

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

YALITIMLI HAFİF BETON KİREMİT ÜRETİMİ

Tamer EFE

Danışman: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2011**

TEZ ONAYI

Tamer EFE tarafından hazırlanan “**Yalıtımlı Hafif Beton Kiremit Üretimi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ (İmza)
(Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı)

Jüri Üyeleri :
Prof. Dr. Saim SARAÇ (İmza)
(Süleyman Demirel Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı)

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU (İmza)
(Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı)

Doç. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Beton Kiremit	5
2.1.1. Beton kiremitler ile toprak kiremitlerin karşılaştırılması	6
2.1.2. Beton kiremit üretiminde kullanılan ana materyaller	9
2.2. Hafif Beton Kiremitler.....	11
2.2.1. Hafif beton	12
2.2.2. Hafif beton kiremitlerin beton kiremitlere göre avantaj ve dezavantajları.....	14
2.2.3. Hafif beton kiremit üretiminde kullanılan doğal hammaddeler	15
2.3. Kiremit Üretiminde Kullanılan Standartlar	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal.....	20
3.1.1. Nevşehir pomzası.....	20
3.1.2. İgnimbirit	22
3.1.3. Genleştirilmiş perlit	24
3.1.4. Portland çimentosu	25
3.1.5. Uçucu kül.....	27
3.1.6. Su	28
3.2. Yöntem	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4.1. Hafif Beton Kiremit Üretimi İçin Kontrol Numunelerinin Oluşturulması.....	31
4.2. Kontrol Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar	32
4.2.1. Birim hacim ağırlık (BHA) analizi.....	32

4.2.2. Basınç dayanımı analizi.....	35
4.3. Hafif Beton Kiremit Üretimi İçin Polimerik Harç Analizi.....	40
4.4. Hafif Beton Kiremit Eğilme Dayanımı Kestirimi	51
4.4.1. Eğilme dayanımı analizi	51
4.5. Gerçek Boyutta Hafif Beton Kiremit Üretimi Analizi	60
4.5.1. BHA analizi	61
4.5.2. Eğilme dayanımı analizi	64
4.5.3. Hafif beton kiremit numuneleri için su emme analizi	67
4.5.4. Isıl iletkenlik katsayısı analizi	69
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR	73
EK-1	76
ÖZGEÇMİŞ	777

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YALITIMLI HAFİF BETON KİREMIT ÜRETİMİ

Tamer EFE

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

Bu tez çalışmasında ignimbirit, pomza ve perlit gibi gözenekli, hafif, inorganik doğal endüstriyel hammaddelerin beton kiremit agregası olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir. Başlangıç çalışmasında, hafif agregalar ile çimento bazlı reçete kombinasyonları hazırlanmış, laboratuvar ortamında 5*5*5 cm'lik küp kontrol numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin birim ağırlıkları ve 28 günlük basınç dayanımları tespit edilmiş, sınır değerler baz alınarak hafif beton kiremit üretimi için uygun olabilecek reçeteler geliştirilmiştir.

İkinci aşamada uçucu kül ve genleştirilmiş perlit katkılı polimerik küp numuneler üretilmiştir. Numuneler üzerinde birim hacim ağırlık ve 28 günlük basınç dayanımı analizleri yapılarak agrega türlerinin, çimento oranlarının ve mineral katkıların numuneler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında en iyi sonuçları gösteren 12 reçete üzerinde üçüncü aşama olarak 10*20*2 cm'lik plaka şeklinde numuneler üretilerek eğilme dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Numunelerin eğilme dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki ilişki regresyonel bir eşitlik yardımıyla bulunarak ikinci aşama çalışmalarına ait eğilme dayanımı değerleri kestirilmiştir.

Son aşamada tüm deneysel süreçte en optimum sonuçları veren 5 reçete üzerinde iki farklı geometrik formda birebir hafif beton kiremit numuneleri oluşturularak teknik özellikleri incelenmiştir. Bulunan sonuçlar mevcut ürün türevleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pomza, hafif beton kiremit, yalıtım, ignimbirit, eğilme dayanımı.

2011, 77 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT INSULATING CONCRETE ROOF TILE

Tamer EFE

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Mining Engineering Department**

Supervisor: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

In this thesis, availability of lightweight, porous, natural and inorganic industrial raw materials like ignimbrite, pumice and perlite were examined as a concrete roof tile aggregate. In initial study, combinations of cement-based mixture were prepared with lightweight aggregates and 5 *5 *5 cm cube control samples were cast in the laboratory. Compressive strength at 28-days and unit weights of the samples were experimentally determined. Also mixture proportions that are suitable for the production of lightweight concrete roof tile were developed according to limit values.

In the second stage, polymeric cube concrete samples mixed with fly ash and expanded perlite were produced. Effects of aggregate type, cement ratio and mineral additives on the samples were investigated to determine compressive strength at 28-days and the unit weight of samples. In third phase, according to the research findings, over 12 mixes showing best results in the form of 10*20*2 cm plate samples were produced and bending strength values were also determined. The relationship between the bending strength and the compressive strength of samples were estimated with the relation of a regression equation. The samples of the bending strength values of the second stage were also estimated.

At the final stage, lightweight concrete roof tiles in two different geometrical forms were cast based on the best five mixture proportions. And their technical specifications were examined. The results were compared with the existing product variants.

Key Words: Pumice, lightweight concrete roof tile, insulation, ignimbrite, bending strength.

2011, 77 pages

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamda beni yönlendiren, bilgi ve deneyimleri ile karşılaştığım problemlere çözüm üretmemi sağlayan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ'e teşekkürü bir borç bilirim. Literatür araştırmamda, hammadde hazırlamamda ve deneysel süreçlerde yardımlarını esirgemeyen Uzm. Nükhet ŞAPÇI, Uzm. Ebru BAŞPINAR, Maden Müh. Mehmet KARCI ve Arş. Gör. Dr. Yakup UMUCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Hammadde temin etmemde yardımcı olan Maden Müh. Mehmet ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan arkadaşlarıma sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Tamer EFE

ISPARTA, 2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Beton çatı kiremitleri ve parçalarına ait bazı görünümüler	5
Şekil 2.2. Örnek bir beton kiremit üretimi akım şeması (Anonim)	8
Şekil 2.3. Örnek bir toprak kiremit üretimi akım şeması (Anonim)	8
Şekil 2.4. Beton kiremit üretiminde kullanılan bazı ince agrega türleri	9
Şekil 3.1. Nevşehir pomzasına ait elek analizi grafiği	21
Şekil 3.2. Nevşehir pomzasının görünümü	22
Şekil 3.3. Kütahya ignimbirit agregasına ait elek analizi grafiği	23
Şekil 3.4. Kütahya ignimbirit agregasının görünümü	24
Şekil 3.5. Genleştirilmiş perlit agregasının görünümü.....	24
Şekil 3.6. Deneysel çalışmalarda takip edilen metodolojiye ait akış diyagramı	30
Şekil 4.1. BHA analizinden bir görünüm.....	34
Şekil 4.2. Tek eksenli basınç dayanımı analizi	35
Şekil 4.3. Çimento oranları ile BHA arasındaki ilişkiler	37
Şekil 4.4. Çimento oranları ile 28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişkiler	39
Şekil 4.5. Basınç dayanımı analizi	42
Şekil 4.6. PPİ kodlu numunelerin 28. gün basınç dayanımlarının karşılaştırılması ..	46
Şekil 4.7. PPİ kodlu numunelerin 28. gün BHA' larının karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.8. PPİK kodlu numunelerin 28. gün basınç dayanımlarının karşılaştırılması	47
Şekil 4.9. PPİK kodlu numunelerin 28. gün BHA' larının karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.10. PPİP kodlu numunelerin 28. gün basınç dayanımlarının karşılaştırılması	49
Şekil 4.11. PPİP kodlu numunelerin 28. gün BHA' larının karşılaştırılması	49
Şekil 4.12. Eğilme dayanımı testinden örnek bir görünüm.....	53
Şekil 4.13. Basınç ve eğilme dayanımı değerlerinin grafiksel olarak gösterimi.....	54
Şekil 4.14. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	55
Şekil 4.15. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	57
Şekil 4.16. BHA değerleri ile tahmin edilmiş eğilme dayanımları arasındaki ilişkiler	59
Şekil 4.17. Beton kiremidin teknik çizimi	60
Şekil 4.18. Harç BHA değerlerine karşı kiremit ağırlıklarının grafiksel gösterimi ...	62

Şekil 4.19. Harcın KBHA değerlerinden kiremit ağırlıklarının tahmin edilebileceği regrasyonel eşitlik.....	63
Şekil 4.20. Eğilme dayanımı deney düzeneği	64
Şekil 4.21. Kiremit numunelerine ait maksimum eğilme yükleri	65
Şekil 4.22. Marsilya tipi hafif kiremidin eğileme dayanımı analizi.....	66
Şekil 4.23. Hafif beton kiremidin eğileme dayanımı analizi	66
Şekil 4.24. Su emme oranlarının karşılaştırılması	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı çatı kaplama malzemelerinin karşılaştırılması (Anonim, 2007).....	7
Çizelge 2.2. Hafif betonun birim hacim ağırlığına göre sınıflandırılması	13
Çizelge 2.3. Hafif beton için beton dayanım sınıfları (TS EN 206-1, 2002)	13
Çizelge 3.1. Nevşehir pomzasına ait incelik modülü değerleri.....	21
Çizelge 3.2. CEM I 42,5 R Portland çimentosunun fiziksel özellikleri.....	26
Çizelge 3.3. CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal özellikleri	26
Çizelge 3.4. Uçucu külün kimyasal kompozisyonu	27
Çizelge 4.1. İlk aşamada elde edilen BHA analizi sonuçları	33
Çizelge 4.2. İlk aşamada elde edilen BHA analizi sonuçları	34
Çizelge 4.3. İlk aşama numunelerine ait 28 günlük basınç dayanımı sonuçları	36
Çizelge 4.4. PPİ kodlu çalışmalarına ait deneysel bulgular	43
Çizelge 4.5. PPİK kodlu çalışmalarına ait deneysel bulgular	44
Çizelge 4.6. PPİP kodlu çalışmalarına ait deneysel bulgular	45
Çizelge 4.7. 20*10*2 cm boyutlarında dökülmüş plaka numunelere ait 28. gün BHA ve eğilme dayanımı değerleri	52
Çizelge 4.8. Numunelerin basınç ve eğilme dayanım değerleri.....	53
Çizelge 4.9. Plaka numunelerine ait tablo (reçetelerde kül yok)	55
Çizelge 4.10. Plaka numunelerine ait tablo (Kül katkılı).....	56
Çizelge 4.11. Basınç dayanımlarına karşı regrasyonel eşitlik yardımıyla tahmin edilen eğilme dayanımları	58
Çizelge 4.12. Kiremit örneklerinin BHA ve adet ağırlıkları.....	61
Çizelge 4.13. Kiremitlerin genel karşılaştırması.....	61
Çizelge 4.14. Kiremit numunelerine ait ortalama eğilme yükü ve eğilme dayanımı değerleri.....	64
Çizelge 4.15. Hafif beton kiremit numunelerine ait su emme oranı değerleri.....	68
Çizelge 4.16. Kiremit numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri.....	69
Çizelge 4.17. Hafif beton kiremitlerin teknik özellikleri	70

SİMGELER DİZİNİ

A	Numune taban alanı
ASTM	Amerika malzeme tecrübeleri kurumu
b	Deney numunesinin genişliği
BHA	Birim hacim ağırlık
EN	Avrupa standartları
F _c	Yenilme yükü
GP	Genleştirilmiş perlit
h	Deney numunesinin kalınlığı
KA	Kiremit ağırlığı
KBHA	Kuru birim hacim ağırlık
Kİ	Kütahya ignimbirit agregası
L	Deney numunesinin mesnetler arası mesafesi
m	Doğal ortam şartlarındaki ağırlık
M _t	Kütlece su emme oranı
NP	Nevşehir pomzası
P	Kırılmaya neden olan en büyük yük
TS	Türk standartları
TSE	Türk standartları enstitüsü
TUKDER	Tuğla ve kiremit sanayicileri derneği
V	Numune hacmi
W ₁	Numunenin etüvde (105° C’de değişmez ağırlığa kadar) kurutulmuş ağırlığı
W ₂	Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı
σ_c	Basınç dayanımı
$\sigma_{eğ}$	Eğilme dayanımı
σ_{c28}	28 günlük basınç dayanımı
λ	Isıl iletkenlik katsayısı
ρ (harç)	Harcın KBHA değeri

1. GİRİŞ

İnsanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için öncelikle barınma ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri gerekmektedir. Bunun için emniyetli ve ekonomik binalara, bu binaların günümüz teknolojisine uygun olarak inşa edilebilmesi için ise kaliteli ve ekonomik yapı malzemelerine ihtiyaçları vardır.

Kiremidin yapılarda kullanılmaya başlanması neredeyse insanoğlunun oluşumu kadar eskiye dayanmaktadır. Sinterleşmenin kil üzerindeki etkilerinin kavranması ile birlikte, su izolasyonu konusunda da oldukça sağlıklı sonuçlar veren kiremit malzemesi ilk endüstriyel çatı örtü malzemesi olma özelliğini göstermiştir.

Dünya’da ve Türkiye’de hala en çok kullanılan çatı örtü malzemesi olan kiremit, endüstriyel olarak “toprak kiremit” ve “beton kiremit” olmak üzere 2 farklı formda üretilmektedir. Toprak kiremit kilin belirli bir boyuta öğütülerek uygun karışım oranlarında şekil verilmesi ve fırınlarda yüksek ısıda pişirilmesi suretiyle üretilirken, beton kiremit yüksek dozajlı betonun kalıplar üzerinde preslenmesi ve düşük ısıda prize tabi tutulması suretiyle imal edilir.

Hızlı kentleşme ve nüfus artışı nedeniyle artan konut ihtiyacının seri olarak endüstrileşmiş yapı malzemeleriyle karşılanması, konutlarda harcanan ısı enerjisinin, enerji kaynaklarının tükenirliği nedeniyle minimum seviyeye indirilmesi, ısı yalıtım değeri yüksek malzemelerin kullanımını gerekli kılmıştır (Aksin, 2007). Bu amaçla günümüz teknolojisinin imkânları kullanılarak yeni yapı malzemeleri geliştirilmiş, yüzyıllardır kullanılan tuğla ve kiremit gibi geleneksel yapı malzemeleri de teknik özellikler bakımından iyileştirilmiştir.

Son yıllarda enerji verimliliği kavramının Dünya’da ve ülkemizde ön plana çıkmasıyla birlikte bu konu ile ilgili gerekli yasa ve yönetmelikler yürürlüğe girmiş, özellikle de binalarda tüketilen enerjinin mümkün olan en verimli şekilde

kullanılmasını sağlamak amacıyla yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır. Mevcut kaynaklar ile en az maliyet ve teknik özellikler bakımından en mükemmel yapı malzemeleri tercih edilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda yapı malzemeleri için istenilen üstün teknik özelliklerin başında yalıtımlı olması, yani binanın ısı, su, ses ve yangın yalıtımını aynı anda sağlaması gelmektedir. Ayrıca Türkiye için en büyük ticari sorunlardan biri nakliye maliyetleridir. Yalıtımlı yapı malzemeleri bünyelerinde boşluklar ihtiva eder ve bu boşluklar da malzemenin birim ağırlığını düşürür. Bu sayede düşük birim ağırlığa sahip ürün türevleri nakliye maliyetleri açısından yüksek avantajlar sağlayacaktır.

Ülkemiz volkanik kökenli hafif agregalar bakımından oldukça zengindir. Betonun yapısının yaklaşık olarak %60-80 oranında agregadan oluştuğu düşünüldüğünde, betonun özelliklerini büyük ölçüde belirleyen unsurun yapımında kullanılan agregaların özellikleri olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Hafif agregalar ile üretilen betonlara hafif beton denilmektedir ve hafif betonların ısı iletkenlik değerleri normal betonlara göre oldukça düşüktür.

Bu tez çalışmasında; beton kiremit üretiminde agrega olarak pomza, ignimbirit ve genişmiş perlit gibi hafif endüstriyel hammaddelerin kullanılabilirliği irdelenmiş, yani laboratuvar ortamında farklı reçete kombinasyonlarında hafif beton kiremit örnekleri üretilmiştir. Bağlayıcı olarak Portland CEM I 42,5 çimento, bazı reçetelerde de bağlayıcının ağırlıkça %15'i kadar uçucu kül, bazı reçetelerde mineral katkı olarak genişleştirilmiş perlit ve toz polimer katkılar kullanılmıştır.

İlk aşamada 5*5*5 cm'lik küp beton kalıpları kullanılarak numuneler dökülmüştür. Üretilen hafif beton numuneleri üzerinde birim hacim ağırlık (BHA) analizi ve 28. gün basınç dayanımı deneyleri yapılarak ikinci aşamada kullanılacak olan reçete bileşenlerine ve oranlarına karar verilmiştir.

İkinci aşamada 72 adet toz polimer katkılı hafif beton reçete kombinasyonu oluşturulmuş, buna bağlı olarak yine 5*5*5 cm'lik küp numuneler üretilmiştir. Üretilen küp numuneler üzerinde hafif agrega türlerinin ve ağırlıkça çimento oranlarının hafif betonun basınç dayanımına ve birim hacim ağırlığına olan etkileri incelenmiş, hafif beton kiremit üretimi için uygun olabilecek reçeteler belirlenmiştir.

Üçüncü aşamada bir önceki çalışmada en iyi sonuçları gösteren 15 farklı reçete üzerinde çalışılmış, 20*10*2 cm plaka şeklinde numuneler dökülmüştür. Numunelere 28. gün sonunda eğilme dayanımı deneyleri yapılarak aynı numunelerin basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Elde edilen regrasyonel eşitlikler yardımı ile de bir önceki çalışmada üretilmiş diğer numunelerin eğilme dayanımı değerleri tahmin edilmiştir.

Dördüncü aşamada en ideal sonuçları veren 5 reçete üzerinde birebir hafif beton kiremit numuneleri dökülmüştür. Bu aşamada 2 farklı kiremit kalıbı kullanılmış, her reçete için toplamda 2+2 olmak üzere 4 adet kiremit numunesi üretilmiştir. Kiremitler üzerinde birim hacim ağırlık analizi, adet ağırlığı, su emme oranı, ısı iletkenlik katsayısı analizi, eğilme yükü ve mukavemeti deneyleri yapılmıştır.

Bulgular kısmında elde edilen sonuçlar detaylı olarak incelenerek hafif agregaların beton üzerindeki etkileri belirlenmiş, eğilme dayanımı ile tek eksenli basınç dayanımı arasında ilişkiler incelenmiştir. Birebir kiremit formunda üretilen numunelerin teknik özellikleri belirlenerek mevcut ürün türevleriyle karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar kısmında deneysel bulgulardan yararlanılarak hafif beton kiremit üretilebilirliği tartışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

TS EN 1304; kilden yapılmış çatı kiremitlerini; eğimli çatılarda sürekli olmayan (bindirmeli) döşemeler için kullanılan, kilden, çekme ve/veya presleme yolu ile şekillendirilmiş, kurutulmuş ve pişirilerek imal edilmiş çatı ürünleri olarak tarif etmektedir. Yüzeylerin bir kısmı veya tamamı sırlanabilir veya kaplama yapılabilir. Kiremitlerin başlıca tipleri aşağıdaki gibidir:

- Kenarı ve üst tarafı kenetlenebilen kiremitler
- Sadece kenarı kenetlenebilen kiremitler
- Düz kiremitler
- Üst üste bindirmeli kiremitler
- Üst ve alt kiremitleri
- Kilden yapılmış özel çatı parçaları

Kiremitler genellikle dikdörtgen şeklindedir, fakat özel şekillendirilmiş kiremitlerde olabilir (TS EN 1304, 2002). Kiremitlerde aranan özellikler ilgili standartta aşağıdaki gibidir.

- Yapı özellikleri
- Tespit etme
- Geometrik özellikler
- Fiziksel ve mekanik özellikler
- Sızdırmazlık
- Eğilme dayanımı
- Dona dayanıklılık

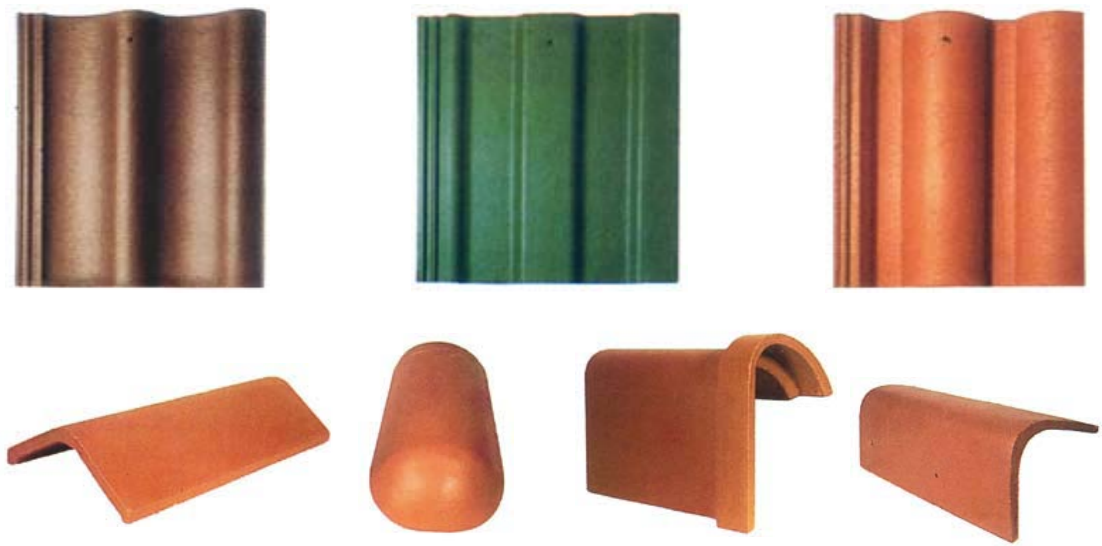
Deney numuneleri EN 538’de belirtildiği şekilde eğilmeye maruz bırakıldığında, en az aşağıda verilen yüklere kırılmaksızın dayanabilirse yeterli kabul edilir.

- Düz kiremitler için 600 N,
- Düz içten kenetlenebilen kiremitler için 900 N,
- Üst ve alt kiremitler için 1000 N,
- Diğer tip kiremitler için 1200 N.

Bu tez çalışmasında üzerinde durulan fiziksel ve mekanik özellikler eğilme dayanımı, birim ağırlık, su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayısı değeridir.

2.1. Beton Kiremit

Beton kiremit yüksek dozajlı betonun kalıplar üzerine preslenmesi ve düşük ısıda prize tabi tutulması suretiyle imal edilen bir çatı kaplama malzemesidir. Beton kiremit üretiminde sınıflandırılmış kum, Portland çimentosu, inorganik pigmentler ve su kullanılır. Pişirilme söz konusu değildir. Şekil 2.1.'de Türkiye'de ve Dünya'da yaygın olarak kullanılan beton kiremit türlerine ait görünüm 1er yer almaktadır. Beton kiremitler betonun kullanıldığı tüm ortam koşullarında kullanılabilir ve ömürleri 30 yıldan fazladır. Almanya'da kullanılan kiremitlerin %70'i beton kiremittir. Renk pigmentleri sayesinde istenilen renkte üretilebilmektedirler.



Şekil 2.1. Beton çatı kiremitleri ve parçalarına ait bazı görünüm 1er

2.1.1. Beton kiremitler ile toprak kiremitlerin karşılaştırılması

Toprak kiremitlerin üretiminde kullanılan temel hammadde kildir. Bu sebeple toprak kiremit üretimi yapan işletmelerin hammadde kaynağına yakın olması gerekmektedir. Türkiye’de TUKDER’e üye toprak tuğla ve kiremit fabrikaları incelendiğinde konum itibariyle belli bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Yapı malzemelerinin en çok ihtiyaç duyulduğu İstanbul, Ankara gibi büyükşehirlerde toprak kiremit fabrikalarının sayısı yeteri kadar değildir. Kiremitler kullanılacağı yere başka bölgelerden getirilir ve bu da ekstra nakliye maliyetleri bindirmektedir. Fakat beton kiremit üretimi için ihtiyaç duyulan çimento ve agrega hemen her bölgede mevcuttur. Dolayısıyla beton kiremit fabrikaları birçok yerde kurulabilir ve bu sayede nakliye maliyetleri minimum seviyelere indirilebilir.

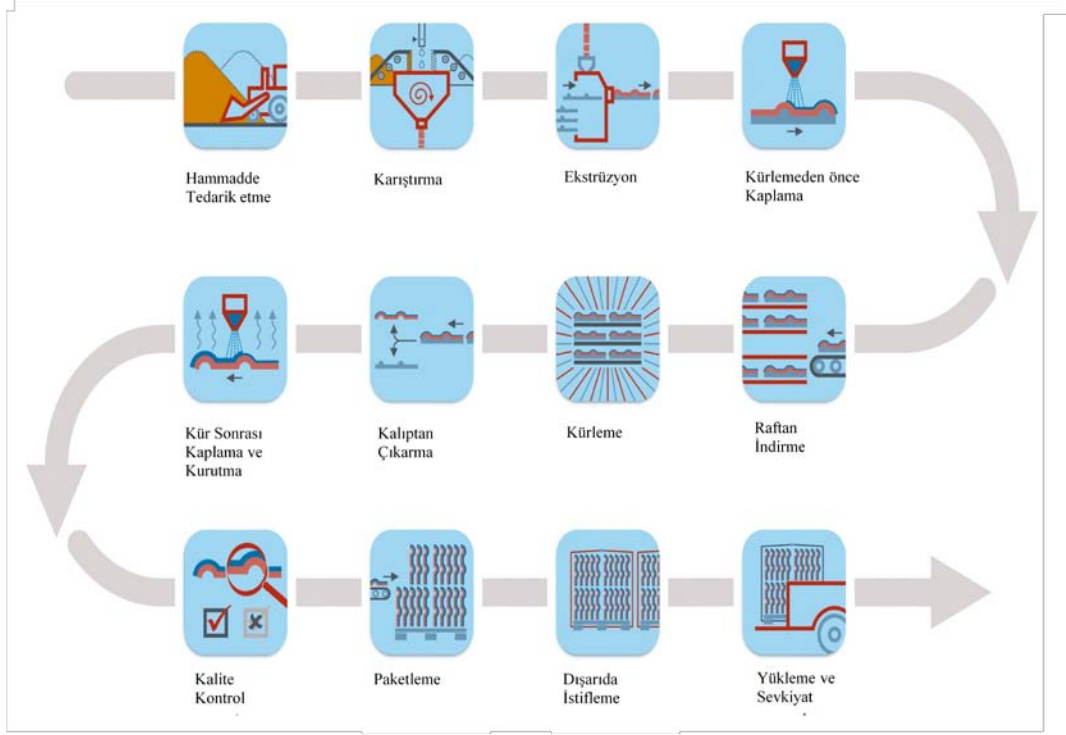
Betonun ömrü bina ömrüyle aynıdır. Yani çatı malzemesi olarak beton kiremit tercih edildiğinde tekrar yenilemek ya da onarmak gerekmemektedir. Çatılardaki en büyük problemlerden biri su yalıtımıdır. Beton kiremitlerin su emme oranlarının (%7-10) oldukça düşük olması toprak kiremitlere göre avantaj teşkil eder. Gelişen teknolojiyle birlikte yapı malzemeleri de hızla gelişmiş ve aranan özellikler arasına kalitenin yanı sıra göze hitap etmesi gereksinimi de girmiştir. Toprak kiremitler kilin pişirilmesiyle üretildikleri için renkleri kahverengi ve kırmızı arasında farklı tonlarda seyrederken beton kiremitlerde çok farklı renk seçenekleri mevcuttur. Bu da beton kiremitleri farklı kılan üstün özelliklerindendir.

Ayrıca beton kiremitlerde üretim hataları minimum seviyelerde seyreder ve çatıya uygulanma esnasında problemleri en aza indirir. İşçiliği kolaydır ve uzmanlık istemez. Çizelge 2.1.’de Dünyada ve ülkemizde uygulanan bazı çatı kaplama sistemlerinin karşılaştırılmasının yapıldığı tablo yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde beton kiremit çatı kaplamalarının diğer çatı kaplama malzemelerine göre oldukça üstün özellikleri olduğu görülmektedir.

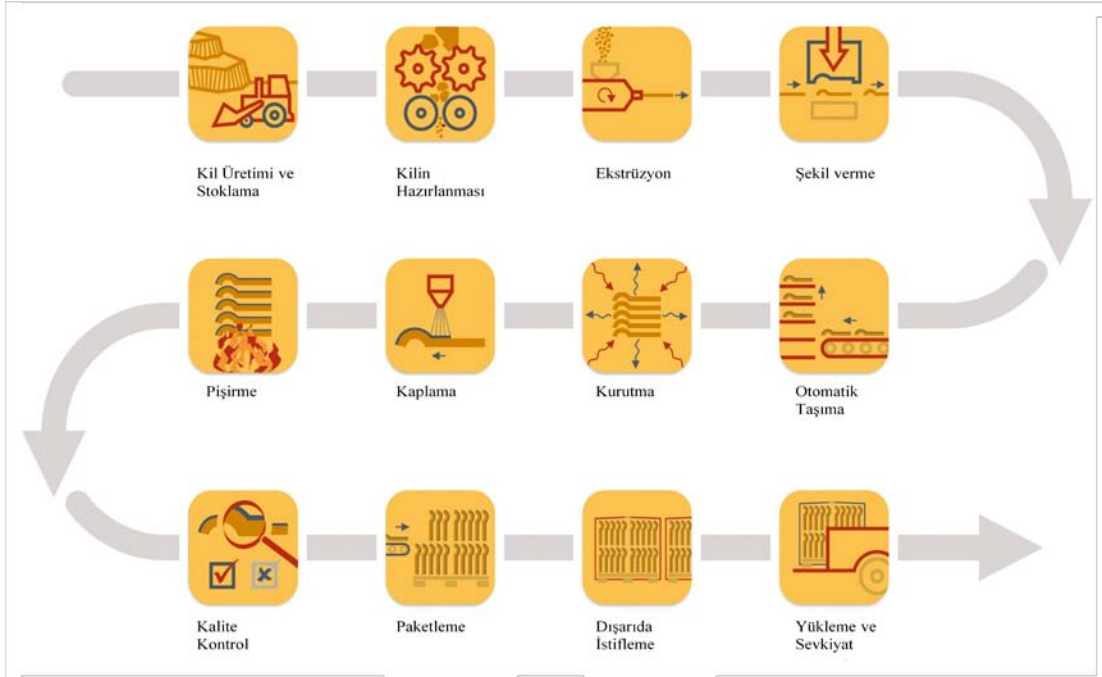
Çizelge 2.1. Bazı çatı kaplama malzemelerinin karşılaştırılması (Anonim, 2007)

Nitelikler	Beton Kiremit	Galvanize Demir Kaplama	Oluklu Fiber Çimento Kaplama	IBR metal Kaplama	Doğal Kayrak Taşı	Renkli Metal Kaplama	Toprak Kiremit
Karşılaştırmalı Maliyet	0%	+28%	+66%	+62%	+360%	+63%	+20%
Dayanıklılık	Yaşam Boyu	Makul	Makul	Makul	Makul	Makul	Makul
Ömür	50 yıl	5 yıl	15 yıl	5 yıl	15 yıl	10 yıl	30 yıl
Bakım gereksinimleri	En az	En az	En az	En az	Her Yıl	Her 15 yılda	En az
Estetik	Mükemmel	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Mükemmel	İyi	Mükemmel
Dolu direnç	İyi	İyi	Makul	İyi	Makul	İyi	İyi
Gürültü direnci	İyi	Çok kötü	Kötü	Çok kötü	Orta	Çok kötü	İyi
Yangın dayanımı	Mükemmel	İyi	İyi	İyi	İyi	İyi	Mükemmel
Termal verim	Mükemmel	Zayıf	İyi	Zayıf	İyi	Zayıf	İyi
Döşeme kolaylığı	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Uzmanlık Gerektirir	Kolay	Uzmanlık Gerektirir
Onarım kolaylığı	Kolay	Makul	Makul	Makul	Uzmanlık Gerektirir	Makul	Uzmanlık Gerektirir
Rüzgar direnci	İyi	Makul	Makul	Makul	İyi	Makul	İyi

Toprak kiremit ve beton kiremit üretim prosesleri bakımından karşılaştırıldığında her ne kadar bir birine benziyor gibi görünse de temelde büyük farklılıklar vardır. Şekil 2.2.'de beton kiremit üretimi akış şeması, Şekil 2.3.'te toprak kiremit üretimi akış şeması yer almaktadır. Beton kiremit üretiminde hammadde, ocaklardan ya da tedarikçi firmalardan temin edilir ve reçetelere bağlı kalarak çimento, mineral ve kimyasal katkıları ile mikserde karıştırılır, ihtiyacı kadar su ilave edilir ve taze beton harcı haline gelir. Sonra kalıplara boşaltılarak preslenir, kaplama yapılır ve kür kamaralarına gönderilir. Kürleme işleminin ardından kalite kontrolü yapılarak paketlenir ve stok sahasına sevk edilir. Çimento bileşenli olduğundan 28 günü tamamlaması beklenir ve sonrasında ürünler sevkiyata hazır hale gelir. Toprak kiremit üretiminde ise ocaktan gelen ya da dışarıdan temin edilen kil stoklanır. Sonra kil hazırlama işlemleri yapılır ve hazırlanan kile kalıplarda kiremit şekli verilir. Şeklini alan kiremitler önce kurutulur, sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Pişen ürünlere kaplama yapılır, yani su geçirimsiz olması için ön yüzeylerine akrilik sıvı püskürtülür. Daha sonraki işlemler beton kiremit ile aynı olmak suretiyle devam eder. Toprak kiremit üretiminde stok sahasına gönderilen ürünlerin 28 günü tamamlamasına gerek yoktur, sevkiyata hazır hale gelmiş demektir.



Şekil 2.2. Örnek bir beton kiremit üretimi akım şeması (Anonim)

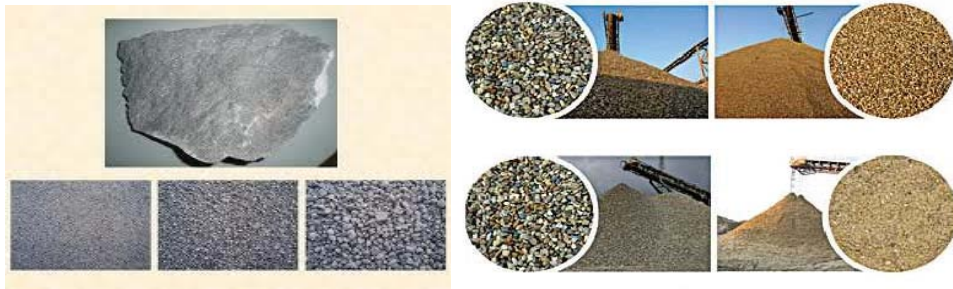


Şekil 2.3. Örnek bir toprak kiremit üretimi akım şeması (Anonim)

2.1.2. Beton kiremit üretiminde kullanılan ana materyaller

Beton kiremit üretiminde kullanılan ana materyaller; sınıflandırılmış kum, çimento, su ve pigmentlerdir. Ancak betonun fiziksel, mekanik ya da termal özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı kimyasal ilaveleri ve lifler kullanılabildiği gibi beton kiremitlerde de kullanılması söz konusudur. Guimaraes et al., 1990, kiremitler, duvar panelleri ve su depoları gibi yapı elemanlarının üretimi için doğal lif takviyeli çimento esaslı matrislerin kullanımı hakkında çalışmalar yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar lif takviyeli betonlardan üretilen yapı elemanlarının fiziksel ve mekanik özellikler bakımından iyileştirilebildiğini göstermiştir.

Beton kiremit, üretim prosesi bakımından incelenecek olursa, -0.3 mm boyutundaki kum Portland çimentosu ile belli oranlarda mikserde karıştırılır ve çimentonun ihtiyacı kadar su ilave edilir. Beton harcı yeterli kıvama geldiğinde kalıplara dökülür ve preslenir. Preslenme esnasında sıkışarak bünyesindeki boşluklar kapanır. Elle ya da otomatik olarak bantlardan alınır ve kurlenmesi için 27-40 °C deki kür kamaralarına gönderilir. Kür kamaralarında ilk prizini 24 saatte tamamlar ve açık stok sahasına sevk edilir. Çimentolu bileşik olduğundan 28 gün stok sahasında bekletilir prizini tamamen alması sağlanarak sevkiyata hazır hale gelir. Beton kiremit üretiminde; agrega olarak ham perlit, kuvars kumu ve ince boyutta kırma taş (taş unu) kullanan üreticiler mevcuttur. İstenilen özellikleri sağladığı takdirde farklı endüstriyel hammaddelerin de kullanımı söz konusudur. Şekil 2.4.'te beton kiremit üretiminde kullanılan bazı ince agrega türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Beton kiremit üretiminde kullanılan bazı ince agrega türleri

Toprak kiremit ile ilgili geçmişte yapılmış çok çalışma olmasına karşın beton kiremit üretiminde kullanılan materyallerle ve ürünlerin fiziko-mekanik özellikleri ile ilgili Türkiye’de yapılmış çalışmalar çok azdır. Beton kiremitler ile ilgili yürürlükte olan TS EN 491+AC standardı, beton çatı kiremitleri ve özel parçaları deney metotlarını kapsar.

Demir, 2001, Afyon bölgesi killeri ile Isparta pomzası karışımının, tuğla üretiminde kullanım olanaklarını incelemiştir. Bu amaçla üç farklı karışım hazırlanmış ve bunlardan elde edilen laboratuvar örneklerine T.S.E. standartlarına göre testler uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda pomzanın tuğla üretiminde kullanılması durumunda, su emme değerlerinin bir miktar arttığını fakat birim hacim ağırlığın düştüğünü ve buna bağlı olarak yalıtım değerlerinin arttığını tespit etmiştir.

Aksin, 2007’ de endüstriyel atıkların tuğla ve kiremit üretiminde değerlendirilmesi konusunda yaptığı yüksek lisans çalışmasında, tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan ana malzeme olan kil ile sanayi atıkları olarak nitelendirilen uçucu kül ve fosfojips karışımlarından yeni bir tuğla – kiremit hammaddesi elde etmenin yollarını araştırmıştır. Uçucu kül malzemesinde bulunan yanmamış karbon parçacıklarının üretim sırasında verilen yüksek sıcaklığın etkisi ile yanarak bünyeden uzaklaşıp geride küçük çaplı boşluklar bırakacağı öngörülmüştür. Genel olarak tuğla bünyesinde oluşan mikroporların avantajları, nemin kapilarite ile taşınım imkânını gözlemlenebilir oranda yavaşlatması, ısı izolasyonuna yardımcı olması ve hafifletici etki oluşturmastır. Yapılan bu çalışmada kiremit ve tuğlaların reçetelerine katkı maddeleri eklenmesi ile bünyesinde gözenek oluşturularak hafifletilebilmiştir.

Roma vd., (2006), beton kiremit üretiminde bitkisel liflerin kullanımını araştırmışlardır. Okaliptüs ve sisal liflerinin çimento bazlı beton kiremidin fiziksel, mekanik ve termal performanslarına etkilerini araştırdıkları çalışmalarında E, ES ve S olarak adlandırdıkları 3 farklı tipte reçete kullanmışlardır. Reçetelerde, sırasıyla katı kütlenin ağırlıkça %5’i kadar okaliptüs lifi, %2 okaliptüs + %1 sisal lifi ve %3 sisal lifi kullanarak beton kiremit üretmişlerdir. Kiremitlerin fiziksel özellikleri

kompozitin diğ er bileş enlerine kıyasla lifin türünden daha fazla etkilenmiştir. Lifen türü mekanik özellikler açısından en iyi sonuçların elde edilmesinde ana değişken olduğu saptanmış ve tropikal ülkelerde bolca bulunan sisal bitkisinin lifi beton kiremit üretiminde kullanılabilecek alternatif bir materyal olduğu sonucuna varılmıştır. Yaptıkları  alışma göstermiştir ki lif takviyeli beton kiremitler, ucuzluğu sebebiyle geniş bir kullanım alanına sahip olan asbest- imento oluklu levhalara kıyasla mekanik ve termal performanslar bakımından daha üstündür.

2.2. Hafif Beton Kiremitler

Hafif beton kiremit kavramı henüz çok yaygın olmasa da; hafif agregalı betonlardan üretilmiş kiremit türü olarak tanımlanabilmektedir. Yani beton kiremit agregasının tamamı ya da belli bir kısmı hafif agrega ile yer değiştirmek suretiyle kullanıldığında hafif beton kiremit  retilabilmektedir. Hafif beton kiremit; sınıflandırılmış hafif agrega,  imento, su, mineral katkı ve toz polimer katkının belirli oranlarda i  bileşen olarak kullanıldığı beton kiremit türüdür. Kullanılan doğal agreganın türüne ve özelliklerine bağlı olarak birim ağırlık değerleri ve doğal olarak ısı iletkenlik katsayıları değişmektedir. Üretim prosesi incelenecek olursa sınıflandırılmış doğal hafif agrega(lar),  imento, gerekli ise mineral katkı ve toz polimer katkı mikse konulur ve harcın ihtiya ına göre su eklenir. Su ekleme işleminde hafif agregaların yüksek gözenekli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Mikserde karışan harç homojen olarak bunkere gider. Bunkere gelen harç yüksek basınç altında kalıplar üzerinde ya da kalıp şeklindeki bandın üzerinde sıkıştırılır. Kiremitlerin su emmeye karşı direncinin arttırılabilmesi için kalıplar bant üzerinde hareket ederlerken kiremidin  n yüzüne kaplama yapılabilirdiği gibi başlangıçta karışım reçetesine su itici toz polimer katkı da konulabilir. Kalıplardan  ıkarılan taze beton elle ya da otomatik olarak k r kamaralarına gönderilir ve 24-48 saat kadar 27- 40  C de bekletilir. Daha sonra açık stok sahasına sevk edilir ve 28'inci güne kadar bekler. 28 gün sonunda prizini tamamlayan kiremitler sevkiyata ve kullanıma hazır hale gelir.

Hafif beton kiremitler ile ilgili yürürlükte standart bulunmamaktadır. Bu tez çalışması kapsamında da kilden imal edilmiş kiremitler ile ilgili standartlardan ve beton kiremit için kullanılan TS EN 491+AC standardından yararlanılarak teknik özellikler irdelenmiştir.

Hafif beton kiremidi tanımlayabilmek ve yapısını oluşturabilecek iç bileşenlerin neler olabileceği konusunu anlayabilmek için hafif beton kavramını irdelemek gerekmektedir. Sonuç olarak söz konusu yapı malzemesi, hafif betonun kiremit formuna dönüşmüş halidir.

2.2.1. Hafif beton

Kuru birim hacim ağırlığı 2200 kg/m^3 'den düşük olan betonlar, hafif beton olarak adlandırılmaktadır. Yalıtım betonları en düşük birim hacim ağırlığına sahip olan betonlardır. Genelde 400 kg/m^3 değerinden daha düşük birim ağırlığa sahip bu grup betonlar, yapıda ısı ve ses izolasyonunu sağlamak amacıyla kullanılırlar. $400\text{-}1000 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen birim hacim ağırlığına sahip betonlar ise genelde taşıyıcı olmayan (statik olarak çalışmayan) duvar ve döşeme dolgu elemanları üretiminde kullanılırlar. Yarı taşıyıcı betonların üst birim hacim ağırlığı sınırı 1600 kg/m^3 civarındadır (TS 2511; TS 3234). Bu grup betonlar da yapı içerisinde statik olarak çalışabilen yarı taşıyıcı duvar-döşeme elemanları, kapı-pencere lentoları, dekoratif kent mobilyaları gibi donatı içeren betonarme elemanların üretiminde kullanılmaktadır. Son yıllarda hafif betonların kullanım alanlarına taşıyıcı beton elemanları da girmiştir. Yapı içerisinde kolon, kiriş, döşeme, panel gibi taşıyıcı elemanların imalatında kullanılan hafif betonların birim hacim ağırlığı, arzu edilen dayanım özelliklerine göre $1600\text{-}1900 \text{ kg/m}^3$ arasında değişkenlik göstermektedir (TS 2511). Bu tez kapsamında irdelenen hafif beton kiremitlerin birim hacim ağırlığı $800\text{-}1100 \text{ kg/m}^3$ arasında değişiklik göstermekte ve yarı taşıyıcı hafif beton grubuna girmektedir.

TS EN 206-1 standardına göre, hafif betonların birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.2.'de, 28 günlük basınç dayanımlarına göre sınıflaması Çizelge 2.3.'te verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hafif betonun birim hacim ağırlığına göre sınıflandırılması
(TS EN 206- 1, 2002)

Birim Hacim Ağırlık Sınıfı	Birim Hacim Ağırlık Sınır Aralığı (kg/m ³)
D 1, 0	800
D 1, 2	1000
D 1, 4	1200
D 1, 6	1400
D 1, 8	1600
D 2, 0	1800

Çizelge 2.3. Hafif beton için beton dayanım sınıfları (TS EN 206-1, 2002)

Basınç Dayanımı Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı (f _{ck,sil}) (N/mm ²)	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı (f _{ck,küp}) (N/mm ²)
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

Hafif betonlarda kullanılan agregalara hafif agrega denilmektedir. TS 1114 EN 13055-1 standardına göre tane yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ü ($2,00 \text{ Mg/m}^3$) veya gevşek yığın yoğunluğu 1200 kg/m^3 ü ($1,20 \text{ Mg/m}^3$) aşmayan mineral kökenli agregalara hafif agrega denilmektedir.

Hafif agregalar yüksek boşluk oranlarına sahip olduklarından düşük birim hacim ağırlıkları olup, normal agregalara göre daha yüksek su emme, daha az ısı iletimi ve daha düşük mukavemet gibi özellikleri bulunmaktadır (Topçu, 1988).

Hafif agregalar, boşluklu yapıları nedeni ile düşük birim ağırlığa sahiptirler. En belirgin özelliği, düşük özgül ağırlığı ile ilişkili olarak yüksek oranda poroziteye sahip olmasıdır (Neville, 1996).

Ülkemizde rezerv bakımından oldukça zengin olan ve kullanım açısından en yaygın olan hafif agrega türlerinin başında pomza, volkanik cüruf, genleştirilmiş perlit ve ignimbirit agregaları gelmektedir.

2.2.2. Hafif beton kiremitlerin beton kiremitlere göre avantaj ve dezavantajları

Beton kiremit Çizelge 2.1.'de görüldüğü üzere diğer çatı kaplama malzemelerine kıyasla oldukça üstün özelliklere sahiptir. Beton uzun ömrü sayesinde uygulandıktan yıllar sonra bile ilk günkü gibi kalabilir ve bakım maliyetleri diğer ürün çeşitlerine oranla minimum seviyededir. Ancak beton kiremit yalıtım performansları açısından bir karşılaştırmaya tabi tutulursa diğer yapı malzemeleriyle benzer davranışlar gösterir. Geleneksel toprak kiremit kaplamanın metrekareye bindirdiği birim statik yük $46-49 \text{ kg/m}^2$ iken, beton kiremit kaplamanın 45 kg/m^2 civarındadır. Yalıtım performansının malzemenin birim ağırlığıyla ters orantılı olduğu bilindiğine göre, beton kiremidin hafifletilmesi ve düşük birim hacim ağırlığa sahip ısı iletkenlik

katsayısı düşük ürün türevi termal performans açısından üstün özellikler sağlayacaktır. Bu amaçla yapılan bu tez çalışması kapsamında beton kiremidin birim hacim ağırlığı düşürülmeye çalışılmış ve ısı iletkenlik katsayıları düşük çatı kaplama malzemesi üretilmeye çalışılmıştır. Hafif beton kiremidin beton kiremide göre avantajları sıralanacak olursa;

- Binaya düşen ölü yükün, yani çatı yükünü azaltması,
- Binalarda ısı kaçaklarının en yoğun olduğu çatı bölgesinin (yaklaşık %20-25) yalıtım performansını arttırması,
- Düşük birim hacim ağırlığı sayesinde nakliye maliyetlerinden tasarruf sağlaması, dolayısıyla ürün birim maliyetini düşürmesi,
- Hafifliği sebebiyle kolay ve montaj kolaylığı,
- Düşük değerde olsa da ses yalıtımıdır.

Dezavantajı ise içerdiği hafif agrega türünün mekanik dayanımının az olması sebebiyle hafif kiremidin eğilme dayanımının da nispeten düşük olmasıdır. Yüksek gözenekli malzemelerin yüksek su emme kapasiteleri vardır, ancak bu sorun kompozit yapıya ilave edilecek su itici kimyasallar ile ya da şekil almış ürün üzerine uygulanan ve yüzeyin su emme değerini minimuma indiren kimyasal katkılarla önlenebilmektedir.

2.2.3. Hafif beton kiremit üretiminde kullanılan doğal hammaddeler

Hafif beton kiremit, hafif betonun kiremit formuna dönüştürülmüş halidir. Bu bölümde hafif beton üretiminde kullanılan doğal hafif agregalar bu alt başlıkta anlatılacaktır. Ticari boyuttaki kiremitlerin kalınlıkları 8 mm'ye kadar inebildikleri için yapısını oluşturan agreganın da maksimum tane büyüklüğü 5 mm'den büyük olmamalıdır. Ticari şekliyle ince agrega olarak adlandırılan bu hammadde türlerinin tane büyüklükleri genelde 0-3 mm arasında değişim göstermektedir.

İdeal bir hafif agrega, sert ve kapalı dış yapısıyla küresel, ayrıca tanelerin iç yapıları itibarıyla, yüksek gözeneklilik derecesine sahip ve çimento ile bağlanma özelliği yüksek olmalıdır (Davraz, 2004).

Hafif agregalar yüksek boşluk oranlarına sahip olduklarından düşük birim hacim ağırlıkları olup, normal agregalara göre daha yüksek su emme, daha az ısı iletimi ve daha düşük mukavemet gibi özellikleri bulunmaktadır (Topçu, 1988).

Hafif agregalar betonun birim ağırlığını azaltmak ve betona ses ve ısı yalıtım özelliği kazandırmak için ya da atık maddeleri değerlendirmek amacıyla kullanılan agregalardır. Genellikle gözenekli bir yapıya sahiptirler, su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir, basınç, çarpma ve aşınma dayanımı oldukça düşüktür. Birim ağırlıkları $2,00 \text{ kg/dm}^3$ den küçük olan agregalardır (Şimşek, 2000a).

Doğal hafif agregalar, oluşumları esnasında gözenekli bir yapı kazanmış pomza, volkanik cüruf, diatomit, tuf vb. kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Volkanik kökenli hafif kayaçların süngerimsi hücre yapısı, erimiş kayaçların içerisinde bulunan gazlardan kaynaklanmaktadır. Pomza, erimiş volkanik malzemenin ani soğuması sonucu oluşmaktadır. Buna bağlı olarak, kuru haldeki yığın yoğunluğu $500-900 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmekte ve dolayısıyla su üzerinde yüzebilme özelliği göstermektedir. Bu malzemenin en yoğun şekilde bulunduğu ülkelerin başında Türkiye, Yunanistan ve İtalya gelmektedir. Pomza ağırlıklı olarak inşaat endüstrisinde kırma, eleme ve sınıflandırma işlemine tabi tutulduktan sonra değerlendirilir (Gündüz, 1998).

Yapay hafif agregalar ise yüksek fırın cürufu, kalsine edilmiş kil, uçucu kül, kuvarsit, perlit, obsidyen, vermikülit, şist, arduaz vb. inorganik elemanlardan genellikle ısıtma, gaz veya köpük oluşturma yoluyla gözenekleştirilerek elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregalardır (TS 1114 EN 13055-1, 2004).

Genleştirilmiş kil, şeyl veya arduaz da, dünyada hafif agrega amaçlı olarak yaygın biçimde kullanılan suni agrega türlerindendir. Suni hafif agregalar grubunda yer alan

genleşmiş polistren de dünya inşaat endüstrisinde önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir. İlk üretimi 1967 yılında Almanya’da başlamıştır (Eriç, 1994).

2.3. Kiremit Üretiminde Kullanılan Standartlar

Kiremit üretiminde ve kalite kontrolünde kullanılan standartlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır. Belirtilen standartlara göre kiremitlerde aranan teknik özellikler ve sınır değerler bu bölümde açıklanmaya çalışılacaktır.

- **TS EN 490:** Beton çatı kiremitleri ve bağlantı parçaları - Çatı örtüsü ve duvar kaplaması için - Mamul özellikleri
- **TS EN 491+AC:** Beton Çatı Kiremitleri ve Özel parçaları-Deney Metotları
- **TS EN 538:** Çatı Kiremitleri Kilden Yapılmış Sürekli Olmayan (Bindirmeli)Eğilme Dayanımı Deneyi
- **TS EN 539-1:** Çatı kiremitleri - Kilden imal edilmiş - Sürekli olmayan çatı örtüsü için - Fiziksel özelliklerin tayini - Bölüm 1: Su geçirimsizlik deneyi
- **TS EN 539-2:** Çatı kiremitleri - Kilden yapılmış - Fiziksel özelliklerinin tayini - Bölüm 2: Dona dayanıklılık deneyi
- **TS EN 1024:** Çatı Kiremitleri-Kilden Yapılmış- Sürekli Olmayan (Bindirmeli) Geometrik Özelliklerin Tayini
- **TS EN 1304:** Çatı kiremitleri ve bağlantı parçaları - Kilden imal edilmiş - Tarifler ve özellikler
- **TS EN 14437:** Çatıya yerleştirilmiş kil veya beton kiremitlerin yukarı kalkmaya karşı direncinin tayini - Çatı sistemi deney metodu .

TS EN 1304 nolu standart kilden yapılmış çatı kiremitleri ve bağlantı parçalarını tarifler ve özellikleri bakımından inceleyen standarttır. Kiremidi; eğimli çatılarda sürekli olmayan (bindirmeli) döşemeler için kullanılan, katkı maddesi kullanılarak ve kullanılmaksızın hazırlanan, kilden, çekme ve/veya presleme yoluyla şekillendirilmiş, kurutulmuş ve pişirilerek imal edilmiş çatı ürünleri şeklinde tarif etmektedir. Bu tez çalışmasında adı geçen kiremitler, “kenarı ve üst tarafı

kenetlenen kiremitler” sınıfına girmektedir. Fiziksel ve mekanik özelliklerden sızdırmazlık için sınır değerler aşağıdaki gibidir:

Sınıf 1; Metod 1: en çok $0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{gün}$

Metod 2: sızdırmazlık katsayısı en çok 0,8

Sınıf 2; Metod 1: en çok $0,8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{gün}$

Metod 2: sızdırmazlık katsayısı en çok 0,925’ü.

Sınıf 2 olarak sınıflandırılmış kiremitler sadece su yalıtımı uygulanmış çatılarda kullanılmalıdır. Metod 1 ve metod 2, EN 539-1’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ancak bu tez çalışması kapsamında sızdırmazlık testleri yapılmamıştır.

Eğilme dayanımı EN 538 standardında belirtildiği şekilde kiremit türüne uygun olarak yapılmalıdır. Eğilme dayanımı için kilden yapılmış kiremitler için sınır değerler aşağıda verilmiştir:

- Düz kiremitler için 600 N,
- Düz içten kenetlenen kiremitler için 900 N,
- Üst ve alt kiremitler için 1000 N,
- Diğer tip kiremitler için 1200 N.

Kiremitler üstte verilen eğilme yükü değerlerini sağlıyor ise yeterli kabul edilmektedir. Tez çalışmasında 2 tip kiremit kalıbı kullanılmış ve kalıplarda yalnız bir tanesi yukarıda sınır değerleri verilen kiremit türlerinden “Düz içten kenetlenen kiremitler (eğilme yükü minimum 900 N)” sınıfına girmektedir.

Kiremitlerde aranan fiziksel ve mekanik özelliklerden biri de dona dayanıklılıktır. Dona dayanıklılık deneyi EN 592-2 standardına göre yapılmaktadır. Türkiye’de standartta açıklanan metotlardan C metodu uygulanır. Tamamen kurutularak tartılan deney numuneleri mutlak hava basıncının $4 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ olacak şekilde suya tamamen daldırılır. 18° C den 1.45 saatte $-15 \pm 3^\circ \text{ C}$ ye düşebilen dondurucunun kullanılması

gereklidir. Kiremitler 24 çevrime maruz bırakılır ve her bir çevrim donma ve çözülme evresinden oluşur. Donma safhası 8 saat ve çözülme safhası 4 saat olmalıdır. Dona dayanıklılık testinde söz konusu 24 çevrim sonrası kiremitte meydana gelen hasarlar tespit edilir ve kaydedilir. Ancak bu tez çalışması kapsamında dona dayanıklılık analizleri yapılmamıştır.

Tez çalışması kapsamında incelenen hafif beton kiremitler için henüz bir standart mevcut değildir. Beton kiremitler için geçerli olan EN 491+AC kodlu standart bu tez çalışması kapsamında dikkate alınmıştır. Tezde üzerinde durulan eğilme dayanımı deneyleri bu standarda göre yapılmıştır, fakat herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında kullanılan materyaller; Nevşehir pomza agregası, Kütahya bölgesi ignimbirit agregası, genleştirilmiş perlit agregası, Portland çimentosu, uçucu kül, su, toz polimer katkıları ve laboratuvar çalışmaları için gerekli araç gereçlerdir.

3.1.1. Nevşehir pomzası

Bu yörede bulunan pomza yatakları Avanos ve Derinkuyu ilçeleri arasında yayılım göstermektedir. Bölgede temeli oluşturan en yaşlı kayalar birimleri Üst Kratese yaşlı serpantin, granodiyorit gibi kayalardır. Bunların üzerine Paleojen, Neojen yaşlı ignimbiritik tuf, riolitik tuf, andezitik tuf, görsel kireçtaşı ve bazalt gibi kayalar birimleri gelmektedir. Yöredeki en genç kayalar birimleri, Kuvaterner yaşlı traverten, pomza, volkan külü ve alüvyon gibi birimlerdir. Bu yörede bulunan pomza seviyelerinin kalınlığı yer yer 1-20 m arasında değişmektedir. Bu pomza seviyelerinin içinde % 1-3 arasında değişen miktarda bazalt, diyabaz ve obsidyen parçaları bulunur. Pomza seviyelerinin üzerinde 1-35 m arasında değişen kalınlıklarda volkan külü seviyesi ve en üstte kalınlığı 1-15 m arasında değişen kalınlıklarda alüvyon seviyesi bulunabilmektedir (Çevikbaş ve İlgin, 1997).

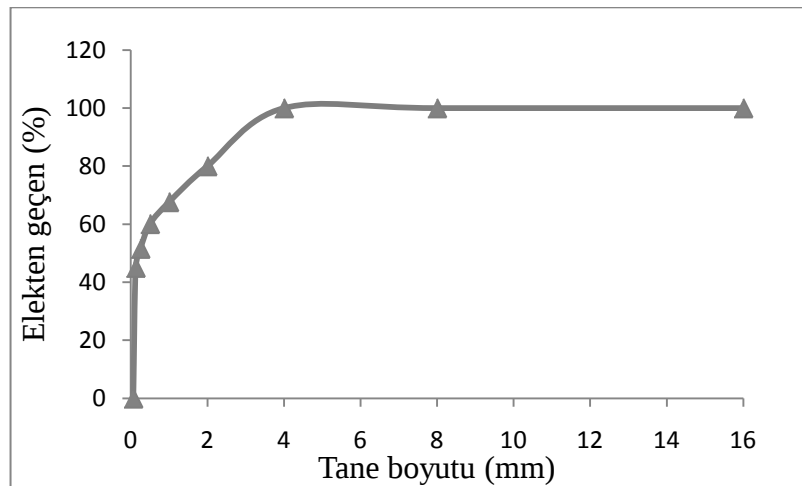
Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle, pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani soğuma nedeniyle bünyeyi terk ederek, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek oluşur. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomzada gözenekler, çoğunlukla birbiriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız

miktarda olup, her biri diğ erinden camsı bir zarla yalıtılmış tır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzeabilen, izolasyonu yüksek bir kayadır. Sertliğı Mohs Skalasına göre 5-6'dır. Kimyasal olarak %75'e varan silis içeriğı bulunabilmektedir (Gündüz vd., 1998).

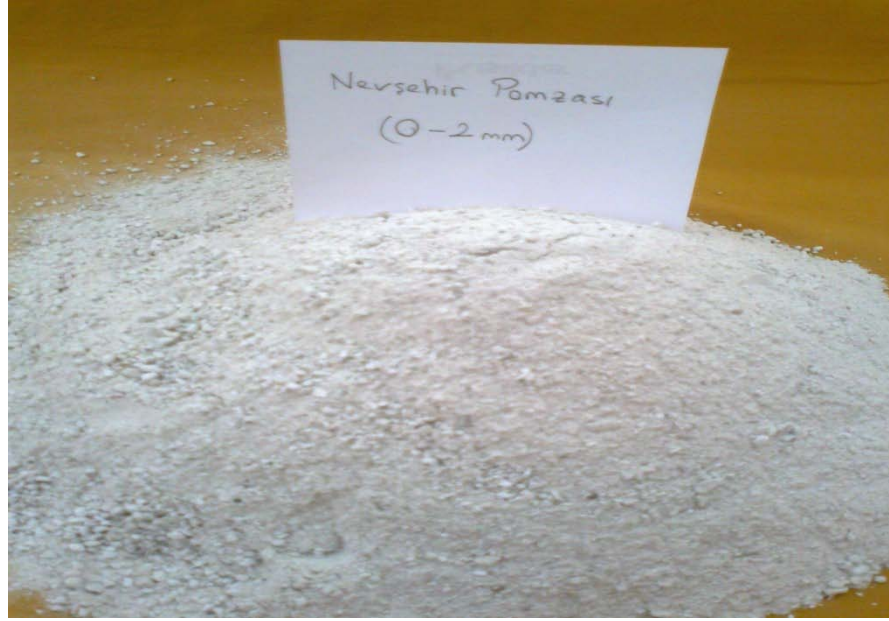
Tez çalışmasında 0-2 mm boyutunda Nevşehir pomzası kullanılmış tır. Kullanılan pomzanın kuru birim hacim ağırlığı (KBHA) 582 kg/m³ tür. Çizelge 3.1. de Nevşehir pomzasına ait incelik modülü değ erleri, Şekil 3.1.' de elek analizi grafiğı verilmiştir.

Çizelge 3.1. Nevşehir pomzasına ait incelik modülü değ erleri

ELEK AÇIKLIĞI (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan, %		
	Numune No 1	Numune No 2	Numune No 3
4	0	0	0
2	1	1,1	0,96
1	20,58	20,06	19,25
0,5	33,24	32,34	31,4
0,25	40,53	39,81	39,28
0,125	48,86	48,42	47,93
0,063	55,34	54,87	54,64
Toplam	199,55	196,6	193,46
İncelik Modülü	2,00	1,97	1,93
	Ortalama		1,97



Şekil 3.1. Nevşehir pomzasına ait elek analizi grafiğı



Şekil 3.2. Nevşehir pomzasının görünümü

Çizelge 3.2. Nevşehir pomzasının BHA ve su emme değerleri

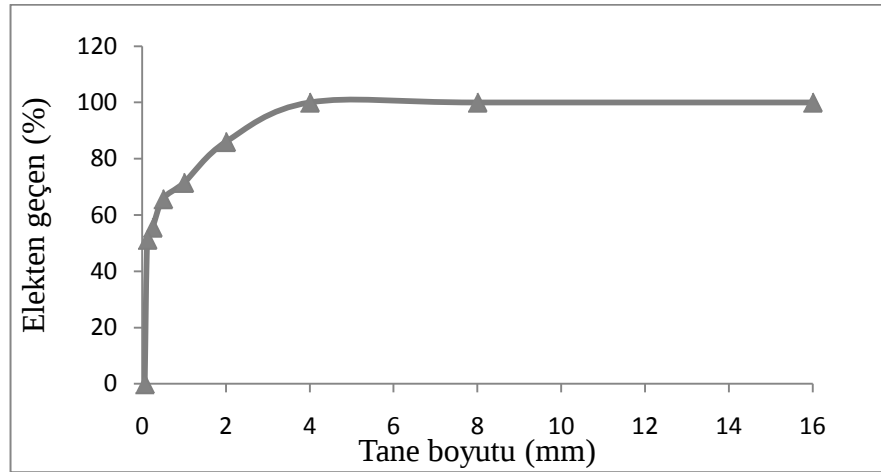
Elek Açıklığı (mm)	BHA (kg/m ³)	Su Emme Oranı (%)
-4+2	425,50	34,7
-2+1	506,72	28,2
-1+0,5	603,30	23,1
-0,5+0,25	656,45	17,3
-0,25	715,22	14,6

3.1.2. İgnimbirit

Kısa ve öz tanımıyla piroklastik akıntı çökellerine “İgnimbirit” adı verilmektedir. İgnimbiritler çoğunlukla riolitlerin kimyasal bileşimine benzer bir bileşime sahiptir. Bazen dasitik, trakitik ve hatta fonolitik bileşim de gösterebilirler. Piroklastik akıntı çökellerinin herhangi bir tabakalanma göstermemeleri, kötü boylanmalı olmaları, camsı piroklastik malzemenin bol olarak bulunması, özellikle toz büyüklüğündeki taneciklerin birbirleriyle kaynaşmış olmaları, kayaçların gevrek ile çok sert-kompakt arasında değişen dokusal özellik göstermeleri tipiktir. Bir İgnimbirit profilinin orta

kısımlarında bileşenler taban ve üst kısımlara doğru kıyasla daha yoğun bir şekilde birbirleriyle kaynaşmışlardır. İgnimbiritler açık renkli kayalardır. Jeolojik tarihçe içinde gelişmiş, nispeten yaşlı ignimbiritler gri, kırmızımsı kahverengi veya yeşilimsi renkler de gösterebilirler. İgnimbiritler pomza parçaları, volkan camı kıymıkları dışında kuvars mineralleri, sanidin, plajyoklas, biyotit, hornblend vd. mineraller de içerirler (Şapçı, 2008).

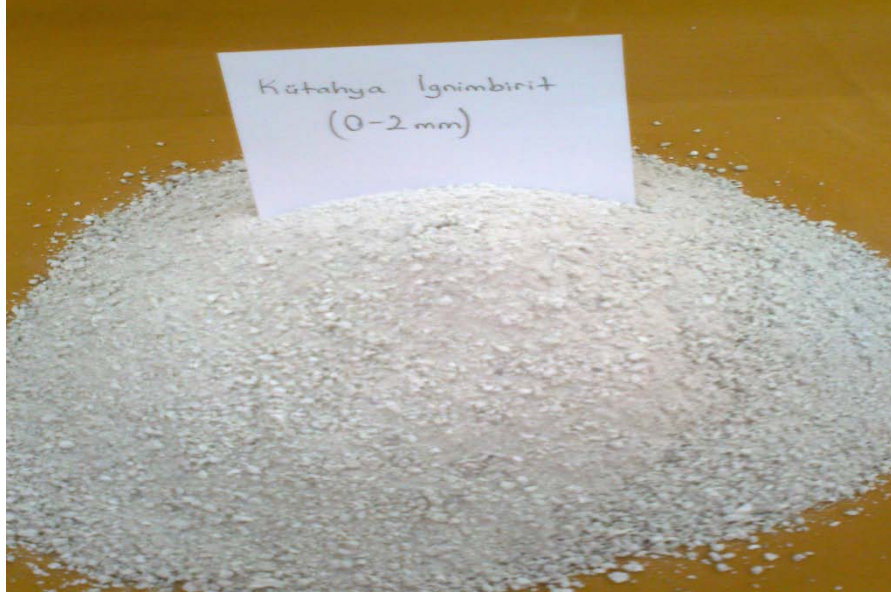
Bu tez çalışması kapsamında kullanılan ignimbirit kayacı Kütahya bölgesinden getirilmiştir. 0-2 mm boyutlarında kullanılan ignimbirit agregasının kuru birim hacim ağırlığı 700 kg/m^3 tür. Şekil 3.3.'te ignimbirit agregası için elek analizi grafiği verilmiştir.



Şekil 3.3. Kütahya ignimbirit agregasına ait elek analizi grafiği

Çizelge 3.3. Kütahya ignimbirit agregasının BHA ve su emme değerleri

Elek Açıklığı (mm)	BHA (kg/m^3)	Su Emme Oranı (%)
-4+2	587,45	39,2
-2+1	612,14	30,1
-1+0,5	699.41	27.3
-0,5+0,25	787.13	21,3
-0,25	875.10	18,0



Şekil 3.4. Kütahya ignimbirit agregasının görünümü

3.1.3. Genleştirilmiş perlit

Tez çalışmasında mineral katkı malzemesi olarak kullanılan genleştirilmiş perlit (GP) agregası ticari olarak ince boyut diye tabir edilir ve maksimum tane boyutu 1 mm'dir. Genleştirilmiş perlit agrega, İzmir Menderes bölgesinden temin edilmiştir. Çizelge 3.2.'te perlit agrega örneklerinin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Genleştirilmiş perlit agregasının görünümü

Çizelge 3.4. Genleştirilmiş perlit agregası örneklerinin teknik özellikleri
(Gündüz vd., 2006)

Özellikler	Genleştirilmiş Perlit Agregası	Birim
Renk	Beyaz	-
Sertlik (MOHS ölçeği)	5-5,5	-
pH	6,6-8	-
Özgöl Kütle	2,300	gr/cm ³
Kuru Birim Hacim Ağırlık	40-220	kg/m ³
Su Emme	40-60	%
Doluluk Oranı	1,80-9,60	%
Gerçek Porozite	98,2-90,4	%
Zararlı Maddeler Analizi	Yok	-
Kükürt Analizi	0,34	%
Yapısal Bozunma	870	°C
Erime Noktası	1100	°C
Ateşe Dayanım	Yanmaz	-
Ateşe Geciktirme	3	Saat
Özgöl Isı Kapasitesi	0,200-0,215	kcal/kg°C
Isıl İletkenlik	0,040-0,050	W/mK
Ses Geçiş Katsayısı	0,25	-
Ses Yutuculuk	35-40	dB

3.1.4. Portland çimentosu

Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket, bimsblok vs.) yapıştırıcıda kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırıcı özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekirse demir cevheri ve kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500°C’ de döner fırında pişirilir. Meydana gelen ürüne “klinker” denir. Daha sonra

klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5 oranında) çok ince toz halinde öğütülerek Portland çimentosu elde edilir (Tolgay vd., 2004).

Tez çalışması kapsamında Göлтаş Gölleler Bölgesi Çimento Fabrikası'nın ürettiğı TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fabrika tarafından belirlenen fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'te verilmiştir.

Çizelge 3.2. CEM I 42,5 R Portland çimentosunun fiziksel özellikleri

Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	3.10
Priz Başlangıcı (min-dakika)	250
Hacim Genleşmesi (mm)	3
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	14.7
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	26.9
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	43.0

Çizelge 3.3. CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	%
SiO ₂	20,65
Al ₂ O ₃	5,60
Fe ₂ O ₃	4,13
CaO	61,87
Na ₂ O	0,14
K ₂ O	0,83
MgO	2,60
K.K.	1,39

3.1.5. Uçucu kül

Uçucu kül, yakıt olarak kullanılan, termik santrallerde ani ve yüksek yanma verimi elde edilmesi amacıyla öğütülen kömürün 1100-1700 °C aralığında yakılması ile elde edilen, bünyesinde yüksek miktarda silisin yanı sıra demir, alüminyum ve kalsiyum oksit bulunduran bir puzzolandır. 200 no'lu elekten (ASTM elek açıklığı 74µm) takriben %75 geçecek şekilde ince, renk ve yapı bakımından çimentoya çok benzeyen, ortalama 10 – 40 µm dane çapı ve 3000 – 5000 cm²/gr özgül yüzey alanına sahip olması nedeniyle baca gazları ile beraber yükselerek siklon ve elektrofiltre vasıtasıyla toplanarak depo edilebilen, kalsiyum oksit ve/ya su ile bir araya geldiğinde çimentolaşma özelliği olan bir sanayi atık yan ürünüdür (Döven, 1998).

Erdoğan (1997)'a göre uçucu külün karbon içeriğinin fazla olması, hammadde olarak kullanıldığı yapı malzemesinin donma- çözölmeye karşı olan dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Uçucu külün özgül ağırlığı ortalama 1,9 – 2,9 g/cm³, kuru birim hacim ağırlığı 800 – 950 kg/m³ aralığındadır. Tez çalışması kapsamında Yatağan termik santraline ait uçucu kül mineral katkı olarak kullanılmıştır. Çizelge 3.5.'te kullanılan küle ait kimyasal analiz sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Uçucu külün kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Bileşen	%
SiO ₂	50,77
Al ₂ O ₃	21,13
Fe ₂ O ₃	6,17
CaO	12,44
MgO	4,53
SO ₃	1,33
Na ₂ O	0,24
K ₂ O	2,54

3.1.6. Su

Yapılan deneysel çalışmalarda, Süleyman Demirel Üniversitesi - Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi'ndeki şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Hafif beton kiremit üretiminde kullanılacak hammaddelerden pomza agregası Nevşehir bölgesinden, ignimbirit agregası Kütahya bölgesinden, genleştirilmiş perlit agregası İzmir Menderes bölgesinden getirilmiştir. Çimento Göltaş Göller Bölgesi Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. Tüvenan olarak getirilen agregalar önce Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında ufalanarak deneysel çalışmalarda kullanılacak boyuta (0-2 mm) indirilmiştir. Sınıflandırılan agregalara Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında birim hacim ağırlık, tane boyut dağılımı, su emme oranı analizi ve incelik modülü analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgular materyal kısmında verilmiştir.

Deneysel çalışmalar 4 ana bölümden oluşmaktadır ve aşağıda sırasıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

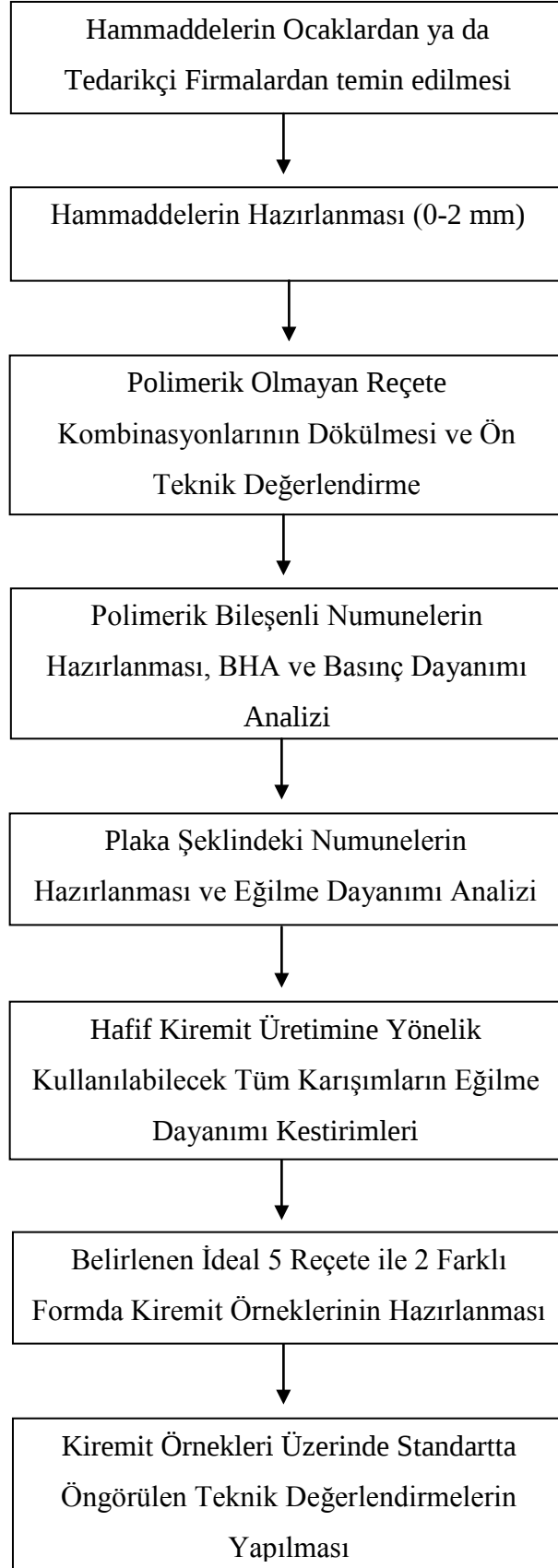
İlk aşamada hafif beton kiremit üretimi için ön teknik analiz değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmada ilk önce polimerik olmayan bir seri döküm yapılmıştır. 5*5*5 cm boyutlarındaki küp beton kalıpları kullanılmıştır. Dökümler yapılırken vibrasyon cihazı kullanılmamış ve harçların karıştırma süreleri sabit tutulmuştur. Bu ön çalışma, hafif beton kiremit üretimine yönelik ön belirleme ve kontrol reçeteleri oluşturmak için yapılmıştır. 28 gün sonunda numunelere birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı testleri yapılarak agrega türünün ve çimento oranının numuneler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

İkinci aşamada; ön teknik analiz değerlendirmesinden yola çıkılarak polimerik bileşenli hafif beton kiremit harçları tasarlanmış ve bir seri döküm çalışması yapılmıştır. Bu aşamada kullanılan beton kalıpları ve karıştırma süreleri ilk aşamadaki ile aynıdır. Bu çalışmada üretilen numuneler üzerinde birim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Bu aşamada elde edilen veriler kontrol harç karışımları olarak değerlendirilmiştir.

Kiremit üretiminde ana kriter olan eğilme dayanımının tespiti için üçüncü aşamada bir seri önceden belirlenmiş karışım kombinasyonları bağlamında dolu plaka örnekleri üretilmiş ve 20*10*2 cm'lik kalıplar kullanılmıştır. Üretilen numuneler üzerinde eğilme dayanımı testleri yapılarak elde edilen bulgular ile bu karışımlara ait basınç dayanımları arasında kombinasyonel bir ilişki kurulabilmesi için ISRM referanslarında belirtilen yöntemle göre bir seri istatistiksel analiz yapılmıştır. Bu bulgulardan yararlanılarak hafif kiremit üretimine yönelik kullanılabilecek tüm karışımların eğilme dayanımı kestirimleri oluşturulan bir regrasyonel eşitlik ile tanımlanmıştır.

Son aşamada elde edilen tüm deneysel bulgular ışığında hafif beton kiremit üretimi için idealize edilecek en az 5 karışım kombinasyonu bağlamında 2 ayrı geometrik formda kiremit örnekleri dökülmüştür. Bu kiremit örneklerinin standartta aranan teknik parametreler bazında genel değerlendirmeleri yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında takip edilen metodoloji bir akış diyagramı şeklinde gösterilmiştir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Deneysel çalışmalarda takip edilen metodolojiye ait akış diyagramı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez çalışması kapsamında 2 farklı endüstriyel hammaddenin çimento, gerekli mineral ve toz polimer katkıları ile farklı kombinasyonlarda hafif beton kiremit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu bölümde, tez çalışması süresince yürütülen deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen bulgular sırasıyla irdelenmiştir.

Kullanılan materyallerle ilgili bulgular bir önceki bölümde verildiği için burada tekrar verilmemiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan reçetelerin yalnızca çimento oranları bu bölümde verilmiş, 5 adet örnek reçete EK 1’de verilmiştir.

4.1. Hafif Beton Kiremit Üretimi İçin Kontrol Numunelerinin Oluşturulması

Tez çalışmasının ilk aşamasını bu bölüm oluşturmaktadır. Yapılan araştırma ve analizler ile tez çalışmasında kullanılacak materyallerin standartlara uygunluğu ve geçmişteki tecrübeler ışığında sahip olması gereken teknik özellikler (BHA, elek analizi vb.) belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmalarda kullanılan hammaddelerin tümünün hafif beton kiremit üretimi için uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

İlk aşamada hafif beton kiremit üretimi için kontrol numuneleri oluşturularak aranan teknik özellikleri sağlayacak muhtemel reçete formülasyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu aşama 3 bölümden, her bölüm ise 3 farklı seriden oluşmaktadır. Birinci bölüm reçetelerinde bileşen olarak Nevşehir Pomzası (NP), Kütahya İğnimbirit agregası (Kİ) ve Portland çimentosu kullanılmıştır. Her seride çimento oranı ağırlıkça sırasıyla %8, %10, %15, %20, %25 ve %30 olarak belirlenmiş ve agrega türleri değişiklik göstermiştir. Her seride 6 adet reçete ile döküm yapılmıştır.

Birinci bölümün ilk serisinde kullanılacak toplam hafif agregası ağırlıkça %50 NP-%50 Kİ, ikinci seride %40 NP-%60 Kİ ve üçüncü seride ise %30 NP-%70 Kİ olarak belirlenmiştir (her seri için çimento oranları aynı). Bu bölümde toplam olarak 18 adet reçete ve her reçete için 3'er adet 5*5*5 cm'lik küp numuneler dökülmüştür. Bu bölümde üretilen numuneler Pİ1, Pİ2,...Pİ18 olarak kodlanmıştır.

İkinci bölümde agregaların türü ve ağırlıkça oranları birinci bölümle tamamen aynı olmakla beraber her bir reçetede çimento oranının % 15'lik kısmı uçucu kül ile yer değiştirmiştir. Bu bölümde de 18 adet reçete ilk bölümle aynı şartlarda dökülmüştür. Bu bölümde üretilen numuneler PİK1, PİK2,...PİK18 olarak kodlanmıştır.

Üçüncü bölümde çimento oranları ilk bölümle aynı tutulmuş, her bir reçeteye mineral katkı olarak kütlece sabit %5 genleşmiş perlit (GP) ilave edilmiştir. Bu bölümde eklenen mineral katkı (GP), hafif agregalar ile yer değiştirmek suretiyle kullanılmış olup bu elde edilen numuneler ise PİP1, PİP2,...PİP18 olarak kodlanmıştır.

Deneyisel çalışmaların bu ilk aşamasında çimento oranları ağırlıkça %8 ila %30 arasında değişen toplam 54 adet reçete kullanılmış ve 162 adet 5*5*5 cm'lik küp numune elde edilmiştir.

4.2. Kontrol Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyisel Çalışmalar

4.2.1. Birim hacim ağırlık (BHA) analizi

Yalıtımlı hafif beton kiremit üretiminde kullanılacak reçete bileşenlerinin belirlenmesinde yapılan ilk analiz, üretilen malzemenin ısı performansının belirlenmesinde etken parametrelerden biri olan birim hacim ağırlık analizidir. Bu

analiz tüm deneysel süreçte doğal ortam koşullarında 28 günlük numuneler üzerinde ve TS EN 772-13 standardında öngörüldüğü şekilde yapılarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Numune boyutlarının ölçümünde elektronik kumpas kullanılmıştır. Çizelge 4.1. ve 4.2.'de ilk aşamada elde edilen BHA analizi sonuçları verilmiştir.

$$BHA = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

BHA : Birim hacim ağırlık, (kg/m³)

m : Doğal ortam şartlarındaki ağırlık, (kg)

V : Hacim, (m³)

Çizelge 4.1. İlk aşamada elde edilen BHA analizi sonuçları

(Çimento oranları %8-10-15)

%8 ÇİMENTO KULLANIMI		%10 ÇİMENTO KULLANIMI		%15 ÇİMENTO KULLANIMI	
NUMUNE	BHA (kg/m ³)	NUMUNE	BHA (kg/m ³)	NUMUNE	BHA (kg/m ³)
Pİ1	952,00	Pİ2	962,00	Pİ3	1007,00
Pİ7	938,00	Pİ8	953,00	Pİ9	1050,00
Pİ13	949,00	Pİ14	1013,00	Pİ15	1023,00
PİK1	943,00	PİK2	946,00	PİK3	1007,00
PİK7	945,00	PİK8	935,00	PİK9	1025,00
PİK13	934,00	PİK14	948,00	PİK15	1011,00
PİP1	728,00	PİP2	715,00	PİP3	850,00
PİP7	697,00	PİP8	711,00	PİP9	749,00
PİP13	686,00	PİP14	707,00	PİP15	781,00

Çizelge 4.2. İlk aşamada elde edilen BHA analizi sonuçları

(Çimento oranları %20-25-30)

%20 ÇİMENTO KULLANIMI		%25 ÇİMENTO KULLANIMI		%30 ÇİMENTO KULLANIMI	
NUMUNE	BHA (kg/m ³)	NUMUNE	BHA (kg/m ³)	NUMUNE	BHA (kg/m ³)
Pİ4	1095,00	Pİ5	1138,00	Pİ6	1207,00
Pİ10	1097,00	Pİ11	1116,00	Pİ12	1247,00
Pİ16	1117,00	Pİ17	1164,00	Pİ18	1230,00
PİK4	1123,00	PİK5	1138,00	PİK6	1214,00
PİK10	1084,00	PİK11	1124,00	PİK12	1193,00
PİK16	1051,00	PİK17	1096,00	PİK18	1192,00
PİP4	983,00	PİP5	1034,00	PİP6	1111,00
PİP10	793,00	PİP11	828,00	PİP12	878,00
PİP16	814,00	PİP17	868,00	PİP18	890,00



Şekil 4.1. BHA analizinden bir görünüm

4.2.2. Basınç dayanımı analizi

Numunelerin mekanik (basınç) dayanımı analizi TS EN 772-1 standardına uygun olarak yapılmış ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen numunelerin boyutları 5*5*5 cm'dir. Deneylerde tek eksenli basınç dayanımı için hidrolik beton presi kullanılmıştır. Elde edilen 28 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte;

σ_c : Basınç dayanımı, kg/cm²

F_c : Yenilme yükü, kgf

A : Yüzey alanı, cm²

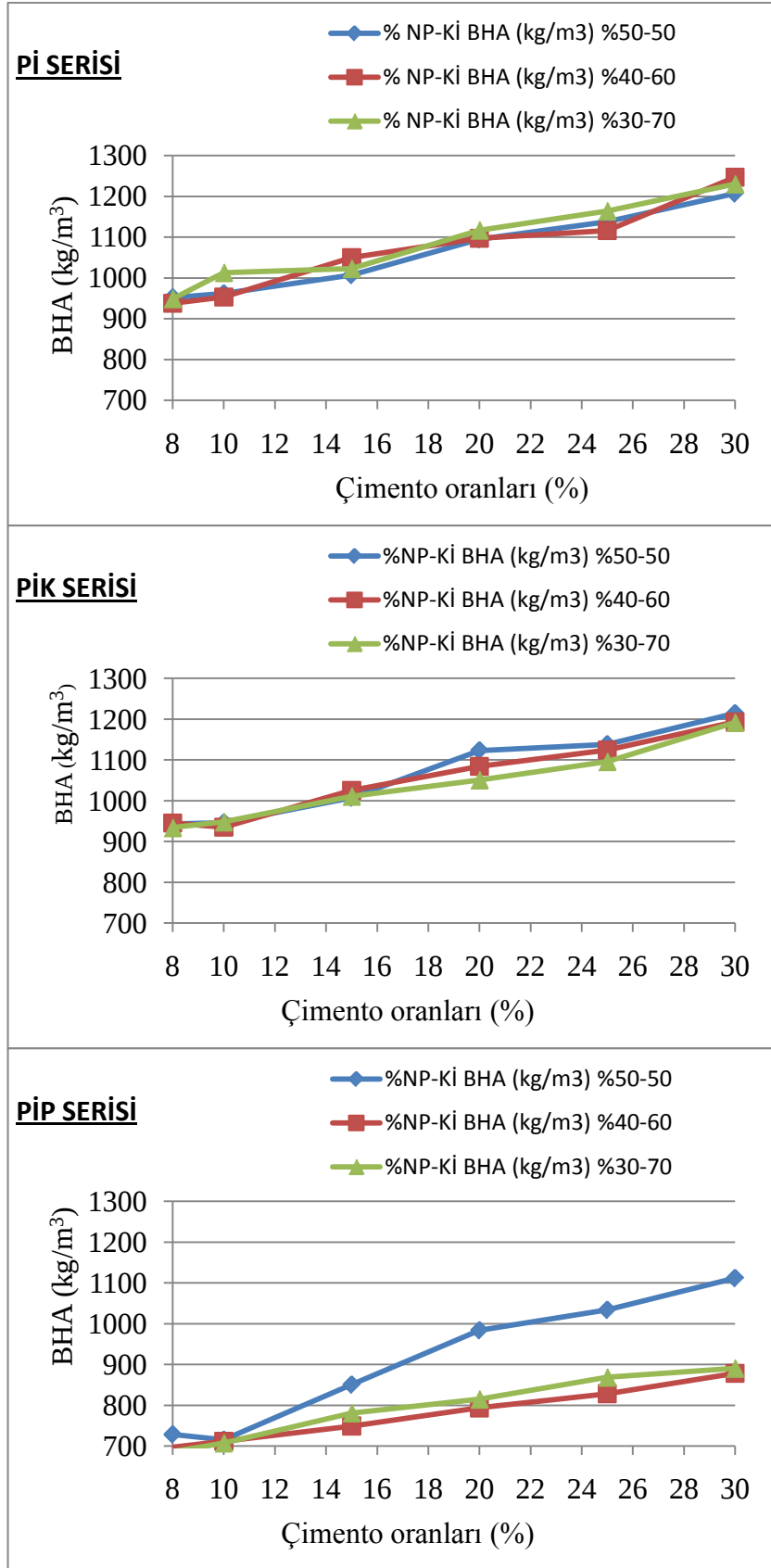


Şekil 4.2. Tek eksenli basınç dayanımı analizi

Çizelge 4.3. İlk aşama numunelerine ait 28 günlük basınç dayanımı sonuçları

%8 ÇİMENTO KULLANIMI		%10 ÇİMENTO KULLANIMI		%15 ÇİMENTO KULLANIMI	
Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)
Pİ1	4,35	Pİ2	5,41	Pİ3	13,92
Pİ7	3,87	Pİ8	3,45	Pİ9	15,16
Pİ13	3,07	Pİ14	3,76	Pİ15	9,35
PİK1	3,81	PİK2	5,35	PİK3	12,34
PİK7	5,13	PİK8	4,07	PİK9	10,99
PİK13	3,47	PİK14	4,15	PİK15	8,58
PİP1	2,83	PİP2	3,35	PİP3	16,90
PİP7	2,17	PİP8	3,24	PİP9	5,82
PİP13	2,00	PİP14	2,51	PİP15	5,87
%20 ÇİMENTO KULLANIMI		%25 ÇİMENTO KULLANIMI		%30 ÇİMENTO KULLANIMI	
Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)
Pİ4	31,76	Pİ5	56,64	Pİ6	82,94
Pİ10	25,10	Pİ11	41,06	Pİ12	68,90
Pİ16	24,31	Pİ17	38,95	Pİ18	64,30
PİK4	25,27	PİK5	50,23	PİK6	67,88
PİK10	19,38	PİK11	29,75	PİK12	61,50
PİK16	16,63	PİK17	29,04	PİK18	47,91
PİP4	28,21	PİP5	42,74	PİP6	61,23
PİP10	11,35	PİP11	15,11	PİP12	22,76
PİP16	12,01	PİP17	19,35	PİP18	24,84

Yapılan ilk aşama çalışmalarının amacı hafif beton kiremit üretimi için kullanılabilen reçete formülasyonlarının belirlenebilmesi için kontrol örneklerinin oluşturulması, çimento oranlarının, agrega ve katkı türlerinin BHA ve basınç dayanımı üzerine etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla yapılan teknik analiz bulguları Şekil 4.3., 4.4. ve 4.5.'te verilmiş ve gerekli yorumlanmıştır.



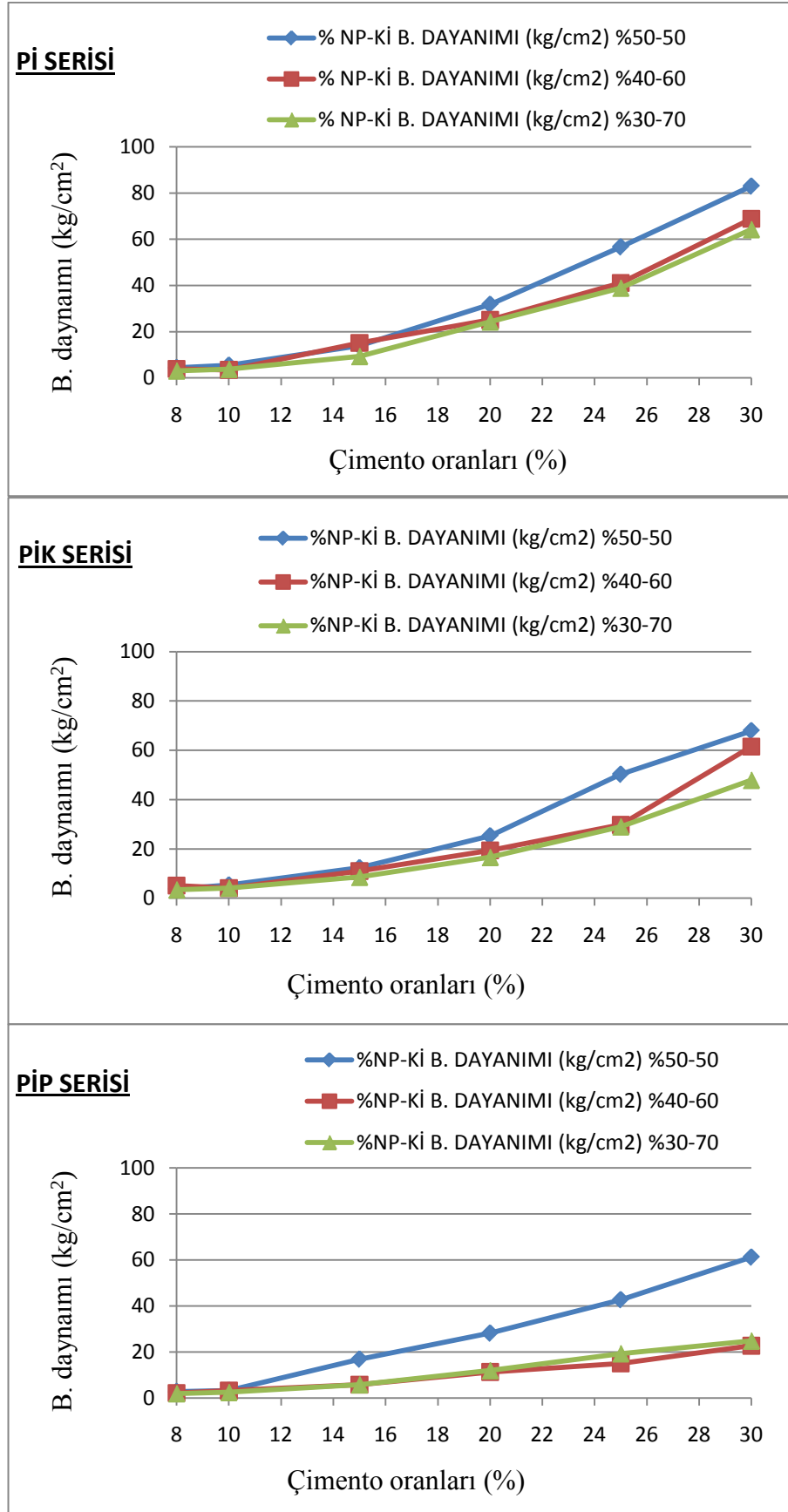
Şekil 4.3. Çimento oranları ile BHA arasındaki ilişkiler

Şekil 4.3.'deki grafikler incelendiğinde, çimento oranları arttığında BHA değerlerinin de arttığı gözlemlenmektedir. Tez çalışmasının başında hafif beton kiremidin BHA değerleri için öngörülen sınır değerler 800 - 1200 kg/m³ tür. BHA değerinin 800 kg/m³ ten az olması durumunda arzu edilen eğilme dayanım değerlerinin sağlanamayacağı, 1200 kg/m³ ten fazla olması durumunda ise yeteri kadar hafif olmayacağı öngörülmüştür. Grafikler incelenecek olursa Pİ ve PİK kodlu serilerde kullanılan tüm çimento oranlarında istenilen değerlerin sağlandığı, PİP serisinde ise sadece 3 reçetede (PİP4, PİP5 ve PİP6) bu durumun sağlanabildiği, diğerlerinde belirlenen sınır değer çok altında çıktığı görülmektedir.

Grafiksel analizden elde edilecek bir diğer sonuç ise, Kİ agregasının NP agregasına göre yüzdesel oranı arttıkça az bir miktarda da olsa BHA değerlerinin düştüğüdür. Bu durum Kİ agregasının birim hacim ağırlığının ve yoğunluğunun NP agregasına göre daha yüksek, gözenekliliğinin daha düşük olması ile açıklanabilmektedir.

Şekil 4.4.'deki grafikler incelendiğinde ise, çimento oranları arttığında basınç dayanımlarının da arttığı anlaşılmaktadır. Çalışmaların başında hedeflenen tek eksenli basınç dayanımı sınır değeri 20 kg/cm²'dir. Bu sınır değer altında kalan numunelerin eğilme dayanım performansları düşük çıkacağından maliyet ve BHA değerleri izin verebildiği ölçüde basınç dayanımlarının 20 kg/cm²'nin üzerinde olması istenmektedir. Pİ ve PİK kodlu serilerde çimento oranı %20'yi aştığında ancak istenilen değerleri sağlamakta olduğu, fakat PİP kodlu seride yalnızca PİP4, PİP5 ve PİP6 kodlu reçetelerde bu değer sağlandığı anlaşılmaktadır. Bulgulardan elde edilecek sonuçlardan birisi genleşmiş perlit (GP) agregasının BHA değerlerini ciddi bir şekilde düşürdüğü, fakat buna bağlı olarak basınç dayanımlarında da ciddi bir kayba yol açtığıdır. GP agregasının birim hacim ağırlığı 35-160 kg/m³ arasında olduğundan mekanik dayanımı çok zayıftır.

PİK kodlu seride mineral katkı olarak uçucu kül kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde uçucu külün puzolanik aktivitesi sayesinde mukavemeti çok düşürmediği anlaşılmaktadır. Ayrıca uçucu kül katkılı harçların işlenebilirliğinin daha kolay olduğu çalışmalar esnasında anlaşılan bir diğer husustur.



Şekil 4.4. Çimento oranları ile 28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişkiler

Grafikler, agrega türlerinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi açısından incelenecek olursa, NP agregasının yüzdesel kullanım oranı arttıkça, ya da başka bir ifadeyle Kİ agregası kullanım oranı azaldıkça basınç dayanımı değerlerinin daha yüksek çıktığı görülmektedir. Kİ agregasının tane dayanımı NP agregasına göre daha düşüktür. Bunun sonucu olarak basınç dayanımlarında da farklılıklar ortaya çıkmıştır.

4.3. Hafif Beton Kiremit Üretimi İçin Polimerik Harç Analizi

Tez çalışmasının ikinci aşamasında hafif beton kiremit üretimi için polimerik harç analizi yapılmış ve ilk aşama ile benzer olarak uçucu kül ve genleştirilmiş perlit katkısının numuneler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İlk aşama çalışmalarından elde edilen bulgular yardımıyla reçeteler tasarlanmış, toz polimer katkılar ile kompozit bir yapı elde edilerek kiremitlerin su ve ses yalıtımı gibi performanslarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

İkinci aşama deneysel çalışmalar 3 bölümden, her bölüm kendi içinde 4 seriden ve her seri 6 farklı reçeteden oluşmaktadır. Yani bu aşamada toplam 72 adet farklı reçete çalışması yapılmış ve her reçeteden 4'er numune laboratuvar ortamında üretilmiştir. Tasarlanan polimerik harçlar mekanik bir mikser ile 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. 5*5*5 cm'lik küp beton kalıplarının kullanıldığı bu çalışmada harcı sıkıştırmak maksadıyla herhangi bir titreşim cihazı kullanılmamıştır. Harçların kalıplara yerleştirilmesinde titiz davranılmış ve bütün reçeteler aynı şekilde dökülmüştür. Reçetelerde ağırlıkça çimento oranları %15, %18, %23, %28, %33 ve %40 olarak belirlenmiştir. Bir önceki çalışmada istenilen basınç dayanımlarının sağlanabilmesi için çimento oranlarının %20 den fazla olması gerektiği sonucuna varıldığı için bu çalışmada çimento oranı alt limiti %15 olarak belirlenmiş ve belirli aralıklarla arttırılmıştır.

Birinci bölümde kiremit harcı iç bileşeni olarak NP agregası, Kİ agregası, çimento (CEM I 42,5) ve toz polimer katkı kullanılmıştır. Toz polimer katkı olarak su iticilik ve priz hızlandırma aktivasyonu sağlamak amacıyla su bazlı bir toz polimer ajan kullanılmıştır. Bu bölümde PPİ koduyla başlayan 1'den 24'e kadar farklı reçeteler yer almaktadır. İlk seri 6 adet reçeteden oluşmakta ve ağırlıkça çimento oranları sırasıyla %15-18-23-28-33-40'tır. Toz polimer katkı ve çimento dışında kalan kısım agregadır. Bu ilk seride kullanılan hafif agregalar ağırlıkça %50 NP ve %50 Kİ agregasıdır. İkinci seride çimento oranları ve polimer katkı miktarı aynı kalmak koşulu ile agrega kullanım oranları %40 NP ve %60 Kİ agregası olacak şekilde tasarlanmıştır. Üçüncü seri de aynı mantıkla tasarlanmış ve agrega oranları %30 NP ve %70 Kİ olarak belirlenmiştir. Son seride agrega oranları %0 NP ve %100 Kİ agregası olacak şekilde belirlenmiş, yani agrega türünün kompozit yapı üzerindeki etkisini anlamak için kontrol serisi elde edilmiştir. Bu bölümde çalışılan 24 reçeteye bakıldığında, her seride ağırlıkça Kİ agregasının yüzdesel oranı bir önceki seriye göre artarak ilerlemektedir.

İkinci bölümde de 24 adet farklı reçete kombinasyonu aynı mantıkla belirlenmiştir. İlk bölümden tek farkı her reçetede çimento miktarının ağırlıkça %15'i uçucu kül ile yer değiştirmiştir. Bu bölümde kodlama PPİK1, PPİK2,....PPİK24 olacak şekilde yapılmıştır.

Üçüncü bölüm de ilk iki bölümle aynı mantık izlenerek tasarlanmıştır. Bu bölümde oluşturulan reçetelerdeki tek farklılık mineral katkı olarak her birinde sabit olmak koşulu ile ağırlıkça %5 GP kullanılmasıdır. Çimento oranları ilk bölüm ile aynı kalmış ve GP katkısı agrega(lar) ile %5 yer değiştirmiş ve uçucu kül katkısı kullanılmamıştır. Bu bölümde kodlama PPİP1, PPİP2,....PPİP24 olacak şekilde yapılmıştır.

Özet olarak tanımlamak gerekirse;

- PPI kodlu numunelerde çimento oranları %15-18-23-28-33-40 ve agrega oranları ilk seride %50 NP-%50 KI, ikinci seride %40 NP-%60 KI, üçüncü seride %30 NP-%70 KI, son seride %0 NP-%100 KI tir.
- PPIK kodlu numunelerin PPI kodlu numunelerden tek farkı çimento oranlarının %15'i uçucu kül ile yer değiştirmiştir.
- PPIP kodlu numunelerin ilk bölümden farkı her bir reçetede ağırlıkça %5 GP katkısı hafif agrega yerine kullanılmıştır.

Üretilen numunelere ilk aşamada olduğu gibi 28 gün sonunda BHA analizi ve basınç dayanımı analizi yapılmıştır. Doğal ortam koşullarında şartlandırılan numuneler ile ilgili bulgular Çizelge 4.4., 4.5. ve 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Basınç dayanımı analizi

Çizelge 4.4. PPI kodlu çalışmalarına ait deneysel bulgular

Numune	BHA Ort. (kg/m ³)	Basınç Dayanımı Ort. (kg/cm ²)	Basınç Dayanımı Ort. (Mpa)
PPİ1	813,61	14,08	1,38
PPİ2	734,32	11,07	1,08
PPİ3	792,16	15,67	1,54
PPİ4	829,73	23,7	2,32
PPİ5	854,90	23,38	2,29
PPİ6	898,73	35,75	3,5
PPİ7	796,11	11,34	1,11
PPİ8	772,90	10,51	1,03
PPİ9	787,91	12,33	1,21
PPİ10	841,85	17,51	1,72
PPİ11	872,73	24,98	2,45
PPİ12	931,49	39,43	3,86
PPİ13	816,40	11,32	1,11
PPİ14	813,31	11,83	1,16
PPİ15	866,41	15,87	1,56
PPİ16	852,51	16,43	1,61
PPİ17	848,48	21,28	2,09
PPİ18	918,53	33,54	3,29
PPİ19	861,22	11,7	1,15
PPİ20	822,06	11,48	1,13
PPİ21	852,78	13,1	1,28
PPİ22	883,85	16,15	1,58
PPİ23	881,50	16,46	1,61
PPİ24	967,49	29,26	2,87

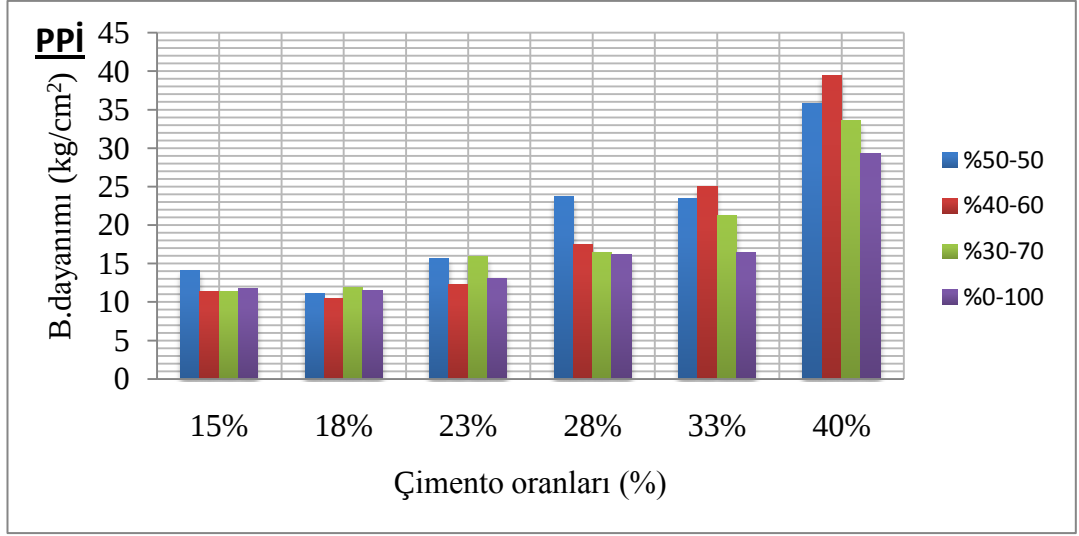
Çizelge 4.5. PPİK kodlu çalışmalarına ait deneysel bulgular

Numune	BHA Ort. (kg/m ³)	Basınç Dayanımı Ort. (kg/cm ²)	Basınç Dayanımı Ort. (Mpa)
PPİK1	801,33	11,42	1,12
PPİK2	859,88	14,23	1,39
PPİK3	885,35	16,56	1,62
PPİK4	901,34	23,15	2,27
PPİK5	964,77	38,06	3,73
PPİK6	947,36	40,82	4,00
PPİK7	839,73	14,74	1,44
PPİK8	893,74	18,41	1,80
PPİK9	934,72	23,80	2,33
PPİK10	960,24	31,89	3,13
PPİK11	992,62	44,14	4,33
PPİK12	1026,38	57,35	5,62
PPİK13	862,05	16,05	1,57
PPİK14	860,93	15,81	1,55
PPİK15	924,77	21,20	2,08
PPİK16	889,43	27,42	2,69
PPİK17	951,31	38,77	3,80
PPİK18	987,45	49,95	4,89
PPİK19	884,23	14,05	1,38
PPİK20	879,29	16,20	1,59
PPİK21	916,78	18,65	1,83
PPİK22	926,59	20,64	2,02
PPİK23	938,85	27,05	2,65
PPİK24	980,69	35,37	3,47

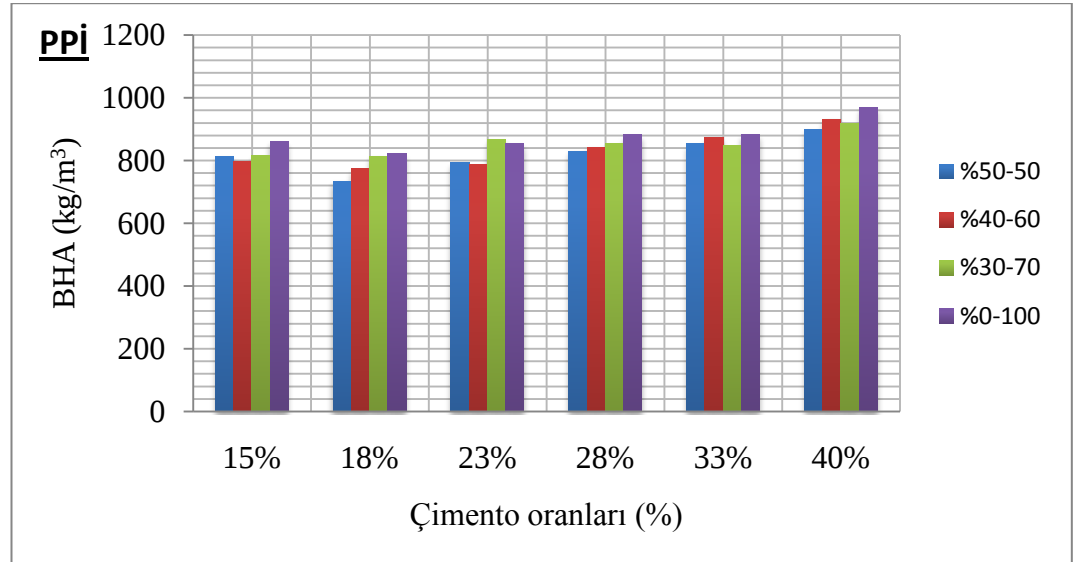
Çizelge 4.6. PPİP kodlu çalışmalarına ait deneysel bulgular

Numune	BHA Ort. (kg/m³)	Basınç Dayanımı Ort. (kg/cm²)	Basınç Dayanımı Ort. (Mpa)
PPİP1	673,57	9,60	0,94
PPİP2	647,41	8,78	0,86
PPİP3	676,95	13,73	1,35
PPİP4	689,16	18,63	1,83
PPİP5	713,81	23,93	2,35
PPİP6	719,41	29,63	2,90
PPİP7	621,73	6,04	0,59
PPİP8	629,74	6,97	0,68
PPİP9	655,07	10,01	0,98
PPİP10	653,03	12,42	1,22
PPİP11	676,34	17,11	1,68
PPİP12	711,06	21,89	2,14
PPİP13	600,95	5,10	0,50
PPİP14	607,11	6,10	0,60
PPİP15	620,51	8,32	0,82
PPİP16	649,98	9,54	0,94
PPİP17	661,91	13,79	1,35
PPİP18	712,83	20,38	2,00
PPİP19	654,38	6,78	0,66
PPİP20	683,71	8,23	0,81
PPİP21	661,71	7,03	0,69
PPİP22	660,84	7,91	0,78
PPİP23	692,56	10,60	1,04
PPİP24	693,16	14,20	1,39

Bulgular ile ilgili karşılaştırmalı grafiksel analizler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 4.6. PPI kodlu numunelerin 28. gün basınç dayanımlarının karşılaştırılması

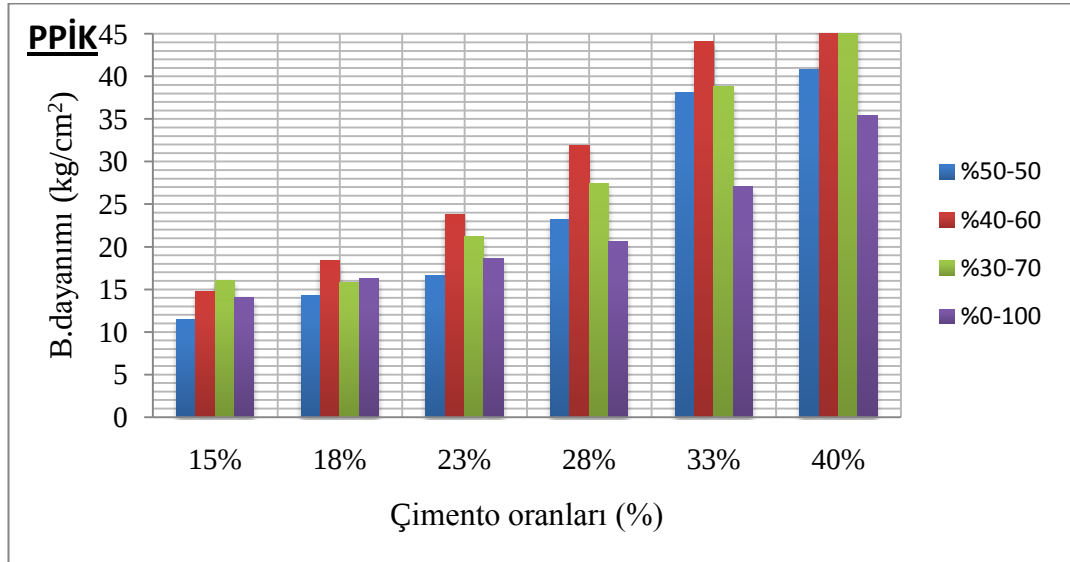


Şekil 4.7. PPI kodlu numunelerin 28. gün BHA' larının karşılaştırılması

Şekil 4.6. incelendiğinde, PPI kodlu numuneler için çalışmanın başında hedeflenen minimum basınç dayanımı olan 20 kg/cm^2 'lik değerın ağırlıkça çimento oranı %28'i geçtiğinde sağlanabildiği anlaşılmaktadır. Başlangıç çalışmalarında elde edilen bulgularda ise çimento oranının %20'yi geçmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. %8'lik düşüşün sebebi toz polimer katkılarıdır. Fakat kullanılan katkıların kompozitin diğer teknik özelliklerini iyileştirdiğinden %8'lik fark göz ardı edilebilir. Çimento oranları arttığında numunelerin gösterdiği basınç dayanımı değerleri de artmaktadır.

Grafikten çıkarılacak bir diğer sonuç ise NP agregasının reçetelerdeki yüzdesel oranı düştükçe nihai basınç dayanımı değerleri de düşmektedir. Kİ agregası kullanım oranı arttıkça basınç dayanımlarında %10-20 arasında azalma söz konusudur. Ancak %33 ve %40 çimento kullanım oranlarında, agrega dağılımları %40 NP - %60 Kİ agregası olacak şekilde üretilen numunelerde en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

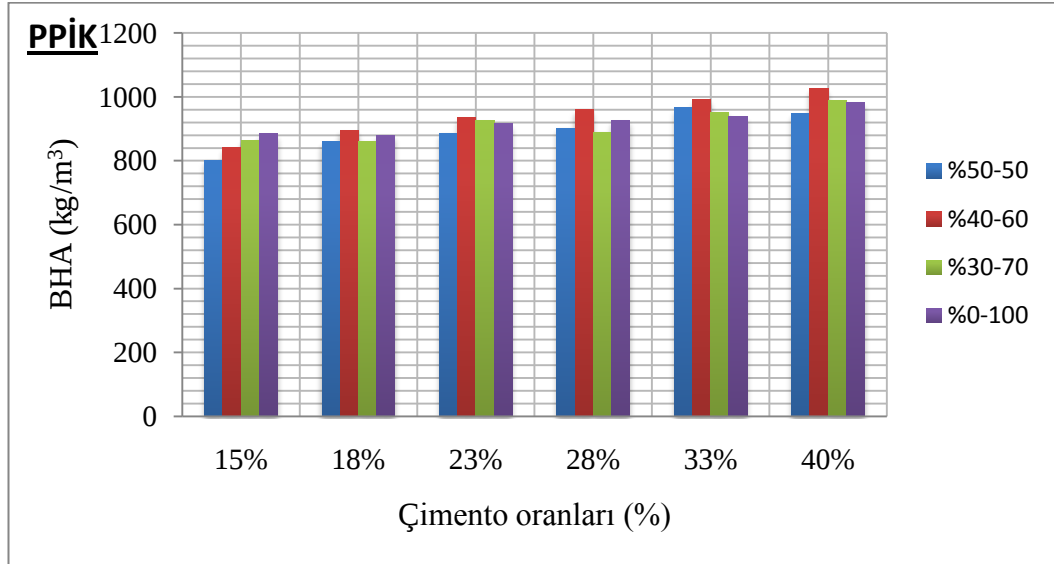
Şekil 4.7. incelendiğinde numunelerin doğal ortam koşullarındaki BHA değerlerinin ciddi bir değişim göstermediği anlaşılmaktadır. Hedeflenen BHA üst limiti 1200 kg/m³ olduğundan tüm reçeteler bu şartı sağlamaktadır. Başlangıç çalışmasında da karşılaşıldığı gibi Kİ agregası kullanım oranı arttıkça numuneler ağırlaşarak yüksek BHA değerleri ortaya koymuştur.



Şekil 4.8. PPIK kodlu numunelerin 28. gün basınç dayanımlarının karşılaştırılması

PPIK kodlu numunelerde 28 günlük basınç dayanımları PPI kodlu numunelere göre yüksek çıkmıştır. %33 çimento kullanılan numuneler incelendiğinde, uçucu kül katkılı numunelerin basınç dayanımı %50'ye varan oranlarda artış göstermiştir. %40 çimento kullanılan numunelerde ise bu oran %20 – 45 arasında değişim göstermiştir. Bu durum uçucu kül katkısının başlangıç çalışmasından farklı olarak polimerik hafif betonda mukavemeti ciddi oranda arttırdığını kanıtlamıştır. PPIK kodlu numunelerde de en yüksek basınç dayanımı sonuçları, agregaların yüzdesel dağılımı %40 NP - %60 Kİ agregası olacak şekilde tasarlanmış reçetelerde görülmektedir.

Bir önceki çalışmayla karşılaştırıldığında %30 NP - %70 Kİ agregasının kullanıldığı numunelerin mukavemetleri %50 NP - %50 Kİ kullanım durumuna göre daha yüksektir. Bu durum PPI kodlu numunelerde karşılaşılan sonuçtan farklıdır. Uçucu kül katkısı numunelerin bu davranışına sebep olmuştur.

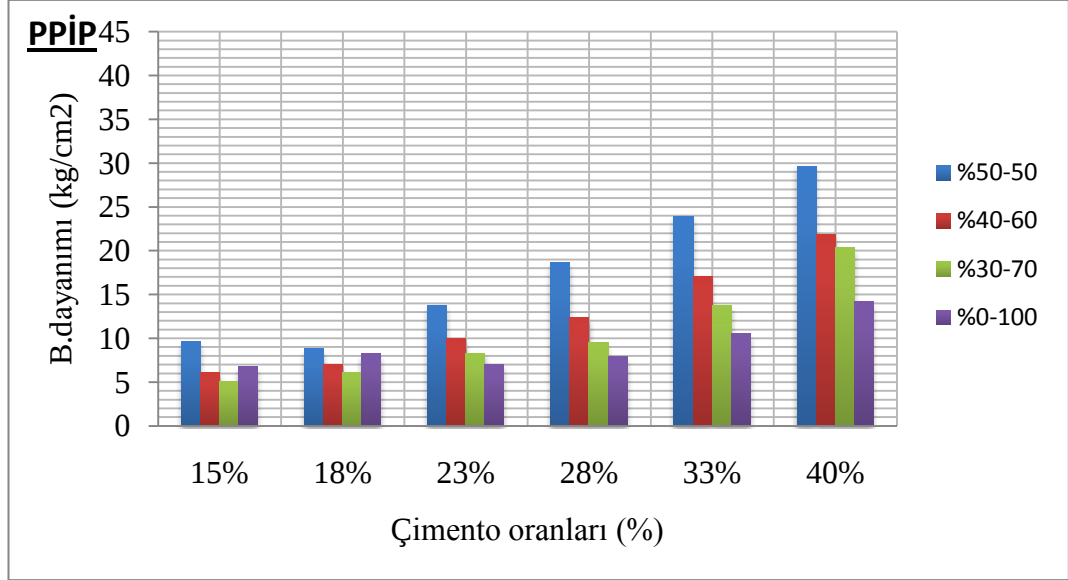


Şekil 4.9. PPIK kodlu numunelerin 28. gün BHA'larının karşılaştırılması

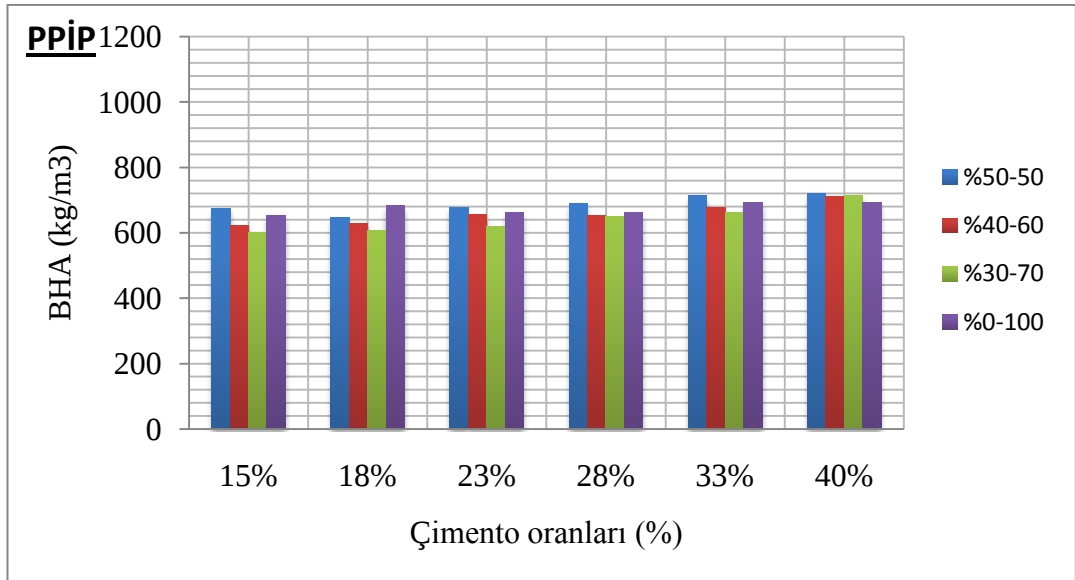
BHA değerlerinin karşılaştırıldığı grafiğe bakıldığında ise genel olarak PPIK kodlu numunelerde PPI kodlu numunelere göre bir miktar ağırlık artışı yaşandığı görülmektedir. Fakat tüm değerler başlangıçta hedeflenen limitler dahilindedir. Agregat türünün BHA üzerindeki etkisi ise, %33 çimento kullanılan numuneler dışında genel itibariyle aynıdır. Yani Kİ agregası oranı arttıkça az miktarda da olsa BHA artmıştır.

Şekil 4.10. incelendiğinde GP katkısının, numunelerin basınç dayanımlarını ciddi bir şekilde düşürdüğü anlaşılmaktadır. 24 reçete içerisinde yalnızca 2 reçetede hedeflenen basınç dayanımları sağlanmıştır. Ağırlıkça %5'lik GP kullanımı numunelerin mukavemetini %10-45 arasında azaltmıştır. Bu durumda devam eden çalışmalarda GP katkısı kullanılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Agregat

türünün mukavemete etkisi PPİ kodlu çalışma ile benzerdir ve Kİ agregası oranı arttıkça mukavemet düşmüştür.



Şekil 4.10. PPİP kodlu numunelerin 28. gün basınç dayanımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.11. PPİP kodlu numunelerin 28. gün BHA'larının karşılaştırılması

GP katkılı numunelerde, beklenildiği gibi mukavemetler düşerken BHA değerleri de düşmüştür. Çimento kullanım oranının ve agrega türünün yüzdesel dağılımının değişimi diğer çalışmalarda olduğu gibi BHA değerlerinde büyük farklılıklara sebep olmamıştır. Bu çalışmada BHA değerlerinde asıl belirleyici unsurun GP kullanım oranı olduğu anlaşılmıştır. Bu tür reçete kombinasyonlarının, ürünlerde yüksek yalıtım sağlayabileceği, ancak mukavemet açısından düşük sonuçlar vereceğinden farklı amaçlarla uygulanması gerekliliği anlaşılmıştır.

Genel bir değerlendirme yapıldığında üç farklı bölümden oluşan bu çalışmada basınç dayanımı açısından en iyi sonuçları veren reçeteler kül katkılı kompozit harçlar olmuştur. BHA değerleri açısından GP katkılı harçlar en düşük sonuçları göstermiş olsa da başlangıçta hedeflenen değerler her üç bölümde de sağlanmıştır. Karışımlardaki çimento oranlarının ağırlıkça en az %30 olması gerektiği anlaşılmıştır. Hafif agrega türleri karşılaştırıldığında ise en iyi sonuçlar yüzdesel dağılımları %40 NP - %60 Kİ agregası olan reçete kombinasyonları olduğu sonucu bulunmuştur.

4.4. Hafif Beton Kiremit Eğilme Dayanımı Kestirimi

Bu bölümde hafif beton kiremit harçlarının 28 günlük basınç dayanım değerlerinden regrasyonel bir eşitlik yardımıyla eğilme dayanımı değerlerinin kestirimi yapılmıştır. Önceki çalışmalardan elde bulgular ışığında en iyi sonuçları veren 12 reçete üzerinde çalışılmıştır. Eğilme dayanımı analizleri için 10*20*2 cm'lik plaka şeklinde numunelerden 6'şar adet dökülerek 28 gün sonunda analizleri yapılmıştır. Bu bölümde GP katkılı reçete formülasyonları düşük basınç dayanımları sergiledikleri için kullanılmamıştır.

4.4.1. Eğilme dayanımı analizi

Eğilme dayanımı analizi kaya mekaniği prensiplerine göre yapılmış olup aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Her bir reçeteden 6'şar adet numune üzerinde tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır.

$$\sigma_{eğ} = \frac{3 * P * L}{2 * b * h^2} \quad (4.3.)$$

Bu eşitlikte;

$\sigma_{eğ}$: Eğilme dayanımı değeri, kg/cm²

P : Kırılmaya neden olan en büyük yük, kg

L : Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, cm

b : Deney numunesinin genişliği, cm

h : Deney numunesinin kalınlığı, cm.

Çizelge 4.7. 20*10*2 cm boyutlarında dökülmüş plaka numunelere ait 28. gün BHA ve eğilme dayanımı değerleri

Numune	En (b) (mm)	Boy (L) (mm)	Kalınlık (h) (mm)	Ağırlık (g)	BHA (kg/m ³)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı (MPa)
PPİ4	100,35	201,30	20,55	310,05	746,86	9,38	0,92
PPİ7	100,10	200,15	20,35	291,60	715,59	6,36	0,62
PPİ8	100,65	200,20	21,10	319,95	752,24	9,40	0,92
PPİ9	100,35	200,55	21,15	315,00	740,21	6,69	0,66
PPİ11	100,63	200,95	20,85	314,10	745,02	11,15	1,09
PPİ14	99,55	199,35	20,95	297,45	715,38	6,87	0,67
PPİ16	100,75	200,35	20,60	305,10	733,78	9,30	0,91
PPİ18	100,38	200,55	20,70	346,95	832,83	16,17	1,58
PPİK6	99,25	200,50	20,85	339,40	818,02	10,77	1,06
PPİK8	100,35	199,50	20,55	321,30	781,07	6,76	0,66
PPİK10	99,85	200,30	20,75	344,60	830,61	7,67	0,75
PPİK12	99,85	200,95	20,55	360,75	874,92	10,67	1,05
PPİK13	100,60	199,80	21,00	312,00	739,14	4,39	0,43
PPİK23	101,95	200,10	20,75	345,20	815,52	8,20	0,80

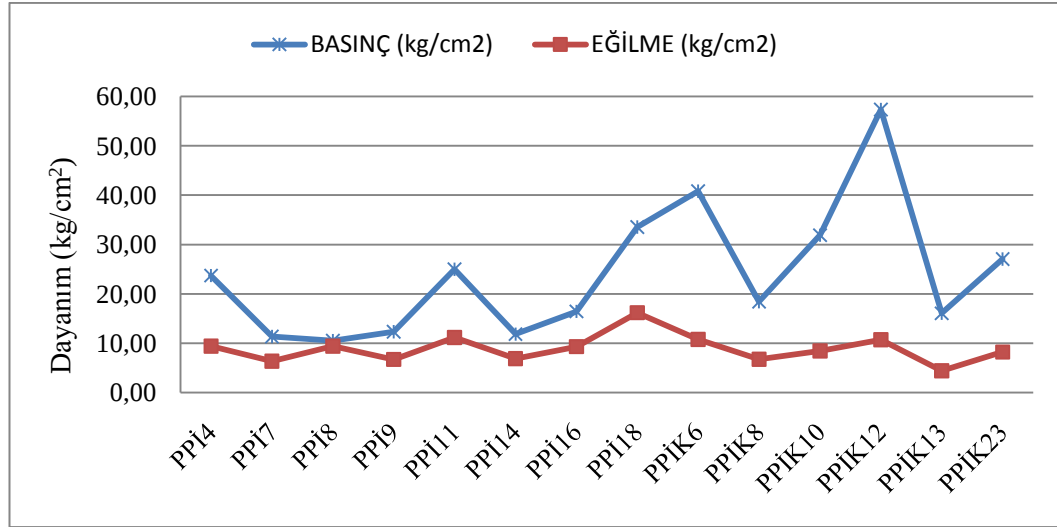
Çizelge 4.7.'de üçüncü bölüm çalışmalarına ait analizlerin sonuçları, Çizelge 4.8.'de ise bir önceki aşamada elde edilen aynı reçetelere ait basınç dayanımları ile eğilme dayanımları değerleri aynı tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.8. Numunelerin basınç ve eğilme dayanım değerleri

Numune	Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)
PPİ4	23,70	9,38
PPİ7	11,34	6,36
PPİ8	10,51	9,40
PPİ9	12,33	6,69
PPİ11	24,98	11,15
PPİ14	11,83	6,87
PPİ16	16,43	9,29
PPİ18	33,54	16,17
PPİK6	40,82	10,77
PPİK8	18,41	6,75
PPİK10	31,89	8,44
PPİK12	57,35	10,67
PPİK13	16,05	4,39
PPİK23	27,05	8,20



Şekil 4.12. Eğilme dayanımı testinden örnek bir görünüm



Şekil 4.13. Basınç ve eğilme dayanımı değerlerinin grafiksel olarak gösterimi

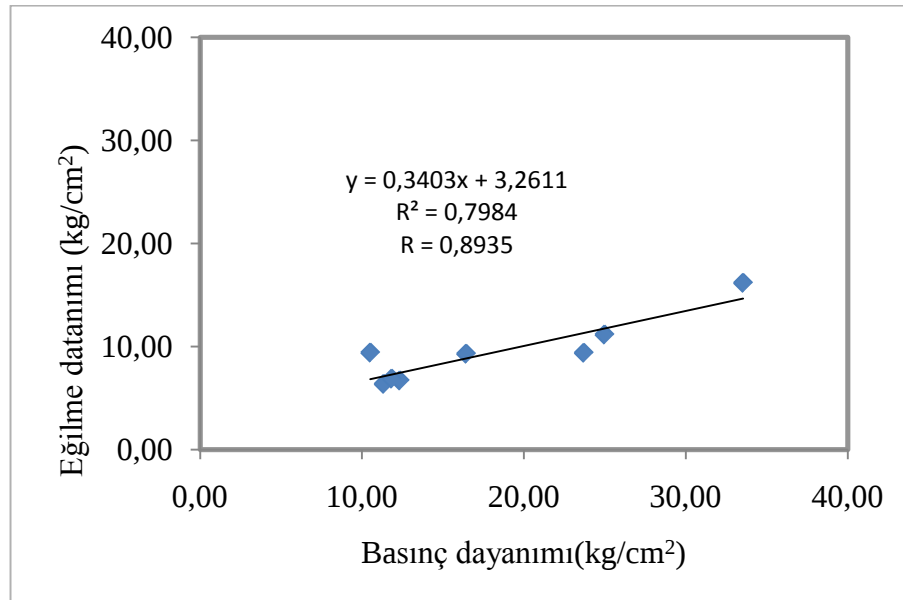
Şekil 4.13. incelendiğinde, en iyi sonuçları veren numunelerde basınç dayanımları ile eğilme dayanımlarının aynı oranda artıp azalmadığı görülmektedir. Özellikle PPIK6 ve PPIK12 kodlu numunelerin basınç dayanımları oldukça yüksek iken eğilme dayanımı değerleri aynı oranda yüksek çıkmamıştır. Fakat eğilme dayanımları genel olarak düşük değerler izlediği için artış ya da azalma da büyük değişimler beklenmemelidir. Bu iki numuneye ait reçetelerde çimento oranları %40 ile en yüksek kullanım oranına sahiptir. Bir sonraki bölümde buradan alınacak sonuçlar ışığında 5 reçete üzerinde durularak kiremit formunda numuneler üretilecektir.

Elde edilen eğilme dayanımı ve aynı numunelere ait basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi açıklamak için PPI ve PPIK kodlu numuneler ayrı değerlendirilmiştir. Çünkü kül kullanılan reçetelerde yukarıda da görüldüğü gibi durum farklılaşmaktadır.

Çizelge 4.9. Plaka numunelerine ait tablo (reçetelerde kül yok)

PLAKA (20*10*2 cm) NUMUNELERİNE AİT TABLO(kül yok)				
NU.NO	ÇİM.ORANI (%)	BHA (kg/m ³)	BASINÇ Dayanımı (kg/cm ²)	EĞİLME Dayanımı (kg/cm ²)
PPI4	28,0	747,0	23,70	9,38
PPI7	15,0	716,0	11,34	6,36
PPI8	18,0	753,0	10,51	9,40
PPI9	23,0	740,0	12,33	6,69
PPI11	33,0	745,0	24,98	11,15
PPI14	18,0	716,0	11,83	6,87
PPI16	28,0	734,0	16,43	9,29
PPI18	40,0	833,0	33,54	16,17
STANDART SAPMA			8,42	3,20

Çizelge 4.9.'da külsüz reçetelere ait bulgular yer almaktadır. Eğilme dayanımı değerlerinin standart sapması beklenildiği gibi basınç dayanımının standart sapmasına göre düşüktür. Reçete bileşenlerinde kül katkısı olmayan kombinasyonlar için kullanılacak regrasyonel eşitlik yukarıdaki verilerden elde edilecektir.



Şekil 4.14. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki (PPI kodlu numuneler)

Şekilde verilen grafikten ikinci bölüm çalışmalarda üretilen hafif beton kiremit numunelerinin eğilme dayanımlarının tahmin edilebileceği doğrusal denklem aşağıda verilmiştir ($R^2 = 0,7984$).

$$y = 0,3403x + 3,2611 \quad (4.4.)$$

Verilen denklem yardımıyla;

$$\sigma_{eğ} = 3,2611 + 0,3403 \sigma_{C28} \quad (4.5.)$$

Bu eşitlikte;

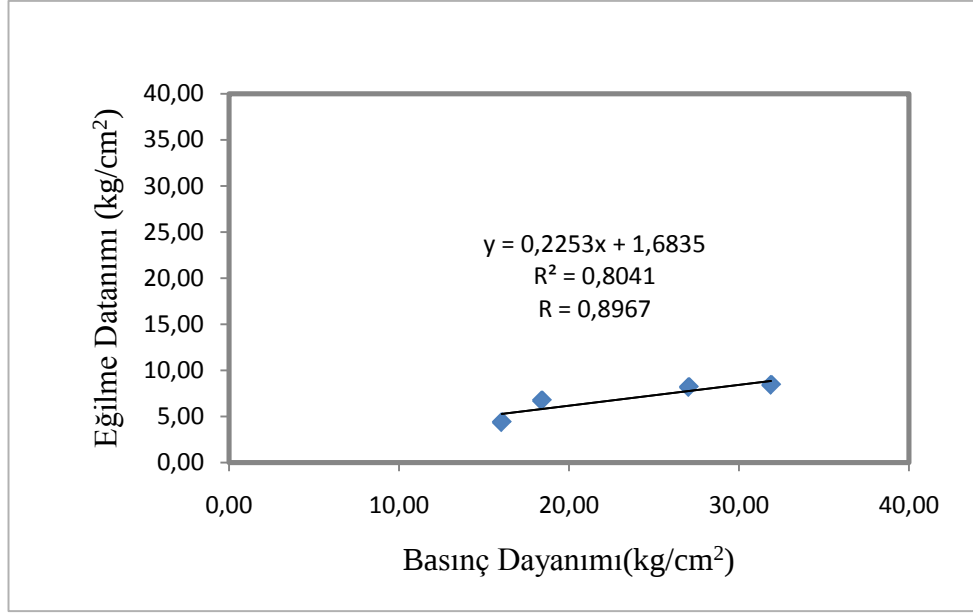
$\sigma_{eğ}$ = 28 günlük eğilme dayanımı değeri, kg/cm^2

σ_{C28} = 28 günlük basınç dayanımı değeri, kg/cm^2

Çizelge 4.8.'de kül katkılı reçetelere ait bulgular yer almaktadır. Standart sapmalar külsüz reçetelere ait numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Çizelgede verilen değerler 6 adet numunenin ortalamasıdır.

Çizelge 4.10. Plaka numunelerine ait tablo (Kül katkılı)

PLAKA (20*10*2 cm) NUMUNELERİNE AİT TABLO(kül katkılı)				
NUM.	ÇİM.ORANI (%)	BHA (kg/m^3)	BASINÇ Dayanımı (kg/cm^2)	EĞİLME Dayanımı (kg/cm^2)
PPIK8	15,3	781,0	18,41	6,75
PPIK10	28,0	830,0	31,89	8,44
PPIK13	12,8	739,0	16,05	4,39
PPIK23	28,1	815,0	27,05	8,20
STANDART SAPMA			7,40	1,69



Şekil 4.15. Basınç dayanımı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki
(PPIK kodlu numuneler)

Şekil 4.15'te verilen grafikten ikinci bölüm çalışmalarda üretilen kül katkılı hafif beton kiremit numunelerinin eğilme dayanımlarının tahmin edilebileceği doğrusal denklem aşağıda verilmiştir. ($R^2 = 0,8041$)

$$y = 0,2253x + 1,683 \quad (4.6.)$$

Verilen denklem yardımıyla;

$$\sigma_{eğ} = 1,6835 + 0,2253 \sigma_{C28} \quad (4.7.)$$

Bu eşitlikte;

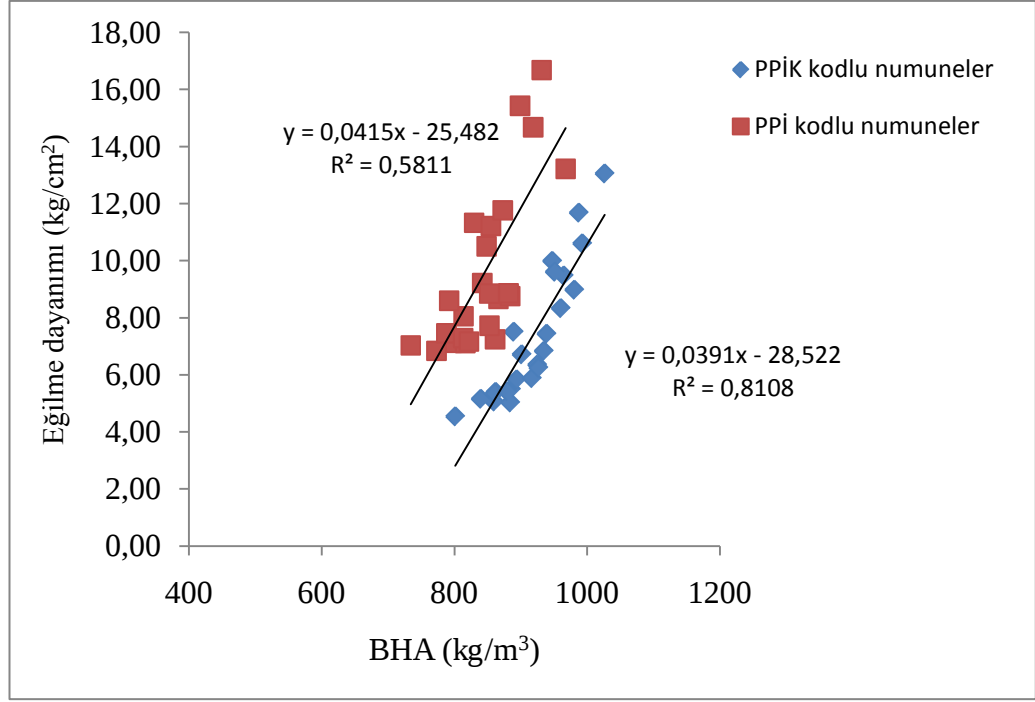
$\sigma_{eğ}$ = 28 günlük eğilme dayanımı değeri, kg/cm²

σ_{C28} = 28 günlük basınç dayanımı değeri, kg/cm²

Elde edilen denklemlerden yola çıkarak ikinci bölüm çalışmalarında üretilen numunelerin eğilme dayanımları kestirilmeye çalışılmıştır. Basınç dayanımları ve eğilme dayanımlarının yer aldığı tablo çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Basınç dayanımlarına karşı regrasyonel eşitlik yardımıyla tahmin edilen eğilme dayanımları

$\sigma_{eg} = 3,2611 + 0,3403 \sigma_{C28}$			$\sigma_{eg} = 1,6835 + 0,2253 \sigma_{C28}$		
Numune No	Basınç Dayanımı Ort. (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı Ort. (kg/cm ²)	Numune No	Basınç Dayanımı Ort. (kg/cm ²)	Eğilme Dayanımı Ort. (kg/cm ²)
PPİ1	14,08	8,05	PPİK1	11,42	4,54
PPİ2	11,07	7,03	PPİK2	14,23	5,06
PPİ3	15,67	8,59	PPİK3	16,56	5,49
PPİ4	23,70	11,33	PPİK4	23,15	6,72
PPİ5	23,38	11,22	PPİK5	38,06	9,48
PPİ6	35,75	15,43	PPİK6	40,82	9,99
PPİ7	11,34	7,12	PPİK7	14,74	5,16
PPİ8	10,51	6,84	PPİK8	18,41	5,84
PPİ9	12,33	7,46	PPİK9	23,80	6,84
PPİ10	17,51	9,22	PPİK10	31,89	8,33
PPİ11	24,98	11,76	PPİK11	44,14	10,60
PPİ12	39,43	16,68	PPİK12	57,35	13,05
PPİ13	11,32	7,11	PPİK13	16,05	5,40
PPİ14	11,83	7,29	PPİK14	15,81	5,35
PPİ15	15,87	8,66	PPİK15	21,20	6,35
PPİ16	16,43	8,85	PPİK16	27,42	7,51
PPİ17	21,28	10,50	PPİK17	38,77	9,61
PPİ18	33,54	14,68	PPİK18	49,95	11,68
PPİ19	11,70	7,24	PPİK19	14,05	5,03
PPİ20	11,48	7,17	PPİK20	16,20	5,43
PPİ21	13,10	7,72	PPİK21	18,65	5,88
PPİ22	16,15	8,76	PPİK22	20,64	6,25
PPİ23	16,46	8,86	PPİK23	27,05	7,44
PPİ24	29,26	13,22	PPİK24	35,37	8,98

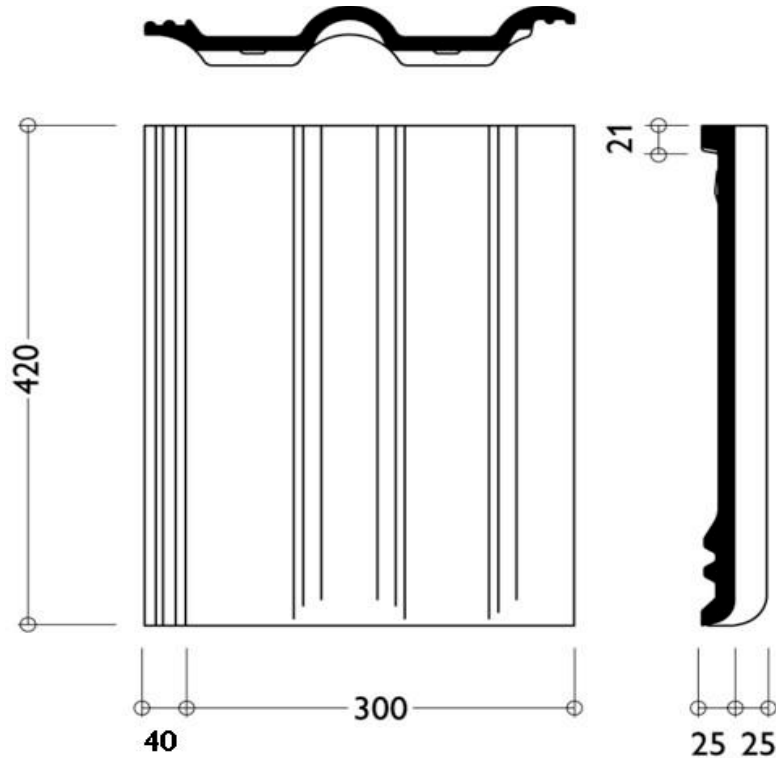


Şekil 4.16. BHA değerleri ile tahmin edilmiş eğilme dayanımları arasındaki ilişkiler

Şekil 4.16.'daki grafik incelendiğinde, BHA değerleri arttığında, her iki tür reçete grubunun da tahmin edilmiş eğilme dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Eğilme dayanım değeri ile çimento oranları (ya da dozajları) ve dolayısıyla BHA değerleri arasındaki ilişkinin doğrusal olarak artıp azalacağı zaten daha önceki çalışmalardan bilinmekteydi. Fakat bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlardan biri de hafif agregalı beton türlerinde mineral katkı olarak kül kullanımının daha olumlu sonuçlar gösterdiği'dir. Kül katkısı kompozit yapıyı işlenebilirlik özelliği bakımından daha üstün hale getirmiş ve bunun sonucunda kalıba daha homojen olarak yerleşebilen ürünler ile yüksek R^2 değerine sahip doğrusal bir fonksiyon elde edilmiştir.

4.5.Gerçek Boyutta Hafif Beton Kiremit Üretimi Analizi

Dördüncü ve son aşama çalışması kapsamında bir önceki çalışma verileri dikkate alınarak en ideal sonuçları vermiş olan 5 reçete kullanılarak birebir boyutta ikişer adet kiremit numunesi iki farklı geometrik formda dökülmüştür. En yaygın kullanılan toprak kiremit türü olan Marsilya tipi ve normal beton kiremit kalıpları kullanılmıştır. Deneysel süreçlerin hepsinde harçlar aynı hız ve sürede (5 dakika) karıştırılmış ve kalıplara dökümü sırasında herhangi bir titreşim verilmemiştir. Dökülen hafif beton kiremitlere BHA analizi, adet ağırlığı, eğilme dayanımı analizi, su emme oranı tayini ve ısı iletkenlik katsayısı analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. Şekil 4.17.'de beton kiremidin geometrik çizimi yer almaktadır. Bu tezde sözü geçen yalıtımlı beton kiremit içinde aynı geometrik form kullanılması öngörüldüğünden Marsilya tipi kiremit için çizim verilmemiştir.



Şekil 4.17. Beton kiremidin teknik çizimi

4.5.1. BHA analizi

BHA analizi, birebir kiremitlerin geometrik şekillerinin ölçümlerinde hata yapılabileceğinden aynı kalınlıkta dökülmüş plaka örnekleri üzerinden bulunmuştur. Her bir reçete için 3'er adet dökülen plaka numunelerinin ortalama BHA'ları Çizelge 4.12.'de, kiremit ağırlıklarının karşılaştırılması Çizelge 4.13.'te verilmiştir.

Çizelge 4.12. Kiremit örneklerinin BHA ve adet ağırlıkları

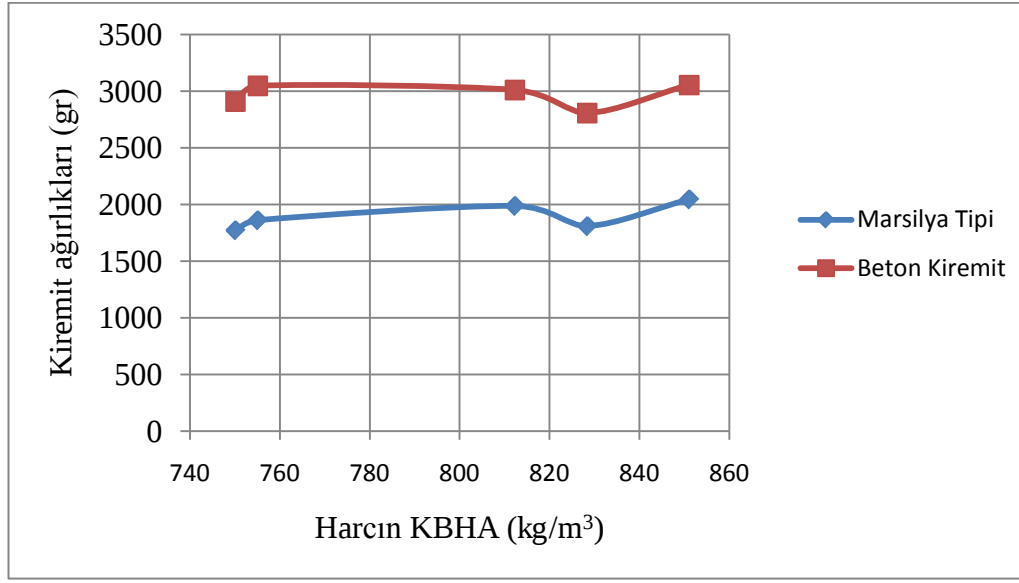
Numune	Ortalama BHA (kg/m ³)	Ortalama Kiremit Ağ. (g)	
		Marsilya Tipi	Beton Kiremit
PPİ4	750,15	1773	2908
PPİ11	755,10	1861	3047
PPİK6	812,30	1987	3010
PPİK12	851,05	2045	3055
PPİK23	828,40	1809	2807

Çizelge 4.13. Kiremitlerin genel karşılaştırması

Kuru Haldeki Kiremitlerin Ortalama Adet Ağırlığı			
Sektörde Kullanılan		Araştırmada Geliştirilen	
Marsilya Tipi (g)	Beton kiremit (g)	Marsilya Tipi (g)	Beton kiremit (g)
2850	4400	1900	3000
Hafifleme Oranları (%) →		33,33	31,82

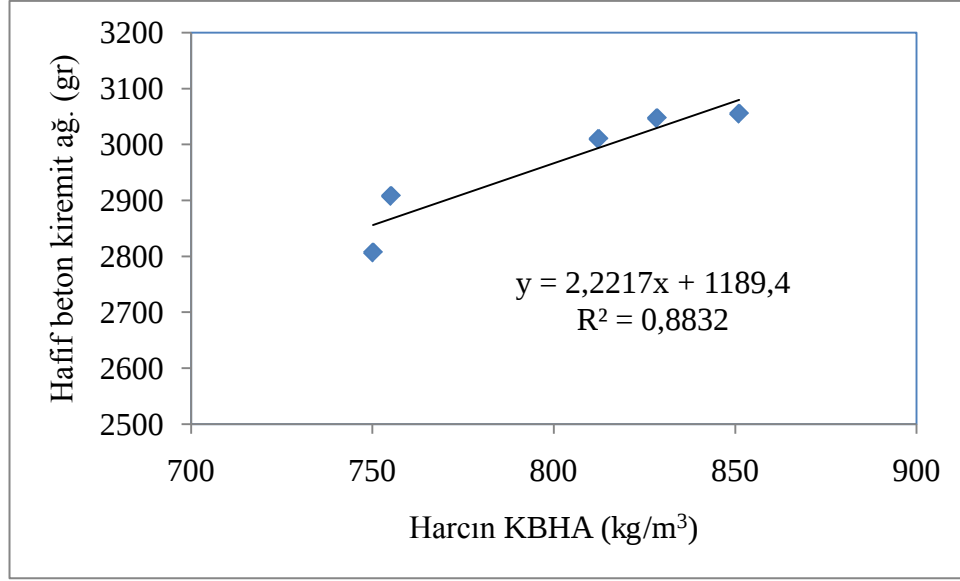
Tez çalışmasında hedeflenen beton kiremit malzemesinin %10-20 arasında hafifletilmesi olgusu çizelge 4.13.'de görüldüğü üzere gerçekleştirilmiştir. Beton kiremit üreten firmaların katalog değerleri ve getirtilen örnekler üzerindeki laboratuvar ölçümlerinde elde edilen ortalama beton kiremit ağırlıkları yaklaşık 4500 gr olarak tespit edilmiştir. Tez çalışmasında birebir geometrik formda üretilen numunelerin ortalama ağırlığı ise yaklaşık 3000 gr'dır. Sonuç olarak %31'lik bir hafifleme söz konusu olmuştur. Elde edilen bu hafiflik nakliye giderlerine de aynı

oranda yansıyarak ürünün birim maliyetini önemli ölçüde düşürecektir. Ürünün kullanılacağı yere göre nakliye giderleri değişeceğinden, ürün birim maliyetine hangi oranda bir etki edeceği bu aşamada belirlenememektedir. Ancak yapı malzemelerinde ülkemiz için en önemli ticari sorunlardan biri olan nakliye maliyetlerinde ciddi oranda bir avantaj elde edilecektir. Ayrıca hafif ürünlerin işçiliği nispeten daha kolay olacaktır.



Şekil 4.18. Harç BHA değerlerine karşı kiremit ağırlıklarının grafiksel gösterimi

Şekil 4.18.'deki grafikte hafif beton kiremit harçlarının KBHA değerleri ile aynı harçlardan üretilmiş kiremitlerin ağırlıkları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, harçların KBHA değerleri üzerinden kiremit ağırlıklarını tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Konu ile ilgili yapılacak Ar-Ge çalışmalarına ışık tutması amacıyla elde edilecek bir regrasyonel eşitlik ile birebir kiremit örneklerinde elde edilmesi mümkün ağırlık değerleri bulunabilir ($R^2 = 0,8832$) (Şekil 4.19.).



Şekil 4.19. Harcın KBHA değerlerinden kiremit ağırlıklarının tahmin edilebileceği regresyonel eşitlik

Şekil 4.19.'daki grafikten elde edilen doğrusal denklem yardımıyla laboratuvar ortamında üretilen küp ya da prizma (plaka) şeklindeki numuneler üzerinden birebir beton kiremit formunda üretilecek ürünlerin ağırlıklarının tahmin edilebileceği denklem aşağıda verilmiştir (4.7.).

$$y = 2,2217x + 1189,4 \quad [R^2 = 0,8832] \quad (4.7.)$$

verilen denklem yardımıyla;

$$KA = 1189,4 + 2,2217 \cdot \rho \text{ (harç)} \quad (4.8.)$$

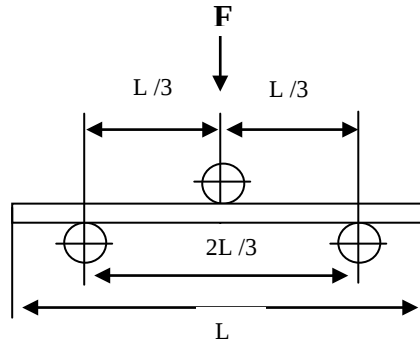
Eşitlikte;

KA : Kiremit ağırlığı, gr

ρ (harç) : Harcın KBHA değeri, kg/m³

4.5.2. Eğilme dayanımı analizi

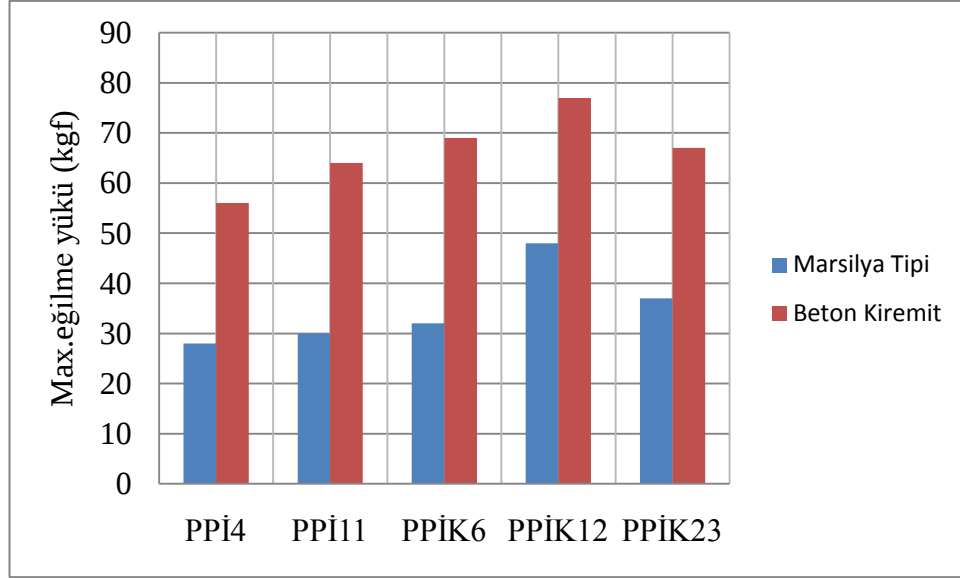
Tez çalışmasında üretilen hafif beton kiremitlerin dayanabildiği maksimum eğilme yükü değerleri (kgf) ve buna bağlı olarak elde edilen eğilme dayanımı (kg/cm^2) değerleri aşağıdaki deney düzeneği prensip alınarak bulunmuştur. (Şekil 4.20.) Beton kiremitler için kullanılan standartlarda eğilme yükünün tayini için belirli bir yöntem yer almadığı için tez çalışmasında TS EN 538 standardında tarif edilen mesnetler arası uzaklıkta ve kaya mekaniği temel prensipleri de göz önünde bulundurularak bulunmuştur. Eğilme yükü değerleri her iki geometrik form için, yani Marsilya tipi ve beton kiremit, 2'şer numune üzerinden bulunarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 4.20. Eğilme dayanımı deney düzeneği

Çizelge 4.14. Kiremit numunelerine ait ortalama eğilme yükü ve eğilme dayanımı değerleri

Numune	Eğilme Yükü (kgf)		Eğilme Dayanımı (kg/cm^2)	
	Marsilya Tipi	Beton Kiremit	Marsilya Tipi	Beton Kiremit
PPİ4	28	56	22,16	31,85
PPİ11	30	64	23,74	36,40
PPİK6	32	69	25,32	39,24
PPİK12	68	77	53,81	43,79
PPİK23	37	67	29,28	38,11



Şekil 4.21. Kiremit numunelerine ait maksimum eğilme yükleri

Grafik incelendiğinde en yüksek eğilme yükü değerlerinin PPİK12 kodlu numunede elde edildiği görülmektedir. Önceki bölümlerde polimerik harçlar için mineral katkı malzemesi olarak uçucu kül kullanımının daha yüksek mukavemetler ortaya koyduğu belirtilmişti. Nihai ürünlerin dayanım değerleri de aynı sonucu doğrulamaktadır. Kül katkılı numunelerin hepsinde dayanım değerleri kül katkısız numunelere göre nispeten yüksek çıkmıştır. Bu tür hafif beton kiremitler için ideal çimento oranının ağırlıkça %35-40 olması gerekmektedir.

Ayrıca grafikten çıkartılacak bir diğer sonuç, beton kiremit formunda üretilmiş hafif kiremitlerin, marsilya tipi kiremit formunda üretilen numunelere göre %40-55 arasında daha yüksek eğilme yükü değerleri ortaya koymasıdır. Bu durum, sektörde faaliyet gösteren toprak kiremit ve beton kiremit firmalarının ürünlerinde de benzer şekilde karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.22. Marsilya tipi hafif kiremidin eğileme dayanımı analizi



Şekil 4.23. Hafif beton kiremidin eğileme dayanımı analizi

4.5.3. Hafif beton kiremit numuneleri için su emme analizi

Su emme oranı hafif yapı malzemeleri için önemli bir teknik parametredir. Özellikle dış ortam şartlarına uzun yıllar maruz kalacak kiremit gibi yapı malzemeleri için su emme oranının bilinmesi gereklidir. Hafif beton kiremitler, bünyesinde ihtiva ettiği yüksek gözenekli hafif agregalar sebebiyle yüksek su emme oranı göstermesi beklenmektedir. Ancak bu durum polimerik hafif beton kiremit üretimi ile nispeten su emme oranı düşük ürünlerin üretilmesi ile aşılabilmektedir. Reçete bileşeni olarak su itici özellikte toz polimer katkıları ile bu oran minimum seviyelere indirilebilmektedir. Kiremit üreticileri ürünlerinin yağışlar karşısında uzun yıllar dayanabilmesi, üzerine gelen suyun çatının alt kısımlarına geçmesini engellemesi ve su emme olgusu sebebiyle çatı ağırlığının artmaması için kiremit yüzeylerini akrilik kimyasal maddeler ile kaplayarak aşmaktadırlar. Hafif beton kiremit numunelerine ait su emme oranı değerleri Çizelge 4.15.'te verilmiştir.

Su emme oranı deneyinde, kiremit numuneleri tamamen doygun hale gelinceye kadar su dolu havuzlarda bekletildikten sonra çıkartılarak nemli bir bez yardımıyla kurulanmış ve tartılmıştır. Tartım sonunda bulunan değerler suya doygun kütle değerleridir. Tartılan numuneler sonrasında 2 gün doğal ortam şartlarında bekletilmiş ve ardından 105 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar yaklaşık 48 saat süreyle kurutulmuştur. Su emme oranı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$\% M_t = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad (4.9.)$$

Eşitlikte kullanılan;

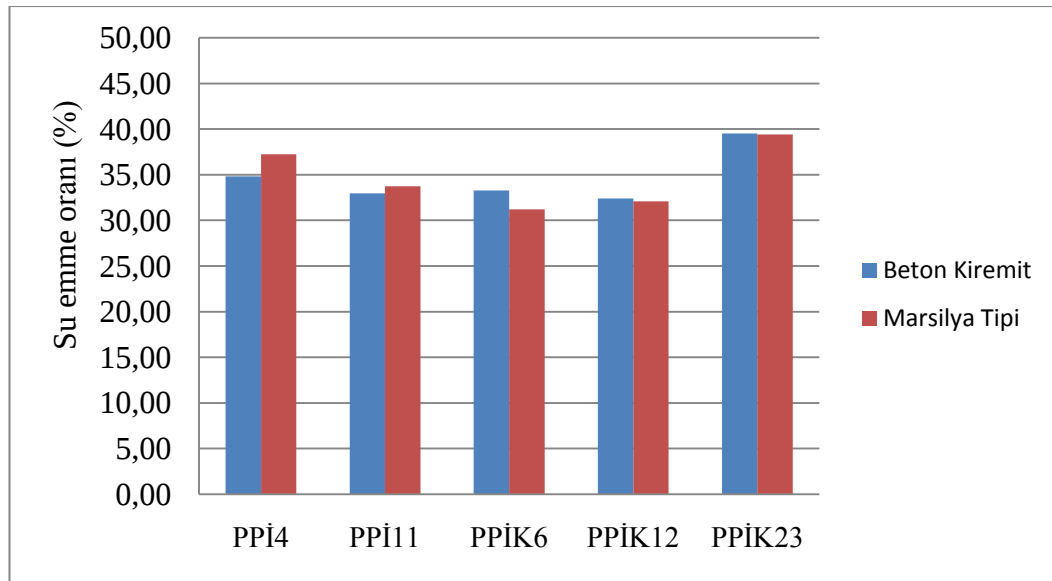
$\%M_t$: Kütlece su emme oranı (%),

W_1 : Numunenin etüvde (105°C' de değişmez ağırlığa kadar) kurutulmuş ağırlığı (gr),

W_2 : Numunenin doygun kuru yüzey ağırlığı (gr).

Çizelge 4.15. Hafif beton kiremit numunelerine ait su emme oranı değerleri

Numune	BETON KİREMİT			MARSİLYA TİPİ		
	Kuru Kütle (gr)	Suya Doygun Kütle (gr)	Su Emme Oranı (%)	Kuru Kütle (gr)	Suya Doygun Kütle (gr)	Su Emme Oranı (%)
PPİ4	2908	3921	34,83	1773	2433	37,23
PPİ11	3047	4051	32,95	1861	2489	33,75
PPİK6	3010	4012	33,29	1987	2607	31,20
PPİK12	3055	4045	32,41	2045	2701	32,08
PPİK23	2807	3916	39,51	1809	2522	39,41



Şekil 4.24. Su emme oranlarının karşılaştırılması

Yukarıdaki grafik incelendiğinde su emme oranı en düşük çıkan hafif beton kiremit numunesinin kodu PPİK12'dir. Çimento oranı en yüksek ve agrega oranı en düşük numuneler PPİK6 ve PPİK12 kodlu numunelerdir. Beklenildiği gibi su emme oranları bu numunelerde diğerlerine kıyasla daha düşük seviyelerde çıkmıştır.

Reçetelerde kullanılan agregalar dikkate alındığında su emme oranı en yüksek çıkması beklenen numune PPİK23 kodlu numunedir. Çünkü bileşiminde kullanılan agrega türünün tamamı Kütahya ignimbirit agregasıdır. Bu hafif agrega türünün çok

yüksek su emme değerleri sergilediği daha önce yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur.

Tez çalışması kapsamında hafif beton kiremit üretiminde değerlendirilen Kütahya ignimbirit agregası ve Nevşehir pomza agregası yüksek gözenekli hafif endüstriyel hammaddeler olduğundan su emme oranlarının da normal kiremitlere göre yüksek çıkması doğaldır. Ancak hafifliğinin getireceği avantajlar değerlendirildiğinde su emme oranlarının yüksek çıkması göz ardı edilebilir bir olgudur. Ayrıca bu tür kompozit yapı malzemelerinde toz polimerik katkıları ile su emme gibi teknik özellikler maliyet bakımından sakınca yaratmadığı takdirde iyileştirilebilir.

4.5.4. Isıl iletkenlik katsayısı analizi

Tez çalışmasının ana amaçlarından biri beton kiremidin hafifletilmesi ve buna bağlı olarak yalıtım performansı yüksek ürün türevi elde edilmesi idi. Bu bağlamda laboratuvar ortamında üretilen numuneler üzerinde ısı iletkenlik katsayısı analizleri yapılmıştır. Isı iletkenlik katsayısı analizi hesap metodu ile bulunmuştur. Numunelere ait değerler aşağıda Çizelge 4.16.'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Kiremit numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Numune	Plaka (10*20*2 cm)	Isıl İletkenlik Katsayısı λ (W/mK)
	BHA (ort) kg/m^3	
PPİ4	746,86	0,218
PPİ11	745,02	0,213
PPİK6	818,02	0,249
PPİK12	874,92	0,293
PPİK23	815,52	0,237

Burada elde edilen ısı iletkenlik değerleri, sektörde mevcut olarak kullanılmakta olan diğer kiremit türlerine göre yaklaşık %25 seviyelerine varan oranlarda ısı iletkenlik değerlerinde bir iyileşme olduğunu göstermektedir. Bu da çalışmada elde edilen kiremit örneklerinin yaklaşık %25 daha enerji verimli olabilmesi anlamına da gelmektedir. Günümüzde özellikle binaların ısı kayıplarının %20 seviyelerinde çatı bölümlerinden gerçekleştiği düşünüldüğünde bu tarz hafif kiremit elemanlarının kullanıldığı binalarda önemli ölçeklerde ısı kayıplarının önlenmesi sağlanabilecektir. Bu da günümüzde enerji verimliliği ve yalıtım performansı bağlamında son derece önemsenerek bir unsur oluşturmaktadır.

Çizelge 4.17. Hafif beton kiremitlerin teknik özellikleri

HAFİF BETON KİREMİT (STANDART KALIP)						
Numune	Harç KBHA (kg/m ³)	Adet Ağırlığı (gr)	Eğilme Yükü (kgf)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)	Su Emme Oranı (%)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
PPİ4	746,86	2908	56	31,85	34,83	0,218
PPİ11	745,02	3047	64	36,4	32,95	0,213
PPİK6	818,02	3010	69	39,24	33,29	0,249
PPİK12	874,92	3055	77	43,79	32,41	0,293
PPİK23	815,52	2807	67	38,11	39,51	0,237
HAFİF BETON KİREMİT (MARSİLYA TİPİ)						
Numune	Harç KBHA (kg/m ³)	Adet Ağırlığı (gr)	Eğilme Yükü (kgf)	Eğilme Dayanımı (kg/cm ²)	Su Emme Oranı (%)	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
PPİ4	746,86	1773	28	22,16	37,23	0,218
PPİ11	745,02	1861	30	23,74	33,75	0,213
PPİK6	818,02	1987	32	25,32	31,2	0,249
PPİK12	874,92	2045	68	53,81	32,08	0,293
PPİK23	815,52	1809	37	29,28	39,41	0,237

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, Kütahya ignimbirit agregasının ve Nevşehir pomzasının hafif beton kiremit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Uçucu kül ve genişletilmiş perlit mineral katkı olarak kullanılarak ürünlerin teknik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Bulunan sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

Kİ ve NP agregalarının hafif beton kiremit üretiminde değerlendirilebileceği yapılan çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Kİ agregası, NP agregasına göre kullanım oranı arttıkça nihai mukavemeti düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Mekanik dayanımı yüksek hafif agrega türleri de bu amaçla konu ile ilgili kişiler tarafından araştırılmalıdır.

Polimerik harçlarda mineral katkı olarak uçucu kül kullanımının mekanik dayanımı arttırdığı bulunan bir diğer sonuçtur. Genleştirilmiş perlit katkısı BHA değerlerini, dolayısıyla yalıtım performansını iyileştirdiği, ancak mukavemeti ciddi oranda azalttığı bulunmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında bir dizi kontrol numunesi oluşturulmak suretiyle hafif beton kiremit üretimi için uygun olabilecek reçete kombinasyonları belirlenmiştir. İkinci aşama çalışmalarında elde edilen sonuçlar irdelendiğinde 28 günlük BHA değerleri tüm reçetelerde 1000 kg/m^3 'ün altında bulunmuştur. Birebir kiremit formunda dökülen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde yaklaşık %30'luk bir hafifleme olduğu sonucu bulunmuştur. Elde edilen bu hafifleme oranı nakliye maliyetlerini de aynı ölçüde düşüreceği tespit edilmiştir.

Üçüncü aşama çalışmalarında plaka şeklinde dökülen numunelerden elde edilen eğilme dayanımı değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasında kurulan regrasyonel bir eşitlik yardımıyla bu tür hafif beton numunelerinin basınç dayanımlarından yola

ıkarak eğilme dayanımı değerlerinin tahmin edilebileceği doğrusal denklemler elde edilmiştir.

Hafif kiremitlerin eğilme yükü değerleri 56-77 kgf arasında çıkmıştır. Ancak laboratuvar ortamında numuneler üretilirken herhangi bir titreşim ve baskı kuvveti uygulanmamıştır. Sanayi leğinde üretim yapan fabrikalarda beton kiremitlere üretim esnasında yüksek baskı kuvveti ve titreşim uygulanacağından kiremit ağırlıkları bir miktar artsa da eğilme yükü değerleri daha yüksek seviyelerde çıkacaktır. Başka açıdan bakıldığında ise, kiremitler taşıyıcı yapı elemanları değildir ve gelişen teknoloji ile günümüzde yalnızca kaplama işlevi görmektedir. Bu sebeple de üzerine binecek yk maksimum bir insan ağırlığı kadar olacağından eğilme yükü değerleri makul düzeylerde kaldığı sonucuna varılmıştır.

Su emme oranları sektörde kullanılan kiremitlere kıyasla yüksek çıkmıştır (%31-39). Ancak su itici özellikte toz polimer katkılar ile birlikte kullanıldığında su emme değerleri minimal seviyelere düşürülebilir. Ayrıca normal beton kiremitlerde olduğu gibi dış kısımları kaplanarak bu değerler yine düşürülebilir.

Isıl iletkenlik katsayısı analizi sonuçlarına bakıldığında 5 farklı numunenin değerleri 0,213 ile 0,293 W/mK aralığında bulunmuştur. Bu değerler tez çalışmasında üretilen hafif beton kiremitlerin yalıtım performansı anlamında muadillerine göre oldukça üstün olduğu sonucunu göstermektedir.

Bulunan tüm veriler ışığında beton kiremitlerde doğal hafif agregaların kullanılması durumunda düşük birim ağırlığa sahip, yalıtımlı, eğilme yükü değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde kalan hafif kiremitlerin retililebileceği sonucu çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aksin, E., 2007. Endüstriyel Atıkların Tuğla ve Kiremit Üretiminde Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İzmir.
- Anonymous. 2002. Concrete Roof Tiles Technical Manual, CMA, 123p, Midrand.
- Çevikbaş, A., İlgün, F., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi, I. Isparta Pomza Sempozyumu, 26-28 Haziran, Isparta.
- Davraz, M., 2004. Isparta Keçiborlu Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel ve Hafif Beton Endüstrisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, 244s, Isparta
- Demir, İ., Orhan, M., 2001. Pomza Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılması. Türkiye 17 Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, 207-211.
- Döven, A.T., 1998. Lightweight fly ash aggregate production using cold bonding agglomeration process. Boğaziçi University, Ph.D. Thesis, 270p, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 1997. Admixtures for Concrete. Middle East Technical University Press, 188p, Ankara.
- Eriç, M., 2002. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, 276s, İstanbul.
- Gündüz, L., 1998. Pomza madenciliğinde sektörel faaliyetler. Pomza Teknolojisi-Cilt I, s. 33-46, Isparta.
- Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M., 2006. Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar İle Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu.
- Roma, L.C., Martello, L.S., Savastano, H., 2008. Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibers. Construction and Building Materials, 22, pp. 668-674.
- Neville, A.M., 1996. Properties of Concrete, Fourth and Final Edition. Addison Wesley Longman Limited, Harlow, UK.
- Şapçı, N., 2008. Aksaray Bölgesi Volkanik Hafif Agrega Oluşumlarının İncelenmesi Ve Endüstriyel Kullanılabilirliği. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 141s, Isparta.
- Şimsek, O., 2000 (a). Yapı Malzemesi I. Beta Basım Yayın AŞ, 146 s. İstanbul

- Tolgay, A., Yasar, E., Erdogan, Y., 2004. Nevşehir Pomzasının Agrega Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. 145-154, İzmir.
- Topçu, İ.B., 1988. Hafif Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- TS 2511, 1977. Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3234, 1978. Bimsbeton yapım kuralları, Karışım hesabı ve deney metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002. Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 206-1, 2002. Beton, özellik, performans, imalat ve uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 490, 2007. Beton çatı kiremitleri ve bağlantı parçaları, Çatı örtüsü ve duvar kaplaması için. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 491+AC, 2005. Beton Çatı Kiremitleri ve Özel parçaları Deney Metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 538, 2000. Çatı Kiremitleri Kilden Yapılmış Sürekli Olmayan (Bindirmeli) Eğilme Dayanımı Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 539-1, 2007. Çatı kiremitleri Fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 539-2, 2006. Çatı kiremitleri Dona dayanıklılık deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-1, 2002. Kagir birimler, Deney metotları, Basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-13, 2002. Kagir birimlerin net ve brüt kuru birim hacim kütlelerinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1024, 2000. Çatı Kiremitleri Geometrik Özelliklerin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1304, 2007. atı kiremitleri ve bağlantı parçaları,Tarifler ve zellikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 1114 EN 13055-1, 2004. Hafif agregalar, beton, harç ve şerbette kullanım için. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14437, 2005. Çatıya yerleştirilmiş kil veya beton kiremitlerin yukarı kalkmaya karşı direncinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

EK-1

%40 - %60 pomza+ignimbirit	5 ADET NUMUNEYE AİT ÖRNEK REÇETE					
	5. ÇALIŞMA 2.bölüm (%40-%60)					
	%AĞIRLIKLARI					
	BİLEŞEN	% AĞ.	% AĞ.	% AĞ.	% AĞ.	% AĞ.
		PPİK7	PPİK8	PPİK9	PPİK10	PPİK11
	N.P.	33,12	31,92	29,92	27,92	25,92
	K.İ.	49,68	47,88	44,88	41,88	38,88
	CEM1	15	18	23	28	33
	UÇUCU KÜL	2,25	2,7	3,45	4,2	4,95
	TOZ POLİMER KATKI	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	Toplam	100	100	100	100	100

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Tamer EFE

Doğum Yeri ve Yılı : Bergama, 1986

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bergama Akif Ersezgin Anadolu Lisesi, 1999

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, 2005

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 2009

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009-