıyla kalsiyum esaslı bağlayıcıyla kimyasal reaksiyona girmesiyle hidrolik aktivite gösterilmesi sağlanmaktadır. Ham perlit kullanım alanlarında olan öğütme, kayacı kırma, eleme işlemleri sonucu kullanıldığı gibi doğal agrega halinde bulunan perlit de kullanılmaktadır [57].

Ham perlitin, kırılmış öğütülmüş ve tane boyutlarına göre ayrılmış olarak kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir [57]:

1. Özellikle kanalizasyon borularının üretiminde asit ve bazlara karşı dayanıklı olduğundan dolayı kullanılmaktadır.
2. Dış ve iç inşaat sıvalarında;
 - a) Su alan inşaatlarda (dona karşı dayanıklı olduğu için)
 - b) Çatı ve teraslarda (su izolasyonu)
 - c) Yüzme havuzların yapımında
 - d) Isı izolasyonu amacıyla sıva olarak ya da brikete benzer hafif yapı elemanı üretiminde
3. Demiryollarında (patinaj kumu)
4. Karayollarında (asfalt dolgu malzemesi)
5. Abresif sanayiinde (aşındırıcı)
6. Dökümhanelerde (metal temizleyici, atık koyulaştırıcı ve silis kaynağı)
7. Su arıtma tesislerinde (filtre kumu veya çakıllı olarak)

2.3.2. Perlitin Minerolojik Kompozisyonu

Perlitin hacminin büyük bir bölümü (%90–97) camdan oluşup, biyotit ve feldspat gibi kristalleşen mineraller de bulundurulur. Birazda apatit ve manyetit görülebilir. Volkanik camdan oluşan hamur, fenokristalleri ve mikrolitler içerir [56].

Perlitin camsı yapısına karşın, soğan kabuğu görünümlü çatlaklarından ince bir halde dağılmış zeolit kristalizasyonu, yani morderit meydana gelişi tespit edilmiştir. Perlit yaklaşık 1,497 kırılma indis değerine sahiptir. Perlit camı polarize ışıktaki görüldüğünde izotropik bir görünüme sahip olmanın yanı sıra bazen hafif bir çift kırılma gösterebilir. Perlitlerin x ışını analizi (XRD) ile en çok %4 oranında serbest silis içermiştir [56].

2.4. Genleştirilmiş perlit

Kayaç haldeki perlit boyutlandırılıp, öğütüldükten sonra meydana gelmiş ham perlit 400°C'ye kadar ön ısıtma aşamasından geçmektedir. Bu işlemten sonra ham perlit ani bir ısıtmaya (750-1200°C) tutulur ve ısıtma ile birlikte meydana gelen buharın tesiriyle genişlerken cam gibi tanelerden oluşan bir köpük agregasını oluşturur. Hacminin 20 kat fazlasına kadar genişleyen ham perlit böylelikle genişmiş perlite dönüşür. Böylece genleştirilmiş perlitin rengi beyaz olmaktadır [57]. Genleştirilmiş perlitin özellikleri Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3: Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri [58].

Renk	Beyaz
pH	6,5-8,0
Kırılma Endeksi	1,5
Özgül Ağırlık	2,2-2,4 g/cm ³
Serbest Nem(maksimum)	%0,5
Hacimsel Yoğunluk	32-400 kg/m ³
Yumuşama Noktası	871-1093 °C
Elek numarası	4-8 numaralı veya daha düşük elek
Erime Noktası	1260-1343 °C
Özgül Isı	837 J/kg.K
Sertlik (MOHS Ölçeği)	5-5,5
24°C'deki ısı iletkenlik	0,04-0,06W/m.K
Su emme	% 40-60
Kuru Birim Hacim Ağırlık	40-220 kg/m ³
Gerçek Porozite	% 98,2-90,4
Doluluk Oranı	%1,80-9,60
Zararlı Madde Analizi	Yok
Kükürt Analizi	% 0,34
Ateşe Dayanım	Yanmaz
Ateşi Geciktirme	3 saat
Ses Geçiş Katsayısı	0,25
Ses Yutuculuk	35-40 dB

2.4.1. Genleştirilmiş Perlitin Kullanım Alanları

Genleşmiş perlite ticari değer kazandıran en önemli hususları; az hacimdeki düşük yoğunluğu, fiziksel esnekliği, ateşe karşı dayanıklı olması, düşük ses geçirgenliği, kimyasal sabitliğidir. Genleştirilmiş perlitin sıkça kullanıldığı sektörleri şöyle sıralayabiliriz [57].

A- İnşaat:

En geniş kullanım alanlarından birini inşaat sektörü oluşturur. Özellikle genleştirilmiş perlitin son yıllarda inşaat sektörüne olan ihtiyacı hızla artmaktadır. Genleştirilmiş perlitin inşaat sektöründeki kullanım alanlarını Tablo 2.4’de verilmiştir [56, 57].

B- Tarım:

Perlit toprağın fiziksel özelliklerini artıran madde substrat , elverişli toprak koşullarını sağlayan,topraktaki sıklığı artırmak için, su drenajını azaltarak nemi tutmak, fidelerin üremesini sağlayan ve toprağı havalandırmak için; tarla tarımında, seracılıkta, bahçede, çimli spor alanlarında sıklıkla faydala sağlamaktadır [57].

C- Sanayi:

Genleştirilmiş perlit sanayi sektöründe en fazla kimyasal olarak nötr olduğundan ilaç, gıda ve diğer kimyasalların üretilmesinde filtre yardımcı maddesi olarak kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlitin sanayisektöründeki kullanım alanlarını Tablo 2.5’de verilmiştir [56].

Tablo 2.4. Genleştirilmiş perlitin inşaat sektöründeki kullanım alanları

Kullanım Alanları	Kullanım Yerleri
Perlit Sıvaları	İnşaat ve zeminler
İzolasyon Malzemeleri	Çatı ve zeminler
Perlit Agregalı Hafif Yapı Elemanları	Tavan kiremitleri, boru izolasyonları vs.
Perlit Agregalı Hafif Yalıtım Betonları	Çimento ve alçı bağlayıcı
Ozel Amaçlı	Farklı bağlayıcılar kullanılarak yapılan beton
Gevşek Dolgu Malzemesi	Zemin, duvar boşlukları ve tavan aralarında köpük yalıtım malzemesi
Yüzey Döşemelerinde	Isı ve ses yalıtım malzemesi

Tablo 2.5. Genleştirilmiş perlitin sanayi sektöründeki kullanım alanları

Kullanım Alanları	Kullanım Yerleri
Fitre Yardımcı Malzemesi Olarak Gıda, İlaç ve Kimya Sanayisinde	Gıda sanayisinde; bitkisel yağları, meyve suları vb. süzmede
	İlaç ve kimya sanayisinde; antibiyotiklerin ve boyaların süzülmesinde kullanılır. Kağıt sanayisinde ise; pektin, sitrik asit, flok ve fosforik asit süzmede, soda külü eriyiklerinin, sülfürik asit, sodyum silikat ve uranyum şerbeti fitrasyonlarında
	Yüzme havuzlarının suyu, makine yağı, atık suları ve içme suyu temizleme, süzme aşamalarında
İlaç ve Kimya Sanayisinde Dolgu Malzemesi Olarak	Çeşitli ilaçlarda , temizleyici tozlarda, dinamit üretiminde, gübrelerde, yüzey genli boyaların üretiminde, kozmetik sanayisinde
Sanayide Isı Yalıtım Malzemesi Olarak	Soğuk hava depolarının yalıtımında, 1000 °C ye kadar sıcaklıktaki reaktörlerin, potanların vb. yalıtımında, sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında
Seramik ve Cam Sanayisinde	Katkı maddesi olarak
Metalurjide	Döküm kumuna katkı maddesi olarak, potadaki ergimiş metalin korumasında, demir-çelik sanayisinde erimiş metalin cüruf kontrolünde, dövmede veya haddeye giden sıcaklık metal ingotların ısı kayıplarını önlemede, (seramik bağlayıcı refrakter tuğla veya betonlar, perlitli refrakter harçlar

Genleştirilmiş perlitin farklı kullanım alanlarının olmasındaki sebebi ise az hacimdeki düşük yoğunluk, düşük ses geçirgenliği, ateşe karşı dayanıklılık ,fiziksel esneklik, kimyasal sabitliği olarak özellikleri söylenilebilir. Bu özellikleri arasında genleştirilmiş perlit en fazla kullanım alanı ise inşaat sektörüdür. Bu sektörlerde ise genleştirilmiş perlit beton ve alçı bağlayıcısı olarak kullanıldığı görülmektedir. Bunların dışında ise her türlü izolasyon işleminde ve dolgu malzemesi olarak da kullanılmaktadır [59].

Tarım sektöründe genleştirilmiş perlit nemi hapsetmek, su drenajını azaltmak, fideler için üreme ortamı oluşturmak, toprağın sıkışmasını ve havalanmasını sağlamak için de kullanılmaktadır. Kimya sektöründe ilaç, gıda ve sanayi sektöründe filtre yardımcı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında atık suları temizlemede boyar maddeleri, atık sudaki yağları ve birden fazla kirleticiyi temizlemede de kullanılmaktadır. İçme sularını, atık sularını ve yüzme havuzlarındaki suları süzmede kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit bunların yanı sıra kimya ve ilaç sanayisinde dolgu malzemesi olarak, sanayide ısı yalıtım malzemesi olarak, seramik ve cam sanayisinde ise katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır [59-60].

2.5. Dünyada Perlitin Mevcut Durumu

Nemli perlit rezervleri Dünyada Tersiyer-Erken orta Kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde de yoğun olarak görülmektedir. Dünya perlit rezervleri volkanik kuşak bölgelerinde bulunmaktadır. Türkiye, ABD, Yunanistan ve Macaristan zengin perlit kaynaklarına sahip ülkeler olarak

görülmektedir. Dünyada görünür rezervi ise 700 milyon tondur. Dünya toplam rezervi (görünür+muhtemel+mümkün) 7.700 milyon ton olarak görülürken; bu rezervin 5.700 milyon tonu bunun % 74'ü Türkiye'de bulunmaktadır.

Dünyadaki perlit üretimi 2011-2019 yılları arasında miktarı önceki yıllara oranla arttığı görülmektedir. 2008'da Dünya perlit üretimi yaklaşık 1.7 milyon ton iken, 2014 itibariyle Çin'de perlit üretimi yapıldıktan sonra 2018 yılında Dünya perlit üretimi 4.6 milyon ton'a kadar ulaştığı görülmektedir. Çin'deki perlit üretimiyle birlikte Dünya'nın önde gelen üreticilerinin perlit üretim oranlarında da azalma olmuştur. Üretim miktarları sırasıyla Yunanistan %21, Türkiye %22, Çin %41 Amerika %12 olarak görülmüştür [61-62].

Dünyada üretilen ham perlitin büyük bir çoğunluğu ise geliştirilmiş olarak tüketilmektedir. Genleştirilmiş perlit çok iyi ısı ve ses yalıtım özelliğine sahip olduğundan dolayı kullanımı oldukça fazla bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründeki perlit tüketimi ise büyük ölçüde dalgalanmalara bağlı olarak değişiklik gösterilmiştir [57].

2.6. İthalat ve İhracat

Amerika perlit ihracatını en fazla yapan ülkelerin başında gelmektedir. Ama perlit geliştirme tesisleri tüketim alanlarına yakın bulunan doğu eyaletlerinde bulunurken, perlit yatakları ise batı eyaletlerinde görülmektedir. Bundan dolayı ekonomik olduğu için okyanus navlunu kullanılarak, Yunanistan'dan ise perlit ithal edilmektedir. Amerika kendi üretimini ise Kanada'ya ihraç etmekte ve bir kısmını da ilgili tesislere ve ham olarak civardaki tüketicilere dağıtmaktadır [57].

Ermenistan, Yunanistan, Türkiye Macaristan perlit ihracatı yapan öteki ülkeler arasında bulunmaktadır. Avrupa'da çoğunlukla Fransa, Belçika ve Lüksemburg ülkelerinden ithalat yaparlar. Bu ithalatın çoğunluğu Türkiye'den karşılanmaktadır [57].

2Çin önder üretici olmasına rağmen, tüketimini ise iç piyasada yaptığı düşünülmektedir. Böylelikle Türkiye ve Yunanistan ihracat noktasında önder olmaya devam etmektedir Dünyanın en büyük perlit tüketicisi sırasında Amerika, 2018 yılında 200 bin ton perlit ihracatı, 30 bin ton perlit ithalatı yapmış bulunmaktadır. 2014-2017 yılları arası ithal edilen perlitin %95'ini Yunanistan'dan, %2'sini Meksika'dan, %2'sini Türkiye'den ve %1'ini diğer ülkelerden sağlamıştır [57].

2.7. Türkiye'de Perlit Durumu

Ülkemizdeki önemli perlit rezervleri yoğun olduğu Tersiyer-Erken orta Kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde mevcut olarak görülmektedir. Çoğunlukla riyolitik volkanizmalar ile ilgilidir [57].

Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Sarıkamış perlitleri, genç neojen riyolitik volkanizmalarıyla doğrudan ve bu akıntılarla biçimlenmiş, riyolit lavların, riyolitik tüf ve diğer volkanik tortular içerisinde geniş alanlara yayılmaktadır. Güneyde bulunan perlit rezervleri ise Mescitli Köyü yakınlarından başlayıp Sarıkamış civarına kadar 15 km'lik bir uzantıya sahip olmaktadır [57]. Türkiye perlit rezervleri Tablo 2.6'da verilmiştir [63].

İç Anadolu'da bulunan Nevşehir perlitleri, Acıgöl krateri civarında pliokvaternere ait tali domlar şeklinde bulunmaktadır. Ege Bölgesi'nde ise, perlit oluşumu Menderes ve Karaburun masifleri arasında kalan mesozoyik bir kıvrımın miyosen riyolitik volkanizmaları ile ilgilidir. Menderes (Cuma Ovası) perlitleri de, Murat tepe ile Karadağ arasında kesintili olarak 10 km boyunca devam etmektedir. Cevher yataklarının derinliğinin 25-90 m arasında bulunmaktadır [57].

Tablo 2.6. Türkiye perlit rezervleri(1000 ton) [63].

Bölge	Rezerv	Bölge	Rezerv
Van-Erciş	1.4000.000	Kars-Sarıkamış	2.403.000
Nevşehir-Derinkuyu-Acıgöl	800.000	Bitlis-Adilcevaz ve Tatvan	940.000
Erzurum-Pasinler	386.824	Çankırı-Orta-Kalfat	128.200
İzmir-Bergama-Cumaovası- Foça	88.000	Erzincan-Mollatepe	71.500
Ankara-Çubuk	51.000	Ankara-Kızılcihamam-Güvem	31.500
Balıkesir-Savaştepe	26.000	Balıkesir-Sındırgı	21.206
Manisa-Saruhanlı	17.700	Kütahya-Avdan	11.500
Ankara-Kızılcihamam-Çamkoru	8.000	Ankara-Kızılcihamam-Korkmazlar	3.7000
Toplam Rezerv	6.388.130		

Perlitin karakteristik hücresel yapısı ve ardışık hava bölmeleri, ses dalgalarının yayılmasını engelleyerek onu ses engelleme ve ses emici uygulamalar için ideal bir dolgu maddesi haline getirir. Dolgu maddesi olarak kullanıldığında, ses dalgaları, birbirine bağlı bir gözenek yapısı ve boşluk rezonans ses emme yapısının kombinasyonu sayesinde birden çok seviyede tüketilebilir [64].

Bulut ve Tanaçan perlitin puzolanik özelliğinden yararlanılarak kullanılması, kullanım olanaklarının araştırılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda perlitin puzolanik aktivitesine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve aktiviteyi artırıcı yönde geliştirilme olanakları, deneysel yöntemlerle araştırılmıştır. Çalışmada en yüksek basınç dayanım değeri perlit/bağlayıcı oranı %67, su/bağlayıcı oranı %50), 7 gün 55°C kür uygulanan numunede tespit

ettiği görülmüştü. Bu çalışmalara göre perlitin puzolanik aktivite gösterdiği kanıtlanmış, çalışmanın amacına uygun olarak perlitin geliştirilebilir bir malzeme olduğu tespit edilmiştir [65].

Çelik ve diğerleri ise İzmir Menderes-Cumaovası'nda bulunan genleştirilmiş perlitin karakteristik ve fiziksel özelliklerini 600 °C'ye kadar farklı sıcaklıklarda belirleyerek yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini görülmüşlerdir. Yapılan testler sonucunda camsı gözenekli yapıya sahip genleştirilmiş perlitin %70,68 SiO₂ ve %13,04 Al₂O₃ içerdiği görülmüştür. Genleştirilmiş perlitte 1000 °C sıcaklıkta %1,8 kütle kaybı görülmüştür. Bu çalışmalar neticesinde genleştirilmiş perlitin fiziksel özelliklerinin sıcaklıkla değiştiği gözlenmiştir. Genleştirilmiş perlite en yüksek yüzey alanı, 524 m² /g, 400 °C'de elde edilmektedir. Yapılan bu testlere göre genleştirilmiş perlitin yapı sektöründe hafif yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir [66].

Genleştirmiş perlit, düşük ısı iletkenliğe sahip ve yanmaz A1 sınıfı malzeme olması sebebiyle çalışmalara konu olarak ele alınmıştır. Yalın yapmış olduğu çalışmada ise genleştirilmiş perlite ısı yalıtımını ve genleştirilmiş perlit ürünleri kullanımını araştırmıştır. Genleştirilmiş perlite ısı yalıtımı ve hafiflik özelliğini kazandırılan perlit taneleri içinde olan sayısız hava kabarcıklarıdır. Bu kabarcıklar ise perlit yoğunluğunun 35-190 kg/m³ değerleri arasında ve ısı iletkenlik değerlerinin de 0.021-0.06 Kcal/mh°C arasında olduğu görülmüştür. Genleştirilmiş perlitin ısı iletkenlik katsayısının yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği ifade edilmiştir. Genleştirilmiş perlit, alçı veya çimento gibi bağlayıcılarıyla karıştırılmış ve kalıplarda şekil verilerek hazır yapı elemanlarının üretiminde kullanılan numunelerin 600- 900 kg/m³ kuru yoğunluklara, 0.16-0.22 Kcal/mh°C ısı iletkenliğe sahip olduğu görülmüştür [67].

2.8. Enerjide Verimlilik

Enerji, insan yaşamının sürdürebilmesinde gerekli ve toplumsal hayatın düzenlenmesinde temel bir gereksinimdir. Bu gereksinimlerin karşılana bilinmesin için kaynağından başlayarak üretim, depolama ve geri kazanım aşamaların her birinde çevreye ve doğaya olumsuz etkileri en aza indirmesi gerekmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı(UEA) aracılığıyla yapılan araştırmalarda mevcut enerji politikaları ve enerji arzın istenilen devamlılığı durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında %40 oranında artacağı görülmektedir [68].

Sanayileşme ve nüfus artışı gibi bir hayli etmenden ötürü Dünya ve Türkiye genelinde enerji talebinde artış gittikçe artmaktadır. Türkiye de enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için genelde fosil yakıtlar (petrol ve kömür gibi) kullanıldığından dışa bağımlı bir enerji politikası izlenmektedir. Bu kaynakların hızla tükenilmekte olup fosil yakıtların tüketilmesiyle ortaya çıkan sera gazları küresel ısınma ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır [69].

2 Mayıs 2007 tarih ve 26510 sayısı ile resmî gazete tarafından yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanununun hedefi; enerjinin aktif kullanılması, enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması, enerji israfının önlenmesi gibi enerji tüketimini sınırlandıracak birtakım temelleri esas almaktadır. Bu kanun ile birlikte enerjinin üretiminden tüketimine, endüstriyel işletmelerden binalara, ulaşım sektörüne kadar yaygın bir alanda enerji bilincinin geliştirilmesine, enerji verimliliğinin artırılmasına tarzından konuları ele almaktadır [70].

2.8.1. Binalarda enerji verimliliği;

Enerji tüketimimizin sektörel dağılımı incelendiği zaman, bu sektörün enerji tüketim artışının yıllara oranla değişik hızlar gösterdiğini görebiliriz. 1980 ile 1986 yılları arasında, sanayi ve ulaşım alanlarında enerji tüketimi yaklaşık olarak benzer hızla % 5,2 artmasıyla birlikte yapı alanında da yaklaşık yıllık artış % 2 bulunmaktadır. Bununla beraber elektrik tüketimi bakımından incelendiğinde, sanayi sektörü tekrarlanıp ağırlıklı sektör olmasıyla birlikte, konut ve hizmetler alanında daha çok artışı görülmektedir [71].

Performans göstergeleri, bir yapıda harcanan enerjinin, başka bir ifadeyle; enerjinin ne kadar verimli kullanıldığını göstermek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çerçevede; öncelikle her yapı çeşiti için standart kıyaslama değerleri tespit edilir. Bu standart kıyaslama değerleriyle yapılan kıyaslamalar sonucunda, yapı için olası potansiyel iyileştirmeler/gelişmeler ortaya çıkarılabilir [71].

Türkiye'de toplam elektrik tüketiminin yaklaşık % 43'ü, enerjinin ise yaklaşık % 30'u binalarda kullanılmaktadır [72]. Türkiye'de binalarda tüketilen enerjinin yaklaşık % 82'si ısınma için kullanılmaktadır. Konutların yalıtımı ile %25 den %50'ye varan yakıt tasarrufu sağlanabilir [73]. Fakat binaların ısıtmasında, enerjinin verimli harcanıldığı söylenemez. Yapılan bir çalışmada, Türkiye'de ısınmak amacıyla genellikle soba kullanıldığı, fakat büyük kentlerde kaloriferli konutların arttığı belirtilmektedir [73].

Fakat Türkiye'de hızlı kentleşme olgusuyla yeni konutların enerji verimliliği standartlarına uygun olarak yapılmayışı, çok sayıdaki eski konutun ısı yalıtım kurallarına göre inşa edilmeyişi gibi sebeplerle binalarda enerji kayıpları fazladır. Yapılan bir çalışmada, konutların yalnızca % 10'unun çatı ısı yalıtımına % 9'unun çift cama ve % 14'ünün merkezi ısıtma sistemine sahip olduğu tespit edilmiştir [73].

2.8.2. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (TS 825)

İlk olarak 1998 yılında yürürlüğe girmekte olan standart, Türk Standartları Enstitüsü Mühendislik Hizmetleri Enerji Sistemleri Teknik Komitesi aracılığıyla 2008 ve 2009 yıllarında revizyonu düzenlenerek 2013 Aralık ayında Türk Standardı olarak kabul edilmiştir [74].

Bu standardın amacı; ülkemizdeki konutlarda kullanılan ısıtma enerjisinin miktarını düzenlemek, enerji tasarrufunda bulunmak, enerji ihtiyacı hesaplanmasında kullanılacak standart metot ve değerini bulunmasını sağlamaktır. Üstelik aşağıda belirtilen amaçlar için de kullanılmaktadır [75].

1. Yeni yapılacak konutların tasarımında, bu standartta kararlaştırılan metot ve tasarım değer aralıklarının kullanılarak uygun enerji performansına ulaşılmasında kullanılmaktadır.
2. Mevcut konutlarda düzenlenecek tadilat projelerinin tasarım etabında, gerçekleştirilebilecek tasarruf miktarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır.
3. Bina sektöründeki binaların uzun süre enerji ihtiyaçlarını milli düzeyde öngörülmesinde kullanılmaktadır. TS 825 iş hizmet binaları, atölye mahalleri, yönetim, konutlar, konaklama amaçlı binalar, öğretim binaları, ceza ve infaz tesisleri, sosyal tesisler, imalat ve sağlık binaları gibi iç sıcaklıkları 15°C'nin altına düşmeyecek şekilde bunlara benzer hedefler için kullanılan konutların için geçerlidir [75].

2.8.3. Binalarda Enerji performansı:

Yapıların enerji verimi hesaplanması için aşağıdaki parametrelere önem verilmelidir [76].

Binaların soğutulması ve ısıtılması için binanın ihtiyaç duyduğu net enerji miktarı;

- Net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden oluşan kayıplar ve sistem performanslarını da dikkate alarak yapıların toplam soğutma- ısıtma enerji tüketimi;
- Havalandırma enerjisi tüketimi;
- Yapılarda güneşli tesirleri hesaba katılarak, güneşliğinden yararlanılmayan zaman ve güneşliğin tesiri olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacı ve tüketimi;
- Sıhhi sıcak su için ihtiyaç duyulan enerji tüketimi.

Enerji performansı stratejilerinin temeli olan enerji verimliliği kavramı, basit bir kemer sıkma hareketi değildir. Enerji verimliliği, hizmet kalitelerinde, yaşam düzeyinde, üretim miktarında ve kalitesinde, refah seviyelerinde azalma yaratmaksızın, enerji tüketiminin azaltılması olarak açıklanmaktadır. Enerji verimliliğiyle ilgili tedbirlerin en önemlilerinden birisi hiç kuşkusuz enerji tasarrufudur. Enerji tasarrufu, gerekli olan enerjinin kısıtlanması veya azaltılması biçiminde düşünülmemelidir. Enerji tasarrufu, harcanan enerji miktarının değil ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasıdır. Enerji maliyetlerini indiren üretici, aynı miktardaki hizmet veya malları daha az enerji veya aynı miktar enerji ile daha çok hizmet ve mal üreterek, ulusal ve uluslararası alanda yarış gücünü arttıracaktır [77, 78].

Isı Yalıtımı yapılarda enerji tasarrufunu sağlamanın ilk şartı olup ısı kayıpları engellemektir. Binalarda ısı kayıpları iç ortam ile dış arasında ısı aktarımıyla gerçekleşmektedir. Kış mevsiminde, sıcak içeriden soğuk dışarıya, yaz mevsiminde de sıcak dışarıdan soğuk içeriye doğru

gerçekleşmekte olan ısı geçişidir. İç ortam ile dış ortam arasındaki ısı geçişinin ölçüsü U katsayısı olup birimi W/m^2K 'dır. U katsayısının düşük olması ısı geçişinin az olduğunu, yüksek olması ısı geçişinin fazla olduğunu belirtmektedir. Yani U katsayısının yüksek oluşu verimsizliği, düşük oluşu verimliliği belirtmektedir.

Binalarda yüksek olan U katsayısını indirmek, ısı yalıtımı ile gerçekleşmektedir. Isı yalıtımı binalarda uygulanması gerekli en öncelikli verimlilik uygulaması olmaktadır. Isı yalıtımı binaların; çatılarına, dışa veya garaj, depo tarzı kullanılmakta olmayan kısımlarına bakan duvarlarına, toprak veya içerisinde yaşanmayan mahaller ile daireleri ayıran döşemelerine, tesisat borularıyla havalandırma kanallarına yapılmaktadır. Bunun dışında özel kaplamalı yalıtım camı üniteleri ile yalıtımlı doğramalar kullanılarak kışın pencerelerden oluşan ısı kayıpları azaltmakta ve yazın binaya güneş ısı girişi sınırlandırır. Böylelikle ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiden tasarruf sağlanmaktadır [79].

Her ne kadar binalarda ısı kayıpları mimari projesine ve durumuna göre değişse de tahmini olarak; ısı kaybının, %40 duvarlarda, %30 pencerelerde, %17 si hava sızıntıları, %7 çatılarda, %6'sı ise bodrum kat da gerçekleşmektedir [80].

Uygulanan ısı köprülerine karşı tedbir alınmalı ve mutlaka yoğuşma tahkiki yapılmalıdır. Yoğuşma tahkiki neticesinde buhar kesici kullanımına gereksinim olup olmayacağına karar verilmelidir [79].

Çatı yalıtımı, sadece tek katlı yapılarda ehemmiyet arz etmektedir. Çatı yalıtım malzemelerinin hafif yanmaz olması, bozulup çürümemesi, kolay uygulanabilirliği, asit ve yağmura karşı dayanıklı oluşu, paslanma, böcek ve mikroorganizmalar tarafından zarar verilmemesi özellikleri ehemmiyet taşımaktadır. [81].

Isı iletim katsayısı ne kadar düşük olursa o ürünün yalıtım özelliği artmaktadır. Bu sebeple, yalıtım ürünlerinin ısı iletim katsayısının düşük olması istenilmektedir. Dolgu duvar, kolon kiriş ve zemin yalıtımında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri şu şekilde sıralanabilir;

- Cam yünü
- Genleştirilmiş mantar
- Taş yünü
- Genleştirilmiş polistiren (EPS)
- Ahşap yünü levhalar
- Ekstrüde polistiren (XPS)
- Poliüretan Fenol köpüğü
- Genleştirilmiş perlit
- Cam köpüğü
- Ahşap lifli levhalar [79]

Binalarda en çok ısı kaybının yaşandığı bir diğer bölge ise çerçevelerdir. Çerçevelerdeki ısı kayıplar, pencerelerin U (Upencere) katsayılarını düşürmek ile azaltılır (83).

Pencere yalıtımındaki en önemli etmen kullanılan camdır. Enerji verimliliği açısından pencerelerde kullanılmakta olan camlar yalıtım camı olmalıdır. Yalıtım camı üniteleri türlerine göre aşağıdaki şekildedir;

- Özel ısı kontrol kaplamalı yalıtım camı üniteleri
- Standart yalıtım camı üniteleri
- Özel ısı ve güneş kontrol kaplamalı yalıtım camı üniteleri [79]

Bir binanın ısıtılması veya soğutulması durumunda harcanan enerjinin azaltılmasında mekanik tesisat yalıtımının önemi maruz görülmeyecek kadar büyüktür. Mekanik yalıtımı uygulamalarıyla ısıtma ve soğutma sistemlerinde enerji tasarrufu sağlanmasıyla düşük işletme maliyetleriyle sistemin hizmet vermesi sağlanmaktadır [82, 83, 84].

Tesisatlar da yapılmakta olan ısı yalıtımıyla ısı dağıtım hatlarında meydana gelmekte olan ısı kayıp ve kazançları azaltılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Tesisatta ısı yalıtımı; en genel olarak sıcak hatlarda ısı kaybını, soğuk hatlarda ısı kazancını engellemek için alınması gereken husus olarak da ifade edilir [84].

Mekanik sistemlerde vana ve boru yalıtımı, kauçuk, cam yünü, polietilen gibi ısıl katsayısı düşük ısı yalıtım malzemelerinin boru veya vananın üzerine sarılmasıyla yapılır. Bu biçimde tesisat ile dış ortam arasındaki ısı kaçışları engellenerek, mekanik tesisatın ısıl katsayısı minimuma indirilir [84].

Armatür ve vanaların yalıtılmaması sonucunda aynı çaplı 3-4 metre boruya denk gelecek miktarda enerji kayıplarının meydana geleceği de göz önünde bulundurulmalıdır [85].

2.8.4. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

2008 yılında Aralık ayı 21075 sayılı resmî gazeteyle yürürlüğe girmiş olan yönetmelik, enerji israfının önlenmesi ve çevrenin korunmasını sağlamak esasıyla binalarda enerjinin ve bu enerji kaynaklarının verimli kullanılmasına amaçlanmaktadır. Yönetmelikte yeni bina tasarımında, hali hazırdaki binalarda önemli değişiklikler içermekte mekanik ve elektrik tesisat proje tadilatları gerekli olduğu zamanlar da göz önüne alınmalıdır [84].

Yönetmelik bulunan ve uyulması gereken konular; mimari proje tasarım koşulları ve sıcak su hazırlama ve dağıtım sistemleri, hava sirkülasyonu, ısı yalıtım ve sızdırmazlık, ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri tasarım ve uygulama koşulları, otomatik kontrol, elektrik tesisatı ve aydınlatma sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ısı pompası ve kojenerasyon sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının, ısı pompası, kojenerasyon ve

mikrokojenerasyon sistemlerinin kullanımıyla işletme, periyodik bakım ve denetim tarzında bölümlerde detaylandırılmıştır [84].

2.8.5. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik

2008 yılında Kasım ayı 27035 sayılı resmî gazeteyle yürürlüğe giren yönetmeliğin hedefi; israfın önleyerek enerjinin etkin kullanılması ve enerjinin enerji kaynaklarının kullanımında verimliliğini artırmak ve çevrenin korunmasını sağlamaktır. Burada ise mevcut tesislerin işletilmesi ve yeni tesis kurulana kadar modernizasyon, kapasite artırılması tarzında çalışmalarda enerji yöneticilerine düşen görevler, etüt ve projelerde alınması gereken metotlar listelenmiştir [85].

1. İklim ve ısı transferinde fazlasıyla verim sağlanmalıdır.
2. Yakıtların verimli yakılmasıyla ve yanma optimizasyonu yakma sistemlerinde denetim sağlanmalıdır.
3. Soğuk ve sıcak yüzeylerin olduğu, ısı üretim ve dağıtımının yapılmakta olan tüm sistemlerinde, standartlara uygun durumda izolasyon yapılarak ısı kayıpları minimuma indirilmelidir
4. Atık ısıyı tekrardan kazanılmalıdır
5. Isı enerjisinin işe dönüştürülmesiyle ve elektrik enerjisinin ısı ve mekanik enerjisine çevrildiğinde verimlilik artırılmalıdır.
6. Elektrik tüketimlerin de kayıplar önlenmelidir. Yüksek verimli armatürler kullanılmalı ve aydınlatma otomasyon sistemi kullanılmasıyla gün ışığından mümkün derecede faydalanılmalıdır.
7. İnsan faktörünün azaltılmasına yönelik otomatik kontrol sistemleri artırılmalıdır.
8. Kesintisiz enerji talebinde girdiler önemle seçilmelidir.
9. Makine seçimlerinde ise yüksek verimli cihazlar seçilmelidir.
10. Isı kayıplarını minimize edilebilmesiyle projeler tasarlanmalı ve imalatının projeye elverişli gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Kullanılması esnasında enerji verimliliğiyle ilgili ölçüm cihazlarının montajı gerçekleştirilmelidir.
11. Yenilenebilir enerji sistemlerinin çözümlmeleri gerçekleştirilmelidir.
12. Enerji tüketen ve dönüştüren ekipmanlarla ilgili mevzuat kapsamında tanımlanan asgari verimlilik ölçüleri sağlanmalıdır.
13. Pencereelerde ise düşük yayınlı ısı kontrol kaplamalı çift cam sistemleri tercih edilmelidir.

2.9. Konu ile İlgili Çalışmalar

Son zamanlarda, özellikle bina yapılarında kullanım için yüksek sıcaklıklara dayanıklı inşaat malzemelerinin geliştirilmesine artan bir ilgi vardır. Özellikle yangın olayları sırasında yapı malzemelerinin yüksek sıcaklıklara karşı direnci çok önemlidir. Örneğin yangın, dökülme riski ve harçta önemli ölçüde malzeme mukavemeti kaybı nedeniyle binalara zarar verebilir veya bina çökmelerine neden olabilir [86,87]. Son yıllarda çimento esaslı harçlarda yapısal olmayan hafif agregalar olan genleşmiş polistiren, vermikülit ve perlit doğal kum ile ikame edilmiştir. Gözenekli yapıları sayesinde bu malzemeler en büyük avantajları olarak iyi yalıtım özelliklerine sahiptir. Litrede kanıtlandığı üzere, bu agregaları içeren harç numuneleri ısı yalıtımı açısından iyi performans göstermiştir. Ayrıca, bu malzemelerin gözenekli özelliklerinden dolayı, yüksek sıcaklıklara daha fazla direnç elde etmek için kullanılma potansiyeline sahiptirler [88].

Demirboğa ve Gül 2003 yılında yaptıkları bir çalışmada, iki katkı maddesinin genleşmiş perlit agregalı beton üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çimento ağırlıklarını ağırlıkça %10, 20 ve %30 oranında azaltılarak çimento yerine hem silis dumanı hem de uçucu kül ilave etmiş ve çalışma boyunca bağlayıcı dozajı 200 kg/m^3 olarak sabit tutmuşlardır. Çimento/su oranını azaltmak için Süperplastikleştirici ağırlıkça %1.5 oranında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar şunları göstermiştir: portland çimentosunun yerine silika dumanı ve uçucu külün artması ile ısı iletkenlik sırasıyla %14 ve %18'e kadar azalmıştır. Her iki karışımın artmasıyla tüm numunelerin yoğunlukları 522'den 483 kg/m^3 'e düşmüştür. Silis dumanı ve uçucu kül, numunelerin yoğunluğunu düşürmüştür. Basınç dayanımı %10, %20 ve %30 silis dumanı nedeniyle 28 gün sonunda sırasıyla %9, %13 ve %4 artmıştır. Uçucu kül, basınç dayanımını 28 günde %27'ye kadar düşürmüştür [89].

Genleştirilmiş perlit, düşük birim ağırlığı ile inşaat sektöründe ısı ve ses yalıtımında önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak genleştirilmiş perlit, yüksek su emme kapasitesi nedeniyle betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz etkiler. Bu nedenle, genleştirilmiş perlit polimer ile kaplayarak su emiliminin azaltılması ve böylece mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Akyuncu ve Şanlıtürk yaptıkları bir çalışmada, kaplamalı ve kaplamasız genleştirilmiş perlitin sırasıyla %0, %20, %40, %60 ve %80 CEN referans kumu ile değiştirilmesiyle harç üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen tüm harç örneklerinin etkin su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız genleştirilmiş perlit agregalı harç serileri için birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme çekme dayanımı, su emilimi, ultrasonik darbe hızı (UPV) ve ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir. Sonuçlar, genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça harç numunelerinin birim ağırlıklarının azaldığını, ancak fiziksel ve mekanik özelliklerinin de değiştiğini göstermiştir. Azalan ısı iletkenlik değerleri ile daha iyi ısı yalıtım özelliklerine sahip harç numuneleri elde edilmiştir. Genleştirilmiş perlitin polimer kaplaması fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirmiştir. Özellikle %80 ikame edilmiş genleştirilmiş perlit serisinde, ısı iletkenlik 1,20'den $0,91 \text{ W/mK}$ 'e düşmüştür [90].

Wang ve arkadaşları 2018'de yaptıkları bir çalışmada, betonda agrega olarak yeni malzeme olarak aerjel ile doldurulmuş genleşmiş perlit kullanmışlardır. Aerjel ile doldurulmuş greslenmiş ve gradasyonsuz genleşmiş perlit betona ayrı ayrı ilave edilmiştir. Daha sonra doğal agrega, kısmen yeni malzeme ile değiştirilmiş ve yeni malzemenin içeriği arttıkça betonun hem mekanik dayanımı hem de termal iletkenliğinin azaldığı görülmüştür. Su-çimento oranının yeni beton malzemenin özellikleri üzerindeki etkisini keşfetmek için 0,5 ve 0,7 su-çimento oranları uygulamışlardır. Aerojelin komplekslerdeki rolü analiz edilmiş ve sonuçlar, aerjel ile doldurulmuş genleşmiş perlitin %100 hacim içeriğine sahip betonun 0,098 W/m K termal iletkenliğe ve 3,71 MPa basınç dayanımına sahip olduğunu göstermiştir [91].

Birçok çalışma genleştirilmiş perlit komplekslerine odaklanmıştır. Lulu Fu, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tuz hidratiyla genleştirilmiş perlit oluşturarak yanmaz bir termal depolama malzemesi geliştirmişlerdir [92]. Benzer şekilde Liu Jiesheng, forma stabil laurik asit / genleşmiş perlit (LA / EP) kompozitini incelemiş ve termal enerji depolama kapasitesi nedeniyle bina uygulamalarında büyük bir potansiyele sahip olduğunu bulmuşlardır [93]. Xiangfei Kong, bir binanın enerji tüketimini azaltabilen bir faz değişim malzemesi sentezlemek için genleşmiş perlit sıvı parafinle doldurmuştur [94]. Xiangyu Li, iç ortam sıcaklık salınımlarını azaltmak için parafini genleştirilmiş perlit partiküllerinin gözeneklerine emdirerek granüler faz değişim malzemeleri yapmıştır [95]. Xiaoguang Zhang, karbon nanotüpleri parafin / genleştirilmiş perlite dolgu maddesi olarak ekleyerek faz değişimli malzemelerin ısı iletkenliğini arttırdığını bulmuştur [96]. Dan Sun, çimento harcına, sıradan çimento harcı ile karşılaştırıldığında iyi ısı depolama özelliklerine ve termal stabiliteye sahip olan parafin/genleşmiş perlit malzemeleri uygulamıştır [97].

Palm yağı kabukları, betonun yoğunluğunu azaltmak ve ayrıca çimento endüstrisinden kaynaklanan sera gazları salınımını azaltmak için iri agrega oranını %50'ye kadar değiştirilerek kullanılır; çimento, öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu, palm yağı ve yakıt külü (pofa) ile değiştirilir. Karışım planlaması için ve betonun sünekliğini arttırmak için M30 sınıfı beton kullanılan bu betonda, beton hacmine göre elektriksel olarak %0,5 daha yüksek Asit Korozyon Direnci tipi cam elyaflar kullanılmaktadır. Palm yağı kabukları, granül yüksek fırın cürufu ve palm yağı yakıt külü, sırasıyla %50'ye kadar (%10, %20, %30, % 0 ve %50) kaba agregalar ve çimento ile yer değiştirilmiştir. Bunun için tüm beton karışımları için dayanım çalışmaları basınç dayanımı, yarıлма dayanımı, eğilme dayanımı ve Young beton modülü incelenmiş ve yukarıdaki çalışmalar normal beton ile karşılaştırılmıştır [98].

Yıldırım ve Baba (2018), çalışmalarında hacimsel olarak %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında genleştirilmiş perlit ve bims agregaları ile 250 kg/m^3 çimento kullanarak kompozit harçlar üretmişler ve bu numuneler üzerinde; kuru birim ağırlık, su emme, basınç dayanımı, kılcal su emme ve ısı iletkenlik testleri yapmışlardır. Bims agregalı numunelerde, karışımdaki bims agregası miktarı arttıkça basınç dayanımı, su emme ve kılcallık özelliklerinin perlit agregalı

numunelere göre daha iyi olduğunu; kuru birim ağırlık ve ısı iletkenlik özelliklerinin ise daha kötü olduğunu gözlemlemişlerdir [99].



3. MATERYAL METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmaların fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimleri, harç karışımlarında kullanılan malzeme oranlarına ve gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

3.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan ham maddelerimiz çimento, kum, perlit ve genleştirilmiş perlit ile bakım suyudur.

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada, Elazığ ilindeki ÇİMENTAŞ Elazığ Çimento Fabrikası tarafından üretilen ve Öz Torgutlar Ticaret Şirketinden sağlanan TS EN 197-1 (2002) ile uyumlu Puzolanik çimento kullanılmıştır. Çimentonun taze olarak kullanılmasına dikkat edilmiş ve nem almaması için koruyucu kaplara konulmuştur. Çimentaş Elazığ Fabrikasından alınan CEM IV/B (P) 32,5 R Puzolanik çimentosuna ait temel kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Çimentonun priz başlangıç ve bitiş süreleri TS EN 196-3 (2002)’de belirtilen yöntemle göre tespiti yapılmıştır.

Tablo 3.1. Çimentonun temel fiziksel ve kimyasal özellikleri

Görünüm	Gri veya beyaz granül toz	Bağıl Yoğunluk (g/cm³)	2.75-3.20
Koku	Yok	Görünür Yoğunluk (g/cm³)	0.9-1.5
pH (suda) 20 °C	9-14	Buhar Basıncı (hPa) 20 °C	Uygulaması yok
Kaynama Noktası (°C) 760 mmHg	Uygulaması yok	Vizkozite (cPs) 25 °C	Uygulaması yok
Erime Noktası (°C)	>1200 °C	Patlama Tehlikesi	Uygulaması yok
Parlama Noktası 760 mmHg	Uygulaması yok	Oksidasyon Özellikleri	Uygulaması yok
Kendiliğinden Alevlenme Sıcaklığı (°C)	Uygulaması yok	Ortalama Tane İriliği (Mikron)	1-30
Ayrışma Sıcaklığı(°C)	Uygulaması yok	Suda Çözünürlük (%)	0.1-1.5
Ayrılma Katsayısı	Uygulaması yok	Buhar Yoğunluğu	Uygulaması yok

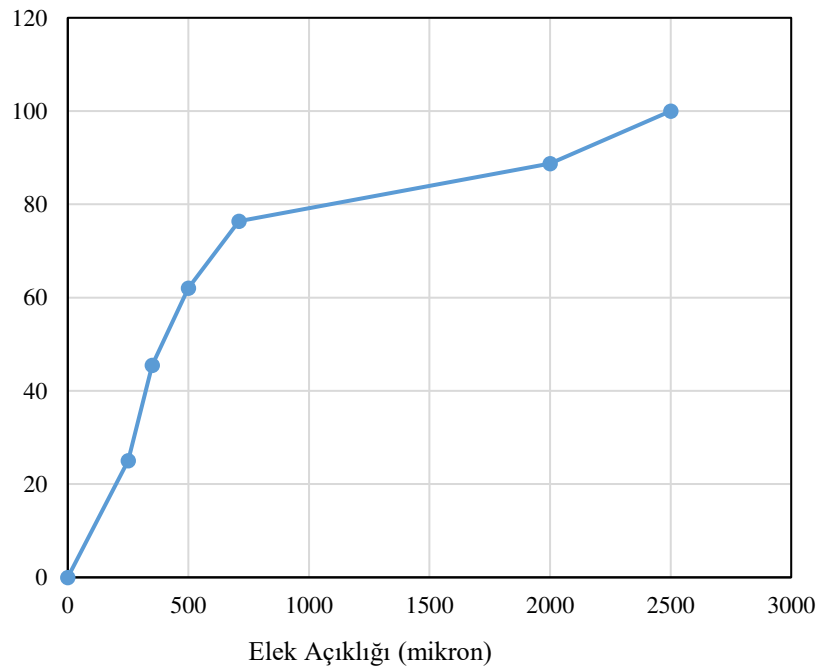
NOT: Yukarıdaki özellikler, Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmeliğinde öngörülen yöntemlere veya karşılaştırılabilir diğer bir yöntemle göre belirlenmiştir.

3.1.2. Kum (ince agreg)

Yüksek mukavemetli ve kaliteli bir beton üretmek için agreganın fiziksel özellikleri büyük önem sağlamaktadır. Bu çalışmada su ihtiyacını azaltmak ve işlenebilirliği arttırmak sebebiyle ince agreg olarak 0-4 mm dane büyüklüğünde kum kullanılmıştır. Kum yıkanarak temizlenip sonra etüvde kurutularak deneylerde kullanılmıştır. Harç numunelerinin hazırlanmasında kullanılan kumun TS EN 933-1:2012'ye göre elek analizi yapılarak sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir [100]. Bu sonuçlara göre çizilen grafik ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kum (ince agreganın) elek analiz değerleri

Elek Açıklığı (mikron)	Elek Üzerinde Kalan (g)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
2500	0	0	0	100
2000	45	11.25	11.25	88.75
710	49.44	12.36	23.61	76.39
500	57.41	14.35	37.96	62.04
350	66.15	16.53	54.50	45.50
250	82	20.50	74.99	25.01
Tava	100	25	100	0
Toplam	400			



Şekil 3.1. Kum (ince agreganın) elek analizi sonuçlarının grafiksel gösterimi

3.1.3. Perlit ve Genleştirilmiş Perlit

Perlitin kullanım amaçlarına ve yerine göre değişik ülkelerde (DIN, ASTM, ISO vb) hazırlanan çeşitli standartlar bulunmakla beraber, Uluslararası Perlit Enstitüsünce kullanım amaçlarına göre tanımlanan standartlar aşağıda sunulmaktadır.

Deneylerde kullanılan perlit ve genleştirilmiş perlit Akper firmasından temin edilmiştir. Kullanılan perlit ve genleştirilmiş perlitin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- **Tane Boyutu :** 0,0-2,5mm
- **Yoğunluk:** 60-80 Kg/m³
- % 40'a kadar varan yakıt tasarrufu sağlar
- Yaz ve Kış 4 – 7 °C ısı farkı sağlar.

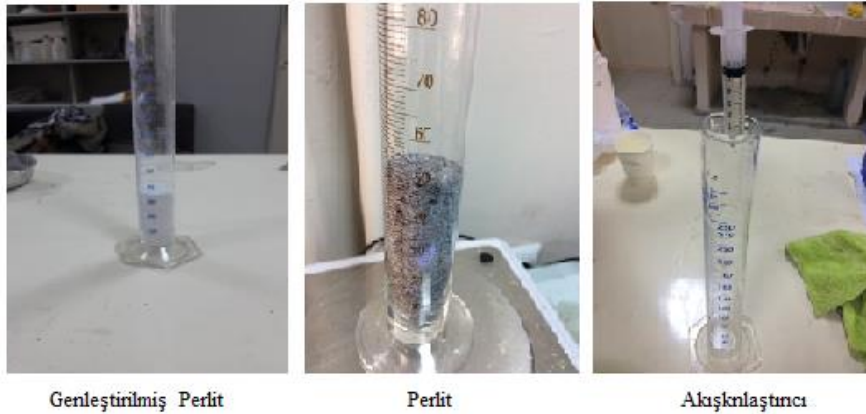
3.1.4. Karışım ve bakım suyu

Beton ve agrega deneylerinde kullanılan karışım ve bakım suyu şehir şebekesinden elde edilmiştir. Karışım ve bakım suyunun kalitesiyle alakalı özel bir Türk Standardı yoktur. Kaynaklarda bakım ve karışım suyu içilebilir su olarak tarif edilmektedir [101, 102].

3.2. Harç Karışım Oranları ve Numune Hazırlama

Bu çalışmada, perlit ve genleştirilmiş perlit harç üretiminde agregası olarak kullanılmıştır.

Beton harç karışımlarının hazırlanmasında bağlayıcı olarak çimento, agregası olarak kum, hafif agregası olarak perlit ve genleştirilmiş perlit hidrasyonun başlamasını sağlamak sebebiyle de su kullanılmıştır. Bunun yanı sıra su oranını düşürmek için bazı harç karışımlarına akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Numune hazırlamada kullanılan maddelerin hazırlık aşaması Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Numune hazırlamada kullanılan maddelerin hazırlık aşaması

Su/çimento oranları; 0,50 olarak alınmıştır. Hazırlanan numunelerin, yoğunluk, ısı iletim katsayısı, su emme, kuruma ve mekanik dayanım gibi özelliklerde de belirlenmiştir. Harçlar yeterince karıştırıldıktan sonra ise iç yüzeyleri yağlanmış olan küp formunda 100×100×100 mm boyutlarında olan kalıplara dökülmüştür. Kalıplar belirli titreşime tabi tutularak sıkıştırılmış olup daha düzgün bir kalıp şekline gelmesi için mala yardımıyla düzeltilmiştir. Beton kalıplar üzerine yazılı olan etiketler üst kısımlarına yerleştirilip numuneler oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. 48 saat sonra kalıp içerisinde bulunan numuneler çıkartılmıştır. Oda sıcaklığında 28 günlük kuruma süresine bırakılmıştır. Kuruyan beton kalıplar içerisinden düz bir zeminde ters çevrilerek çıkarılmıştır. Şekil 3.3'te kalıplara dökülen harçlar görülmektedir.



Şekil 3.3. Kalıplara dökülen harç numuneleri

Hafif agrega olarak perlit ve genleştirilmiş perlit ile beton içerisinde kullanımını incelemek amacıyla perlitin daha sonra genleştirilmiş perlitin kullanıldığı, kum agreganın ve perlit ve genleştirilmiş perlitin birlikte kullanıldığı dört farklı karışım grubu hazırlanmıştır. Bununla birlikte karışımlar akışkanlaştırıcı kullanılarak aynı benzerlikte tekrarlanmıştır. Karışım bölümleri içerisinde perlit ve genleştirilmiş perlit içermeyen kontrol harç karışımları da hazırlanmıştır. Bu karışım bölümleri aşağıda verilmiştir.

1. Bölüm: Kumsuz olup çimento ve perlit karışımlarından oluşmuştur. Bu karışımlarla birlikte akışkanlaştırıcı da sonradan ilave edilip tekrarlanmıştır.

2. Bölüm: Kumsuz olup çimento ve genleştirilmiş perlit karışımlarından oluşmuştur. Bu karışımlarla birlikte akışkanlaştırıcı da sonradan ilave edilip tekrarlanmıştır.

3. Bölüm: Kumlu karışım, çimento ve perlit içermektedir. Bu karışımlarla birlikte akışkanlaştırıcı da sonradan ilave edilip tekrarlanmıştır.

4. Bölüm: Kumlu karışım, çimento ve genleştirilmiş perlit içermektedir. Bu karışımlarla birlikte akışkanlaştırıcı da sonradan ilave edilip tekrarlanmıştır.

Karışımların içerisindeki çimento/su oranı 0.50 olacak şekilde yapılmıştır. Kum ve çimento miktarları da eşit oranda kullanılmıştır. Bazı harç karışımlarında çimento ağırlığını %0.7'si oranında akışkanlaştırıcıyı karışım suyuna ilave edilerek hazırlanmıştır. Her bölümdeki karışım da perlit oranları %0 , %5, %10 , %20, %30 şeklinde 40 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca genleştirilmiş perlitte aynı şekilde hazırlanarak toplamda 80 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Tablo 3.3'de deneylerde kullanılan beton numunelerin içeriği verilmiştir.

Aynı oranlar genleştirilmiş perlit içinde uygulanmıştır. Tablo 3.4'de genleştirilmiş perlit kullanılarak hazırlanan beton numunelerin numunelerin içeriği verilmiştir.

Tablo 3.3. Deneylerde kullanılan perlit içerikli beton numuneler

Bölüm	Karışım Kodu	Çimento/Su	Perlit %	Kum	Akışkanlaştırıcı
1	Ç1*	0,50	-	-	-
	ÇP2		5	-	-
	ÇP3		10	-	-
	ÇP4		20	-	-
	ÇP5		30	-	-
	ÇA1*	0,70	-	-	+
	ÇPA2		5	-	+
	ÇPA3		10	-	+
	ÇPA4		20	-	+
	ÇPA5		30	-	+
3	ÇK1*	0,50	-	+	-
	ÇPK2		5	+	-
	ÇPK3		10	+	-
	ÇPK4		20	+	-
	ÇPK5		30	+	-
	ÇKA1*	0,70	-	+	+
	ÇPKA2		5	+	+
	ÇPKA3		10	+	+
	ÇPKA4		20	+	+
	ÇPKA5		30	+	+

*" işareti kendi karışım grubu içerisinde kontrol betonu olduğunu, "-" işareti karışım içerisinde o malzemenin kullanılmadığını, "+" işareti karışım içerisinde o malzemenin kullanıldığını göstermektedir.

Ç=Çiment

ÇP=Çimento+Perlit

ÇK=Çimento+kum

ÇPK=Çimento+perlit+kum

ÇA=Çimento+akışkanlaştırıcı

Tablo 3.4. Deneylerde kullanılan genleştirilmiş perlit içerikli beton numuneler

Bölüm	Karışım Kodu	Çimento/Su	GenleştirilmişPerlit %	Kum	Akışkanlaştırıcı
2	ÇI*	0,50	-	-	-
	ÇGP2		5	-	-
	ÇGP3		10	-	-
	ÇGP4		20	-	-
	ÇGP5		30	-	-
	ÇA1*	0,70	-	-	+
	ÇGPA2		5	-	+
	ÇGPA3		10	-	+
	ÇGPA4		20	-	+
	ÇGPA5		30	-	+
4	ÇK1*	0,50	-	+	-
	ÇGPK2		5	+	-
	ÇGPK3		10	+	-
	ÇGPK4		20	+	-
	ÇGPK5		30	+	-
	ÇKA1*	0,70	-	+	+
	ÇGPKA2		5	+	+
	ÇGPKA3		10	+	+
	ÇGPKA4		20	+	+
	ÇGPKA5		30	+	+

*" işareti kendi karışım grubu içerisinde kontrol betonu olduğunu, "-" işareti karışım içerisinde o malzemenin kullanılmadığını, "+" işareti karışım içerisinde o malzemenin kullanıldığını göstermektedir.

Ç=Çimento

ÇGP=Çimento+genleştirilmiş perlit

ÇK=Çimento+kum

ÇGPK=Çimento+genleştirilmiş perlit+kum

ÇA=Çimento+akışkanlaştırıcı

3.3. Beton Numunelerine Uygulanan Testler

Numunelere: ağırlıkları tartılarak yoğunluk deneyi, Basınç Dayanımı testi, Yarmada çekme testi, Isıl iletkenliği ölçümü, su emme ve kuruma hızı deneyleri uygulanmıştır.

3.3.1. Birim Ağırlık Deneyi

Oda koşullarında beton numuneler 28 gün bekletildikten sonra ağırlıkları hassas terazide tartılarak belirlenmiştir. Sertleşen beton numunelerinin ağırlık değerleri dış hacmiyle bölünüp birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Hafif betonların yoğunluk, basınç dayanımı, agrega tipi ve kullanım alanlarına göre sınıflandırılabilir. Şekil 3.4’de kalıplardan çıkarılmış numune betonlar görülmektedir.



Şekil 3.4. Kalıplardan çıkarılmış numune betonlar

3.2.2. Basınç ve Çekme Dayanımı Deneyi

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan Ele International marka cihaz ile 100x100x100 mm boyutta ve farklı özellikteki numunelere ait basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Otomatik dijital

kumandalı olarak kullanılabilen, 3000 kN yükleme kapasiteli tek eksenli kuvvet uygulayabilen yükleme hızı gibi deney parametrelerin ayarlanabilmesini sağlayan özelliklere sahiptir. Şekil 3.5’de basınç ve çekme dayanımı deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.5. Basınç ve çekme dayanımı deney düzeneği

Basınç dayanım testine geçerek numuneler eşit oranlarda yük uygulanabilmesi için alt ve üst yüzeylerinin pürüzsüz olması gerekmektedir. Cihazın yapısı alt plakası sabit, üst plakası hareketli yapıdadır. Numune alt yükleme plakası üzerine dışarı taşmayacak biçimde, ortalanarak yerleştirilir. Kontrol ünitesindeki “Start/Başlat” butonuna basılmasıyla üst plaka yavaşça numuneye doğru hareket etmekte ve artan miktarda numuneye kuvvet uygulanılmaktadır. Numune kırıldığı zaman cihaz otomatik olarak durur ve ekrandan kırılma anındaki maksimum kuvvet kN ve basma gerilmesi MPa türünden okunmaktadır. Kırılan numune dışarı çıkartılır ve daha sonra diğer numuneler için aynı işlemler yapılmaktadır.

Basınç dayanımı değerleri sonuçları, TS500 standardına göre Eşitlik 3.1 kullanılarak çekme dayanımına dönüştürülebilir.

$$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_{ck}} \quad (3.1)$$

f_{ck} : basınç dayanımı (MPa) ve f_{ctk} : çekme dayanımı (MPa)’dır..

3.3.3. Yarmada-çekme dayanımı tayini

Beton numuneler deney presinin üzerine ve numune eksenli presin alt tablasına paralel gelecek biçimde yatırılmaktadır. Numunelerin yan yüzünün üst ve alt kısımlarının 1 mm eninde ve

1 mm kalınlığına yakın duralit çubuklar yerleştirilmiştir. Pres vasıtasıyla uygulanmakta olan basınç yükü numune kırılıncaya kadar devam etmekte olup kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Bu yükleme altında, beton numunelerin kırılma tarzları ve numunelerin ortadan ikiye ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir.

Kırılmaya hazır olan numuneler yarmada-çekme ve basınç deneyleri için 2000 kN kapasiteli dijital makinedeki çelik başlıkların içine yerleştirilip kırılarak tepe yükleri kaydedilmiştir. Yaklaşık olarak küp numunelerin maksimum yüke ulaşması 2 dk. ± 30 sn olacak biçimde yüklenmiştir. Numunelerin üzerine sabitlenen duralitler numunenin bir düzlem süresince ikiye bölünmesi sağlanmıştır. Her numune cihaza yerleştirilmeden önce yeni bir duralit çubuk yerleştirilmiştir. Maksat hatayı en aza indirmektir. Basınç test tayininde bu duralit çubuklar kullanılmamıştır.

3.3.4. Su Emme ve Kuruma Hızları Deneyi

Betonun su emmesi, hafif beton üretiminde kullanılmakta olan hafif agregaların su emme gücüne ve agregası/çimento oranına ait olarak değişmektedir. Hafif agregalı betonların üretiminde kullanılan agregaların gözenekli yapıları olduğu için hafif betonların da su emme oranları bir hayli yüksektir. Agregaların gözenek yapısının da hafif betonun su emme oranı üzerinde büyük görev üstlenmektedir. Benzer agregası oranında yalnızca farklı agregalarla üretilen betonların su emme oranları da agregaların gözenek yapıları olduğundan dolayı farklılık göstermektedir [103].

28 günlük oda sıcaklığında kuruma süresini dolduran beton numunelerin kuru ağırlığı hassas terazide tartılarak değerleri kaydedilmiştir. Su dolu kap içerisine konulan numuneler 20 dakika, 40 dakika, 1 saat, 2 saat ve 24 saat sürelerde bekletilmiştir. Beklenen süre sonunda su içerisinden çıkarılan beton numunelerin yüzeyleri kurularak ve tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir.

Suyla dolu kap içerisinde 24 saat beklenen numuneler, kap içerisinden çıkartılarak kuruması için 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat, 24 saat ve 48 saat sürelerle bekletilmiştir. Beklenen sürenin sonunda ise tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Kuruma hızı oranı Eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_1 = (B-A) / A \times 100 \quad (5.2)$$

$$M_2 = (B-C) / C \times 100 \quad (5.3)$$

M_1 : Ağırlıkça su emme oranı (%)

M_2 : Ağırlıkça kuruma hızı oranı (%)

A: Kuru numune ağırlığı (kg)

B: 24 saat sonrasındaki doymuş yaş ağırlığı (kg)

C: 48 saat sonrasındaki kuru ağırlığı (kg)

3.3.5. Isı İletim Katsayısı Deneyi

Beton numunelerinin ısı iletim katsayısını ölçmek için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Müh. Bölüm Laboratuvarında bulunan Thermtest Portable cihazı kullanılmıştır. Cihaz geçici rejim ölçüm tekniklerinden, ısı kaynağı olarak sıcak tel metodunu kullanarak ölçüm yapmaktadır.

Cihaz yaklaşık 2 dk çalıştırılarak telin ısınması sağlanır. Ölçümü yapılacak beton numunelerin üst yüzeyine cihazın teli girecek kadar delikler matkap yardımıyla açılmıştır. Isı iletim katsayısı, 22-25° C oda sıcaklığında ve her numuneye sıcak tel yerleştirilerek ölçümü yapılmıştır (Şekil 3.6.). Cihaz ısı iletim katsayısını 0.02-6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle vermektedir.



Şekil 3.6. Isı iletim katsayısı ölçümü alınan beton numune

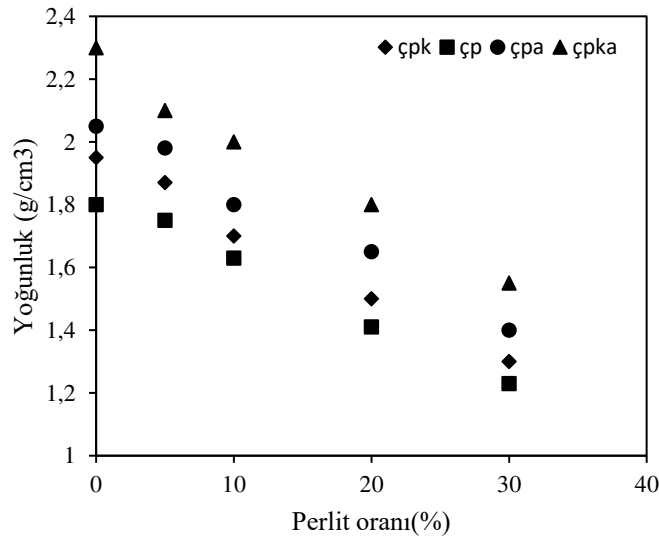
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında deneyler iki temel adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda perlit kullanılarak betonlar üretilmiştir. İkinci adımda genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak farklı karışımlara sahip betonlar üretilmiştir. Her iki adımda üretilen beton serilere ait deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki bölümlerde sunulmuştur.

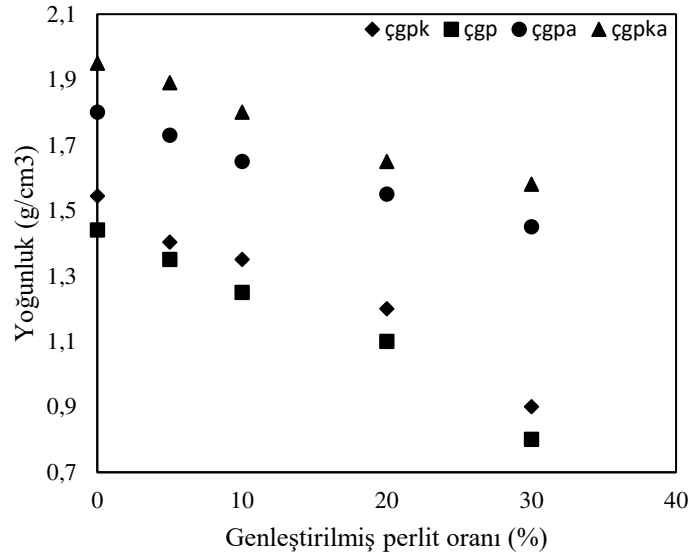
4.1. Kuru Birim Ağırlık

Hazırlanan beton numunelerin yeterli sertliğe ulaşması için 28 gün beklendikten sonra ağırlıkları ölçülmüş ve hacim değerine bölünerek birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Literatürde hafif betonun yoğunluğunun 800 ile 2000 kg/m³ arasında olması gerektiği verilmektedir. Birim ağırlığı 300-800 kg/m³ olan betonlar düşük dayanımlı yalıtım betonlarıdır [104].

Çimento/perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkıları numunelerde yoğunluğun perlit oranı ile değişimi Şekil 4.1’de, genleştirilmiş perlit oranı ile değişimi ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Kontrol beton numunelerine oranla perlit içeren beton numunelerin yoğunluğunda azalma gözlenmiştir. Bu azalma perlitin düşük yoğunluğundan (0.08-0.16 g/cm³) ileri gelmektedir. Kumlu betonların kumsuz betonlara göre yoğunluğu daha yüksektir. Akışkanlaştırıcı içeren beton numunelerin yoğunluğu daha yüksektir. Perlit içeren beton numunelerin 1,2-2,3 g/cm³ aralığında değişmektedir. En yüksek birim ağırlığı %5 genleştirilmiş cam içeren ÇPKA betonunda görülürken, en düşük birim ağırlığı %20 genleştirilmiş cam içeren ÇG betonunda olduğu görülmüştür. Elde edilen beton numuneler TS EN 206-1 standardına göre hafif beton sınıfındadır [105].



Şekil 4.1. Çimento/perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkıları numunelerde yoğunluğun perlit oranı ile değişimi



Şekil 4.2. Çimento/genleştirilmiş perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde yoğunluğun genleştirilmiş perlit oranı ile değişimi

Genleştirilmiş perlit içeren beton numunelerin yoğunluğu $0,8-1,95 \text{ g/cm}^3$ aralığında değişmektedir. En yüksek birim ağırlığı %5 genleştirilmiş cam içeren ÇGPKA betonunda görülürken, en düşük birim ağırlığı %20 genleştirilmiş cam içeren ÇGP betonunda görülmüştür. Genleştirilmiş perlit kullanılarak elde edilen beton numuneler TS EN 206-1 standardına göre hafif beton sınıfındadır. Hafif betonlar birim ağırlıkları ve basınç dayanımlarına göre şu şekilde sıralanır.

- Yalıtım betonu: Birim ağırlığı $0,2-0,6 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $0,2-2,5 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar.
- Hem yalıtım hem taşıyıcı beton: Birim ağırlığı $0,6-1,2 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $2,5-10 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar.
- Taşıyıcı beton: Birim ağırlığı $1,2-2,0 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımı $15-60 \text{ MPa}$ olan hafif betonlar [3].

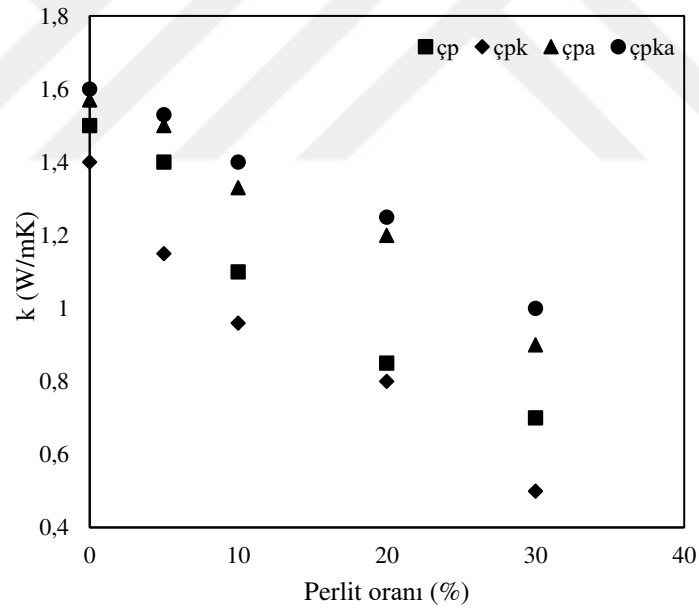
Genleştirilmiş perlit ile hazırlanan %30 luk genleştirilmiş perlit içeren numunelerin yoğunlukları $0,8-1,58 \text{ kg/m}^3$ arasındadır dolayısıyla akışkanlaştırıcı kullanmadan hazırlanan numuneler hem yalıtım hem taşıyıcı beton sınıfındadır.

4.2. Isı İletim Katsayısı

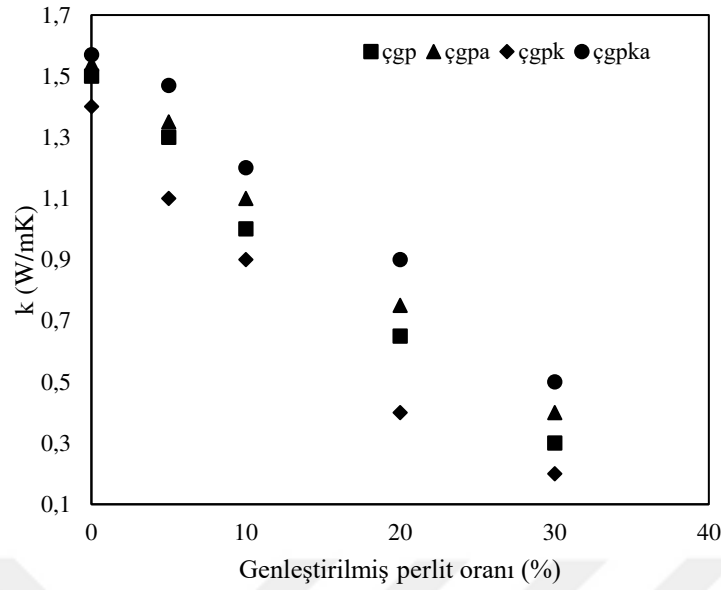
Isı iletkenliği (k değeri), bir malzemenin ısı iletim kapasitesini gösteren bir özelliktir. Betonun ısı iletkenliği, öncelikle kullanılan hammaddelerin ısı iletkenliği ve karışım oranlarından etkilenir [106].

Hafif agregalı betonların ısı iletkenliğini genel olarak betonun nem içeriği, yoğunluğu ve agregata türünden etkilemektedir [107]. Agregalar genellikle betonun hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturduğundan, düşük ısı iletkenliği olan agregaların dahil edilmesi betonun ısı yalıtım kapasitesinde önemli bir artışa katkıda bulunabilir. Düşük termal iletkenlik değerleri, artan yalıtım kapasitesiyle ilişkilidir.

Beton numunelere ilave edilen perlit ve genleştirilmiş perlit oranlarının ısı iletim katsayısı üzerindeki etkisi Şekil 4.3’de verilmiştir. Beton numunelerde perlit ve genleştirilmiş perlit oranı arttıkça ısı iletim katsayısının azaldığı görülmüştür. Perlitin düşük ısı iletim katsayısı sayesinde (0.0639 W/m.K) yapı malzemesine termal izolasyon özelliği katmaktadır. Kullanılan agreganın özellikleri, beton numunelerin ısı özelliklerini etkilediği görülmüştür. Isı iletim katsayısı en her deney grubunda en yüksek %5 oranında perlit ve genleştirilmiş perlit içeren, en düşük ise %20 oranında perlit ve genleştirilmiş perlit içeren numunelerde elde edilmiştir. Akışkanlaştırıcı içeren beton numunelerin ısı iletim katsayıları diğer numunelere göre daha düşüktür. Su oranını düşürerek kapiler boşluk oranını azaltan akışkanlaştırıcı ısı iletimini kolaylaştırmıştır.



Şekil 4.3. Çimento/perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde ısı iletim katsayısının perlit oranı ile değişimi



Şekil 4.4. Çimento/genleştirilmiş perlit/kum/akışkanlaştırıcı katkılı numunelerde ısı iletim katsayısının genleştirilmiş perlit oranı ile değişimi

Şengül ve arkadaşlarının yapmış oldukları bir çalışmada genleştirilmiş perlit ile hazırlanan beton örneklerin ısı iletkenlik katsayısını 0,15-0,65 W/mK olarak bulmuşlardır.

Gözeneklilik, hafif agrega betonunun ısı iletkenlik katsayısını etkileyen faktörlerden biridir. Kapalı gözeneklere giren havanın düşük ısı iletkenliği, hafif agrega betonunun ısı iletkenlik katsayısının azalmasına neden olur [108].

Maaloufa ve ark. (2016) binalarda ısı yalıtımı sağlamak amacıyla genleştirilmiş perlit ilaveli tuğlaların termal özelliklerine kalsinasyon etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada, tuğlalar genleştirilmiş perlit ilave edilerek üretilmiş ve yoğunluk değerlerini 2029 kg/m³- 1450 kg/m³ aralığında ölçmüşlerdir. Sadece genleştirilmiş perlit ilavesiyle birlikte yoğunluktaki azalmaya bağlı olarak ısı iletim katsayısı 0,51 W/m.K'den 0,38 W/m.K değerine azalmıştır. Daha sonra bu numunelere kalsinasyon işlemi uygulanmış ve yoğunluk değeri 1374 kg/m³ değerine, ısı iletim katsayısı değeri de 0,258 W/m.K değerine düşmüştür. Böylece mevcut tuğlalara genleştirilmiş perlit ilavesi ile daha iyi bir ısı yalıtım malzemesi elde edilmiştir.

Çalışmamızda genleştirilmiş perlit ilavesi ile hazırlanan numunelerden %30 genleştirilmiş perlit içeren ÇGPK, en düşük ısı iletkenliğe sahiptir (0,2 W/mK).

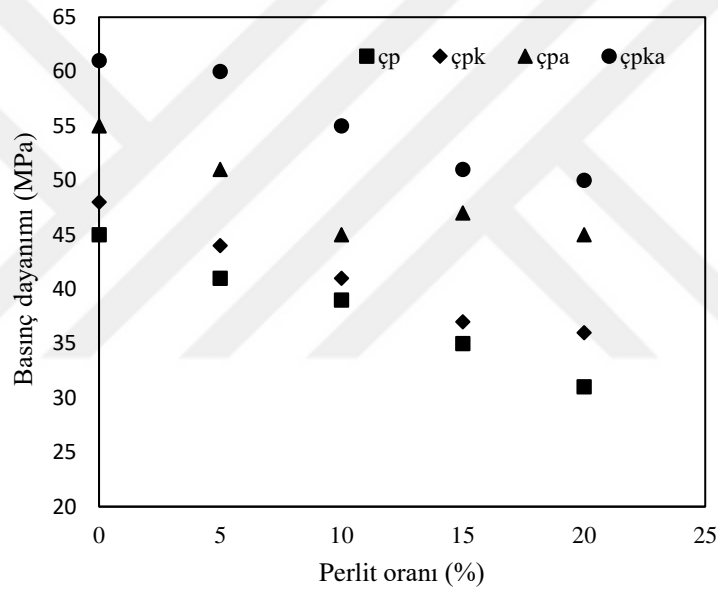
4.3. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı, beton numunede eksenel yüklenmeye oranla ölçülen maksimum direnç olarak ifade edilmektedir. Betonun basınç dayanımını etkileyen birden fazla etmen vardır. Çimento türü su/çimento oranı, kimyasal veya mineral katkılar, agrega özellikleri, betonun boşluk yapısı

betonun dayanımında etkilemekte olan iç faktörler olarak sınıflandırılabilir. Beton üretimi, bakımı, dökümü, sertleşme şartları, hizmet ömrü boyunca maruz olan etkiler dış faktörler olarak sınıflandırılabilir.

Beton basınç dayanımını etkilemekte olan ana unsur çimento ve sudan oluşmuş matrisin bileşenlerine bağlıdır. Yalnız, numune biçim ve boyutu, nem içeriği, sıcaklık, numune hazırlama, beton test pres hızı ve ya tipi gibi birden çok parametre beton basınç dayanımını etkilemektedir [93, 109].

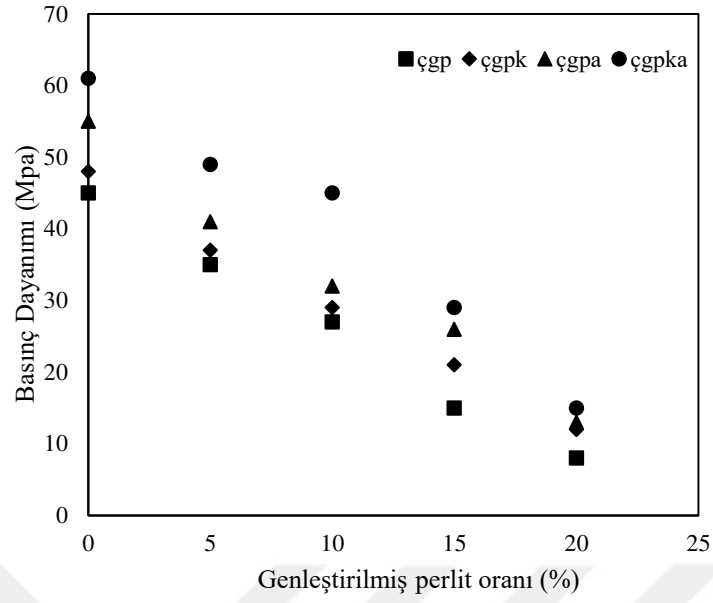
Beton numunelerin mekanik özellikleri üzerine perlit ve genleştirilmiş perlit etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 4.5-4.6’da verilmiştir. Verilen değerler 28 günlük kür süresi sonunda değerlendirilmektedir.



Şekil 4.5. Beton numunelerde bulunan perlit oranının basınç dayanımı üzerindeki etkisi

Basınç dayanımını Perlit ve genleştirilmiş perlit ile değişimini gösteren şekiller incelendiğinde hem perlit hem de genleştirilmiş perlit katkılı betonların basınç dayanımının artan perlit ve genleştirilmiş perlit oranı ile düştüğü görülmektedir. Akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilmekte olan betonların basınç dayanımları daha yüksektir. Azalan su oranına bağlı olarak daha sıkı bir yapının oluşmasıyla dayanımı artmıştır.

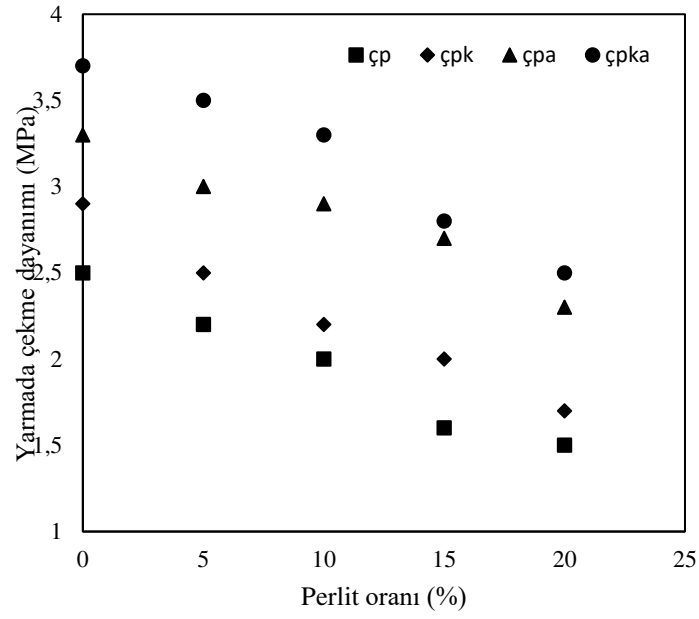
Betonun basınç dayanımını etkileyen, iki faktör vardır. Bunlar su/çimento oranı, betonun sıkışmasıdır [110]. Tamamen sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı, su/çimento oranıyla ters orantılıdır [111].



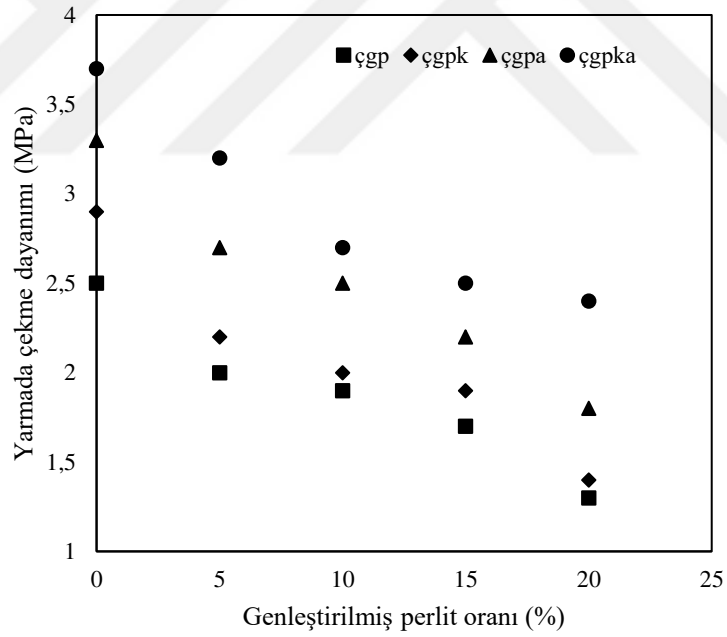
Şekil 4.6. Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının basınç dayanımı üzerindeki etkisi

4.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Beton elemanlarının çatlayabileceği yükü belirlemek amacıyla betonun çekme dayanımını belirlemek gerekmektedir. Çekme dayanımı, betonun gerilim altında çatlamaya veya kırılmaya dayanma kabiliyetidir. Betonun çekme dayanımını basınç dayanımına oranla çok daha düşüktür. Bu sebeple beton yapılarının çelik gibi yüksek çekme dayanımında bulunan malzemelerle güçlendirilmesi gerekmektedir. Beton kırılğan bir malzeme olması sebebiyle gerginlikte çok zayıftır. Bu sebeple çekme kuvvetleri betonun çekme dayanımını aştığında çatlaklar oluşmaktadır. Beton numunelerinin çekme dayanımını vasıtasıyla bir yöntem olan yarma deneyiyle belirlenmiştir. Yarma deneylerinde küp numunelerine uygulanan yük sonucunda ve betonun ortadan yarılarak iki parçaya ayrılmasından yararlanılarak çekme dayanımı belirlenmiştir. Perlit ve genleştirilmiş perlitin betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek sebebiyle, beton numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.7-4.8’te verilmiştir. Kontrol beton numunelerine oranla perlit ve genleştirilmiş perlit oranı arttıkça yarmada çekme dayanımı artmıştır.



Şekil 4.7. Beton numunelerde bulunan perlit oranının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi

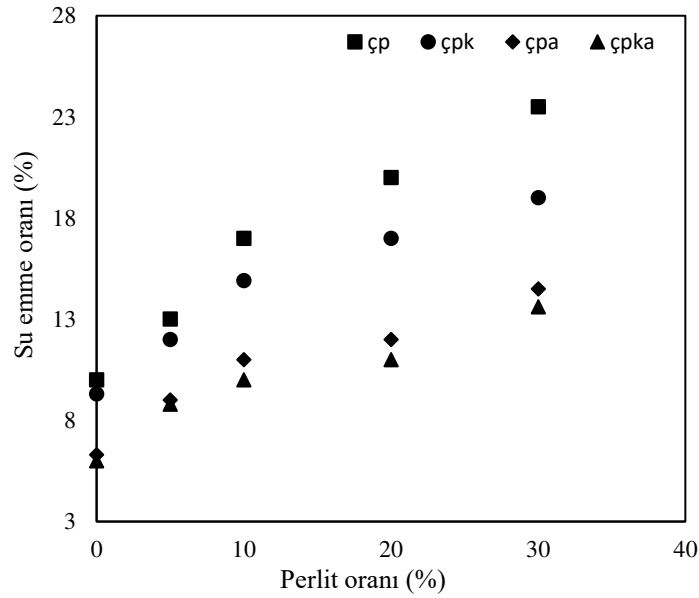


Şekil 4.8. Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi

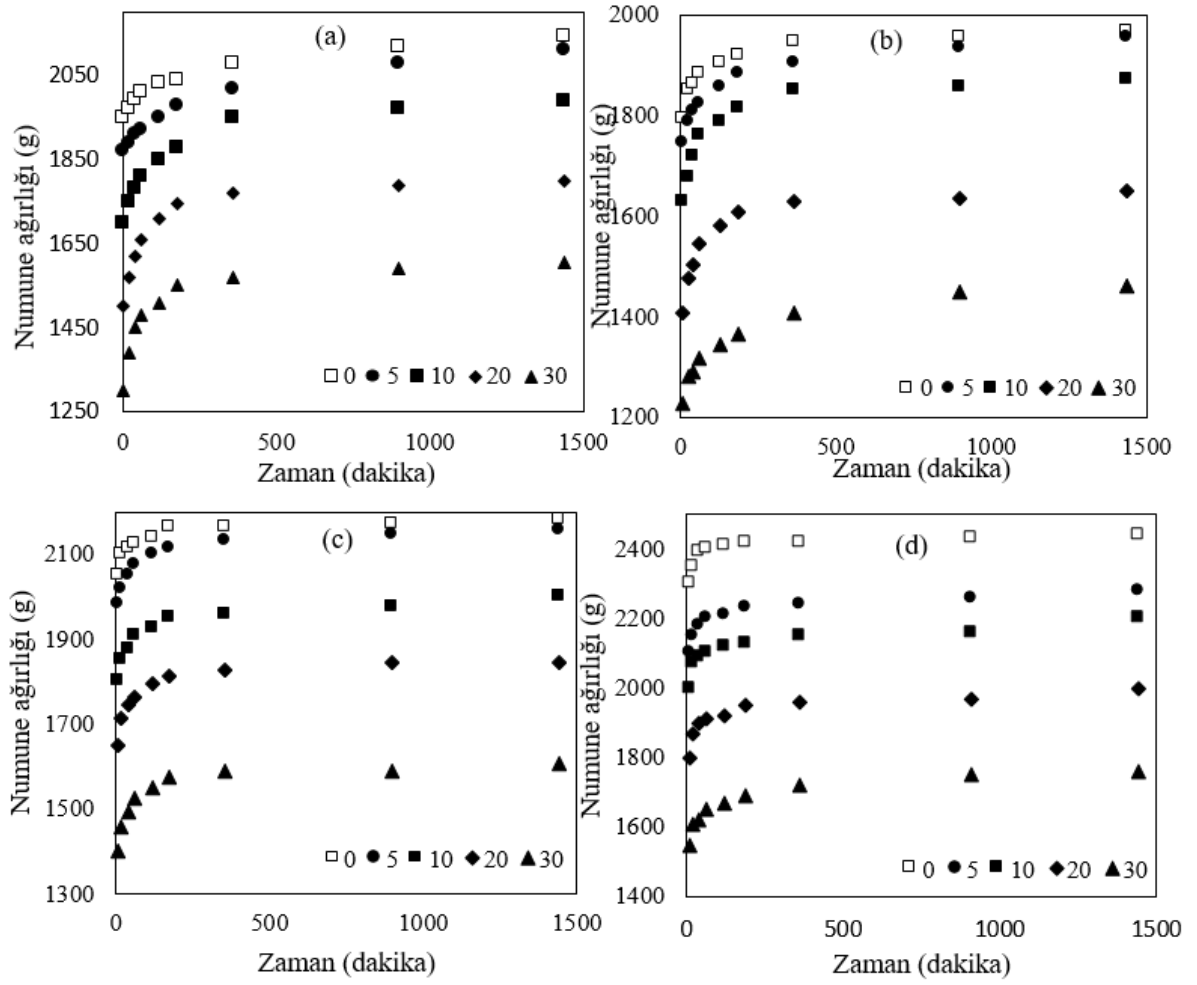
4.5. Su emme Oranı

Hafif beton, hafif agregâ içerisinde bulunan boşluklar sebebiyle normal ve ağır betondan daha büyükçe bir gözenek hacmine sahip olmaktadır. Hafif betondaki su emiliminde agregâ partikülünün kapalı dış yüzeye sahip olup olmamasına ya da hafif agregadaki gözeneklerin

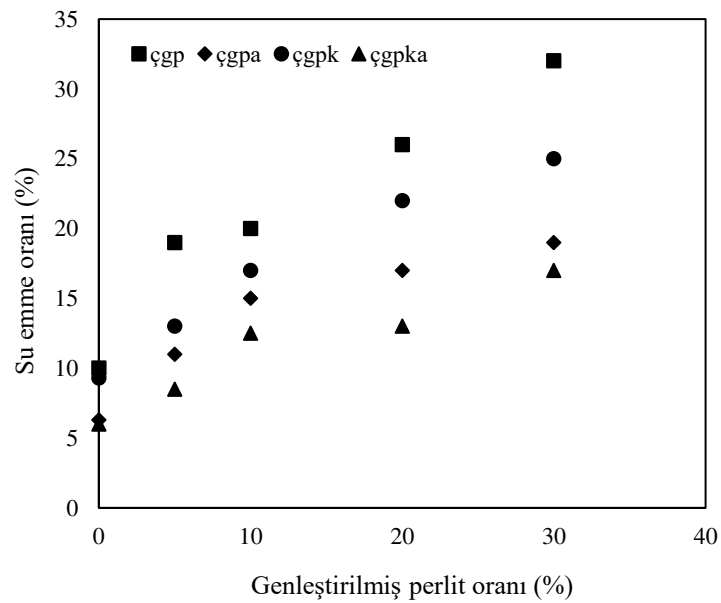
içinde kapalı olup olmamasına bağlıdır. Hafif agregadaki su emilimi, nem içeriği ya da gözenekli agreganın betondaki hacim oranı betondaki su emilimini etkileyen değişkenlerdir. Su emilimi, temel olarak beton kalitesini ya da direncini değerlendiren ölçüdür. Betonun birim ağırlığı, dayanımı, korozyonuna karşı dayanıklılığı ve donma ya da çözülme direnci su emme oranıyla kuvvetli bir ilişkilidir. Kaliteli bir betonun en mühim özelliklerinden biri düşük su emilimidir [112]. Genleşmiş perlitin su emilimi, perlitin doğal özelliklerine bağlı olarak yaklaşık % 180 ile % 310 arasında değişir [113]. Yüksek su emme özelliği nedeniyle, perlit agregasının doğal kum ile yer değiştirmesi, matriste daha gözenekli bir mikro yapı oluşturur ve artan perlit içeriği ile harç serisinin kılcal su emme katsayısını sürekli olarak artırır.



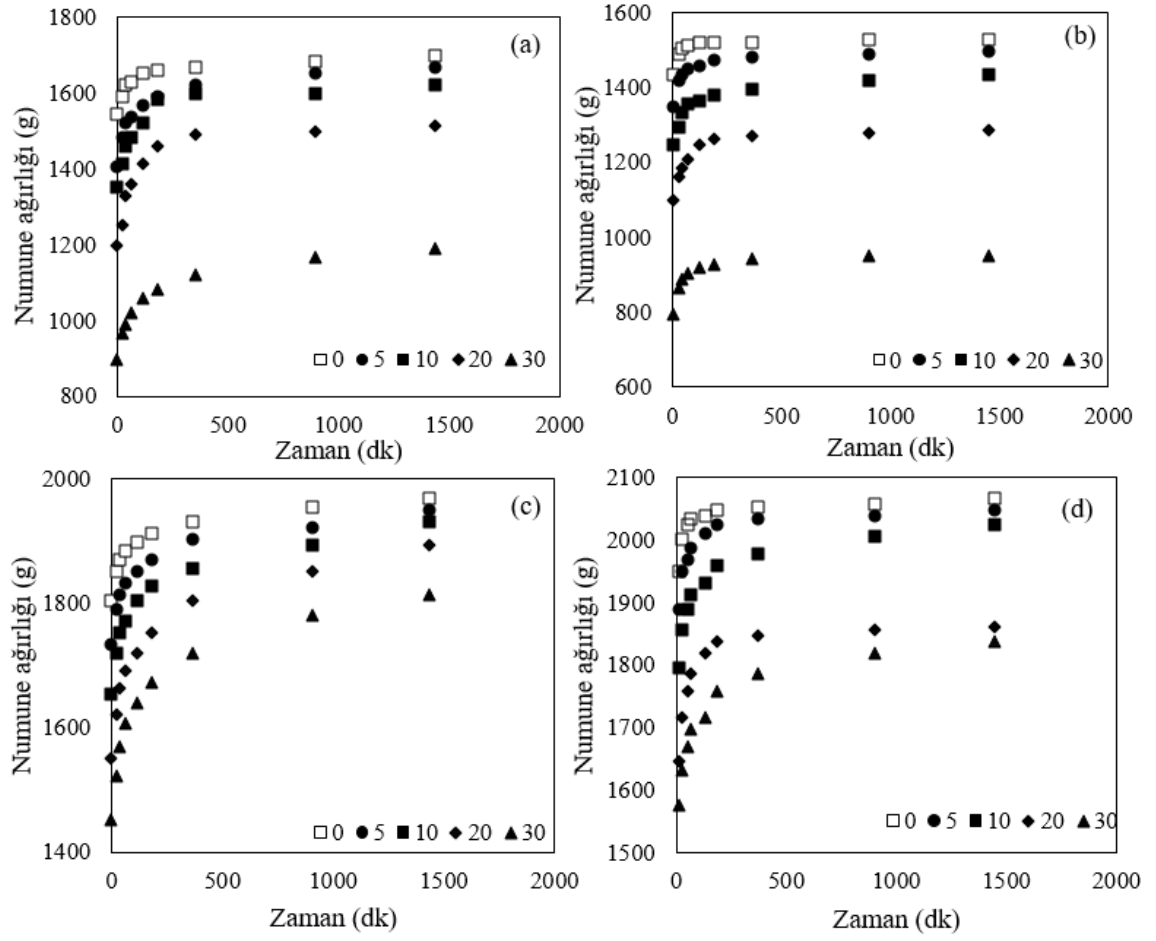
Şekil 4.9. Beton numunelerde bulunan perlit oranının su emme oranı üzerindeki etkisi



Şekil 4.10. Beton numunelerin su içerisinde kalma süresine bağlı olarak ağırlık değişimi (a)ÇP (b)ÇPK (c)ÇPA (d)ÇPKA



Şekil 4.11. Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının su emme oranı üzerindeki



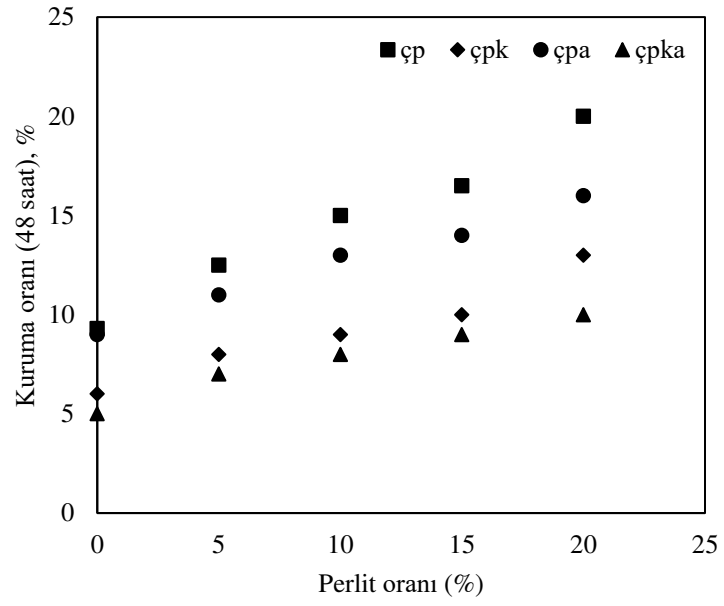
Şekil 4.12. Beton numunelerin su içerisinde kalma süresine bağlı olarak ağırlık değişimi (a)ÇGP (b)ÇGPK (c)ÇGPA (d)ÇGPKA

4.6. Kurutma Oranı

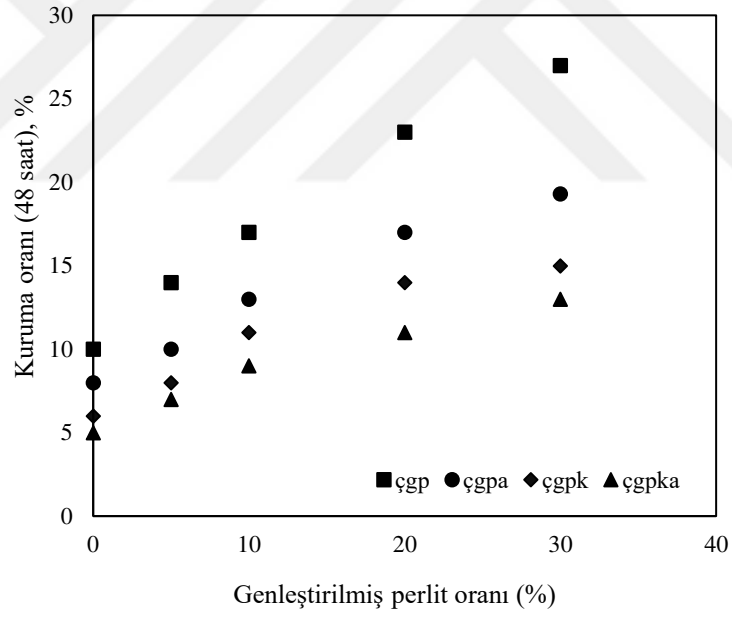
Kuruma hızı betondaki nem içeriğine, su-çimento oranına, gözenekliliğiyle açıkta kalan yüzeye ve ortam koşullarına bağlıdır. Kuruma işlemi ise kılcal boşluklardan suyun buharlaşması sonucuyla betonun maruz kaldığı hacim azalması olarak tanımlanabilmektedir.

Beton binalarda kuruma özellikleri iklim koşulları altında sıcaklık ya da nemdeki mevsimsel dalgalanmalarda kritik ehemmiyete sahiptir. Nem ve sıcaklık ani ve sürekli değişiklikler betonda genleşme/büzülme döngüleri yaratır, bu büzülme ve beton elemanlarında mikro çatlamaya yol açan ısı gerilmelere sebep olur [114].

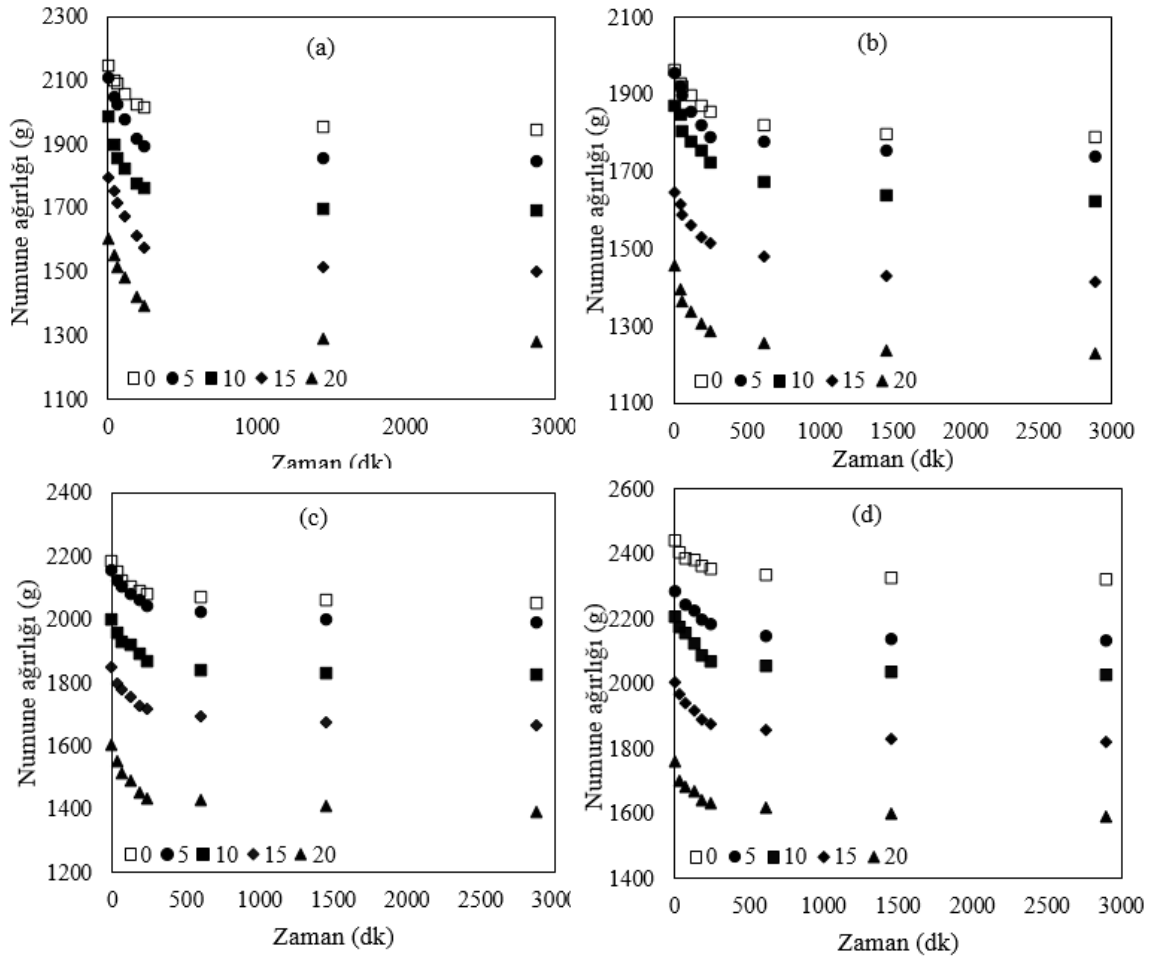
Numunelerin teneffüs yetenekleri üzerinde bilgi sahibi olmak sebebiyle yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4.13-16'da verilmiştir. Sonuçlar Perlit/Genleştirilmiş perlit oranına karşılık, numunelerin 48 saatteki kuruma oranlarının değişimini göstermektedir.



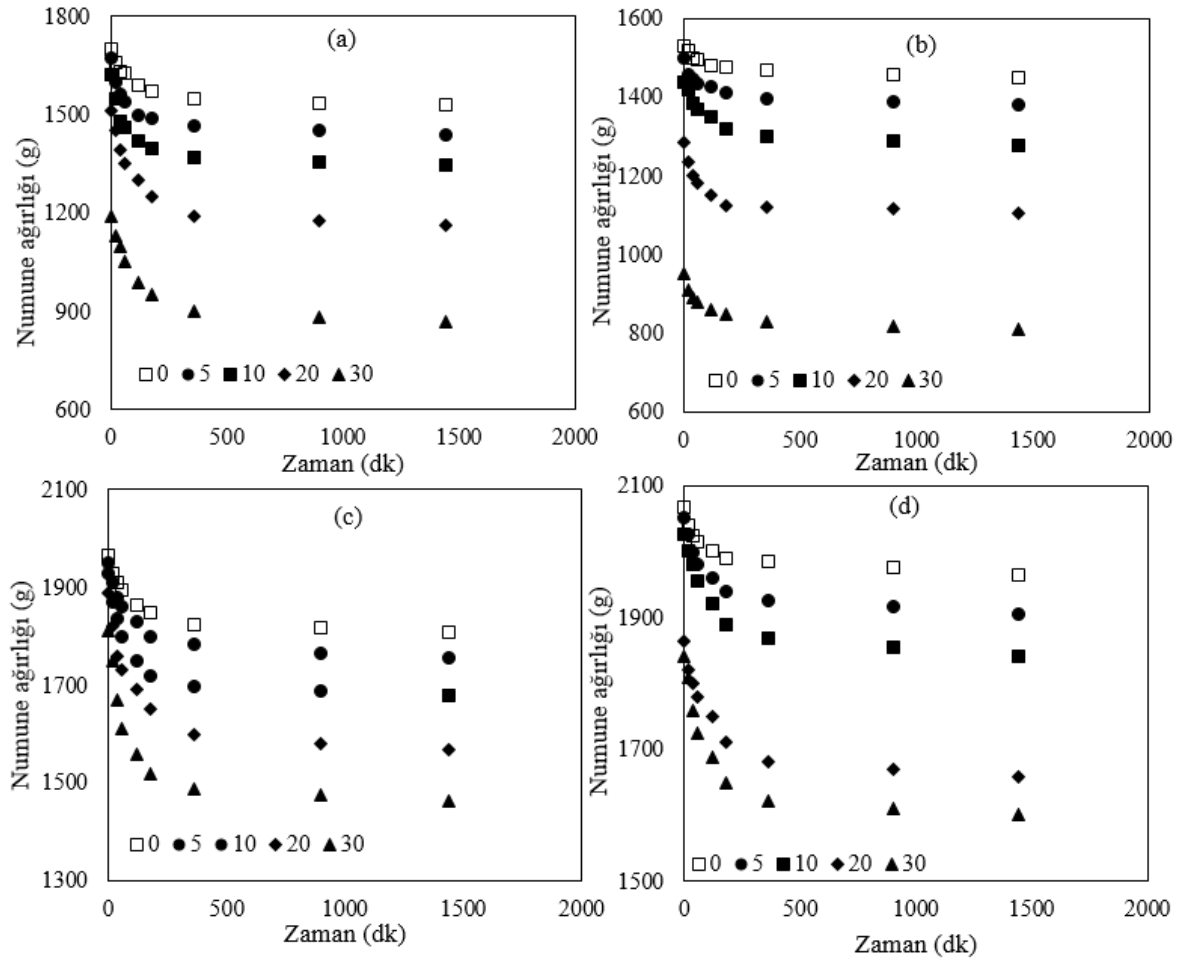
Şekil 4.13. Beton numunelerde bulunan perlit oranının 48 saat süren kuruma oranının üzerindeki etkisi



Şekil 4.14. Beton numunelerde bulunan genleştirilmiş perlit oranının 48 saat süren kuruma oranının üzerindeki etkisi



Şekil 4.15. Kurumaya bağlı olarak perlit içeren beton numunelerin zamanla ağırlık değişimi (a) ÇP (b) ÇPK (c) ÇPA (d)ÇPKA



Şekil 4.16. Kurumaya bağlı olarak genişletilmiş perlit içeren beton numunelerin zamanla ağırlık değişimi
(a)ÇGP (b)ÇGPK (c)ÇGPA (d)ÇGPKA

5. SONUÇLAR

Perlit ve genleştirilmiş perlitin hafif beton agregasının kullanımıyla birlikte betonlar üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yapın bir deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada agrega olarak perlit ve genleştirilmiş perlit kullanılarak kumsuz ve ince agrega olarak ta kumun birlikte kullanıldığı kumlu karışımlar olarak 4 farklı ana karışım türü bulunmaktadır. Ayrıca aynı harç karışımlara işlenebilirliği sağlamak ve su oranını düşürmek sebebiyle akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilerek numuneler hazırlanmıştır. Beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek elde edilen sonuçlar perlit ve genleştirilmiş perlitin kullanılmadığı kontrol beton numuneleriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalarla elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ❖ Sonuçlar, perlit oranının artması ile yoğunluk değerleri yaklaşık olarak 1,3-21,95 kg/m³ arasında, genleştirilmiş perlit oranının artması ile yoğunluk değerleri yaklaşık olarak 0,9-1,54 kg/m³ değişmektedir. Akışkanlaştırıcı ilave edildiğinde hazırlanan numunelerin yoğunluk değerleri ise daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu durum su oranının düşmesi ile birlikte artmakta olan kum ve çimento miktarından kaynaklanmaktadır.
- ❖ Hem perlit hem de genleştirilmiş perlit katılım yüzdeleri arttıkça ısı iletim katsayıları küçülmektedir. Bu küçülme nedenlerinden biri betondan daha düşük ısı iletim katsayısına sahip perlit ve genleştirilmiş perlittir. Isı iletim katsayısı en yüksek %5 oranında perlit-genleştirilmiş perlit agrega içeren ÇP ve ÇGP betonunda 1,4 ve 1,3 W/mK bulunurken, en düşük %30 oranında perlit-genleştirilmiş perlit agrega içeren ÇPK-ÇGPK betonunda 0,6 W/mK ve 0,3 W/mK bulunmuştur. Kumlu betonun ise kumsuz betonlara oranla ısı iletim katsayıları daha düşük olduğu görülmüştür. Akışkanlaştırıcı bulunan beton numunelerde ise ısı iletim katsayıları daha yüksektir.
- ❖ Hem perlit hem de genleştirilmiş perlit katkılı numunelerin su emme oranı %30 değerinin altında olduğu görülmüştür. Bundan dolayı bu tarz çimento betonlarının suyla direk ilişkili olduğu kısımlarda kullanılabileceği ve 0°C altındaki sıcaklıklarda ise çatlama donma ve dağılma risklerinin olmayacağını göstermektedir. Su emme deneyi esnasında akışkanlaştırıcı olmadan hazırlanan örnekler ve akışkanlaştırıcı katılarak hazırlanan örnekler için numunelerin ağırlığının zamanla değişimi tetkik edilirken akışkanlaştırıcı olmadan hazırlanan örneklerde ise ilk 5-6 saat içerisinde ve akışkanlaştırıcı eklenerek hazırlanan örnekler için ise yaklaşık 8 saat sonunda işlemin tamamlandığı söylenebilir. Akışkanlaştırıcı eklenmiş numunelerde yüzeyin daha gözeneksiz ve pürüzsüz olması su alma kapasitesini azaltmıştır
- ❖ Perlit ve genleştirilmiş perlit içeren beton numunelerin kuruma oranları %5.1-20.0 ve %5-27. aralarında değişmektedir. Kontrol beton numunelerine nazaran perlit-genleştirilmiş perlit oranı arttıkça kuruma oranı artmıştır. Perlit-Genleştirilmiş perlitin su

emme oranının yüksek olması kuruma oranını etkilemiştir. En düşük kuruma oranı %5 perlit- genleştirilmiş perlit içermekte olan ÇG betonunda görülürken, en yüksek kuruma oranı %30 perlit- genleştirilmiş perlit içermekte olan ÇPKA- ÇGPKA betonlarında olduğu görülmüştür. Kum içermekte olan beton numunelerin kuruma oranları daha düşüktür. Akışkanlaştırıcı eklenmiş betonların kuruma oranları daha düşüktür. Akışkanlaştırıcı boşluk oranını düşürerek su emilimini azaltırken böylece kuruma oranını düşmesine neden olmuştur. Kuruma süresi boyunca su kaybına bağlı olarak beton numunelerin ağırlıklarında azalma görülmüştür.

- ❖ Basınç dayanımının Perlit ve genleştirilmiş perlit oranıyla değişimi incelendiği zaman gerek perlitin gerekte genleştirilmiş perlit içeren betonların basınç dayanımının artan perlit-genleştirilmiş perlit oranıyla düştüğü görülmektedir. Akışkanlaştırıcı kullanıldığı zaman elde edilen betonların basınç dayanımları daha da yüksektir. Azalmakta olan su oranına bağlı olarak da sıkı bir yapının oluşmasıyla dayanım artmıştır.
- ❖ Yarmada çekme deneylerinin sonucuyla elde edilen veriler incelendiği zaman perlit-genleştirilmiş perlit oranındaki artma ile yarmada çekme dayanımının ise azaldığı görülmektedir. Akışkanlaştırıcı ilavesiyle elde edilmekte olan beton numunelerin yarmada çekme dayanımları daha yüksek çıkmıştır.

Perlit ve genleştirilmiş perlitle hafif beton üretilmesiyle ülkemizin enerji kaynaklarını korunması, yapılardaki deprem ağırlığını azaltmak, doğayı korumak gibi konularda avantajlar sağlar. Yalıtımda en önemli etken malzemenin ısı geçirgenlik katsayısının düşük olmasıdır. Isı geçirgenlik katsayısı ise malzemenin en kesiti içerisindeki hava boşlukları ile ilgilidir. Genleştirilmiş perlit yüksek oranda boşluklu yapısı sayesinde önemli bir ısı yalıtım malzemesidir.

KAYNAKLAR

- [1] Baradan, 1997. Yapı Malzemesi-II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, s.174-176, İzmir.
- [2] Beycioğlu, A., Başıyigit, C, Subaşı, S. 2008. Endüstriyel Atıkların inşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması Ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. Çevre Sorunları Sempozyumu. s. 1386-1394, Kocaeli.
- [3] Topçu, T.H. 2006. Zonguldak – Bartın arasındaki Cangaza bazaltlarının agrega olma özellikleri ve beton üretiminde kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4] Chandra, S., Berntsson, L., 2002. Lightweight Aggregate Concrete Science, Technology and Applications, 110p, Noyey Publications, Goteborg.
- [5] Fiorato, A.E. 1981. Inspection guide for reinforced concrete vessels, Final Report, Vol. 2, No. CG-M-11- 81, Portland Cement Association, Commentary, U.S. Department of Transportation.
- [6] Hayde, J.S., 1918. U.S. Patent No. 1,255,878, Serial No: 178,396, Kansas City, Missouri, USA.
- [7] Bomhard, H. 1980. Lightweight Concrete Structure, Potentialities, Limitsand Realities. The International Journal of Lightweight Concrete, 2 (4): 193-195.
- [8] Spratt, B. H., 1975. An Introduction to Lightweight Concrete, Cement and Concrete Association, Wexham Springs.
- [9] Ashworth, T., Ashworth, E., 1991. Insulation Materials: Testing and Applications, Vol. 2 ASTM STP 1116 R. S. Graves and D. C., Wysocki (eds.), pp. 415-429, American Society for Testing and Materials, Philadelphia
- [10] Tekinsoy, M.A., 1984. A Research On The Using Possibilities of Concrete Briquette Supplemented Rice Husk for Farm Buildings at Çukurova Region In Turkey, Unpublished Assoc.Prof.Thesis, Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Engineering, Adana.
- [11] Neville, A.M., Brooks, J.J., 2010. Concrete Technology (2nd ed.), Harlow, England: Prentice Hall.
- [12] Felekoğlu, B., Baradan, B. 2004. Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri. Beton 2004 kongresi, İstanbul.
- [13] Özşahin, B. 2011. Yalıtım kalıplı donatılı beton duvarlı binaların yapımsal ve ekonomik uygulanabilirliği. Doktora tezi. Trakya Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalı, Edirne.
- [14] Kocataşkın, F. 1991. Betonun Dünyü Bugünü Yarını. 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası s: 23-42
- [15] Akman, S. 1987. Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1. Basım
- [16] Hızal, S. 2010. Kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif betonun tasarımı ve durabilite özellikleri. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [17] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H. 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 298, İzmir
- [18] Azizi, S. 2007. Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [19] Konuk, H. 2003. Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] Haque, M.N., Al-Khaiata, H., Kayalı, O. 2004. Strength and Durability of Lightweight Concrete. Cement & Concrete Composites. Elsevier Ltd. Number 26: 307-314.
- [21] Bomhard, H., 1980. Lightweight Concrete Structures, Potentialities, The International Journal of Lightweight Concrete, Vol.2, No:4, 193-209.
- [22] Şişman, C.B., Kocaman, İ., Gezer, E. 2008. Doğal Zeolitten Üretilen Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 20-25

- [23] Sarı, D., Pasamehmetoglu, A.G. 2005. The Effects of Gradation and Admixture on The Pumice Lightweight Aggregate Concrete. Cement and Concrete Research, Elsevier Ltd. 35: 936-943.
- [24] Uygunoğlu, T. 2008. Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [25] [25]Sancak, E. 2005. Silis dumanı katkılı bims betonların özellikleri, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] Gokçe, S.H. 2010. Hafif beton üretiminde genişletilmiş perlitin kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [27] Neville, A.M., 1975. Properties of Concrete, Pitman publishing, 606-607, London.
- [28] Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, D., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi, cilt II, s.111, Isparta.
- [29] Ujhely, J., 1983. The Letter from Hungarian Institute for Building Science. Budapest. Uluata, A.R.1981.Concrete Materials and Concrete, (Lecture Notes) Atatürk University, Agricultural Faculty, Department of Agricultural Engineering, Erzurum, Turkey.
- [30] Chandra, S., Berntsson, L., 2003. Lightweight Aggregate Concrete, Noyes Publications, USA, 1-430.
- [31] Kok, S.C., Min-Hong, Z., 2002. Water Permeability and Chloride Penetrability of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete, Cement And Concrete Research, No:32, 639-645.
- [32] Zheng, G., Jing, Y., Huang, H., Gao, Y., 2010. Application of improved grey relational projection method to evaluate sustainable building envelope performance, Applied Energy, 87(2), 710–720.
- [33] Bilgiç, M., 2009. Investion of Properties of Prefabricated High Performance Lightweight Concrete, MSc Thesis, Suleyman Demirel University, Isparta/Turkey.
- [34] Kayali, O., Zhu, B., 2004. Chloride Induced Reinforcement Corrosion in Lightweight Aggregate High Strength Fly Ash Concrete, Construction and Building Materials, 19, 327-336.
- [35] Ekinci, C.E., 2008. Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, Data Yayınları, Ankara.
- [36] Clarke, J.L., 1993. Structural Lightweight Aggregate Concrete, First Edition, Spon Pres, UK.
- [37] Mindess, S., Young, J.F., 1981. Concrete, Prentice- Hall, New Jersey, 26p
- [38] Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L., 2000. Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, 94-103, Literatür Yayınevi, İstanbul
- [39] Barry, R., 1989. The Construction Of Buildings, BSP Professional Books, 1, 8-23, Oxford.
- [40] Yıldırım, H., Yorulmaz, V., Ardaç, E., 1996. Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu, İMO, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 25-33
- [41] Ulusu, İ., 2007. Investigation to Production of High Strength Light Weight Concrete with Using Raw Perlite Aggregate, PhD Thesis, Ataturk University, Erzurum/Turkey
- [42] Dikici, T., 2010. Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [43] Mohd, R.S., 1997. First report research project on lightweight concrete, University Technology Malaysia, Skudai, Johor Bahru
- [44] Güçlüer, K., 2011. Uçucu külden üretilen silis dumanı katkılı gaz beton örnekler üzerine kür etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 83.
- [45] Karakurt, C., Kurama, H., Topçu, İ.B., 2010. Utilization of Natural Zeolite in AeratedConcreteProduction, CementandConcrete Composites, 32, 1-8.
- [46] Shirley, D.E., 1975. Introduction to Concrete, Cement and Concrete Association, London.
- [47] Gündüz, Ş., 2007. Polistren agregalı hafif beton üzerine deneysel bir çalışma, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- [48] Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- [49] Uyan, M., Özkul, H., 1985. Beton Katkı Maddeleri ve Türkiye’de Durumu, Akdeniz Üniversitesi, Isparta Müh. Fak., II. Mühendislik Haftası Bildirileri.
- [50] Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 207, s. 221, İzmir.
- [51] Perlit Kaynakları, 2019. Perlit URL <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgimerkezi/perlit>. (Erişim tarihi:10. 02. 2021)
- [52] Azizi, S., “Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2007).
- [53] T.A., “Türkiye Perlit Envanteri”, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 193, 1-8, Ankara, (1985).
- [54] M.T.A.,1985. “Türkiye Perlit Envanteri”, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 193, 1-8, Ankara.
- [55] D.P.T., “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza, Perlit, Vermikülit, Flogopit, Genleşen Killer)”, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık (2001-2005) Kalkınma Planı, DPT: 2617 - ÖİK: 628, Ankara, (2001).
- [56] D.P.T., 2001. “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza, Perlit, Vermikülit, Flogopit, Genleşen Killer)”, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık (2001-2005) Kalkınma Planı, DPT: 2617 - ÖİK: 628, Ankara.
- [57] TSE EN 14316-1, “Isı Yalıtım Malzemeleri-Binalar İçin-Genleştirilmiş Perlitten (EP) Yerinde Yapılan Isı Yalıtımı”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2006).
- [58] M.T.A., 2021b, “Perlit”, Kaynak: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/perlit>, (Erişim tarihi: 11.02.2021)
- [59] Bozkurt,N., Taşkın,V., 2017 Bitlis İlinde Pomza Ve Perlit Madenciliğine Genel Bir Bakış, Bitlis.
- [60] Uluer,O., Karaağaç,İ., Aktaş,M., Durmuş,G., Ağbulut,Ü., Khanları,A., Çelik,D.N.,2018. Genleştirilmiş Perlitin Isı Yalıtım Teknolojilerinde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(1), 36-42
- [61] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2009, Virginia, U.S.A.,[Erişim Tarihi: 03.02.2021]
- [62] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2019, Virginia, U.S.A.,[Erişim Tarihi: 03.02.2021]
- [63] Gül, D., “Characterization and Expansion Behavior of Perlite”, Master of Science, The Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology University, Materials Science and Engineering, İzmir, (2016)
- [64] Perlite, P. C. (2021, Nisan 15). Perlite. Perlite. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.perlite.org%2Flibrary-perlite-info%2Fgeneral-info%2FPhysicalCharacteristics_Perlite.pdf&date=2018-11-14, Son Erişim Tarihi: 12.02.2021.
- [65] Bulut, Ü. ve Tanaçan, L. (2009). Perlitin puzolanik aktivitesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 8(1), 81-89.
- [66] Çelik, A., Kılıç, A. ve Çakal, G. (2013). Expanded perlite aggregate characterization for use as a lightweight construction raw material. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 49(2), 689-700.
- [67] Yalçın, S. (1985). Isı yalıtımında genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş perlit ürünleri kullanımı. Türkiye Mühendislik Haberleri, 314, 58-85.
- [68] URL-2 : (www.enerji.gov.tr/ Erişim tarihi:20.02.2021

- [69] Kahraman G., (2019). Türkiye’de Kentleşmenin Enerji Tüketimi ve Karbon Salınımı Üzerine Etkisi. Journal of the Institute of Science and Technology. 9(3), 1566-1559.
- [70] Enerji Verimliliği Kanunu”, T.C. Resmî Gazete, URL-3 :<http://www1.mmo.org.tr/> Erişimtarihi: 20.01.2021
- [71] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Eğitim Dökümanları
- [72] TEİAŞ, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi ,(Erişim Tarihi:Şubat 2021).
- [73] İYEM, İzocam Yalıtım Eğitim Merkezi, Eğitim Notları, 2007
- [74] Atmaca, U., “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 154: 21-35, Ankara, (2016).
- [75] “Binalarda ısı yalıtım kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [76] <https://mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5627.pdf>
- [77] Kavak, K.: “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi”, Uzmanlık Tezi Devlet Planlama Teşkilatı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye (2005) 8.
- [78] Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.: <http://www.meramedas.com.tr/Cevrebilinci.aspx?id=5> Erişim tarihi:03.02.2021
- [79] İzoder: “Isı Yalıtımı”, http://www.izoder.org.tr/isiyalitimi/ISIYALITIMI_GIRIS.pdf
- [80] Aksoy, U.T.: “Sandviç ve Gazbeton Duvar Uygulamalarının Ortalama Isı Geçirgenlik Katsayısı ve Isı Kaybı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Sayı: 24 (2008) 277- 290
- [81] Sobutay, T.: “Çatı Kaplama Sektör Araştırması”, İstanbul Ticaret Odası Dış Ticaret Şubesi Araştırma Servisi, İstanbul (2005)
- [82] http://www.izoder.org.tr/EkoYalitim/TeknikSartname/camlar/yalitim_ca_mi_uniteleri.pdf Erişim tarihi :03.02.2021
- [83] İzoder: “Tesisatlarda Isı Yalıtımı”, http://www.izoder.org.tr/EkoYalitim/TeknikSartname/tesisatlardaisiyalitim/tesisat_yalitimi.pdf Erişim tarihi:03.02.2021
- [84] “Binalarda enerji performansı yönetmeliği”, T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (2008)
- [85] “Enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğinin artırılmasına dair yönetmelik”, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2008).
- [86] K.H. Mo, H.J. Lee, M.Y.J. Liu, T. C, Ling Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar Constr, Build. Mater. 179 (2018) 302–306.
- [87] M. Mohabbi Yadollahi, M. Dener, Investigation of elevated temperature on compressive strength and microstructure of alkali activated slag based cements, Eur. J. Environ. Civ. Eng. (2019) 1–15.
- [88] F. Koksall, O. Gencel, M. Kaya, Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures Constr, Build. Mater. 88 (2015) 175–187.
- [89] Demirboğa, R., Gül, R., 2003. Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures, Energy and Buildings, 35, 1155–1159.
- [90] Akyuncu, V., Sanlitürk, F., 2021. Investigation of physical and mechanical properties of mortars produced by polymer coated perlite aggregate, Journal of Building Engineering Volume 38, 102182.
- [91] Wang, L., Liu, P., Jing, Q., Liu, Y., Wang, W., Zhang, Y., Li, Z., 2018.Strength properties and thermal conductivity of concrete with the addition of expanded perlite filled with aerogel Construction and Building Materials, 188, 747-757.
- [92] Fu, L., Wang, Q., Ye, R., Fang, X., Zhang, Z., A calcium chloridehexahydrateexpanded perlite composite with good heat storage and insulation properties for building energy conservation, 2017, .Renew Energy, 114, 733-743.

- [93] Jiesheng, L., Yuanyuan, Y., Xiang, H., 2016. Research on the preparation and properties of lauric acid/expanded perlite phase change materials, *Energy Build.* 110, 108–111.
- [94] Kong, X., Yao, C., Jie, P., Liu, Y., 2017. Development and thermal performance of an expanded perlite-based phase change material wallboard for passive cooling in building, *Energy Build.* 152, 547–557.
- [95] Xiangyu Li, X., Huisu Chen, H., Lin Liu, L., Zeyu Lu, Z., Jay G. Sanjayan, J.G., Wen Hui Duan, W.H., 2016. Development of granular expanded perlite/paraffin phase change material composites and prevention of leakage, 2016. *Sol. Energy*, 137, 179–188.
- [96] Zhang, X., Wen, R., Huang, Z., Tang, C., Huang, Y., Liu, Y., Fang, M., Wu, X., Min, X., Xu, Y., 2017. Enhancement of thermal conductivity by the introduction of carbon nanotubes as a filler in paraffin/expanded perlite form-stable phase-change materials, *Energy Build.*, 149, 463–470.
- [97] Sun, D., Wang, L., 2015. Utilization of paraffin/expanded perlite materials to improve mechanical and thermal properties of cement mortar, *Constr. Build. Mater.* 101 791–796.
- [98] Jagarapu, DCK, Eluru, A., 2019. Experimental analysis of light weight fiber reinforced concrete by incorporating palm oil shells, *Materials Today: Proceedings*, 19(2), 850-858
- [98] Yıldırım, S. T., Baba, E., 2018. Bims Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Hafif Kompozit Harçların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 1. 47–52.
- [99] TS EN 9331-2012
- [100] Erdoğan, T. Y., (1995), *Betonu oluşturan malzemeler, Agregalar*, Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara.
- [101] Neville, A.M., Brooks, J.J., 1993. *Concrete Technology*. Longman Scientific and Technical, USA, 438.
- [102] Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., 2007. Properties Of Autoclaved Lightweight Aggregate Concrete, *Building and Environment*, 42, 4108-4116.
- [103] Taşdemir, C., 2003. Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 427, s.57 – 61.
- [104] TS EN 206-1
- [105] Dilli, M.E., Atahan H.N., Sengül, C., 2015. A comparison of strength and elastic properties between conventional and lightweight structural concretes designed with expanded clay aggregates, *Construction and Building Materials*, vol. 101, pp. 260-267.
- [106] Clarke, J.L., 2010. *Lightweight Structural Concrete*, British Cement Association, Crowthorne, Berkshire, 282s.
- [107] Demirboğa, R., Gul, R., 2003. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, *Cement and Concrete Research* 33(5): 723–727.
- [108] Abaza, O., 2003. Comparative analysis of using small cylindrical specimens for compressive strength of portland cement concrete. *An-Najah University Journal for Research*, 255-267.
- [109] Ekinci, C.E., Keleşoğlu, Ö., 2014. A Study on Occupancy and Compressive Strength of Concrete with Produced Injection Method. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-8.
- [110] Neville, A.M., 1981. *Properties Of Concrete*, Third Edition, Longman Scientific and Technical.
- [111] Herki, B.M.A., 2017. Absorption Characteristics of Lightweight Concrete Containing Densified Polystyrene. *Civil Engineering Journal*, 3.
- [112] Li, X., Chen, H., Liu, L., Lu, Z., Sanjayan, J.G., 2016. W.H. Duan, Development of granular expanded perlite/paraffin phase change material composites and prevention of leakage, *Sol. Energy* 137, 179–188, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.012>.
- [113] Maaloufa Y, Mounir S, Khabbazi A, Kettar J. , 2016. Effect of calcination on the thermal properties of bricks done from clay-expanded perlite on insulating walls”. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 12(3), 304-311.

- [114] Asad, M., 1995. Computational modelling of shrinkage in repaired concrete, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabi



ÖZGEÇMİŞ

Kübra PAŞAOĞLU GÜL

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı	Soyadı
T.C. Kimlik No	Doğum Tarihi
Doğum Yeri	Evlilik Durumu
İlkokul	Ortaokul
Lise	Üniversite
Yabancı Dil	Diğer Bilgiler

Öğrenim Durumu

Okul Adı	Okul Türü	Okul Yılı

İş Deneyimi

İş Adı	İş Türü	İş Yılı

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

- ✓ CHEMCAD
- ✓ MS OFFICE

İŞ DENEYİMİ

2020 – 2020	: Baskil Halk Eğitim Müdürlüğü, Öğretmen
2017 – 2020	: Pertek Zeynel Erol Anadolu Lisesi , Öğretmen