

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİFLİK, EKONOMİKLİK, ISI YALITIMI VE YETERLİ
BASINÇ DAYANIMI UNSURLARI TAŞIYAN
KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

ERMAN BABA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

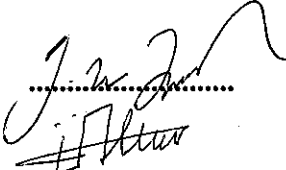
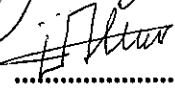
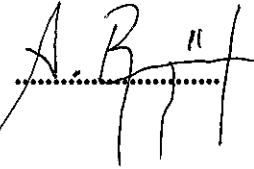
YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAFİFLİK, EKONOMİKLİK, ISI YALITIMI VE YETERLİ
BASINÇ DAYANIMI UNSURLARI TAŞIYAN KOMPOZİT
MALZEME ÜRETİMİ

ERMAN BABA

Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Adnan ÖNER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 03.07.2018


.....

.....

.....

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim boyunca, çalışmamın düzenlenmesi, gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesinde katkıları ile beni yönlendiren, bana yol gösteren ve destekleyen, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Salih Taner YILDIRIM' a en derin saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmada kullandığımız bimsi bize temin eden Hilmi Yıldız İnşaat Yapı Malz. Nak. Paz. San. Ve Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve destekleyen aileme ve laboratuvar çalışmalarım da bana yardımcı olan öğrenci arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Haziran - 2018

Erman BABA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2. GENEL BİLGİLER.....	6
2.1. Taban Külü.....	6
2.1.1. Taban külünün genel özellikleri.....	6
2.1.2. Taban külünün kimyasal bileşimi	7
2.1.3. Taban külünün elde edilmesi	8
2.2. Perlit	10
2.2.1. Perlitin tanımı ve sınıflandırılması.....	10
2.2.2. Perlitin üretim yöntemi ve teknolojisi.....	11
2.2.3. Perlitin özellikleri.....	12
2.2.3.1. Perlitin fiziksel özellikleri.....	12
2.2.3.2. Perlitin kimyasal özellikleri	13
2.2.3.4. Perlitin mekanik özellikleri.....	14
2.2.4. Perlitin Türkiye'deki rezervleri.....	14
2.2.5. Perlitin kullanım alanları.....	16
2.3. Bims	16
2.3.1. Bimsin tanımı ve sınıflandırılması.....	16
2.3.2. Bimsin oluşumu	18
2.3.3. Bimsin özellikleri	19
2.3.3.1. Bimsin fiziksel özellikleri	19
2.3.3.2. Bimsin kimyasal özellikleri.....	20
2.3.4. Bimsin Türkiye'deki rezervleri	22
2.3.5. Bimsin kullanım alanları	22
3. MATERYAL VE METOD	24
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	24
3.1.1. Perlit	24
3.1.2. Taban külü.....	24
3.1.3. Bims	25
3.1.4. Çimento	25
3.2. Agrega Granülometrileri.....	26
3.3. Deney Numunelerinin Üretimi	26
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ANALİZLER.....	29
4.1. Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme	29
4.2. Basınç Dayanımı.....	32
4.3. Kılcal Su Emme	35

4.4. Sıcaklığa Dayanıklılık.....	40
4.4.1. Ağırlık kaybı	41
4.4.2. Basınç dayanımı kaybı	45
4.5. Isı Yalıtımı	49
4.6. Maliyet Analizi	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	63
ÖZGEÇMİŞ	64



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Taban Külü.....	6
Şekil 2.2.	Ham perlit.....	10
Şekil 2.3.	Ezilmiş perlit	11
Şekil 2.4.	Genleştirilmiş perlit.....	11
Şekil 2.5.	Türkiye’deki perlit rezevleri.....	15
Şekil 2.6.	Bimsin sembolik görünümü	17
Şekil 2.7.	Asidik bimsin sembolik görünümü	17
Şekil 2.8.	Bazik bimsin sembolik görünümü.....	18
Şekil 2.9.	Bimsin oluşumu.....	18
Şekil 2.10.	Bims oluşumlarının taşınmasının sembolik gösterimi	19
Şekil 2.11.	Türkiye’deki bims yatakları	22
Şekil 3.1.	Agrega granülometrileri	26
Şekil 3.2.	Harçların karıştırıldığı mikser	28
Şekil 3.3.	Plaka dökümlerinin yapıldığı kalıp	28
Şekil 4.1.	Kuru birim ağırlık grafiği.....	31
Şekil 4.2.	Su emme yüzdeleri	31
Şekil 4.3.	Küp numunelerin basınç yüklerinin belirlenmesi için fırına yerleştirilmesi.....	33
Şekil 4.4.	250 kg/m ³ lük dozaja sahip numunelerde basınç dayanımları.....	34
Şekil 4.5.	300 kg/m ³ lük dozaja sahip numunelerde basınç dayanımları.....	35
Şekil 4.6.	Numunelerin su dolu kaptaki alüminyum profillere oturtulması	36
Şekil 4.7.	250 kg/m ³ lük dozaja sahip numunelerin su emme yüzdeleri grafiği	38
Şekil 4.8.	300 kg/m ³ lük dozaja sahip numunelerin su emme yüzdeleri grafiği	38
Şekil 4.9.	Numunelerin fırına yerleştirilmesi	41
Şekil 4.10.	Tek agrega karışımli numunelerin ağırlık kaybı grafiği	43
Şekil 4.11.	%75 perlit ve perlitsiz agrega içeren numunelerin ağırlık kaybı grafiği	43
Şekil 4.12.	%25 perlit içeren numunelerin ağırlık kaybı grafiği	44
Şekil 4.13.	%50 perlit içeren ve hiç perlit içermeyen numunelerin ağırlık kaybı grafiği	45
Şekil 4.14.	Küp numunelerin basınç yüklerinin belirlenmesi için fırına yerleştirilmesi.....	46
Şekil 4.15.	Tek agrega karışımli numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği.....	47
Şekil 4.16.	%75 perlit ve perlitsiz agrega içeren numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği	48
Şekil 4.17.	%25 perlit içeren numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği.....	48
Şekil 4.18.	%50 perlit içeren ve hiç perlit içermeyen numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği	49
Şekil 4.19.	Sıcak plaka ısıl iletkenlik cihazının görüntüsü.....	50
Şekil 4.20.	Plaka numunelerin bilgisayardan okuma ekranı	50
Şekil 4.21.	Numunelerin ısıl direnç grafiği	52

Şekil 4.22. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları grafiği 53



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Taban külünün mühendislik özellikleri.....	7
Tablo 2.2. Taban külünün kimyasal bileşimi	7
Tablo 2.3. Türkiye'deki kömür ve linyit yakıtlı santrallere ait bilgiler.....	8
Tablo 2.4. Ham ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri.....	12
Tablo 2.5. Genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşimi	13
Tablo 2.6. Ham perlitin kimyasal bileşimi	13
Tablo 2.7. Türkiye'nin illere göre perlit rezervi.....	15
Tablo 2.8. Bimsin granülometrik bileşimi.....	20
Tablo 2.9. Bimsin kimyasal bileşimi	21
Tablo 2.10. Asidik ve bazik bimsin kimyasal bileşimi.....	21
Tablo 3.1. Perlitin kimyasal özellikleri	24
Tablo 3.2. Taban külünün kimyasal özellikleri	25
Tablo 3.3. Bimsin kimyasal bileşimi	25
Tablo 3.4. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	25
Tablo 3.5. Karışım dizaynları	27
Tablo 4.1. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin doygun kuru yüzey, kuru ağırlıkları, kuru birim ağırlıkları ve su emme yüzdeleri	30
Tablo 4.2. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin doygun kuru yüzey, kuru ağırlıkları, kuru birim ağırlıkları ve su emme yüzdeleri	30
Tablo 4.3. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin sıcaklıkla basınç dayanımları	33
Tablo 4.4. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin sıcaklıkla basınç dayanımları	33
Tablo 4.5. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri	37
Tablo 4.6. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri	37
Tablo 4.7. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin 5.dakika ve 24.saat için kapilarite katsayıları	39
Tablo 4.8. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin 5.dakika ve 24.saat için kapilarite katsayıları	40
Tablo 4.9. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin sıcaklıkla ağırlık kaybı yüzdeleri	39
Tablo 4.10. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin sıcaklıkla ağırlık kaybı yüzdeleri	40
Tablo 4.11. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin sıcaklıkla basınç dayanım kaybı yüzdeleri.....	41
Tablo 4.12. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin sıcaklıkla basınç dayanım kaybı yüzdeleri.....	42
Tablo 4.13. 250 kg/m ³ dozlu numunelerin ısı iletkenlik değerleri	51
Tablo 4.14. 300 kg/m ³ dozlu numunelerin ısı iletkenlik değerleri	52
Tablo 4.15. 250 kg/m ³ dozlu dizayn örneklerinin Euro ve TL bazlı maliyetleri	54
Tablo 4.16. 300 kg/m ³ dozlu dizayn örneklerinin Euro ve TL bazlı maliyetleri	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Δ	: Kuru birim ağırlık (gr/cm^3)
W_k	: Kuru ağırlık (gr)
V	: Numune hacmi (cm^3)
S_a	: Ağırlıkça yüzde su emme (%)
W_d	: Doygun kuru yüzey ağırlık (gr)
Q	: Uygulanan güç (W)
D	: Numune kalınlığı (m)
A	: Yüzey alanı (m^2)
R	: Isıl direnç ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)
T_f	: Sıcaklık farkı (K)
P	: Kırılma anındaki yük (N)
A	: Basınç uygulanan yüzey alanı (mm^2)
λ	: Isıl iletkenlik katsayısını (W/m.K)

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

HAFİFLİK, EKONOMİKLİK, ISI YALITIMI VE YETERLİ BASINÇ DAYANIMI UNSURLARI TAŞIYAN KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

ÖZET

Hem mevcut doğal zenginliklerin kullanımı, hem de geri dönüştürülmüş malzemelerden faydalanılması sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Dünya'daki perlit ve bims agregası rezervinin büyük kısmına sahip ülkemizde bu malzemelerin kullanımının artırılması gerekmektedir. Ayrıca çok sayıda termik santral atığı kullanılmayı beklemektedir. Uçucu kül çok kullanılmasına rağmen diğer santral atığı taban külü yeterince ilgi görmemektedir.

Bu çalışmada; perlit, taban külü ve bims kullanılarak hem hafif hem ekonomik hem ısı yalıtımlı hem de yeterli basınç dayanımına sahip bir kompozit malzeme üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 2 farklı çimento dozunda 15'er farklı karışım dizaynı oluşturulmuştur. Bu karışımlar 1'er adet 50x300x300 mm boyutlarındaki kalıplara, 3'er adet 50x100x100 mm boyutlarındaki kalıplara ve 12'şer adet 50x50x50 mm boyutlarındaki kalıplara dökülmüş ve daha sonra 28 gün suda bekletilmiştir.

Kürden alınan 50x300x300 mm boyutlarındaki numunelerin önce ısıl geçirgenlik katsayıları ve kuru birim ağırlıkları belirlenmiştir. 50x100x100 mm lik numuneler kılcal su emme, diğer numuneler ise sıcaklığa dayanıklılığını test etmek için kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda bütün numunelerin ısıl geçirgenlik katsayıları oldukça iyi çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bims, Isı Yalıtımı, Kompozit Malzeme, Perlit, Taban Külü.

PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIAL CONTAINING LIQUIDITY, ECONOMY, HEAT INSULATION AND COMPETITIVE PRESSURE RESISTANCE

ABSTRACT

Both the use of existing natural wealth and the utilization of recycled materials are important in terms of sustainability. We need to increase the use of these materials in our country, which has a large portion of world perlite and bims aggregate reserves. In addition, a large number of thermal power plants are waiting to be used. Despite the use of fly ash, the other central waste base is not attracted enough attention.

In this study; It is intended to produce a composite material with light, economical, heat insulation and sufficient pressure resistance by using perlite, bottom ash and pumice. For this purpose, 15 different mixing designs were created in 2 different cement doses. These mixtures were poured into molds with dimensions of 50 x 300 x 300 mm, molds with dimensions of 3 x 50 x 100 x 100 mm and molds with dimensions of 50 x 50 x 50 mm and then dipped in water for 28 days.

The samples with dimensions of 50 x 300 x 300 mm obtained from cured have first determined thermal conductivity coefficients and dry unit weights. 50 x 100 x 100 mm samples were used for capillary water absorption and other samples were used for testing the resistance to heat. As a result of the tests made, the thermal conductivity coefficients of all samples are quite good.

Keywords: Pumice, Heat Insulation, Composite Material, Perlite, Bottom Ash.

GİRİŞ

Günümüzde geri dönüştüremediğimiz atık maddeler gün geçtikçe atık sahalarını doldurmakta ve çevreye hem sağlık hem de çevresel faktörler açısından zarar vermektedir. Geri dönüştürülemeyen atıklar hem hava kirliliğine yol açmakta hem de yer altı suyunu kirletmektedir. Bu yüzden hem bu sağlık tehdidini ortadan kaldırmak hem de atık sahalarının ömrünü uzatmak için geri dönüşüm bir hayli önemlidir. Dünyada birçok ülke kaynak israfını azaltmak, atıkların tekrar kazanılması ve kullanılması için farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Ama ne yazık ki ülkemizde yeterli hassasiyet gösterilmemektedir.

Hammaddenin en çok kullanıldığı sektörlerden biri de inşaat sektörüdür. Geri dönüştürülmüş malzeme kullanmak hammadde kullanımını da önemli ölçüde azaltacaktır.

Mühendis kelimesinin tanımından yola çıkacak olursak (Mühendis, bir işi en güvenli şekilde en ekonomik olarak yapabilen kişidir.) inşaat ekonomisinin önemini anlatmış oluruz. Bu sebeple geri dönüştürülmüş malzeme kullanmak fiyatları da oldukça aşağıya çekecektir. Ayrıca harç içerisinde alışılagelmişin dışında farklı malzemeler kullanmak, o malzemenin farklı özelliklerini harca kazandırmamızı da sağlayacaktır.

Geri dönüştüremediğimiz malzemelerden biri de taban külüdür. Her yıl Türkiye'deki termik santrallerden yaklaşık 20 milyon ton kül açığa çıkmaktadır. Bu küllerin %20'si taban külüdür[1]. Daha önce yapılan çalışmalarda taban külünün yapı içerisinde kullanılmasının herhangi bir zarar teşkil etmediği gözlenmiştir. Ayrıca yapı içerisinde kullanımının izolasyon açısından faydalı olduğu da göz önünde bulundurulduğunda inşaat taban külünü değerlendirmek çok mantıklı olacaktır. Böylelikle hem taban külü atık sahalarının azalmasını hem de taban külünün özelliklerini kompozit harca kazandırılmasını sağlamış olacağız.

Dünyadaki perlit rezervinin çok büyük bir bölümü Türkiye'de bulunmaktadır. Üretilen perlitin yaklaşık %70'i inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İnşaat

sektöründe beton ve sıva agregası, ısı ve ses yalıtım malzemesi ve hafif dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Perlit hafif bir malzeme olduğundan malzemede tasarruf ve hacimde kazanç sağlamaktadır.

Dünyada bims rezervinin yaklaşık %40'ı Türkiye'de yer almaktadır. Magmatik bir kaya olan bims oldukça gözeneklidir. Gözenekli oluşu ısı ve ses yalıtımının yüksek olmasını sağlamaktadır. Darbelere ve basınca dayanıklı bir malzemedir. İçeriğindeki alüminyum oksit ısıya ve ateşe yüksek derecede dayanmasını sağlar. Bims inşaat sektöründe hafif beton yapımında agrega olarak kullanılmaktadır. Diğer agregalara göre oldukça hafiftir. Hafif oluşu da taşınmasındaki kolaylıktan ötürü işçilikten ve zamandan tasarruf sağlar. Bims katkılı betonlar diğer betonlara göre daha elastiktir. Bu da depreme karşı dayanıklılığını artırmaktadır[2].

Bu çalışmada, üreteceğimiz malzemenin hem hafif, hem ekonomik, hem ısı yalıtımı olan hem de basınç dayanımı yeterli olması istenmiştir. Bu sebeple kompozit harç içerisinde izolasyon sağlayan ve atık olduğu için ekonomik olan taban külü, hafif olan ve ısı yalıtımı sağlayan genleştirilmiş perlit ve gözenekli yapısı sayesinde ısı ve ses yalıtımı sağlayan ve basınca dayanıklı bims kullanılmıştır.

1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

İlker Bekir Topçu ve İlkay Kara, Seyitömer uçucu külü, taban külü, azot fabrikası cürufu ve polystrenstrafor dolgusu kullanarak Flyblok, uçucu kül, taban külü, kireç ve alüminyum tozu kullanarak Gazblok üretmişler. Birim ağırlıkları ve basınç dayanımları karşılaştırmışlar. Isıl geçirgenlik katsayılarını hesaplamışlar[3].

Aybars Nejat Yıldırım, Nevşehir bims agregası ve uçucu kül kullanarak hafif beton üretimi ve üretilen betonların farklı agresif ortamlardaki dayanım özelliklerini incelemiştir. Ayrıca geliştirilen deneyler sonucunda beton dozajının ve beton yaşının da dayanım özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, beton üretiminde dozaj artırımının beton dayanımını da artırdığını gözlemlemiştir. Agresif ortam şartlarına bakıldığında tuzlu suda kürlenmiş numunelerin dayanımları normal şartlarda kürlenmişlere göre %12, asidik suda kürlenmiş numunelerin dayanımları da normal şartlarda kürlenmişlere göre 17 azaldığını gözlemlemiştir[4].

Gündüz, Şapcı ve Bekar, bimsbetonların geliştirilmiş perlit agregalar ile teknik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine teknik bir analiz yapmışlardır. Çalışmada pomza ve geliştirilmiş agrega örnekleriyle 4 ayrı bimsbeton karışımı hazırlanmıştır. Bimsbeton olarak teknik analizler yapılmış ve geliştirilmiş perlit katkı oranının etkisi irdelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre geliştirilmiş perlit agrega katkısının, bimsbetona blok üretimi açısından önemli avantajlar sağladığı görülmüştür[5].

Demirboğa ve Gül, geliştirilmiş perlit agregası ve pomza agregası kullanılmış beton karışımlarının ısı geçirgenlik katsayılarını ölçmüşlerdir. Silis dumanı ve uçucu külün hafif agregalı betonun ısı geçirgenlik katsayısına etkilerini tespit etmek amaçlı deneyler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda silis dumanı ve uçucu külün çimento yerine kullanılmasıyla ısı geçirgenliğinin azaldığı görülmüştür. Pomza agregası yerine geliştirilmiş perlit agregasının kullanılması da ısı geçirgenliği azalttığı görülmüştür. Kılınç ve ark., bazik pomza taşı kullanarak yüksek

mukavemetli hafif beton elde etmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada çimento yerine %20 oranında uçucu kül ve %10 oranında silis dumanı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda cüruf kullanılarak hafif beton üretilebileceği görülmüştür[6].

Sancak ve Şimşek, bims agregası ile üretilen beton numuneleri ile normal agregalı beton numunelerini aderans, korozyona karşı koruma ve yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimlerini incelemişlerdir. Ölmez, yaptığı çalışmada taban küllerinin beton hammaddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Taban külünü belirli oranda agrega ve çimento yerine kullanmıştır. Taze betonda akışkanlık ve sıcaklık testleri, sertleşen betonda ise SEM analizi, içerik analizi, TCLP testi ve kırılma testleri yapmıştır. Deneyler sonucunda taban küllerinin dayanım gerektiren betonda çimento yerine kullanılmayacağı görülmüştür. Ayrıca taban külünün insan sağlığına zararlı olmadığı ve ekonomik olduğu belirtilmiştir[7].

Khandaker ve Hossain, volkanik pomza taşı tozu ve volkanik kül katkılı betonlarda korozyona karşı dayanım incelenmiştir. Deneylerde bu iki malzeme belli oranlarda çimento yerine kullanılmıştır. Deneyler sonucunda volkanik kül ve volkanik pomza taşı külünün çelik donatılarda korozyonu engellediğini tespit etmişlerdir[8].

Lanzo'n ve Garcı'a-Ruiz, çimento harçlarında genişletilmiş perlit kullanımının etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler perlitin betonu su tutma ve işlenebilirlik açısından olumlu, mekanik dayanım ve su emme açısından olumsuz etkilediği görülmüştür[9].

Kılıç, Çelik ve Akkurt, yapı malzemesi üretiminde genişletilmiş perlit agregası kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada, üretilen numunenin birim hacim ağırlık, mekanik özellikler ve üretim parametreleri sabit tutulup, pişme sıcaklığı, pişme süresi, kütleme süresi ve sıkıştırma basıncı gibi parametreler değiştirilerek etkin değerler belirlenmiştir. Deney sonucunda doğal bağlayıcı kullanılmadan üretilen numunenin basınç dayanımı TS EN 771-1 sınır değerlerinin altında bulunmuştur[10].

Torkittikul ve diğ., taban külünün betonda kullanımında ısı yalıtımına katkısının önemli derecede olduğunu belirtmişlerdir[11].

Vikas ve diğ., ince agregaya yerine kısmen taban külü kullanarak beton üretmişlerdir. Taban külünün, betonun eğilme ve basınç dayanımlarını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca taban külünün betonda su ihtiyacını artırdığını görmüşlerdir[12].

Kılınç ve ark., bu çalışmada yüksek mukavemete sahip hafif beton üretmeye çalışmışlardır. Agregaya olarak bazalt pomza taşı kullanılmıştır. Çimento yerine %20 oranında uçucu kül, %10 oranında silis dumanı kullanılmıştır. 150 mm çaplı 300 mm boyunda silindirik ve 100x100x500 mm ebatında numuneler hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda cüruf kullanılarak hafif beton üretilebileceği kanısına varılmıştır[13].

Sarı ve Pasamehmetoğlu, hafif beton kullanmanın normal betona göre avantajlarını araştırmışlardır. Pomza taşı kullanarak orta mukavemette hafif beton üretimi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda 1300 kg/m³ yoğunlukta hafif beton blokların minimum basınç dayanımı 6,56 N/mm² olarak elde edilmiştir[14].

Ölmez, yaptığı çalışmada tehlikeli atık yakma tesisinde biriken taban küllerini beton hammaddesi olarak kullanarak değerlendirilmesini incelemiştir. Taban külü, belirli oranlarda hem agregaya hem de çimento yerine kullanılmıştır. Betona sıcaklık, akışkanlık, kırılma, SEM Analizi, X ışınları kırınımı ve TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure) testleri uygulanmıştır. Taban külünün dayanım gerektiren yapılarda kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Fakat taban külünün ekonomi sağladığı belirtilmiştir[15].

Yüksel ve ark., taban külünün briket yapımında ince agregaya olarak kullanılmasını araştırmıştır. Çalışmada taban külü ile kumun deneysel olarak yer değiştirmesi sağlanmıştır. Üretilen numunelerde taban külünün basınç dayanımı ve donmaya karşı dayanıklılığı düşürdüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda yapı ağırlığını düşürdüğü tespit edilmiştir[16].

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Taban Külü

Taban külü, fırınların tabanından toplanan kaba, granüle ve yanmaz yanma ürünüdür. Termik santralde üretilen, gözenekli bir yapıya sahip olan taban külünün içeriğini ağırlıklı olarak SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO bileşikleri oluşturur. Çoğu taban külü kömürle çalışan elektrik santrallerinde üretilmektedir. Ülkemizde 14 termik santral kömürle çalışmaktadır ve bu santraller her yıl yaklaşık 20 milyon ton kül açığa çıkarılmaktadır. Bu küllerinde %75-80'i uçucu kül, %20-25'i taban külüdür[1].



Şekil 2.1. Taban külü[17]

2.1.1. Taban külünün genel özellikleri

Taban külleri çok gözenekli, boyutları ince çakıl ve ince kum boyutları arasında yer almaktadır. Yani boyutları 1mm ile 15mm arasında değişmektedir. Taban külünün özgül ağırlığı Fe_2O_3 içeriğine göre artışlar göstermektedir[2]. Tablo 2.1'de bazı mühendislik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Taban külünün mühendislik özellikleri

Tane özgül ağırlığı	21-27
Kuru birim hacim ağırlık (Kn/m^3)	7,2-16
Plastisite	-
Su emme (%)	0,8-2,0
Permeabilite katsayısı (cm/s)	2,5x0,01-9,4x0,01
Optimum nem içeriği (%)	13,8-26,2
Boşluk oranı (n)	0,66-1,05

Taban külünün kullanım alanları;

- Agrega
- Gürültü bariyerleri
- Temel malzemesi
- Yol inşası
- Sanat malzemeleri

Ayrıca çimento ile karıştırılarak yalıtımlı yol yapımında kullanılabilir. Taban külünün beton atıkları ve metallerle kimyasal olarak birleşimi izolasyon sağlar[18].

2.1.2. Taban külünün kimyasal bileşimi

Taban külü; silis, demir, magnezyum, kalsiyum, alüminyum oksit ve sülfat içermektedir. Taban külünün kimyasal bileşimi kömürün cinsine ve yanma sıcaklığına göre değişmektedir[19]. Tablo 2.2’de taban külünün kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 2.2. Taban külünün kimyasal bileşimi

Bileşikler	Taban külü
CaO	%0-22
SiO ₂	%21-60
Al ₂ O ₃	%10-37
Fe ₂ O ₃	%5-37
MgO	%0-4
SO ₃	-

Ayrıca taban külünün bileşiminde titanyum, fosfor, berilyum, yanmamış karbon ve mangan da çok az miktarda bulunabilmektedir[20-21].

Taban külü bazı durumlarda çürütücü özellik gösterebilmektedir. Taban külünün çürütücü özelliğini tespit etmek için pH, elektrik direnci, çözünebilir klorid ve sülfat içeriği incelenmelidir. Yani pH değeri 5,5'tan fazla, elektrik direnci 1500 ohm-santimetreden fazla, çözünebilir klorid içeriği 200 ppm'den az ve çözünebilir sülfat içeriği 1000 ppm'den az olması gerekir[19]. Tablo 2.2 incelendiğinde SiO₂ oranı oldukça yüksektir. Bu nedenle, sıkıştırma işlemlerinde iyi bir sıkışmanın elde edilmesinde problem ortaya çıkmaktadır[1].

2.1.3. Taban külünün elde edilmesi

Taban külleri termik santraller ve atık yakma tesislerinde oluşmaktadır. Türkiye'de 38 kömür ve linyit yakıtlı santral bulunmaktadır ve kurulu gücü 17.343,76 MW'dır. Yıllık elektrik üretimi yaklaşık 90.397 GWh'dır. Bu santrallere ait bilgiler Tablo 2.3'te gösterilmiştir[22].

Tablo 2.3. Türkiye'deki kömür ve linyit yakıtlı santrallere ait bilgiler

No	Santral Adı	İl	Firma	Yakıt Tipi	Kurulu Güç(MW)
1	Zonguldak Eren	Zonguldak	Eren Enerji	İthal Kömür	2790
2	Afşin - Elbistan B	Kahramanmaraş	Eüaş	Linyit	1440
3	Afşin - Elbistan A	Kahramanmaraş	Eüaş	Linyit	1355
4	İSKEN Sugözü	Adana	Oyak	İthal Kömür	1320
5	İÇDAŞ Bekirli	Çanakkale	İçdaş Elektrik	İthal Kömür	1200
6	İskenderun Atlas	Hatay	Diler Holding	İthal Kömür	1200
7	Soma B	Manisa	Konya Şeker Enerji	Linyit	990
8	Kemerköy	Muğla	Limak Enerji	Linyit	630
9	Yatağan	Muğla	Bereket Enerji	Linyit	630
10	Çayırhan	Ankara	Ciner E.	Linyit	620

Tablo 2.3. (Devam) Türkiye’deki kömür ve linyit yakıtlı santrallere ait bilgiler

11	Seyitömer	Kütahya	Çelikler Enerji	Linyit	600
12	Kangal	Sivas	Konya Şeker Enerji	Linyit	457
13	Tufanbeyli	Adana	Enerjisa Elektirk	Linyit	450
14	Yeniköy	Muğla	İC İtaş Enerji	Linyit	420
15	İÇDAŞ Biga	Çanakkale	İçdaş Elektrik	İthal Kömür	405
16	Silopi	Şırnak	Ciner Enerji	Asfaltit	405
17	Tunçbilek	Kütahya	Çelikler Enerji	Linyit	365
18	İzdemir Enerji Aliağa	İzmir	İzmir Demir Çelik	İthal Kömür	350
19	18 Mart Çan	Çanakkale	Eüaş	Linyit	320
20	Çatalağzı	Zonguldak	Bereket Enerji	Taş Kömürü	300
21	Aksa Bolu Göynük	Bolu	Aksa Enerji	Linyit	270
22	İskenderun Demir Çelik	Hatay	Oyak	İthal Kömür	220
23	Orhaneli	Bursa	Çelikler Enerji	Linyit	210
24	Çolakoğlu	Kocaeli	Çolakoğlu Metalurji	İthal Kömür	190
25	Yunus Emre	Eskişehir	Naksan Enerji	Linyit	145
26	Kardemir	Karabük	Kardemir A.Ş.	Kömür	78
27	Polat	Kütahya	Polat Elektrik Üretim	Linyit	51
28	Soma A	Manisa	Eüaş	Kömür	44
29	Eti Soda Kojenerasyon	Ankara	Ciner Enerji	Linyit	24
30	Kahramanmaraş Kağıt	Kahramanmaraş	Kahramanmaraş Kağıt	İthal Kömür	16
31	Susurluk Şeker Fabrikası	Balıkesir	Türkiye Şeker Fabrikaları	Linyit	9,6
32	Amasya Şeker Fabrikası	Amasya	Amasya Şeker A.Ş.	Linyit	7,76
33	Kipaş Kağıt Fabrikası	Kahramanmaraş	Kipaş Holding	İthal Kömür	7,6
34	Aynes Gıda	Denizli	Aynes Gıda	Linyit	5,5
35	Küçüker Tekstil	Denizli	Küçüker Tekstil	Linyit	5
36	Kütahya Şeker Fabrikası	Kütahya	Kütahya Şeker	Linyit	4,57
37	Çankırı Tuz Fabrikası Kojenerasyon	Çankırı	Med-Mar Sağlık Saltı Tuz	Linyit	1,64
38	Göknur Gıda	Niğde	Göknur Gıda	Kömür	1,55

Ülkemizde kömürle çalışan santrallerin 13'ünde yaklaşık olarak yılda 4 milyon ton taban külü elde edilmektedir[23]. Taban külleri TS EN 450-1 standartına uygun olmadığından kül dağları ve barajlarda depolanmaktadır. Buralarda depolanan küller çevreye zarar vermektedir. Ayrıca depolanması yüksek masraflara sebep olmaktadır[24-25].

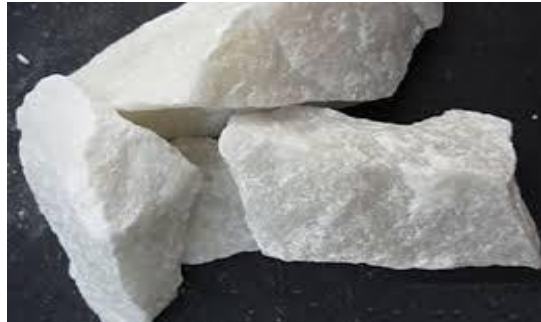
Çimento ve beton üretiminde taban külü kullanmanın faydaları şöyle sıralanabilir[26]:

- Stok sahasının ömrü uzar.
- Yer altı suyu korunmuş olur.
- Hava kirliliği önlenmiş olur.

2.2. Perlit

2.2.1. Perlitin tanımı ve sınıflandırılması

Perlit, volkanik bir lavın aniden soğutulmasından sonra ortaya çıkan, tuzlu su ile alüminyum-silikat karışımına sahip doğal bir volkanik camdır. İsmi inci anlamına gelen 'perle' kelimesinden gelmiştir[27]. Perliti diğer volkanik camlardan ayırıcı özelliği, uygun bir noktaya ısıtıldığında 4 ila 20 katına kadar genişlemesidir. Bu genişleme ham perlitli kayaçta %2 ila %6 oranında birleşik suyun varlığından kaynaklanmaktadır[28]. Perlitin 3 farklı hali Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Ham perlit[29]



Şekil 2.3. Ezilmiş perlit[30]



Şekil 2.4. Genleştirilmiş perlit[31]

Perlit; Akdeniz, Pasifik ve Atlantik Volkanik Kuşaklarında bulunmaktadır. En büyük perlit üreticileri Türkiye, ABD ve BDT'dir[32,33].

2.2.2. Perlitin üretim yöntemi ve teknolojisi

Perlit cevheri genellikle masif lav akıntıları şeklinde geniş yataklar halinde bulunur[34]. Perlit cevheri çıkarıldıktan sonra kırıcılardan geçirilir ve sonra dişli merdaneli kırıcılardan geçirilerek istenilen iriliğe getirilir. Daha sonra ısıtma ve genişleme aşamalarından oluşan fırınlama işlemi gerçekleştirilir. Ham perlit, 20-30 dakika boyunca ön ısıtmaya tabi tutulur ve genişleme fırınlarına gönderilir. 750-1200⁰C sıcaklıkta perlitin içindeki su buharına dönüşür ve genişlemeye neden olur. Danecikler içinde oluşan hava boşlukları perlitin hacmini 4-30 kat artırır ve yoğunluğunu da düşürür. Genleşmiş perlit hafif olduğundan nakliyesi masraflıdır. Bundan dolayı genişletme tesisleri maddenin kullanıldığı yere yakındır. Perlitin genişletilmesinde perlitin cinsi, ısıtma süresi, tane büyüklüğü ve genişleme sıcaklığı önemli rol oynar[32,34,35].

Perlitin değişik boyutlarda talep edilmesi öğütmenin önemini arttırmaktadır. Perlitin hangi boyutlardan ne kadar talep edildiği aőaęıda sıralanmıőtır[35].

- 0,05 mm; 0,3-1 mm; 0,3-1,6 mm; 0,3-2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. % 8)
- 0,3-2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. % 40)
- 0-0,4 mm; 0-1,2 mm (0,3 mm altındaki miktar max. % 10)
- 0,8-1,6 mm; 0-2,0 mm (0,3 mm altındaki miktar max. % 40)
- 0-0,4 mm; 0,4-1,2 mm; 1,2-2,0 mm.

2.2.3. Perlitin özellikleri

2.2.3.1. Perlitin fiziksel özellikleri

Perlit genellikle açık gri renkte olsada; bazen siyah, kahverengi ve açık yeőil de olabilmektedir. Fakat genleştirilmiş perlit daima beyazdır[36-39].Perlitin gözenekli yapısı adsorbsiyon ve emici özellik kazandırır. Ham perlit ile genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri farklılık gösterebilir. Tablo 2.4'te hem ham hem de genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri verilmiştir[27,32,35-46].

Tablo 2.4. Ham ve genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

	Ham Perlit	Genleştirilmiş Perlit
Renk	Siyah, gri, açık yeőil, kahverengi	Beyaz
Özgöl Ağırlık	2,2-2,4	2,2-2,4
Birim Hacim Ağırlık	950-2700 kg/m ³	Kaba (30-190 kg/m ³) Gevőek (32-400 kg/m ³)
Özgöl Isı	0,20-0,23 kCal/kg ⁰ C	0,20-0,23 kCal/kg ⁰ C
Erime Noktası	1315-1390 ⁰ C	1300 ⁰ C
Sertlik	5,5-7	
Kırılma Endeksi	1,483-1,506	
Ph	6,5-8	
Serbest Nem	0,5 %	
Isı İletkenliği		0,039-0,046 W/Mk
Ses Yutma		0,6
Isıl Genleőme		0,004-0,011 mm/m ⁰ C
Su Emme	20-35 %	
Porozite	90 %	

2.2.3.2. Perlitin kimyasal özellikleri

Perlit, %70-75 oranında silisyum dioksit içeren silikat bileşimli bir kayaç olup, bünyesinde %12-16 oranında alümina bulunur. Sodyum oksit, potasyum oksit, demir oksit, manganez oksit, titan dioksit ve sülfür diğer bileşenleridir. Ham ve geliştirilmiş perlitin kimyasal bileşimleri Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da verilmiştir[32,34-36,38,41].

Tablo 2.5. Geliştirilmiş perlitin kimyasal bileşimi

Bileşen	Perlit %
SiO ₂	71-75
Al ₂ O ₃	12,5-18
Fe ₂ O ₃	0,3-1,5
CaO	0,3-2,0
MgO	0,1-0,5
Na ₂ O	2,7-4,0
K ₂ O	3,5-5,0
TiO ₂	0,03-0,20
FeO	0-0,10
MnO ₂	0,03-0,10
Cr	0-0,10
Ba	0-0,10
Serbest SiO ₂	0-4,00
SO ₇	0-0,20
Toplam Klorür	0-0,20

Tablo 2.6.Ham perlitin kimyasal bileşimi

Bileşen	Perlit %
SiO ₂	73,8
Al ₂ O ₃	13,9
Fe ₂ O ₃	0,9
CaO	0,9
MgO	0,3
Na ₂ O	4,7
K ₂ O	4,3
H ₂ O	<1,0
As	<0,001
Ba	<0,1
B	<0,01
Cl	<0,0005

Tablo 2.6.(Devam) Ham perlitin kimyasal bileşimi

Cr	<0,007
Cu	<0,0015
Ga	<0,05
Pb	<0,001
Mn	<0,3
Mo	<0,002
Ni	<0,02
S	<0,2
Ti	<0,1
Zr	<0,003
Cr	<0,007
Cu	<0,0015
Ga	<0,05
Pb	<0,001
Mn	<0,3
Mo	<0,002
Ni	<0,02
S	<0,2
Ti	<0,1
Zr	<0,003

2.2.3.3. Perlitin mekanik özellikleri

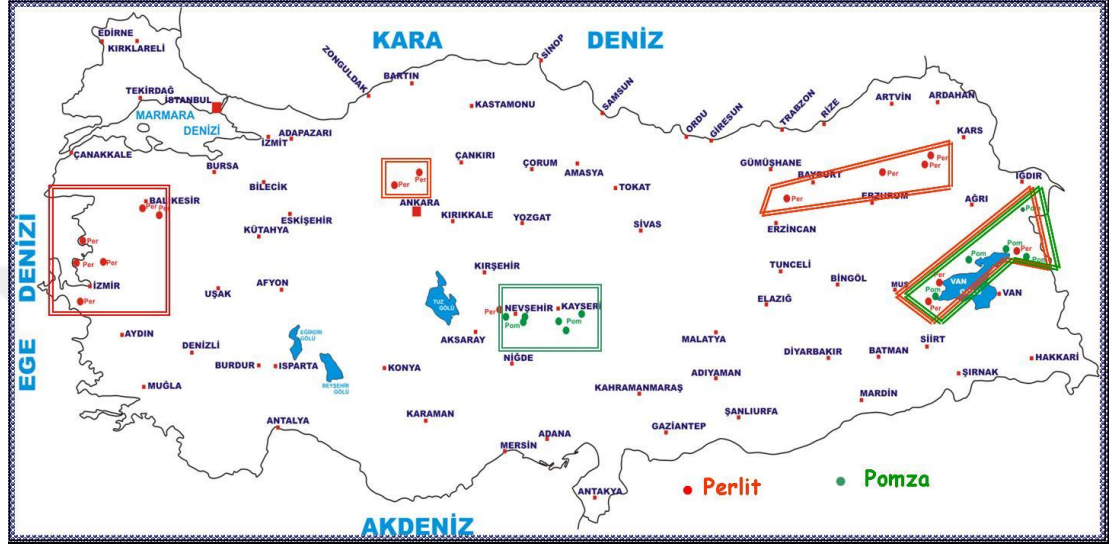
Perlitin tek başına taşıyıcı beton agregası olarak kullanılması mümkün değildir, çünkü basınç mukavemeti düşüktür(5-70 kg/cm²)[32,47,48].

Perlit ile imal edilen betonların elastisite modülü 13000-25000 N/mm² arasındadır[49,50].

2.2.4. Perlitin Türkiye'deki rezervleri

Dünyadaki perlit üretimi başlıca Türkiye(%41), Yunanistan(%26) ve ABD(%18)'dedir. Özellikle 2008 yılından itibaren Yunanistan ve Türkiye'de, ABD'ye göre daha fazla perlit üretimi yapılmaktadır. Perlit rezervinin dünyaya nazaran çok fazla olması, ülke ekonomisine önemli bir katkı sağlayacağını bizlere göstermektedir[27].

Türkiye’de perlit rezervleri batıda Ege Denizi kıyısından doğuda Van ve Kars bölgelerine kadar geniş bir bölgeye yayılış göstermektedir. Türkiye’deki perlit yatakları özellikle İzmir, Manisa, Balıkesir, Eskişehir, Ankara, Çankırı, Nevşehir, Erzincan, Erzurum, Kars, Bitlis ve Van illerindedir[51]. Şekil 2.5’te Türkiye’deki perlit rezervleri gösterilmektedir[52].



Şekil 2.5. Türkiye’deki perlit rezervleri

Tablo 2.7’de illere göre perlit rezervleri gösterilmektedir[27].

Tablo 2.7. Türkiye’nin illere göre perlit rezervi

Perlit Kaynağı	Rezerv (ton)	Yüzde (%)
Kars – Sarıkamış	2.043.000.000	33,9
Van – Erciş	1.400.000.000	23,2
Bitlis – Adilcevaz ve Tatvan	940.000.000	15,6
Nevşehir – Derinkuyu – Acıgöl	800.000.000	13,3
Erzurum – Pasinler	386.824.000	6,4
Çankırı – Orta – Kalfat	128.200.000	2,1
İzmir – Bergama – Foça	88.000.000	1,5
Erzincan – Mollatepe	71.500.000	1,2
Ankara – Çubuk	51.000.000	0,8
Ankara – Kızılcahamam – Güvem	31.500.000	0,5
Balıkesir – Savaştepe	26.000.000	0,4
Balıkesir – Sındırgı	21.206.000	0,4
Manisa – Saruhanlı	17.700.000	0,3
Kütahya – Avdan	11.500.000	0,2
Ankara – Kızılcahamam – Çamkoru	8.000.000	0,1
Toplam	6.028.130.000	100

Türkiye’de perlit rezervi diğer ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Bu yüzden perlit, Türkiye için önemli bir mineraldir[27].

3.2.5. Perlitin kullanım alanları

Perlit genellikle inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İnşaat sektörü perlit tüketiminin %70’ini kapsamaktadır. Perlit inşaat sektöründe; ısı ve ses yalıtımında, hafif dolgu betonu yapımında ve yüzey döşemelerde kullanılmaktadır. Perlit hafif eleman olarak malzemede tasarruf, inşaatla sağlamlık ve hacimde kazanç sağlamaktadır.

Ziraat sektöründe toprağın fiziksel özelliklerini artırıcı “substrat” maddesi olarak; toprağın ıslahında, su depolamada, çelikleme ve çiçekçilikte, suni gübre imalinde dolgu ve taşıyıcı madde olarak ve çimli spor alanlarında kullanılmaktadır.

Ayrıca kuru dolgu tecrit ve filtre yardımcı malzemesi olarak, dökümcülükte, gıda, ilaç ve diğer kimyasal maddelerin üretiminde yardımcı malzeme olarak, sanayi ısı yalıtımında, metalurjide, seramik ve cam sanayiinde katkı maddesi olarak sanayi sektöründe de kullanılmaktadır[32,53].

2.3. Bims

2.3.1. Bimsin tanımı ve sınıflandırılması

Pomza yani bims kelimesi, "köpük" anlamına gelen pumeks Latince kelimesinden türetilmiştir. Türkçe’de de süngertaşı, topuk taşı, nasır taşı ve hasırtaşı gibi adlarla adlandırılmaktadır [32]. Bims magmatik bir kayadır. Volkanik cam köpükten elde edilir. Bims volkanik patlamalar sonucunda oluşur ve son derece gözeneklidir. Hafif betonda, peyzaj agregası olarak ve çeşitli endüstriyel ve tüketici ürünlerde bir aşındırıcı olarak kullanılır. Birçok örnekte yoğunlaşma derecesi yüksektir, suya dalabilir ve yavaşça su geçirinceye kadar yüzebilirler. TSE tarafından yapılan tanımı, birbirine bağlantısız boşluklu, silikat esaslı, sünger görümlü, birim hacim ağırlığı 1 gr/cm³’ten büyük, camsı doku gösteren ve sertliği mohs skalasına göre 6 olan volkanik bir maddedir [54]. Gözenekler arası bağlantısız boşluklu olduğu için, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Bimsin sembolik görünümü Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Bimsin sembolik görünümü[55]

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucu iki tür bims oluşumu vardır. Bunlar asidik ve bazik bimsdir. Bazik bimsin diğer bir adı da scoriadır. Asidik bims; beyaz, kirli beyaz renktedir ve bazik bimsse göre daha yaygındır. Bazik bims ise kahverengi ve siyahımsı renktedir. Asidik bimsin yoğunluğu $0.5-1 \text{ gr/cm}^3$ iken, bazik bimsin yoğunluğu $1-2 \text{ gr/cm}^3$ 'dür. Asidik bimsin sembolik görünümü Şekil 2.7'de, bazik bimsin görünümü Şekil 2.8'de verilmiştir.



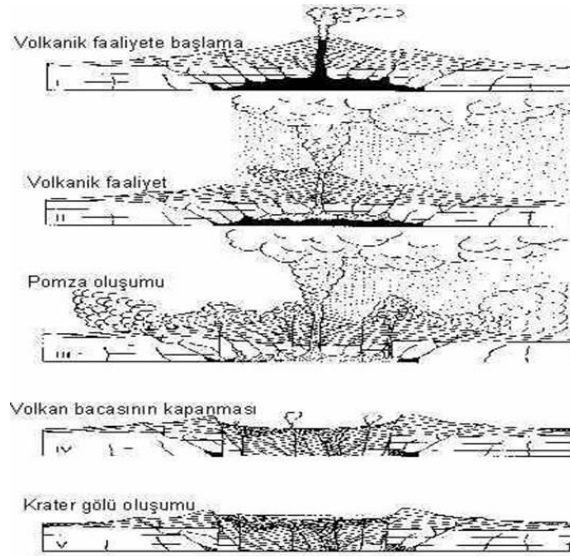
Şekil 2.7. Asidik bimsin sembolik görünümü



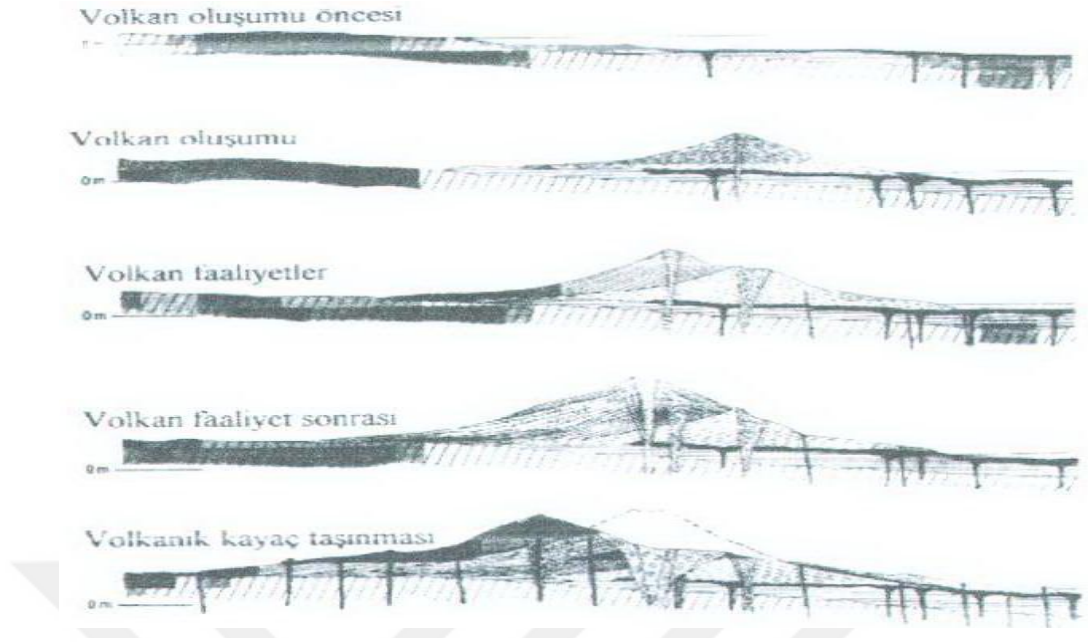
Şekil 2.8. Bazik bimsin sembolik görünümü

2.3.2. Bimsin oluşumu

Bims, suya temas eden lavla oluşur. Bu olay genellikle su yakınında ve suya yakın yanardağlarda görülür. Sıcak magma su ile temasa girdiğinde, hızlı soğutma ve hızlı basınç düşürme lav kaynama noktasını düşürerek kabarcıklar oluşturur. Kayacın erime noktasının altındaki kaya soğuğu, kayaç suyla temasa girdikten sonra hemen bir katıya dönüştüğünde kabarcıkların içeride sıkıştığını gösterir. Pomza volkanik olduğu için bazen cam gibi olur ve kabarcıklar yarı saydam kaya kabarcıkları duvarları arasında sıkışır. Hızlı soğumadan önce lavdan gelen volkanik gazların miktarına bağlı olarak pomza ve skoria oluşabilir. Bimsin oluşumu Şekil 2.9'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Bimsin oluşumu



Şekil 2.10. Bims oluşumlarının taşınmasının sembolik gösterimi[32]

Bimsin taşınması genel olarak düşme ile yığılma, fırlatma ile yığılma ve akma ile yığılma ile ele alınmaktadır[32,54,59].

2.3.3. Bimsin özellikleri

2.3.3.1. Bimsin fiziksel özellikleri

Kayaçların tanımlanması söz konusu olduğunda bimsin özellikleri önemlidir. Bims kayaçlarının özellikleri pomzanın kimliğini belirlemek için önemlidir. Bimsin bazı özellikleri sertlik, renk, kırılma, parlaklık ve basınç dayanımı olarak sıralanabilir. Diğer kayaçlarla karşılaştırıldığında bims daha gözeneklidir ve yoğunluğu $0,25-0,3 \text{ g/cm}^3$ 'tür[32].

Bimsin fiziksel özellikleri oluşumuna bağlıdır. Kayalar, ölçekte kayaları 1 ila 10 arasında Mohs Sertlik Ölçeği'nde derecelendirilmektedir. Sertlik derecesi 1-3 olanlar yumuşak kaya, 3-6 olanlar orta sertlikteki kayalar, 6-10 olanlar ise sert kayalardır. Bimsin sertliği 6, basınç dayanımı $51,2 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Pomza çizgisi beyaz, yeşilimsi beyaz veya gri, kırığı düzlemlidir. Bimsin özgül ağırlığı $2,86$ 'dır. Bims doğada opak ve tokluğu 3'tür[32].

Bimsin termal özellikleri jeolojide önemli rol oynamaktadır. Özgül ısı kapasitesi, kayanın ısıya, suya, basınca vs. direnç vermesi bimsin termal özelliklerinden bazılarıdır. Özgül ısı kapasitesi, kaya birim kütlesi başına ısı kapasitesi olarak tanımlanır. Özgül ısı kapasitesi veya özgül ısı bimsin önemli özelliklerinden biridir. Bimsin özgül ısı kapasitesi 0.87 kJ/KgK'dir. Bimsin özellikleri ayrıca bimsin ısı, su, basınç, darbe vb. direncini de içerir. Bimsin sunduğu direnç parametrelerin belirlenmesinde yardımcı olur. Bims darbelere dayanıklı, basınca dayanıklıdır[32].

Bimsin porozitesi %70-85 arasındadır. Su emmesi ise %15-35 arasındadır. Bu değerlerin üzerine çıktığında malzemenin dona karşı dayanıklılığı azalır ve bimsin çeşitli hasarlar oluşabilir[32,54,60].

Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyükse, taneler şekilce hatalıdır. Bims için şekilce tane büyüklüğü dağılımı Tablo 2.8'de gösterilmiştir[32].

Tablo 2.8. Bimsin granülometrik bileşimi

Tane Sınıfları		Kare gözlü ve kare delikli eleklerden geçen									
		0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63
İnce Agregası	0/2	1	1	1	1	>90	100				
	0/4	1	1	1	1		>90	100			
	2/4		<5			<15	>90	100			
Karışık Agregası	0/8		1					>90	100		
	0/16		1						>90	100	
	0/32		1							>90	100
İri Agregası	4/8		<5				<15	>90	100		
	4/16		<5				<15		>90	100	
	8/16		<5					<15	>90	100	100
	16/32		<5						<15	>90	100

2.3.3.2. Bimsin kimyasal özellikleri

Bimsin kimyasal bileşimi Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9. Bimsin kimyasal bileşimi

Bileşen	İçerik(%)
SiO ₂	60-75
Al ₂ O ₃	13-15
Fe ₂ O ₃	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
Na ₂ O+K ₂ O	7-8
TiO ₂	Eser
SO ₃	Eser
Cl	Eser
Bileşen	İçerik(%)
SiO ₂	60-75
Al ₂ O ₃	13-15
Fe ₂ O ₃	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
Na ₂ O+K ₂ O	7-8
TiO ₂	Eser
SO ₃	Eser
Cl	Eser

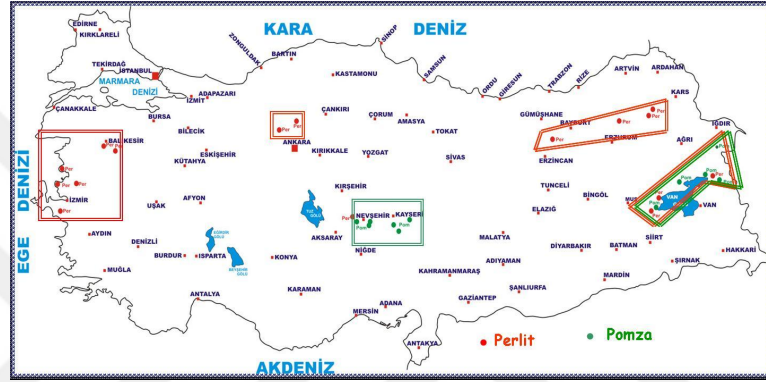
Tabloda da görüldüğü gibi bimsin %75'e varan silis içeriği görülebilmektedir. Silis bimsin aşındırıcı özellik katmaktadır. Alüminyum oksit ise ateşe ve ısıya yüksek derecede dayanmasını sağlar. Demir 3 oksit ise sertliğini düşürmektedir. Doğada gözlenmekte olan asidik ve bazik bimsin kimyasal bileşimi ise Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. Asidik ve bazik bimsin kimyasal bileşimi

Bileşen	Asidik bimsin(%)	Bazik bimsin(%)
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
FeA	2,5	7
CaO	0,9	11
MgO	0,6	7
Na ₂ O+K ₂ O	9	8
Ateş kaybı	3	1

2.3.4. Bimsin Türkiye’deki rezervleri

Ülkemiz birçok endüstriyel hammadde ve yer altı kaynakları yönünden önemli bir potansiyele sahiptir. Resmi verilere göre, Türkiye 18 milyar m³ bims rezervinin yaklaşık %40’ına sahiptir. Ülkemizde pomza rezervleri ağırlıklı olarak iç anadolu bölgesi olmakla beraber Isparta, Van, Bitlis, Kayseri, Nevşehir, Ankara, Kars ve Ağrı’da bulunmaktadır. Türkiye’deki bims yatakları haritası Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Türkiye’deki bims yatakları[52]

2.3.5. Bimsin kullanım alanları

Bimsin başlıca kullanım alanları inşaat, tarım, tekstil ve kimya olarak sıralanabilir.

İnşaat sektöründe;

Bims, inşaat sektöründe hafif beton yapımında agrega olarak kullanılmaktadır. Bims, kum ve çakıla göre çok daha hafif bir malzemedir. Hafif oluşu taşınmasındaki kolaylıklardan ötürü zaman ve işçilikten tasarruf sağlar. Ayrıca temele inen yük azalacağından ötürü demirden de tasarruf sağlar. Gözenekli olması da ısı ve ses yalıtımı sağlar. Bims katkılı betonlar normal betonlara göre daha elastiktir. Bu da depreme karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. Ayrıca donmaya karşı da dayanıklıdır.

Tarım sektöründe;

Bims, fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmediği için tekrar tekrar kullanılabilir. Toprağa göre hafif olması işlenebilirliğini kolaylaştırmaktadır.

Bünyesindeki suyu uzun süre tutabilmesi bulunduğu ortamın nemli kalmasını sağlamaktadır. Ayrıca gözenekli oluşu toprağın havalanmasını sağlamaktadır.

Kimya sektöründe;

Suni gübrelerin topaklaşmasını önlemede anti kek olarak, temizlik ve deterjan sanayinde katkı malzemesi olarak ve diş macunlarında parlatma keki olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yalıtım ve trafik boyalarında ve duvar kaplamalarında kullanılmaktadır.

Tekstil sektöründe;

Kot pantolonların renklerinin açılması ve ağartılmasında yani kot taşlamada kullanılmaktadır [61].

Ayrıca metal ve plastik sanayiinde, cam sanayiinde ve mobilya sanayiinde de cilalamada kullanılmaktadır. Elektronik sanayiinde de devre plakelerini temizlemede kullanılmaktadır[62].

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Genleştirilmiş perlit

Perlitin fiziksel, kimyasal, mekanik özelliklerine, rezerv ve tüketim alanlarına genel bilgiler kısmında detaylıca değinilmiştir. Bu kısımda; Bergama Madencilik İnşaat Makine Perlit San. Tic. A.Ş.'nin Ege Bölgesi'nden temin ettiği ve bu çalışmada kullanılan genleştirilmiş perlitin kimyasal özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Perlitin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO ₂	71,13
Al ₂ O ₃	14,38
Fe ₂ O ₃	1,41
K ₂ O	4,68
MgO	0,68
Na ₂ O	2,71
TiO ₂	0,04
CaO	1,62
P ₂ O ₅	0,05
SO ₃	-

3.1.2. Taban külü

Bu çalışmada kullanılan taban küllerinin temin edildiği Çatalağzı Termik Santrali ÇATES, Zonguldak İli Çatalağzı Kasabası'nda yer almaktadır. Türkiye Taşkömürü Kurumu'na ait Zonguldak ve Çatalağzı Filtrelizasyon tesisleri ürünü olan 1. 5 milyon ton/yıl taşkömürü artığı yakılmaktadır. Çalışmada kullanılan taban külü kimyasal analizi Tablo 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Taban külünün kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim	% Ağırlık
SiO ₂	58
Al ₂ O ₃	22,91
Fe ₂ O ₃	3,97
K ₂ O	0,55
MgO	2
Na ₂ O	0,54
TiO ₂	1,37
CaO	4,2
P ₂ O ₅	0,2
SO ₃	0,38

3.1.3 Bims

Bu çalışmada kullanılan bimsin temini Hilmi Yıldız İnşaat Yapı Malz. Nak. Paz. San. Ve Tic. Ltd. Şti. firması tarafından sağlanmıştır. Bimsin kimyasal bileşimi Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Bimsin kimyasal bileşimi

Bileşen	İçerik(%)
SiO ₂	60-75
Al ₂ O ₃	13-15
Fe ₂ O ₃	1-3
CaO	1-2
MgO	1-2
Na ₂ O+K ₂ O	7-8

3.1.4 Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento Nuh Çimento Sanayi A.Ş.'ye ait CEM I 42,5 R çimentosudur. Çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

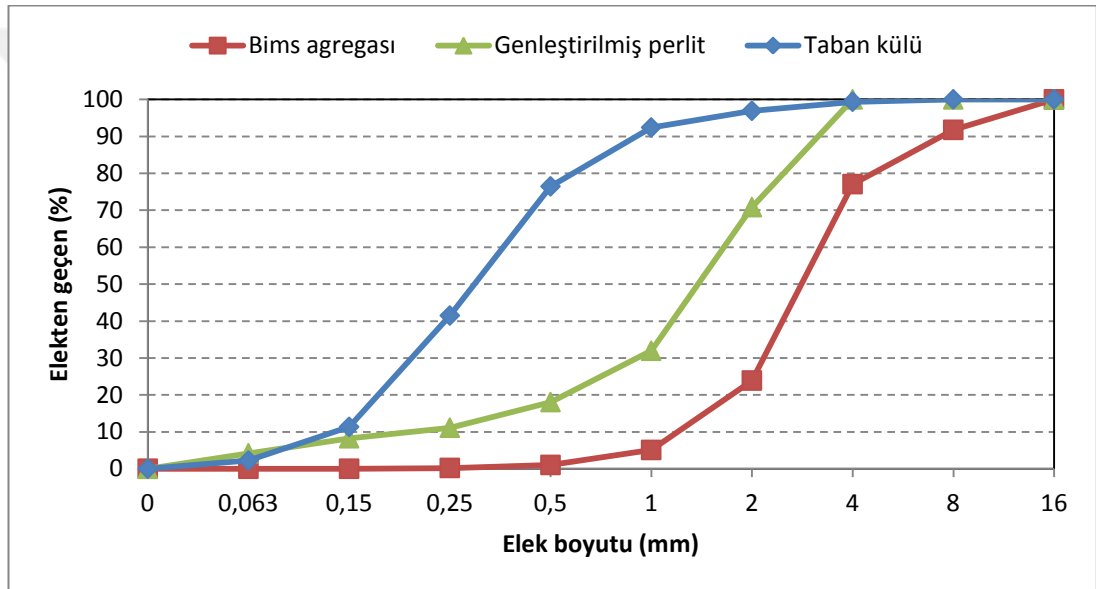
Tablo 3.4. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kimyasal analiz	%	Fiziksel ve Mekanik özellikler	
SiO ₂	20,5	Özgül yüzey, cm ² /g	3510
Al ₂ O ₃	4,65	Özgül ağırlık	3,12
Fe ₂ O ₃	3,40	Priz başlama periyodu, dakika	153
CaO	62,7	Priz bitiş periyodu, dakika	188

Tablo 3.4. (Devam) Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

MgO	1,02	Basınç dayanımı	
SO ₃	2,21	2 gün, MPa	30,2
TiO ₂	-	7 gün, MPa	51,1
Na ₂ O	0,18	28 gün, MPa	62,2
K ₂ O	0,41		
Klor (Cl-)	0,01		
Çözünmez kalıntı	0,60		
Kızdırma kaybı	2,15		

3.2. Agrega granülometrileri



Şekil 3.1. Agrega granülometrileri

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi 3 agreganın granülometrileri birbirinden çok farklıdır. Taban külü çok ince yapıya sahip olup incelik modülü 0,93, genleştirilmiş perlit ince ama biraz daha iri yapıya sahip olup incelik modülü 2,68 ve bims agregası orta büyüklükte olup incelik modülü 4 olarak bulunmuştur.

3.3. Deney Numunelerinin Üretimi

Bu çalışmada ısı yalıtımı, kılcal su emme, kuru birim ağırlık ve su emme, sıcaklığa dayanıklılık olmak üzere 4 farklı deney yapılmıştır. Isı yalıtım testi ve kuru birim ağırlık için 300 mm x 300 mm x 50 mm ebatındaki plaka numuneler üretilmiştir. Kılcal su emme için 100 mm x 100 mm x 50 mm ebatındaki numuneler, sıcaklığa

dayanıklılık deneyi için 50 mm x 50 mm x 50 mm ebatındaki küp numuneler üretilmiştir.

Bu çalışma için 250 ve 300 olarak 2 farklı dozda 15'er farklı karışım dizaynı belirlenmiştir. Bu numunelere ait karışım dizaynları Tablo 3.5'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Karışım dizaynları

Sıra No	Numune Tipi	Dozaj (kg/m ³)	Hacimsel agrega oranı (%)		
		Çimento	Gen. perlit	Taban külü	Bims
1	250/P100	250	100	0	0
2	250/P75/T25	250	75	25	0
3	250/P75/B25	250	75	0	25
4	250/P50/T50	250	50	50	0
5	250/P50/B50	250	50	0	50
6	250/P50/T25/B25	250	50	25	25
7	250/P25/T50/B25	250	25	50	25
8	250/P25/T25/B50	250	25	25	50
9	250/P25/B75	250	25	0	75
10	250/P25/T75	250	25	75	0
11	250/T50/B50	250	0	50	50
12	250/T100	250	0	100	0
13	250/B100	250	0	0	100
14	250/T25/B75	250	0	25	75
15	250/T75/B25	250	0	75	25
16	300/P100	300	100	0	0
17	300/P75/T25	300	75	25	0
18	300/P75/B25	300	75	0	25
19	300/P50/T50	300	50	50	0
20	300/P50/B50	300	50	0	50
21	300/P50/T25/B25	300	50	25	25
22	300/P25/T50/B25	300	25	50	25
23	300/P25/T25/B50	300	25	25	50
24	300/P25/B75	300	25	0	75
25	300/P25/T75	300	25	75	0
26	300/T50/B50	300	0	50	50
27	300/T100	300	0	100	0
28	300/B100	300	0	0	100
29	300/T25/B75	300	0	25	75
30	300/T75/B25	300	0	75	25

Tabloda verilen oranlara göre kalıp için ağırlıklar belirlenmiş ve dökümler gerçekleştirilmiştir. Her dökümden önce kalıplar temizlenmiş ve her iç yüzeyi harcın yapışmaması için yağlanmıştır. Dökümler yapılırken laboratuvar mikseri kullanılmış ve önce katı malzemeler koyulmuş daha sonra su yavaş yavaş ilave edilmiştir. Su miktarı su/çimento oranı 0.30 olacak şekilde ayarlanmıştır. Harçlarda yayılma

olmayacak ve çok kuru kıvamda şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan harç kalıplara 3 aşamada koyulmuş ve her defasında iyice yerleşmesi için vibrasyon uygulanmıştır. Dökümü gerçekleşen numuneler 1 gün kalıpta kaldıktan sonra kür havuzuna bırakılmıştır. Numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra deneylere tabi tutulmuştur. Kullanılan laboratuvar mikseri Şekil 3.2’de, plaka numunelerin döküldüğü kalıplar ise Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Harçların karıştırıldığı mikser



Şekil 3.3. Plaka dökümlerinin yapıldığı kalıp

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE ANALİZLER

Bu çalışmada kuru birim ağırlık, su emme, basınç dayanımı, kılcal su emme, sıcaklığa dayanıklılık ve ısı iletkenlik testleri yapılarak, son olarak üretilen malzemelerin maliyet analizi çıkarılmıştır.

4.1. Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme

Bu deneyde kuru birim ağırlık ve su emme ASTM C 67-08 standartlarına uygun olarak hesaplanmıştır[63]. Kalıptan çıkarılan numuneler 24 saat suda bekletildikten sonra bütün yüzeyleri bezle kurulanmıştır. Daha sonra terazide tartılarak doymuş kuru yüzey(DYK) ağırlıkları belirlenmiştir. Aynı numuneler etüvde 24 saat boyunca 110 °C'de kurutulmuş ve ağırlıkları tartılmıştır. Aşağıdaki formülasyonlar kullanılarak numunelerin kuru birim ağırlıkları ve su emmeleri hesaplanmıştır(Denklem 4.1 ve Denklem 4.2);

Kuru birim ağırlık;

$$\Delta = \frac{W_k}{V} \quad (4.1)$$

Δ = Kuru birim ağırlık (gr/cm³)

W_k = Kuru ağırlık (gr)

V = Numune hacmi (cm³)

Ağırlıkça yüzde su emme oranı;

$$Sa = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (4.2)$$

Sa = Ağırlıkça yüzde su emme (%)

W_d = Doymuş kuru yüzey ağırlık (gr)

W_k = Kuru ağırlık (gr)

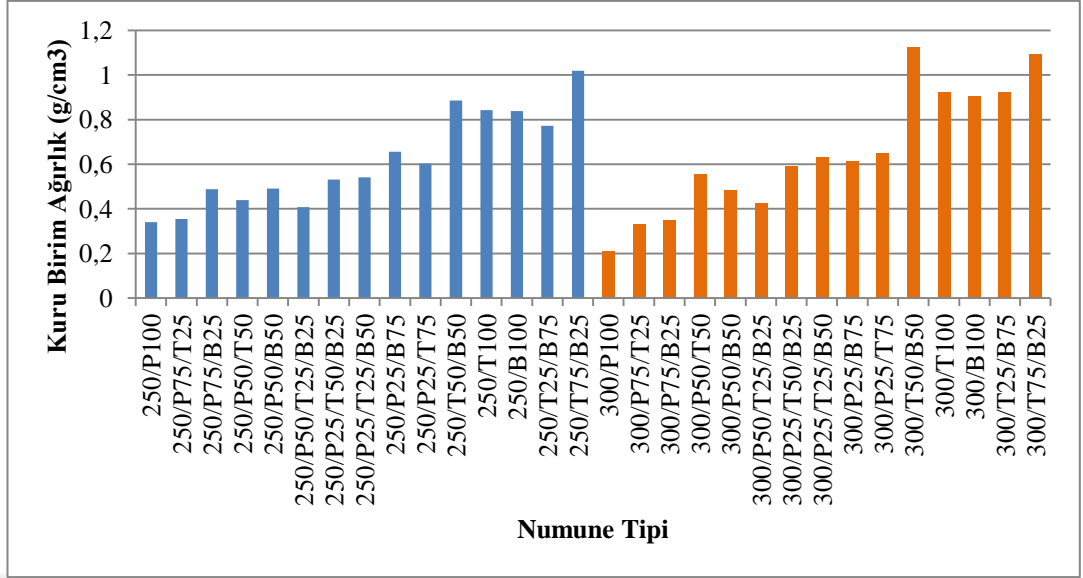
Tablo 4.1’de 250 kg/m³ dozlu, Tablo 4.2’de 300 kg/m³ dozlu numunelerin kuru birim ağırlıkları ve su emme yüzdeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodaki veriler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de grafik haline getirilmiştir.

Tablo 4.1. 250 kg/m³ dozlu numunelerin kuru birim ağırlıkları ve su emme yüzdeleri.

Numune Tipi	Kuru birim ağı. (g/cm ³)	Su emme (%)
250/P100	0,34	164,86
250/P75/T25	0,35	129,02
250/P75/B25	0,49	77,44
250/P50/T50	0,44	110,04
250/P50/B50	0,49	56,93
250/P50/T25/B25	0,41	124,77
250/P25/T50/B25	0,53	79,75
250/P25/T25/B50	0,54	77,97
250/P25/B75	0,66	40,90
250/P25/T75	0,60	59,45
250/T50/B50	0,89	35,27
250/T100	0,84	60,78
250/B100	0,84	23,46
250/T25/B75	0,77	39,29
250/T75/B25	1,02	33,69

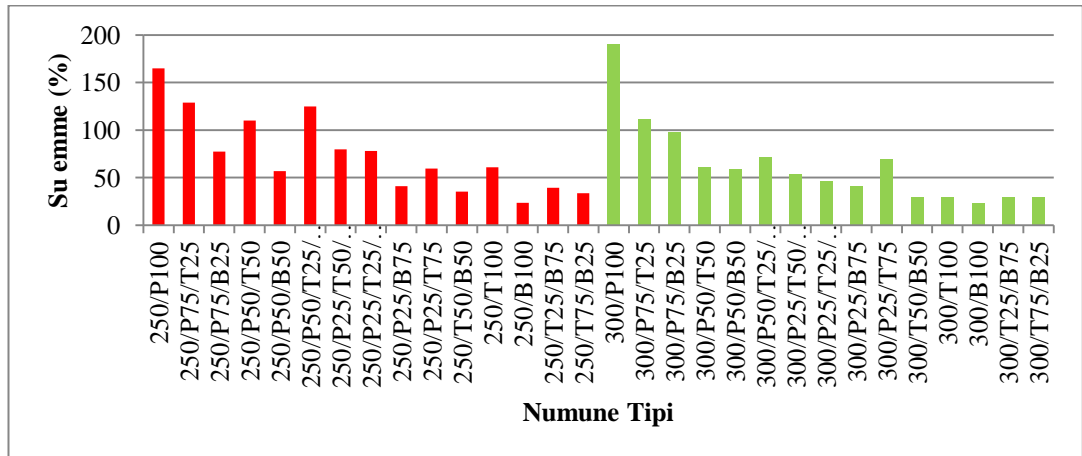
Tablo 4.2. 300 kg/m³ dozlu numunelerin kuru birim ağırlıkları ve su emme yüzdeleri.

Numune Tipi	Kuru birim ağı. (g/cm ³)	Su emme (%)
300/P100	0,21	190,35
300/P75/T25	0,33	111,67
300/P75/B25	0,35	97,91
300/P50/T50	0,55	61,59
300/P50/B50	0,48	58,94
300/P50/T25/B25	0,43	71,55
300/P25/T50/B25	0,59	53,56
300/P25/T25/B50	0,63	46,06
300/P25/B75	0,62	41,19
300/P25/T75	0,65	69,30
300/T50/B50	1,12	30,07
300/T100	0,92	29,62
300/B100	0,91	22,92
300/T25/B75	0,92	29,62
300/T75/B25	1,09	29,19



Şekil 4.1. Kuru birim ağırlık değerleri

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi geliştirilmiş perlit numunelerde ağırlığı önemli oranda düşürmektedir. Ancak beklendiğinin aksine 300 kg/m³ dozlu geliştirilmiş perlitli numunelerin 250 kg/m³ dozlu olanlara göre numuneleri hafiflettiği görülmüştür. Bu durum Şekil 5.2’de görülen 300 kg/m³ dozlu geliştirilmiş perlitli numunelerin daha fazla su emmesi ve suyun buharlaşması sonucu daha fazla ağırlık kaybetmesine bağlanabilir. Taban külü ve bims agregalı numunelerde beklendiği gibi ağırlıklar daha fazla olmuş, dozajın artışı ile de orantılı olarak artmıştır. Hatta geliştirilmiş perlitli numunelerde 0.4-0.6 g/cm³ olan kuru birim ağırlıklar, taban külü ve bims agregalı numunelerde 1 g/cm³’ün üstüne kadar çıkmıştır. Taban külü ve bims birim ağırlıklara benzer etkiler yapmıştır.



Şekil 4.2. Su emme yüzdeleri

Şekil 4.2’de su emme değerlerinin Şekil 5.1’de görülen kuru birim ağırlıklarla orantılı olduğu, kuru birim ağırlık artışı ile su emmenin azaldığı görülmektedir. Genleştirilmiş perlitli numuneler çok fazla su emmiş ve dozaj artışı ile yukarıda da belirtildiği gibi artmıştır. Dozaj artışı bims agregalı ve taban külü içerikli numunelerde boşluk yapısı daha az olduğundan su emme değerlerini bir miktar azaltmıştır. %100 genleştirilmiş perlitli numunelerde su emme miktarı %200’lere yaklaşırken, %100 taban külü ve bims agregalı numunelerde %20’lere kadar gerilemektedir.

4.2. Basınç Dayanımı

Çimentolu harçlar basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük malzemelerdir. Bu yüzden basınç dayanımı en önemli özelliğidir. Basınç dayanımını belirlerken kür ortamı, harcın üretildiği yöntem ve uygulanan deney yükünün hızı gibi birçok faktör etkilidir. Bu sebeple basınç dayanım testi belli standartlara göre yapılmaktadır. Basınç dayanımı tayini ASTM C109 standardına uygun olarak belirlenmiştir[64].

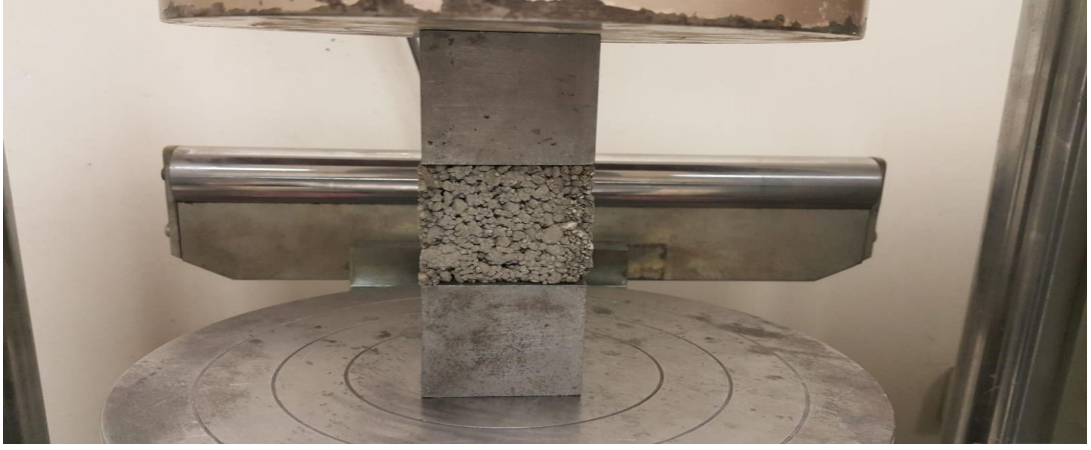
Bu deneyde 50x50x50 mm ebatındaki küp numuneler kullanılmıştır. Numunelerin yüksekliği az olduğundan, daha rahat çalışabilmek için numuneler 50x50x50 mm’lik iki çelik küp arasına konarak 75 N/sn yükleme hızı ile basınç altında kırıldıkları yükler tespit edilmiştir. Elde edilen yükler aşağıdaki formüllerde yerine konularak basınç dayanımları hesaplanmıştır;

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.3)$$

σ = Basınç dayanımı (N/mm², MPa)

P= Kırılma anındaki yük (N)

A= Basınç uygulanan yüzey alanı (mm²)



Şekil 4.3. Küp numunelerin basınç yüklerinin belirlenmesi için cihaza yerleştirilmesi

Şekil 4.3'te 50x50x50 mm boyutlu küp numuneler üzerinde yapılan basınç testi görülmektedir. Tablo 4.3'te 250 kg/m³ dozlu numunelerin, Tablo 4.4'te de 300 kg/m³ dozlu numunelerin basınç dayanımları sonuçları 3'er numune üzerinden verilmiştir.

Tablo 4.3. 250 kg/m³ dozlu numunelerin basınç dayanımları

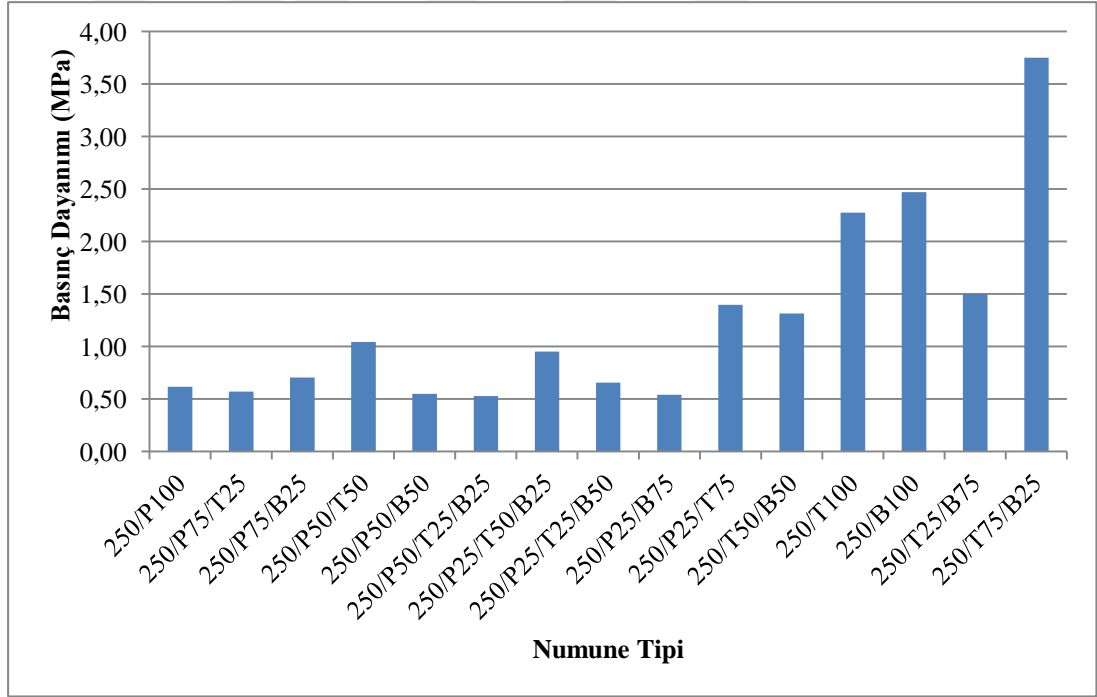
Numune Tipi	Basınç Yüğü (kN)			Basınç dayanımı (MPa)			Ort. basınç dayanımı (MPa)
250/P100	1,72	1,70	1,19	0,69	0,68	0,48	0,61
250/P75/T25	1,71	1,14	1,43	0,68	0,46	0,57	0,57
250/P75/B25	1,53	1,81	1,94	0,61	0,72	0,78	0,70
250/P50/T50	2,11	2,12	3,58	0,84	0,85	1,43	1,04
250/P50/B50	1,62	1,32	1,18	0,65	0,53	0,47	0,55
250/P50/T25/B25	1,16	0,52	2,28	0,46	0,21	0,91	0,53
250/P25/T50/B25	2,74	2,02	2,38	1,10	0,81	0,95	0,95
250/P25/T25/B50	1,92	1,39	1,60	0,77	0,56	0,64	0,65
250/P25/B75	1,38	1,36	1,31	0,55	0,54	0,52	0,54
250/P25/T75	3,59	3,23	3,65	1,44	1,29	1,46	1,40
250/T50/B50	3,17	3,23	3,46	1,27	1,29	1,38	1,31
250/T100	5,23	5,77	6,05	2,09	2,31	2,42	2,27
250/B100	6,16	6,07	6,28	2,46	2,43	2,51	2,47
250/T25/B75	2,81	1,52	1,93	1,12	0,61	0,77	0,83
250/T75/B25	10,66	13,29	4,17	4,26	5,32	1,67	3,75

Tablo 4.4: 300 kg/m³ dozlu numunelerin basınç dayanımları

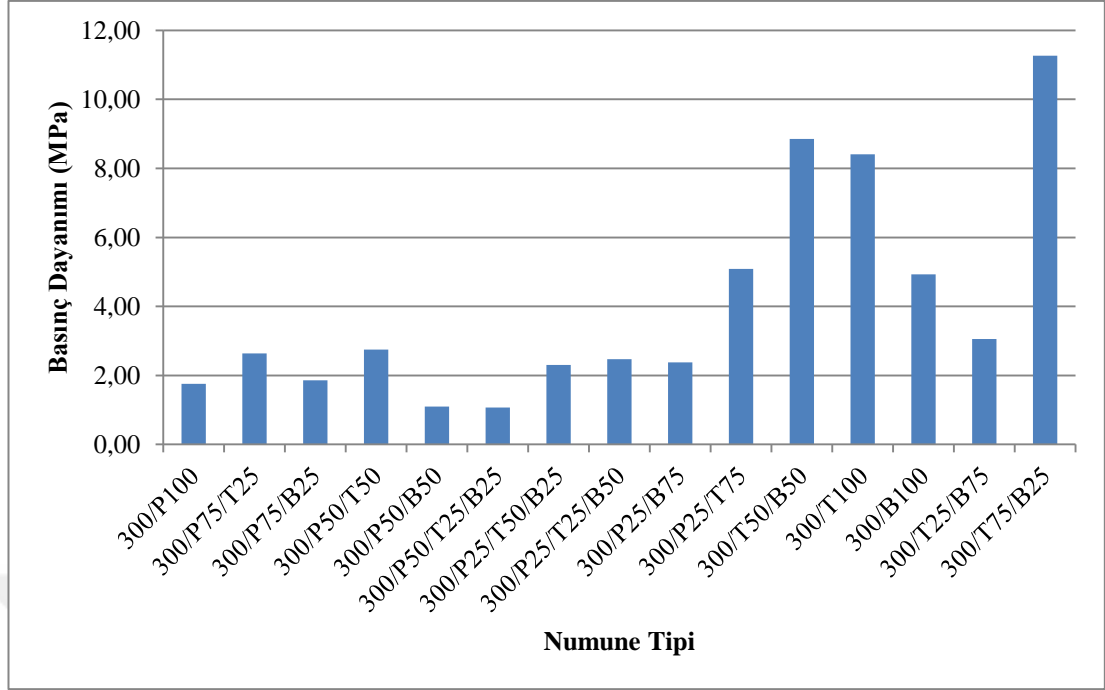
Numune Tipi	Basınç Yüğü (kN)			Basınç dayanımı (MPa)			Ort. basınç dayanımı (MPa)
300/P100	3,89	4,12	5,16	1,56	1,65	2,06	1,76
300/P75/T25	6,85	4,90	7,99	2,74	1,96	3,20	2,63
300/P75/B25	3,88	3,89	6,16	1,55	1,56	2,46	1,86
300/P50/T50	9,31	5,97	5,34	3,72	2,39	2,13	2,75

Tablo 4.4. (Devam) 300 kg/m³ dozlu numunelerin basınç dayanımları

300/P50/B50	2,95	2,75	2,55	1,18	1,1	1,02	1,1
300/P50/T25/B25	3,52	2,35	2,15	1,41	0,94	0,86	1,07
300/P25/T50/B25	6,93	6,03	4,33	2,77	2,41	1,73	2,31
300/P25/T25/B50	7,53	6,63	4,37	3,01	2,65	1,75	2,47
300/P25/B75	4,56	6,03	7,26	1,83	2,41	2,91	2,38
300/P25/T75	10,06	12,59	15,52	4,02	5,03	6,21	5,09
300/T50/B50	19,01	23,97	23,4	7,6	9,59	9,36	8,85
300/T100	18,81	19,02	25,22	7,52	7,61	10,09	8,41
300/B100	9,91	12,01	15,05	3,96	4,8	6,02	4,93
300/T25/B75	8,01	6,97	7,95	3,2	2,79	3,18	3,06
300/T75/B25	25,77	29,71	29,02	10,31	11,88	11,61	11,27



Şekil 4.4. 250 kg/m³ lük dozaja sahip numunelerde basınç dayanımları



Şekil 4.5. 300 kg/m³'lük dozaja sahip numunelerde basınç dayanımları

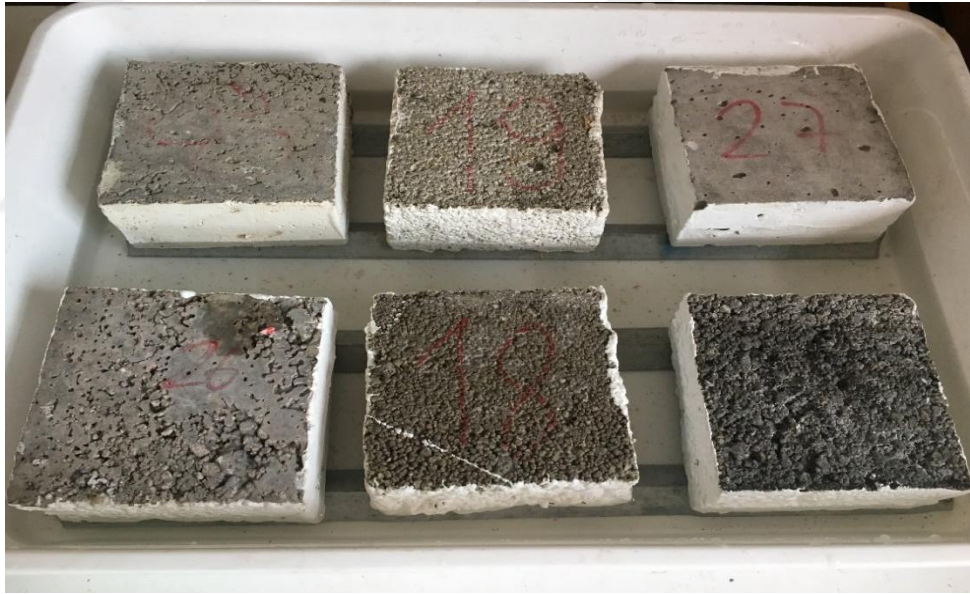
Şekil 4.4 ve 4.5 incelediğinde içinde genişletilmiş perlit olmayan numunelerin basınç dayanımları diğerlerine nazaran daha yüksek çıkmıştır. Genleştirilmiş perlit çok zayıf ve kırılğan yapısı sebebiyle taşıma gücünü zayıflatmıştır. Özellikle %75 taban külü ve %25 bims agregasının beraber daha en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Taban külü mikro boşluklu ve kuvvetli yapısı ve ince gradasyona sahip taneler içermesi nedeniyle puzolanik etki yapmış olabileceğini ve iri yapılı bims içindeki boşlukları doldurmuş olabileceğini düşündürmektedir. Bims agregaları perlite göre çok daha sağlam ve iri yapılı olduğundan dayanıma katkı sağlamış, özellikle taban külünün %50 ve %75 oranlarında olduğu numunelerde dayanım açısından faydalı olmuştur.

4.3. Kılcal Su Emme

Kılcal su emme harcın suya temas eden yüzeyinden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Harcın kılcallığını tespit etmek için numunenin önce ağırlığı tartılır ve suya yüzeyi degecek şekilde yerleştirilir. Belirli zaman aralıklarında numune tartılır ve su emme miktarları belirlenir.

Yapılarda kılcal etki ile emilen sular buharlaştıklarında içindeki tuzları yapı içerisinde bırakırlar. Bu tuzlar sıvayı ve boyayı bozarlar. Ayrıca rutubet oluşturarak sağlık yönünden sakıncalı hale gelmektedir. Bu yüzden harcın zamanla uğrayacağı fiziksel ve kimyasal bozulmalara karşı dayanıklılığı için kılcal su emme kapasitesi önemlidir.

Kılcal su emme kapasitesinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deney TS EN 450-5 ve ASTM C-1585-04 standartlarına uygun olarak yapılmıştır [65,66]. Bu deneyde 3 adet 100x100x50 mm ebatındaki prizmatik numuneler kullanılmıştır. Etüvde 105 ± 5 °C'de 24 saat kurutulmuş olan numunelerin yan yüzeyleri yalıtımlı boya ile boyanmıştır. Numunelerin kuru ağırlıkları tartılmış ve not edilmiştir. Şekil 4.6'da boyanarak, su dolu kaplar içine yerleştirilen ızgara alüminyum profillere oturtulmuş olan numuneler görülmektedir.



Şekil 4.6. Numunelerin su dolu kaptaki alüminyum profillere oturtulması

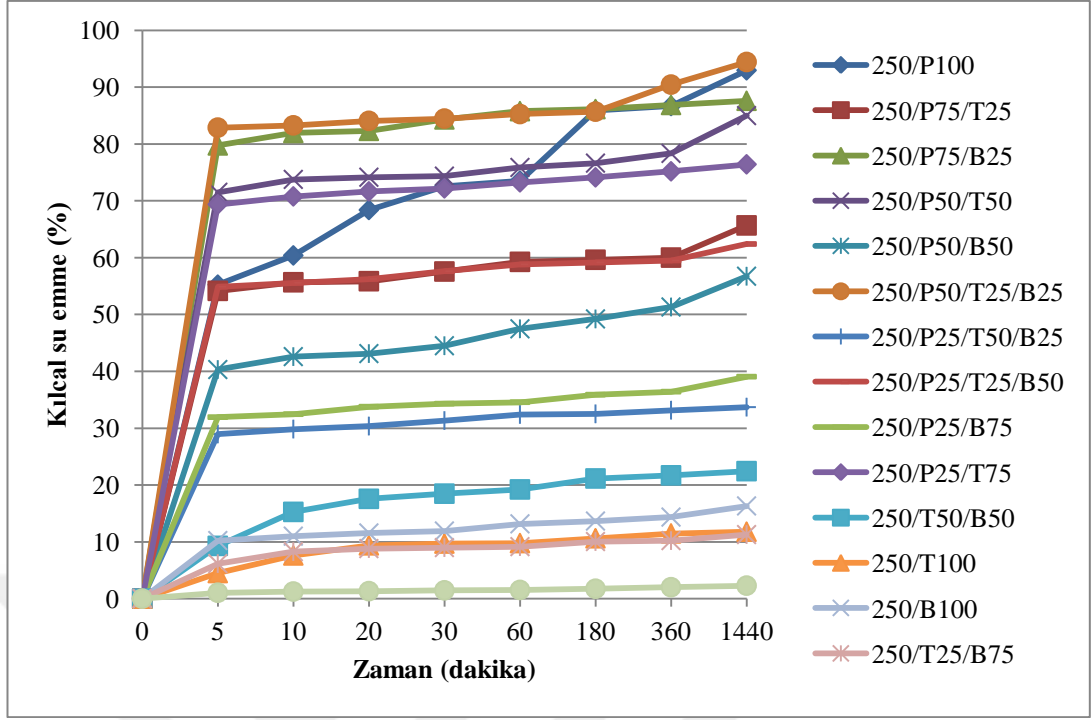
Suya konulan numuneler 5. dakika, 10. dakika, 20. dakika, 30. dakika, 60. dakika, 180. dakika, 360. dakika ve 1440. dakikada sudan çıkartılıp bir bezle yüzeyindeki sular temizlenmiş ve tartılmıştır. Çıkan sonuçlar kuru haldeki ağırlığıyla karşılaştırılıp su emme yüzdeleri hesaplanmıştır. Su emme yüzdeleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de gösterilmiştir. Numunelerin 24 saat sonundaki su emme yüzdelerinin daha iyi görülebilmesi için grafikler oluşturulmuştur. Şekil 4.7’de 250 kg/m³ dozlu, Şekil 4.8’de 300 kg/m³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 4.5. 250 kg/m³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri

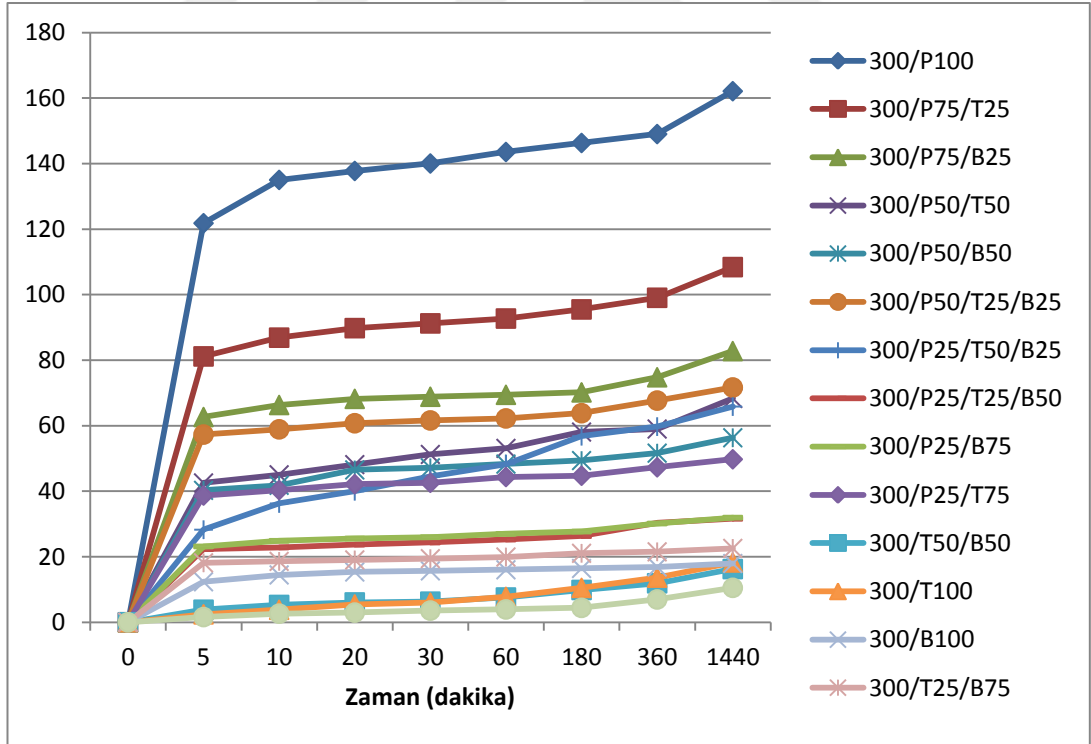
Numune Adı	Ölçüm Zamanı (Dakika)/%								
	0	5	10	20	30	60	180	360	1440
250/P100	0	55,24	60,38	68,38	72,57	73,52	85,9	86,67	92,95
250/P75/T25	0	54,15	55,66	55,85	57,55	59,25	59,62	60	65,66
250/P75/B25	0	79,74	81,93	82,3	84,31	85,77	86,13	86,86	87,59
250/P50/T50	0	71,48	73,76	74,14	74,33	75,86	76,62	78,33	84,98
250/P50/B50	0	40,31	42,58	43,11	44,5	47,47	49,21	51,31	56,72
250/P50/T25/B25	0	82,87	83,27	84,06	84,46	85,26	85,68	90,44	94,42
250/P25/T50/B25	0	28,97	29,83	30,36	31,33	32,4	32,51	33,15	33,69
250/P25/T25/B50	0	54,87	55,56	56,24	57,61	58,8	59,15	59,49	62,39
250/P25/B75	0	31,93	32,45	33,77	34,3	34,56	35,88	36,41	39,05
250/P25/T75	0	69,37	70,77	71,65	72,18	73,24	74,12	75,18	76,41
250/T50/B50	0	9,28	15,26	17,56	18,47	19,21	21,14	21,69	22,43
250/T100	0	4,5	7,6	9,38	9,69	9,77	10,62	11,47	11,78
250/B100	0	10,22	10,99	11,55	11,9	13,16	13,65	14,35	16,31
250/T25/B75	0	6,16	8,27	8,8	8,98	9,15	10,04	10,21	11,27
250/T75/B25	0	1,04	1,25	1,32	1,46	1,53	1,74	2,01	2,29

Tablo 4.6. 300 kg/m³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri

Numune Adı	Ölçüm Zamanı (Dakika)/%								
	0	5	10	20	30	60	180	360	1440
300/P100	0	121,82	135,03	137,77	140,05	143,56	146,31	149,03	162,12
300/P75/T25	0	81,16	86,88	89,79	91,24	92,72	95,51	99,06	108,42
300/P75/B25	0	62,66	66,34	68,21	68,85	69,45	70,18	74,8	82,79
300/P50/T50	0	42,54	45,03	48,13	51,24	53,1	58,07	59	68,32
300/P50/B50	0	40,28	41,81	46,52	47,15	48,29	49,37	51,63	56,33
300/P50/T25/B25	0	57,31	58,9	60,76	61,61	62,23	63,83	67,68	71,68
300/P25/T50/B25	0	28,27	36,27	40	44,53	48,27	56,8	59,73	65,86
300/P25/T25/B50	0	22,33	22,84	23,71	24,35	25,25	26,32	30,36	31,6
300/P25/B75	0	23,15	24,87	25,57	25,97	27	27,69	30,15	31,95
300/P25/T75	0	38,69	40,36	42,16	42,59	44,34	44,73	47,31	49,76
300/T50/B50	0	3,83	5,29	6,05	6,29	7,56	9,86	11,91	16,25
300/T100	0	2,43	3,82	5,44	5,99	7,78	10,51	13,64	18,27
300/B100	0	12,36	14,46	15,35	15,69	16,03	16,43	16,9	17,94
300/T25/B75	0	18,15	18,59	19,04	19,43	19,93	21,05	21,52	22,57
300/T75/B25	0	1,6	2,64	2,96	3,58	3,93	4,41	6,97	10,52



Şekil 4.7. 250 kg/m³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri grafiği



Şekil 4.8. 300 kg/m³ dozlu numunelerin su emme yüzdeleri grafiği

Şekil 4.7 ve 4.8'deki grafikler incelendiğinde genişletilmiş perlit oranı yüksek olan numunelerin kılcal su emme yüzdelерinin diğer numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da genişletilmiş perlitin kendi özelliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca numuneler ilk 5 dakikada su emme oranının çok büyük bir kısmını tamamlamaktadır. Öyle ki, 5 dakikadan sonra geçen zamana göre kılcal su emme çok azaldığından kılcallık katsayısı oldukça azalmaktadır. Kılcallık katsayısı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır;

$$k \times t = \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (4.4)$$

k: Kılcallık katsayısı ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)

t: Zaman (s)

Q: Hacimsel su miktarı (gr)

A: Su emdirilen yüzey alanı (cm^2)

Tablo 4.7. 250 kg/m^3 dozlu numunelerin 5.dk. ve 24.saad için kapilarite katsayıları

Numune Adı	Kapilarite Katsayısı ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$) * 10^{-6}	
	5 dakika	1440 dakika
250/P100	1017	10,00
250/P75/T25	977,4	4,990
250/P75/B25	2119	8,880
250/P50/T50	1703	8,358
250/P50/B50	541,6	3,724
250/P50/T25/B25	2289	10,32
250/P25/T50/B25	279,8	1,314
250/P25/T25/B50	1004	4,505
250/P25/B75	339,8	1,765
250/P25/T75	1604	6,758
250/T50/B50	28,71	0,582
250/T100	6,750	0,161
250/B100	34,82	0,308
250/T25/B75	12,65	0,147
250/T75/B25	0,361	0,006

Tablo 4.8. 300 kg/m³ dozlu numunelerin 5.dk. ve 24.saat için kapilarite katsayıları

Numune Adı	Kapilarite Katsayısı (g/cm ² .s ^{1/2}) *10 ⁻⁶	
	5 dakika	1440 dakika
300/P100	4947	30,42
300/P75/T25	2196	13,61
300/P75/B25	1309	7,933
300/P50/T50	603,2	5,402
300/P50/B50	540,8	3,673
300/P50/T25/B25	1095	5,947
300/P25/T50/B25	266,4	5,020
300/P25/T25/B50	166,2	1,156
300/P25/B75	178,6	1,181
300/P25/T75	499,0	2,866
300/T50/B50	4,890	0,306
300/T100	1,968	0,386
300/B100	50,92	0,373
300/T25/B75	109,8	0,590
300/T75/B25	0,853	0,128

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de 5.dakika ve 24.saat için kapilarite katsayıları verilmiştir. En yüksek kapilarite katsayısının P100 numunesinde olduğu da açıkça görülmektedir. Perlitli numunelerde katsayı gözle görülür şekilde artarken, taban külü ve bims agregası artışı kılcallık katsayısını oldukça azaltabilmektedir.

4.4. Sıcaklığa Dayanıklılık

Bu deneyde numunelerin sıcaklık etkisi altında kaldıktan sonra basınç dayanımındaki ve ağırlığındaki kayıp incelenmiştir. Sıcaklığa dayanıklılık testi için 50x50x50 mm ebatındaki kübik harç numuneleri kullanılmıştır. Her dizayn için toplam 12’şer numune kullanılmıştır. Öncelikle bütün numunelerin ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Daha sonra 12 numune 4 farklı gruba ayrılmıştır. 1. grup numuneler 24 saat sonra 105±5 °C’lik etüvden çıktığı haliyle, 2. grup numuneler etüv sonrası fırında 300°C’de bekletildikten sonra, 3. grup numuneler etüv sonrası fırında 600°C’de bekletildikten sonra, 4. grup numuneler etüv sonrası fırında 900°C’de bekletildikten sonra testleri yapılmıştır. Sıcaklık etkisi için kül fırını kullanılmıştır. Tüm numuneler öncelikle 28 günlük olana kadar su küründe bekletilmiş, sonrasında numuneler 24 saat sonra 105±5 °C’lik etüvde kurutulmuştur. Fırına girecek olan

numuneler belirlenen sıcaklıkta 6 saat bekletildikten sonra fırın kapatılıp, kapağı açılarak oda ısısına kadar soğumaları sağlanmıştır. Deneyler Köksal ve diğ. (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada fırın sıcaklıkları baz alınarak yapılmıştır [68].

Fırında 300 °C,600 °C ve 900 °C’de 6 saat boyunca bekletilen 3’er numunenin ağırlıkları tartılmış, daha sonrada basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Çıkan ağırlık kaybı ve basınç dayanım kaybı ortalaması alınarak etüvden çıktığı haliyle karşılaştırılmıştır. Numunelerin kül fırınına yerleştirilmesi Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Numunelerin fırına yerleştirilmesi

4.4.1. Ağırlık kaybı

Bu deneyde 50 mm x 50 mm x 50 mm ebatındaki küp şeklindeki numunelerin fırından önceki ağırlıkları ile fırında 300 °C,600 °C ve 900 °C’de 6 saat bekletildikten sonraki ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Tablo 4.9’da 250 kg/m³ dozlu numunelerin, Tablo 4.10’da 300 kg/m³ dozlu numunelerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.9. 250 kg/m³ dozlu numunelerin sıcaklıkla ağırlık kaybı yüzdesi

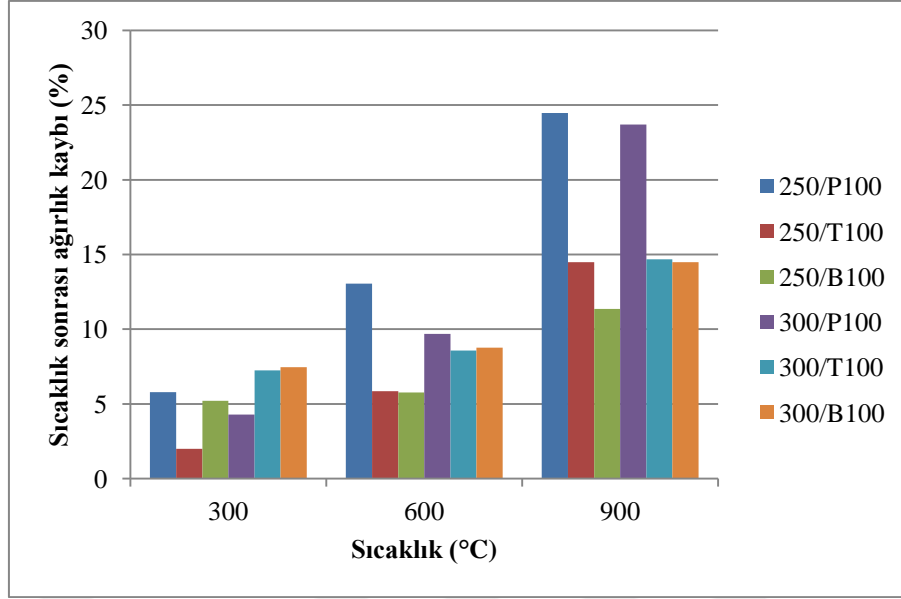
Numune Adı	300 °C Sıcaklık			600 °C Sıcaklık			900 °C Sıcaklık		
	Fırından Önceki Ölçüm (g)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (g)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (g)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %
250/P100	62,20	58,60	5,79	74,33	64,63	13,05	74,28	56,10	24,47
250/P75/T25	62,70	60,67	3,24	52,23	45,97	12,00	56,97	44,37	22,12
250/P75/B25	66,47	63,37	4,66	71,03	61,90	12,86	71,47	56,33	21,18
250/P50/T50	80,53	78,10	3,02	80,13	71,17	11,19	74,17	61,30	17,35
250/P50/B50	74,93	71,87	4,09	68,33	59,73	12,59	69,13	56,60	18,13
250/P50/T25/B25	79,17	76,17	3,79	71,70	65,43	8,74	72,37	56,63	21,74

Tablo 4.9. (Devam) 250 kg/m³ dozlu numunelerin sıcaklıkla ağırlık kaybı yüzdesi

250/P25/T50/B25	89,23	86,6	2,95	104,45	95,45	8,62	92	77,03	16,27
250/P25/T25/B50	103,4	100,27	3,03	94,37	84,47	10,49	110,43	88,03	20,28
250/P25/B75	127,73	121,53	4,85	158,73	142,73	10,08	171,03	138,9	18,79
250/P25/T75	83,93	79,8	4,92	95,97	87,4	8,93	83,5	71,17	14,77
250/T50/B50	124,37	121,07	2,65	127,17	119,27	6,21	140,13	121	13,65
250/T100	178,77	175,2	2	150,2	141,4	5,86	147,6	126,23	14,48
250/B100	107,67	102,07	5,2	100,73	94,93	5,76	108,37	96,07	11,35
250/T25/B75	154,6	150,63	2,57	145,2	135,17	6,91	175,27	141,6	19,21
250/T75/B25	156,6	152,37	2,7	156,5	145,37	7,11	156,07	132,53	15,08

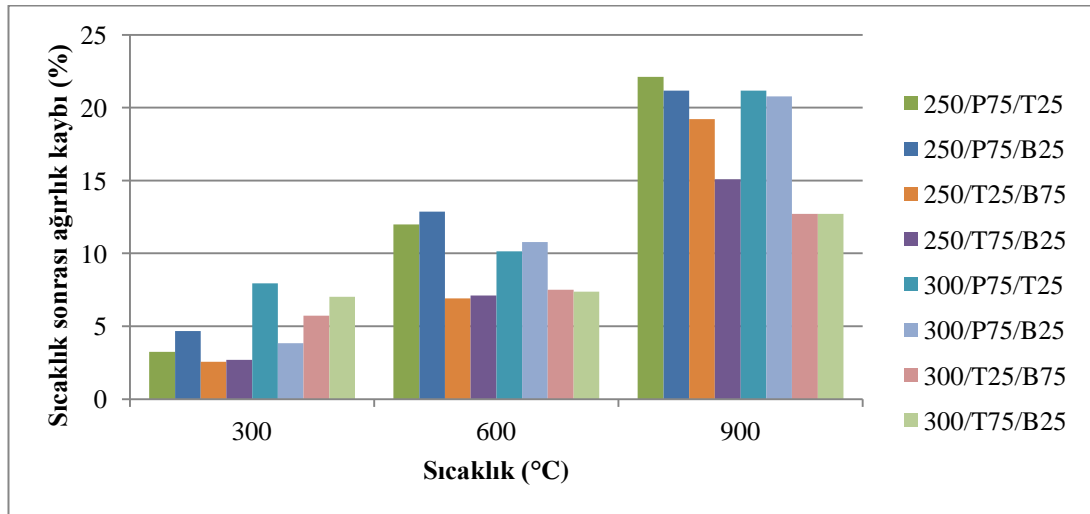
Tablo 4.10. 300 kg/m³ dozlu numunelerin sıcaklıkla ağırlık kaybı yüzdesi

Numune Adı	300 °C Sıcaklık			600 °C Sıcaklık			900 °C Sıcaklık		
	Fırından Önceki Ölçüm (g)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (g)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (g)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Ağırlık Kaybı Miktarı %
300/P100	47,43	45,40	4,29	44,10	39,83	9,68	47,53	36,27	23,70
300/P75/T25	85,53	78,73	7,95	93,90	84,37	10,15	80,60	63,53	21,17
300/P75/B25	60,83	58,50	3,84	59,03	52,67	10,78	58,73	46,53	20,77
300/P50/T50	138,07	127,80	7,44	141,70	128,53	9,29	154,67	122,60	20,73
300/P50/B50	124,37	115,90	6,81	157,20	143,40	8,78	145,63	116,07	20,30
300/P50/T25/B25	89,70	87,23	2,75	100,50	89,13	11,31	99,30	79,23	20,21
300/P25/T50/B25	145,70	142,03	2,52	145,90	129,37	11,33	146,57	119,20	18,67
300/P25/T25/B50	145,67	141,93	2,56	150,03	135,20	9,89	144,77	118,90	17,87
300/P25/B75	183,30	171,93	6,20	190,63	170,87	10,37	187,03	154,10	17,61
300/P25/T75	167,17	155,83	6,78	145,27	131,03	9,80	143,73	121,50	15,47
300/T50/B50	260,40	239,63	7,98	258,40	233,17	9,77	293,83	253,30	13,79
300/T100	236,03	218,93	7,24	221,90	202,87	8,58	243,80	208,03	14,67
300/B100	220,17	203,73	7,46	198,87	181,43	8,77	191,57	163,83	14,48
300/T25/B75	209,60	197,60	5,73	213,20	197,20	7,50	205,73	179,60	12,70
300/T75/B25	281,37	261,60	7,03	203,63	188,63	7,37	208,17	181,70	12,71



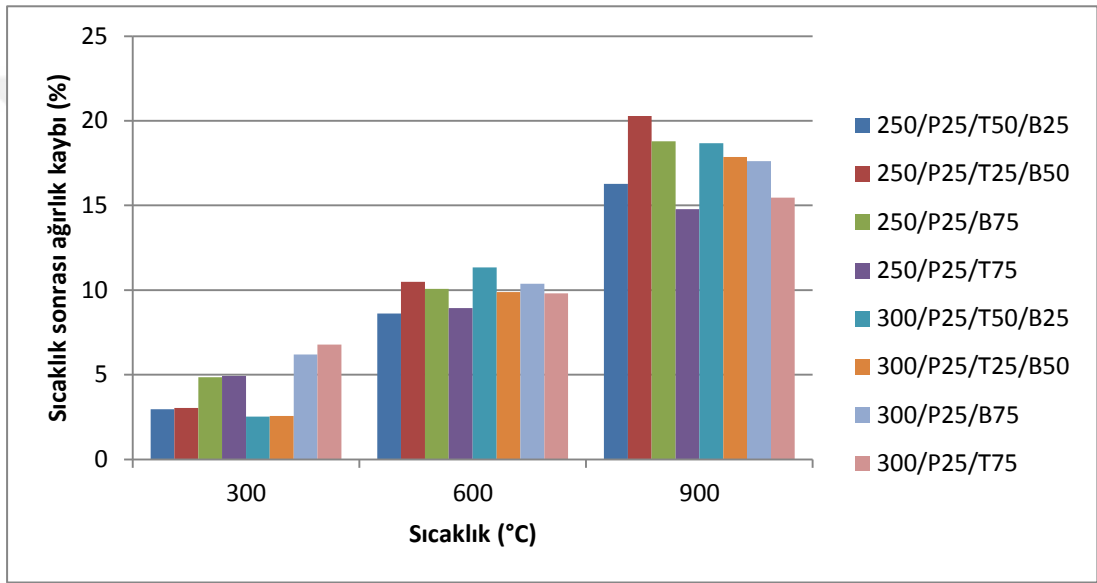
Şekil 4.10. Tek agrega karışımli numunelerin ağırlık kaybı grafiği

Şekil 4.10'da verilen grafikte tüm agrega malzemelerinin içerikte %100 olduğu numunelerin kıyaslaması yapılmıştır. Buna göre genişletilmiş perlit içerikli numuneler sıcaklıkla daha fazla ağırlık kaybetmektedir. Etüvdeki sıcaklık ve süre perlitli tam olarak kurutamamıştır ve yüksek sıcaklıkta daha fazla ağırlık kaybetmiştir. Taban külü ve bims agregaları sıcaklıktan aynı oranda etkilenmişlerdir. Çimento miktarının 250 kg/m³'ten 300 kg/m³'e çıkması daha fazla ağırlık kaybına neden olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda boşluklu yapı avantajdır. Bu nedenle, çimento miktarı artışı boşlukları azaltarak olumsuz etkilemiştir.



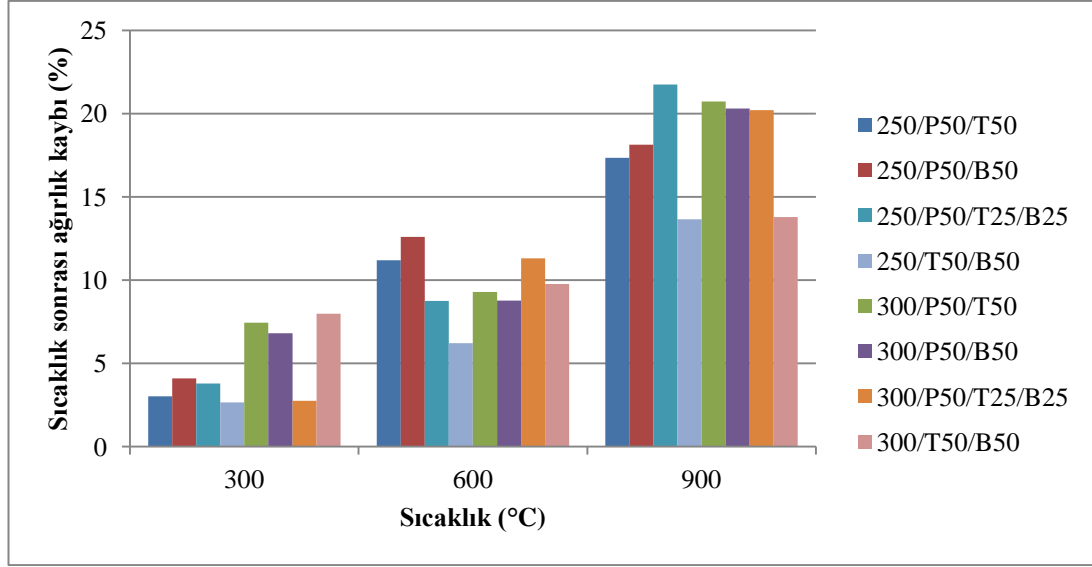
Şekil 4.11. %75 geniş. perlit ve perlitsiz agrega içeren numunelerin ağırlık kaybı grafiği

Şekil 4.11’de geliştirilmiş perlitin %75 ağırlıkla yer aldığı numunelerde 300 °C haricinde %25 taban külü ve bims agregası ilavesinin pek etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 5.10’daki grafikte de taban külü ve bims agregasının hemen hemen aynı etkileri yaptığı görülmüştü. Her iki grafikte de taban külü agregasının bims göre sıcaklık artışından daha olumsuz etkilendiğini göstermektedir. 300 °C’deki değişimlerin bu iki malzemedeki mikro suyun buharlaşmasından olabileceği düşünülmektedir. Perlitsiz numuneler özellikle sıcaklık yükseldikçe daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 4.12. %25 geliştirilmiş perlit içeren numunelerin ağırlık kaybı grafiği

Şekil 4.12’de perlit miktarı azalması ile ağırlık azalmaları daha da azalmıştır. Çimento oranı artışları ağırlık kaybını arttırmış, perlit, taban külü ve bims içeren 3 lü kombinasyonlar 300 °C’de ağırlık kaybını azaltırken, üst sıcaklıklarda boşluk yapısını azaltmış olabileceğinden fazla etkili olamamıştır.



Şekil 4.13. %50 genleş. perlit içeren ve hiç perlit içermeyen numunelerin ağırlık kaybı grafiği

Şekil 4.13'te %50 geliştirilmiş perlit ve taban külü birleşimi, %50 geliştirilmiş perlit ve bims agregası birleşimine göre çimento dozajından oldukça fazla etkilenmiştir. Sıcaklık artışının çimento dozajının 250 kg/m³ olduğu birleşimlerde %50 geliştirilmiş perlit ve bims agregası, çimento dozajının 300 kg/m³ olduğu birleşimlerde %50 geliştirilmiş perlit ve taban külü agregası birleşimi daha çok ağırlık kaybetmiştir. Çimentonun miktarının artışı, bims agregasına göre daha ince yapıllı taban külü birleşimlerinde boşluk yapısını daha da azaltmaktadır. Bu da sıcaklık artışlarında ağırlık kaybını daha fazla etkilemektedir.

4.4.2. Basınç dayanımı kaybı

Bu deneyde 50x50x50 mm ebatındaki küp şeklindeki harç numunelerinin fırın öncesi (etüv sonrası) basınç dayanımları ile fırında 300 °C, 600 °C ve 900 °C'de 6 saat bekletildikten sonraki basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Basınç dayanımları TS EN 12390-3 standardına uygun olarak belirlenmiştir [67]. Şekil 4.14'te numunelerin basınç yüklerinin tespiti için cihaza yerleştirilmesi gösterilmiştir. Tablo 4.11'de 250 kg/m³ dozlu numunelerin, Tablo 4.12'de ise 300 kg/m³ dozlu numunelerin basınç dayanımlarındaki kayıp verilmiştir.



Şekil 4.14. Küp numunelerin basınç yüklerinin belirlenmesi için cihaza yerleştirilmesi

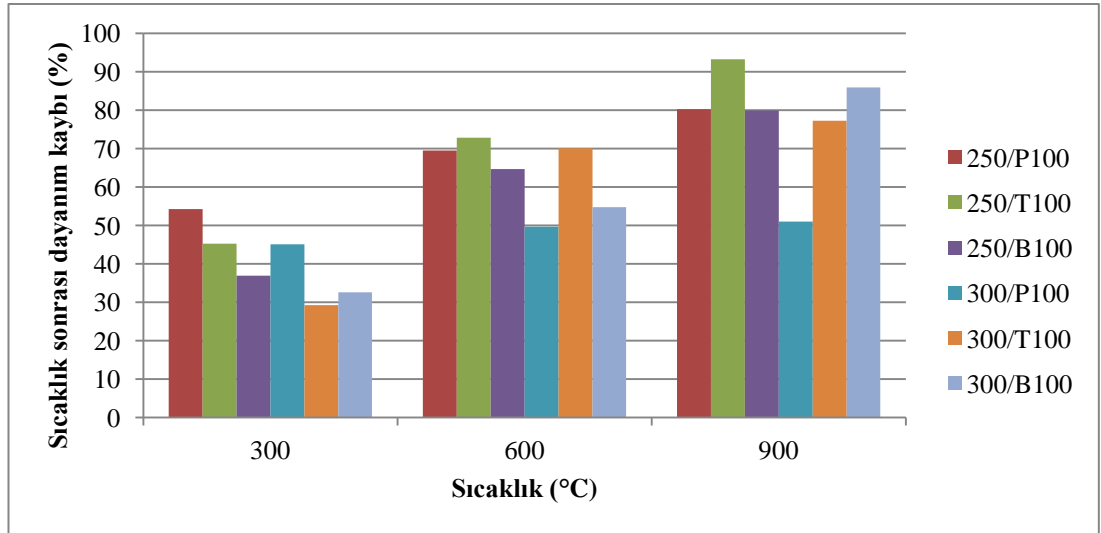
Tablo 4.11. 250 kg/m³ dozlu numunelerin sıcaklıkla basınç dayanım kaybı yüzdesi

Numune Adı	300 °C Sıcaklık			600 °C Sıcaklık			900 °C Sıcaklık		
	Fırından Önceki Ölçüm (MPa)	Fırından Sonraki Ölçüm (MPa)	Basınç Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (MPa)	Fırından Sonraki Ölçüm (MPa)	Basınç Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (MPa)	Fırından Sonraki Ölçüm (MPa)	Basınç Kaybı Miktarı %
250/P100	1,76	0,80	54,27	1,76	0,54	69,48	1,76	0,35	80,24
250/P75/T25	0,57	0,10	82,66	0,57	0,09	85,11	0,57	0,08	86,16
250/P75/B25	0,48	0,21	55,74	0,48	0,12	74,74	0,48	0,09	81,63
250/P50/T50	0,14	0,09	33,81	0,14	0,09	36,69	0,14	0,08	45,32
250/P50/B50	0,14	0,08	47,55	0,14	0,07	48,95	0,14	0,07	49,65
250/P50/T25/B25	0,13	0,10	23,20	0,13	0,08	36,00	0,13	0,08	38,40
250/P25/T50/B25	0,77	0,45	41,50	0,77	0,36	53,44	0,77	0,10	87,68
250/P25/T25/B50	0,33	0,11	66,77	0,33	0,10	69,51	0,33	0,08	74,39
250/P25/B75	0,65	0,10	84,71	0,65	0,10	85,32	0,65	0,08	87,77
250/P25/T75	0,33	0,25	25,00	0,33	0,08	75,00	0,33	0,08	77,11
250/T50/B50	1,62	1,38	14,75	1,62	1,29	20,25	1,62	0,75	53,77
250/T100	8,19	4,48	45,29	8,19	2,23	72,79	8,19	0,56	93,21
250/B100	1,69	1,07	36,91	1,69	0,60	64,63	1,69	0,34	79,86
250/T25/B75	0,84	0,46	44,67	0,84	0,21	75,21	0,84	0,08	90,90
250/T75/B25	6,74	4,75	29,54	6,74	4,38	35,01	6,74	1,18	82,48

Tablo 4.12. 300 kg/m³ dozlu numunelerin sıcaklıkla basınç dayanım kaybı yüzdesi

Numune Adı	300 °C Sıcaklık			600 °C Sıcaklık			900 °C Sıcaklık		
	Fırından Sonraki Ölçüm (MPa)	Basınç Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (MPa)	Fırından Sonraki Ölçüm (MPa)	Basınç Kaybı Miktarı %	Fırından Önceki Ölçüm (MPa)	Fırından Sonraki Ölçüm (MPa)	Fırından Sonraki Ölçüm (g)	Basınç Kaybı Miktarı %
300/P100	0,15	0,08	45,10	0,15	0,08	49,67	0,15	0,08	50,98
300/P75/T25	0,21	0,15	30,05	0,21	0,11	48,83	0,21	0,10	55,40
300/P75/B25	0,10	0,09	15,00	0,10	0,08	25,00	0,10	0,07	31,00
300/P50/T50	0,87	0,56	34,91	0,87	0,36	58,50	0,87	0,31	64,39
300/P50/B50	0,35	0,16	55,40	0,35	0,15	57,10	0,35	0,09	73,86
300/P50/T25/B25	0,32	0,12	61,37	0,32	0,08	76,01	0,32	0,07	79,13
300/P25/T50/B25	0,69	0,27	61,71	0,69	0,24	66,04	0,69	0,15	78,61
300/P25/T25/B50	0,74	0,66	10,39	0,74	0,57	22,67	0,74	0,19	73,95
300/P25/B75	0,72	0,56	21,12	0,72	0,35	50,91	0,72	0,17	76,08
300/P25/T75	1,53	0,95	37,84	1,53	0,54	65,03	1,53	0,17	89,08
300/T50/B50	18,46	17,90	3,03	18,46	11,38	38,35	18,46	4,91	73,39
300/T100	8,41	5,95	29,29	8,41	2,52	70,04	8,41	1,92	77,20
300/B100	1,45	0,98	32,55	1,45	0,66	54,73	1,45	0,20	85,90
300/T25/B75	3,06	1,75	42,82	3,06	1,30	57,47	3,06	0,38	87,57
300/T75/B25	11,27	9,11	19,19	11,27	2,46	78,17	11,27	0,66	94,12

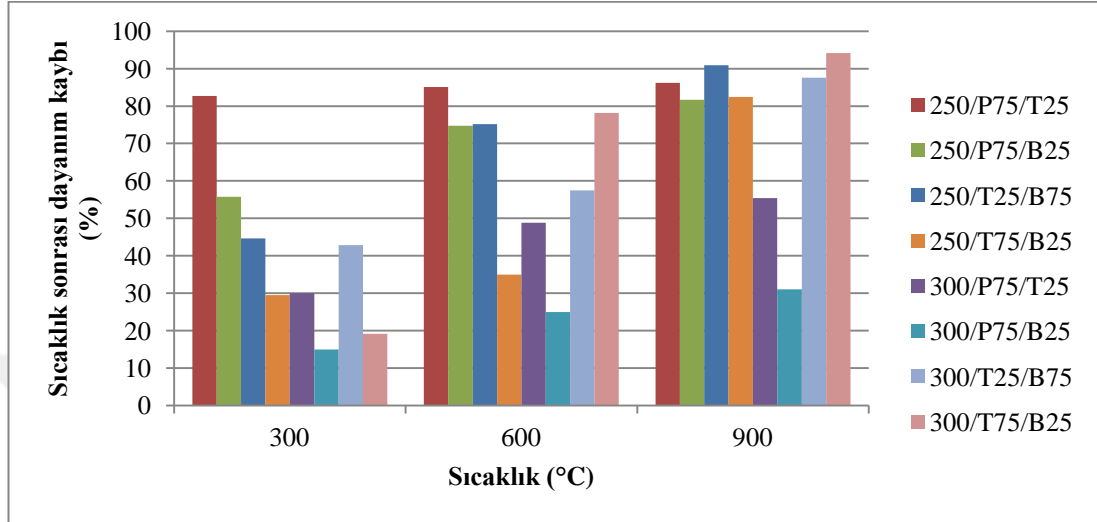
Sonuçlar daha iyi okunabilsin diye numunelerin basınç dayanım kayıpları grafiğe dökülerek verilmiştir.



Şekil 4.15. Tek agrega karışımli numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği

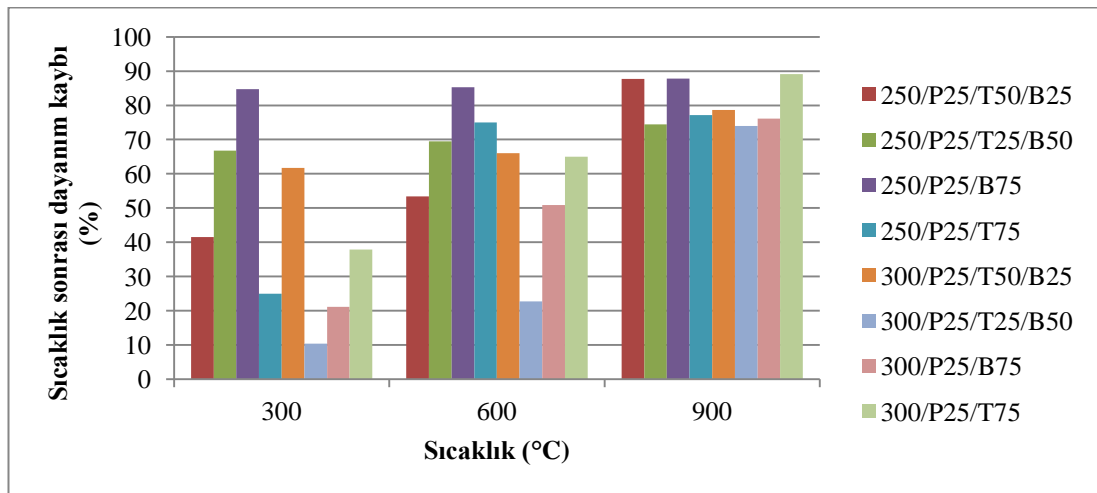
Şekil 4.15'te görüldüğü gibi genişletilmiş perlitli numuneler 300 °C'lik sıcaklıkta daha fazla dayanım kaybederken sıcaklığın 600 ve 900 °C'lere artması ile dayanım

kayıpları ciddi ölçüde azalmıştır. Bunun en önemli sebebi genişletilmiş perlitin çok boşluklu ve sıcaklığa dayanıklı yapısıdır. Taban küllü numuneler genel olarak sıcaklıktan daha iri yapılı ve boşluklu bims agregalarına göre fazla etkilenmiştir.



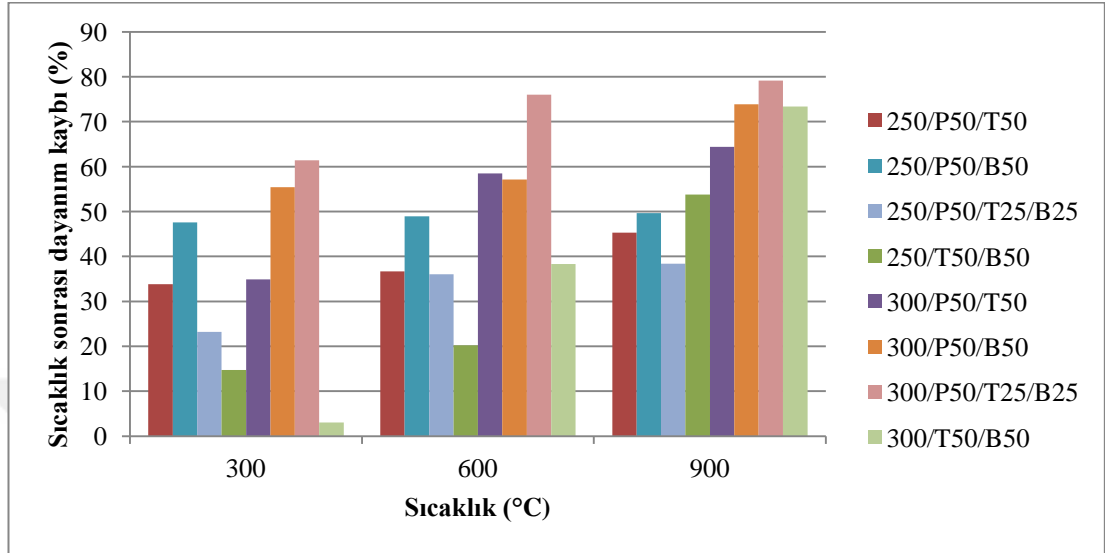
Şekil 4.16. %75 g. perlit içeren ve perlitsiz numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği

Şekil 4.16'da %75 genişletilmiş perlitli numunelerin %25 bims ile yapmış olduğu birleşimler %25 taban külüne göre daha başarılı olmuştur. Dozaj artışı sıcaklıktan etkilenme düzeyini arttırmıştır. Sıcaklık artışından genel olarak en fazla etkilenen numune özellikle perlitsiz T75/B25 olmuştur.



Şekil 4.17. %25 genişletilmiş perlit içeren numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği

Şekil 4.17'ye göre numuneler arasında belirgin bir ayırım yapılamamıştır. Tüm numuneler sıcaklık arttıkça ağırlık kaybına uğramıştır. 300 kg/m³ çimentolu numuneler özellikle 600 °C'ye kadar fazla nispeten düşük dayanım kaybı yaşamıştır.



Şekil 4.18. %50 perlit içeren ve hiç perlit içermeyen numunelerin basınç dayanım kaybı grafiği

Şekil 4.18'de %50 genişletilmiş perlit, %50 taban külü birleşimi %50 perlit, %50 bims birleşimine göre sıcaklıktan daha az etkilenmiştir. Fark sıcaklık arttıkça azalmıştır. İçeriğinde genişletilmiş perlit olmayan numuneler olan T50B50 numuneleri dayanım azalması yönünden en başarılı numuneler olmuştur.

4.5. Isı Yalıtımı

Isı yalıtımı, sıcak ya da soğuk havanın bina içine giriş çıkışını engellemek için yapılan çalışmalardır. Isınma için ayrılan bütçeler artan enerji faturaları ile birlikte sürekli artmaktadır. Günümüzde tüketilen toplam enerjinin 3'te 1'inin geldiğini görebiliriz.

Isı yalıtımı, ısıtma ve soğutma giderlerinde yaklaşık %40-60 arası tasarruf sağlamaktadır ve maliyetini de yaklaşık 3 sene içerisinde amorti edebilmektedir. Ayrıca küf ve nemden koruyarak da sağlıklı bir yaşam sunmaktadır. Kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların tüketimini azalttığından doğaya da katkı sağlamaktadır.

Isı yalıtım deneyleri Kocaeli Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan bilgisayarlı okuma yapabilen Hotplate yöntemine göre çalışan cihaz ile yapılmıştır.

Hotplate yöntemine göre çalışan cihaz Şekil 4.19’de gösterilmiştir. Bu cihaza yerleştirilen plaka numunelerin λ değerleri bilgisayar üzerinden okunabilmektedir. Şekil 4.20’de okuma ekranı gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Sıcak plaka ısı iletkenlik cihazının görüntüsü



Şekil 4.20. Plaka numunelerin bilgisayardan okuma ekranı

λ değerlerinin bulunabilmesi için kullanılan denklemler;

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A \cdot T_f} \quad (4.5)$$

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (4.6)$$

λ = ısı iletkenlik katsayısını (W/m.K)

Q = uygulanan güç (W)

d= Numune kalınlığı (m)

A= yüzey alanı (m²)

R= Isıl direnç (m²K/W)

T_f= Sıcaklık farkı (K)

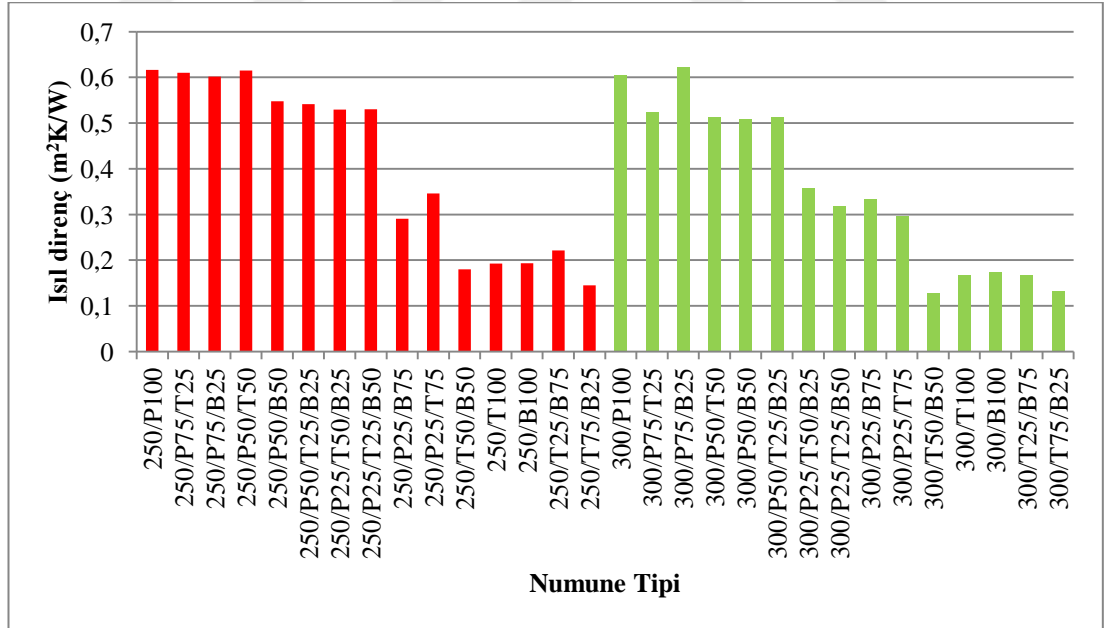
Tablo 4.13'te 250 kg/m³, Tablo 4.14'de 300 kg/m³ dozlu numunelerin ısı geçirgenlik katsayıları(λ) ve ısı dirençleri gösterilmiştir.

Tablo 4.13. 250 kg/m³ dozlu numunelerin ısı iletkenlik değerleri.

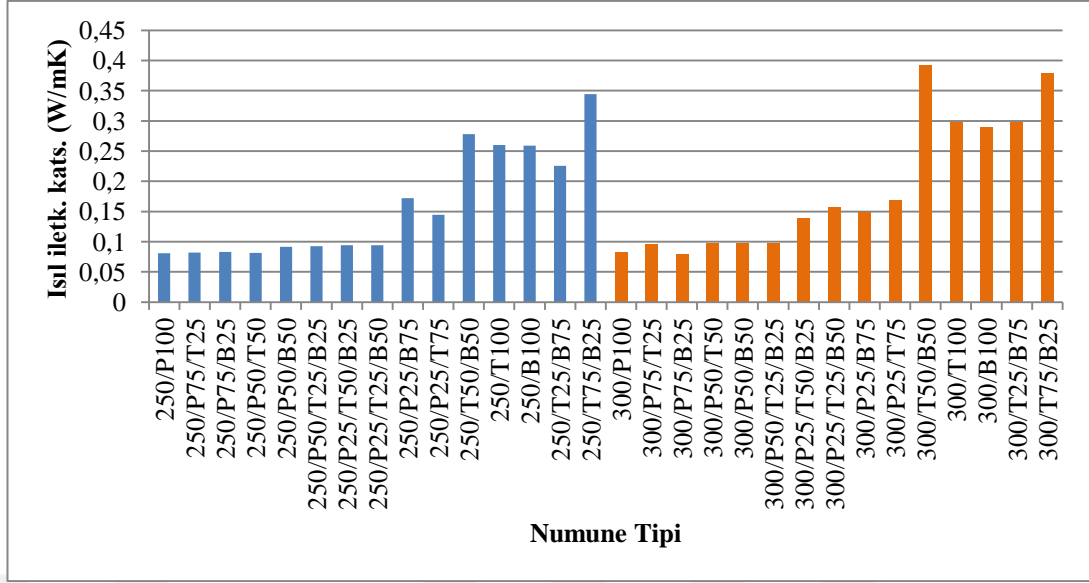
Numune Tipi	Isıl iletk. kats. (W/mK)	Isıl direnç (m ² K/W)
250/P100	0,081	0,617
250/P75/T25	0,082	0,610
250/P75/B25	0,083	0,602
250/P50/T50	0,081	0,615
250/P50/B50	0,091	0,548
250/P50/T25/B25	0,092	0,541
250/P25/T50/B25	0,094	0,529
250/P25/T25/B50	0,094	0,530
250/P25/B75	0,172	0,291
250/P25/T75	0,145	0,346
250/T50/B50	0,278	0,180
250/T100	0,260	0,192
250/B100	0,259	0,193
250/T25/B75	0,226	0,222
250/T75/B25	0,345	0,145

Tablo 4.14. 300 kg/m³ dozlu numunelerin ısı iletkenlik değerleri.

Numune Tipi	Isıl iletk. kats. (W/mK)	Isıl direnç (m ² K/W)
300/P100	0,083	0,604
300/P75/T25	0,096	0,524
300/P75/B25	0,080	0,622
300/P50/T50	0,098	0,512
300/P50/B50	0,099	0,508
300/P50/T25/B25	0,098	0,511
300/P25/T50/B25	0,14	0,357
300/P25/T25/B50	0,158	0,316
300/P25/B75	0,15	0,333
300/P25/T75	0,169	0,296
300/T50/B50	0,393	0,127
300/T100	0,299	0,167
300/B100	0,29	0,172
300/T25/B75	0,299	0,167
300/T75/B25	0,38	0,132



Şekil 4.21. Numunelerin ısı iletkenlik grafiği



Şekil 4.22. Numunelerin ısı iletkenlik katsayıları

Şekil 4.22 incelendiğinde perlit mikro boşlukları oldukça yükseltmekte ve malzemenin ağırlığını hafifletmektedir. Bu sayede genişletilmiş perlitli numunelerin diğer numunelere göre ısı iletkenlik katsayılarının daha düşük çıktığı görülmektedir. Perlitsiz numunelere bakıldığında ise, taban külü ve bims içeriği yüksek olan numunelerin taban külü içeriği yüksek olan numunelere göre ısı iletkenlik katsayılarının daha düşük olduğu görülmektedir. Taban külü ve bims içeriği %50'nin altında kaldığı zaman ısı iletkenlik yönünden başarı sağlanmıştır.

4.6. Maliyet Analizi

Yapılan çalışmada sonuçların iyi çıkması tek başına yeterli olmamaktadır. Uygulanabilirliği açısından maliyetinin uygun olması gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada hem türk lirası hem de euro bazlı maliyet hesabı da yapılmıştır.

Çalışmada perlit 800 TL/ton, bims 55 TL/ton, çimento 190 TL/ton, taban külü 5 TL/ton ve su 5,6 TL/ton olarak hesaba katılmıştır. Tablo 4.15'te 250 kg/m³ dozlu, Tablo 4.16'da 300 kg/m³ dozlu dizayn örneklerinin Euro ve TL bazlı maliyetleri verilmiştir.

Tablo 4.15. 250 kg/m³ dozlu dizayn örneklerinin Euro ve TL bazlı maliyetleri

Numune No	Maliyet(TL/m ³)	Maliyet(Euro/m ³)
250/P100	213,54	40,56
250/P75/T25	173,06	32,87
250/P75/B25	180,10	34,21
250/P50/T50	132,59	25,18
250/P50/B50	146,69	27,86
250/P50/T25/B25	139,63	26,52
250/P25/T50/B25	99,16	18,83
250/P25/T25/B50	106,20	20,17
250/P25/B75	113,23	21,51
250/P25/T75	92,12	17,50
250/T50/B50	65,72	12,48
250/T100	51,65	9,81
250/B100	79,80	15,16
250/T25/B75	72,76	13,82
250/T75/B25	58,69	11,15

Tablo 4.16. 300 kg/m³ dozlu dizayn örneklerinin Euro ve TL bazlı maliyetleri

Numune No	Maliyet(TL/M3)	Maliyet(Euro/m ³)
300/P100	217,04	41,22
300/P75/T25	178,06	33,82
300/P75/B25	184,84	35,11
300/P50/T50	139,07	26,41
300/P50/B50	152,63	28,99
300/P50/T25/B25	145,85	27,70
300/P25/T50/B25	106,86	20,30
300/P25/T25/B50	113,64	21,58
300/P25/B75	120,42	22,87
300/P25/T75	100,08	19,01
300/T50/B50	74,65	14,18
300/T100	61,09	11,60
300/B100	88,22	16,75
300/T25/B75	67,87	12,89
300/T75/B25	81,43	15,47

Genleřtirilmiř perlitin birim fiyatının diđerlerine nazaran yksek olması perlitli numunelerin maliyetini artırmaktadır. Piyasadaki duvar malzemelerinin fiyatları incelendiđinde bu çalıřmadaki numunelerin fiyatları daha dűřuk çıkmaktadır. Taban kűlűnűn maliyetinin olmaması bunda bűyűk etkendir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneylelerden elde edilen verilere göre varılabilecek sonuçlar aşığıdaki gibi özetlenebilir;

Kompozit harçlardaki taban külü ve bims agregası artışı su emme, kılcal su emme, basınç dayanımı yönünden numuneleri olumlu etkilerken, kuru birim ağırlık ve ısı iletkenlik yönünden olumsuz etkilemektedir. Genleştirilmiş perlit artışı ise taban külü ve bims agregasının tersine bir etki yapmaktadır.

Bims ve taban külü agregasının %50'ye kadar arttırılması kuru birim ağırlık ve ısı iletkenlik yönünden bir olumsuzluk oluşturmamaktadır. %50'nin üstüne çıktığı taktirde kuru birim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayılarını ciddi ölçüde olumsuz etkileyebilmektedir. Taban külü çok ince yapılı olup, fazlaca boşluk doldurmuştur. Bunun yanında perlit bims agregasına göre çok daha boşluklu ve hafiftir.

Basınç dayanımları genel olarak çok düşük olmakla birlikte taban külü kullanılmış numunelerin dayanımlarının iyi çıktığı görülmüştür. Hatta bu tür numunelerin dayanımları bir duvar bloğu üretebilmek için oldukça yeterlidir. Dozajın 250 kg/m³'ten 300 kg/m³'e çıkması dayanımları oldukça olumlu etkilemiştir.

Sıcaklık durumunda genleştirilmiş perlitli numunelerin bims ve taban külü agregalı numunelere göre çok daha fazla ağırlık kaybettiği, ancak dayanım kaybı yönünden daha az dayanım kaybettiği tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlitin özellikle 300 C'den sonraki performansları çok daha iyi olmuştur.

Numunelerin tümünün emdiği suyun büyük kısmını, özellikle genleştirilmiş perlitli numunelerde ilk 5 dakikada kılcallık yolu ile almış olduğu kılcallık deneyinden tespit edilmiştir. Genleştirilmiş perlitli numuneler daha fazla kılcal su emmiştir.

Numunelerin tümü ısı izolasyonu açısından basınç dayanımı gözetilmeyen sıva ve yalıtım şapı gibi yerlerde rahatlıkla kullanılabilir. Hatta dayanımı 2 MPa civarı ve üzerinde olanlar duvar bloğu olarak değerlendirilebilir.

Bulunan değerler yönünden üretilen kompozitler hafif ve yalıtımlı kompozit üretimi açısından ümit vadetmektedir. Ayrıca kompozite farklı tipte katkı, çimento tipi veya agrega değişimi yapılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Mehta P K., *Concrete, Structure, Properties and Materials*, Incorporated Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1986.
- [2] Buluş G., Değişik Bağlayıcı Maddeler İle İyileştirilmiş Kömür Külünün Mühendislik Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998, 76731.
- [3] Topçu İ.B. ve Kara İ., Azot Fabrikası Cürufu Ve Termik Santral Küllerinden Hafif Duvar Bloğu Üretilmesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009, **22**(2).
- [4] Yıldırım A.N., Pomza ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamlarında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 199827.
- [5] Gündüz L, Şapçı, N. ve Bekar, M., “Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar İle Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz”, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2-4 Aralık 2006.
- [6] Demirboğa, R. ve Gül, R., The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume and Fly Ash on The Thermal Conductivity of Lightweight Concrete, *Cement and Concrete Research*, 2001, **33**(2003), 723-727.
- [7] Sancak, E. ve Şimşek, O., Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2006, **21**(3), 443-450.
- [8] Khandaker, M., Hossain, A., Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete, *Cement and Concrete Research*, 2002, **34**(2), 283-291.
- [9] Lanzo N, M., Garcı A-Ruiz, P., A., Lightweight Cement Mortars: Advantages And Inconveniences Of Expanded Perlite And Its Influence On Fresh And Hardened State And Durability, *Construction And Building Materials*, 2007, **22**(8), 1798–1806.
- [10] Çelik, A. G., Kılıç A. M., Akkurt F., Investigation of Availability of Expanded Perlite in The Production of Construction Material, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2014, **29**(3), 451-458.
- [11] Torkittikul P., Thanongsak N., Watcharapong W., Arnon C., Utilization of Coal Bottom Ash to Improve Thermal Insulation of Construction Material, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2017, **19**(1), 1-13.

- [12] Vikas R.N., Sanjith, J., Ranjith A., Kiran B.M., Bottom Ash as Partial Sand Replacement in Concrete- A Review, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2015, **12**(5), 148-151.
- [13] Kılıç, A., Atiş, C.D., High Strength Lightweight Concrete Made with Scoria Aggregate Containing Mineral Admixture, *Cement and Concrete Research*, 2003, **33**(10), 1595-1599.
- [14] Sari, D., Paşamehmetoğlu, A.G., The Effects of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete, *Cement And Concrete Research*, 2005, **35**(5), 936-942.
- [15] Ölmez, Ö., Tehlikeli Atık Yakma Tesisi Taban Küllerinin Beton Hammaddesi Olarak Kullanılması İle Bertaraf Edilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 284673.
- [16] Yüksel İ., Özkan Ö. ve Bilir T., Kazanaltı Külü ile Briket Üretimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2006, **21**(3), 527-532.
- [17] <https://www.arthaminerals.com/fly-ash.html> (Ziyaret tarihi: 11.01.2017)
- [18] Çobanlı, M.R., Isı Direnci Yüksek Hafif Yapı Malzemesi Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1993, 33648.
- [19] Gürel Afife Çağlar, Enstüriyel Atık Mazemelerin Karayollarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 222703.
- [20] Hewlett P.C., Chemistry Of Cement And Concrete, *Butterworth-Heinemann*, 2004, 4rd ed, England.
- [21] ACI Committee 226, Use of Fly Ash in Concrete, *ACI Materials Journal*, 1987, **84**(5), 381-409.
- [22] <http://www.enerjiatlası.com/komur/> (Ziyaret tarihi: 12.01.2017)
- [23] Aruntaş H.Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2006, **21**(1), 12-14.
- [24] Toprak M.U., Termik Santral Taban Küllerinden Alkali Aktivasyon ile Geopolimer Üretilmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2011, 285352.
- [25] Buluş G., Değişik Bağlayıcı Maddeler Kullanarak İyileştirilmiş Taban Küllerinin Mühendislik Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 14-20 Nisan 2003.
- [26] www.arescimento.com.tr/geridonusum.html (Ziyaret tarihi: 14.01.2017)

- [27] Dilek Gül, Characterization and Expansion Behaviour of Perlite, İzmir Institute of Technology, Department of Materials Science and Engineering, 2016, 447139.
- [28] www.iduc.bg/en/abast-perlite (Ziyaret tarihi: 14.01.2017)
- [29] <https://makromaden.com/index.php/product-showcase/maden-grubu/> (Ziyaret tarihi: 14.01.2017)
- [30] https://www.aegean-perlites.com/ns_products/perlite-ore/ (Ziyaret tarihi: 15.01.2017)
- [31] <https://www.genper.com.tr/> (Ziyaret tarihi: 15.01.2017)
- [32] Mimar Y. Emre Çiçek, Pişmiş Toprak Tuğla, Bimsbeton, Gazbeton ve Perlitli Yapı Malzemelerinin Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002, 127045.
- [33] Büyükçulha, I., Perlit Katkısının Pişmiş Toprak Malzemenin Mekanik ve Fiziksel Davranışlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1987.
- [34] Oktay Orhun, Perlit, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 1969, **8**(4), 213-222.
- [35] www.dogusanas.com.tr/perlit.pdf (Ziyaret tarihi: 16.01.2017)
- [36] Çağla Meral, Use of Perlite as a Pozzolanic Addition in Blended Cement Production, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2004, 153229.
- [37] www.perlite.net (Ziyaret tarihi: 16.01.2017)
- [38] Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, Dünya’da ve Türkiye’de Perlit, Ankara, 1990.
- [39] <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zet%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/140/oik628.pdf>. (Ziyaret tarihi: 16.01.2017)
- [40] www.perlite.info/hbk/0031401.htm (Ziyaret tarihi: 16.01.2017)
- [41] www.perlite.org (Ziyaret tarihi: 16.01.2017)
- [42] <http://www.empr.gov.bc.ca/Mining/Geoscience/PublicationsCatalogue/OpenFiles/1994/Documents/OF1994-21.pdf> (Ziyaret tarihi: 18.01.2017).
- [43] John H. Eigler, The Use Of Perlite as an Absorbent, The Faculty of The Department of Chemical Engineering Newark College of Engineering, Newark, New Jersey, 1957, 1252-1-184.
- [44] GÜNGÖR İ. H., *Kagir Yapı*, Çeltüt Matbaacılık, İstanbul, 1968.

- [45] Toydemir N., *Toprak Taşıyıcı Döşeme Bloklarının Rasyolizasyonu Üzerine Bir Deneme*, Doktora Tezi, İtü Matbaası, İstanbul, 1968.
- [46] Gündüz L., *Pomza Teknolojisi*, Pomza Karakterizasyonu, Cilt 1, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Isparta, 1998.
- [47] Gökhan Ç., İnşaat Malzemesi Olarak Perlit, *1. Ulusal Perlit Kongresi*, Ankara, 1977.
- [48] Türk Ytong Sanayi A.Ş., *Ytong Blok Uygulamaları Broşürü*, 2000.
- [49] Yalgın S., *İnşaat Sektöründe Genleşmiş Perlit Kullanımı*, Etibank Matbaası, Yayın No:16, Ankara, 1983.
- [50] Akman M.S. ve Taşdemir M.A., Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu, *1. Ulusal Perlit Kongresi*, Ankara, 20-22 Aralık 1977.
- [51] www.perlitrezervleri.nerededir.com (Ziyaret tarihi: 21.01.2017)
- [52] www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/perlit_pomza.jpg (Ziyaret tarihi: 21.01.2017)
- [53] İlker Bekir Topçu, Isı Geçirgenlik Direnci Yüksek Perlitli Tuğla Üretimi, Osmangazi Üniversitesi, *Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 1999, **12**(2).
- [54] TS 3234, Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1978.
- [55] <https://www.lafsozluk.com/2016/12/ponza-nedir-pomza-tasi.html> (Ziyaret tarihi: 21.01.2017)
- [56] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza> (Ziyaret tarihi: 21.01.2017)
- [57] <http://tarimperliti.com/tarim-pomzasi-pomza-tasi-ponza-madeni-lav-tasi-curuf-kirmizi-pomza.php> (Ziyaret tarihi: 22.01.2017)
- [58] <http://www.blokbimsmadencilik.com/bims.html> (Ziyaret tarihi: 22.01.2017)
- [59] Karagüler M.E., Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1988, 14060.
- [60] Gündüz L., *Pomza Teknolojisi*, Pomza Karakterizasyonu, Cilt 2, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Isparta, 1998.
- [61] www.yoltaş.net (Ziyaret tarihi: 24.01.2017)
- [62] www.madenciyim.com (Ziyaret tarihi: 24.01.2017)
- [63] ASTM C 67-08, Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, *ASTM International*, 2012.

- [64] ASTM C109/C109M-05, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50 mm] cube specimens), *ASTM International*, 2005.
- [65] ASTM C1585 – 04, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, *ASTM International*, 2010.
- [66] TS EN 450-5, Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Tarifler, Özellikler Ve Kalite Kontrol, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2013.
- [67] TS EN 12390-3, Sertleşmiş Beton Deneyleri, Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, 2003.
- [68] Koksall, F., Gencil, O., & Kaya, M., Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures, *Construction and Building Materials*, 2015, **88**(3), 175-187.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Yıldırım S. T., **Baba E.**, Bims Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Hafif Kompozit Harçların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Erman Baba, 1991 yılında Bolu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bolu'da tamamladı. Lise öğrenimini İzzet Baysal Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü bir yıl da İngilizce hazırlık eğitimi alarak 2015 yılında tamamladı. 2015 güz döneminde Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı ve tezini 2018 yılı Haziran ayında tamamladı.

