

**FARKLI POMZA AGREGA TÜRLERİNDEN
ELDE EDİLEN HAFİF BETONUN SICAKLIK
ETKİSİNDEKİ KARAKTERİSTİĞİ**

HAKAN CEYLAN

**DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2005**

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

**FARKLI POMZA AGREGA TÜRLERİNDEN ELDE EDİLEN
HAFİF BETONUN SICAKLIK ETKİSİNDEKİ
KARAKTERİSTİĞİ**

HAKAN CEYLAN

**DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ISPARTA, 2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma, jürimiz tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan :

Üye :

Üye :

Üye :

Üye :

ONAY

Bu tez/...../2005 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..../...../2005

Prof. Dr. Çiğdem SAVAŞKAN
SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı	1
1.2. Çalışmanın Önemi ve Amacı	2
2. KAYNAK BİLGİSİ	5
2.1. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Agregas	9
2.3. Hafif Agregas	11
2.4. Pomzas	11
2.4.1. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	12
2.4.2. Pomzanın Oluşumu ve Jeolojisi	13
2.4.3. Türkiye'nin Pomza Rezerv Potansiyeli	14
2.4.4. Pomzanın Üretim, İthalat ve İhracat Rakamları	16
2.4.5. Pomzanın Kullanım Alanları	17
2.4.6. Pomzanın İnşaat Sektöründe Kullanımı	18
2.4.7. Pomzanın Üretim Yöntemi ve İşletmeciliği	19
2.5. Hafif Beton	20
2.5.1. Hafif Betonun Normal Betona Göre Üstünlükleri	21
2.5.2. Hafif Betonun Kullanım Alanları	22
2.5.3. Hafif Betondan Üretilen Yapı Elemanları	23
2.5.4. Hafif Betondan Üretilen Bimsbloklar	24
3. MATERYAL ve METOT	27
3.1. Materyal	27

3.1.1. Nevşehir-Göre Pomzası	27
3.1.2. Kayseri-Talas Pomzası	27
3.1.3. İzmir-Menderes Perlitik Pomzası	27
3.1.4. Çimento	28
3.1.5. Su	28
3.1.6. Çalışmada Kullanılan Araçlar	29
3.2. Metot	32
3.2.1. Pomza Agregalarının Analizinde Uygulanan Metotlar	32
3.2.1.1. Pomza Agregalarının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri	33
3.2.1.2. Pomza Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımı	34
3.2.1.3. Pomza Agregalarının Birim Ağırlık Analizi	37
3.2.1.4. Pomza Agregalarının Organik Madde İçeriği Tayini	38
3.2.1.5. Pomza Agregalarının Su Emme Oranı, Porozite, Komposite ve Doyma Derecesi Analizleri	38
3.2.1.6. Pomza Agregalarının İncelik Modülü	39
3.2.1.7. Pomza Agregalarının İnce Madde Oranı Analizi	39
3.2.1.8. Pomza Agregalarının Sülfat Tayini Analizi	40
3.2.1.9. Pomza Agregalarının Hava Etkilerine Dayanım Analizi	41
3.2.1.10. Pomza Agregalarının Kızdırma Kaybı Analizi	42
3.3.2. Hafif Beton Numunelerinin Analizinde Uygulanan Metotlar	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
4.1. Pomza Agregaları İle İlgili Yapılan Analiz Bulguları	47
4.1.1. Nevşehir-Göre Pomzası İle İlgili Analiz Bulguları	47
4.1.1.1. Nevşehir-Göre Pomzasının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri	47
4.1.1.2. Nevşehir-Göre Pomzasının Tane Büyüklüğü Dağılımı Analiz Bulguları	52
4.1.1.3. Nevşehir-Göre Pomzasının Birim Ağırlık Analiz Bulguları	53
4.1.1.4. Nevşehir-Göre Pomzasının Organik Madde Tayini Analiz Bulguları	55
4.1.1.5. Nevşehir-Göre Pomzasının Su Emme, Porozite, Komposite ve Doyma Derecesi Analiz Bulguları	55

4.1.1.6. Nevşehir-Göre Pomzasının İncelik Modülü Analiz Bulguları	57
4.1.1.7. Nevşehir-Göre Pomzasının İnce Madde Oranı Analiz Bulguları	59
4.1.1.8. Nevşehir-Göre Pomzasının Sülfat Tayini Analiz Bulguları	60
4.1.1.9. Nevşehir-Göre Pomzasının Hava Etkilerine Dayanım Analiz Bulguları	60
4.1.1.10. Nevşehir-Göre Pomzasının Kızdırma Kaybı Analiz Bulguları	62
4.1.2. Kayseri-Talas Pomzası İle İlgili Analiz Bulguları	63
4.1.2.1. Kayseri-Talas Pomzasının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri	63
4.1.2.2. Kayseri-Talas Pomzasının Tane Büyüklüğü Dağılımı Analiz Bulguları	68
4.1.2.3. Kayseri-Talas Pomzasının Birim Ağırlık Analiz Bulguları	69
4.1.2.4. Kayseri-Talas Pomzasının Organik Madde Tayini Analiz Bulguları	71
4.1.2.5. Kayseri-Talas Pomzasının Su Emme, Porozite, Kompasite ve Doyma Derecesi Analiz Bulguları	71
4.1.2.6. Kayseri-Talas Pomzasının İncelik Modülü Analiz Bulguları	72
4.1.2.7. Kayseri-Talas Pomzasının İnce Madde Oranı Analiz Bulguları	73
4.1.2.8. Kayseri-Talas Pomzasının Sülfat Tayini Analiz Bulguları	74
4.1.2.9. Kayseri-Talas Pomzasının Hava Etkilerine Dayanım Analiz Bulguları	74
4.1.2.10. Kayseri-Talas Pomzasının Kızdırma Kaybı Analiz Bulguları	75
4.1.3. İzmir-Menderes Perlitik Pomzası İle İlgili Analiz Bulguları	77
4.1.3.1. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri	77
4.1.3.2. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Tane Büyüklüğü Dağılımı Analiz Bulguları	82
4.1.3.3. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Birim Ağırlık Analiz Bulguları	84
4.1.3.4. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Organik Madde Tayini Analiz Bulguları	84
4.1.3.5. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Su Emme, Porozite, Kompasite ve Doyma Derecesi Analiz Bulguları	85
4.1.3.6. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının İncelik Modülü Analiz Bulguları	85
4.1.3.7. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Sülfat Tayini Analiz Bulguları	86
4.1.3.8. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Hava Etkilerine Dayanım Analiz Bulguları	86
4.2. Hafif Beton Numuneleri İle İlgili Analiz Bulguları	87

4.2.1. Hafif Beton Numunelerinin Kuru Birim Hacim Ağırlık Analiz Bulguları	88
4.2.2. Hafif Beton Numunelerinin Su Emme Deneyi Sonuçları	89
4.2.3. Hafif Beton Numunelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Bulguları	90
4.2.4. Hafif Beton Numunelerinin İnce Kesitlerinin İrdelenmesi	90
4.2.5. Hafif Beton Numunelerine Sıcaklık Etkisinin Analizi İle İlgili Bulgular ...	101
4.2.6. Hafif Beton Numunelerinde Çimento Oranının Dayanıma Etkisi	103
4.2.7. Hafif Beton Numunelerinde Çimento Oranının Kuru Birim Hacim Ağırlığa Etkisi	110
4.2.8. Hafif Beton Numunelerinde Sıcaklığın Kuru Birim Hacim Ağırlığa Etkisi	116
4.2.9. Hafif Beton Numunelerinde Sıcaklığın Dayanıma Etkisi	131
4.2.10. Hafif Beton Numunelerinde Kullanılan Pomza Türlerinin Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği	152
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	168
6. KAYNAKLAR	176
ÖZGEÇMİŞ	183
EK-1 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN KBHA DEĞERLERİ	184
EK-2 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN SU EMME ORANLARI	188
EK-3 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 28 GÜNLÜK TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIM DEĞERLERİ	190
EK-4 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 120°C'DEKİ DAYANIM VE KBHA DEĞERLERİ	194
EK-5 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 180°C'DEKİ DAYANIM VE KBHA DEĞERLERİ	196
EK-6 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 200 °C'DEKİ DAYANIM VE KBHA DEĞERLERİ	198
EK-7 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 28 GÜNLÜK VE 120°C, 180°C, 200°C SICAKLIK ETKİSİ SONRASI BASINÇ DAYANIM DEĞERLERİ..	200

ÖZET

Pomza, endüstriyel olarak birçok kullanım alanı olan bir hammaddedir. İnşaat, tekstil, tarım ve kimya sektöründe yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bunların dışında, spesifik olarak birçok alanda kullanımı mevcuttur. Ayrıca pomzanın farklı alanlarda kullanımı ile ilgili yeni çalışmalar da yapılmaktadır. Bu kadar yaygın kullanım alanı bulunması, pomzanın belirli özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Volkanik faaliyetler sonucu oluşan pomza, gözenekli, bünyesinde kristal suyu bulunmayan bir kayadır. Gözenekli olması nedeniyle kullanıldığı alanlarda, ısı ve ses geçirgenliği açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca hafif olması da gözeneklilik özelliğinin bir sonucudur. Hafifliği, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin iyi olması nedeniyle özellikle inşaat sektöründe, değişik türde yapı malzemelerinin üretiminde kullanım alanı bulmaktadır. Pomza tüketiminin büyük bir bölümü de inşaat sektöründe, yapı malzemeleri üretiminde olmaktadır. Ancak, pomzanın inşaat sektöründe yaygın kullanılan geleneksel yapı malzemelerine göre, kullanım oranı oldukça düşüktür. Pomzanın inşaat sektöründe, özellikle taşıyıcı olmayan, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı hafif beton üretiminde hafif agrega olarak kullanımı, teknik özellikleri bakımından uygun olmasına rağmen, diğer malzemelere oranla, olması gereken düzeyde değildir. Bunun nedenlerinden biri de ülkemizin bir değer olan bu doğal kaynakla ilgili, yeterli düzeyde bilimsel çalışmaların olmamasıdır.

Bu tez çalışması, pomzanın taşıyıcı olmayan hafif beton üretiminde, hafif agrega olarak kullanımı ve pomza kullanılarak üretilmiş hafif betonların belirli bir sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonraki dayanım değerlerindeki değişimleri inceleyen teorik bir çalışmadır. Türkiye’de, birçok değişik türde pomza yataklanmaları mevcuttur. Bu çalışma için, bu türlerden Kayseri İli Talas İlçesi’nden, Nevşehir İli Göre Beldesi’nden çıkarılan pomzalar ve İzmir İli Menderes İlçesi’nden çıkarılan perlitik pomzalar seçilmiştir. Çalışmada kullanılan türlerin, hafif agrega olarak karakteristik özellikleri incelendikten sonra, belirlenen 26 karışım grubuna ait 3 farklı çimento oranında, 78 ayrı hafif beton dökümü, kuru karışım olarak yapılmış ve elde edilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık, su emme, dayanım, sıcaklık etkisinde dayanım gibi bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, çimento oranının hafif beton numunelerinin dayanımına ve birim hacim ağırlığına etkisi, sıcaklığın hafif beton numunelerinin dayanımına ve kuru birim hacim ağırlığına etkisi, hafif beton numunelerinde kullanılan pomza türlerinin sıcaklık etkisindeki karakteristiği ve pomza türlerin birbirlerine ile kıyaslanması hususunda irdelenmeler yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, pomza türleri ve bu türlerden üretilen hafif betonların sıcaklık etkisindeki karakteristikleri ile ilgili çıkarımlar elde edilmeye çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER : Pomza, hafif agrega, hafif beton, sıcaklık etkisi

ABSTRACT

Pumice is an industrial raw material with many areas of usage. It is especially widely used in construction, textile, agriculture and chemical products industries. Other specific usage in addition to these exist. Studies for use of pumice potentially in new areas continue. Main reason for wide usage of pumice is its unique properties. Pumice is a porous rock, which is formed as a result of volcanic activity and does not include any crystal water. Its porous structure makes it light-weight and provides advantage for heat and sound isolation. For these reasons, it is widely used in manufacturing of various materials in construction industry. The majority of pumice consumption is made up of such usage. Still, compared to other materials used in construction, usage of pumice is relatively low. Although it is technically possible to use pumice as light aggregate in non-load bearing, semi-load bearing and in bearing lightweight concrete production; the level of usage is not where it should be.. One of the major reasons for low usage of pumice is the fact that there are not enough researches on this natural resource of our country.

In this thesis, different pumice aggregates as a natural raw material for civil engineering applications were experimentally analysed. A comprehensive experimental research work was carried out on their use in non-load bearing applications and as lightweight aggregate. Specially, the research study was detailed on the compressive strength characteristics of pumice aggregate lightweight concrete under the different temperature effects. A series of experimental research program was followed to analyse the different pumice aggregate in different mixture proportions under a variety of temperature values. Pumice aggregates were collected from Kayseri Talas Region, Nevşehir Göre Region and İzmir Menderes Region for the research activities. In the research, characteristics of pumice aggregate as a natural material was first analysed for suitability of experimental concrete test program. then, 26 mixture group was determined based on three different cement percentage and totally 78 pumice aggregate batches were cast for technical testing applications. In these tests, a series of technical properties of lightweight concrete samples were determined such as dry bulk density, water absorption compressive strength, temperature effects on strength etc. A technical approach was developed for the temperature effects on strength characteristics of pumice aggregate lightweight concrete according to the research findings. A comparative meaning of tests was also discussed in detail.

KEY WORDS : Pumice, lightweight aggregate, lightweight concrete, temperature effects

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde gösterdikleri katkılardan dolayı aşağıda adı geçen kişilere içtenlikle teşekkür ederim.

Prof. Dr. M. Saim SARAÇ (Tez Danışmanı), doktora eğitimimde bana destek vermiş ve daima olumlu yönde katkı yaparak bu çalışmanın tamamlanmasını sağlamıştır.

Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ, bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde yön gösterici olmuş ve çalışma boyunca karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yardımcı olmuştur. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarının yapılabilmesi için Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi'nin olanaklarından yararlanmamı sağlamıştır.

Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde yapılan deneysel çalışmalarda, Jeoloji Mühendisi Nükhet ŞAPÇI ve Maden Mühendisi Mustafa BEKAR önemli katkılar sağlamıştır.

Ayrıca, eşim Yard. Doç. Dr. Berit GÖKÇE CEYLAN her zaman bana destek vererek ve teşvik ederek başarıya ulaşmamı sağlamıştır.

Hakan CEYLAN

Simgeler (Kısaltmalar) Dizini

A	0,063 mm'lik elekten geçen malzeme yüzdesi
AB	Asmolen blok
A.K.	Ateşte Kayıp
ARGE	Araştırma Geliştirme
B	Yıkama öncesi kurutulmuş malzeme ağırlığı (gr)
BDB	Boşluklu duvar bloğu
C	Yıkama sonrası kurutulmuş toplam elek üstü malzeme ağırlığı (gr)
ÇP	Portland Çimentosu (32,5)
d_h	Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
D	Birim hacim ağırlık sınıfı
Do	Doyma derecesi
DDB	Dolu duvar bloğu
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EN	Avrupa Birliği Normu
$f_{ck,küp}$	En düşük karakteristik küp dayanımı (N/mm^2)
$f_{ck,sil.}$	En düşük karakteristik silindir dayanımı (N/mm^2)
k_0	Görünür kompasite (%)
k_1	Gerçek kompasite (%)
KAB	Statik çalışmaya katılan asmolen blok
KBHA	Kuru birim hacim ağırlık (kg/m^3)
L	Lento
LC	Hafif beton
LCM_{24}	Hafif betonun 24 saatlik su emme oranı (%)
LCM_{48}	Hafif betonun 48 saatlik su emme oranı (%)

LCM ₇₂	Hafif betonun 72 saatlik su emme oranı (%)
M _T	Agreganın zamana bağlı su emme oranı (%)
M ₂₄	Agreganın 24 saatlik su emme oranı (%)
M ₄₈	Agreganın 48 saatlik su emme oranı (%)
M ₇₂	Agreganın 72 saatlik su emme oranı (%)
M ₉₆	Agreganın 96 saatlik su emme oranı (%)
MTA	Maden Tetkik Arama
n _o	Görünür porozite (%)
n ₁	Gerçek porozite (%)
PK	Kayseri-Talas pomzası
PN	Nevşehir-Göre pomzası
PM	İzmir-Menderes perlitik pomzası
SDÜ	Süleyman Demirel Üniversitesi
SW	Özel yarıklı duvar bloğu
TS	Türk Standartları
TS-EN	Avrupa Birliği normlarına uygun Türk standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
W ₁	Numunenin etüvde 105°C'de değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş ağırlığı (gr)
W ₂	Numunenin kuru yüzey doygun ağırlığı (gr)
X	Haritada (yukarı) koordinat değeri
Y	Haritada (sağa) koordinat değeri
YÖK	Yüksek Öğretim Kurulu
YP	Yalıtım plağı

ρ	Özgöl ağırlık (gr/cm ³)
σ_{28}	28 günlük betonun basınç dayanım değeri (kg/cm ²)
$\sigma_{120^{\circ}\text{C}}$	Betonun, 120°C sıcaklık uygulamasından sonraki basınç dayanım değeri (kg/cm ²)
$\sigma_{180^{\circ}\text{C}}$	Betonun, 180°C sıcaklık uygulamasından sonraki basınç dayanım değeri (kg/cm ²)
$\sigma_{200^{\circ}\text{C}}$	Betonun, 200°C sıcaklık uygulamasından sonraki basınç dayanım değeri (kg/cm ²)

Şekiller Dizini

	Sayfa
Şekil 1.1. Tez çalışması ile ilgili genel akım şeması	4
Şekil 2.1. Değişik geometrik boyutlarda üretilmiş bimsblok örnekleri	26
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan beton mikseri	30
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan vibrasyonlu kalıp presi	30
Şekil 3.3. Hafif beton numuneleri (a)	31
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan hidrolik pres	31
Şekil 3.5. Deneysel çalışma ve analizlerin akım şeması olarak gösterimi	33
Şekil 3.6. Kare delikli eleklerde beton agregası granülometrisi	35
Şekil 3.7. Yuvarlak delikli eleklerde beton agregası granülometrisi	36
Şekil 3.8. Kare delikli eleklerde pomza agrega granülometrisi	36
Şekil 3.9. Yuvarlak delikli eleklerde pomza agrega granülometrisi	37
Şekil 3.10. Hafif beton numuneleri (b)	44
Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan hassas elektronik terazi	44
Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan etüv	45
Şekil 4.1. Nevşehir-Göre yöresi pomza agrega örneğinin ince kesit görünümü (a) ..	49
Şekil 4.2. Nevşehir-Göre yöresi pomza agrega örneğinin ince kesit görünümü (b) ..	49
Şekil.4.3. Nevşehir-Göre yöresi pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü	50
Şekil.4.4. Nevşehir-Göre yöresi pomza agrega örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (a)	51
Şekil.4.5. Nevşehir-Göre yöresi pomza agrega örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (b)	51
Şekil 4.6. Nevşehir-Göre pomzasına (tüvenan) ait granülometri eğrisi	53
Şekil.4.7. Kayseri-Talas yöresi pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü (a)	65
Şekil.4.8. Kayseri-Talas yöresi pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü (b).....	66
Şekil.4.9. Kayseri-Talas yöresi pomza agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü (a), (kpr: klinopiroksen)	67
Şekil.4.10. Kayseri-Talas yöresi pomza agrega örneğinde bulunan	

minerallerin görünümü (b).....	67
Şekil 4.11. Kayseri-Talas pomzasına (tüvenan) ait granülometri eğrisi	69
Şekil 4.12. İzmir-Menderes yöresi pomza agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü (a)	79
Şekil 4.13. İzmir-Menderes yöresi pomza agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü (b).....	79
Şekil.4.14. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü	80
Şekil.4.15. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agrega örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (a)	81
Şekil.4.16. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agrega örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (b)	81
Şekil 4.17. İzmir-Menderes perlitik pomzasına (tüvenan) ait granülometri eğrisi.....	83
Şekil 4.18. Üç ayrı türün granülometri eğrilerinin aynı eksen takımında gösterimi .83	
Şekil 4.19. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (a)	91
Şekil 4.20. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (b).....	92
Şekil 4.21. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (c).....	93
Şekil 4.22. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (d).....	93
Şekil 4.23. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (a)	94
Şekil 4.24. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (b)	95
Şekil 4.25. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (c)	96
Şekil 4.26. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (d)	96
Şekil 4.27. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafi (a)	97

Şekil 4.28. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (b)	98
Şekil 4.29. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (c)	99
Şekil 4.30. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (d)	100
Şekil 4.31. Hafif beton numunelerinde çimento oranı-dayanım ilişkisi	104
Şekil 4.32. %70PK(0/4)+%30PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	105
Şekil 4.33. %50PK(0/4)+%50PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	105
Şekil 4.34. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği.....	106
Şekil 4.35. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	106
Şekil 4.36. %60PK(0/4)+%40PN(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	107
Şekil 4.37. %60PK(0/4)+%40PN(0/4) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	107
Şekil 4.38. %100PM(0/4) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	108
Şekil 4.39. %60PM(0/4)+%40PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği.....	108
Şekil 4.40. %50PM(0/4)+%50PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	109
Şekil 4.41. %40PM(0/4)+%60PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği	109
Şekil 4.42. Hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin çimento oranına göre değişimi	110
Şekil 4.43. %70PK(0/4)+%30PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	111
Şekil 4.44. %50PK(0/4)+%50PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento	

oranı-KBHA ilişkisi grafiği.....	111
Şekil 4.45. %30PK(0/4)+%70PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	112
Şekil 4.46. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	112
Şekil 4.47. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	113
Şekil 4.48. %60PK(0/4)+%40PN(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	113
Şekil 4.49. %50PK(0/4)+%50PN(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	114
Şekil 4.50. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PN(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	114
Şekil 4.51. %100PM(0/4) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği	115
Şekil 4.52. %40PM(0/4)+%60PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği.....	115
Şekil 4.53. %70PK(0/4)+%30PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	116
Şekil 4.54. %60PK(0/4)+%40PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	117
Şekil 4.55. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	117
Şekil 4.56. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	118
Şekil 4.57. %40PK(0/4)+%60PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	118
Şekil 4.58. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	119
Şekil 4.59. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	119
Şekil 4.60. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16)+%6ÇP karışım	

kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	120
Şekil 4.61. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16)+%10ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	120
Şekil 4.62. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	121
Şekil 4.63. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%8ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	121
Şekil 4.64. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%10ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	122
Şekil 4.65. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	122
Şekil 4.66. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+ 8ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	123
Şekil 4.67. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	123
Şekil 4.68. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	124
Şekil 4.69. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	124
Şekil 4.70. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	125
Şekil 4.71. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PN(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	125
Şekil 4.72. %70PK(0/4)+%30PN(0/4)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	126
Şekil 4.73. %60PK(0/4)+%40PN(0/4)+%6ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-	
KBHA ilişkisi grafiği	126
Şekil 4.74. %100PM(0/4)+%10ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA	
ilişkisi grafiği.....	127
Şekil 4.75. %80PM(0/4)+%20PM(4/8)+%10ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-	
KBHA ilişkisi grafiği.....	127
Şekil 4.76. %70PM(0/4)+%30PM(4/8)+%10ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-	

KBHA ilişkisi grafiği.....	128
Şekil 4.77. %60PM(0/4)+%40PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonu ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	128
Şekil 4.78. %50PM(0/4)+%50PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	129
Şekil 4.79. %40PM(0/4)+%60PM(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	129
Şekil 4.80. %40PM(0/4)+%60PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği.....	130
Şekil 4.81. %30PM(0/4)+%70PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	130
Şekil 4.82. %100PM(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği	131
Şekil 4.83. %70PK(0/4)+%30PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	132
Şekil 4.84. %70PK(0/4)+%30PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği.....	133
Şekil 4.85. %60PK(0/4)+%40PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği.....	133
Şekil 4.86. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	134
Şekil 4.87. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	134
Şekil 4.88. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği.....	135
Şekil 4.89. %40PK(0/4)+%60PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği.....	135
Şekil 4.90. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	136
Şekil 4.91. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	136
Şekil 4.92. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16)+%8ÇP karışım	

kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği.....	137
Şekil 4.93. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%8ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	137
Şekil 4.94. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	138
Şekil 4.95. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+%8ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	138
Şekil 4.96. %70PK(0/4)+%30PN(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	140
Şekil 4.97. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	140
Şekil 4.98. %50PK(0/4)+%50PN(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	141
Şekil 4.99. %50PK(0/4)+%50PN(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	141
Şekil 4.100. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	142
Şekil 4.101. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%8ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	142
Şekil 4.102. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%10ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	143
Şekil 4.103. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PN(8/16)+%6ÇP karışım	
kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	143
Şekil 4.104. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PN(8/16)+%8ÇP karışım	
kompozisyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	144
Şekil 4.105. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PN(8/16)+%6ÇP kombinasyonuna	
ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	144
Şekil 4.106. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PN(8/16)+%8ÇP kombinasyonuna	
ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	145
Şekil 4.107. %70PK(0/4)+%30PN(0/4)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait	
sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	145
Şekil 4.108. %70PK(0/4)+%30PN(0/4)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait	

sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	146
Şekil 4.109. %60PK(0/4)+%40PN(0/4)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	146
Şekil 4.110. %100PM(0/4)+ %8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık- dayanım ilişkisi grafiği	148
Şekil 4.111. %100PM(0/4)+ %10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık- dayanım ilişkisi grafiği	148
Şekil 4.112. %80PM(0/4)+ %20PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	149
Şekil 4.113. %70PM(0/4)+%30PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	149
Şekil 4.114. %50PM(0/4)+%50PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	150
Şekil 4.115. %40PM(0/4)+ %60PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği.....	150
Şekil 4.116. %20PM(0/4)+%80PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği	151
Şekil 4.117. %100PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık- dayanım ilişkisi grafiği.....	151
Şekil 4.118. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 1-Karışım 20 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	153
Şekil 4.119. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 1-Karışım 20 kıyaslaması, hacimce%8ÇP)	153
Şekil 4.120. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 1-Karışım 20 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)	154
Şekil 4.121. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 2-Karışım 21 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	154
Şekil 4.122. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 2-Karışım 21 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)	155
Şekil 4.123. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 2-Karışım 21 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)	155
Şekil 4.124. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım	

ilişkisi (Karışım 3-Karışım 22 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	156
Şekil 4.125. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 3-Karışım 22 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)	156
Şekil 4.126. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 3-Karışım 22 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)	157
Şekil 4.127. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 4-Karışım 23 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	157
Şekil 4.128. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 4-Karışım 23 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP).....	158
Şekil 4.129. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 4-Karışım 23 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)	158
Şekil 4.130. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 5-Karışım 24 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	159
Şekil 4.131. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 5-Karışım 24 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP).....	159
Şekil 4.132. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 5-Karışım 24 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP).....	160
Şekil 4.133. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 6-Karışım 12 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	162
Şekil 4.134. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 6-Karışım 12 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)	162
Şekil 4.135. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 6-Karışım 12 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)	163
Şekil 4.136. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 7-Karışım 13 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	163
Şekil 4.137. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 7-Karışım 13 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)	164
Şekil 4.138. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 7-Karışım 13 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)	164
Şekil 4.139. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 8-Karışım 14 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)	165
Şekil 4.140. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım	

ilişkisi (Karışım 8-Karışım 14 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)	165
Şekil 4.141. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 8-Karışım 14 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP).....	166

Çizelgeler Dizini

	Sayfa
Çizelge 2.1. Pomza ruhsatlarının illere göre dağılımı	15
Çizelge 2.2. Pomza rezervlerinin illere göre dağılımı	15
Çizelge.2.3. Yıllara göre pomza üretim miktarları	16
Çizelge 2.4. Türkiye'nin pomza ihracat rakamları	16
Çizelge 2.5. Türkiye'nin pomza ithalat rakamları	16
Çizelge 2.6. Hafif betonun birim hacim ağırlığına göre sınıflandırılması	23
Çizelge 2.7. Hafif beton için beton dayanım sınıfları	23
Çizelge 2.8. Pomzadan mamul yapı elemanlarının uygunluk kriterleri	25
Çizelge 3.1. TS 1114'e göre hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı	34
Çizelge 3.2. Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri	35
Çizelge 3.3. İncelik modülü limit değerleri	39
Çizelge 3.4. Doğal hafif agregada ince madde oranı	40
Çizelge 3.5. Hafif beton numunelerine ait karışım oranları	43
Çizelge 4.1. Nevşehir-Göre pomzasının kimyasal bileşimi	48
Çizelge 4.2. Nevşehir-Göre pomzasının (tüvenan) granülometrik özellikleri	52
Çizelge 4.3. Nevşehir-Göre pomzasının gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri	54
Çizelge 4.4. Nevşehir-Göre pomzasının (tüvenan) gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri	54
Çizelge 4.5. TS 1114'e göre hafif agregaların gevşek birim hacim ağırlık değerleri	54
Çizelge 4.6. TS 3529'a göre hafif agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri	55
Çizelge 4.7. Nevşehir-Göre pomzası örneklerinin su emme oranları	56
Çizelge 4.8. Nevşehir-Göre pomzası (0/8 mm) incelik modülü dağılımı	58
Çizelge 4.9. Nevşehir-Göre pomzasının (0/4 mm) incelik modülü dağılımı	58

Çizelge 4.10. Nevşehir-Göre pomzasının (0/2 mm) incelik modülü dağılımı	58
Çizelge 4.11. Nevşehir-Göre pomzası (0/8 mm) ince malzeme miktarı	59
Çizelge 4.12. Nevşehir-Göre pomzası (0/16 mm) ince malzeme miktarı	60
Çizelge 4.13. Nevşehir-Göre pomzasının (0/8 mm) hava etkilerine dayanım analiz bulguları	61
Çizelge 4.14. Nevşehir-Göre pomzasının ateşe dayanıklılık analiz değerleri	62
Çizelge 4.15. Nevşehir-Göre pomzasının kızdırma kaybı analiz bulguları	63
Çizelge 4.16. Kayseri-Talas pomzasının kimyasal bileşimi	64
Çizelge 4.17. Kayseri-Talas pomzasının (tüvenan) granülometrik özellikleri	68
Çizelge 4.18. Kayseri-Talas pomzasının TS 1114 standardı granülometrisine göre gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri	70
Çizelge 4.19. Kayseri-Talas pomzasının (tüvenan) gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri	70
Çizelge 4.20. Hafif agregaların gevşek birim hacim ağırlık değerleri	70
Çizelge 4.21. TS 3529'a göre hafif agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri	70
Çizelge 4.22. Kayseri-Talas pomzasının su emme oranları	71
Çizelge 4.23. Kayseri-Talas pomzasının (0/8 mm) incelik modülü dağılımı	72
Çizelge 4.24. Kayseri-Talas pomzasının (0/4 mm) incelik modülü dağılımı	72
Çizelge 4.25. Kayseri-Talas pomzasının (0/2 mm) incelik modülü dağılımı	73
Çizelge 4.26. Kayseri-Talas pomzasının (0/8 mm) ince malzeme miktarı	73
Çizelge 4.27. Kayseri-Talas pomzasının (0/16 mm) ince malzeme miktarı	74
Çizelge 4.28. Kayseri-Talas pomzası (0/8) hava etkilerine dayanım analiz Bulguları	75
Çizelge 4.29. Kayseri-Talas pomzasının kızdırma kaybı analiz bulguları	76
Çizelge 4.30. Kayseri-Talas pomzasının ateşe dayanıklılık analiz değerleri	76
Çizelge 4.31. İzmir-Menderes perlitik pomzasının kimyasal bileşimi	78
Çizelge 4.32. İzmir-Menderes perlitik pomzasının (tüvenan) granülometrik özellikleri	82
Çizelge 4.33. İzmir-Menderes perlitik pomzasının gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri	84
Çizelge 4.34. İzmir-Menderes perlitik pomzasının (tüvenan) gevşek-sıkışık	

birim ağırlık değerleri	84
Çizelge 4.35. İzmir-Menderes perlitik pomzasının su emme oranları	85
Çizelge 4.36. İzmir-Menderes perlitik pomzasının (0/8 mm) incelik modülü dağılımı	86
Çizelge 4.37. En yüksek basınç dayanımının elde edildiği ilk 10 serinin numaraları	102

1. GİRİŞ

Pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşan; gözenekli, doğal kökenli hafif bir kayaç türüdür. Bir çok sektörde kullanılmakla birlikte, en fazla tüketimi inşaat sektöründe olmaktadır. Ülkemizde de özellikle inşaat sektöründe kullanımını giderek artmakta ve önem kazanmaktadır.

Pomza cevheri, inşaat sektöründe, yapı malzemesi olarak değişik amaçlarla üretilen hafif betonun elde edilmesinde agrega olarak kullanılmaktadır. Pomzadan taşıyıcı, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı bileşenleri veya elemanları üretmek mümkündür.

Madencilik açısından üretimi kolay bir ürün olan pomzanın, açık ocak işletmeciliği şeklinde üretimi yapılmaktadır. Bu nedenle ekonomiktir ve ayrıca ülke ekonomisine katma değeri yüksek olan bir malzemedir.

1.1. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma, endüstriyel bir hammadde olan pomzanın, inşaat sektöründe bimsblok üretiminde (hafif betonda agrega olarak) kullanımını, pomzadan elde edilen hafif betonların sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonraki karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili deneysel çalışmaları ve bu deneysel çalışmaların sonuçlarının yorumlanmasını kapsamaktadır.

Türkiye'nin değişik yörelerinde farklı karakteristiklere sahip birçok pomza türü mevcuttur. Farklı tür ve karışımlarda pomza agregasından elde edilen hafif beton uygulamaları üzerine henüz yeterli düzeyde inceleme, analiz ve araştırma yapılmamıştır. Bu bakımdan, ülkemizin değişik bölgelerinde üretilen, farklı karakteristik özellikler gösteren pomza türlerinin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımı ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir (Gündüz vd., 1998).

Tez çalışmasında, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas yöresi pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası ana materyal olarak kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, bu

türlerin hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımı ile ilgili olarak, literatürde yeterli düzeyde bir araştırma veya ARGE çalışmasına rastlanılmamıştır. Yani, ülkemizde bulunan birçok pomza türünde olduğu gibi, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının hafif beton agregası olarak kullanımı ile ilgili henüz yeterli düzeyde çalışmalar yapılmamıştır. Bu nedenle tez çalışması için, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası seçilmiş ve bu türler kullanılarak kuru karışım olarak hazırlanan hafif beton numuneleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının hafif agrega olarak kullanılabilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmalar tamamlandıktan sonra, bu türlere ait 26 farklı karışım kombinasyonu oluşturulmuştur. Daha sonra bu karışım kombinasyonları laboratuvar koşullarında kuru karışım olarak hazırlanmış ve her karışım kombinasyonu için hacimce %6, %8, ve %10 olmak üzere 3 ayrı dozajda, toplam 78 farklı seri hafif beton örnekleri hazırlanmıştır. Daha sonra elde edilen numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

1.2. Çalışmanın Önemi ve Amacı

Pomza, inşaat sektöründe hafif yapı elemanı üretiminde, prefabrik yapı elemanı üretiminde, çatı kaplama elemanı üretiminde, hafif hazır sıva ve harç üretiminde, çatı ve döşeme izolasyon dolgusu olarak ve hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Bunların dışında endüstride, abrasif (aşındırıcı malzeme), boya sanayinde pürüzlü kaplamada ses izole edici duvar boyası, kimya sanayinde kimyasal taşıyıcı ve filtrasyon malzemesi olarak, seramik endüstrisinde astar malzemesi ve tarımda toprağın özelliklerinin ıslah edilmesi, suni gübrenin topaklaşmasının önlenmesi amacıyla anti-kek olarak kullanıldığı bilinmektedir (Davraz ve Gündüz, 1997).

Anlaşılabacağı üzere pomza, birçok endüstri dalında oldukça yaygın kullanılabilen bir hammaddedir. Ancak böyle geniş bir kullanım alanı olan ve ülkemizde de oldukça yüksek rezerv potansiyeli bulunan bu endüstriyel hammadde ile ilgili yeterli düzeyde çalışmaların yapılmadığı da anlaşılmaktadır. Özellikle pomzanın işlenmesi ve üretim

süreçlerinden geçirilerek değişik endüstrilerde hammadde olarak kullanılabilmesi ile ilgili çalışmaların önemi ortadadır.

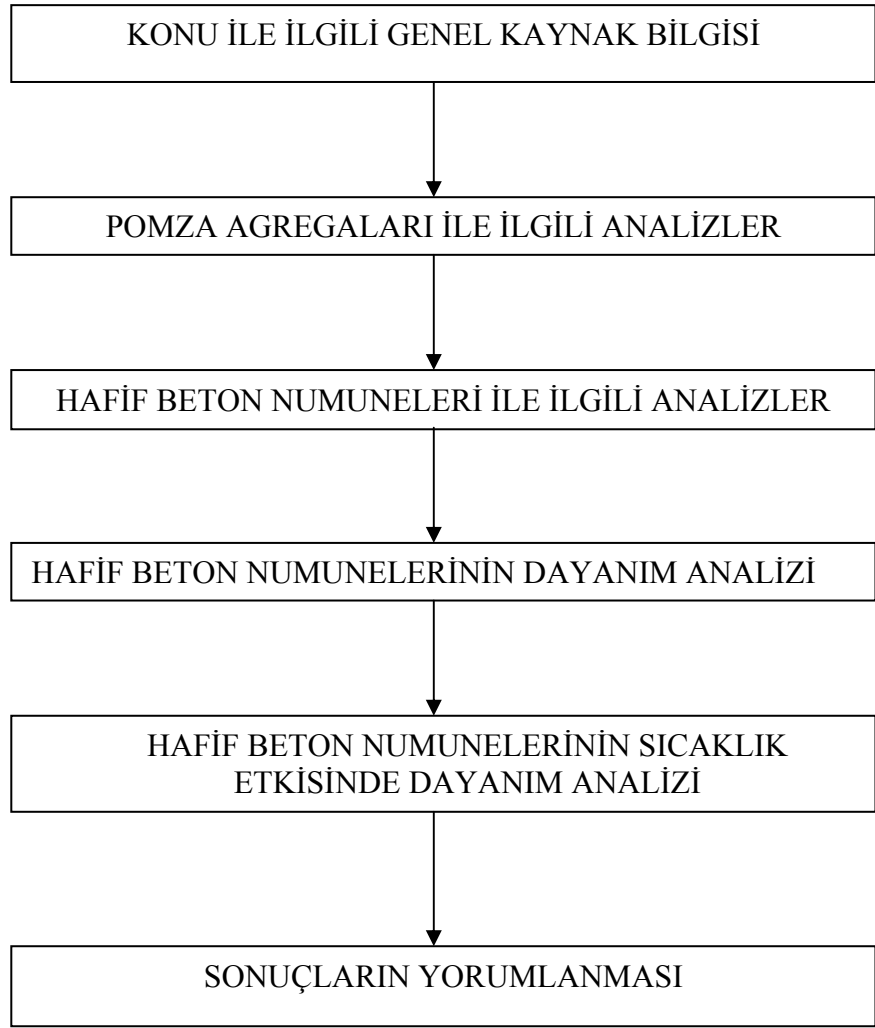
Bu çalışma, pomzanın inşaat sektöründe, bimsblok amaçlı hafif beton üretiminde agregası olarak kullanılabilirliği ile ilgili deneysel, analizlere dayalı bir çalışmadır. Diğer bir deyişle bir agregası çalışmasıdır. Agregası konusu da gündemde olan önemli bir konudur. Kentsel üst ve alt yapıların hızla arttığı ve yenilendiği günümüzde agregası ihtiyacının da katlanarak artacağı düşünülmektedir. Bazı araştırmacılar, kentlere yakın agregası kaynaklarının verimli ve planlı bir şekilde değerlendirilmemesi durumunda, gelecekte agregası sıkıntısının yaşanabileceğini, bu nedenle şu anki yatakların ve malzemelerin çok iyi korunması ve değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedirler. Agregası konusu, bu nedenle üzerinde detaylı çalışmalar yapılması gereken önemli bir konudur. Hafif agregası konusu ise ülkemizde inşaat sektöründe maalesef olması gereken yerde değildir ve üzerinde daha çok araştırmalara gereksinim duyulan bir konudur.

YÖK Tez Merkezinde yapılan inceleme neticesinde, 2003 yılına kadar pomza ile ilgili 34 adet tez çalışmasının yapıldığı, bunlardan sadece 3 tanesinin doktora düzeyinde olduğu diğerlerinin yüksek lisans tezi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bu tez çalışmalarından sadece 4'ünün Maden Mühendisliği Anabilim dalında yapıldığı görülmüştür. Yani konu ile ilgili akademik düzeyde yapılan çalışmalar oldukça dar kapsamlı ve azdır. Ayrıca Maden Mühendisliği açısından konu ile ilgili yeterli düzeyde çalışma yapılmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle böylesine önemli bir konuda, yeni çalışmalar yapılması gerekliliğinden hareketle bu tez çalışmasına başlanmıştır.

Çalışmanın amacı, pomzanın inşaat sektöründe bimsblok amaçlı hafif beton üretiminde, agregası olarak kullanılabilirliği ile ilgili deneysel çalışmalar yapmak, yapılan çalışmaların sonuçlarının yorumlanması ve bunun neticesinde teorik düzeyde yeni bulgular elde edebilmek ve bu bulguların pratikte uygulanabilirliğini sağlamaktır. Ayrıca bu çalışmalar sonucu elde edilebilecek veri ve bulgularla, pomza

madenin hafif agrega olarak ÷lke genelinde, endüstriyel bazda, yaygın olarak kullanılabilirliğini tanımlamak amaçlanmaktadır.

Tez çalışması ile ilgili genel akım şeması Şekil 1.1’de gör÷lmektedir.



Şekil 1.1. Tez çalışması ile ilgili genel akım şeması

2. KAYNAK BİLGİSİ

2.1. Konu İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Tez konusu ile ilgili yapılan kaynak taraması sonucu, değişik anabilim dallarındaki araştırmacılar tarafından, genel olarak pomza ve hafif betonla ilgili çalışmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Ancak Nevşehir, Kayseri yöresi pomzaları ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının hafif agrega olarak kullanımı ve bu agregalardan elde edilen hafif betonun sıcaklık etkisindeki karakteristiği ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ulaşılabilen kaynaklara göre, pomza ve hafif betonla ilgili yapılan çalışmalar ve kapsamı şu şekildedir:

Gündüz vd. (1998)'nin, pomza teknolojisi adı altında, ilki pomza karakterizasyonu, ikincisi inşaat sektöründe pomza kullanımı ile ilgili olmak üzere iki ciltlik, kitap olarak basılmış bir çalışması bulunmaktadır. Ayrıca, Isparta yöresi pomzaları ile ilgili olarak; Davraz vd. (1997), granülometrik pomza tanelerinin çatı ve taban döşemede değerlendirilebilirliği ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Davraz ve Gündüz (1997)'ün, Isparta pomzasının hafif yapı elemanı olarak değerlendirilmesi üzerine bir analiz çalışması mevcuttur. Ayrıca Davraz (1998)'in, Isparta pomzasının hafif agrega olarak değerlendirilmesi ile ilgili bir çalışması vardır. Deniz (1997) ise Isparta yöresinden iki farklı pomza türünün kırılma özelliklerini araştırmıştır. Sarıışık ve Şahin(1997) Isparta pomzasının aşındırma-parlatma karakteristiğinin irdelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Şimşek (1987)'in, Konya-Karaman Madenşehri pomza yataklarından elde edilen pomzanın agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili çalışması mevcuttur. Ağırır (1989), Altınapa bims agregasından TS 3234'e uygun briket imal edilmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Arda (1994)'nin, hafif betonlarda agrega konsantrasyonunun betonun mekanik özelliklerinde gösterdiği değişikliklerle ilgili bir araştırması vardır. Hüsem (1995), Doğu Karadeniz Bölgesi doğal hafif agregalarından biriyle yapılan hafif betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Şahin (1996), Kocapınar pomzası

ile üretilen hafif betonun mukavemetinin araştırılması üzerine bir araştırma yapmıştır. Uysal (1996) ise yine Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun ısı geçirgenliğini araştırmıştır.

Söylemezoğlu (1997)'nin, Niğde yöresi pomzasının mineralojik-petrografik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışması vardır. Dal (1998), aynı yöreye ait pomzaların ısı ve ses yalıtımında kullanımı ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Yücel (2001)'in ise Niğde yöresi pomza taşının mukavemetinin araştırılması ile ilgili bir çalışması vardır. Altınışik (2001), Niğde yöresi pomzalarının yüksek ısı ve ses yalıtım özelliğine sahip poliüretan destekli briket imalatında kullanımının teorik ve deneysel olarak incelenmesi konusunda bir çalışma yapmıştır.

Türkmen (1997)'in, Van-Erciş pomzasından üretilen hafif betonun donma çözülme dayanıklılığının araştırılması üzerine bir araştırması mevcuttur. Arıcı (1997), Van yöresindeki volkanik tüfün beton mukavemetine etkisi ve taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Gençer (2000)'in, pomza katkılı bimsbeton bloklar ile yapılmış yığma yapı üzerinde deprem etkisinin araştırılması üzerine bir çalışması bulunmaktadır. Mol (2001), değişik oranlardaki pomza-zeolit karışımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışma yapmıştır.

Özbayoğlu ve Gürel (1997), Nevşehir pomzalarının puzolanik maddeler katkısı ile yol stabilizasyonunda kullanılması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Kardeşin vd. (1997)'nin, asfalt betonu karışımında pomzanın filler malzemesi olarak değerlendirilmesi konusunda bir çalışması vardır. Keskin ve Çimen (1997) ise killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde pomza kullanımının araştırılması hususunda bir çalışma yapmışlardır. Tomsuk (2001), yer karosu üretiminde alternatif ergitici olarak pomza kullanımının araştırılması adlı bir çalışma yapmıştır.

Açıkel(1995)'in, Karapınar volkanik agregasından (TS 4047'ye uygun) hazır döşeme ve çatı plakları imali üzerine bir çalışması vardır. Ünal vd. (1997)'nin, hafif blok

elemanlarının üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve teknik kapasitelerinin belirlenmesi üzerine bir çalışması vardır. Keçeli vd. (1997), pomza yataklarının öz direnç yöntemi ile araştırılması konusunda bir çalışma yapmıştır. Öztok (1997), yüksek dayanımlı doğal hafif agregalı betonlarla ilgili bir çalışma yapmıştır. Güllüce (1997), Pasinler (Demirdöven) yöresinde çıkarılan pomzanın ısı yalıtımlı yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Çankıran (1998)'in, pomza agregalı hafif betonun mekanik özellikleri ve kimyasal katkılarla dayanımının artırılması ile ilgili bir çalışması vardır. Sancak (1999), hafif agregalı beton blokların mekanik özellikleri üzerine çelik lif kullanımının etkisi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Sezgin (1999)'in, diatomitin hafif yapı eldesinde değerlendirilebilirliği üzerine bir çalışması mevcuttur. Serin (1999) ise pomzanın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanımı üzerine bir çalışma yapmıştır.

Çınar (2000), Karapınar volkanik agregasından imal edilen hafif betonların aderans davranışı üzerine deneysel bir inceleme yapmıştır. Aydın (2001)'in, pomza taşından imal edilen hafif yapı elemanlarının ısı performans ve mukavemet özelliklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi üzerine bir çalışması vardır. Bingöl (2002), pomza ile üretilen hafif betonların yangına karşı dayanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Kaya (2002)'nin, styropor kullanılarak elde edilen hafif betonun karakteristik özelliklerinin incelenmesi ile ilgili bir çalışması mevcuttur.

Geçten (1993), Elazığ ferrokrom işletmesi granüle cürufunun hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırılması ile ilgili çalışması mevcuttur. Azanbaeva (1998), genleştirilmiş ferrokrom cürufundan preslenmiş hafif duvar elemanları ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Demirboğa (1999), silis dumanı ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonların özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi üzerine bir çalışması vardır.

Sıcaklığın değişik yapı malzemeleri üzerine etkisi ile ilgili olarak yapılan çalışmalar da mevcuttur. Mahdy vd. (2002), geçici yüksek ısının yüksek dayanımlı beton üzerine olan etkileri konusunda bir çalışma yapmışlardır. Altun (2001), ısının, düşük çimentolu, kendinden akışkanlı, ateşe dayanıklı betonun mekanik özelliklerine etkisi

üzerine çalışması vardır. Wong vd. (2001)'nin, yüksek ısının, uçucu kül betonu üzerindeki etkileri konulu bir araştırmaları mevcuttur. Cülfik ve Özturan (2002), yüksek ısının, yüksek dayanımlı harcın mekanik özelliklerine etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır.

Pomzanın ziraat alanında değişik amaçlarla kullanımı ile ilgili yapılmış çalışmalar ise şu şekildedir: Karaman (1993), bitki yetiştirme ortamı olarak pomzanın azot dozlarında mısır bitkisinin gelişmesine etkisi ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Demir (1995)'in, siyah pomza taşının farklı fosfor düzeyinde mısır bitkisinin gelişmesine etkisi ile ilgili bir çalışması mevcuttur. Yalçın (1996)'ın, pamuk ekiminde pomza uygulanması ile ilgili bir çalışması vardır. Şahin vd. (1997), seralarda topraksız kültürde pomzanın kullanılabilirliği üzerine bir araştırma yapmıştır. Kocaman (2000)'in, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki doğal hafif ve normal agregalarla üretilen betonların fiziksel, mekanik ve ısı iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi ile tarımsal yapılarda kullanılma olanakları üzerine bir araştırması vardır. Şahin (2002), tarımsal yapılarda kullanılan hafif agregalı beton blokların bazı özelliklerinin iyileştirilmesi olanakları üzerine bir araştırma yapmıştır.

Literatürde, çevre ve atıksuların arıtılması konularında da pomza ile ilgili yapılmış çalışmalar mevcuttur. Gür vd. (1997)'nin, pomzanın tarım ve çevre açısından önemi ile ilgili bir çalışması vardır. Kaşıkara Pazarlıoğlu ve Telefoncu (1997), pomzanın fenol içeren endüstriyel atıksuların biyokimyasal arıtımında kullanılması üzerine bir çalışması mevcuttur. Onar vd. (1997) ise pomzanın yine su arıtım teknolojisinde kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. İlhan vd. (1997), pomzanın biyoteknolojide adsorbant olarak kullanımı ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Temoçin (2000)'in, bazı ağır metallerin mikroorganizma immobilize edilmiş pomza taşında adsorpsiyon şartlarının araştırılması üzerine bir çalışması vardır. Baldan (2001), pomza taşı ile su ve atıksulardan demir ve manganın giderimi üzerine bir çalışma yapmıştır.

2.2. Agregada

Agregada, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kuru, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir (Erdoğan,1995). Agregada genel olarak beton hacminin % 70-75'ini oluşturur.

Sanayileşme ve buna paralel olarak gelişen kentleşme sürecinde konut yapımı ve alt yapı yatırımlarının artması nedeniyle agregada olan talep giderek artmaktadır. Agregada, beton üretiminin yanı sıra, asfalt, sıva, dolgu ve filtrasyonda da kullanılmaktadır.

Agregada, yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olması nedeniyle yapı maliyetlerini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle uygun niteliklerdeki agregayı, yeterli miktarda ve en yakın ocaktan, en ekonomik şekilde elde edebilmek mühendislik açısından önemli bir konudur (Baradan, 2004).

Betonun en önemli bileşeni olan agregada, sertleşen betonun hacim değişikliğini önler veya azaltır, betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını ve kendi dayanım gücü nedeniyle de betonun taşımakta olduğu yüklere karşı dayanımını artırır. Yapı betonlarında kullanılan agregaların tane büyüklüğü genellikle 63 mm'yi geçmemektedir.

İyi bir beton elde edebilmek için agregada aranan önemli özellikler şunlardır:

- Sağlam ve dayanıklı olmalı, aşınmamalı, su etkisi ile yumuşamamalı, dağılmamalı,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi ve dokusu iyi olmalı,
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı,

- Agregada içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır (Şimşek, 2000).

Agregaları değişik özelliklerine göre birçok farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Kaynağına göre doğal ve yapay; özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre normal ağırlıklı, hafif, ağır; tane büyüklüğüne göre iri, ince; tane şekline göre yuvarlak, köşeli, yassı, uzun; yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli, petekli; üretilmelerine (elde edilmişlerine) göre doğal (örnek:kum, çakıl, kırmataş), yan ürün (örnek:yüksek fırın cürufu), ısıtılma tabii tutulmuş (örnek:genleştirilmiş perlit); jeolojik orijinlerine göre volkanik, tortul, metamorfik; mineralojik yapılarına göre silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı vb.; reaktif özelliklerine göre (agregaların yapılarında, çimento içerisinde bulunabilecek alkalilerle reaksiyona girerek genleşme yaratabilecek reaktif silis içerip içermediklerine göre) reaktif, reaktif olmayan şekilde sınıflandırmalara tabii tutulmaktadır(Erdoğan, 1995).

Agregaların özellikleri, beton yapımında malzemelerin karışım oranlarını, taze betonun işlenebilmesini, pompalanabilmesini, terlemesini ve beton yüzeyinin mastarlanıp düzeltilebilmesini önemli ölçüde etkilemektedir. Sertleşmiş betonun dayanıklılığı, dayanımı, büzülmesi, birim ağırlığı, termik özellikleri ve ekonomisi gibi özellikleri de bileşimindeki agreganın özelliklerine göre değişebilmektedir.

Agregaların fiziksel özellikleri şunlardır: özgül ağırlık, birim ağırlık, kompozite, porozite (gözeneklilik), donma-çözülme dayanımı, nem durumu ve diğer fiziksel etkenlere karşı dayanıklılık. Agreganın kullanım yeri ve amacına göre, tane dağılımı (granülometrik bileşim), tane şekli, tane dayanımı, dona dayanıklılık, zararlı madde içeriği açısından belli özelliklerde olması istenir.

Agregaların mekanik özellikleri ise, agregaların basınç mukavemeti, aşınma mukavemeti ve çarpmaya dayanıklılığıdır.

2.3. Hafif Agregata

Hafif agregata, normal beton üretiminde geleneksel olarak kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin yerine, betonun kuru birim hacim ağırlığını düşürmek amacıyla kullanılan agregata türüdür. Hafif agregatlar beş ana grupta toplanabilir:

- Doğal hafif agregatlar: Pomza, volkanik tuf, volkanik cüruf,
- Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregatlar: genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil, şist ve arduvaz,
- Endüstriyel artıklardan oluşan hafif agregatlar: cüruf, uçucu kül,
- Organik hafif agregatlar: hububat tanecikleri, ağaç parçacıkları gibi malzemeler,
- Polimer kökenli malzemeler: stropor vb.

Kuru birim hacim ağırlığı 400 kg/m^3 'e kadar olan agregatlar yalıtım betonlarında, $400\text{-}650 \text{ kg/m}^3$ arası olan agregatlar yalıtım ve orta mukavemetli betonlarda, 650 kg/m^3 'den büyük olan agregatlar da taşıyıcı betonlarda kullanılabilir (Gündüz vd.,1998).

Konu ile ilgili standart olan TS 1114'e göre, hafif agreganın tanımı şu şekildedir: meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan, tuf, bims (pomza), sünger taşı, lav cürufu, diatomit vb. kırılmış veya kırılmamış agregatlar (TS 1114, 1986).

Bu tanımlamadan anlaşılacağı üzere hafif agregatlar genellikle boşluklu ve gözenekli yapıdadırlar. Bu nedenle kuru birim hacim ağırlıkları da düşük değerlerde olmakta ve hafif beton üretiminde kullanımları uygun olmaktadır.

2.4. Pomza

Pomza ile ilgili olarak literatürde ve halk dilinde oldukça farklı isimlendirmeler mevcuttur. Türkçe'de pomza, ponza, pomza taşı, süngertaşı, köpüktaşı, kisir, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek gibi isimler kullanılmaktadır.

Pomza sözcüğü, İtalyanca kökenli bir sözcük olup Türkçe'ye İtalyanca'dan girmiştir. İngilizce'de iri taneli pomzaya pumice (pümis), ince taneli pomzaya pumicite (pümisit) denmektedir. Almanca'da ise iri taneli pomzaya bimstein, ince taneli pomzaya bims denmektedir. Fransızca'da ise ponce olarak adlandırılmaktadır (Davraz ve Gündüz, 1997).

TS 3234'e göre pomza, birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü, silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm^3 'ten küçük, sertliği Mohs sertlik skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır (TS 3234, 1978).

2.4.1. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Pomza, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, camsı bir kayadır. Gözenekler arası genelde bağlantısız olduğundan, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomzada gözenek hacmi, %85'e kadar çıkabilmektedir. Sertliği, Mohs sertlik skalasına göre, 5-6'dır. Kimyasal olarak silis içeriği %75'leri bulabilmektedir. Genel olarak kimyasal bileşimi, %60-75 SiO_2 , %13-17 Al_2O_3 , %1-3 Fe_2O_3 , %1-2 CaO , %7-8 $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ ve eser miktarda TiO_2 ve SO_3 'den oluşmaktadır. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı kayaca aşındırıcılık özelliği kazandırır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek niteliklere sahip bir kayadır. Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve yüksek ısıya dayanım özelliğini kazandırmaktadır. Na_2O ve K_2O , pomzanın tekstil sanayiinde kullanılmasını sağlayan, reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir (Gündüz vd., 1998).

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucunda iki tür pomza oluşumu mevcuttur: Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Diğer bir deyişle bazik pomzaya bazaltik pomza veya scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı $1-2 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan tür olan asidik pomza ise kirli beyaz, grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Asidik pomzanın özgül ağırlığı,

bazik pomzaya göre daha az olup 0,5-1 gr/cm³ civarındadır. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalarda alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda olması nedeniyle gübre sanayiinde kek maddesi olarak, tarımda toprak ıslahı amacıyla vs. kullanım alanı bulabilmektedir (DPT, 2001).

2.4.2. Pomzanın Oluşumu ve Jeolojisi

Pomza, volkanik bir kayadır. Yani volkanik aktivite sonucu oluşmuştur. Yerkabuğunun derinliklerinde bazaltın kısmi erimesiyle oluşan magma, volkanik aktivite sonucunda toz boyuttan büyük boyutlardaki bloklara kadar değişen ebatlarda dışarı atılır. Bu malzeme, volkanın yakın bölgesinden başlayarak rüzgarların da etkisiyle birkaç yüz km uzaklığa kadar düşebilir. Genel olarak iri taneliler yakına, ince taneliler daha uzaklara düşer. Volkanik patlama sonucu yüzeye ulaşan magma ani soğumaya maruz kalır. Bu ani soğuma gözenekli, süngerimsi bir yapı oluşturarak pomzayı meydana getirir (Kuşçu, 1991).

Yeryüzüne düşen ve soğuyan pomza, atmosfer koşulları ve gravite sonucu doğal bir sınıflamaya tabi tutulur. Akarsular tarafından taşınarak yabancı materyallerle karışır ve yeni yataklanmalar oluşturur. Volkanik aktivite sonucu oluşan ilk düşme bölgesindeki yataklanmalar birincil yataklanma, taşınma sonucu oluşan yataklanmalar ise ikincil yataklanma olarak adlandırılır.

Pomza, doğada değişik boyutlarda ve tabaka halinde yataklanmıştır. Tabaka kalınlıkları 0,3-9 m. arasında değişim gösterebilmektedir. İnceden iriye değişik tane boyutlarında bulunabilmektedirler (Köktürk, 1997).

Pomza yataklanmaları genel olarak Tersiyer yaşlı formasyonlarda görülmektedir (Kuşçu, 1991). Türkiye pomza yatakları, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Akdeniz Bölgelerinde Tersiyer sonlarında Kuvaterner devrinde oluşmuştur. (Çevikbaş ve İlgün, 1997).

2.4.3. Türkiye'nin Pomza Rezerv Potansiyeli

Ülkemiz pomza rezervleri açısından oldukça önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu potansiyel uzun yıllar değerlendirilememiştir. Pomza, mevzuat açısından yıllarca maden olarak görülmemiş ve maden kanunu kapsamında değerlendirilmemiştir. Bu da pomza üretim ve ihracatının gelişmesini engellemiştir. Pomza, ancak 09.11.1976 tarihinde, yürürlükten kaldırılan 6309 sayılı Maden Kanunu'nda yapılan değişiklikle, "Maden Kanunu Hükümlerine Tabi Tutulacak Maddeler Hakkında Kararname" ile Maden Kanunu kapsamına alınmıştır (Gündüz vd., 1998).

Türkiye'de toplam 123 adet maden ruhsatlı pomza sahası mevcut olup bu yataklara ait görünür rezerv miktarı 645.442.139 ton olarak belirtilmektedir¹. Bu ruhsatların ve rezervlerin illere göre dağılımları Çizelge 2.1. ve Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. ve Çizelge 2.2'deki verilerde görüldüğü gibi, pomza ruhsatlarının en fazla olduğu ilk üç il, Kayseri, Nevşehir ve Bitlis'tir. Bu sahalara ait rezerv miktarlarının illere göre dağılımında ise, en büyük rezervlerin Kayseri, Nevşehir ve İzmir illerinde olduğu görülmektedir. Yani bu verilerden, ülkemizde ruhsatlı ve işletilen pomza yataklarından en büyük rezerve sahip olan ilk üç türün, Kayseri, Nevşehir ve İzmir pomzaları olduğu anlaşılmaktadır. Tez çalışmasında da bu üç tür üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

1. L. Gündüz, 2004, sözlü görüşme, SDÜ Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Batı Kampus ISPARTA

Çizelge 2.1. Pomza ruhsatlarının illere göre dağılımı

İL ADI	RUHSAT SAYISI
KAYSERİ	26
NEVŞEHİR	24
BITLİS	8
MARDİN	7
ISPARTA	6
NİĞDE	6
VAN	6
MANİSA	6
OSMANİYE	5
KONYA	5
AĞRI	4
KARAMAN	4
BURDUR	3
ELAZIĞ	2
HATAY	2
İZMİR	2
KARS	2
ŞANLIURFA	2
AKSARAY	1
İĞDIR	1
GAZİANTEP	1
TOPLAM	123

Çizelge 2.2. Pomza rezervlerinin illere göre dağılımı

İL ADI	REZERVİ (ton)
KAYSERİ	189.032.300
NEVŞEHİR	104.093.877
İZMİR	79.255.055
MANİSA	52.941.368
HATAY	45.427.004
OSMANİYE	34.338.454
MARDİN	32.222.873
AĞRI	22.199.800
VAN	19.980.900
BURDUR	17.709.789
KONYA	13.905.191
ŞANLIURFA	10.100.000
BITLİS	8.260.427
ISPARTA	6.622.298
NİĞDE	4.069.618
ELAZIĞ	2.644.144
GAZİANTEP	1.439.624
KARAMAN	499.885
KARS	303.885
İĞDIR	215.647
AKSARAY	180.000
TOPLAM	645.442.139

Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nde kayıtlı ruhsatlara göre, 654.442.139 ton olarak görünen pomza rezervleri, araştırılmış alanlardan elde edilen verilere göre, yaklaşık olarak 3 milyar m³ olarak tahmin edilmektedir. Yani bu verilerden anlaşılacağı gibi, ülkemizde henüz ruhsatlandırılmamış oldukça fazla miktarda bir pomza rezervi mevcuttur.

2.4.4. Pomzanın Üretim, İhracat ve İthalat Rakamları

Türkiye pomza üretimi ile ilgili olarak elde edilebilen verilere göre, yıllara göre üretilen pomza miktarları aşağıdaki gibidir:

Çizelge.2.3. Yıllara göre pomza üretim miktarları (www.maden.org.tr)

Yıllar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Üretim (m ³)	1.125.820	1.238.025	935.578	772.440	986.386	923.158	810.637	820.347

Üretilen bu pomzanın bir miktarı ihraç edilmektedir. 2003 yılında pomzadan elde edilen ihracat geliri 10.761.327 ABD \$'ını bulmuştur. İhracat ile ilgili rakamlar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 2.4. Türkiye'nin pomza ihracat rakamları (www.maden.org.tr)

Yıllar	2001	2002	2003
Miktarı (kg)	108.362.685	138.773.164	141.596.444
Değeri (ABD \$)	6.529.218	9.216.321	10.761.327

Ülkemizde az miktarda olsa da pomza ithal edilmektedir. İthalat ile ilgili rakamlar aşağıdaki gibidir:

Çizelge 2.5. Türkiye'nin pomza ithalat rakamları (www.maden.org.tr)

Yıllar	2001	2002	2003
Miktarı (kg)	183.119	146.085	190.304
Değeri (ABD \$)	121.164	92.465	152.090

2.4.5. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomzanın bilinen en eski kullanımı, MÖ 1. yy.'da Vitruvio'ya ait mimari özete dayanmaktadır. Vitruvio pomza yığınlarını sudan hafif olması nedeniyle yüzücü olarak tanımlar. Ayrıca suyu emmediğinden ve hijyenik olduğundan da bahseder.

Pomza taşı eski Romalılar zamanında çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu tür eserler günümüze kadar da ulaşmıştır. Roma Pantheonu ve İstanbul'daki Ayasofya Kilisesi bu döneme ait en belirgin örneklerdir.

Daha sonra 1800'lerde Almanya'da kullanıldığı bilinmektedir. Ancak o tarihlerde Avrupa genelinde çok fazla kullanımı olmamıştır.

Pomzanın yapı malzemesi olarak kullanılması 1851 yılında Californiya'da başlamış ve daha sonra da hızla yayılmıştır.

Son 20 yıldır ise pomza kullanımında bir artış gözlenmekte olup bu artışın hızlanarak devam edeceği tahmin edilmektedir.

Pomzanın kullanım alanlarını genel olarak 4 ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar, inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstri alanları başlığı altında toplanabilir.

İnşaat sektöründe,

- Hafif yapı elemanlarının üretiminde,
- Prefabrik yapı elemanlarının üretiminde,
- Hafif beton üretiminde,
- İzolasyon amaçlı çatı ve döşeme dolgu malzemesi olarak,
- Hafif hazır sıva ve harç üretiminde,
- Çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde kullanılmaktadır.

Tekstil sektöründe, kot kumaşların taşlanması işleminde kullanılmaktadır.

Tarımda, toprak ıslahında, az topraklı veya topraksız ortamlarda bitki yetiştirilmesi amacıyla ve suyun kısıtlı bulunduğu tarımsal alanlarda kullanımı mevcuttur.

Kimya ve diğer alanlarda ise,

- Çimento üretiminde puzzolonik malzeme olarak,
- İzolatif duvar boyası, pürüzlü kaplama, motifli boya, astar macunu ve vernik dolgusu, aşınmayan trafik boya ve kaplamalarında,
- Plastik ve kağıt sanayinde dolgu malzemesi olarak,
- Seramik endüstrisinde seramiklerin ısı yalıtım değerini arttırmada, pürüzlü seramik ve absorpsiyonlu seramik tanelerinin üretiminde,
- Gübre üretiminde katkı malzemesi olarak,
- Asfalt üretiminde katkı malzemesi olarak,
- Ağır ve kirli ortamlarda yağ vb. akışkanları absorbe edici malzeme olarak,
- Tavuk çiftliklerinde taban malzemesi olarak,
- Kaymaz tip oto lastik yapımında,
- Süs eşyalarının pürüzlülüğünün giderilmesi ve cilalanmasında parlaticı olarak,
- Tarım ilaçlarının toz halde kullanılmasında taşıyıcı eleman olarak,
- Su, atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde katkı malzemesi olarak kullanımı mevcuttur.

Pomzanın yukarıda sayılan alanların dışındaki bazı alanlarda spesifik kullanımı ile ilgili olarak çalışmalar da devam etmektedir.

2.4.6. Pomzanın İnşaat Sektöründe Kullanımı

Bir çok kullanım alanı olmakla birlikte, pomzanın dünyada ve ülkemizde en büyük tüketim alanı inşaat sektörüdür. Ülkemizde üretilen pomzanın yaklaşık % 80'inin inşaat sektöründe kullanıldığı bilinmektedir.

Konutlarda kullanılan malzemenin hafifliği, binanın ölü ağırlığının düşük bir değerde olmasına direkt bir etkidir. Bina statığı açısından, bina ölü ağırlığının mühendislik parametrelerinden belirli sınır değerleri korumak koşulu ile düşürülmeye çalışılması,

binanın olası gelebilecek şok darbelere ve titreşimlere karşı daha duraylı ve stabil olmasını sağlamaktadır. Bu bakımdan, inşaat sektöründe kullanılan, hafif agregaların önemi giderek artmaktadır.

Hafif beton, hafif tuğla, asmolon, panel, hazır sıva vb. üretiminde kullanılabilen pomza, inşaat sektörüne birçok avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar şunlardır:

- Pomzanın diğer tür agregaların 1/3-2/3'ü oranında yoğunluğa sahip olması ve dolayısıyla hafif olması nedeniyle işçilikten ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır.
- Diğer tür agregalara göre, hafif olması nedeniyle zemin mekaniği ve temele iletilen yükler açısından kullanılan demir miktarında %17 oranında azalma gerektirir. Bu da demirden tasarruf sağlamaktadır.
- Pomzadan üretilen betonun ısı iletkenlik katsayısı, normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı anlaşılmıştır. Bu nedenle yapılarda yakıt tasarrufu sağlar.
- Yangına dayanıklılık açısından pomzadan üretilen betonun normal betona göre %20 oranında daha emniyetli olduğu kabul edilmektedir.
- Pomzalı beton ve yapı elemanları dondan etkilenmemektedir.
- Pomzalı beton, normal betona göre deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmektedir (Gündüz vd.,1998).

2.4.7. Pomzanın Üretim Yöntemi ve İşletmeciliği

Pomza üretimi genel olarak açık işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. Cevher üretimi, maden ocağından önce pomzanın üst örtü tabakasının dozer ve/veya loderle alınması, sonra cevherin loder veya paletli yükleyici ile kazısı ve kamyonlara yüklenmesi şeklinde yapılır. Daha sonra endüstriyel ihtiyaçlara göre, kırma, eleme, öğütme gibi işlemlerden geçirilerek boyutlandırılır. Pomza işletmeciliğinde genel olarak patlatma işlemi yapılmasına gerek duyulmamaktadır.

Pomza üretiminde önemli olan husus, işletmecilerin örtü kazısı yaparken bir kısım cevherin de kazılarak kayba neden olmasıdır. Bu nedenle pomza üretiminde kayıpların en aza indirilmesi için, örtü kazı işlemine dikkat etmek gerekir. Bazen de kazı yapılırken pomza cevheri ile örtü tabakası birbirine karışmakta ve bu da pomzanın kalitesini düşürmektedir.

Pomza işletmeciliğinde en önemli hususlardan biri, nakliyat sorunudur. Ülkemizde karayolu taşımacılığının alternatifsiz olması nedeniyle taşıma maliyetlerinin yüksekliği bir çok pomza yatağının değerlendirilememesine neden olmaktadır. Pomza, üretimi kolay bir cevher olmasına rağmen nakliyat sorunu nedeniyle ekonomikliğini yitirmekte ve bu nedenle bir çok yatak işletilmemektedir. Taşıma maliyeti cevherin üretim maliyetinden daha yüksek rakamlara ulaşmaktadır. Taşıma maliyetlerini düşürmek için demiryolu ve deniz taşımacılığının daha yaygın hale gelebilmesi amacıyla gerekli yatırımların yapılması gerekmektedir (DPT, 2001).

2.5. Hafif Beton

Hafif beton, normal betona göre bazı farklı özellikleri bulunan, genellikle boşluklu, daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma, yüksek ısı yalıtımı özelliklerine sahip olan, bununla birlikte normal betonla aynı amaçlarla kullanılabilen betondur (Neville,1975).

TS EN 206-1 (2002) standardında, hafif beton için;

“ Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu) 800 kg/m^3 'ten büyük, 2000 kg/m^3 'ten küçük olan beton ” tanımlaması yapılmaktadır.

Hafif beton değişik yöntemlerle üretilmektedir. Bu yöntemler genel olarak şu şekilde gruplandırılabilir (Baradan, 2004) :

- Hafif agrega kullanarak,
- Kum kullanmadan boşluklu beton üreterek,
- Köpüklü beton üreterek,
- Gaz beton üretimi ile.

Hafif betonları işlevlerine göre;

- Yalıtım amaçlı hafif betonlar,
- Hem yalıtım, hem taşıyıcı amaçlı hafif betonlar (orta mukavemetli),
- Taşıyıcı hafif betonlar şeklinde sınıflandırmak mümkündür .

Günümüzde inşaat sektöründe taşıyıcı hafif beton kullanımı teknik olarak mümkün olmasına rağmen ülkemizde maalesef kullanımı yaygın değildir. Betonda agrega olarak geleneksel kum-çakıl ve kırma taş kullanımı, üreticilerin projeksiyonlarını ve yatırımlarını bu tür geleneksel agregalara yapmış olmaları, hafif agrega olarak pomzanın kullanımını engellemekte ve dolayısıyla hafif betonun kullanımı da daha geri planda kalmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda, bimsblok sektöründeki gelişmeler, hafif betonun blok üretimi amaçlı kullanımının giderek arttığını göstermektedir.

Taşıyıcı betonlar, değişken yüklerin etkisi altında yorulma olayına maruz kalmaktadırlar. Bu olayda betonun kendi ağırlığının da etkisi büyüktür. Normal betonun ortalama birim ağırlığı $2,4 \text{ kg/dm}^3$ iken taşıyıcı hafif betonun birim ağırlığı $1,7-1,84 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir. Bu da birim ağırlıkta, normal betona göre %37 azalmaya karşı gelmektedir. Hafif beton kullanımı sonucu oluşan birim ağırlıktaki bu azalma, yorulma olayının etkinliğini azaltmaktadır (Şimşek, 2000).

TS 3234'de, bimsbetonun kuru birim hacim ağırlık değeri olarak alt sınır 1000 kg/m^3 , üst sınır ise 1300 kg/m^3 olarak belirlenmiştir (TS 3234,1978). Ülkemiz standartlarına göre, kuru birim hacim ağırlığı bu değer aralığında olan betonları hafif beton olarak nitelemek mümkündür.

2.5.1. Hafif Betonun Normal Betona Göre Üstünlükleri

Hafif betonun, normal betona göre üstünlükleri şunlardır:

- Deprem etkilerine karşı güvenliği daha yüksektir,

- Bina ağırlığı azalacağı için kiriş, kolon gibi taşıyıcı elemanların kesit boyutları daha küçük yapılabilir,
- Betonarme elemanlardaki donatı azalır,
- Kalıp ve iskele yapımı ile takviyesi kolaylaşır, maliyeti azalır,
- Betonun kalıba taşınması ve yerleştirilmesi kolaylaşır,
- Temel maliyeti azalır,
- Isı yalıtım değeri daha yüksektir, enerji tasarrufu sağlar,
- Sese karşı daha yalıtıcıdır,
- Yangına dayanımı normal betonla kıyaslandığında daha iyidir,
- Soğuk iklimli, özellikle donma-çözülme olayının sık olduğu bölgelerde don etkisine karşı daha dayanıklıdır (Taşdemir, 1982).

2.5.2. Hafif Betonun Kullanım Alanları

Hafif betonlar değişen basınç dayanım değerine göre değişik amaçlarla kullanılabilir. Dayanımı yüksek olan hafif betonların kuru birim hacim ağırlık değerleri yüksektir. Ancak bu değerler, normal agregalarla üretilen betonların kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre oldukça düşüktür. Bu da özellikle taşıyıcı amaçlı hafif beton kullanımında çok büyük avantaj sağlamaktadır. Özellikle çok katlı binalarda taşıyıcı hafif beton kullanımı, bina ölü yükünün azalması nedeniyle depreme karşı güvenlik oluşturmaktadır. Isı ve ses yalıtım özellikleri bakımından da normal betona göre oldukça avantajlıdır. Ancak ülkemizde taşıyıcı hafif beton kullanımı bütün bu avantajlarına rağmen yeterince yaygınlaşmamıştır.

TS EN 206-1 standardına göre, hafif betonların birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.6'da, 28 günlük basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.6. 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	800-1000
D 1,2	1000-1200
D 1,4	1200-1400
D 1,6	1400-1600
D 1,8	1600-1800
D 2,0	1800-2000

Çizelge 2.7. Hafif beton için beton dayanım sınıfları (TS EN 206-1, 2002)

Basınç Dayanım 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
LC80/88	80	88

2.5.3. Hafif Betondan Üretilen Yapı Elemanları

Hafif betondan değişik amaçlarla kullanılabilen, farklı türde yapı elemanları üretilebilmektedir. Bunları teçhizatlı ve teçhizatsız olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Teçhizatsız yapı elemanları, yapısında hafif betondan başka malzeme olmayan, duvar blokları, asmolen bloklar, yalıtım plakları gibi ürünlerdir. Duvar bloklarını ise kendi arasında, boşluklu duvar blokları, dolu duvar blokları ve özel yarıklı dolu duvar blokları olmak üzere üçe ayırmak mümkündür. Teçhizatlı yapı elemanları ise, hafif betonun çelik vb. gibi bir teçhizatla birlikte oluşturduğu kapı ve

pencere lentoları, döşeme plakları, çatı plakları, düşey ve yatay duvar elemanları gibi ürünlerdir (TS 2823, 1986).

Ülkemizde hafif betondan endüstriyel olarak prefabrik yapı elemanı, bimsblok vb. üreten birçok firma mevcuttur. Son yıllarda özellikle bimsblok üretiminde endüstriyel bazda bir gelişme gözlenmektedir.

2.5.4. Hafif Betondan Üretilen Bimsbloklar

Bimsbloklar, pomza kullanılarak üretilen en önemli yapı elemanlarıdır. Hafif olması, ısı ve ses yalıtımının iyi olması, ateşe karşı dayanıklılığı ve sıva tutma özelliğinin iyi olması nedeniyle dünyada da bir çok ülkede yaygın olarak tercih edilmekte ve kullanılmaktadır.

Türkiye’de son yıllarda bimsblok endüstrisinde gelişmeler olmakla birlikte inşaat sektöründe yaygın olarak hala tuğla kullanılmaktadır. İnşaatçılık açısından bimsbloğun birçok avantajlı yönü olmasına rağmen yaygın kullanımı sağlanamamaktadır. Ancak uzun dönemde yapı sektöründe olması gereken kullanım yaygınlığına ulaşacağı düşünülmektedir. Böylelikle pomzanın üretim ve tüketim rakamları da artacaktır.

Bimsblokları boyut, şekil ve geometrik durumlarına göre üç grupta sınıflandırmak mümkündür:

- Bims tuğla,
- Boşluklu duvar bimsblokları,
- Asmolenler.

Boşluklu duvar bimsblokları ise kendi arasında tek, iki, üç ve dört sıra boşluklu olmak üzere 4 tiptir. Asmolenler ise düz ve fligran olmak üzere iki tiptir. Ancak ülkemizde bimsblok üreticileri bunların dışında yeni tiplerde birçok bimsblok tasarlayarak ürün çeşitliliğini artırmışlardır. Bu yeni ürün çeşitlerinden bazıları aşağıda verilmektedir:

- Özel tasarım bimsbloklar,

- Özel boşluklu bimsbloklar,
- Kenar-köşe elemanı bimsbloklar,
- Kemer elemanı bimsbloklar,
- Bahçe duvar elemanı halka bimsbloklar gibi.

Konu ile ilgili TS 2823 standardında pomzadan üretilen yapı elemanlarının teknik özellikleri belirtilmektedir. Yürürlükte olan mevcut standartlara göre donatılı ve donatısız duvar ve döşeme elemanları ile yalıtım plaklarında istenilen teknolojik özellikler Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Pomzadan mamul yapı elemanlarının uygunluk kriterleri (TS 2823,1986)

Hafif Yapı Elemanı Tipi			Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kesme Yüğü (N)	Emniyet Katsayısı	Rötre (mm/m)
Duvar Blokları	Donatılı	BDB	600-1000	5	-	1,9	≤ 0,5
		DDB	800-1600	5	-	1,9	≤ 0,5
		SW	600-800	5	-	1,9	≤ 0,5
	Donatısız	BDB	600-1000	2,5	-	-	≤ 0,5
		DDB	800-1600	2,5	-	-	≤ 0,5
		SW	600-800	2,5	-	-	≤ 0,5
Döşeme Elemanları	Statik Çalışan	KAB	≤1600	20	≥ 2000	-	≤ 0,5
	Statik Çalışmayan	AB	≤ 1000	2	≥ 2000	-	≤ 0,5
Yalıtım Plakları		YP	≤ 700	25	-	-	≤ 0,5
Kapı, Pencere Lentoları		L	≤1600	150	-	2,0	≤ 0,5

Mevcut standartlarda belirtilen geometrik tasarımların dışında, endüstriyel olarak geliştirilen birçok yeni ürün piyasada mevcuttur. Şekil 2.1’de değişik geometrik boyutlarda üretilmiş bimsblok örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Değişik geometrik boyutlarda üretilmiş bimsblok örnekleri

3. MATERYAL VE METOT

Araştırmada kullanılan malzemeler, araçlar ve bu malzeme ve araçlarla yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan yöntemler bu bölümde açıklanmaktadır.

3.1. Materyal

Araştırmada kullanılan materyaller, Nevşehir-Göre pomzası, Kayseri-Talas pomzası, İzmir-Menderes perlitik pomzası, çimento, beton karma suyu ve deneysel çalışmalarda kullanılan araçlardır.

3.1.1. Nevşehir-Göre Pomzası

Araştırmada kullanılan pomza türlerinden biri, Nevşehir-Göre yöresine ait pomzadır. Beton karışımlarında, Nevşehir-Göre yöresine ait 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm aralığında gruplandırılmış 3 ayrı boyutta pomza kullanılmıştır.

3.1.2. Kayseri-Talas Pomzası

Beton karışımlarında kullanılan pomza türlerinden bir diğeri de Kayseri-Talas yöresine ait pomzadır. Araştırmada, Kayseri-Talas yöresine ait 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm aralığında gruplandırılmış 3 ayrı boyutta pomza kullanılmıştır.

3.1.3. İzmir-Menderes Perlitik Pomzası

Araştırmada kullanılan diğeri bir hafif agrega da İzmir-Menderes perlitik pomzasıdır. Beton karışımlarında, ince ve iri olarak gruplandırılmış 2 ayrı boyutta malzeme kullanılmıştır. İnce olarak tanımlanan agreganın boyutu 0/4 mm, iri olarak tanımlanan agreganın boyutu ise 4/8 mm'dir.

3.1.4 Çimento

Çimento, kalker ve kilden üretilen, yapı malzemelerini yapıştırmada kullanılan bir maddedir. Kırılmış kalker, kil ve gerektiğinde demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Daha sonra bu malzeme, 1400-1500°C'lik döner fırınlarda pişirilir. Pişme sonucu elde edilen ürüne klinker denir. Klinkere %4-5 oranında alçı taşı eklenip çok ince toz halinde öğütülerek Portland Çimentosu elde edilmiş olur. Katkılı çimento üretiminde, klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. maddelerin biri veya birkaçı katılabilmektedir. En çok kullanılan çimento türleri, Portland kompoze çimento, katkılı çimento, cürufu çimento ve sülfata dayanıklı çimentodur. Çimento, beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal etmesine rağmen beton bileşenleri içerisinde en önemlisidir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan beton numunelerinin elde edilmesinde bağlayıcı madde olarak Göлтаş Çimento Fabrikası (Isparta) ürünü Portland Çimentosu (PÇ 32,5) kullanılmıştır.

3.1.5. Su

Beton üretiminde kullanılan suyun iki önemli işlevi vardır. Bunlardan ilki, kuru haldeki çimento ve agregayı işlenebilir bir kütle haline getirmek, ikincisi ise, çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlelerin sertleşmesini sağlamak. Betonun mukavemeti de büyük oranda su/çimento oranına bağlıdır. Fazla miktarda su kullanılması, betonun mukavemetini düşürür. Beton üretiminde temiz ve betona olumsuz etki yapmayacak nitelikte su kullanılmalıdır. İçme suları beton üretiminde kullanılabilir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Suyun içerisinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilmektedir.

Hafif beton numuneleri, bimsblok amaçlı olması nedeniyle kuru karışım olarak dökülmüştür. Bu nedenle beton dökümünde mümkün olan en az değerlerde su kullanılmıştır. Su/katı oranı normal betonda 0,7-0,8 iken, kuru karışımlarda bu oran 0,2-0,4 arasında değişebilmektedir.

Çalışmada, beton karma suyu olarak Süleyman Demirel Üniversitesi Batı kampusunda kullanılan şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.6. Çalışmada Kullanılan Araçlar

Çalışmalarda Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan araçlar ve deney düzenekleri kullanılmıştır.

Araştırmada kullanılan pomza agregalarının, hafif beton agregası olarak değerlendirilebilirliğinin belirlenmesi amacıyla “TS 1114 Hafif Agregalar-Beton İçin” standardında belirtilen araç ve düzeneklerden yararlanılmıştır.

Hafif beton numuneleri, karışım hazırlama ünitesinde daha önceden belirlenen ölçülerde hazırlandıktan sonra, beton mikserinde karıştırılarak döküme hazır hale getirilmiştir. Çalışmada kullanılan beton mikseri Şekil 3.1’de görülmektedir. Daha sonra hazırlanan bu bimsbeton harcı bir pres yardımıyla numune kalıplarına dökülmüştür. Elde edilen bimsbeton harcı, çökme değeri düşük, diğer bir deyişle kuru karışım şeklinde olması nedeniyle kolaylıkla kalıptan hemen çıkabilmekte ve analiz için küremeye hazır hale getirilebilmektedir. Çalışmada kullanılan vibrasyonlu kalıp presi Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan beton mikseri



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan vibrasyonlu kalıp presi

Dökümü yapılan numuneler laboratuvar ortamında kür kamaralarında beklemeye alınmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Hafif beton numuneleri (a)



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan hidrolik pres

Hafif beton numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları, 200 ton yükleme kapasitesine sahip kalibrasyonlu ve tamamen bilgisayar kontrollü bir hidrolik preste incelenerek belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan hidrolik pres Şekil 3.4'te görülmektedir.

3.2. Metot

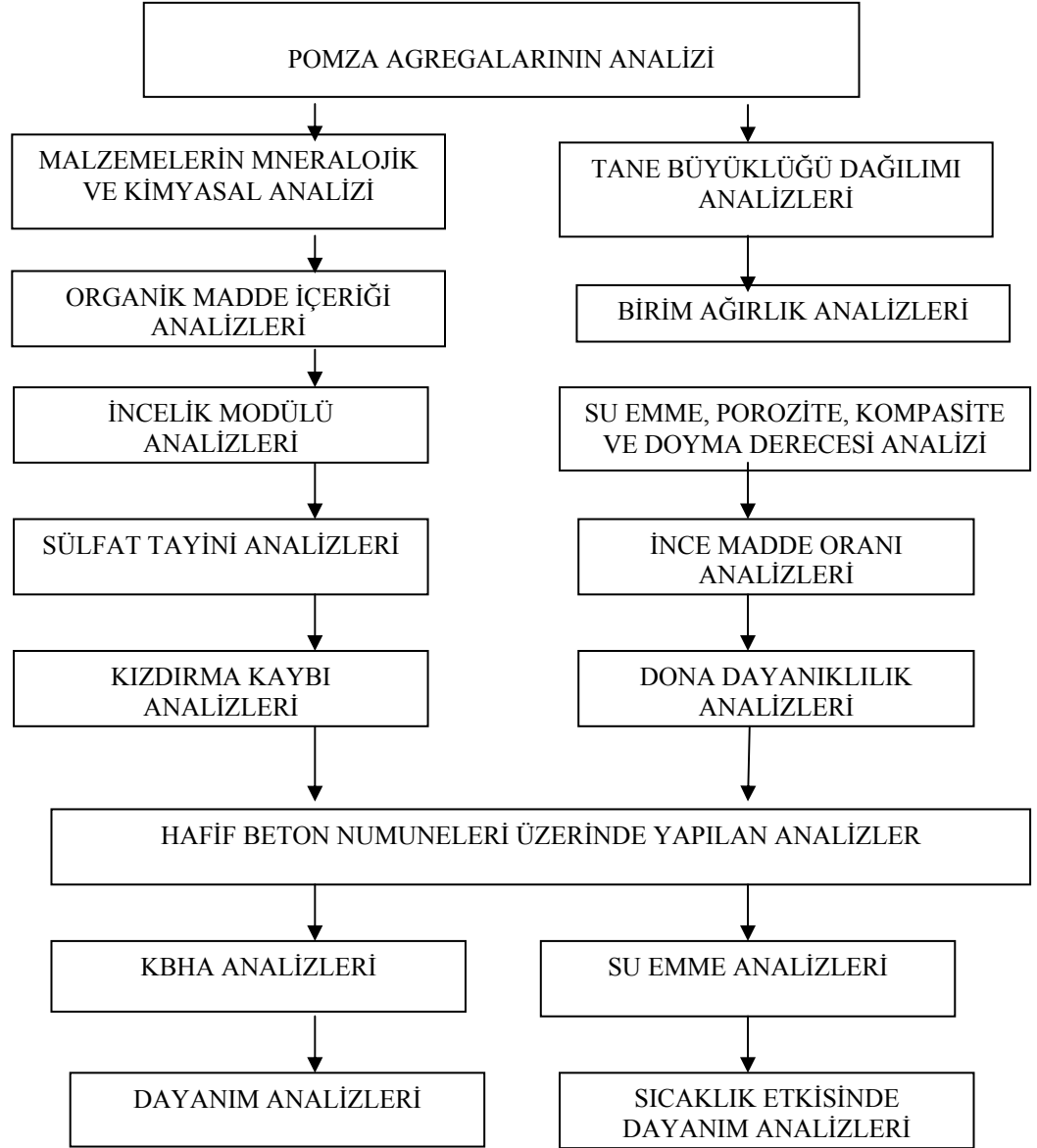
Pomza agregalarına uygulanan analiz metotları, bu agregalarla üretilen hafif beton numunelerinin karışım oranları, elde edilen hafif beton numuneleri üzerinde yapılan analizler, bu amaçla yapılan deneysel çalışmalar ve bu deneysel çalışmaların neye göre yapıldığı bu bölümde açıklanmıştır.

3.2.1. Pomza Agregalarının Analizinde Uygulanan Metotlar

Çalışma için seçilen, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının, hafif beton yapımında, doğal hafif agrega olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deneysel çalışmalar ve analizler yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, TS 1114 “Hafif Agregalar-Beton İçin” standardında öngörülen prensiplere göre yapılmış ve araştırma bulguları irdelenmiştir.

Araştırmada kullanılan pomza agregalarının malzeme yapısı hakkında genel bilgiler verildikten sonra, tane büyüklüğü dağılımı (granülometri), birim ağırlık, organik madde içeriği, su emme oranı, porozite, kompasite ve doyma derecesi, incelik modülü, ince madde oranı, sülfat tayini, dona dayanıklılık, kızdırma kaybı gibi bazı özellikleri deneysel çalışmalarla standartlara uygun olarak incelenerek belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda uygulanan yöntemlerin akım şeması Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Deneysel çalışma ve analizlerin akım şeması olarak gösterimi

3.2.1.1. Pomza Agregalarının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri

Çalışmada kullanılacak pomza agregalarının mineralojik ve kimyasal özellikleri araştırılarak belirlenmiştir. Pomza agregalarının, özellikle hafif betonda agrega olarak kullanılabilirliği ile ilgili bazı deneysel çalışmalar yapılmıştır.

3.2.1.2. Pomza Agregalarının Tane Büyüklüğü Dağılımı

Pomza agregalarının tane büyüklüğü dağılımı, cevhere ait tüvenan numuneler üzerinde yapılan elek analizlerinin sonuçlarına göre belirlenmektedir. TS 1114 standardında öngörülen elek boyutlarına göre, elemenden geçirilen pomza agregalarının elek altı yüzdeleri ile elek boyutları eşleştirilerek granülometri eğrisi çizilir. Elde edilen eğri standart eğri ile kıyaslanarak, tane büyüklüğü dağılımının standarda uygunluğu belirlenir. Hafif agregaların TS 1114'e göre, tane büyüklüğü dağılımı Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. TS 1114 (1986)'e göre hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı

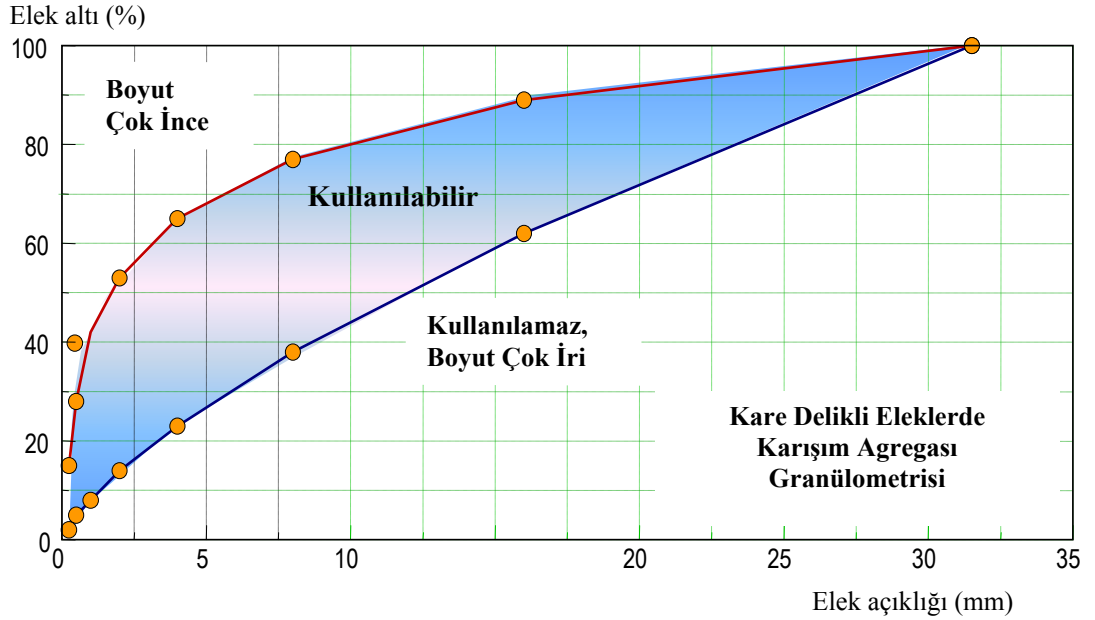
		Kare gözlü elek göz açıklıkları (TS 1227,1996)					Kare delikli elek delik açıklıkları (TS 1226,1996)				
		0,125	0,250	0,500	1	2	4	8	16	31,5	63
İnce Agrega	0/2	1)	1)	1)	1)	≥ 90	100				
	0/4	1)	1)	1)	1)	≤ 15	≥ 90	100	-	-	-
	2/4	1)	≤5	1)	1)		≥ 90	100			
Karışık Agrega	0/8	-	1)	-	-	-	-	≥ 90	100		
	0/16		1)					≥ 90	≥ 90	100	
	0/32		1)						≥ 90	100	100
İri Agrega	4/8	-	≤5	-	-	-	≤ 15	≥ 90	100		
	4/16		≤5				≤ 15	≥ 90	≥ 90	100	
	8/16		≤5					≤ 15	≥ 90	100	
	16/32		≤5					≤ 15	≥ 90	≥ 90	100

1) Gerektiğinde sınırlandırılabilir.

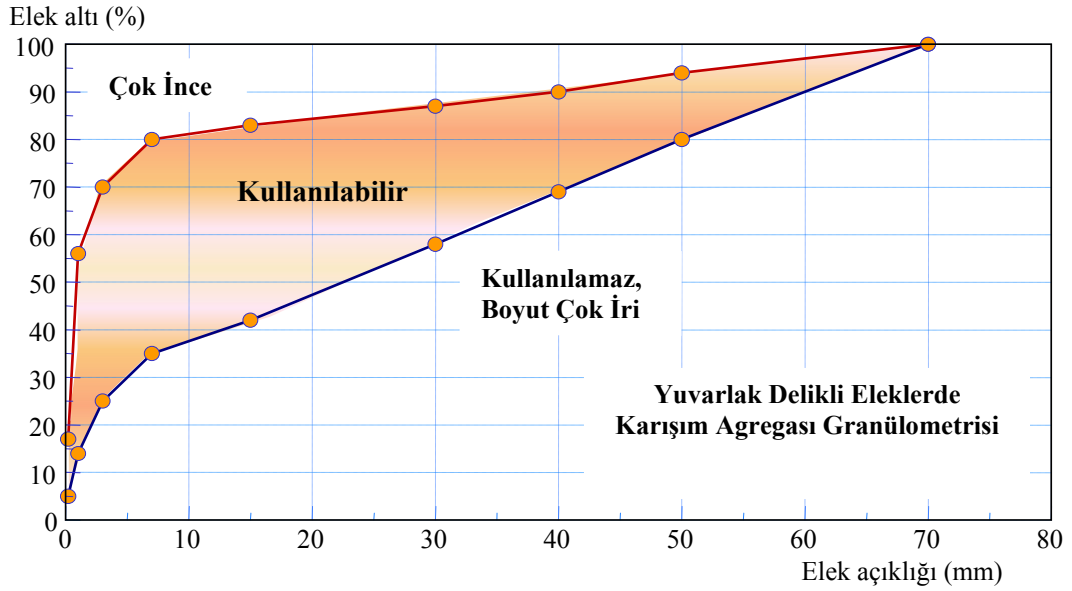
TS 1114 standardında hafif agregaların tane büyüklüğü dağılımı, kare gözlü ve kare delikli eleklerden geçen malzeme boyutlarına göre, ince agregası (0/2 mm, 0/4 mm, 2/4 mm), karışık agregası (0/8 mm, 0/16 mm, 0/32 mm) ve iri agregası (4/8 mm, 4/16 mm, 8/16 mm, 16/32 mm) olarak genelde üç ana grupta tanımlanmaktadır. Çizelge 3.1'deki değerler uygulamalarda yeterli olmamaktadır. Bu konu üzerine değişik araştırmacılar tarafından uzun yıllardır yapılan çalışmalar sonucunda Çizelge 3.2'de belirtilen değerler elde edilmiştir. Bu değerlere göre belirlenmiş boyut dağılım eğrileri de Şekil 3.6. ve Şekil 3.7'de verilmiştir (Uğur, 2001).

Çizelge 3.2. Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri (Uğur, 2001)

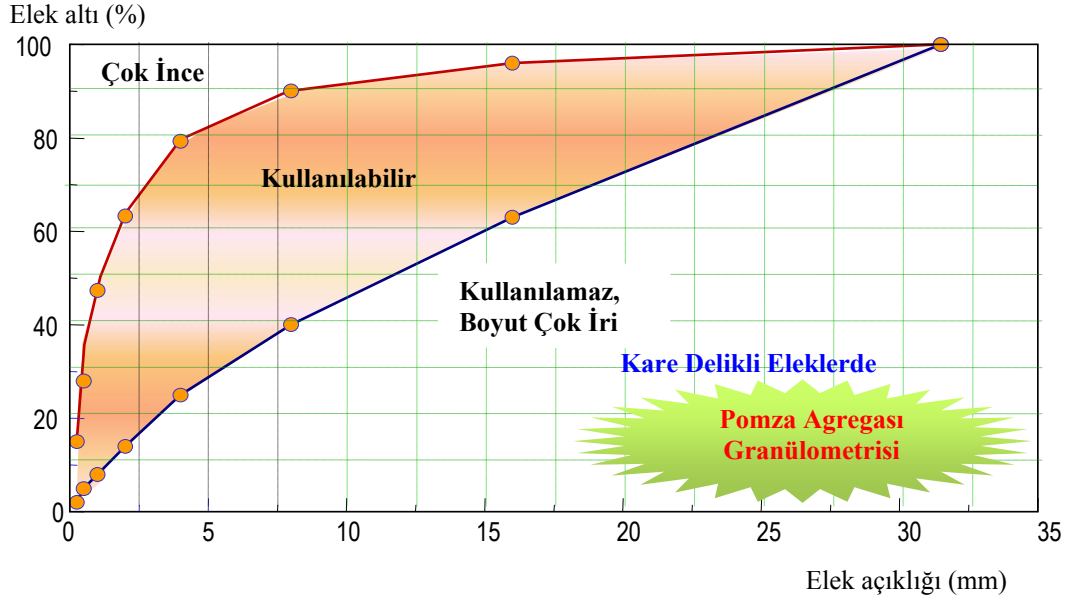
Kare delikli elekler göre					Yuvarlak delikli elekler göre			
Elek Açıklığı (mm)	İnce Agregası	İnce+İri Agregası Karışımı	Tüvenan Agregası		Elek Çapı (mm)	İnce Agregası	İnce+İri Agregası Karışımı	
			0-4 cm	0-2 cm			0-70 mm	0-30 mm
	Elekten Geçen % ağırlık				Elekten Geçen % ağırlık			
					70	-	100	
					50	-	80-94	
					40	-	69-90	
31,5	-	100	100		30	-	58-87	100
-	-	-	-		15	-	42-83	63-92
16	-	62-89	95-100	100	-	-	-	-
8	100	38-77	-	-	-	-	-	-
4	61-85	23-65	25-45	30-50	7	100	35-80	40-80
2	36-71	14-53	-	-	3	56-87	25-70	2-70
1	21-57	8-42	-	-	1	20-70	14-56	8-56
0,50	13-39	5-28	8-30	10-35	0,2	2-21	5-17	1-17
0,25	5-21	2-15	-	-	-	-	-	-



Şekil 3.6. Kare delikli eleklerde beton agregası granülometrisi (Uğur, 2001)



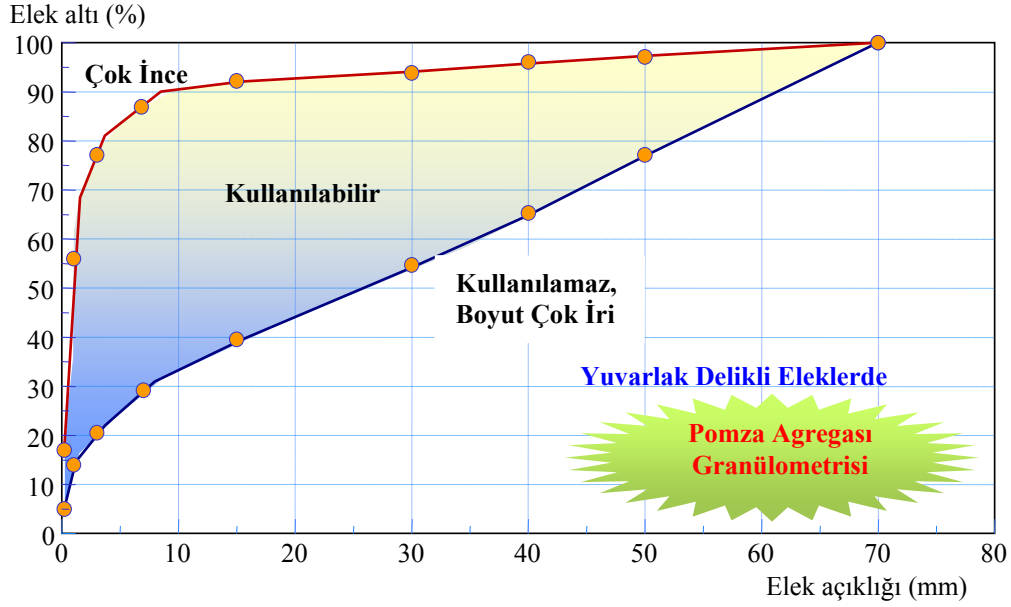
Şekil 3.7. Yuvarlak delikli eleklerde beton agregası granülometrisi (Uğur, 2001)



Şekil 3.8. Kare delikli eleklerde pomza agrega granülometrisi (Uğur, 2001)

Şekil 3.6. ve Şekil 3.7'de verilen değerler genelde, normal beton karışım agregaları için uygulanabilecek oranları içermektedir. Doğal hafif agregalarla elde edilecek hafif beton karışımlarında kullanılabilir granülometriye ilişkin sınır değerler, doğal hafif agreganın malzeme özelliklerine bağımlı olarak incelenmesi ve tanımlanması gereken bir konudur. Bu nedenle pomza agregalarının hafif beton agregası olarak kullanımına ilişkin optimum granülometrinin belirlenmesi amacıyla SDÜ Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu elde edilen verilere göre, elek analizinde kare

delikli ve/veya yuvarlak delikli elek kullanım durumuna göre Şekil 3.8. ve Şekil 3.9'da verilen granülometri eğrileri elde edilmiştir (Uğur, 2001).



Şekil 3.9. Yuvarlak delikli eleklerde pomza agregası granülometrisi (Uğur, 2001)

3.2.1.3. Pomza Agregalarının Birim Ağırlık Analizi

Betonda kullanılan agreganın birim ağırlığı, betonun birim ağırlığını belirleyeceği için oldukça önemlidir. Betonun %70-80'ini oluşturan agreganın hafif ya da ağır olması betonun da hafif ya da ağır olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, hafif beton elde edebilmek için, belirli basınç dayanım değerlerini sağlamak koşulu ile olabildiğince birim ağırlığı düşük agrega türlerini kullanmak gerekmektedir. Burada agrega olarak kullanılan malzemelerin birim ağırlıklarının belirlenmesi ve bilinmesi önem arz etmektedir. Agreganın birim ağırlık değeri, agrega tanelerinin sıkışık veya gevşek, kuru veya rutubetli olmasına göre de değişik değerler almaktadır.

Araştırmada kullanılan pomza agregalarının birim ağırlık değerleri, sıkışık ve gevşek, kuru ve rutubetli olmasına göre TS 3529 standardına göre deneysel olarak analiz edilmiştir (TS 3529, 1980).

3.2.1.4. Pomza Agregalarının Organik Madde İçeriği Tayini

Agregadaki organik madde içeriği, çimentonun yapısını etkileyerek bağlayıcılık özelliğinin zayıflamasına neden olmaktadır. Bu nedenle betonda kullanılacak agregalar üzerinde organik madde olup olmadığına dair analiz yapılmaktadır. %3'lük NaOH ile yapılan analizlerde, 24 saat sonra agreganın aldığı açık sarı, koyu kırmızı renklere göre karar verilmekte olup kırmızı ve kahverengi renkler organik madde bakımından zengin malzeme bileşimini göstermektedir.

3.2.1.5. Pomza Agregalarının Su Emme Oranı, Porozite, Kompasite ve Doyma Derecesi Analizleri

Pomza agregalarının su emme oranlarının bilinmesi beton üretiminde önem taşımaktadır. Beton dökümünde nemli agrega kullanılması durumunda kullanılacak su miktarı değişmektedir. Bu nedenle betonda kullanılan agreganın su emme oranlarının deneysel çalışmalarla tespit edilmesi gerekir.

Su emme oranı, (M_t) aşağıdaki eşitlik yardımıyla tanımlanabilir:

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

Burada ;

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

W_2 : Numunenin kuru yüzey doygun ağırlığıdır (gr).

Porozite, agregaların su emme oranına bağlı olarak değişen bir parametredir. Su emme oranının, agreganın kuru haldeki özgül ağırlığına çarpımıyla elde edilen değer porozitedir. Pomza agregaları için görünür ve gerçek porozite olmak üzere iki ayrı tanımlama yapılabilmektedir. Görünür porozite değeri, hacimce su emme oranından ya da kütlece su emme oranından hesaplanabilmektedir. Gerçek porozite değeri ise pomzanın ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığının bir fonksiyonudur. Pomza tanelerinin kompasitesi de su emme kapasitesine bağlı bir faktördür. Pomza agregalarının birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine göre gerçek kompasite ve görünür kompasite olarak iki ayrı kompasite değeri hesaplamak mümkündür.

Pomza tanelerinin doyma derecesi ise boşluklarının ne oranda su ile dolu olduğunu gösteren değerdir. Bu değer malzemelerin donmaya karşı dayanıklılığının belirlenmesinde önem arz etmektedir.

3.2.1.6. Pomza Agregalarının İncelik Modülü

Pomza agregalarından hazırlanmış değişik boyutlardaki numunelerin incelik modülleri, TS 1114 standardına göre yapılan elek analizi sonucu elde edilen değerlerden yararlanılarak belirlenmektedir. İncelik modülü hesabı, elek üstünde kalan malzeme yüzdesine ve elek açıklıklarına göre, yüzde değerlerin toplamının yüzde değeri olarak tanımlanmaktadır. Hesaplanan incelik modülü değeri ne kadar küçükse o malzeme de o kadar incedir. Konu ile ilgili standart olan, TS 2717 Harç Kumları standardına göre, ince boyutlardaki agreganın incelik modülü limit değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. İncelik modülü limit değerleri (TS 2717, 1977)

	Tane boyut dağılımına göre sınıflandırma		
	İnce Boyut 0-2 grubu	Orta Boyut 0-4 grubu	İri Boyut 0-8, 0-16, 0-32 grubu
İncelik Modülü	1,4 – 2,3	1,8 – 2,9	Serbest

3.2.1.7. Pomza Agregalarının İnce Madde Oranı Analizi

TS 1114 standardına göre, doğal hafif agregalarda belirlenen ince malzeme miktarlarının maksimum limit değerleri, agreganın tane sınıfına göre farklı değerler alabilmektedir. Bu bakımdan, agregaların ince madde oranı analizinde, ayrı tane sınıflarına göre hazırlanmış agrega örneklerinin her biri için ayrı ince madde oranı tespiti yapılarak standart değerlerle karşılaştırılır. Doğal hafif agregalar için limit olarak kullanılacak ince malzeme oranı değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Doğal hafif agregada ince madde oranı (TS 1114, 1986)

Agrega Tane Sınıfı	İnce Tane Oranı (Ağırlıkça Max. %)
0-2 Grubu	5,00
0-4 Grubu	5,00
0-8 Grubu	4,00
2-4 Grubu	4,00
0-16 Grubu	3,00
0-32 Grubu	3,00
4-8 Grubu	3,00
4-16 Grubu	3,00
8-16 Grubu	2,00
16-32 Grubu	2,00

Pomza agregalarının ince malzeme oranı, 0,063 mm elek açıklığına sahip bir elekten malzemenin elenmesi yoluyla yapılmaktadır. Bu işlem iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlar çökeltme ve yıkama metotlarıdır. Çökeltme metodu, hacmi belli olan bir kaptaki su içerisinde numunenin belirli bir zaman diliminde çökertilmesi ve çöken malzemenin hacmi esas alınarak yapılan analizlere dayanmaktadır. Yıkama yöntemi ise 0,063 mm'lik bir elek kullanılarak, malzemenin yağ ortamında yıkanması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde yıkama sonrasında, analiz edilen malzeme miktarının, yıkama öncesi malzeme miktarı arasındaki orandan yararlanılarak agrega bileşimindeki ince malzeme miktarı ağırlıkça yüzde olarak belirlenebilmektedir.

Araştırmada kullanılan pomza agregaları için yapılan ince malzeme miktarı tayini, yukarıda belirtilen yıkama metodu esas alınarak analiz edilmiştir.

3.2.1.8. Pomza Agregalarının Sülfat Tayini Analizi

TS 1114, Hafif Agregalar (beton için) standardında, hafif agregalar için bilinmesi istenilen konulardan birisi de sülfat miktarının belirlenmesidir. Bu nedenle hafif agrega numuneleri üzerinde SO₃ cinsinden sülfat analizi yapılmaktadır. TS 1114 standardına göre, hafif agregada SO₃ miktarının, ağırlıkça en fazla %1,0 civarında olması istenmektedir.

3.2.1.9. Pomza Agregalarının Hava Etkilerine Dayanım Analizi

Kayaçlarda hava etkilerine dayanım analizi, atmosferde uzun süre bazı etkilere maruz kalma sonucu oluşabilen değişimlere göre yapılmaktadır. Yağmur, kar gibi doğa olayları, atmosferdeki sıcaklık, nem değişimleri, rüzgar etkisi ve güneşin ultraviyole ışınları gibi etkenler kayaçları etkileyen hava etkileri olarak sayılabilir.

Atmosferin doğal kayaçlara zarar veren en önemli etkisi, donma etkisidir. Sıcaklık azalıp 0°C'in altına düştüğünde kayaç boşlukları içerisinde bulunan su, donarak buz haline geçer. Bu olay hacim artışına neden olur. Daha sonra kayaçta çatlama, parçalanma ve dökülmeler başlar. Eğer bu olay sık sık tekrarlanırsa, malzeme kullanılamayacak bir duruma gelebilir.

Atmosfer etkilerinin ikincisi, periyodik sıcaklık ve nem değişimleridir. Bunlara bağlı olarak doğan periyodik genişleme veya büzülme olayları zamanla kırılma etkisi meydana getirerek kayaçta deformasyona neden olabilmektedir.

Pomza agregalarının hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımında, hava etkileri karşısında ne tarz bir değişime uğrayacağı ve ağırlıkça bir kütle kaybının gerçekleşip gerçekleşmediği TS 1114'e göre, laboratuvar ortamında kimyasal yollarla yaşlandırılarak yapılabilmektedir. Bu işlem için farklı derişimlerde hazırlanmış kimyasal çözeltiler kullanılmaktadır. Bu amaçla, kullanılan iki ayrı kimyasal çözelti, sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltileridir. TS 1114'e göre, beton agregalarında magnezyum sülfat kullanılması durumunda, iri agregada ağırlıkça azalma miktarı en fazla %27, ince agregada %22, sodyum sülfat kullanılması halinde ise iri agregada en fazla %18, ince agregada %15 olması öngörülmektedir.

Araştırmada, pomza agregaları için, sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak hava etkilerine dayanım karakteristiği analiz edilmiştir.

3.2.1.10. Pomza Agregalarının Kızdırma Kaybı Analizi

Kızdırma kaybı analizi, agregaların yüksek sıcaklık etkisinde, eriyik haline dönüşen bileşenleri ve bünyesinde bulunan uçucu gazların bünyeyi terketmesi sonucu oluşan kütle kaybının belirlenmesi yoluyla yapılmaktadır. Bu nedenle, agregaların sıcaklık değişimleri sonucu kütle kaybı miktarının araştırılması gerekmektedir. TS 1114 standardına göre, hafif agrega olarak kullanılacak agrega türlerinde kızdırma kaybı, ağırlıkça %5'den fazla olmamalıdır.

Pomza agregalarının kızdırma kaybı analizleri, TS 1114 standardına göre yapılmış olup deney sonrası kütle kaybı değerleri saptanmış, ağırlıkça ne ölçülerde kızdırma kaybının oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca, pomza örnekleri üzerinde yapılan bir diğer inceleme ise, farklı sıcaklıklardaki davranış karakteristiği ve ateşe dayanıklılık testleridir. Pomza örnekleri için ateşe dayanıklılık testleri, 20°C-1200°C sıcaklık değişim değerlerinde yapılarak analiz edilmiştir.

3.2.2. Hafif Beton Numunelerinin Analizinde Uygulanan Metotlar

Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası ile 26 ayrı karışım grubu oluşturulmuştur. Belirlenen her karışım grubu, hacimce %6, %8, %10 oranlarında çimento ile karıştırılarak üç ayrı döküm yapılmıştır.

26 ayrı karışım grubundan toplam 78 ayrı seri hafif beton numunesi elde edilmiş olup her seriye ait 10x10x10 cm boyutlarında 9 adet beton numunesi dökülmüştür (Şekil 3.10.). Böylelikle toplam olarak 702 adet beton numunesi elde edilmiştir. Karışımlar hazırlanırken kullanılan su miktarı kıvama göre belirlenerek tek tek not edilmiştir. Dökümden sonra malzemeler küremeye tabi tutulmuş ve beklemeye alınmıştır. Çalışmada kullanılan üç ayrı türe ait belirlenen karışım grupları Çizelge 3.5'de verilmiş olup, PK: Kayseri-Talas pomzasını, PN: Nevşehir-Göre pomzasını, PM: İzmir-Menderes perlitik pomzasını sembolize etmektedir.

Çizelge 3.5. Hafif beton numunelerine ait karışım oranları

	Tane Boyutu (mm)		
	0/4	4/8	8/16
	Karışım Oranları (%)		
Karışım 1	70 PK	30 PK	
Karışım 2	60 PK	40 PK	
Karışım 3	50 PK	50 PK	
Karışım 4	40 PK	60 PK	
Karışım 5	30 PK	70 PK	
Karışım 6	70 PK	15 PK	15 PK
Karışım 7	60 PK	20 PK	20 PK
Karışım 8	50 PK	25 PK	25 PK
Karışım 9	70 PK	30 PN	
Karışım 10	60 PK	40 PN	
Karışım 11	50 PK	50 PN	
Karışım 12	70 PK	15 PK	15 PN
Karışım 13	60 PK	20 PK	20 PN
Karışım 14	50 PK	25 PK	25 PN
Karışım 15	70 PK+30 PN		
Karışım 16	60 PK+40 PN		
Karışım 17	50 PK+50 PN		
Karışım 18	100 PM		
Karışım 19	80 PM	20 PM	
Karışım 20	70 PM	30 PM	
Karışım 21	60 PM	40 PM	
Karışım 22	50 PM	50 PM	
Karışım 23	40 PM	60 PM	
Karışım 24	30 PM	70 PM	
Karışım 25	20 PM	80 PM	
Karışım 26		100 PM	



Şekil 3.10. Hafif beton numuneleri (b)

Her seriye ait hafif beton numunelerin ağırlıkları hassas terazide ayrı ayrı tartılarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan hassas terazi Şekil 3.11’de görülmektedir. Daha sonra kumpasla numune boyutları (yükseklik) ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen değerlerle numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan hassas elektronik terazi

Hafif beton numuneleri su emme deneyine tabi tutulmuştur. Her serinin 24., 48. ve 72. saatteki su emme miktarları tespit edilerek su emme oranları hesaplanmıştır.

Numuneler hidrolik preste kırılarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Kırılma anında preste okunan yük ortalama kesit alanına bölünerek tek eksenli basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır.

Daha sonra hafif beton örneklerinin sıcaklık etkisindeki karakteristiğini analiz etmek amacıyla her seriden alınan numuneler, etüvde üç ayrı sıcaklık değerine maruz bırakılmıştır. Çalışmada kullanılan etüv Şekil 3.12’de görülmektedir. Her seri, etüvde 120°C, 180°C ve 200°C sıcaklıkta 72 saat bekletilmiştir. Daha sonra bu numunelerin basınç dayanım değerleri analiz edilmiştir. Her bir numune preste ayrı ayrı kırılarak kırılma değeri belirlenmiş ve bu değer yardımıyla basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır.

Sıcaklık etkisi olmadan elde edilen değerlerle sıcaklık etkisine maruz kaldıktan sonraki basınç dayanım değerleri karşılaştırılarak irdelenmiştir.



Şekil 3.12. Çalışmada kullanılan etüv

Çalışmanın sonucunda elde edilen değerlerle, her bir reçete için basınç dayanımı-çimento oranı, kuru birim hacim ağırlık-çimento oranı, ve kuru birim hacim ağırlık-basınç dayanımı ilişkisi incelenerek değerlendirilmiştir.

Hafif beton numuneleri üzerinde sıcaklık etkisinin analizi amacıyla sıcaklığa bağlı olarak elde edilen basınç dayanım değerleri ve kuru birim hacim ağırlık değerleri incelenerek yorumlanmıştır.

Ayrıca hafif beton numunelerinin 24, 48 ve 72. saat sonundaki su emme miktarları tespit edilerek her bir serinin ortalama su emme oranları da hesaplanmıştır.

Hafif beton numunelerine ait bazı serilerden ince kesitler alınarak mikroskop altında fotoğrafları çekilmiş ve mikroskobik ölçekte yapısal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular sınıflandırılarak grafikleri çizilmiş ve sonuçlar aşağıda belirtilen ana başlıklar altında irdelenmiştir:

- Çimento oranının hafif beton numunelerinin dayanımına etkisi,
- Çimento oranının hafif beton numunelerinin birim hacim ağırlığına etkisi,
- Sıcaklığın hafif beton numunelerinin dayanımına etkisi,
- Sıcaklığın hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlığına etkisi,
- Hafif beton numunelerinde kullanılan pomza türlerinin sıcaklık etkisindeki karakteristiği ve türlerin birbirleri ile karşılaştırılması.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Pomza Agregaları İle İlgili Yapılan Analiz Bulguları

Bu araştırmada ana materyal olarak kullanılan, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomza agregalarının hafif beton yapımında doğal hafif agrega olarak kullanılabilirliği, TS 1114 standardından yararlanılarak araştırılmış ve aşağıda detayları verilmiş olan bulgular elde edilmiştir.

4.1.1. Nevşehir-Göre Pomzası İle İlgili Analiz Bulguları

Araştırmada, Nevşehir-Göre yöresinden elde edilen pomza agregaları, genel olarak TS 1114 Hafif Agregalar-Beton İçin standardında öngörülen şekilde incelenerek analiz edilmiştir. Çalışma, Nevşehir-Göre yöresine ait tüvenan ve muhtelif boyutlardaki örnekler üzerinde yapılmıştır.

4.1.1.1. Nevşehir-Göre Pomzasının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri

Nevşehir-Göre pomza agregaları üzerinde yapılan inceleme sonucunda, karakteristik olarak gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda boşluk içerdiği, her bir boşluğun diğerinden camsı bir zarla ayrılmış olduğu gözlenmiştir. Sertliği Mohs sertlik skalasına göre 5,5-6'dır. Bünyesinde kristal suyu yoktur.

Nevşehir-Göre pomzasında kimyasal olarak en etkin bileşenin SiO_2 olduğu belirlenmiş olup, agregaların asidik karakteristik sergiledikleri tespit edilmiştir. Nevşehir-Göre pomzasının kimyasal bileşimi Çizelge 4.1'de verilmektedir.

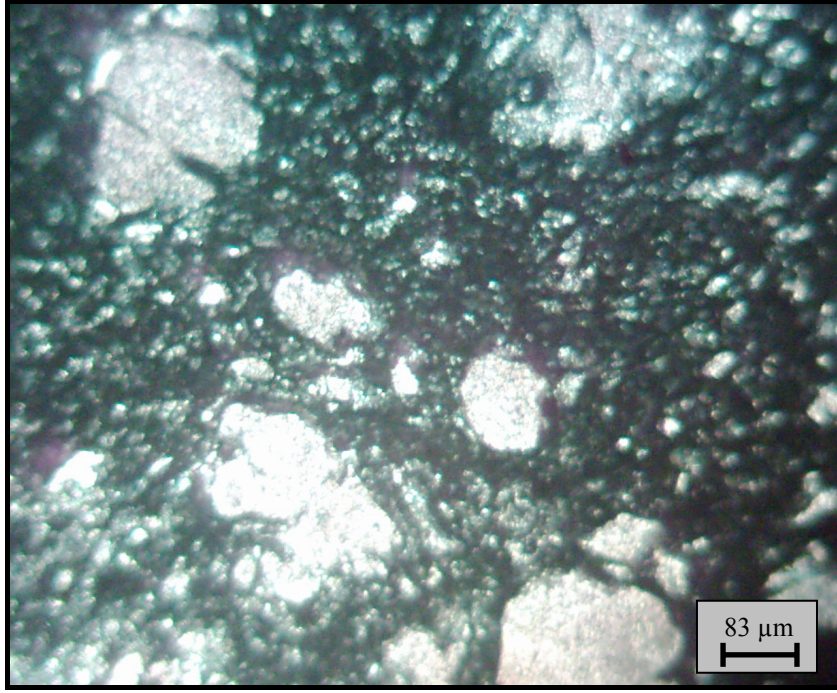
Çizelge 4.1. Nevşehir-Göre pomzasının kimyasal bileşimi (Gündüz vd.,1998)

Kimyasal Bileşen	Oranı (%)
SiO ₂	71
Al ₂ O ₃	13,2
Fe ₂ O ₃	1,1
CaO	1,2
Na ₂ O	2
K ₂ O	4,3
MgO	0,6
TiO ₂	0,2
Cl	0,19
MnO	0,1
BaO	0,16
P ₂ O ₅	0,048

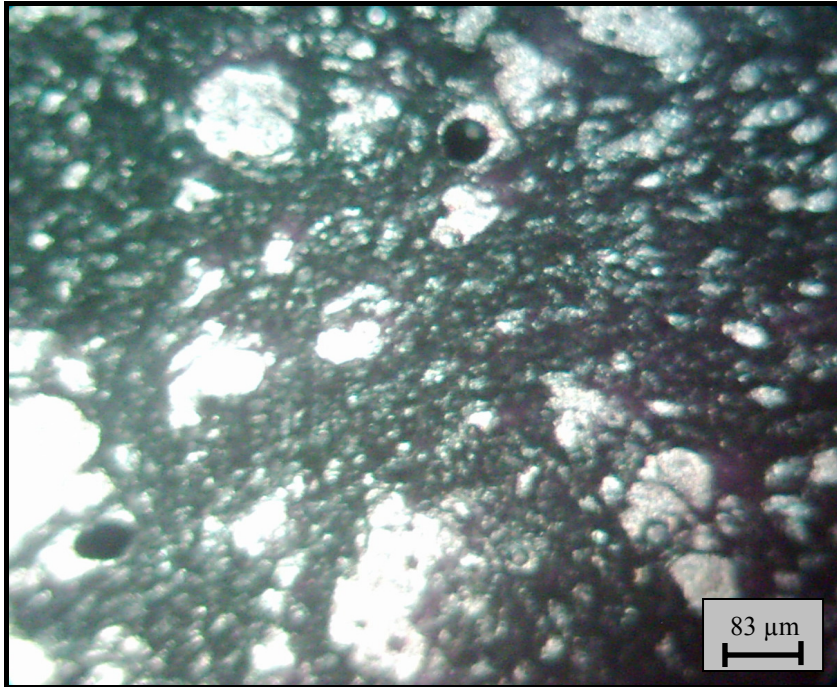
TS 1114 standardına göre yapılan agregaların su etkisinde karakteristik davranışları analizinde, su içerisinde uzun bir dönem bırakılan Nevşehir-Göre pomzası örneklerinde, suyun etkisi ile herhangi bir dağılmanın meydana gelmediği görülmüştür. Bu analiz genelde, su içerisinde bırakılan malzemenin, sudan çıkartıldıktan sonra ne ölçüde ağırlık kaybına uğradığının ölçülmesi ile analiz edilmektedir. Nevşehir-Göre pomza agregaları üzerinde yapılan ölçümlerde, su etkisi ile malzemede ağırlık kaybı %0,03 oranında hesaplanmıştır. Bu değer, bu pomza türünün su etkisi ile çok az dağıldığını ve suya karşı dirençli olduğunu göstermektedir.

Nevşehir-Göre pomzasının petrografik ve mineralojik analizlerini yapmak amacıyla ince kesitleri çıkarılarak yorumlanmıştır.

Nevşehir-Göre yöresi pomza agrega örnekleri için yapılan ince kesitler, polarizan mikroskop ile incelendiğinde agrega yapısının volkanik cam matriksten oluştuğu görülmüştür. Kayacın büyük bir kısmı, bu cam hamurundan oluşmakta ve kayaç içerisinde hemen hemen hiç kristal gözlenmemektedir (Şekil 4.1., Şekil 4.2.). Nadiren gözlenen mineraller ise fenokristaller şeklindedir. Kayaç içerisinde gözlenen bu fenokristaller piroksen mineralleri ile plajjoklaslardır.

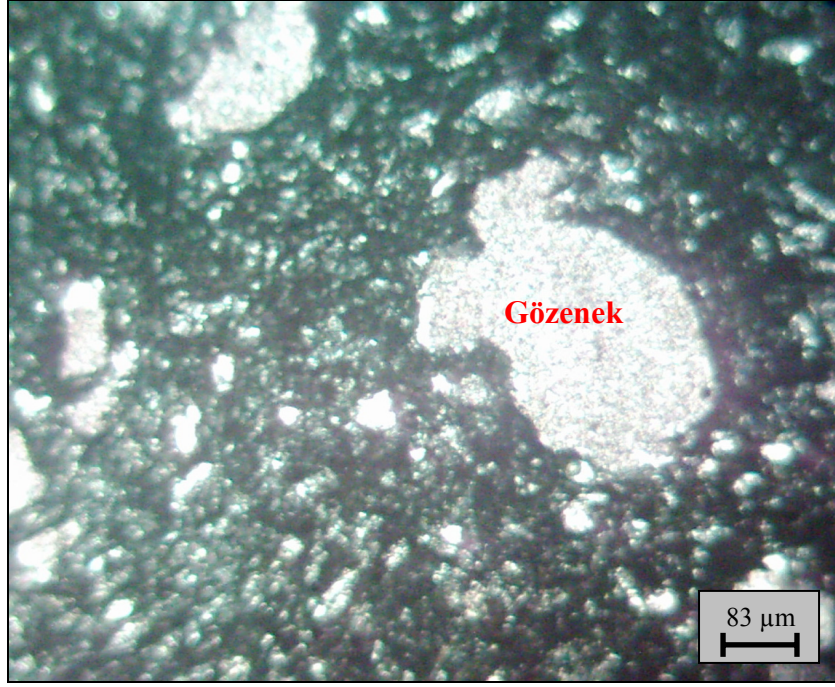


Şekil 4.1. Nevşehir-Göze yöresi pomza agregası örneğinin ince kesit görünümü (a)

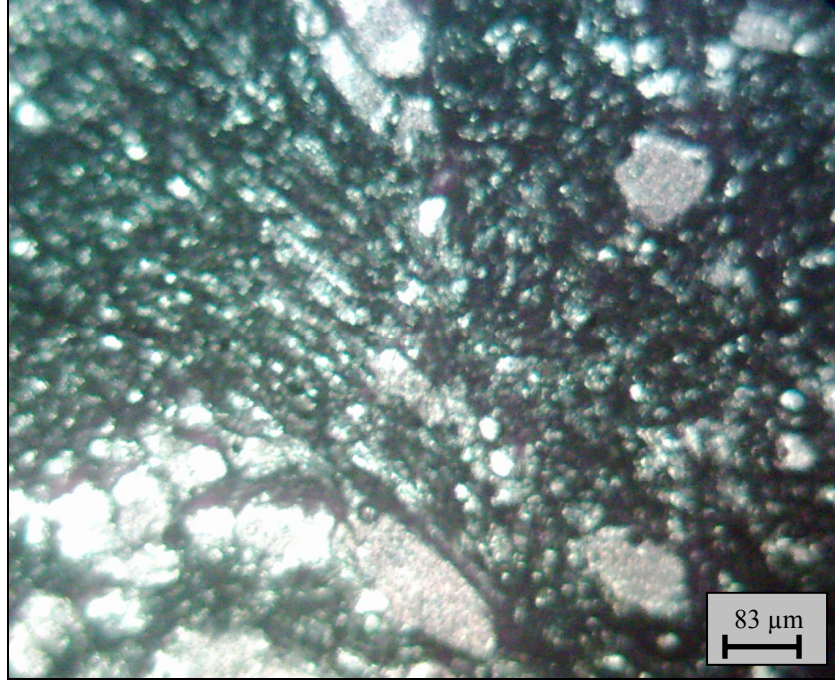


Şekil 4.2. Nevşehir-Göze yöresi pomza agregası örneğinin ince kesit görünümü (b)

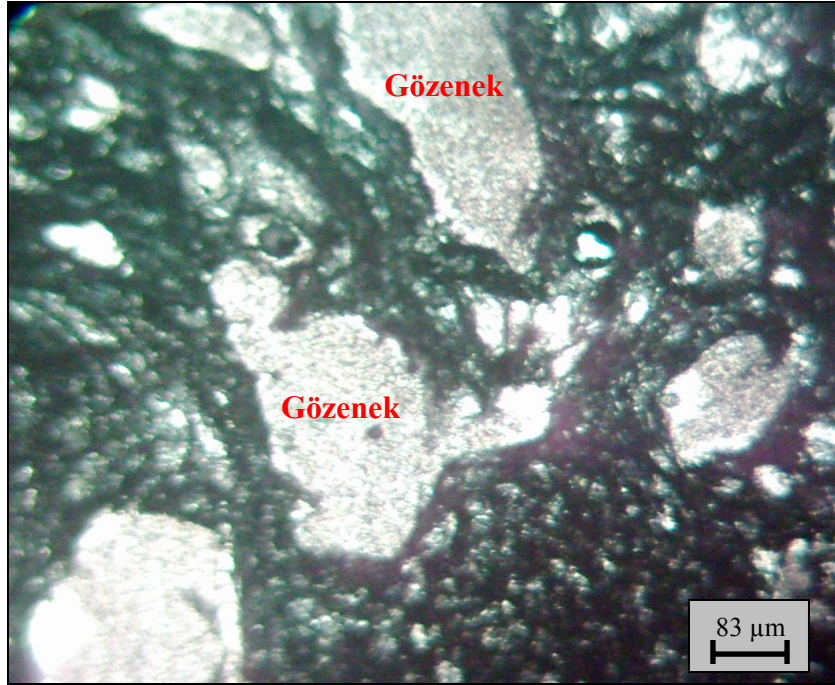
Kayaç oldukça gözenekli bir yapıya sahiptir. Boşlukların boyutları genellikle küçük-orta boyutlu olup, yer yer iri boyutlu boşluklarda görülebilmektedir. Kayaç içerisindeki bu boşluklar belirli bir şekle sahip olmayıp, gözenek yapıları birbirleriyle geçişsiz ve kapalı gözenekler şeklindedir (Şekil 4.3.). Ayrıca kayaç içerisinde gazların soğuma hızına bağlı olarak yer yer lifsel akma yapısı (zonlanma) da gözlenmektedir (Şekil 4.4., Şekil 4.5.).



Şekil.4.3. Nevşehir-Göre yöresi pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü



Şekil.4.4. Nevşehir-Göze yöresi pomza agregası örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (a)



Şekil.4.5. Nevşehir-Göze yöresi pomza agregası örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (b)

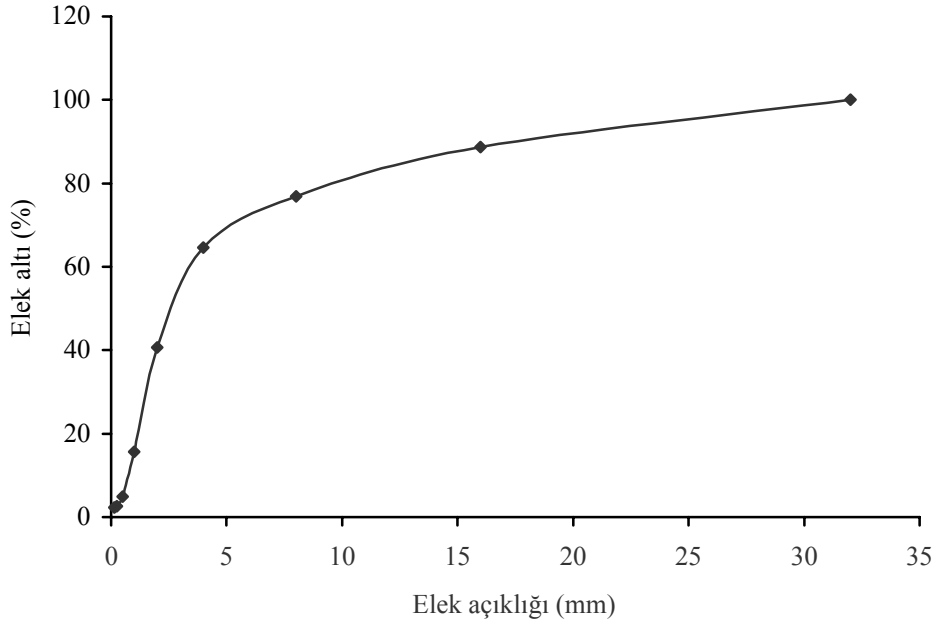
Nevşehir-Göre bölgesi pomza agrega örneklerinin mikroskopik olarak incelenmesi sonucunda, kayacın yapısının büyük bir kısmının hamurdan oluşması ve hemen hemen tanımlanabilecek ölçekte kristal gözlenmemesi, gözenek yapılarının oldukça küçük kapalı gözenekler şeklinde olması ve gazların soğuma hızına da bağlı olarak yer yer lifsel akma yapılarının gözlenmesi nedeniyle, Riyolitik kökenli bir kayacın olarak tanımlanabilmektedir.

4.1.1.2. Nevşehir-Göre Pomzasının Tane Büyüklüğü Dağılımı Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre pomzasının tane büyüklüğü dağılımı analizleri, TS 1114 standardına göre yapılmıştır. Nevşehir-Göre yöresine ait tüvenan numune üzerinde elek analizleri yapılmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu değerlere göre çizilen granülometri eğrisi Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.2. Nevşehir-Göre pomzasının (tüvenan) granülometrik özellikleri

Elek Açıklığı (mm)	Deney Sırasında		Hesaplanan	
	Elek Üstü (gr)	Elek Üstü Kümülatif (gr)	Elek Üstü Kümülatif (%)	Elek Altı (%)
32	0	0	0	100
16	1022	1022	11,37	88,63
8	1052	2074	23,07	76,93
4	1101	3175	35,32	64,68
2	2166	5341	59,41	40,59
1	2242	7583	84,34	15,66
0,50	966	8549	95,09	4,91
0,25	202	8751	97,34	2,66
0,125	35	8786	97,73	2,27
Kalan	204	8990	100	0



Şekil 4.6. Nevşehir-Göre pomzasına (tüvenan) ait granülometri eğrisi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Nevşehir-Göre pomzasının, tane boyut dağılımı olarak TS 1114 standardına uygun olduğu ve granülometrik açıdan hafif agrega olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

4.1.1.3. Nevşehir-Göre Pomzasının Birim Ağırlık Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre pomzasının birim hacim ağırlık değerleri, sıkışık ve gevşek olmak üzere iki şekilde ölçülerek belirlenmiştir. Çalışmalar, TS 3529 standartlarına göre yapılmış olup elde edilen değerler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Nevşehir-Göre pomzasının gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri

Boyut Aralığı (mm)	Gevşek Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
>32	297	312
16-32	403	444
8-16	511	565
4-8	587	665
2-4	685	780
1-2	761	887
0,5-1	799	987
0,25-0,5	1009	1137

Ayrıca, tüvenan örnekler üzerinde yapılan gevşek ve sıkışık birim ağırlık analizlerinde aşağıda verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Nevşehir-Göre pomzasının (tüvenan) gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri

Agrega	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Nevşehir-Göre	611	702

Hafif beton agregalarının TS 1114'e göre bulunacak gevşek birim hacim ağırlık değerleri aşağıda verilen değerleri geçmemesi arzu edilmektedir.

Çizelge 4.5. TS 1114'e göre hafif agregaların gevşek birim hacim ağırlık değerleri (TS 1114, 1986)

Agrega Türü	Maksimum Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
İnce agrega	1200
İri agrega	1000
Karışık agrega	1100

Ayrıca, pomza agregalarının TS 3529'a göre bulunacak gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık limitleri aşağıda verilen değerlere uygun olması istenmektedir.

Çizelge 4.6. TS 3529'a göre hafif agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri (TS 3529, 1980)

Agrega Türü	Maksimum Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Maksimum Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
İnce agrega	700	900
İri agrega	500	700
Karışık agrega	600	800

Yukarıda verilen limit değerlere göre, Nevşehir-Göre pomzasına ait örneklerin birim ağırlık değerleri analiz edildiğinde, ince, orta ve iri boyutlarda, agrega tanelerinin limit değerler içinde kaldığı gözlenmiş olup, Nevşehir-Göre pomzasının birim ağırlık olarak hafif agrega standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir.

4.1.1.4. Nevşehir-Göre Pomzasının Organik Madde Tayini Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre pomza agregaları üzerinde, %3'lük NaOH çözeltisi ile organik madde tayini analizleri yapılmıştır. %3'lük NaOH çözeltisi ile yapılan standart deneyde, 24 saat sonra pomza agregasının aldığı açık sarı, koyu kırmızı renklere göre karar verilmekte ve kırmızıdan sonraki renkler organik madde bakımından zengin malzeme bileşimini simgelemektedir. Nevşehir-Göre pomza agregası taneleri üzerinde yapılan organik madde içeriği analizlerinde, organik maddelere rastlanmamıştır.

4.1.1.5. Nevşehir-Göre Pomzasının Su Emme, Porozite, Kompasite ve Doyma Derecesi Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre yöresine ait tüvenan ve değişik boyutlara sahip örnekler üzerinde su emme deneyleri yapılmıştır. Pomza agregaları 96. saate kadar su emme deneyine tabi tutulmuştur. Genel olarak pomza taneciklerinin 96 saatte suya doymun hale geldiği gözlenmiştir. Elde edilen su emme oranları Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Nevşehir-Göre pomzası örneklerinin su emme oranları

Boyut (mm)	M ₂₄ (%)	M ₄₈ (%)	M ₇₂ (%)	M ₉₆ (%)
0-4	31,46	34,10	35,04	33,25
0-8	38,53	41,84	43,53	47,54
4-8	34,80	35,74	37,37	40,50
4-16	39,93	41,98	48,39	53,79
8-16	46,55	53,63	60,90	63,31
Tüvenan	50,55	52,07	56,04	53,74

Pomza agregalarında, su emme oranı, agreganın gözenekliliğine, elde edildiği yere, granülometrisine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişmekle birlikte, 24 saatlik su emme oranının genel olarak, ince agregada %20, iri agregada ise %30 civarında olması istenir. Nevşehir-Göre pomzasına uygulanan su emme deneyi sonuçlarına bakıldığında, su emme oranlarının standart değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Ancak, pomza agregalarının su ve nem alma yönünden yeterince korunması durumunda hafif beton agregası olarak kullanılabilirdiği bilinmektedir.

Görünür porozite ve görünür kompasite (doluluk oranı) değerleri, su emme oranlarından aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir (Davraz, 2004) :

$$n_0 : d_h \times M_t$$

$$k_0 : 1 - n_0$$

Burada;

n_0 : Görünür porozite (%),

d_h : Birim hacim ağırlık (gr/cm^3),

M_t : Kütlece su emme oranı (%),

k_0 : Görünür kompasitedir (%).

Gerçek porozite değeri ise agreganın ortalama hacim ağırlığı ve ortalama özgül ağırlığının bir fonksiyonudur. Gerçek porozite, gerçek kompasite ve doyma derecesi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır:

$$n_1 : |1 - (d_h/\rho)| \times 100$$

$$k_1 : 100 - n_1$$

$$Do : M_t / n_1$$

n_1 : Gerçek porozite (%),

d_h : Birim hacim ağırlık (gr/cm^3),

ρ : Özgül ağırlık (gr/cm^3),

k_1 : Gerçek kompasite (%),

Do : Doyma derecesidir (%).

Malzemelerde doyma derecesinin %80'in altında olması istenmektedir. Çünkü doyma derecesi %80'in üzerinde olan malzemelerin boşluklarındaki suyun donması durumunda genişleme meydana gelerek malzemede deformasyon oluşturabilmekte ve parçalanmasına neden olabilmektedir.

4.1.1.6. Nevşehir-Göre Pomzasının İncelik Modülü Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre pomzası için yapılan incelik modülü hesaplamaları, TS 1114 standardına göre yapılan elek analizi bulgularından yararlanılarak yapılmıştır. Elde edilen bulgular, standart değerlerle karşılaştırılarak irdelenmiş ve Çizelge 4.8., Çizelge 4.9., ve Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Nevşehir-Göre pomzası (0/8 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
4	11	6	10
2	23	19	15
1	39	65	38
0,500	49	75	57
0,250	79	83	70
0,125	105	92	101
Toplam	306	340	291
İncelik Modülü	3,06	3,40	2,91
Ortalama Değer	3,12		

Çizelge 4.9. Nevşehir-Göre pomzasının (0/4 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
2	4	2	5
1	29	31	34
0,500	52	57	55
0,250	75	76	70
0,125	85	83	84
Toplam	245	249	248
İncelik Modülü	2,45	2,49	2,48
Ortalama Değer	2,47		

Çizelge 4.10. Nevşehir-Göre pomzasının (0/2 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
1	10	8	7
0,500	49	59	53
0,250	70	78	75
0,125	79	80	83
Toplam	208	225	218
İncelik Modülü	2,08	2,25	2,18
Ortalama Değer	2,17		

İncelik modülünde, yapılan hesaplamada elde edilen incelik modülü değeri ne kadar düşük ise, o malzemenin o kadar ince olduğunu sembolize eder. Her bir boyut fraksiyonu için, standart gereği kabul edilmiş alt ve üst limit modül değerleri bulunmaktadır. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerin TS 2717 Harç Kumları standardında istenen değerlere uygun olduğu belirlenmiştir.

4.1.1.7. Nevşehir-Göre Pomzasının İnce Madde Oranı Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre pomzası için yapılan ince madde miktarı tayini, yıkama metodu esas alınarak analiz edilmiştir. Deneysel bulgular sonucu elde edilen verilerden aşağıda tanımlanan eşitlik yardımı ile agregadaki ince madde miktarları belirlenmiştir.

$$A = ((B-C) / B) \times 100$$

A : 0,063 mm'lik elekten geçen malzeme yüzdesi (%),

B : Yıkama öncesi kurutulmuş malzeme ağırlığı (gr),

C : Yıkama sonrası kurutulmuş toplam elek üstü malzeme ağırlığı (gr).

Nevşehir-Göre pomzasının hesaplanan ince malzeme miktarları Çizelge 4.11. ve Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Nevşehir-Göre pomzası (0/8 mm) ince malzeme miktarı

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Yıkama Öncesi Kuru Ağırlık (gr)	1022	1080	1052
0,063 mm'lik elek üstü (gr)	505	532	523
1,0 mm'lik elek üstü (gr)	397	375	367
4,0 mm'lik elek üstü (gr)	90	145	125
Toplam elek üstü (gr)	992	1052	1015
0,063 mm'lik elek altı (%)	2,93	2,59	3,52
Ort. 0,063 mm'lik elek altı (%)	3,01		

Çizelge 4.12. Nevşehir-Göre pomzası (0/16 mm) ince malzeme miktarı

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Yıkama Öncesi Kuru Ağırlık (gr)	1358	1305	1295
0,063 mm'lik elek üstü (gr)	530	499	519
1,0 mm'lik elek üstü (gr)	395	391	371
4,0 mm'lik elek üstü (gr)	296	255	270
8,0 mm'lik elek üstü (gr)	99	125	99
Toplam elek üstü (gr)	1320	1271	1259
0,063 mm'lik elek altı (%)	2,80	2,60	2,78
Ort. 0,063 mm'lik elek altı (%)	2,73		

Nevşehir-Göre pomzasını temsilen 0/8 mm ve 0/16 mm boyut grubuna ait agrega örnekleri üzerinde yapılan ince madde oranı tayini analizlerinden elde edilen bulgulara bakıldığında, her iki boyut grubuna ait agregaların ince malzeme oranının, standart değerlerden daha düşük oldukları belirlenmiştir.

4.1.1.8. Nevşehir-Göre Pomzasının Sülfat Tayini Analiz Bulguları

Nevşehir-Göre pomzası örnekleri üzerinde yapılan kükürt içeriği tayini analizinde, tüvenan örnekler için SO₃ değeri yaklaşık %0,29 olarak tespit edilmiştir. TS 1114 standardına göre, hafif agrega bileşiminde ağırlıkça SO₃ bileşimi ağırlıkça maksimum %1,0 civarında olması istenmektedir. Bu nedenle, Nevşehir-Göre pomzasının, sülfat içeriği açısından hafif beton agregası olarak kullanımının uygun olduğu anlaşılmıştır.

4.1.1.9. Nevşehir-Göre Pomzasının Hava Etkilerine Dayanım Analiz Bulguları

TS 1114 standardına göre, hava etkilerine dayanım analizi, agreganın laboratuvar ortamında kimyasal yollarla yaşlandırılması sonucu tespit edilen ağırlık kaybına göre belirlenebilmektedir. Nevşehir-Göre pomzası için, sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak hava etkilerine dayanım analizi yapılmış ve elde edilen bulgular Çizelge 4.13'de verilmiştir.

Yapılan çalışma sonucu, Nevşehir-Göre pomzasının hava etkilerine dayanım analizlerinde elde edilen değerlerin TS 1114 standardında öngörülen değerlerden çok daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, Nevşehir-Göre pomzasının hava etkilerinden dolayı çok küçük değişimler göstereceğinden standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.13. Nevşehir-Göre pomzasının (0/8 mm) hava etkilerine dayanım analiz bulguları

Deney Numunesi		Deneyden Önce			Deney Sırasında		Düzeltilmiş Ağırlık Kaybı (%)
Geçtiği Elek Açıklığı (mm)	Üstünde Kaldığı Elek Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (gr)	Elek Üstünde Kalan (%)	Fraksiyon Ağırlığı (gr)	Ağırlık Kaybı (gr)	Kaybın % Değeri	
1. Örnek							
8	4	165	9	120	1,21	1,00	0,07
4	2	325	17	120	0,98	0,82	0,12
2	1	320	17	120	2,12	1,77	0,25
1	0,500	200	11	120	2,39	1,99	0,16
0,500	0,250	600	31	120	1,12	0,93	0,24
0,250	0,125	190	10	120	3,90	3,25	0,27
Kalan		100	5	-	-	-	-
Toplam		1910	100	720			1,11
2. Örnek							
8	4	125	8	100	0,93	0,93	0,07
4	2	280	18	100	0,78	0,78	0,14
2	1	249	16	100	1,63	1,63	0,26
1	0,500	218	14	100	1,63	1,63	0,23
0,500	0,250	513	33	100	0,75	0,75	0,25
0,250	0,125	109	7	100	4,26	4,26	0,30
Kalan		62	4	-	-	-	-
Toplam		1556	100	600			1,25
3. Örnek							
8	4	120	6	100	1,11	1,11	0,06
4	2	290	15	100	0,90	0,90	0,13
2	1	290	15	100	2,12	2,12	0,32
1	0,500	330	17	100	1,55	1,55	0,26
0,500	0,250	680	36	100	1,10	1,10	0,38
0,250	0,125	120	6	100	5,75	5,75	0,34
Kalan		90	5	-	-	-	-
Toplam		1920	100	600			1,49

4.1.1.10. Nevşehir-Göre Pomzasının Kızdırma Kaybı Analiz Bulguları

TS 1114 standardına göre yapılan kızdırma kaybı analizlerinde, hafif agrega olarak kullanılacak agrega türlerinde kızdırma kaybının, ağırlıkça %5'den fazla olmaması istenmektedir.

Nevşehir-Göre pomzasının kızdırma kaybı analizleri, TS 1114 standardına göre yapılarak deney sonrası kütle kaybı değerleri belirlenmiş ve ağırlıkça ne kadar kızdırma kaybının olduğu hesaplanmıştır.

Ayrıca, örnekler üzerinde yapılan bir diğer inceleme ise, farklı sıcaklıklardaki davranış karakteristiği ve ateşe dayanıklılık testleridir. Nevşehir-Göre pomzası örnekleri için ateşe dayanıklılık testleri yapılarak elde edilen bulgular Çizelge 4.14'de, kızdırma kaybı analiz bulguları ise Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, Nevşehir-Göre pomzası örneklerinin oda sıcaklığından akma noktasına kadar değişik sıcaklıklarda ne tür değişimler gösterdiği incelenmiştir. Özellikle sıcaklık etkisinde, agrega boyutunda bozulma ölçüsü ve kütle kaybı ilişkisi irdelenmiştir. Analizlerde, her bir sıcaklıkta pomza agrega örneklerinin kütle kaybı çok hassas olarak ölçülmüş ve sıcaklığa bağımlı bir kütle kaybı değişim katsayısı tanımlaması araştırılmıştır. Bu parametrenin sıcaklık artma değeri ile ters orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir.

Çizelge 4.14. Nevşehir-Göre pomzasının ateşe dayanıklılık analiz değerleri

	Yapısal Bozulma (°C)	Ergime Noktası (°C)
Nevşehir-Göre (tüvenan)	930	1220

Çizelge 4.15. Nevşehir-Göre pomzasının kızdırma kaybı analiz bulguları

Deney Sırası	Sıcaklık (°C)	Agrega Ağırlığı (gr)	Kızdırma Kaybı (%)
1	20	39,4305	0
2	200	39,3811	0,1252
3	300	39,2726	0,4004
4	400	39,2443	0,4722
5	500	39,2331	0,5006
6	600	39,2106	0,5576
7	700	39,1986	0,5881
8	730	39,1979	0,5899
9	760	39,1926	0,6033
10	790	39,1872	0,6170
11	820	39,1846	0,6236
12	850	39,1801	0,6350
13	880	39,1786	0,6388
14	910	39,1755	0,6467
15	940	39,1725	0,6543
16	970	39,1688	0,6637
17	1000	39,1669	0,6685
18	1030	39,1640	0,6759
19	1060	39,1590	0,6885
20	1090	39,1567	0,6944
21	1120	39,1546	0,6997
22	1150	39,1512	0,7083
23	1180	39,1490	0,7139
24	1200	39,1460	0,7215

4.1.2. Kayseri-Talas Pomzası İle İlgili Analiz Bulguları

Araştırmada kullanılan pomza türlerinden birisi de Kayseri-Talas pomzasıdır. Kayseri-Talas yöresinden elde edilen pomza agregalarının özellikleri, TS 1114 standardına göre incelenerek analiz edilmiştir. Çalışma, Kayseri-Talas yöresine ait tüvenan ve muhtelif boyutlardaki örnekler üzerinde yapılmıştır.

4.1.2.1. Kayseri-Talas Pomzasının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri

Kayseri-Talas pomzası üzerinde yapılan incelemeler neticesinde, değişik boyutlarda birçok boşluk içerdiği, boşlukların birbiriyle bağlantısız olup camsı bir zarla ayrılmış olduğu gözlenmiştir. Sertliği Mohs sertlik skalasına göre 5,5-6 civarında olup

bünyesinde kristal suyu bulundurmamaktadır. Kayseri-Talas pomzasının kimyasal olarak en etkin bileşeni SiO_2 'dir. Asidik karakterli bir pomza türüdür. Kayseri-Talas pomzasının kimyasal bileşimi Çizelge 4.16'da verilmektedir.

Çizelge 4.16. Kayseri-Talas pomzasının kimyasal bileşimi (Gündüz vd.,1998)

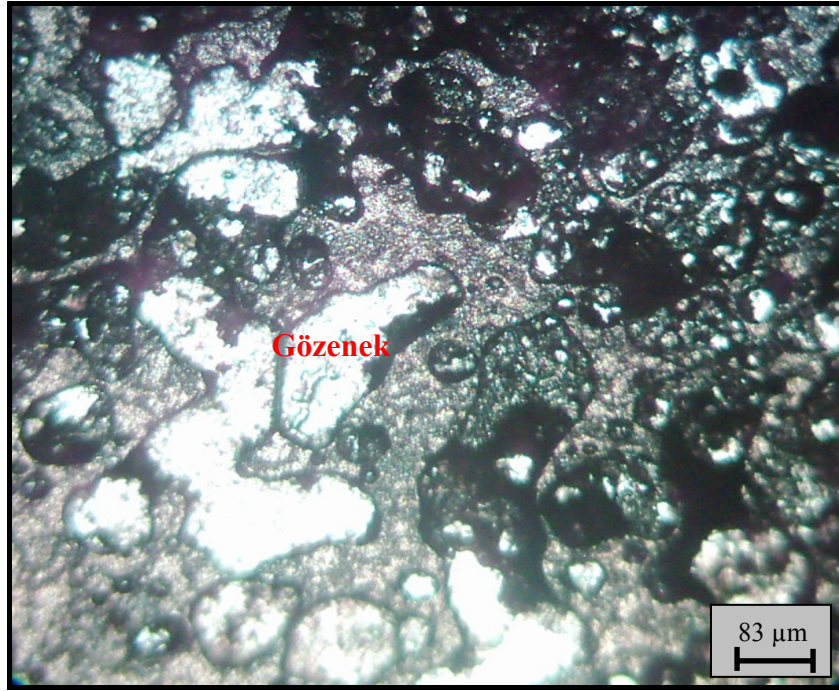
Kimyasal Bileşen	Oranı (%)
SiO_2	68
Al_2O_3	15,1
Fe_2O_3	3
CaO	3
Na_2O	4
K_2O	2,6
MgO	1
TiO_2	0,3
MnO	0,1
P_2O_5	0,1
Cl	0,22
SO_3	0,05
BaO	0,06

TS 1114 standardına göre yapılan agregaların su etkisinde karakteristik davranışları analizi için, su içerisinde uzun bir dönem bırakılan Kayseri-Talas pomzasında, suyun etkisi ile herhangi bir dağılma gözlenmemiştir. Kayseri-Talas pomzasında su etkisi ile ağırlık kaybı %0,03 oranında olduğu hesaplanmış olup bu değer, bu pomza türünün su etkisi ile çok az dağıldığını göstermektedir.

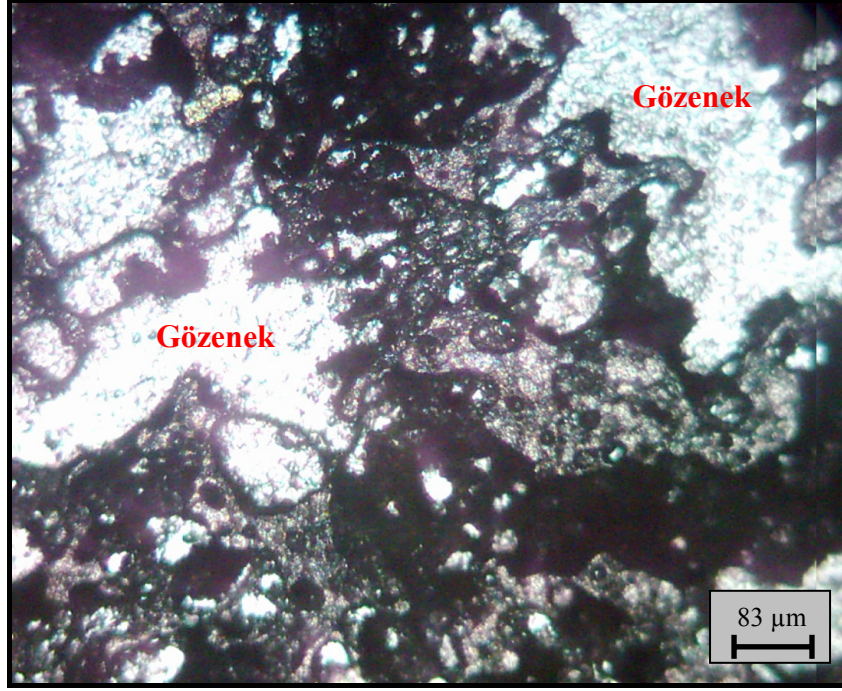
Kayseri-Talas pomzanın petrografik ve mineralojik analizlerini yapmak amacıyla ince kesitleri çıkarılarak yorumlanmıştır.

Kayseri-Talas yöresi pomza agregası örnekleri için yapılan ince kesitler, polarizan mikroskop ile incelenmiştir. Yapılan incelemelerde kayaç oluşumundaki hamur yapısının genellikle porfirik yapıdan faneritik yapıya doğru geçiş gösterdiği

gözenmiştir. Kayaç oldukça poröz bir yapıya sahip olup, boşlukların boyutları küçük-orta boyutlu, yer yerde düzensiz ve oldukça büyük gözenek yapıları şeklinde geliştiği gözlenmiştir (Şekil 4.7.). Ayrıca iri boyuttaki gözeneklerin yer yer birbirleriyle geçişli kanallar şeklinde bağlantılı olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.8.). Matriks içerisinde de tanımlanabilecek ölçekte bir akma ve zonlanma yapısı bulunmamaktadır.

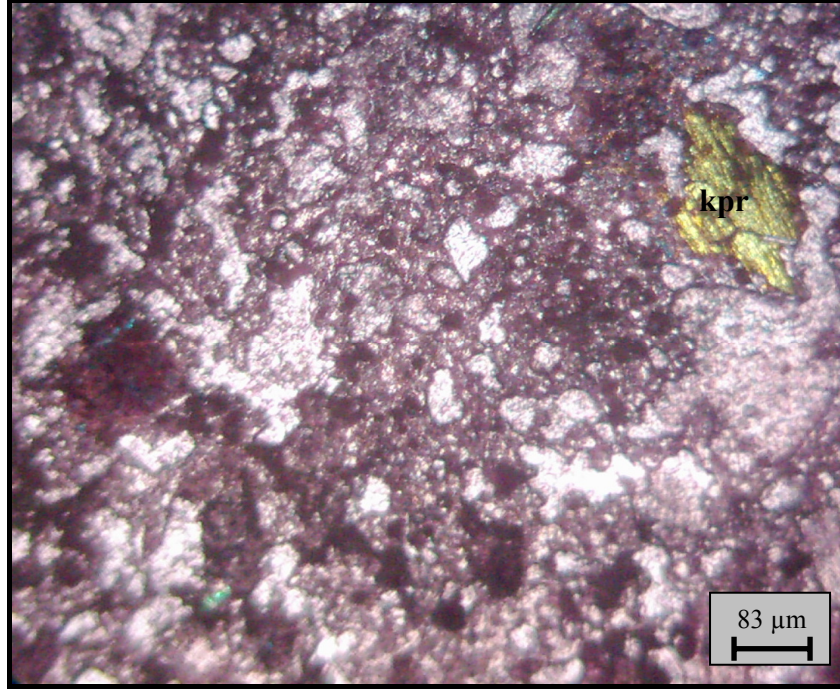


Şekil.4.7. Kayseri-Talas yöresi pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü (a)

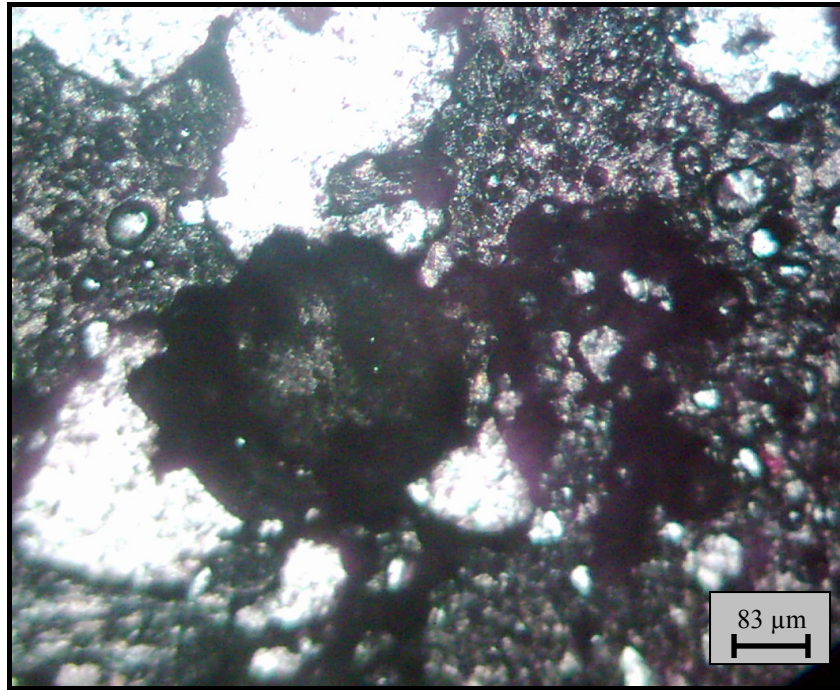


Şekil.4.8. Kayseri-Talas yöresi pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü (b)

Kayaç içerisinde kristaller de bulunmaktadır. Çoğunluğu amfibol olmak üzere, piroksen, biyotit, feldspat grubu ve opak mineraller gözlenmektedir (Şekil 4.9., Şekil 4.10.). Ayrıca bu kayaç yapısında feldspat ve mika grubu minerallerin ince sokulumlar şeklinde belirgin hale geldiği gözlenmiştir. Bunun en güzel örneği feldspat kristallerinin yarı öz şekilli ve yarı dilinimli, biyotit minerallerinin ise tek yönde mükemmel dilinimleriyle yapıda dağılım gösterdiği gözlenmiştir. Opak mineraller kayaç içerisinde az miktarda, öz şekilsiz ve küçük boyutlu mineraller şeklindedir.



Şekil.4.9. Kayseri-Talas yöresi pomza agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü (a), (kpr: klinopiroksen)



Şekil.4.10. Kayseri-Talas yöresi pomza agrega örneğinde bulunan minerallerin görünümü (b)

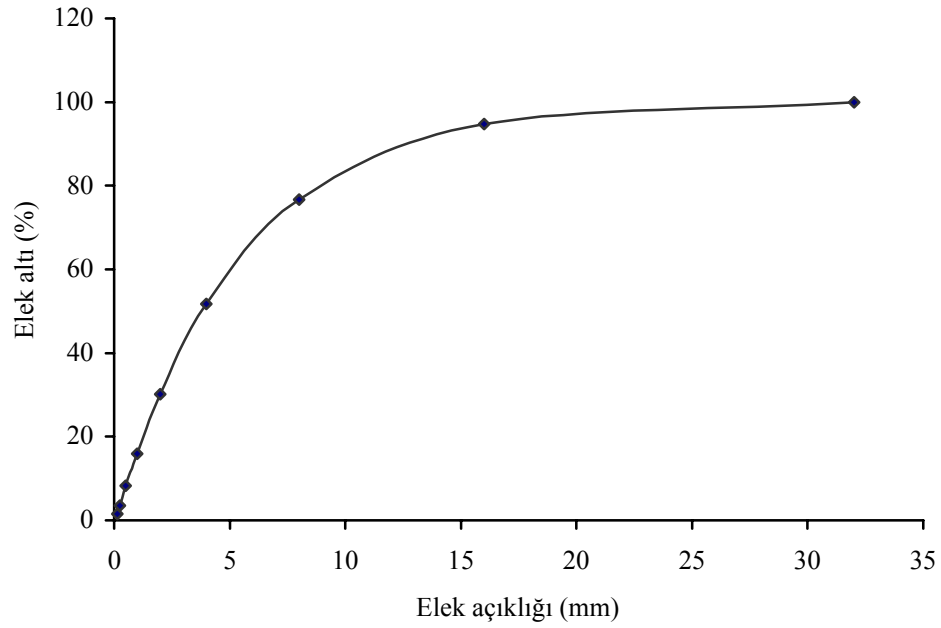
Kayseri-Talas yöresi pomza agregasının mikroskobik olarak incelenmesi sonucunda, kayaç içerisindeki kristallerin belirginlik durumu, ayrıca gözenek yapılarının oldukça büyük ve düzensiz şekillerde olması ve bu gözeneklerinde yer yer birbirleriyle geçişli kanallar şeklinde bağlantılı özellikler göstermesi nedeniyle Dasidik kökenli bir kayaç olarak tanımlanabilmektedir.

4.1.2.2. Kayseri-Talas Pomzasının Tane Büyüklüğü Dağılımı Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzasının tane büyüklüğü dağılımı analizi, TS 1114 standardına göre yapılan elek analizi sonucu elde edilen verilere göre yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu elde edilen bulgular Çizelge 4.17’de, bulguların grafiğe dökümü Şekil 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kayseri-Talas pomzasının (tüvenan) granülometrik özellikleri

Elek Açıklığı (mm)	Deney Sırasında		Hesaplanan	
	Elek Üstü (gr)	Elek Üstü Kümülatif (gr)	Elek Üstü Kümülatif (%)	Elek Altı (%)
32	0	0	0	100
16	497	497	5,23	94,77
8	1725	2222	23,38	76,62
4	2360	4582	48,21	51,79
2	2052	6634	69,79	30,21
1	1356	7990	84,06	15,94
0,50	732	8722	91,76	8,24
0,25	445	9167	96,44	3,56
0,125	197	9364	98,52	1,48
Kalan	141	9505	100	0



Şekil 4.11. Kayseri-Talas pomzasına (tüvenan) ait granülometri eğrisi

Yapılan analizler sonucunda, Kayseri-Talas pomzasının tane boyut dağılımı olarak TS 1114 standardına uygun olduğu ve granülometrik açıdan hafif agrega olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

4.1.2.3. Kayseri-Talas Pomzasının Birim Ağırlık Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzasının gevşek ve sıkışık birim ağırlık değerleri, beton agregalarının birim ağırlığının tayini TS 3529 standardına göre deneysel olarak analiz edilmiştir. TS 1114 standardında belirtilen tane boyut dağılımına göre, Kayseri-Talas pomzasının gevşek ve sıkışık birim ağırlık değerleri, doğal ortam koşulları için Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Ayrıca, pomza oluşumlarının tüvenan olarak gevşek ve sıkışık birim ağırlık değerleri incelendiğinde, Çizelge 4.19’daki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.18. Kayseri-Talas pomzasının TS 1114 standardı granülometrisine göre gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri (TS 1114, 1986)

Boyut Aralığı (mm)	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
>32	254	278
16-32	279	311
8-16	325	367
4-8	398	445
2-4	434	499
1-2	516	601
0,5-1	597	704
0,25-0,5	688	825

Çizelge 4.19. Kayseri-Talas pomzasının (tüvenan) gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri

Agrega	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Kayseri-Talas	459	547

Hafif beton agregalarının TS 1114'e göre bulunacak gevşek birim hacim ağırlık değerleri aşağıda verilen değerleri geçmemesi arzu edilmektedir.

Çizelge 4.20. Hafif agregaların gevşek birim hacim ağırlık değerleri (TS 1114, 1986)

Agrega Türü	Maksimum Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
İnce agrega	1200
İri agrega	1000
Karışık agrega	1100

Ayrıca, pomza agregalarının TS 3529'a göre bulunacak gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık limitleri aşağıda verilen değerlere uygun olması istenmektedir.

Çizelge 4.21. TS 3529'a göre hafif agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık değerleri (TS 3529, 1980)

Agrega Türü	Maksimum Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Maksimum Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
İnce agrega	700	900
İri agrega	500	700
Karışık agrega	600	800

Yukarıda verilen standart değerlere göre, Kayseri-Talas pomzasına ait örneklerin ince, orta ve iri agrega boyutlarında birim ağırlık değerleri açısından standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

4.1.2.4. Kayseri-Talas Pomzasının Organik Madde Tayini Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzası taneleri üzerinde yapılan organik madde içeriği analizlerinde, pomza tanelerinde organik maddelere rastlanmamıştır. %3'lük NaOH ile yapılan standart deneyde 24 saat sonra agreganın aldığı açık sarı, koyu kırmızı renklere göre karar verilmekte ve kırmızıdan sonraki renkler organik madde bakımından zengin malzeme bileşimini simgelemektedir.

4.1.2.5. Kayseri-Talas Pomzasının Su Emme, Porozite, Kompasite ve Doyma Derecesi Analiz Bulguları

Kayseri-Talas yöresine ait pomzanın tüvenan ve değişik boyutlardaki örnekleri 96. saate kadar su emme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen su emme oranları Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Kayseri-Talas pomzasının su emme oranları

Boyut (mm)	M ₂₄ (%)	M ₄₈ (%)	M ₇₂ (%)	M ₉₆ (%)
0-4	35,59	36,32	39,78	40,10
0-8	36,50	44,82	45,23	46,23
4-8	35,81	37,34	39,49	40,10
4-16	37,12	43,10	47,54	53,12
8-16	45,15	55,36	61,12	65,12
Tüvenan	51,55	53,07	56,04	57,74

Kayseri-Talas pomzasına uygulanan su emme deneyi sonuçlarına bakıldığında su emme oranlarının istenilenin biraz üzerinde olduğu görülmektedir. Ancak, pomza agregalarının su ve neme karşı korunması durumunda su emme oranları bu değerlere ulaşamayacağı için hafif beton agregası olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

4.1.2.6. Kayseri-Talas Pomzasının İncelik Modülü Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzası için yapılan incelik modülü hesaplamaları, TS 1114 standardına göre yapılan elek analizi bulgularından yararlanılarak yapılmıştır. Elde edilen bulgular, standart değerlerle karşılaştırılarak irdelenmiş ve bulgular Çizelge 4.23., Çizelge 4.24. ve Çizelge 4.25’de verilmiştir. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerin TS 2717 Harç Kumları standardında istenen değerlere uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.23. Kayseri-Talas pomzasının (0/8 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
4	9	11	9
2	21	15	14
1	37	56	34
0,500	74	78	52
0,250	79	87	79
0,125	91	91	101
Toplam	311	338	289
İncelik Modülü	3,11	3,38	2,89
Ortalama Değer	3,13		

Çizelge 4.24. Kayseri-Talas pomzasının (0/4 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
2	7	5	4
1	22	19	23
0,500	48	49	45
0,250	62	71	62
0,125	85	82	71
Toplam	224	226	205
İncelik Modülü	2,24	2,26	2,05
Ortalama Değer	2,18		

Çizelge 4.25. Kayseri-Talas pomzasının (0/2 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
1	6	4	3
0,500	38	45	42
0,250	65	71	64
0,125	72	79	71
Toplam	181	199	180
İncelik Modülü	1,81	1,99	1,80
Ortalama Değer	1,86		

4.1.2.7. Kayseri-Talas Pomzasının İnce Madde Oranı Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzası için yapılan ince madde miktarı tayini, yıkama metodu esas alınarak yapılmıştır.

Kayseri-Talas pomzasının hesaplanan ince malzeme miktarları Çizelge 4.26. ve Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Kayseri-Talas pomzasının (0/8 mm) ince malzeme miktarı

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Yıkama Öncesi Kuru Ağırlık (gr)	975	980	1010
0,063 mm’lik elek üstü (gr)	489	490	495
1,0 mm’lik elek üstü (gr)	373	362	356
4,0 mm’lik elek üstü (gr)	70	80	114
Toplam elek üstü (gr)	935	932	965
0,063 mm’lik elek altı (%)	4,12	4,90	4,46
Ort. 0,063 mm’lik elek altı (%)	4,49		

Çizelge 4.27. Kayseri-Talas pomzasının (0/16 mm) ince malzeme miktarı

	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Yıkama Öncesi Kuru Ağırlık (gr)	1245	1250	1235
0,063 mm'lik elek üstü (gr)	490	459	480
1,0 mm'lik elek üstü (gr)	360	365	361
4,0 mm'lik elek üstü (gr)	245	251	270
8,0 mm'lik elek üstü (gr)	120	145	84
Toplam elek üstü (gr)	1215	1220	1195
0,063 mm'lik elek altı (%)	2,41	2,40	3,24
Ort. 0,063 mm'lik elek altı (%)	2,68		

Çalışmada, Kayseri-Talas pomzasını temsilen 0/8 mm ve 0/16 mm tane boyutları kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, her iki gruba ait agrega boyut dağılımlarının ince madde oranı, standart değerlerden daha düşük bulunmuştur.

4.1.2.8. Kayseri-Talas Pomzasının Sülfat Tayini Analiz Bulguları

Beton agregalarında sülfat miktarı tayini, hafif agrega bileşimindeki SO₃ miktarı belirlenerek yapılmaktadır. Hafif agreganın maksimum %1,0 oranında SO₃ içermesi istenir. Kayseri-Talas pomzası örnekleri üzerinde yapılan kükürt içeriği tayini analizinde, tüvenan örnekler için SO₃ değeri yaklaşık %0,35 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu değerler, kükürt içeriği açısından son derece küçük değerlerdir. Yapılan analiz sonucunda, Nevşehir-Göre pomzasının, sülfat içeriği açısından beton agregası olarak kullanımının uygun olduğu anlaşılmıştır.

4.1.2.9. Kayseri-Talas Pomzasının Hava Etkilerine Dayanım Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzası için, TS 1114 standardına göre, sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak yapılan hava etkilerine dayanım analizlerinde elde edilen bulgular Çizelge 4.28'de verilmiştir. Kayseri-Talas pomzası (0/8 mm) için yapılan hava etkilerine dayanım analizlerinde, elde edilen değerlerin TS 1114 standardında öngörülen limit değere göre düşük olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, her türlü iklim ve ortam koşulundan çok az etkileneceği ve dolayısıyla her koşulda hafif beton agregası olarak kullanılabilmesi saptanmıştır.

Çizelge 4.28. Kayseri-Talas pomzası (0/8) hava etkilerine dayanım analiz bulguları

Deney Numunesi		Deneyden Önce			Deney Sırasında		Düzeltilmiş Ağırlık Kaybı (%)
Geçtiği Elek Açıklığı (mm)	Üstünde Kaldığı Elek Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (gr)	Elek Üstünde Kalan (%)	Fraksiyon Ağırlığı (gr)	Ağırlık Kaybı (gr)	Kaybın % Değeri	
1. Örnek							
8	4	148	7	120	2,21	1,84	0,13
4	2	238	12	120	2,41	2,00	0,24
2	1	566	28	120	1,42	1,18	0,33
1	0,500	511	26	120	1,52	1,26	0,33
0,500	0,250	342	17	120	2,27	1,89	0,32
0,250	0,125	141	7	120	5,97	4,97	0,35
Kalan		60	3	-	-	-	-
Toplam		2006	100	720			1,70
2. Örnek							
8	4	126	7	100	1,41	1,41	0,10
4	2	318	17	100	1,84	1,84	0,31
2	1	350	18	100	1,94	1,94	0,35
1	0,500	509	27	100	1,01	1,01	0,27
0,500	0,250	283	15	100	2,40	2,40	0,36
0,250	0,125	234	12	100	3,31	3,31	0,40
Kalan		85	4		-	-	-
Toplam		1905	100	600			1,79
3. Örnek							
8	4	122	6	100	1,41	1,41	0,08
4	2	281	14	100	2,12	2,12	0,29
2	1	378	19	100	2,21	2,21	0,42
1	0,500	491	25	100	1,01	1,01	0,25
0,500	0,250	322	17	100	2,42	2,42	0,41
0,250	0,125	267	14	100	2,91	2,91	0,41
Kalan		95	5	-	-	-	-
Toplam		1956	100	600			1,86

4.1.2.10. Kayseri-Talas Pomzasının Kızdırma Kaybı Analiz Bulguları

Kayseri-Talas pomzasının kızdırma kaybı analizleri, TS 1114 standardına göre yapılmış, deney sonrası kütle kaybı değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Kayseri-Talas pomzasının kızdırma kaybı analiz bulguları

Deney Sırası	Sıcaklık (°C)	Agrega Ağırlığı (gr)	Kızdırma Kaybı (%)
1	20	36,1884	0
2	200	36,0590	0,3576
3	300	35,7865	1,1106
4	400	35,7024	1,3430
5	500	35,6502	1,4872
6	600	35,5045	1,8898
7	700	35,3726	2,2543
8	730	35,3651	2,2750
9	760	35,3398	2,3450
10	790	35,2935	2,4729
11	820	35,2687	2,5414
12	850	35,2449	2,6072
13	880	35,2435	2,6111
14	910	35,2432	2,6122
15	940	35,2391	2,6232
16	970	35,2329	2,6403
17	1000	35,2340	2,6373
18	1030	35,2292	2,6506
19	1060	35,2278	2,6544
20	1090	35,2264	2,6583
21	1120	35,2259	2,6597
22	1150	35,2240	2,6649
23	1180	35,2234	2,666
24	1200	35,2205	2,6746

Ayrıca, örnekler üzerinde yapılan bir diğer inceleme ise, farklı sıcaklıklardaki davranış karakteristiği ve ateşe dayanıklılık testleridir. Kayseri-Talas pomzası örnekleri için ateşe dayanıklılık testleri yapılarak elde edilen bulgular, Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Kayseri-Talas pomzasının ateşe dayanıklılık analiz değerleri

	Yapısal Bozulma (°C)	Ergime Noktası (°C)
Kayseri-Talas	840	1215

4.1.3. İzmir-Menderes Perlitik Pomzası İle İlgili Analiz Bulguları

Bu çalışmada hafif agrega olarak kullanılan bir diğer malzeme ise İzmir-Menderes perlitik pomzasıdır. Perlitik pomza agrega örnekleri üzerinde yapılan makroskobik ve mikroskobik inceleme bulgularına göre, bir geçiş kayacı olması nedeniyle petrografik açıdan “perlitik pomza” şeklindeki adlandırmanın daha doğru olacağı düşünülmüş ve bu çalışmada da perlitik pomza olarak adlandırılmıştır.

4.1.3.1.İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Mineralojik ve Kimyasal Özellikleri

Bu kayaç, İzmir’in eski adı Cumaovası, yeni adı Menderes olan İlçesi ve civarında oluşumu bulunan doğal ve gözenekli bir kayaktır. Agregada örnekleri üzerinde yapılan makroskobik incelemelerde, süngerimsi ve boşluklar içeren bir yapıda olduğu gözlenmiştir. İri agrega tanelerinde, büyük boyutlarda fakat uniform olmayan bir boşluk yapısının varlığı dikkat çekmektedir. Küçük boyutlu tanelerde ise çok ince boyutlu ve uniform olmayan boşluk yapıları gözlenmiştir. Asidik karakterli yapıya sahip olup kimyasal olarak en etkin bileşeni SiO_2 ’dir. Perlitik pomza agregalarının kimyasal bileşimi Çizelge 4.31’de verilmektedir.

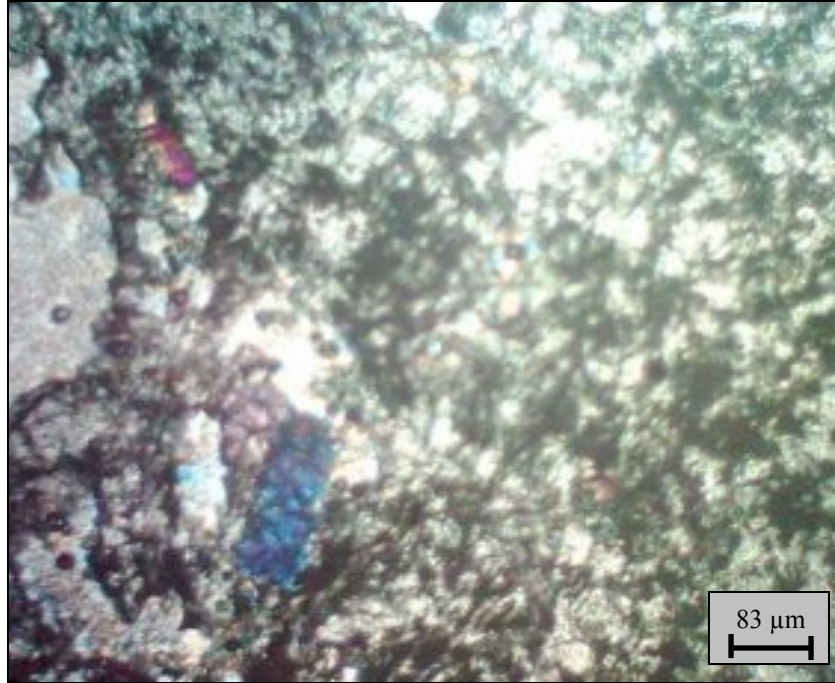
Çizelge 4.31. İzmir-Menderes perlitik pomzasının kimyasal bileşimi (Anonim, 2001)

Kimyasal Bileşim	Oranı (%)
SiO ₂	72,63
Al ₂ O ₃	12,14
K ₂ O	5,99
A.K.	5,17
Na ₂ O	1,62
Fe ₂ O ₃	0,89
CaO	0,27
MnO	0,07
TiO ₂	0,03
MgO	0,01
P ₂ O ₅	0,003

İzmir-Menderes perlitik pomzasının petrografik ve mineralojik açıdan analizini yapabilmek için ince kesitleri yorumlanmıştır. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agregalarından yapılan ince kesitler polarizan mikroskop ile incelendiğinde, perlitik pomza kayacının bir geçiş kayacı olması nedeniyle hem perlitin hem de pomzanın mineralojik özelliklerini taşıdığı gözlenmektedir. Perlitik pomza agregası kristal içeriği ve matriks yapısı açısından Nevşehir pomza agregalarına benzer özellikler sunmaktadır. Kayacın yapısının büyük bir kısmının volkanik hamurdan oluştuğu gözlenmiştir. Kristaller, piroksen ve plajiolazlar olmak üzere fenokristaller şeklinde olup. mika grubu minerallere ise fazla rastlanmamıştır (Şekil 4.12., Şekil 4.13.).

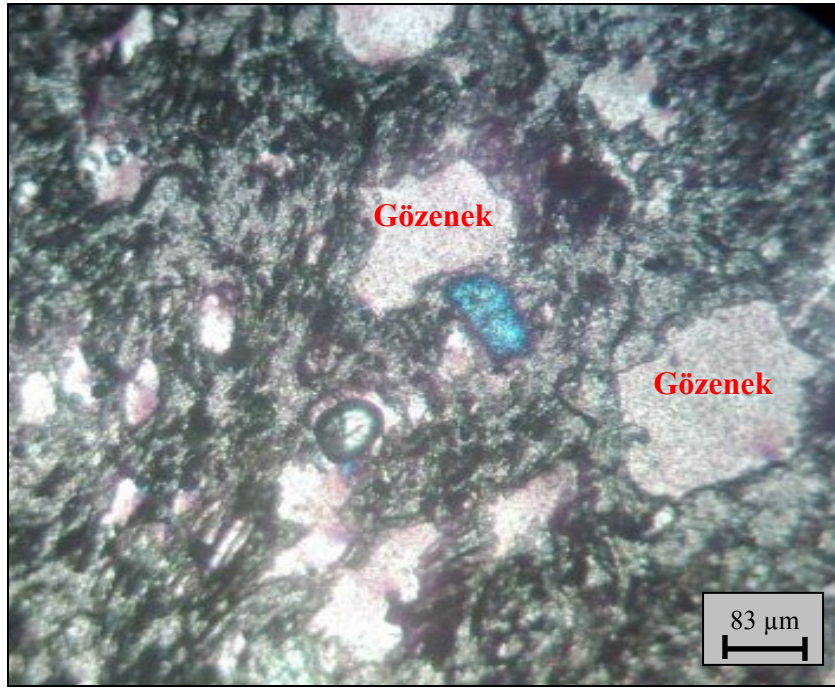


Şekil 4.12. İzmir-Menderes yöresi pomza agregası örneğinde bulunan minerallerin görünümü (a)

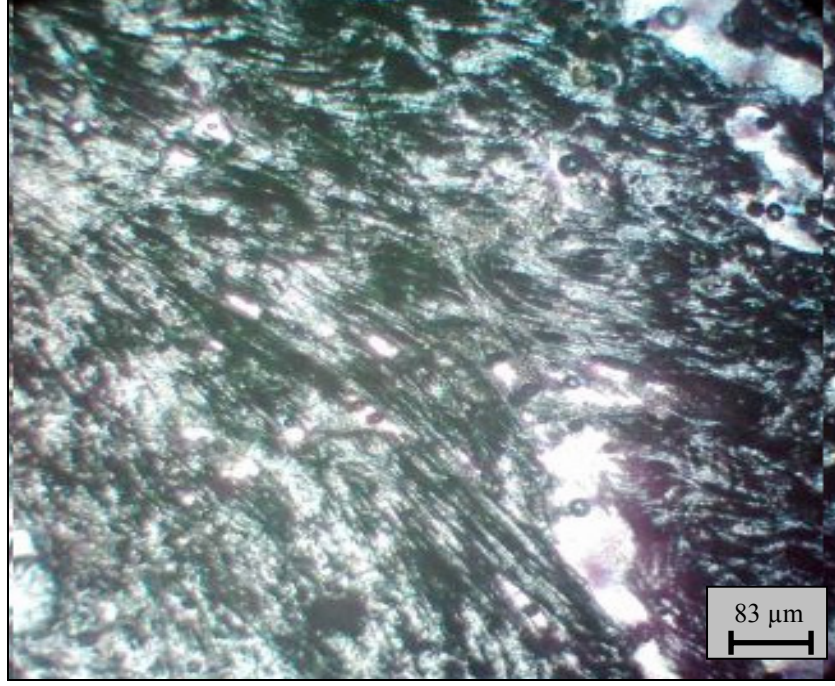


Şekil 4.13. İzmir-Menderes yöresi pomza agregası örneğinde bulunan minerallerin görünümü (b)

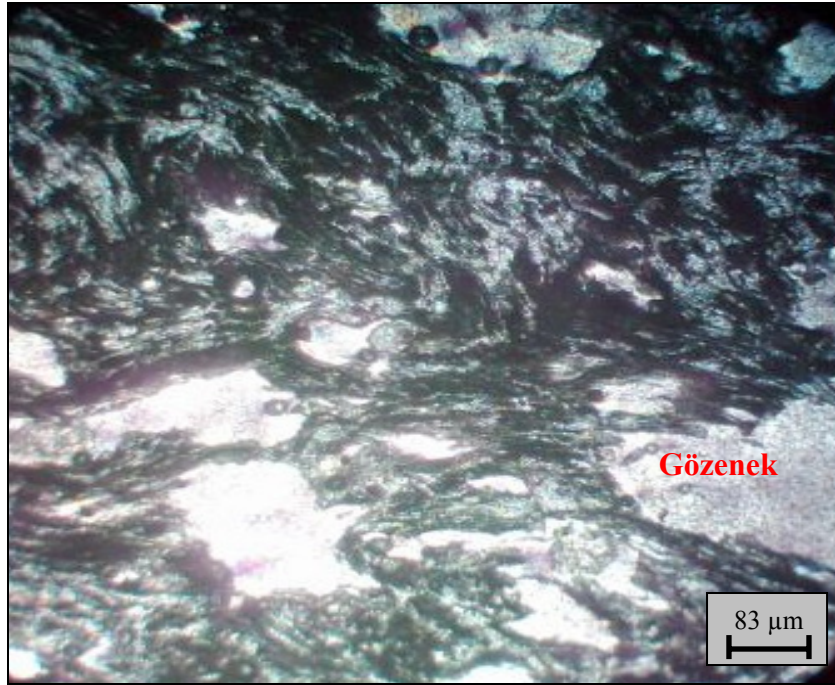
Perlitik pomza agregası gözenek yapısı açısından incelendiğinde, gözeneklerin küçük-orta boyutlu, yer yer de iri boyutlu olduğu gözlenmektedir. Küçük ve orta boyutlu gözenekler birbirleriyle geçişsiz ve kapalı gözenekler şeklindedir (Şekil 4.14.). Ayrıca perlitik pomza agregası ince kesitlerinde, daha önce Nevşehir-Göre pomzalarında da görüldüğü gibi kayaç içerisinde yer yer lifsel akma yapılarına rastlanılmıştır (Şekil 4.15., Şekil 4.16.). Bu oluşumun gazların soğuma hızına bağlı olarak gelişmiş bir durum olduğu düşünülmektedir.



Şekil.4.14. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agregası örneğinin boşluk geometrisi görünümü



Şekil.4.15. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agrega örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (a)



Şekil.4.16. İzmir-Menderes yöresi perlitik pomza agrega örneğindeki akma yapısının ince kesit görünümü (b)

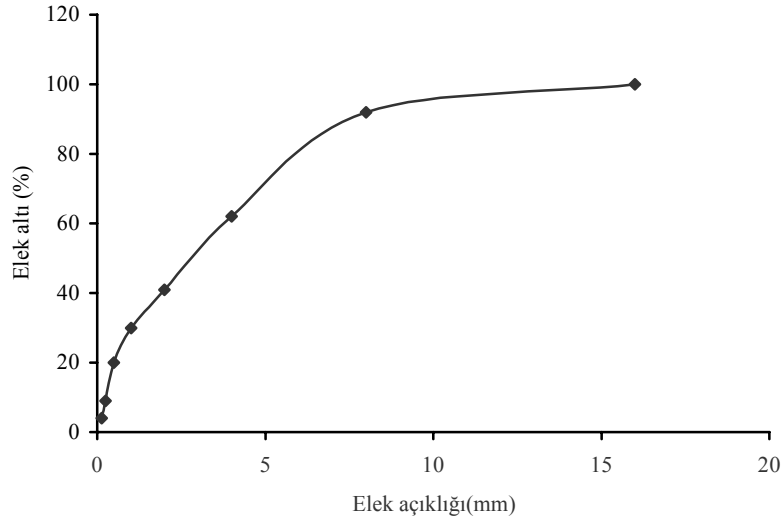
İzmir-Menderes yöresi pomza agrega örneğinin mikroskopik olarak incelenmesi sonucunda, kayacın yapısının büyük bir kısmının hamurdan oluşması ve kristallerin fenokristaller şeklinde gözlenmesi, gözenek yapılarının küçük-orta boyutlu, kapalı gözenekler şeklinde olması, gazların soğuma hızına bağlı olarak yer yer lifsel akma yapılarının gözlenmesi nedeniyle Riyolitik kökenli bir kayaç olarak tanımlanabilmektedir.

4.1.3.2. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Tane Büyüklüğü Dağılımı Analiz Bulguları

İzmir-Menderes perlitik pomzasının tane büyüklüğü dağılımı analizleri, TS 1114 standardına göre yapılmıştır. Tüvenan numuneler üzerinde yapılan elek analizleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.32’de verilmiştir. Bu değerlere göre çizilen granülometri eğrisi ise Şekil 4.17’deki gibidir.

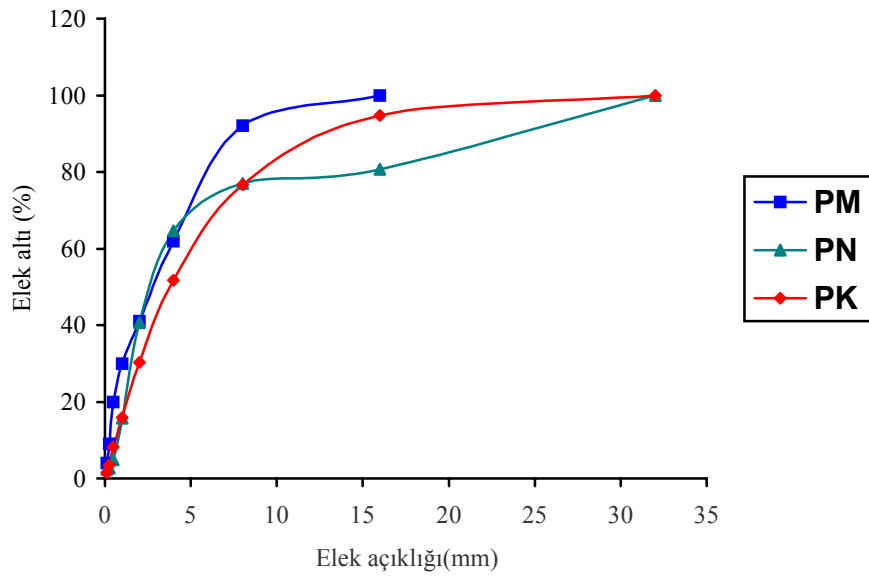
Çizelge 4.32. İzmir-Menderes perlitik pomzasının (tüvenan) granülometrik özellikleri

Elek Açıklığı (mm)	Deney Sırasında		Hesaplanan	
	Elek Üstü (gr)	Elek Üstü Kümülatif (gr)	Elek Üstü Kümülatif (%)	Elek Altı (%)
16	0	0	0	100
8	76	76	8	92
4	290	366	38	62
2	200	566	59	41
1	102	668	70	30
0,50	91	759	80	20
0,25	107	866	91	9
0,125	51	917	96	4
Kalan	37	954	100	0



Şekil 4.17. İzmir-Menderes perlitik pomzasına (tüvenan) ait granülometri eğrisi

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda İzmir-Menderes perlitik pomzasının, tane boyut dağılımı olarak TS 1114 standardına uygun olduğu ve granülometrik açıdan hafif agrega olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan üç türe ait granülometrik eğriler Şekil 4.18'de bir arada verilmiştir.



Şekil 4.18. Üç ayrı türe ait granülometri eğrilerinin aynı eksen takımında gösterimi

4.1.3.3. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Birim Ağırlık Analiz Bulguları

İzmir-Menderes perlitik pomzasının birim hacim ağırlık değerleri, sıkışık ve gevşek olmak üzere iki şekilde ölçülerek belirlenmiştir. Çalışmalar, TS 3529 standartlarına göre yapılmış olup elde edilen değerler Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. İzmir-Menderes perlitik pomzasının gevşek-sıkışık birim hacim ağırlık değerleri

Boyut Aralığı (mm)	Gevşek Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
4-8	913	917
2-4	916	954
1-2	955	981
0.5-1	964	1006
0.25-0.50	934	998

Ayrıca, tüvenan örnekler üzerinde yapılan gevşek ve sıkışık birim ağırlık analizlerinde aşağıda verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.34. İzmir-Menderes perlitik pomzasının (tüvenan) gevşek-sıkışık birim ağırlık değerleri

Agrega	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
İzmir-Menderes	924	937

Deneysel bulgulara göre, perlitik pomza agregalarının birim hacim ağırlık değerleri, standartların öngördüğü limitler içerisinde olup, hafif beton agregası olarak kullanılabilceği anlaşılmaktadır.

4.1.3.4. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Organik Madde Tayini Analiz Bulguları

Hafif beton yapımında kullanılacak agregaların bileşiminde organik maddelerin bulunması, çimentonun yapısını etkileyerek bağlayıcılık özelliğinin zayıflamasına neden olduğundan, arzu edilen bir durum değildir. İzmir-Menderes perlitik pomza agregası taneleri üzerinde %3'lük NaOH çözeltisi ile yapılan organik madde içeriği analizlerinde, perlitik pomza agregalarında organik maddelere rastlanmamıştır.

4.1.3.5. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Su Emme, Porozite, Kompasite ve Doyma Derecesi Analiz Bulguları

Agregalardaki nem, tanelerin birbirleri arasındaki sürtünmesini etkilemesi sebebiyle, birim ağırlık değerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan, agregaların su emme kapasiteleri, su emme hızları ve içinde bulundurduğu nem yüzdesi, beton karışım hesaplarında betonun yapımında ve denetiminde doğrudan kullanılan parametreleri oluşturmaktadır. Ayrıca, agregaların doluluk oranı, agreganın su emme kapasitesine etki eden diğer bir faktördür. Bu faktör, malzemenin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağımlı olarak tanımlanabilmektedir. Perlitik pomza örneklerinin 72. saate kadarki su emme oranı değerleri belirlenmiş olup, bulgular Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.35. İzmir-Menderes perlitik pomzasının su emme oranları

Boyut (mm)	M ₂₄ (%)	M ₄₈ (%)	M ₇₂ (%)
4-8	12,41	12,49	12,78
2-4	10,15	10,22	10,12
1-2	6,62	6,80	6,85
0,5-1	5,15	7,38	5,14
0,25-0,5	5,43	5,60	5,70

Gözenekli agregalarda, 24 saatlik su emme oranlarının genelde, ince agregada %20, iri agregada ise %30 civarında olması istenir. Ancak, bu değerler, agreganın sağlandığı yere, granülometrisine, tane şekline ve yüzey yapısına göre değişmektedir. Perlitik pomza örneklerinin su emme oranı değerleri, istenilen limit değerlerin altında ölçülmüştür. Porozite, kompasite (doluluk oranı) ve doyma derecesi değerleri, elde edilen su emme oranlarından yararlanılarak hesaplanabilmektedir.

4.1.3.6. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının İncelik Modülü Analiz Bulguları

Herhangi bir boyut fraksiyonu için yapılan incelik modülü hesaplamasında elde edilen değer ne kadar düşük ise, o malzemenin o kadar ince olduğunu anlaşılmaktadır. İzmir-Menderes perlitik pomzasına ait 0/8 mm boyut aralığındaki

agrega tanelerinin incelik modülü analizinde, ortalama incelik modülü değeri, 3,9 olduğu hesaplanmış olup standartlara uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.36.).

Çizelge 4.36. İzmir-Menderes perlitik pomzasının (0/8 mm) incelik modülü dağılımı

Elek Açıklığı (mm)	Ağırlıkça Elek Üstünde Kalan (%)		
	1. Örnek	2. Örnek	3. Örnek
4	38	34	35
2	60	45	50
1	71	60	55
0,500	80	73	52
0,250	92	84	79
0,125	96	79	87
Toplam	437	375	358
İncelik Modülü	4,37	3,75	3,58
Ortalama Değer	3,9		

4.1.3.7. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Sülfat Tayini Analiz Bulguları

Hafif agregalardaki kükürt bileşimlerinin analizi SO₃ cinsinden yapılmaktadır. TS 1114 standardına göre, hafif agrega bileşiminde ağırlıkça SO₃ bileşimi maksimum %1,0 civarında olması arzu edilmektedir. Perlitik Pomza agrega örnekleri üzerinde yapılan kükürt içeriği tayini analizinde, SO₃ değeri yaklaşık %0,038 olarak tespit edilmiştir. Bu değer, kükürt içeriği açısından son derece küçük bir değerdir. Bu bakımdan, İzmir-Menderes perlitik pomzasının sülfat içeriği açısından beton üretiminde agrega olarak kullanımının uygun olduğu görülmektedir.

4.1.3.8. İzmir-Menderes Perlitik Pomzasının Hava Etkilerine Dayanım Analiz Bulguları

Boşluklu malzemeler için atmosferin kısa sürede zarar veren en önemli etkisi, donma-çözülme etkisidir. Perlitik pomza agregaları için, sodyum sülfat çözeltisi kullanılarak hava etkilerine dayanım karakteristiği analiz edilmiş olup, düzeltilmiş ağırlık kaybı yüzdesi 1,32 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucu, elde edilen değerlerin TS 1114 standardında öngörülen değerlerden çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, İzmir-Menderes perlitik pomzası hava

etkilerinden dolayı çok küçük değişimler göstereceğinden standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

4.2. Hafif Beton Numuneleri İle İlgili Analiz Bulguları

Pomza ile değişik çimento oranlarında, taşıyıcı, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan karakteristikte hafif beton üretimi mümkün olabilmektedir. Bu araştırmada, pomzadan elde edilen, taşıyıcı olmayan hafif betonlarla ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır. Diğer bir deyişle bimsblok üretimine yönelik ve bimsblok üretiminde kullanılabilen hafif betonlarla ilgili değişik kombinasyonlar oluşturularak karışımların özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, kaya mekaniği prensiplerine göre hazırlanan kübik formlu, içi dolu, pomzadan mamul blok elemanları kullanılmıştır. Konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda, bu kübik formlu elemanların normal blok formlu elemanları sembolize ettiği ve bu kübik formlu elemanların analizlerinden elde edilen bulguların normal blok formlu elemanlarla ilişkilendirilebileceği belirtilmektedir (Gündüz ve Uğur, 2000).

Araştırmada kullanılan Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası ile hazırlanan 26 ayrı karışım grubu, hacimce %6, %8, %10'luk çimento oranlarında ayrı ayrı dökülerek toplam 78 serilik bir numune seti hazırlanmıştır. Her seriden, 10x10x10 cm boyutlarında, 9 adet beton numunesi vibrasyonlu blok döküm makinesiyle dökülmüştür. Elde edilen numuneler doğal ortam şartlarında 28 gün kürlemeye tabi tutulmuş olup laboratuvar ortamında ve çalışmalar sırasında olabilecek muhtemel karışıklıklara karşı, numunelerin tamamı karışım grubuna ve seri içindeki miktara göre kategorize edilerek numaralandırılmıştır.

Numunelerinin tamamının boyutları üç ayrı yüzeyden elektronik kumpasla ölçülerek kaydedilmiş ve boyut değerlerinin ortalaması alınarak o numune için birim hacim ağırlık değeri belirlenmiştir. Daha sonra numunelerin tamamı ayrı ayrı elektronik hassas teraziyle tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Bu verilerden yararlanarak her bir numunenin kuru birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Hafif beton numunelerinden bir seri, su emme deneylerine tabi tutulmuş olup her numunenin 24, 48 ve 72. saatteki su emme değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

Hafif beton numuneleri, 28 günlük kür süresi sonrasında tek eksenli basınç dayanım deneylerine tabi tutularak 28 günlük dayanım değerleri belirlenmiştir.

Her seriden alınan numuneler, etüvde 72 saat süresince ayrı ayrı 120,180 ve 200°C sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Daha sonra bu numunelerin sıcaklık etkisinden sonraki tek eksenli basınç dayanım değerleri belirlenmiştir.

4.2.1. Hafif Beton Numunelerinin Kuru Birim Hacim Ağırlık Analiz Bulguları

Hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerini hesaplamak için her seriden alınan numunelerin boyut ve ağırlık değerleri ölçülerek kuru birim hacim ağırlık değeri hesaplanmış olup elde edilen bulgular EK-1'de verilmektedir. Çizelgede karışım oranları sütununda, her seriyi meydana getiren hacimce agrega ve çimento oranları sembollerle gösterilerek belirtilmiştir. Örneğin 1 numaralı seride belirtilen, 70PK(0/4)+30PK(4/8)+6ÇP şeklindeki sembolik gösterim, Kayseri-Talas pomzasının, 0/4 mm boyutundan %70, 4/8 mm boyutundan %30 ve hacimce %6 oranında Portland çimento ilavesiyle elde edildiğini ifade etmektedir.

Hafif beton numunelerinin, kuru birim hacim ağırlık değerleri, 659,07 ile 1494,89 kg/m³ arasında değişmektedir. En küçük değer olan 659,07 değeri 13. seriye ait olup bu seri, Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm fraksiyonundan %30 ve 4/8 mm fraksiyonundan %70 oranında karıştırılarak hacimce %6 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilmiştir. En büyük değer ise 1494,89 olup 56. seriye aittir. Bu seri de İzmir-Menderes pomzasının %80 0/4 mm fraksiyonununun %20 4/8 mm fraksiyonu ile karıştırılarak hacimce %8 Portland çimentosu kullanılarak dökümü sonucu elde edilmiştir.

İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numunelerine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri genel olarak 1200 kg/m³'ün üzerinde olup Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas pomzasından üretilenlere göre oldukça yüksektir. Kayseri-

Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarından üretilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlıkları ise 659 ile 978 kg/m³ arasında değişmekte olup genel olarak her iki türe ait numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

4.2.2. Hafif Beton Numunelerinin Su Emme Deneyi Sonuçları

Hafif beton numunelerinin tamamı su emme deneyine tabi tutulmuştur. 24, 48 ve 72. saatteki su emme miktarları tespit edilerek su emme oranları hesaplanmıştır. Numunelerin su emme oranlarının genel olarak 72. saatte doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Su emme deneyi sonucu elde edilen, 24, 48 ve 72. saatteki su emme oranı değerleri EK-2’de verilmiştir.

Hafif beton numunelerine ait su emme değerleri, %12,58 ile %46,18 arasında değişmektedir. En düşük su emme oranı 78. seriden elde edilmiş olup bu seri de tamamı İzmir-Menderes pomzasının 4/8 mm fraksiyonundan oluşan agreganın hacimce %10 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilen hafif beton numunesinden oluşmaktadır. En yüksek su emme oranı ise %46,18 ile 7. seriye aittir. Bu seri, Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonunun %50 oranlarına karışımının hacimce %6 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilmiştir.

Hafif beton numunelerinde genel olarak su emme oranının %50’yi geçmemesi istenmektedir. Su emme deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numunelerinin su emmesinin %12-18 aralığında ve oldukça uygun değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Diğer iki türün su emme oranları ise %30-40 civarlarındadır. Sonuçlardan görüldüğü gibi hafif beton numunelerinin su emme oranları kabul edilebilir sınırlardadır.

Betonda genel olarak çimento oranı arttıkça su emme oranının azalması gerekir. Hafif beton numunelerine ait su emme oranları da bunu sağlamaktadır. Örneğin ilk karışım grubuna ait hafif betonların 24 saatlik su emme oranları, %6’lık karışımında, %35,15, %8’lik karışımında %34,16, %10’luk karışımında ise %29,16 olarak

belirlenmiştir. Yani çimento oranı arttıkça su emme oranı düşmektedir. Bu trendi diğer karışım gruplarında da görmek mümkündür.

4.2.3. Hafif Beton Numunelerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı Bulguları

Hafif beton numuneleri, 28 günlük doğal ortam kürelemesi sonucunda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Prestre yükleme hızı 2 kN/s olarak uygulanmıştır. Kırılma anında belirlenen değerler kesit alanına bölünerek basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Hafif beton numunelerinin hidrolik preste kırılması sonucu elde edilen kırılma değerlerinden hesaplanan tek eksenli basınç dayanım değerleri EK-3’de verilmiştir.

Hafif beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, en yüksek dayanım değerinin $40,55 \text{ kg/cm}^2$ olup 30. seriye ait olduğu anlaşılmaktadır. En yüksek dayanımın elde edildiği 30. seri, 0/4 mm boyutlu Kayseri-Talas pomzasından %60, 4/8 mm boyutlu Nevşehir-Göre pomzasından %40 oranında karıştırılıp hacimce %10 Portland çimentosu ile dökümü sonucu elde edilmiş bir karışımdır. En yüksek dayanımın elde edildiği 2. karışım 3 numaralı karışım olup dayanım değeri $38,35 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. 3. büyük değer ise 5 numaralı karışıma ait olup dayanım değeri $37,65 \text{ kg/cm}^2$ ’dir.

Hafif beton numunelerinden elde edilen dayanım değerleri, bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından incelendiğinde sadece 10 karışıma ait dayanım değerinin 25 kg/cm^2 olan standart değeri sağladığı görülmektedir. Diğer karışımlara ait dayanım değerleri 25 kg/cm^2 ’nin altında belirlenmiştir.

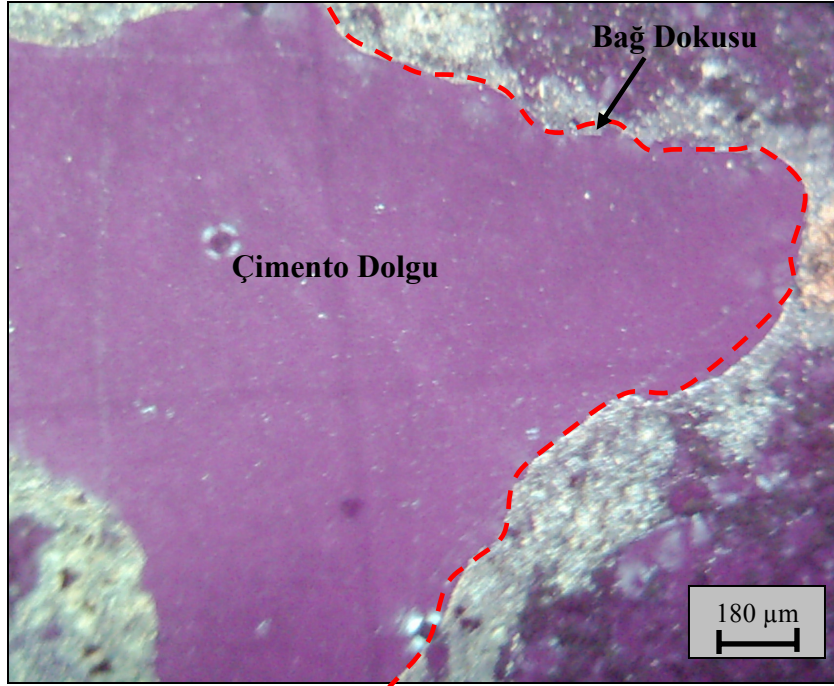
4.2.4. Hafif Beton Numunelerinin İnce Kesitlerinin İrdelenmesi

Hafif beton numuneleri üzerinde, karışımlardaki çimento oranları dikkate alınarak ince kesit çalışması yapılmıştır. Hacimce %6, %8 ve %10’luk çimento oranına sahip serilerden elde edilen kesitler, polarizan mikroskopta incelenerek hafif beton numunelerinin yapısal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca çimento

oranlarının hafif beton numunelerinin yapısal özellikleri üzerindeki etkisi de analiz edilmiştir.

Şekil 4.19’da hacimce %6 çimento oranına sahip, 30PK(0/4)+70PK(4/8) karışımından oluşmuş hafif beton numunesine ait ince kesitlerin polarizan mikroskopta çekilmiş fotoğrafları görülmektedir.

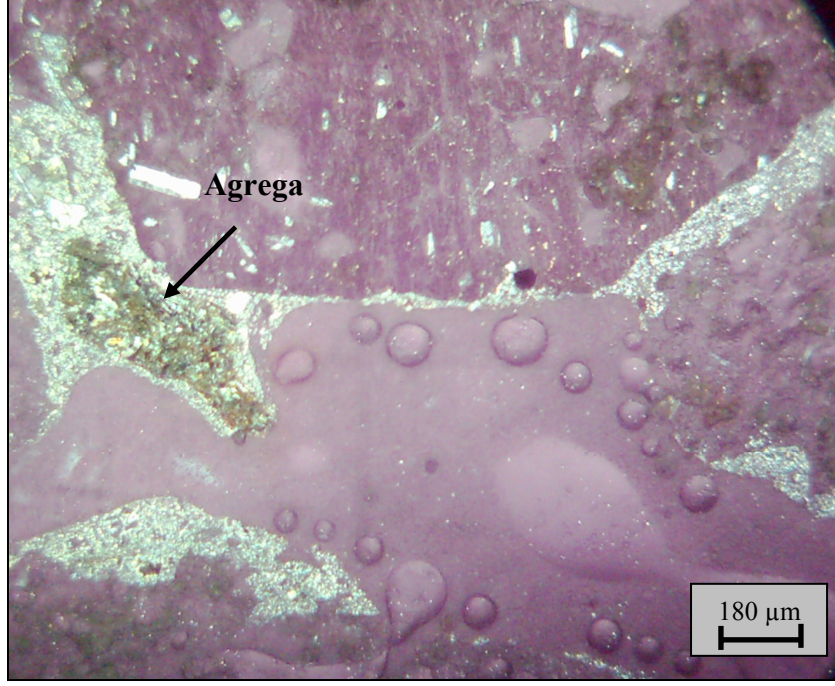
Şekil 4.20’de ise yine %6 çimento oranına sahip, 50PK(0/4)+50PK(4/8) karışımından oluşmuş hafif beton numunelerinden elde edilen ince kesitlerin polarizan mikroskopta çekilmiş fotoğrafları görülmektedir.



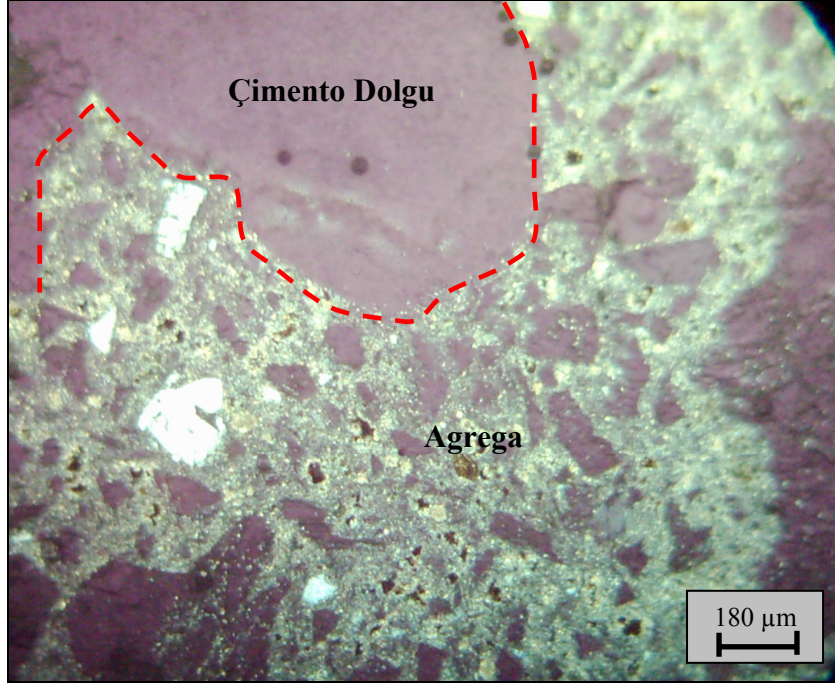
Şekil 4.19. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (a)

Şekil 4.19’deki ince kesit fotoğrafında, çimento oranının düşük olması nedeniyle çimento ile agrega yüzeyinde zayıf bir bağ dokusunun olduğu görülmektedir. Bağ dokusunu oluşturan zonda yer yer mikro ölçekte kristalleşmeler görülmektedir. Genel olarak beton karışımlarında, çimento oranı düştükçe agregaların bağ yapma derecesi de zayıflamaktadır. Ayrıca çimentolu zonda, mikro ölçekte hava boşlukları da kalmaktadır. Şekil 4.18’de bu olgu kısmen görülmektedir. Şekil 4.20’deki

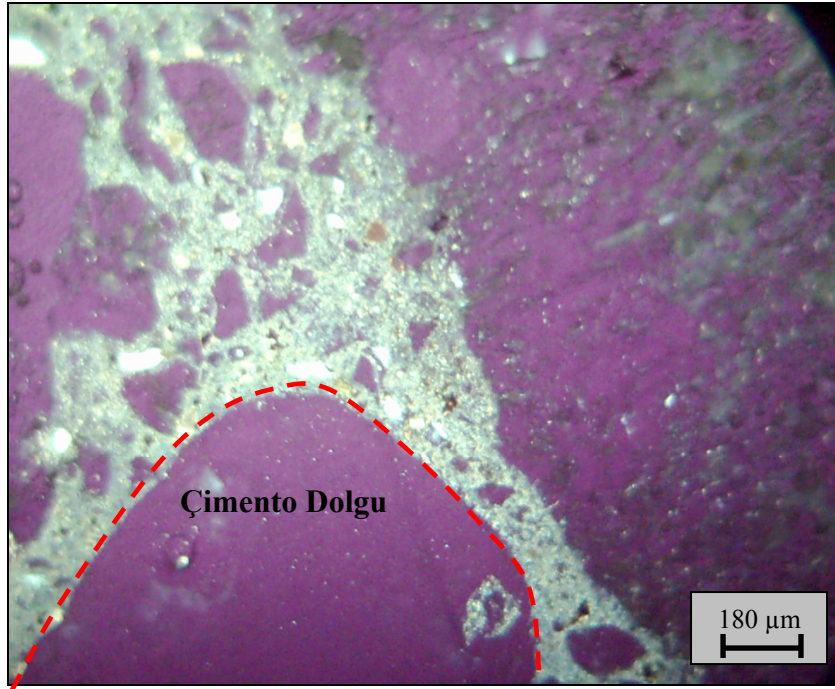
fotoğrafta, çimentolu zondaki hava boşlukları, bağ dokusundaki düzensizlik ve zayıflık açık olarak görülmektedir. Bu özellikler, hafif betonun dayanım değerlerinin düşük olmasına neden olabilecek özelliklerdir. Nitekim, Şekil 4.19'daki fotoğrafa ait hafif beton numunesinin tek eksenli basınç dayanım değeri, $5,19 \text{ kg/cm}^2$, Şekil 4.20'dekinin ise $8,36 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.20. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (b)



Şekil 4.21. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (c)

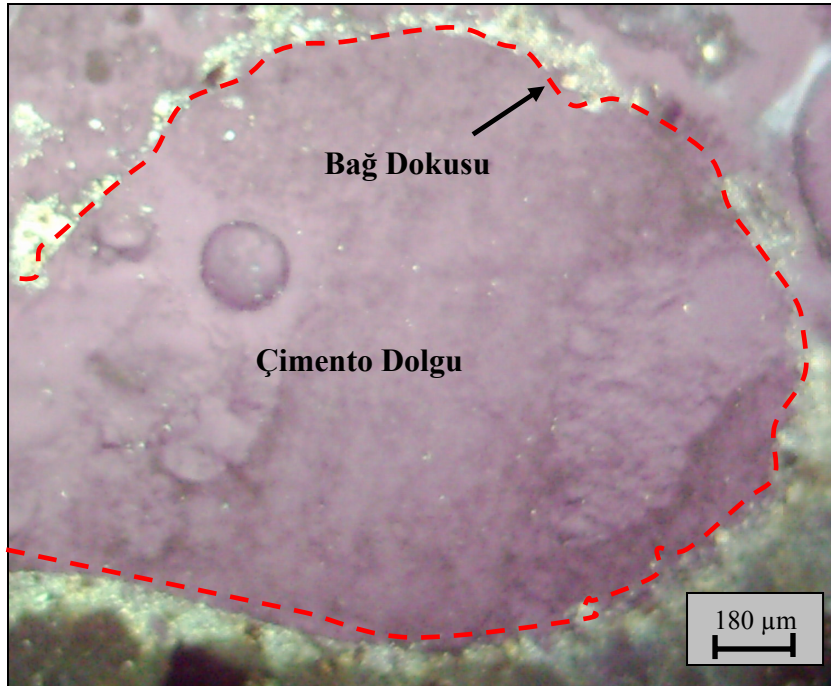


Şekil 4.22. Hacimce %6 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (d)

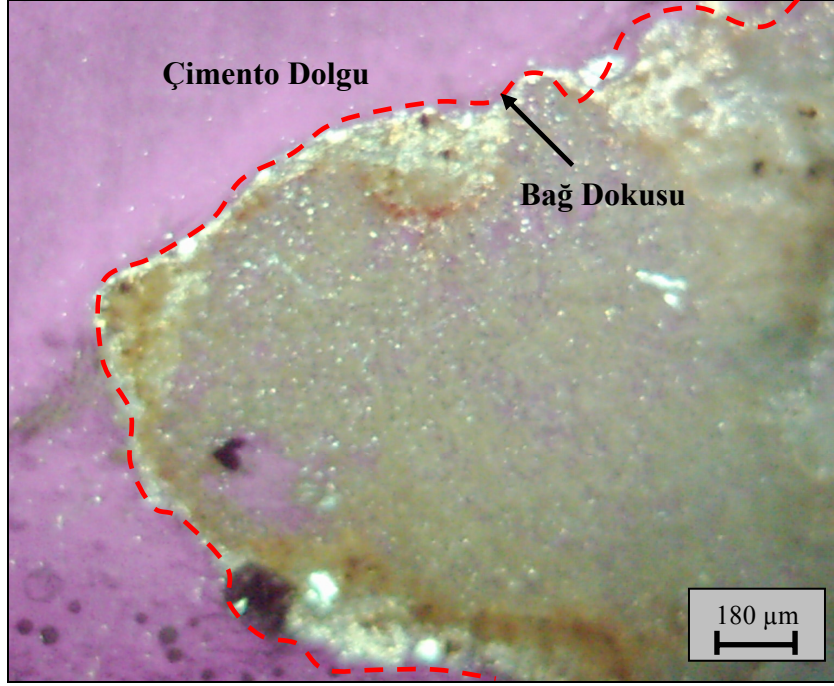
Şekil 4.21. ve Şekil 4.22’de ise yine %6 çimento oranına sahip, ancak farklı bir agrega türünden oluşan hafif beton numunelerinden elde edilen ince kesitlere ait

fotoğraflara yer verilmiştir. Şekil 4.21. ve Şekil 4.22'deki fotoğraflar, 80PM(0/4)+20PM(4/8)+6ÇP karışımından oluşmuş hafif beton numunelerinin ince kesitlerine aittir. Bu fotoğraflarda da çimento ile agreganın dokanak bölgelerinde güçlü bir bağ dokusu oluşumu görülmektedir. Düşük çimento oranına rağmen gözeneklerin çimento ile dolduğu, ancak gerek çimentolu zonda gerekse agrega bünyesinde bazı boşluklar olduğu da gözlenmektedir. Betondaki bu tür boşluklar, su emme oranının artmasına, dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Zaten bu karışımlardan oldukça düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.21. ve Şekil 4.22'deki fotoğraflara ait hafif beton numunelerinin dayanım değeri, 4,35 kg/cm² olarak belirlenmiştir.

Çimento oranı hacimce %8 olan hafif beton numunelerine ait ince kesitlerden çekilen fotoğraflar, Şekil 4.23., Şekil 4.24., Şekil 4.25. ve Şekil 4.26'da görülmektedir. Şekil 4.23. ve Şekil 4.24'deki fotoğraflar, 60PK(0/4)+40PK(4/8)+8ÇP karışımına ait hafif beton numunesinden elde edilmiş ince kesitlere aittir.



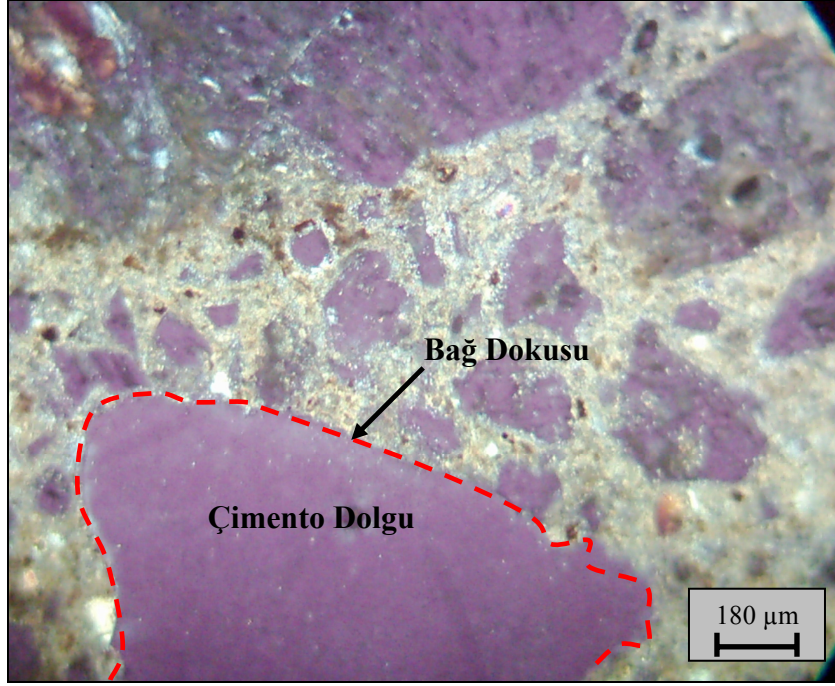
Şekil 4.23. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (a)



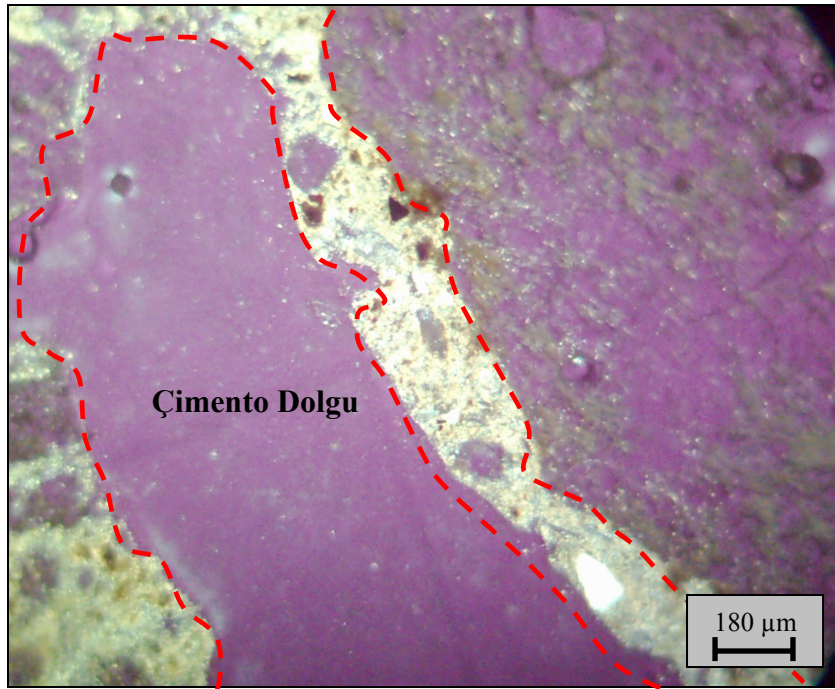
Şekil 4.24. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (b)

Bu fotoğraflarda, çimento oranının artması nedeniyle çimento ile agrega yüzeyi arasındaki bağ dokusunun güçlendiği görülmektedir. Çimentonun agreganın dış yüzeyindeki açık gözeneklere dolgu yaparak kompakt bir yapı oluşturduğu gözlenmektedir. Çimento ile agreganın temas ettiği dokanak noktalarında görülen mikro ölçekte kristalleşmeler, bağ dokusunu oluşturmaktadır. Bu durum Şekil 4.23'de daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

Ayrıca, Şekil 4.23. ve Şekil 4.24'de çimentolu zonda herhangi bir boşluk vb. yapının olmadığı görülmektedir. Bu durum karışımın dayanımının yüksek olmasını sağlayacaktır. Bu seriye ait hafif beton numunesinin tek eksenli basınç dayanım değeri $37,65 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Bu değer, ince kesit görüntülerini doğrular niteliktedir.



Şekil 4.25. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (c)

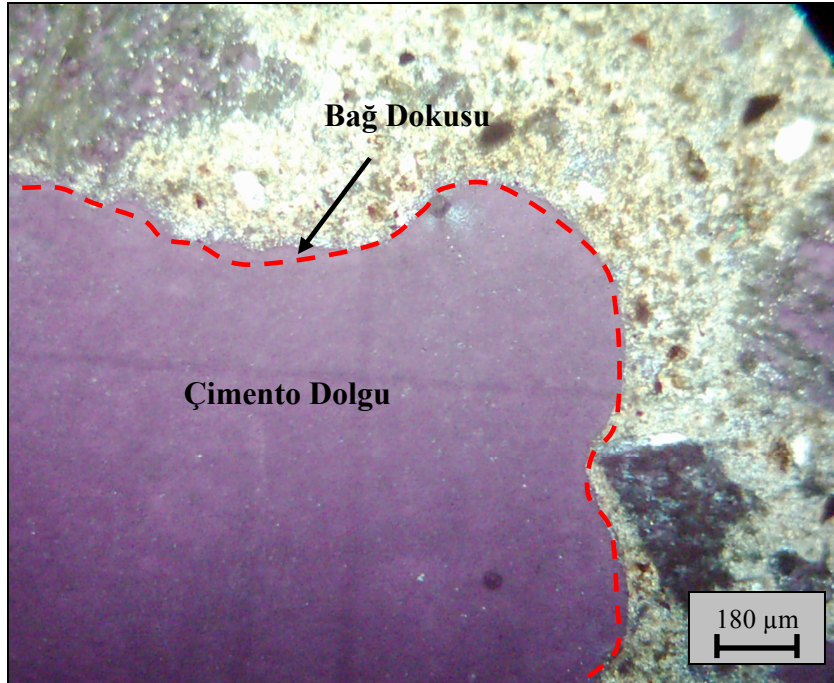


Şekil 4.26. Hacimce %8 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (d)

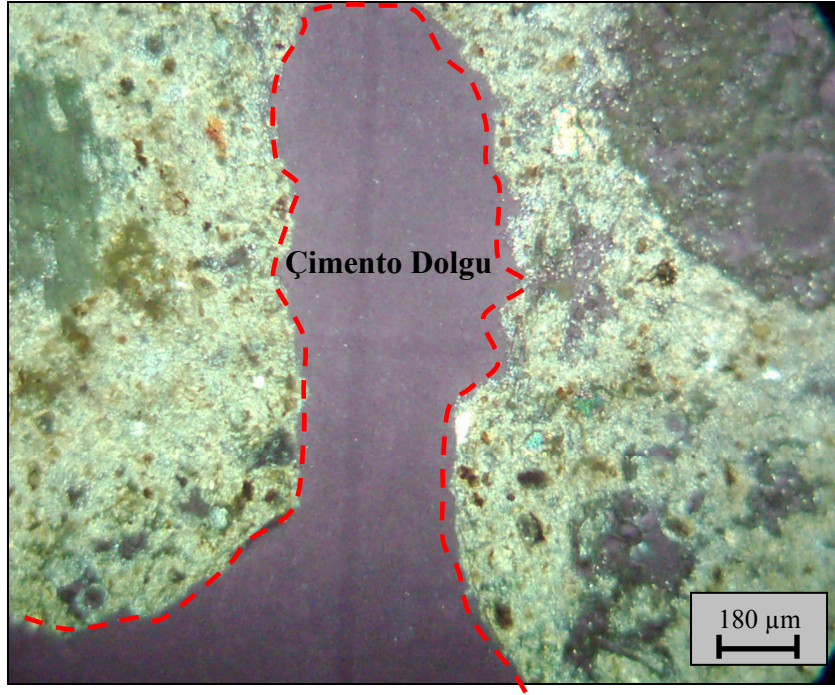
Şekil 4.25. ve Şekil 4.26'da görülen fotoğraflar, İzmir-Menderes perlitik pomzasının 80PM(0/4)+20PM(4/8)+8ÇP şeklinde karışımından elde edilmiş hafif beton numunesine aittir.

Şekil 4.25'de, agregadaki gözeneklerin çimento ile dolduğu ve çimentonun hemen hemen tüm gözeneklere nüfuz ettiği görülmektedir. Şekil 4.26'da ise çimento ile agreganın oluşturduğu bağ dokusu yine belirgin şekilde görülmektedir. Bu karışımlarda çimento oranının %8 olması nedeniyle çimentolu zonda boş gözenek, hava boşluğu vb. bir yapı gözlenmemektedir. Çimento hamuru tüm gözenekleri doldurarak dayanıklı bir yapı oluşmasını sağlamaktadır. Bu karışıma ait tek eksenli basınç dayanım değeri, $26,95 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29. ve Şekil 4.30'da hacimce %10 çimentolu hafif beton numunelerinden elde edilen ince kesit fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğraflar üç ayrı karışım grubuna aittir.

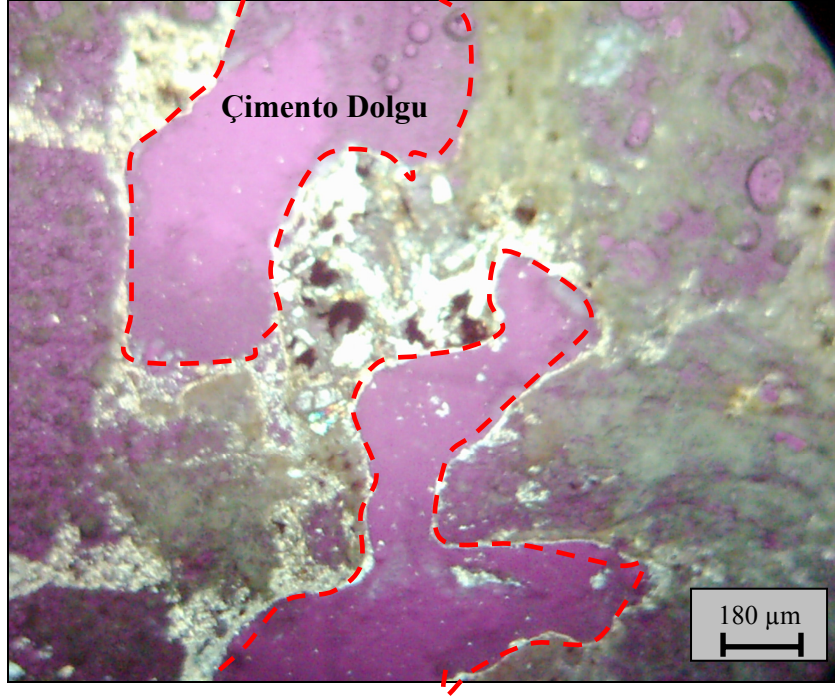


Şekil 4.27. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (a)



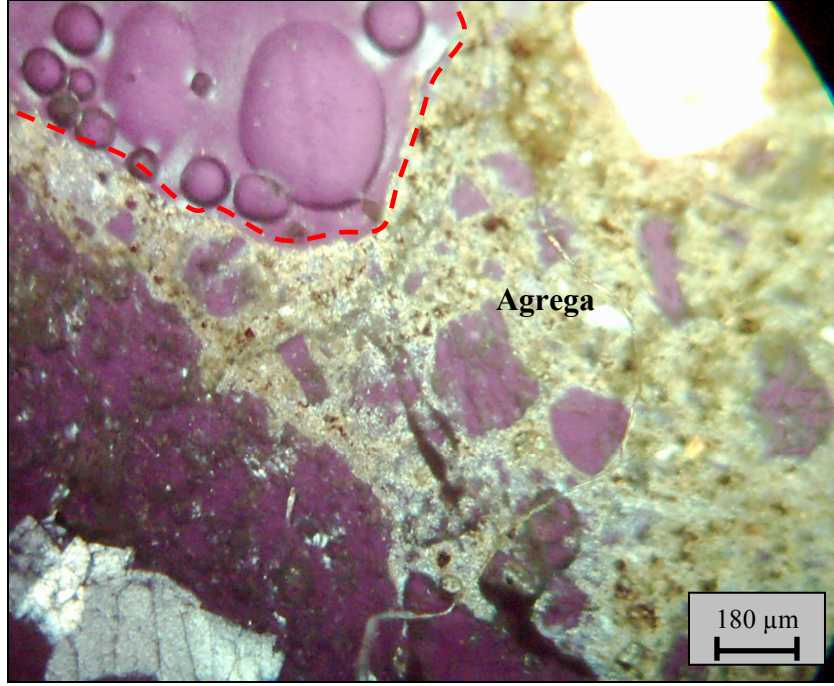
Şekil 4.28. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (b)

Şekil 4.27. ve Şekil 4.28'deki fotoğraflar, 50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+10ÇP karışımından elde edilmiş hafif beton numunelerinin ince kesitlere aittir. Burada çimento oranının %10'a çıkmasının doğal bir sonucu olarak, çimento ile agrega yüzeyi arasındaki bağ dokusunun güçlendiği ve çimento-agrega dokanak zonunda mikro ölçekte kristalleşmeler olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.27.). Agregaya yapısındaki gözeneklerin tamamen çimento hamuru ile dolması nedeniyle karışımın kompasitesinin (doluluk oranının) yüksek olacağı düşünülmektedir. Ayrıca çimentolu zonda boşluk vb. bir yapı olmadığı görülmektedir. Bu karışıma ait tek eksenli basınç dayanımı, $25,68 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiş olup standart değeri sağlamaktadır.



Şekil 4.29. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (c)

Şekil 4.29'da ise 60PK(0/4)+40PN(4/8)+10ÇP karışımından oluşan hafif beton numunesine ait ince kesit fotoğrafı görülmektedir. Burada agregadaki gözenek ve akma yapılarının tamamen dolu olduğu görülmektedir. Çimentonun agrega bünyesindeki açık gözeneklere sokulum yaparak doldurduğu anlaşılmaktadır. Çimento ile agreganın dokanak noktalarındaki bağ dokuları da belirgin olarak görülmektedir. Bu fotoğraftaki karışıma ait tek eksenli basınç dayanım değeri, 40,55 kg/cm² olarak belirlenmiş olup, tüm karışım grupları arasında elde edilen en yüksek basınç dayanım değeridir.



Şekil 4.30. Hacimce %10 çimentolu hafif beton numunesinin ince kesit fotoğrafı (d)

Şekil 4.30'daki fotoğraf ise 100PM(4/8)+10ÇP karışımdan elde edilmiş hafif beton numunesinin ince kesitine aittir. Bu karışım, sadece 4/8 mm boyutundaki agregadan oluşmuştur. Yani, bu karışımda ince boyutlu agregaya yoktur. Burada da boşlukların çimento hamuruyla dolduğu görülmektedir. Ancak %10 oranında çimento olmasına rağmen, gerek agrega kesitinde gerekse çimento zonunda yer yer mikroskobik düzeyde boşluklar görülmektedir. İnce kesitte görülen bu tür boşlukların, karışımda ince agrega olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hafif beton karışımlarında, dayanımı belirleyen en önemli parametrelerden biri, çimento oranıdır. Ancak çimento oranı dışında önemli olan başka parametreler de vardır. Bunlardan biri de tane boyut dağılımı, yani granülometridir. Hafif betonda, çimento oranı yüksek olmasına rağmen, uygun granülometrik bileşimde agregaya kullanılmadığı durumlarda yüksek dayanım elde edilemez. Şekil 4.29'daki örnekte de çimento oranı yüksek olmasına rağmen muhtemelen karışımı oluşturan agreganın granülometrik bileşiminden ötürü yüksek dayanım elde edilememiştir. Bu karışım grubunun tek eksenli basınç dayanım değeri, %10 çimentolu olmasına rağmen, $14,40 \text{ kg/cm}^2$ olarak belirlenmiştir.

4.2.5. Hafif Beton Numunelerinin Sıcaklık Etkisi Analizi İle İlgili Bulgular

Pomzadan mamul hafif betonun sıcaklık etkisindeki değişimlerini inceleyebilmek amacıyla her seriden üç adet hafif beton numunesi, sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Numuneler etüvde 120°C, 180°C ve 200°C sıcaklıkta 72 saat bekletilmiştir. Daha sonra bu numuneler soğutulduktan sonra basınç dayanım deneyine tabi tutulmuş olup, her bir numune hidrolik preste ayrı ayrı kırılarak kırılma değerleri belirlenmiş ve bu değerler yardımıyla basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca her numunenin kuru birim hacim ağırlık değeri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular EK-4, EK-5 ve EK-6'da verilmiştir.

Etüvde 72 saat süre ile 120°C sıcaklığa maruz bırakılan hafif beton numunelerine soğuduktan sonra tek eksenli basınç dayanım deneyi uygulanması sonucu elde edilen değerler incelendiğinde en yüksek dayanımın 69. seriye ait olup bu değer 46,1 kg/cm² olduğu anlaşılmaktadır. Bu serideki hafif beton numuneleri, İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilmiştir. Dayanım olarak yüksek diğer seriler ise sırasıyla 63, 3, 30, 39, 5 numaralı serilerdir.

Hafif beton numunelerine 180°C sıcaklık uygulanması sonucu elde edilen basınç dayanım değerlerine göre, en yüksek dayanım 120°C'lik uygulamada olduğu gibi 69. seriden elde edilmiştir. Diğer yüksek dayanımlı seriler ise sırasıyla 30, 39, 63, 24, 33. serilerdir.

Hafif beton numunelerine 200°C sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, en yüksek dayanım 63. seriden elde edilmiş olup bu değer 41,4 kg/cm² olarak belirlenmiştir. Bu seri de İzmir-Menderes perlitik pomzasında üretilmiş hafif beton numunelerine aittir. En yüksek dayanımlı diğer seriler ise sırasıyla 60, 69, 39, 66, 56 olarak görülmektedir. Hafif beton numuneleri üzerinde yapılan normal oda sıcaklığında (20°C) ve sıcaklık etkisindeki tek eksenli basınç dayanım değerleri incelendiğinde, genel olarak en yüksek dayanımlı seriler, dayanımın uygulanan sıcaklığa göre değişkenliği, serilerin sıcaklık etkisinde dayanımlarının ne şekilde değiştiği konularında bazı sonuçlar elde etmek mümkün

görülmektedir. Hafif beton numunelerinin sıcaklık öncesi ve sıcaklık uygulamalarından sonraki tek eksenli basınç dayanım değerleri toplu olarak EK-7'de verilmiştir.

28 günlük kür sonrası ve her sıcaklık uygulamasından sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneylerinden elde edilen dayanım değerlerine göre, her gruba ait en yüksek dayanımın elde edildiği ilk 10 seri Çizelge 4.37'de verilmiştir.

Çizelge 4.37'de görüldüğü üzere, en yüksek 10 basınç dayanım değerine göre sıralama yapıldığında, bazı serilerin ön plana çıktığı görülmektedir. Özellikle sıcaklık uygulamasından sonra yapılan dayanım ölçümlerinde, dayanım değeri ilk 10'a giren seriler her üç grupta da benzerlik göstermektedir. Örneğin, 69, 63, 3, 30, 39, 72 numaralı serilerin her üç grupta da olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.37. En yüksek basınç dayanımının elde edildiği ilk 10 serinin numaraları

σ_{28} 'deki ilk 10 seri	$\sigma_{120^\circ\text{C}}$ 'deki ilk 10 seri	$\sigma_{180^\circ\text{C}}$ 'deki ilk 10 seri	$\sigma_{200^\circ\text{C}}$ 'deki ilk 10 seri
30	69	69	63
3	63	30	60
5	3	39	69
60	30	63	39
6	39	24	66
18	5	33	56
56	72	3	3
2	36	72	30
24	78	78	1, 71, 59
69	65	6	72

28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonrası ölçülen basınç dayanım değerlerine göre yapılan ilk 10 sıralama, sıcaklık uygulamasından sonra yapılan sıralamayla genel olarak uyum göstermemektedir. 28 günlük kürden sonraki dayanımlara göre yapılan ilk 10 sıralamasında sadece 30 ve 3 numaralı seriler bütün gruplarda dayanım olarak ilk 10 seri arasına girmiştir. Diğer 8 seri, sıcaklık uygulaması sonucu dayanım değerlerinin düşmesi nedeniyle diğer gruplarda dayanım açısından ilk 10'da yoktur. Bu serilerin yerine, sıcaklık uygulaması sonucu dayanımı artan bazı serilerin geldiği

anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre, sıcaklık uygulaması sonucunda hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin değiştiği, bazı karışım gruplarının sıcaklık etkisi sonucu dayanımının azaldığı, bazılarının ise arttığı görülmüştür. Bu farklılıkların hafif beton numunelerinin karışım oranları, agrega türü, agrega boyutu ve çimento oranı gibi değişik parametrelere bağlı olduğu gözlenmiştir.

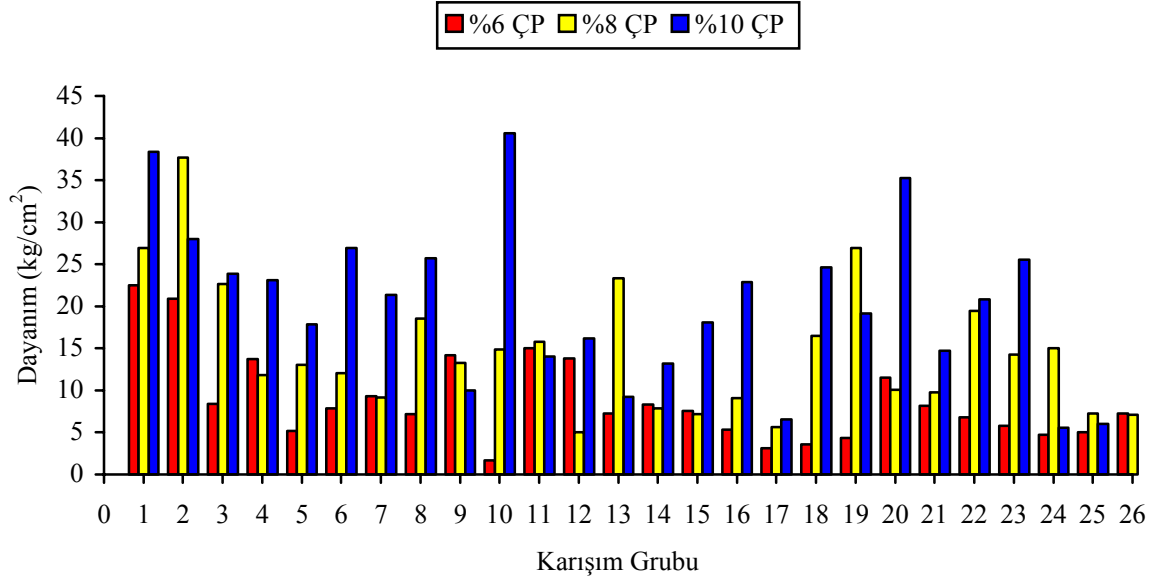
Hafif beton numunelerinden elde edilen basınç dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, 28 günlük külden sonra yapılan basınç dayanım deneyinden elde edilen değerlerin sıcaklık uygulaması sonucunda büyük oranda değiştiği görülmektedir. 120°C sıcaklık uygulamasından sonra, 46 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 32 seriye ait dayanım değeri artmıştır. 180°C sıcaklık uygulamasından sonra, 36 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 42 seriye ait dayanım değeri artmıştır. 200°C sıcaklık uygulamasından sonra ise 20 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 57 seriye ait dayanım değeri artmış, 1 seriye ait dayanım değeri ise değişmemiştir. Sonuçlara göre, genel olarak en fazla dayanım artışının 200°C sıcaklık uygulaması sonucunda olduğu gözlenmektedir. Bu artış ve düşüşlerde genel olarak belirli seriler ön plana çıkmaktadır. Örneğin sadece Kayseri-Talas pomzası kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin genel olarak sıcaklık arttıkça düştüğü görülmüştür. İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin bütün sıcaklık uygulamalarından sonra arttığı görülmüştür. Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarının karışımlarından elde edilmiş diğer hafif beton numunelerinin ise bazı serilerde 120°C bazılarının ise 180°C sıcaklık uygulaması sonucunda basınç dayanımlarının düştüğü belirlenmiştir.

4.2.6. Hafif Beton Numunelerinde Çimento Oranının Dayanıma Etkisi

Çalışma için, Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından oluşan 26 ayrı karışım grubu belirlenmiştir. Bu karışım gruplarının her biri, %6, %8 ve %10'luk çimento oranlarında ayrı ayrı dökülmüştür. Bu durumda normal koşullarda, çimento oranı arttıkça dayanımın artması gerekmektedir. Ancak yapılan çalışmada, 26 karışım grubundan 12'sinde çimento oranı arttıkça dayanımda düzenli bir artış olmuş, diğer 14 karışımın dayanım değerlerinde ise düzenli bir artış

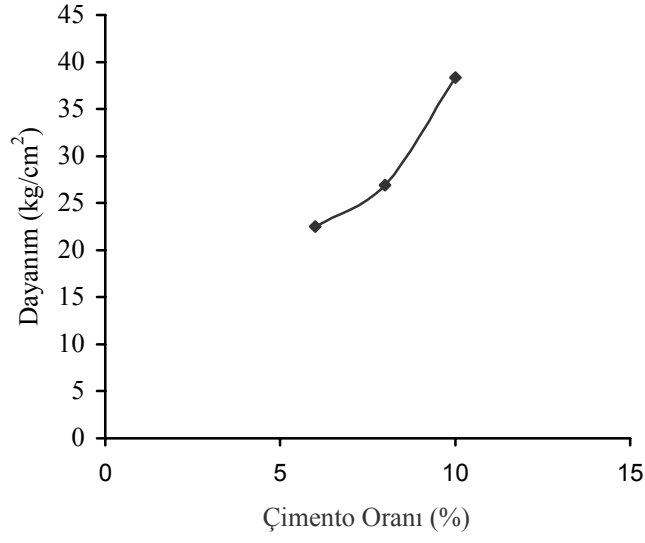
olmadığı gözlenmiştir. Bu konuda, kullanılan materyallerden, uygulanan yöntemlerden ve uygulayıcılardan kaynaklanan hata ve eksikliklerin etkili olduğu düşünülmektedir.

Hafif beton numunelerinde çimento oranı-dayanım ilişkisini gösteren grafik, Şekil 4.31'de görülmektedir.

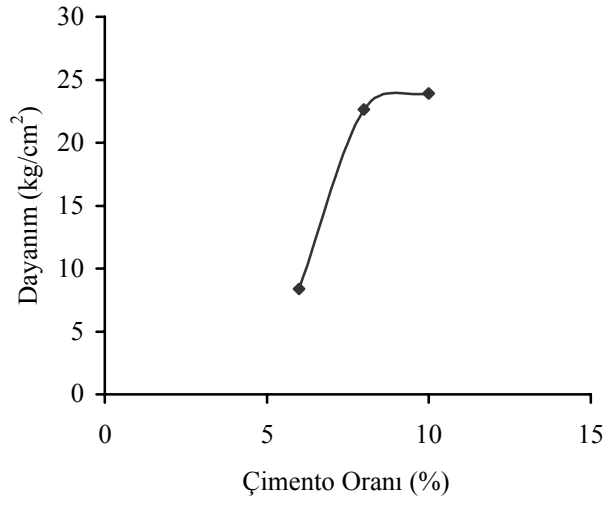


Şekil 4.31. Hafif beton numunelerinde çimento oranı-dayanım ilişkisi

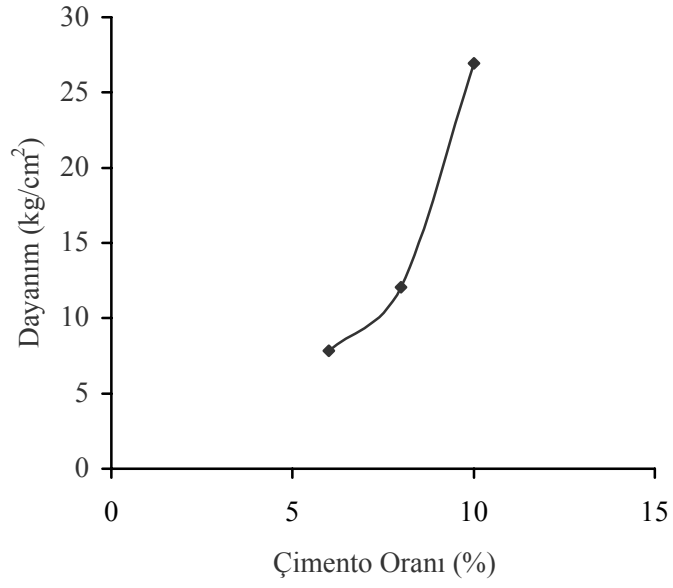
Üzerinde çalışma yapılan bazı hafif beton karışım gruplarına ait çimento oranı-dayanım ilişkisini gösteren grafikler aşağıda verilmektedir.



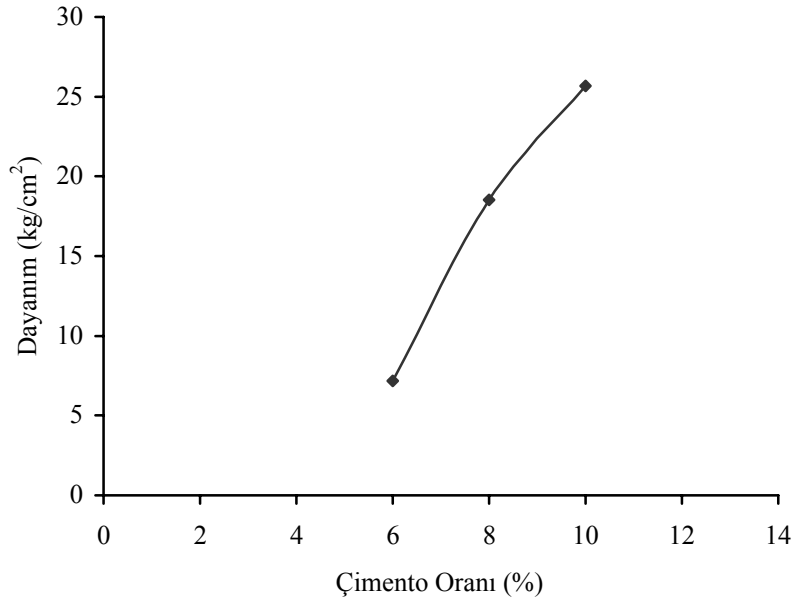
Şekil 4.32. %70PK(0/4)+%30PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



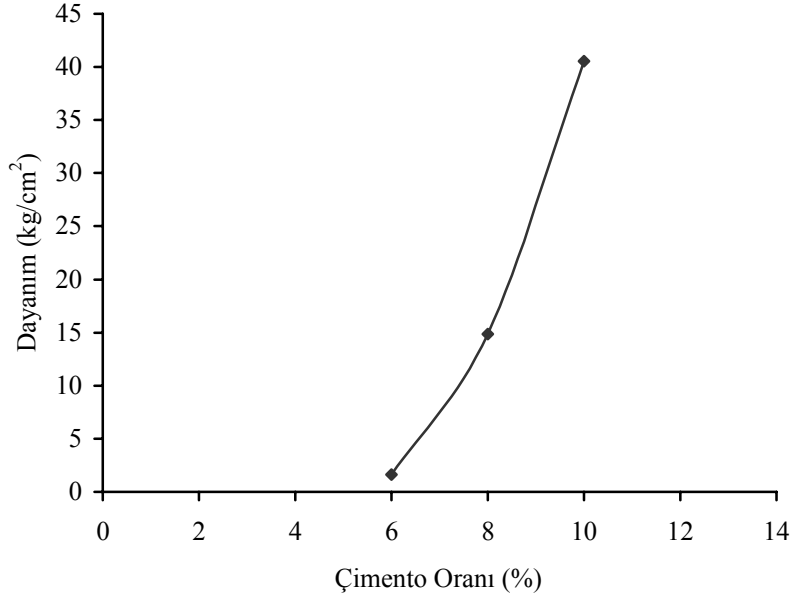
Şekil 4.33. %50PK(0/4)+%50PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



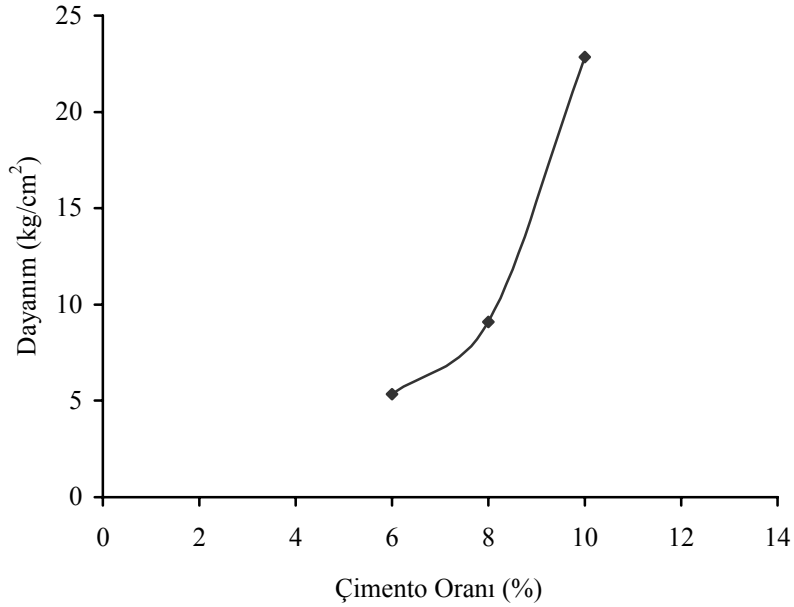
Şekil 4.34. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



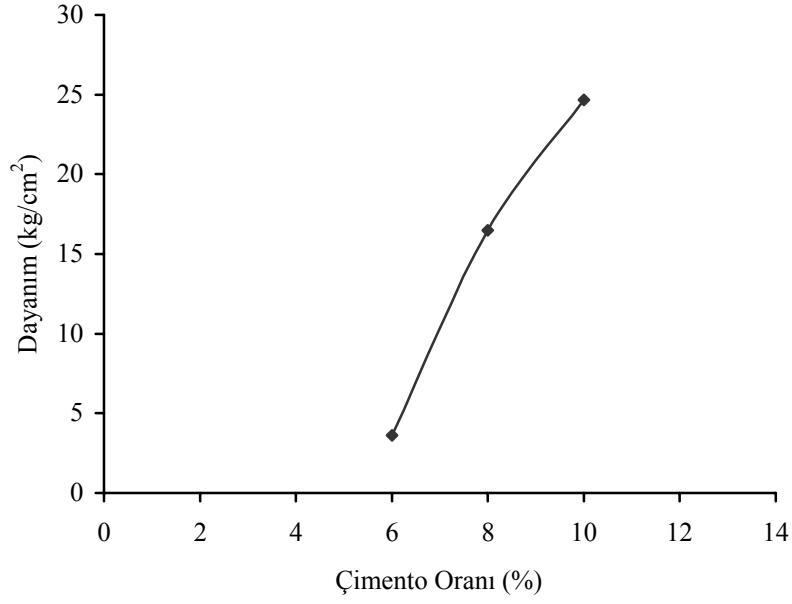
Şekil 4.35. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



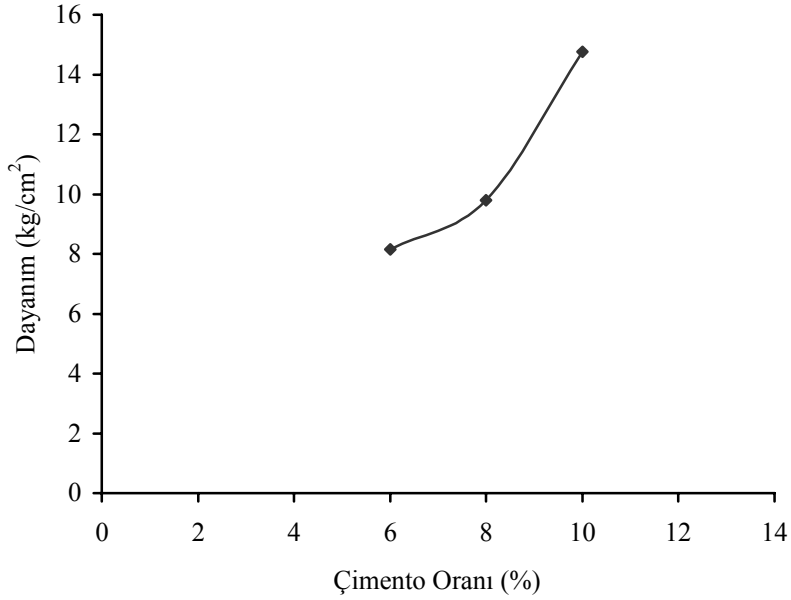
Şekil 4.36. %60PK(0/4)+%40PN(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



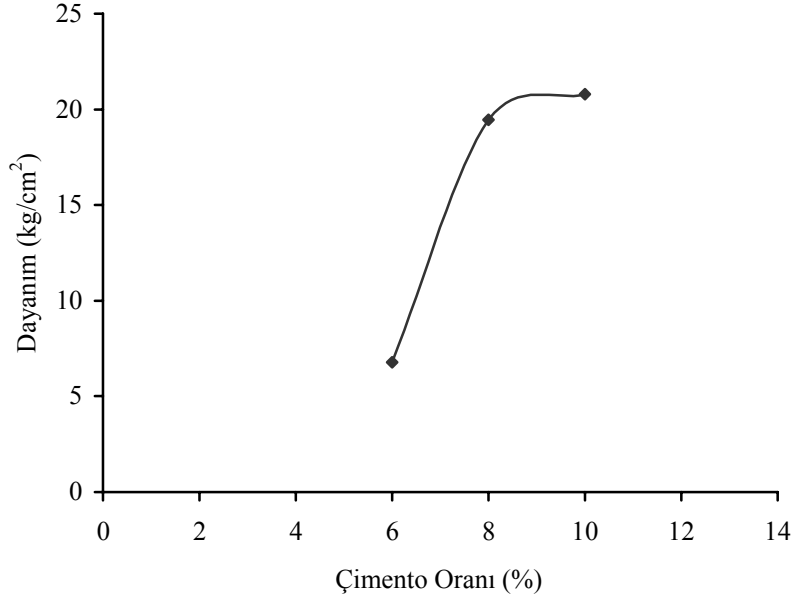
Şekil 4.37. %60PK(0/4)+%40PN(0/4) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



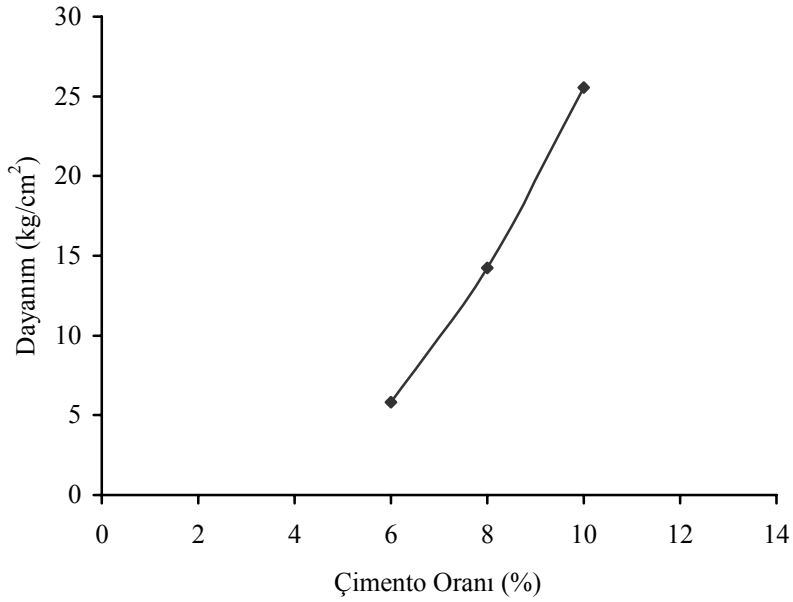
Şekil 4.38. %100PM(0/4) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.39. %60PM(0/4)+%40PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



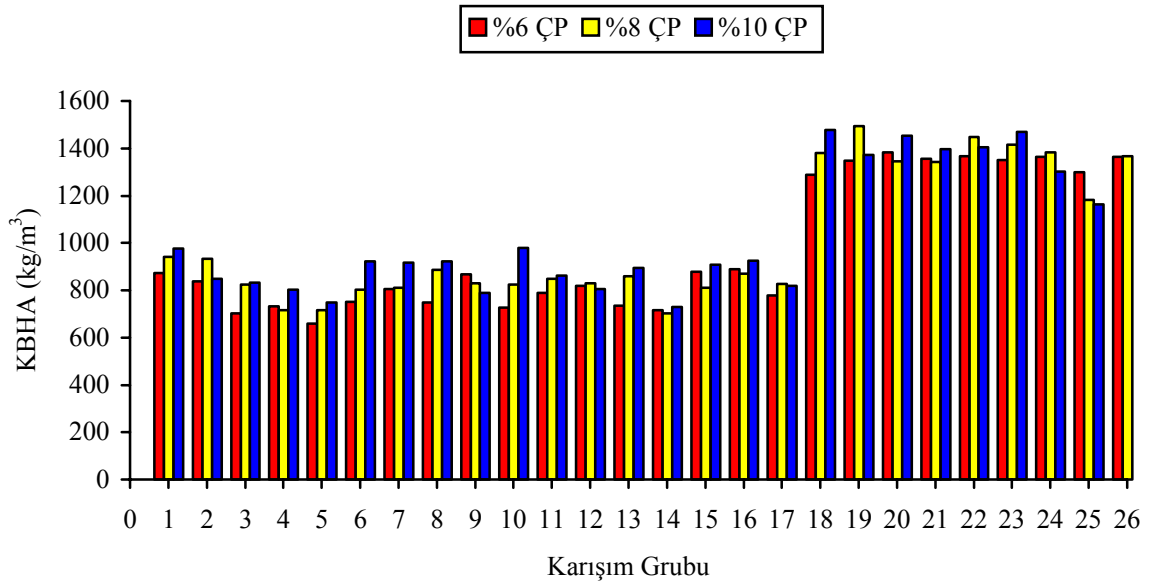
Şekil 4.40. %50PM(0/4)+%50PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.41. %40PM(0/4)+%60PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-dayanım ilişkisi grafiği

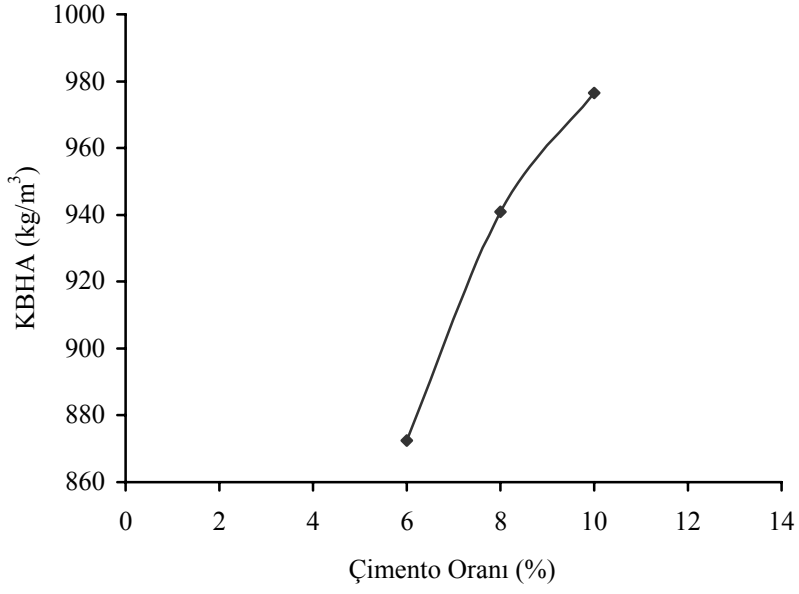
4.2.7. Hafif Beton Numunelerinde Çimento Oranının Kuru Birim Hacim Ağırlığa Etkisi

Hafif beton numunelerinde genel olarak çimento oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlığın da artması beklenir. Ancak, kullanılan materyallerden, uygulanan yöntemlerden ve uygulayıcılardan kaynaklanabilecek muhtemel hata ve eksiklikler nedeniyle elde edilen çimento oranına bağlı kuru birim hacim ağırlık değişimlerinde bazı küçük sapmalar olabilmektedir. Hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin çimento oranına göre değişimi ile ilgili grafik, Şekil 4.42’de verilmiştir. Bu grafikte görüldüğü üzere, genel olarak her grubun kuru birim hacim ağırlık-çimento oranı değişiminin kendi içinde birbirine yakın değerlerden oluştuğu ve değerler arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir.

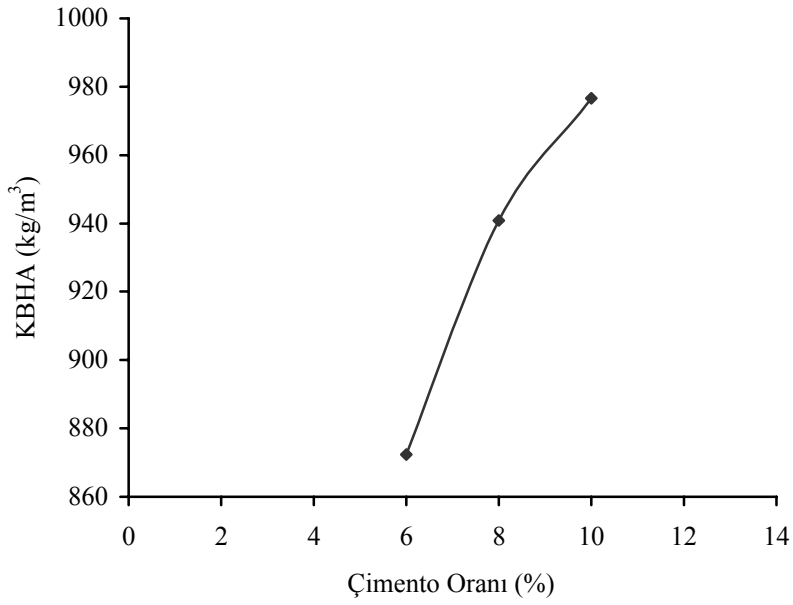


Şekil 4.42. Hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin çimento oranına göre değişimi

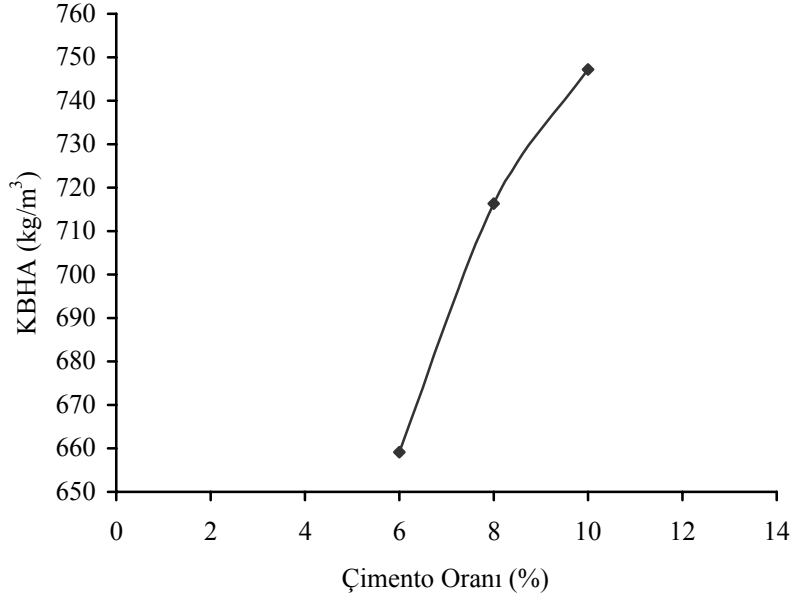
Hafif beton numunelerinde, deneysel çalışmalardan elde edilen verilere göre çizilen, çimento oranına bağlı kuru birim hacim ağırlık değişimlerine ilişkin grafikler aşağıda görülmektedir.



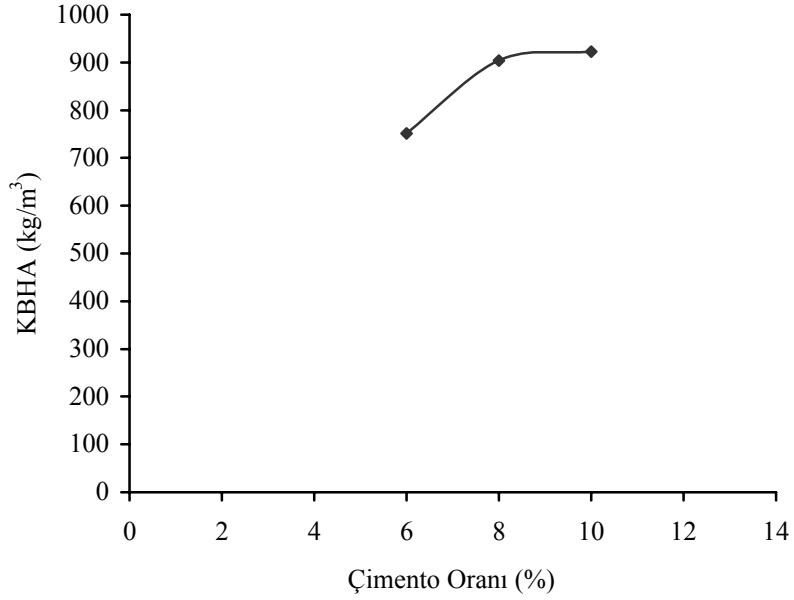
Şekil 4.43. %70PK(0/4)+%30PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



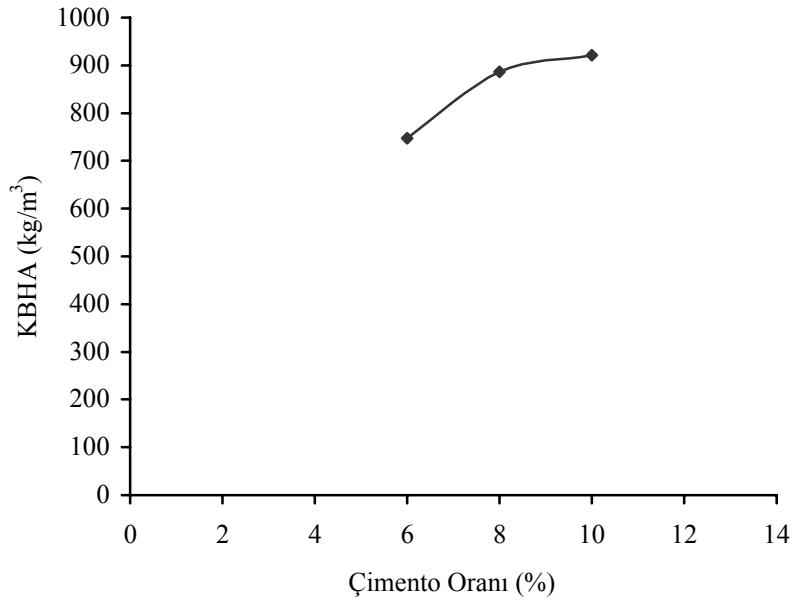
Şekil 4.44. %50PK(0/4)+%50PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



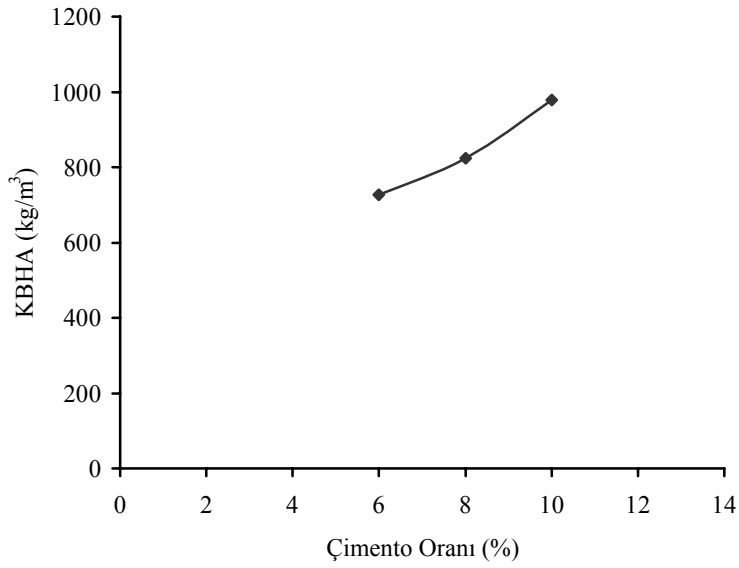
Şekil 4.45. %30PK(0/4)+%70PK(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



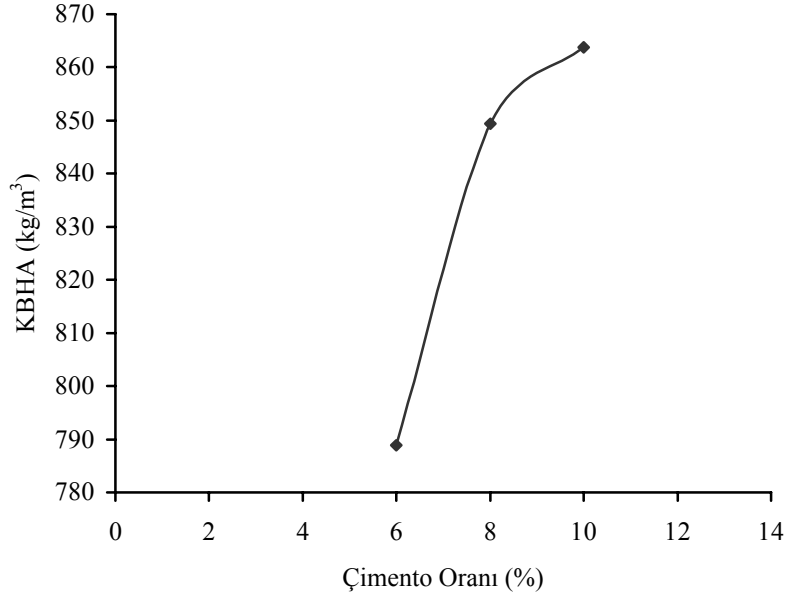
Şekil 4.46. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



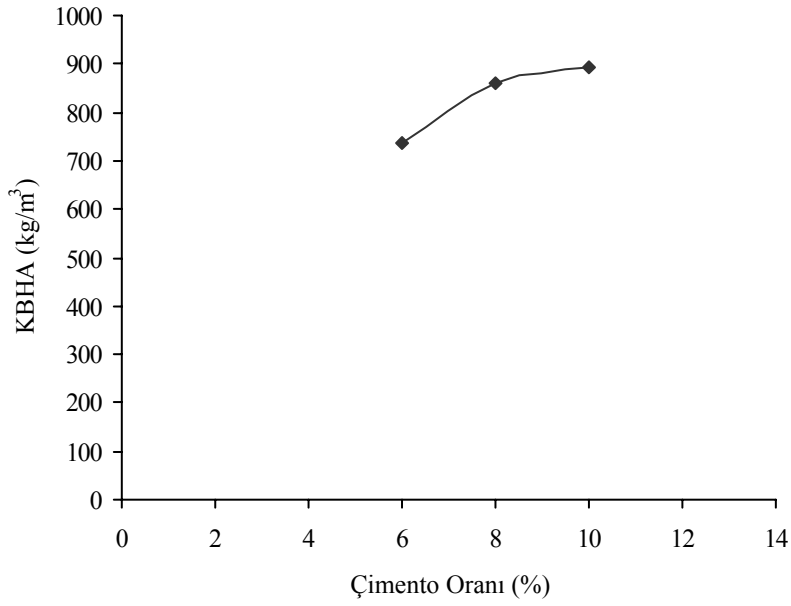
Şekil 4.47. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



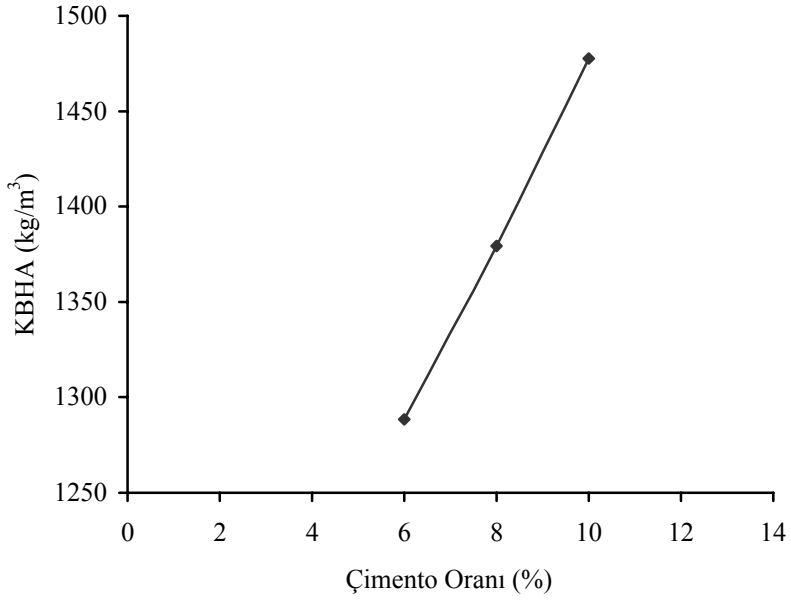
Şekil 4.48. %60PK(0/4)+%40PN(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



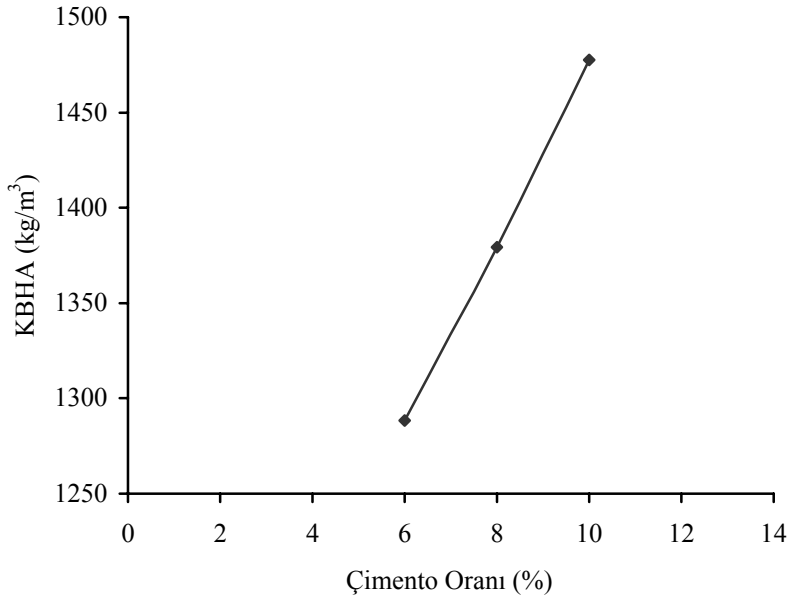
Şekil 4.49. %50PK(0/4)+%50PN(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



Şekil 4.50. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PN(8/16) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği



Şekil 4.51. %100PM(0/4) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği

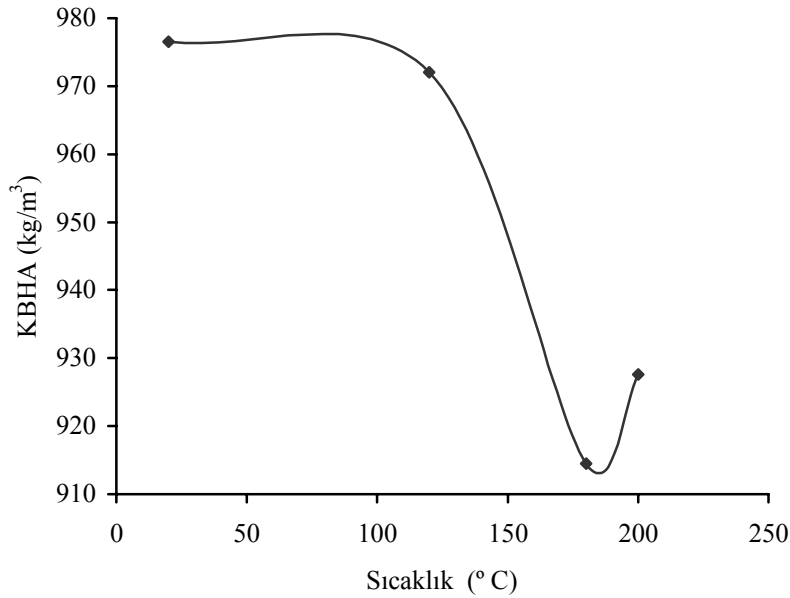


Şekil 4.52. %40PM(0/4)+%60PM(4/8) karışım kombinasyonuna ait çimento oranı-KBHA ilişkisi grafiği

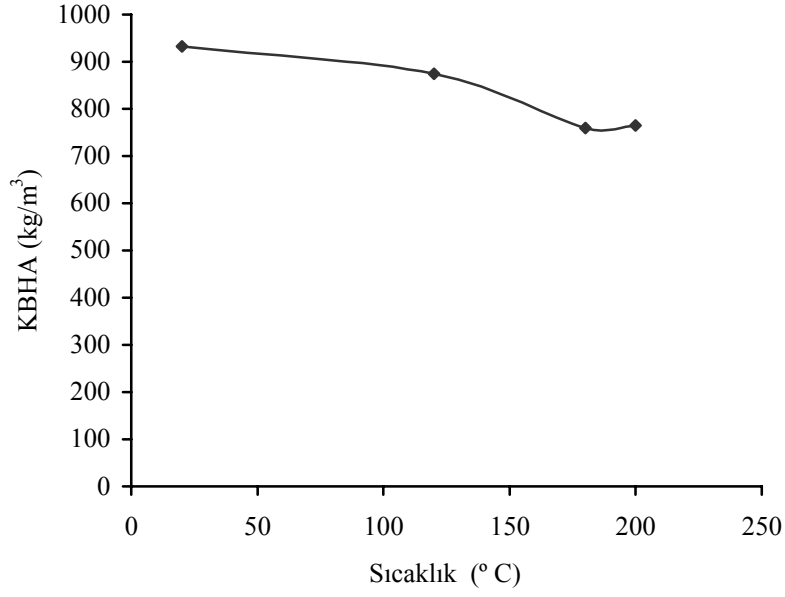
Hafif beton numunelerine ait çimento oranı ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre çizilen yukarıdaki grafiklerden, çimento oranının arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerlerinin de arttığı görülmektedir. Bu artışın genel olarak doğrusal olduğu görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, kuru birim hacim ağırlık değerlerindeki artış, %6 çimento oranındaki kuru birim hacim ağırlığı değerine göre, %8 çimento oranında %10, %10 çimento oranında ise %20 kadardır.

4.2.7. Hafif Beton Numunelerinde Sıcaklığın Kuru Birim Hacim Ağırlığa Etkisi

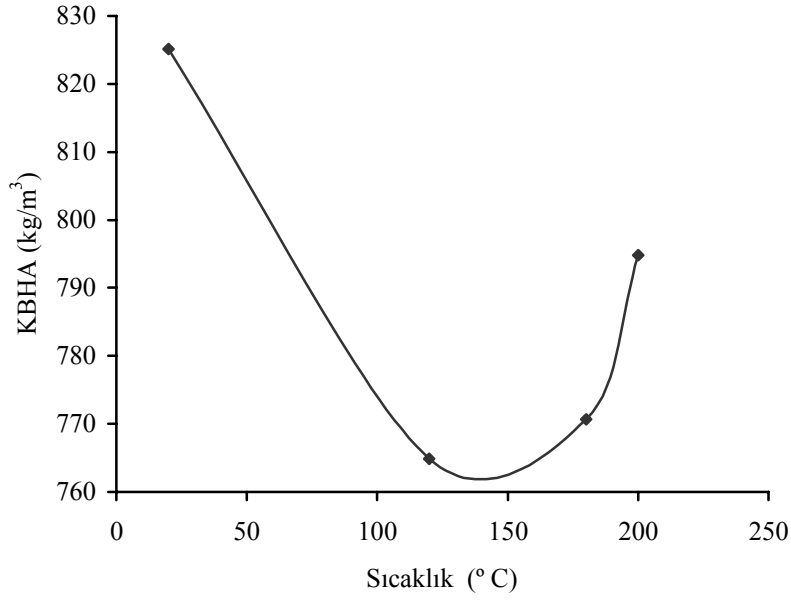
Hafif beton numunelerinde sıcaklığın kuru birim hacim ağırlığa etkisi ile ilgili olarak, sıcaklık uygulamasıyla birlikte kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmadan elde edilen bulgular da genelde bu yöndedir. Aşağıda, seçilmiş bazı serilere ait sıcaklık-kuru birim hacim ağırlık ilişkisini gösterir grafikler verilmiştir (Şekil 4.53.- Şekil 4.82.).



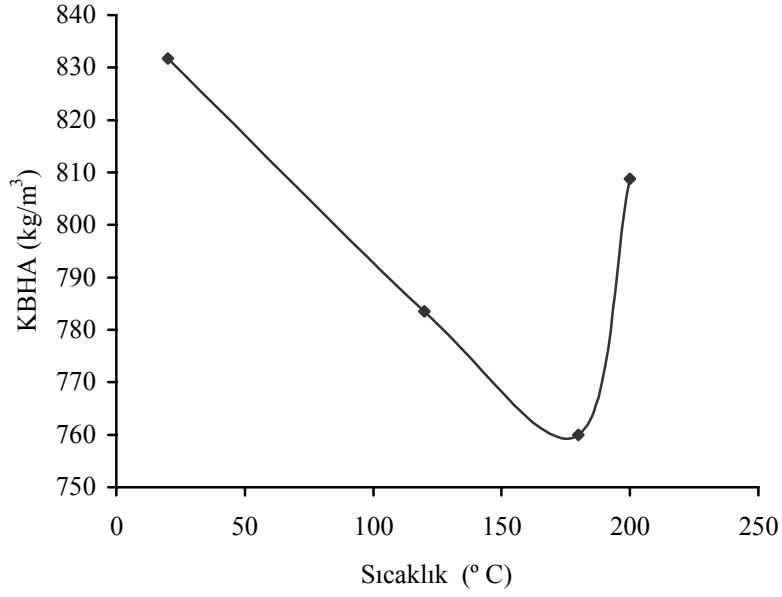
Şekil 4.53. %70PK(0/4)+%30PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



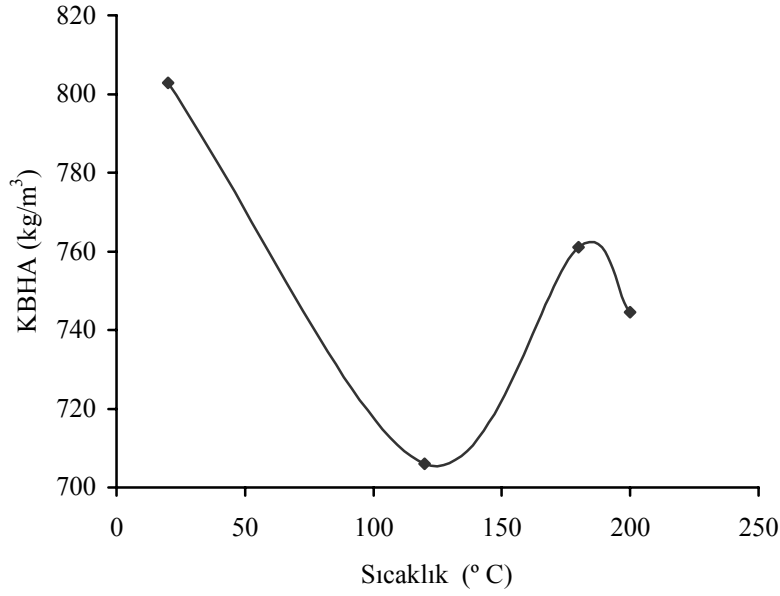
Şekil 4.54. %60PK(0/4)+%40PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



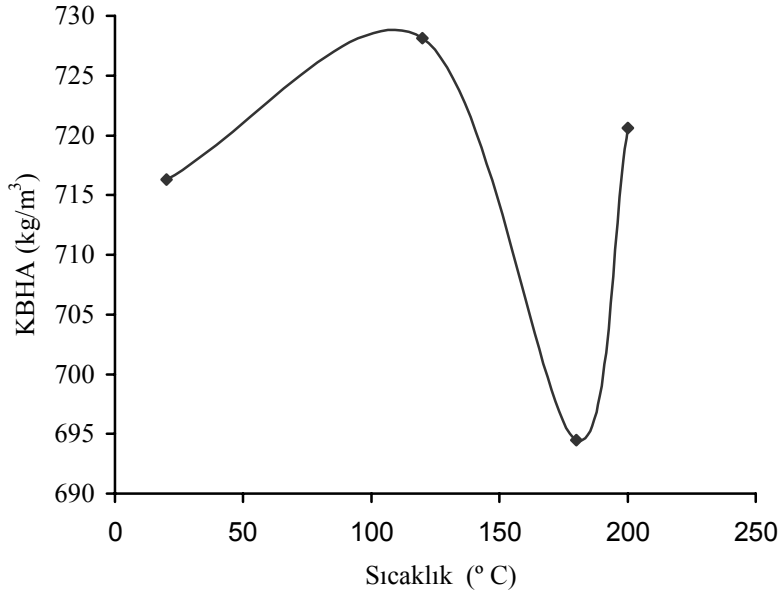
Şekil 4.55. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



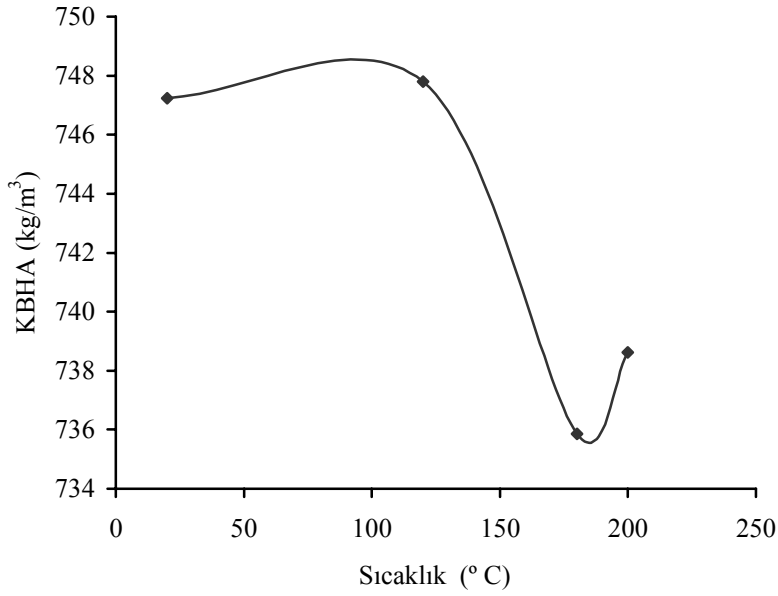
Şekil 4.56. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



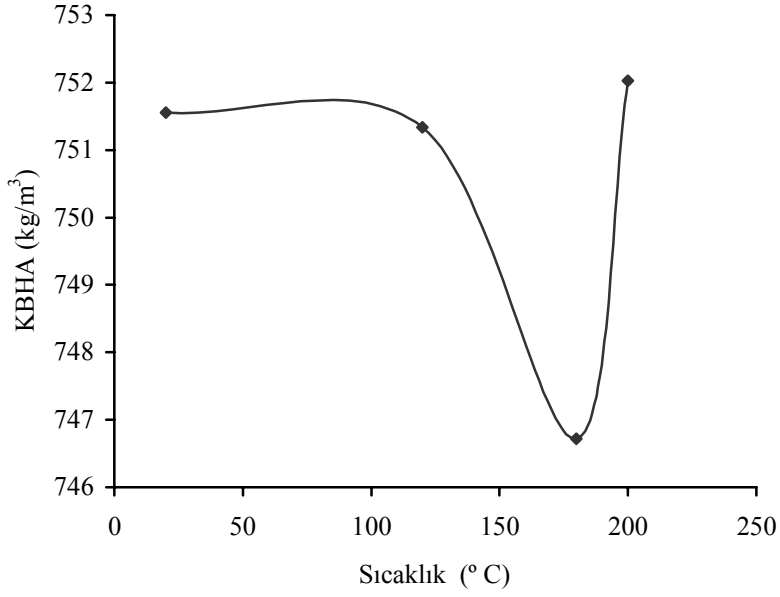
Şekil 4.57. %40PK(0/4)+%60PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



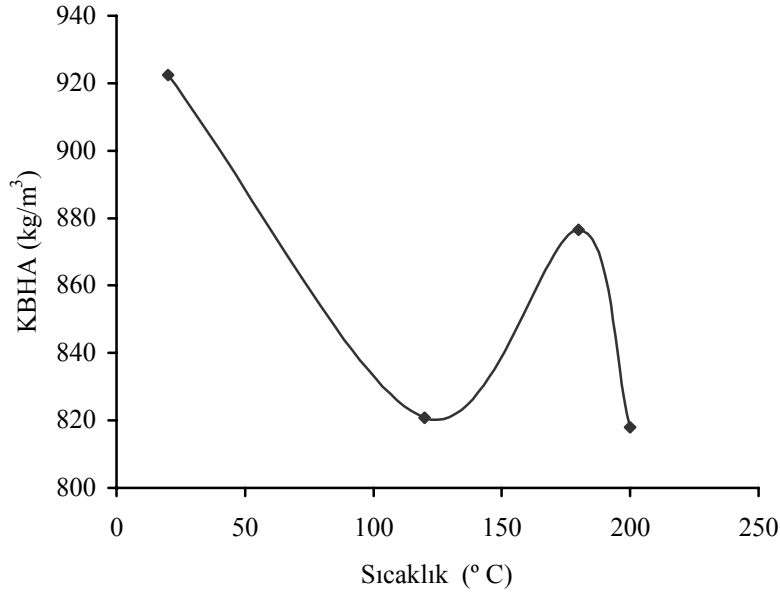
Şekil 4.58. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



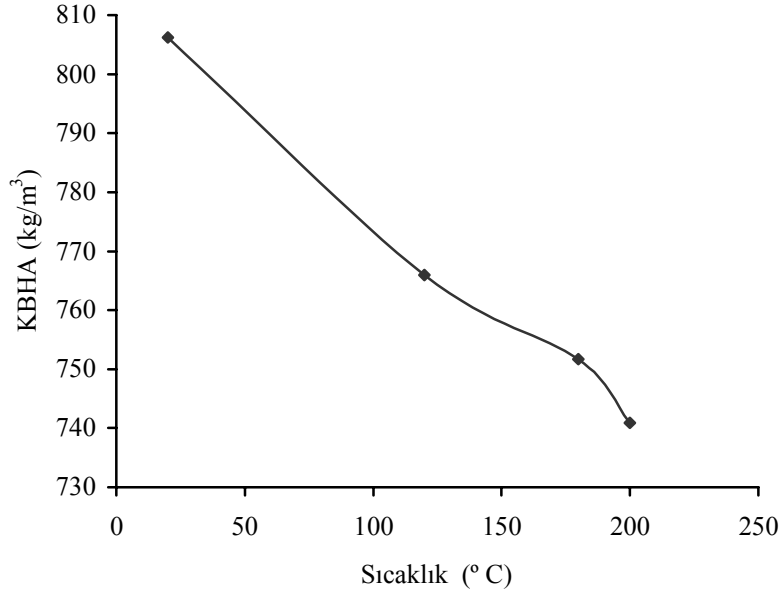
Şekil 4.59. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



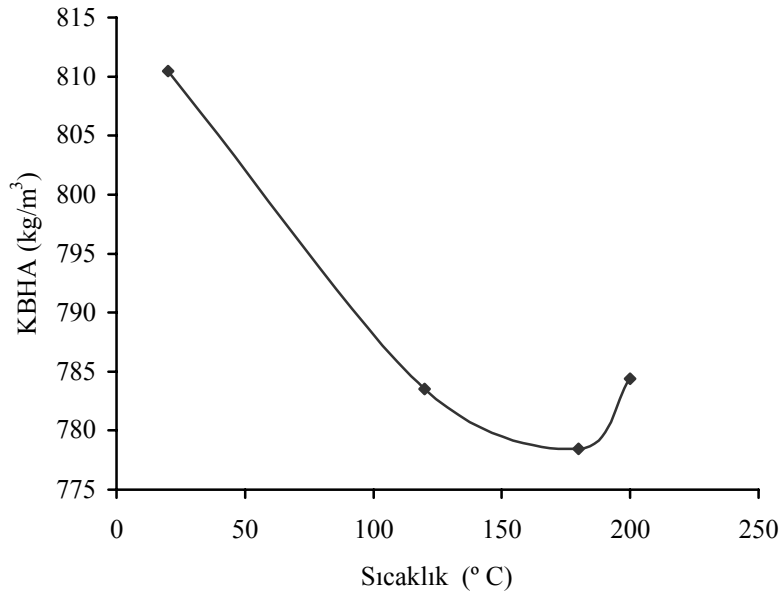
Şekil 4.60. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



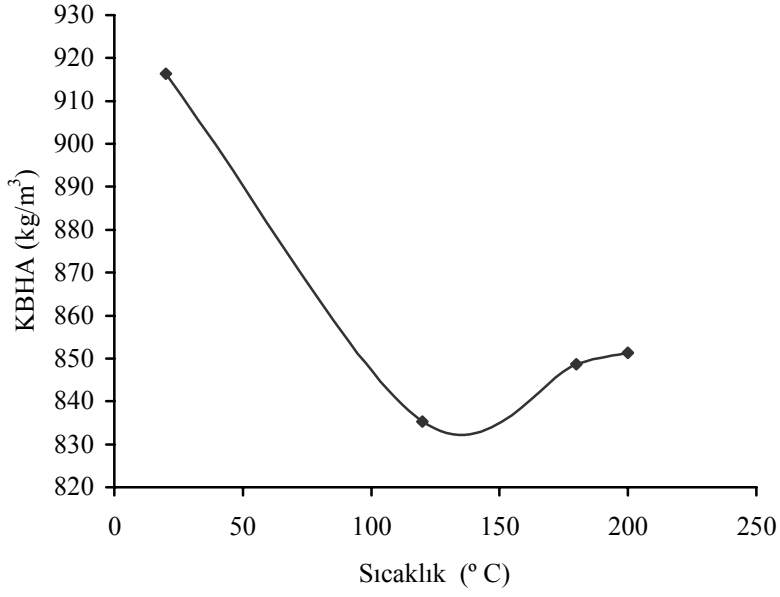
Şekil 4.61. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



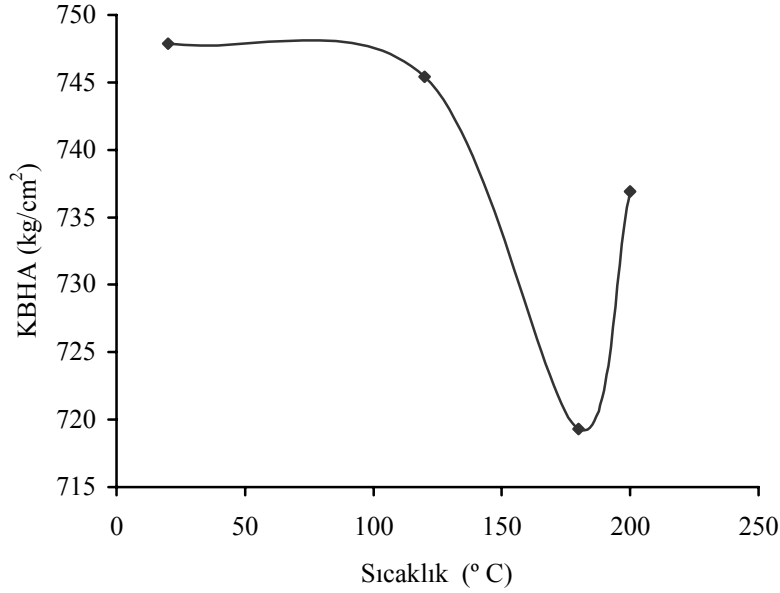
Şekil 4.62. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



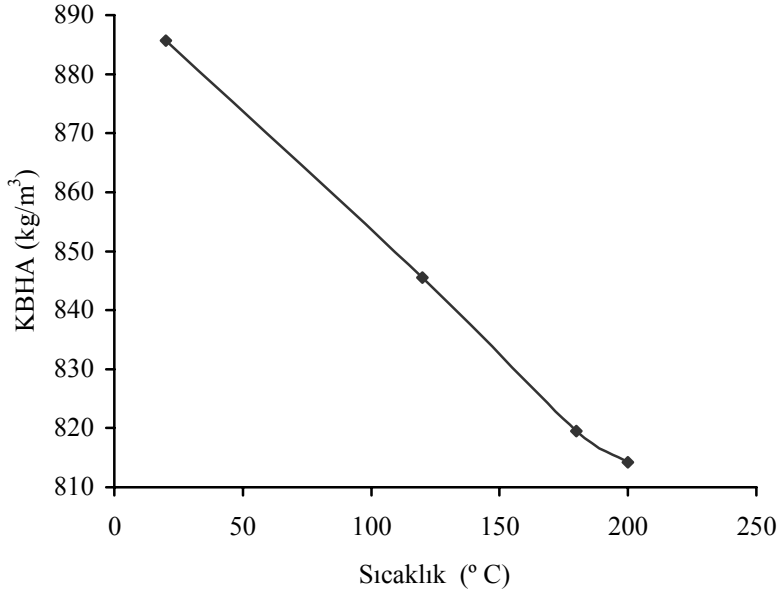
Şekil 4.63. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



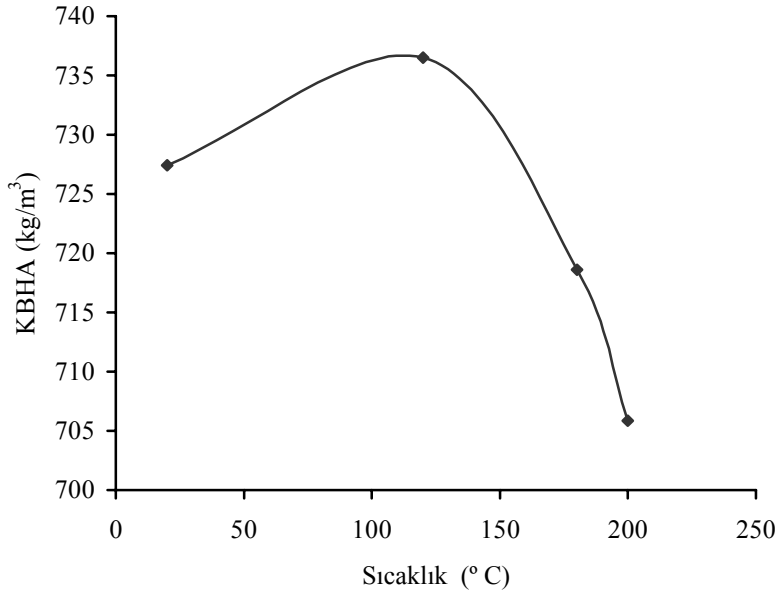
Şekil 4.64. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



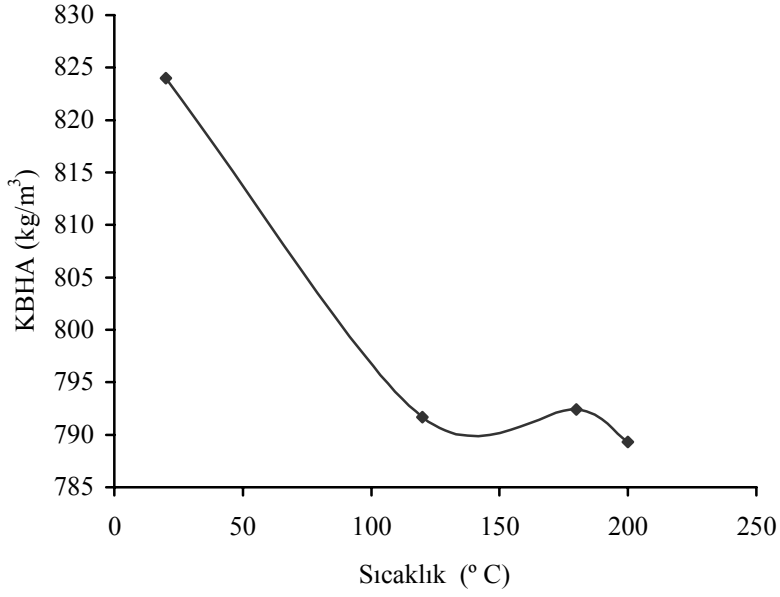
Şekil 4.65. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



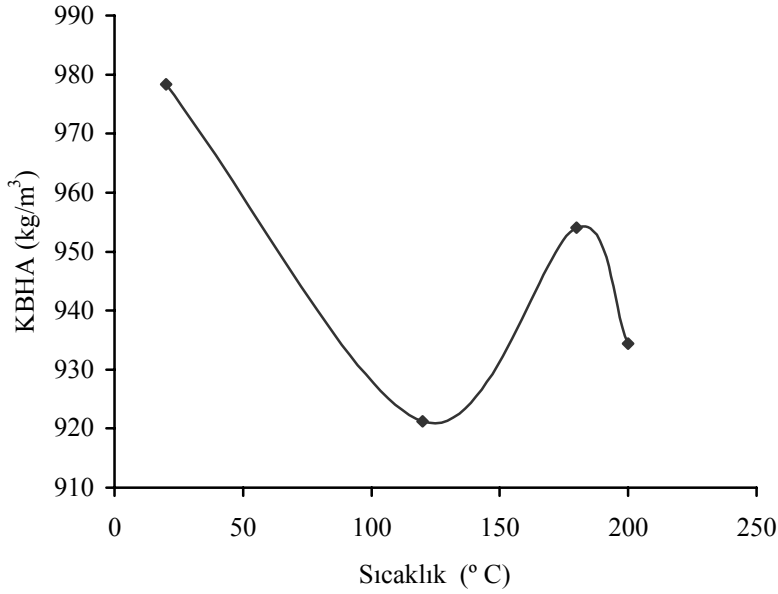
Şekil 4.66. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+ 8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



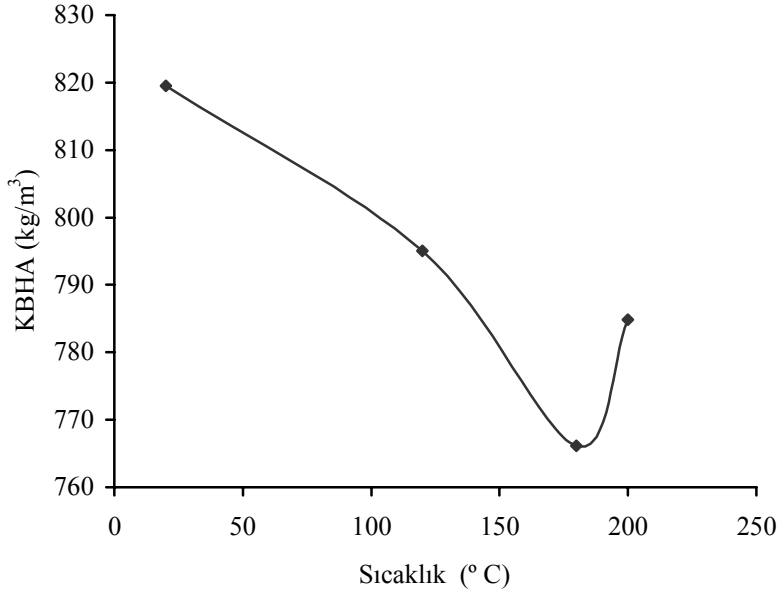
Şekil 4.67. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



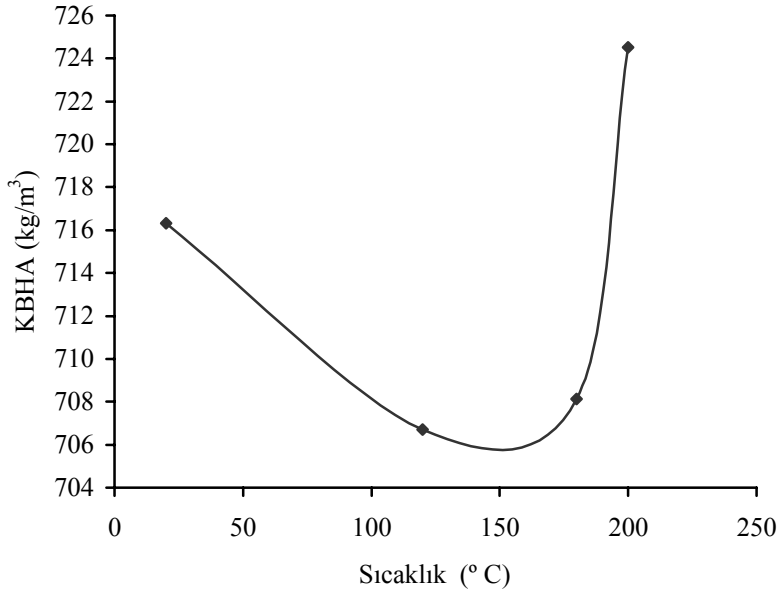
Şekil 4.68. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



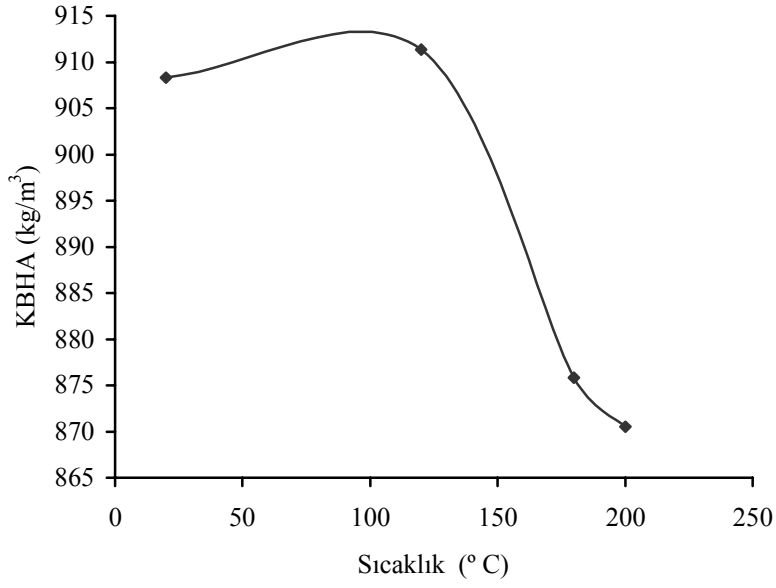
Şekil 4.69. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



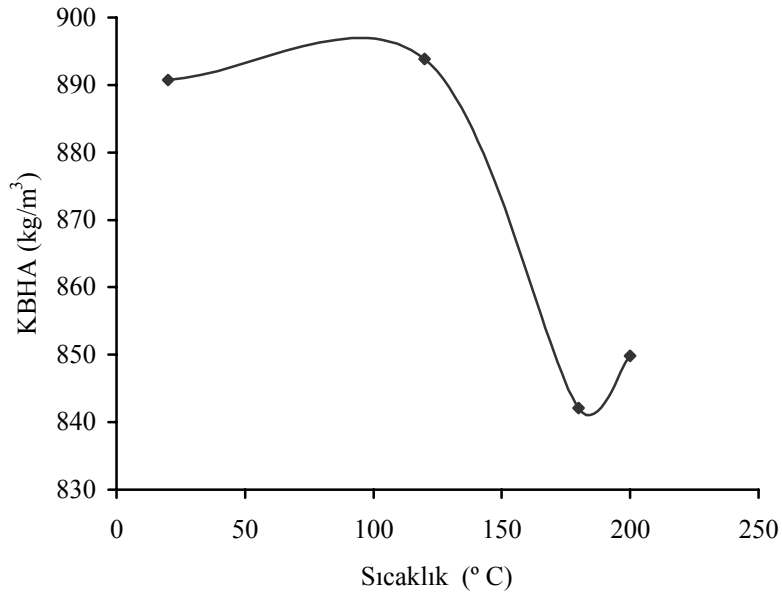
Şekil 4.70. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



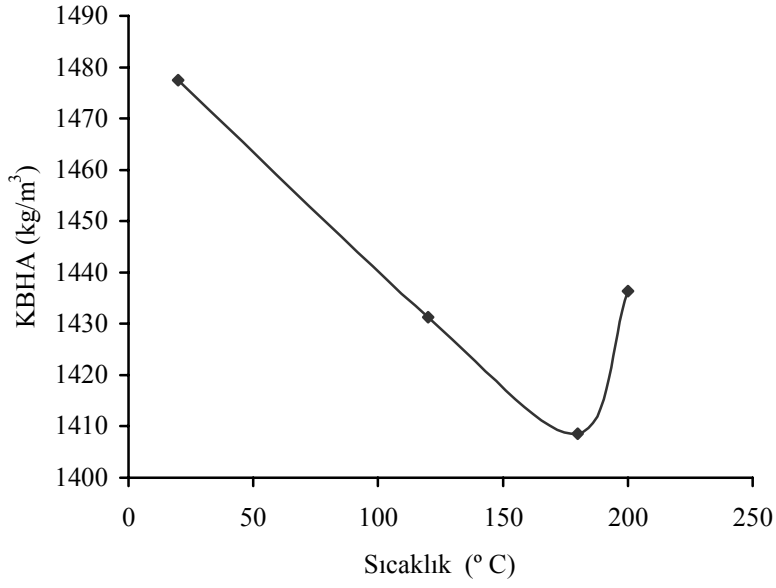
Şekil 4.71. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PN(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



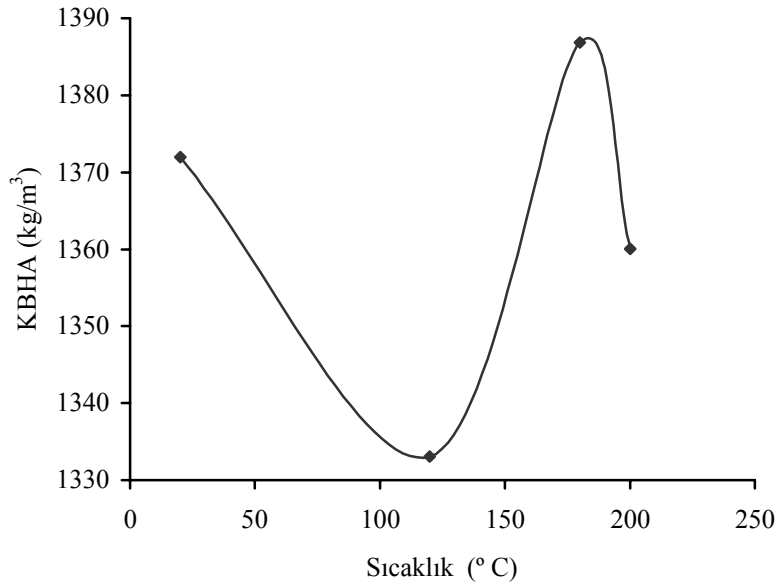
Şekil 4.72. %70PK(0/4)+%30PN(0/4)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



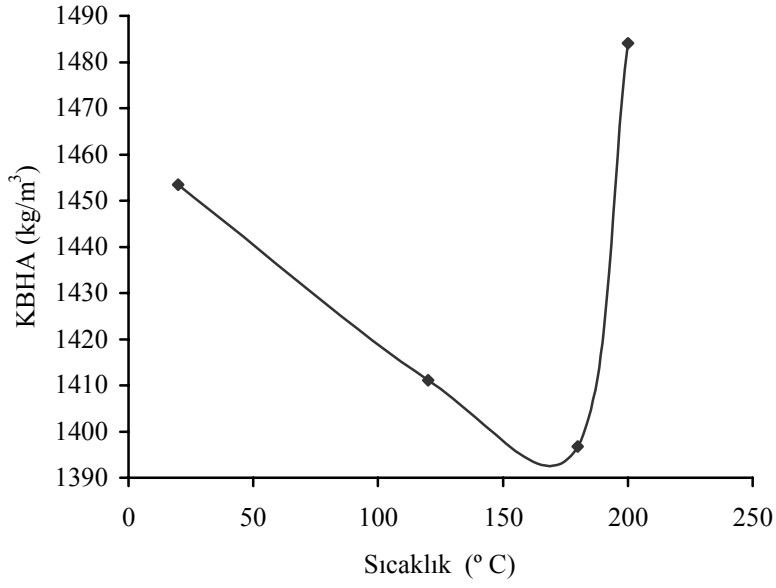
Şekil 4.73. %60PK(0/4)+%40PN(0/4)+%6ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



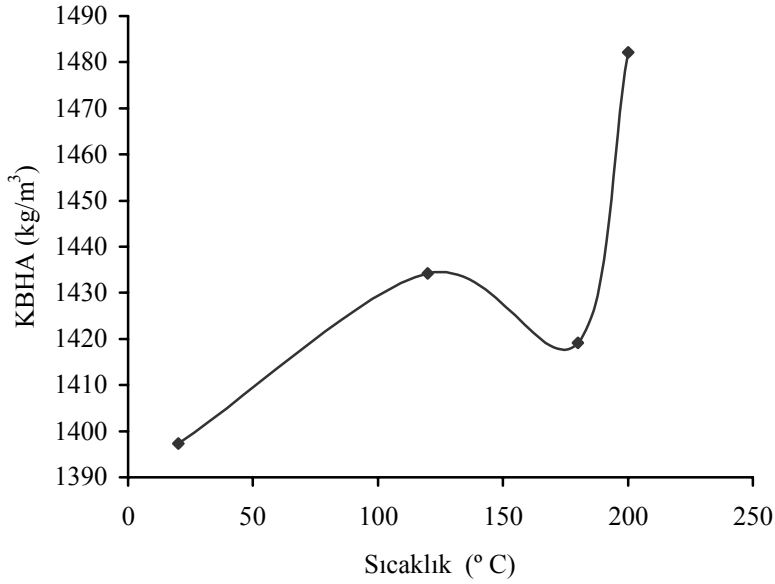
Şekil 4.74. %100PM(0/4)+%10ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



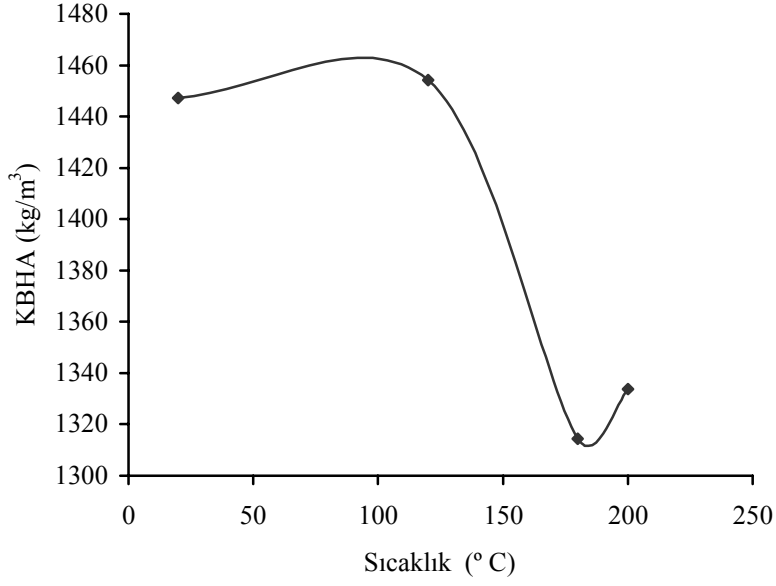
Şekil 4.75. %80PM(0/4)+%20PM(4/8)+%10ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



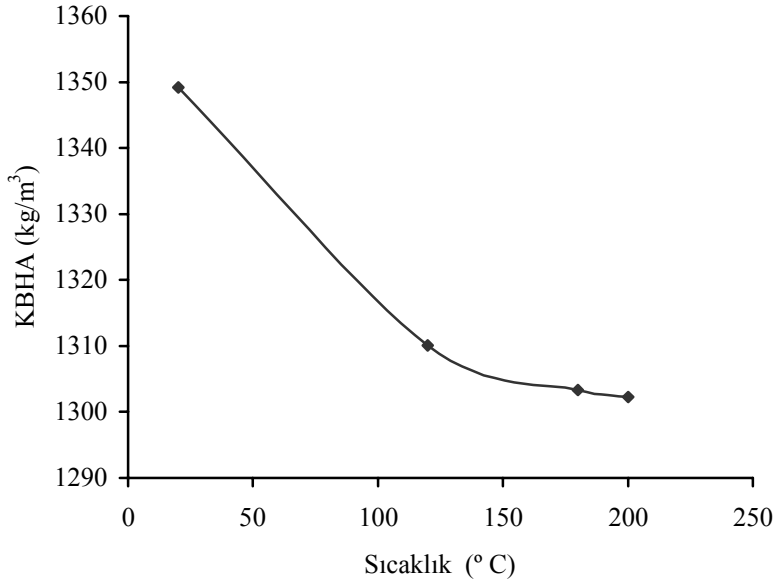
Şekil 4.76. %70PM(0/4)+%30PM(4/8)+%10ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



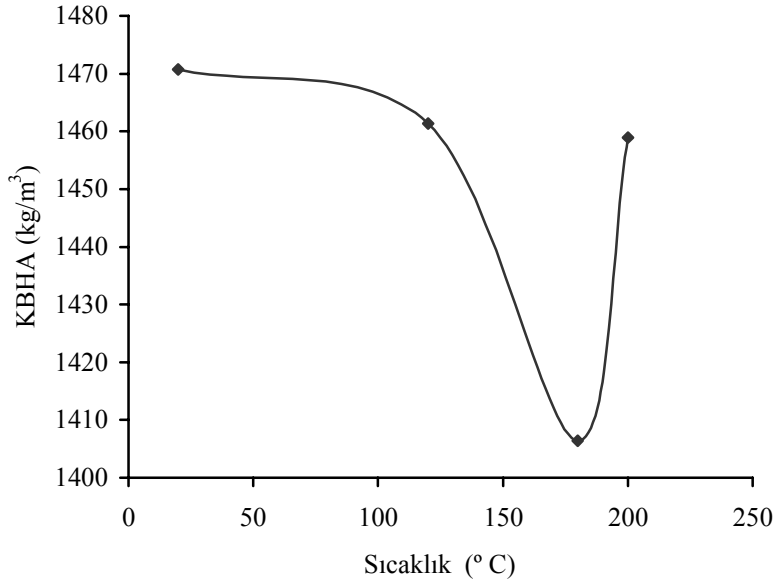
Şekil 4.77. %60PM(0/4)+%40PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonu ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



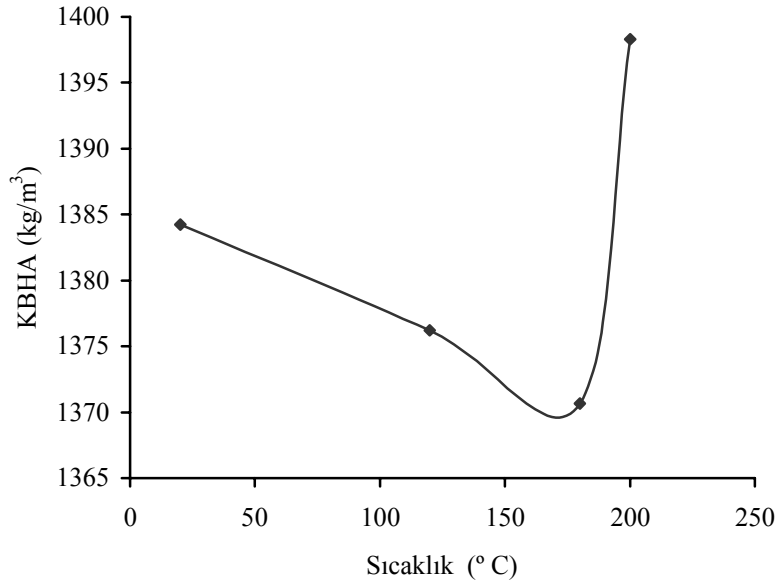
Şekil 4.78. %50PM(0/4)+%50PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



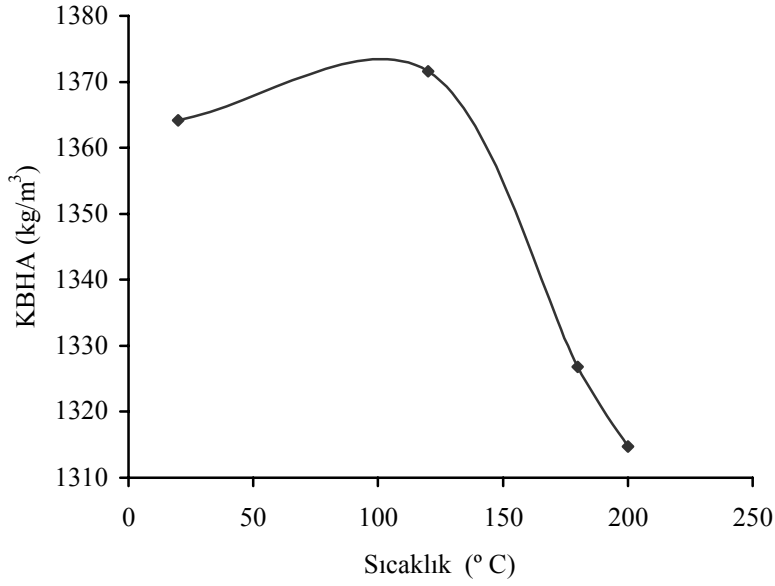
Şekil 4.79. %40PM(0/4)+%60PM(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



Şekil 4.80. %40PM(0/4)+%60PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



Şekil 4.81. %30PM(0/4)+%70PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği



Şekil 4.82. %100PM(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-KBHA ilişkisi grafiği

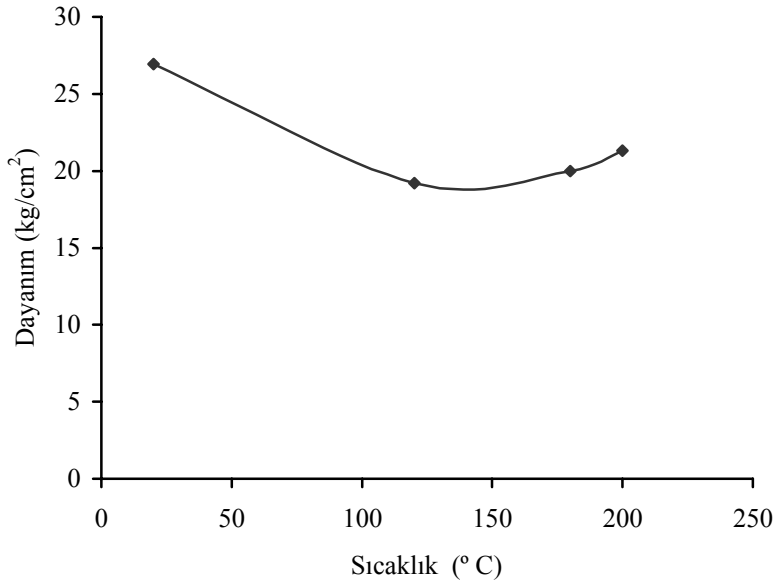
Yukarıdaki sıcaklık-KBHA ilişkisini gösteren grafikler incelendiğinde, hafif beton numunelerine sıcaklık uygulanması sonucunda kuru birim hacim ağırlık değerlerinde değişimler olduğu görülmektedir. Bu değişimler, genel olarak sıcaklık arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerinin azalması yönündedir. Ayrıca, bu değişimlerin doğrusal olmadığı anlaşılmaktadır. Kuru birim hacim ağırlık değerleri, bazı serilerde 120° C’de, bazılarında ise 180°C veya 200°C’de minimum değerlere ulaşmaktadır. Bazı serilerde ise, 120°C ya da 180°C’de minimum değere ulaşmakta daha sonra 200°C’de bir miktar yükselerek artmaktadır.

4.2.9. Hafif Beton Numunelerinde Sıcaklığın Dayanıma Etkisi

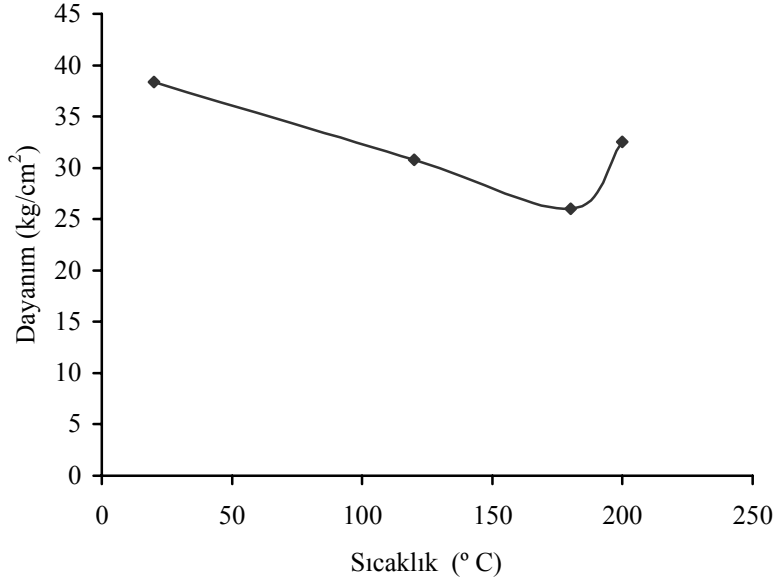
Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine etüvde, ayrı ayrı uygulanan 120°C, 180°C ve 200°C’lik sıcaklık sonucunda, genel olarak bazı çıkarımlar elde edilmekle birlikte, numunelerde kullanılan pomza türüne göre de farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Tek eksenli basınç dayanım değerlerinin sıcaklığa göre değişimi incelendiğinde, genel olarak, çoğunluğu 120°C'de olmak üzere 120°C ve 180°C sıcaklık uygulanmasından sonra dayanım değerlerinde azalma olduğu gözlenmektedir. 200°C'de ise dayanım değerlerinde bir iyileşme olduğu görülmüştür.

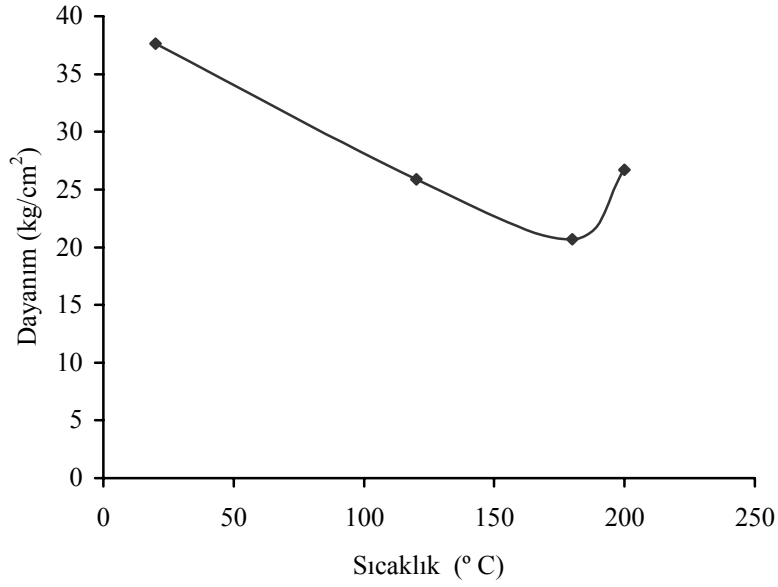
Sıcaklık uygulamasına bağlı olarak dayanım değerlerinin değişiminde, bazı serilerde sıcaklık arttıkça dayanımın arttığı açık olarak görülmektedir. Bazılarında ise bunun tam tersi bir trend gözlemlenmiştir. Bunun karışım gruplarında kullanılan pomza türlerine bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, sıcaklık etkisine bağlı dayanım değişimlerinin irdelenmesinde, karışım grupları ve karışım gruplarında kullanılan türlere göre değerlendirme yapılmıştır. Aşağıda, hafif beton serilerinde, sıcaklık-dayanım ilişkilerini gösteren grafikler verilmiştir (Şekil 4.83.-Şekil 4.94.).



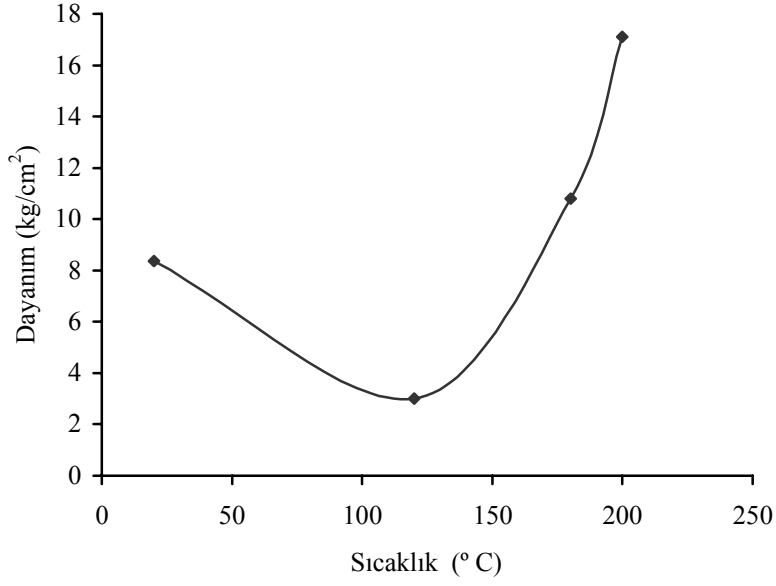
Şekil 4.83. %70PK(0/4)+%30PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



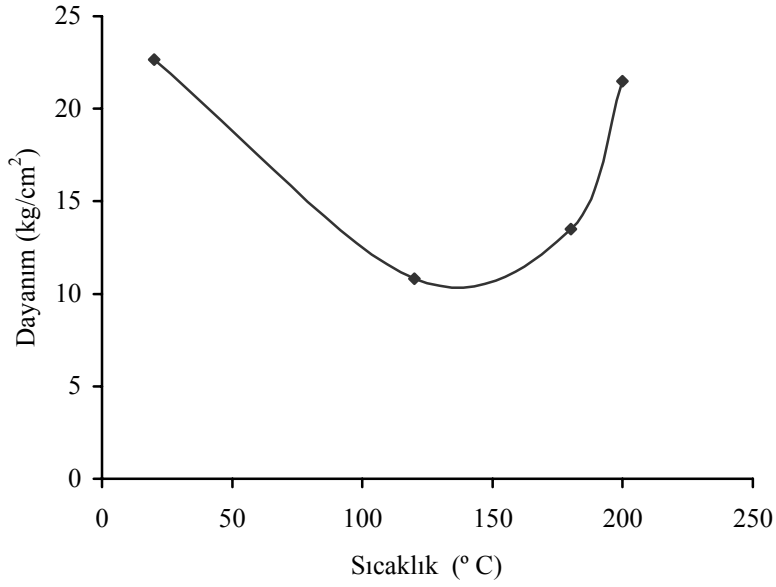
Şekil 4.84. %70PK(0/4)+%30PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



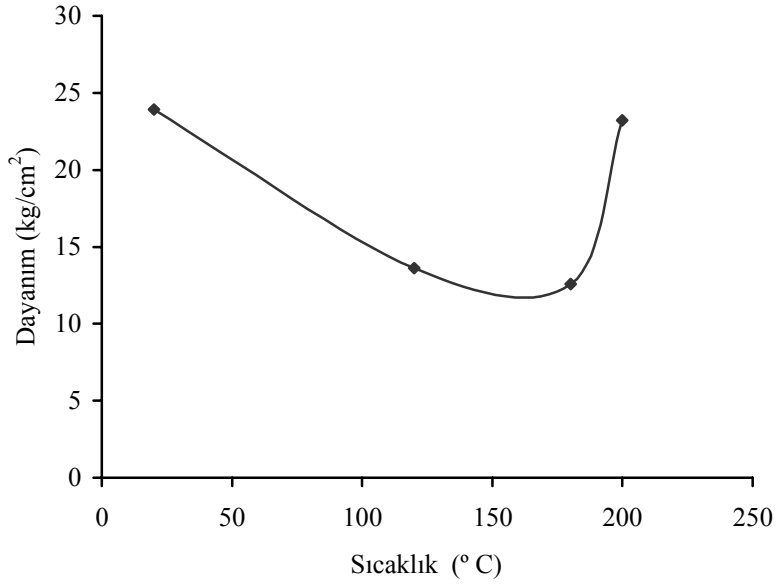
Şekil 4.85. %60PK(0/4)+%40PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



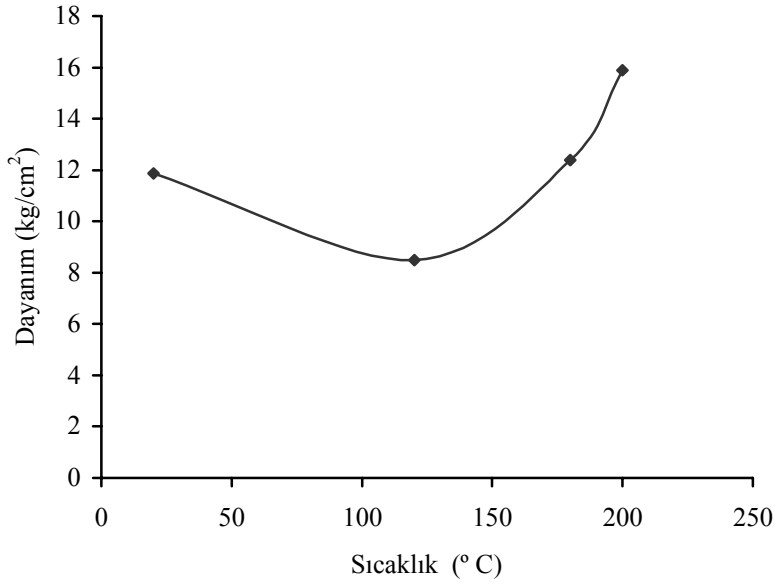
Şekil 4.86. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



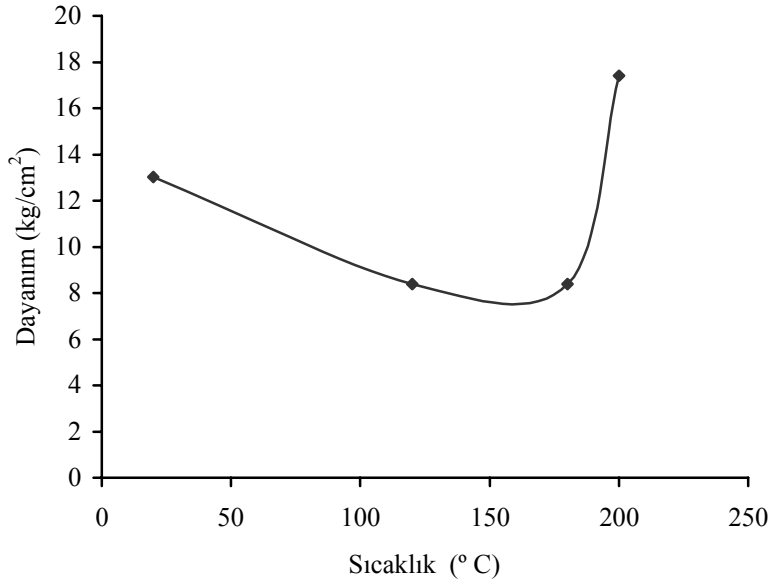
Şekil 4.87. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



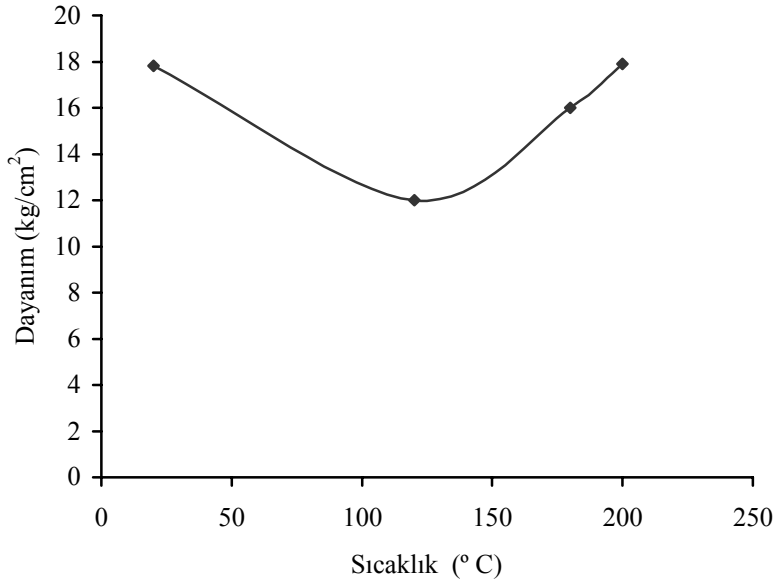
Şekil 4.88. %50PK(0/4)+%50PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



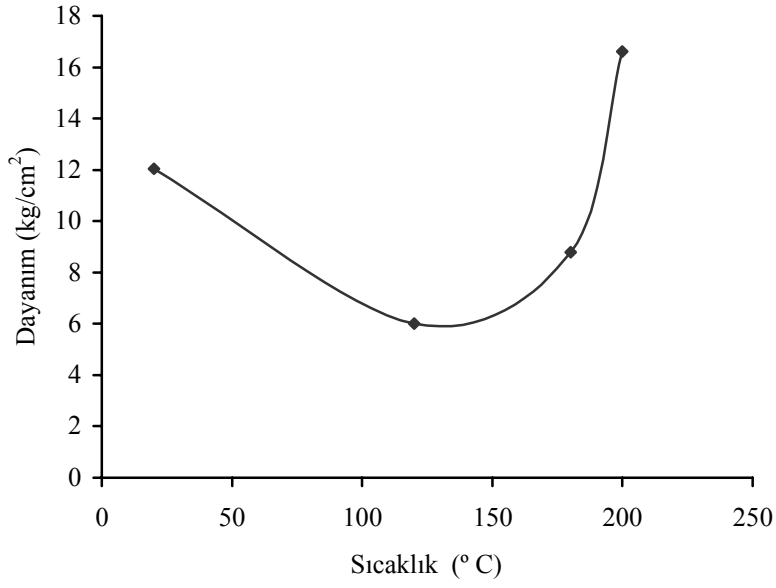
Şekil 4.89. %40PK(0/4)+%60PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



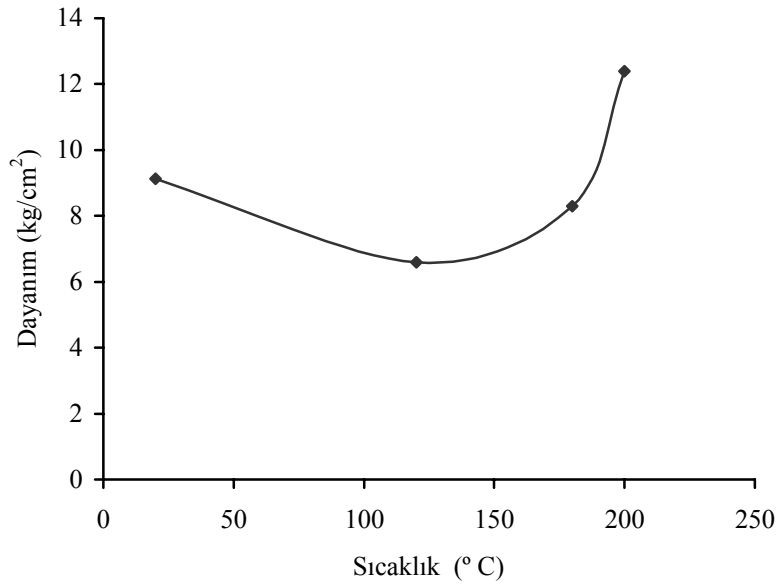
Şekil 4.90. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



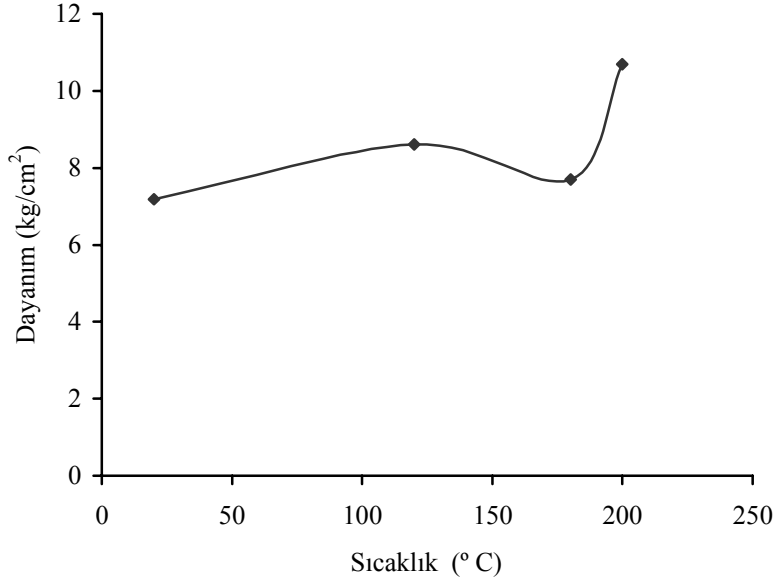
Şekil 4.91. %30PK(0/4)+%70PK(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



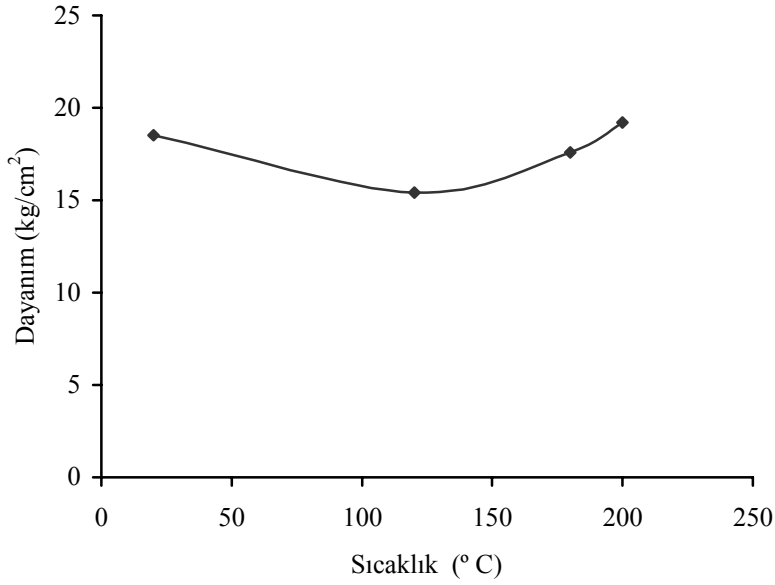
Şekil 4.92. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PK(8/16)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.93. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PK(8/16)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



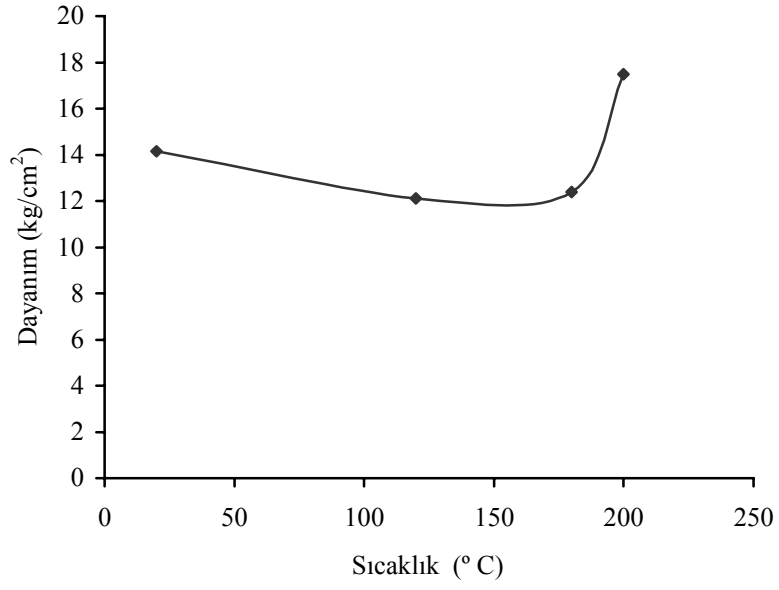
Şekil 4.94. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



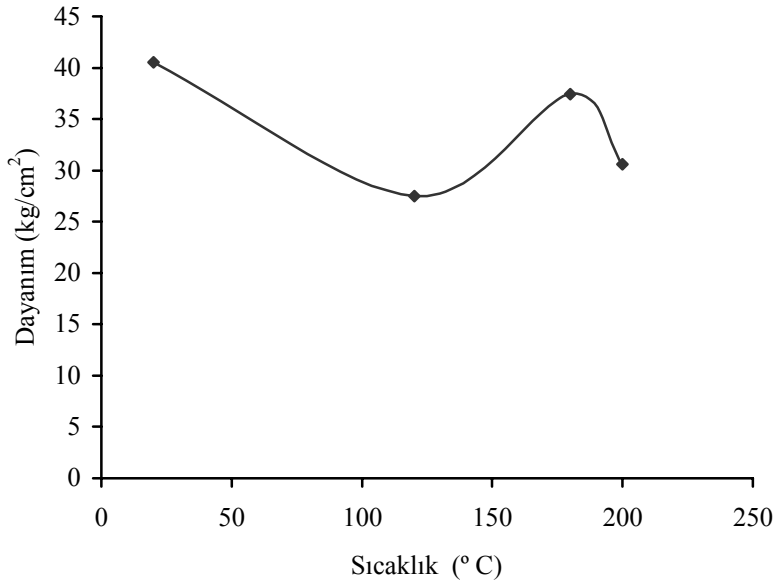
Şekil 4.95. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PK(8/16)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği

Hafif beton numunelerine ait ilk 24 seri, sadece Kayseri-Talas pomzasının değişik fraksiyonlarının belirli oranlarda imento ile karıştırılması sonucu elde edilmiştir. Yani bu seriler, agrega olarak yalnızca Kayseri-Talas pomzasını temsil etmektedir. Bu serilere ait sıcaklığa bağlı tek eksenli basınç dayanım değeri değişimleri incelendiğinde, grafiklerin genel olarak lineer dağılım göstermeyen, kısmen polinomial karakteristikte bir trend olduğu görülmektedir. Tek eksenli basınç dayanımın bazen 120°C bazen de 180°C sıcaklık uygulamasından sonra minimum değer aldığı anlaşılmaktadır. 200°C sıcaklık uygulanması sonrası elde edilen dayanım değerlerinin genel olarak 120°C ve 180°C’de elde edilen dayanım değerlerinden daha yüksek olduğu da grafiklerden anlaşılmaktadır. Burada ayrıca 200°C’deki dayanım değerlerinin genel olarak 28 günlük doğal ortam kürlenmesinden sonra elde edilen dayanım değerlerinden düşük olmadığı, hatta bazı serilerde yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 200°C sıcaklık uygulamasından sonra, 28 günlük doğal ortam kürlenmesinden sonra elde edilen dayanım değerlerine göre, ilk 24 seriden 12’sinde dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir.

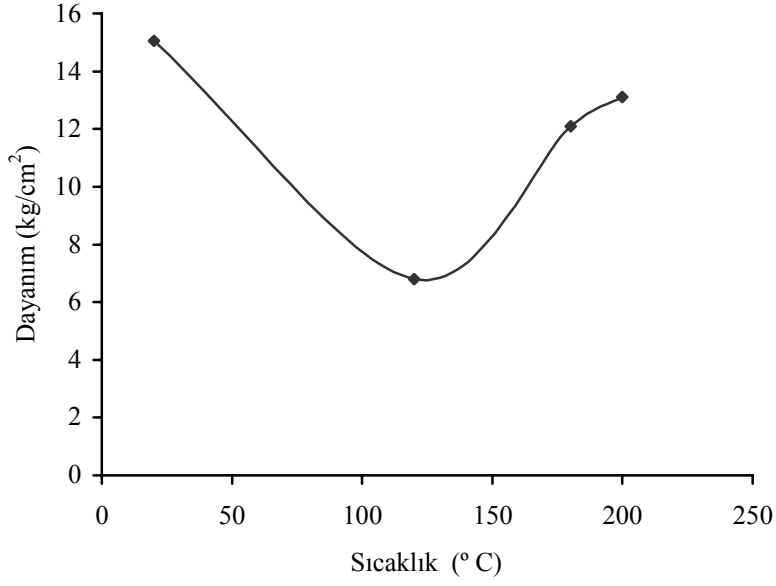
Bu durumda, Kayseri-Talas pomzasının değişik kombinasyonlarından oluşan bu ilk 24 seri için, genel olarak 120°C ve 180°C sıcaklık uygulamasının dayanımı düşürdüğü, 200°C sıcaklık uygulamasının ise dayanımı düşürücü etkisinin daha az olduğu anlaşılmaktadır. Yani Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif betonların 120°C sıcaklık uygulamasından itibaren dayanımlarının düşmeye başladığı, bu düşüşün 180 °C sıcaklık değerlerinde de devam ettiği anlaşılmaktadır.



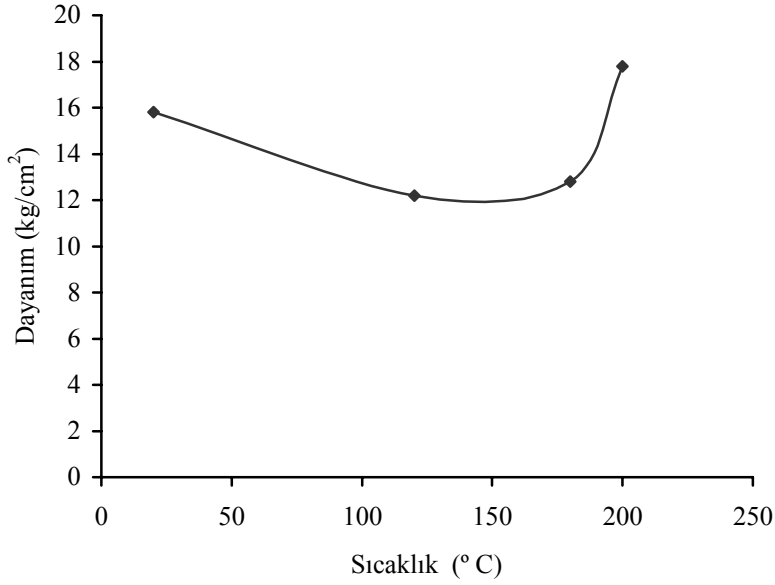
Şekil 4.96. %70PK(0/4)+%30PN(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



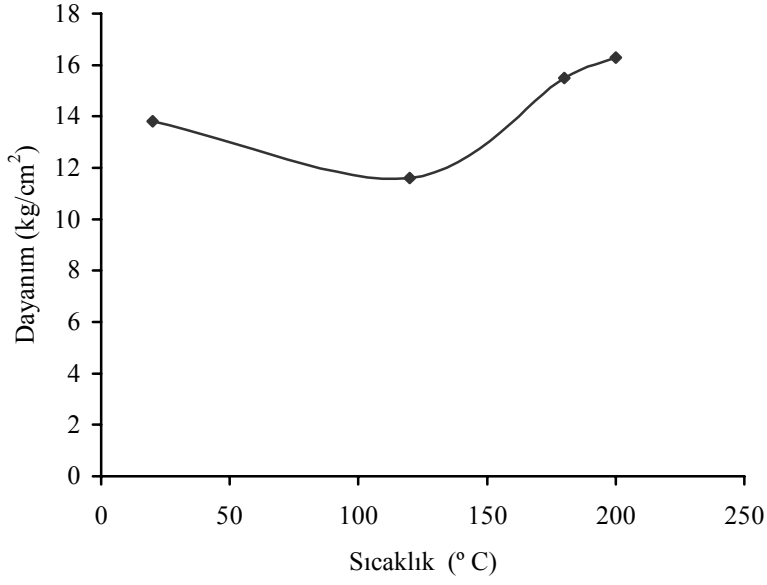
Şekil 4.97. %60PK(0/4)+%40PN(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



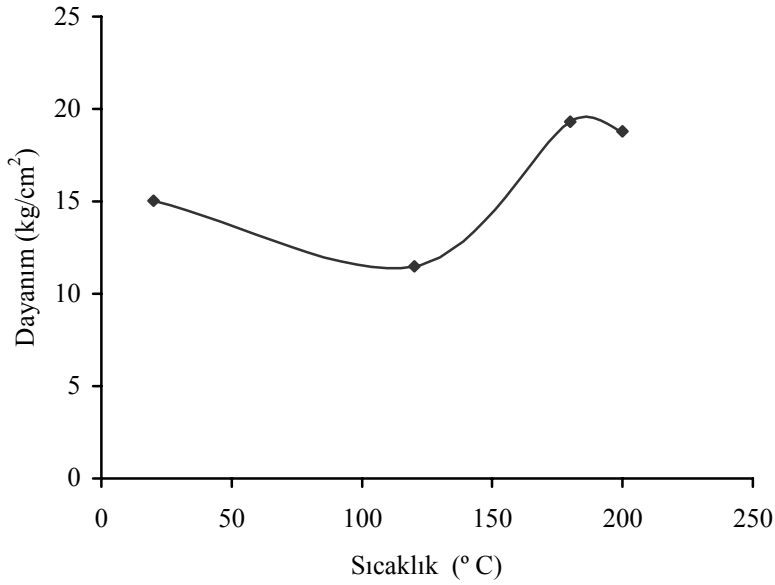
Şekil 4.98. %50PK(0/4)+%50PN(4/8)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



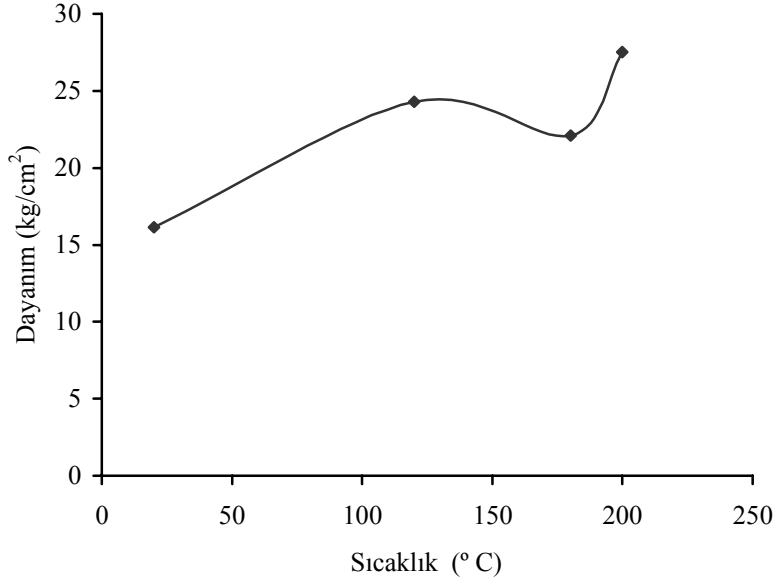
Şekil 4.99. %50PK(0/4)+%50PN(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



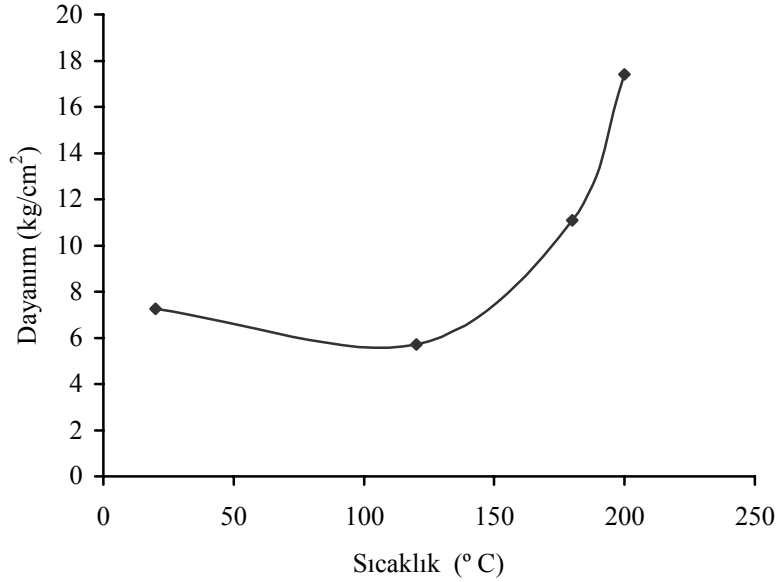
Şekil 4.100. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



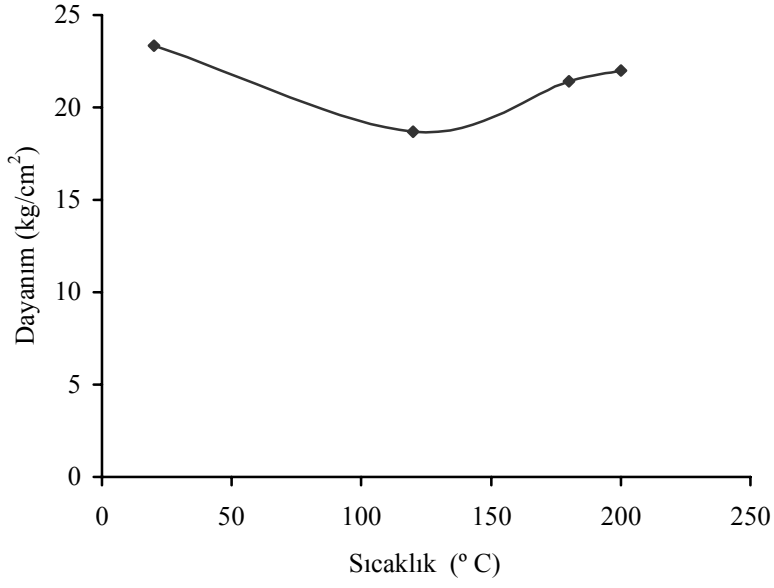
Şekil 4.101. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



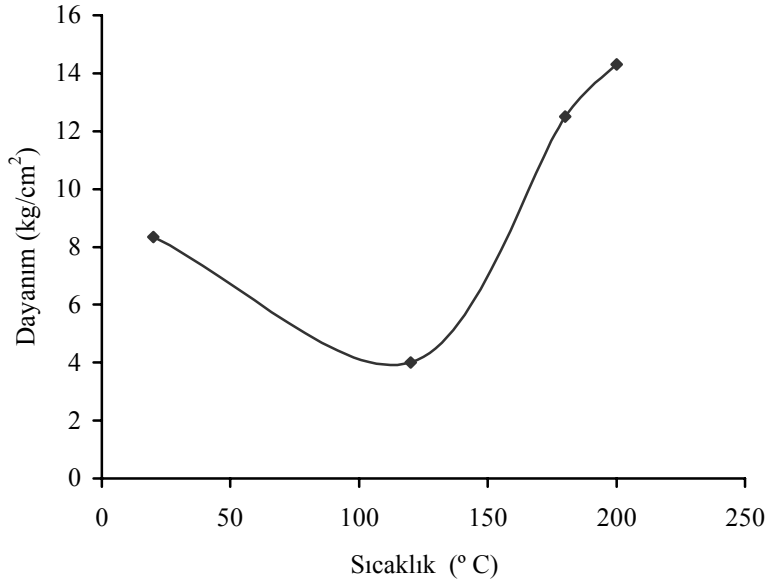
Şekil 4.102. %70PK(0/4)+%15PK(4/8)+%15PN(8/16)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



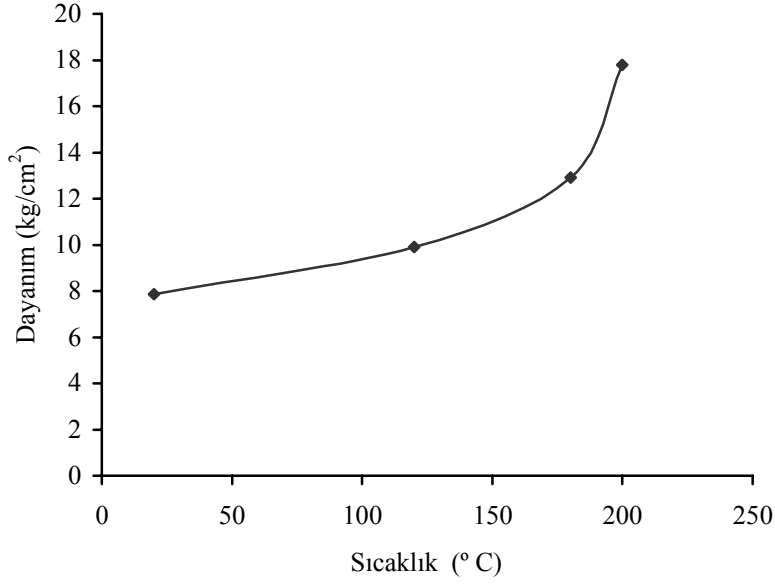
Şekil 4.103. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PN(8/16)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



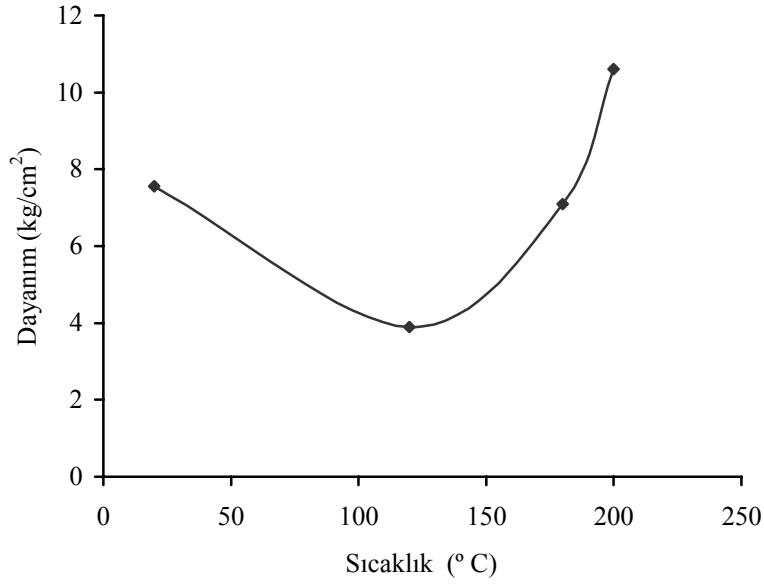
Şekil 4.104. %60PK(0/4)+%20PK(4/8)+%20PN(8/16)+%8ÇP karışım kompozisyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.105. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PN(8/16)+%6ÇP kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği

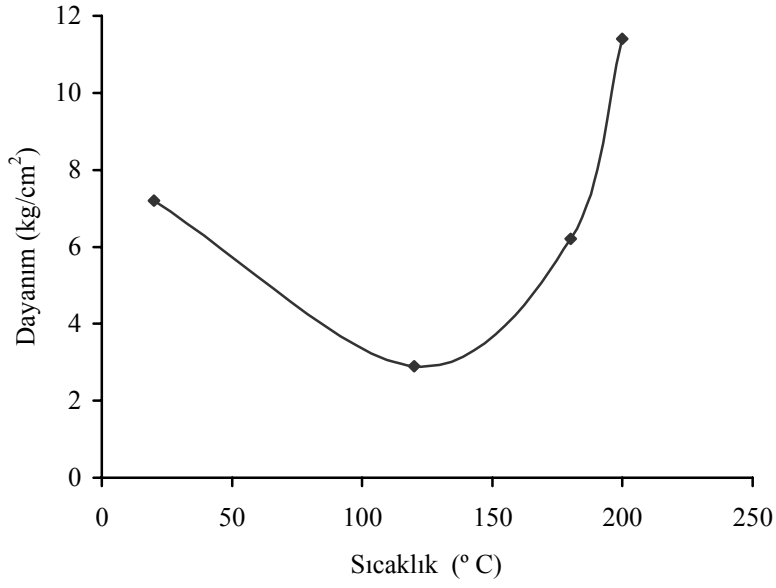


Şekil 4.106. %50PK(0/4)+%25PK(4/8)+%25PN(8/16)+%8ÇP kombinasyonuna ait

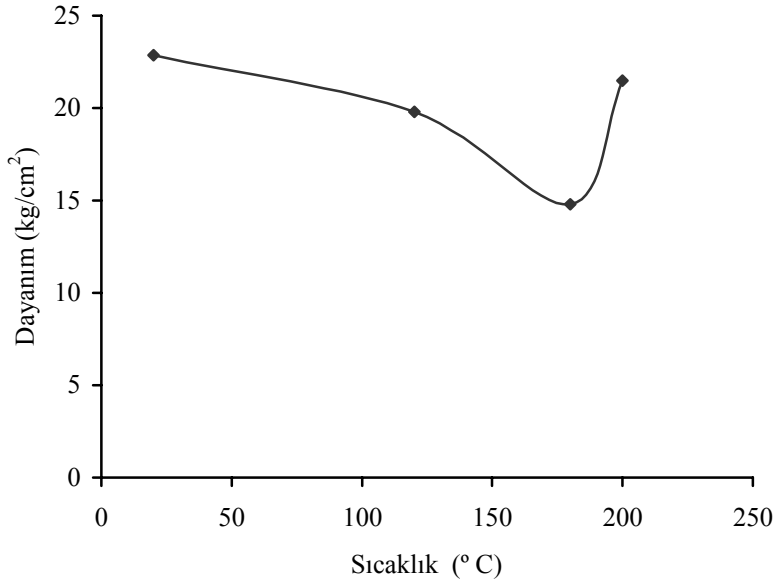


sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği

Şekil 4.107. %70PK(0/4)+%30PN(0/4)+%6ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.108. %70PK(0/4)+%30PN(0/4)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



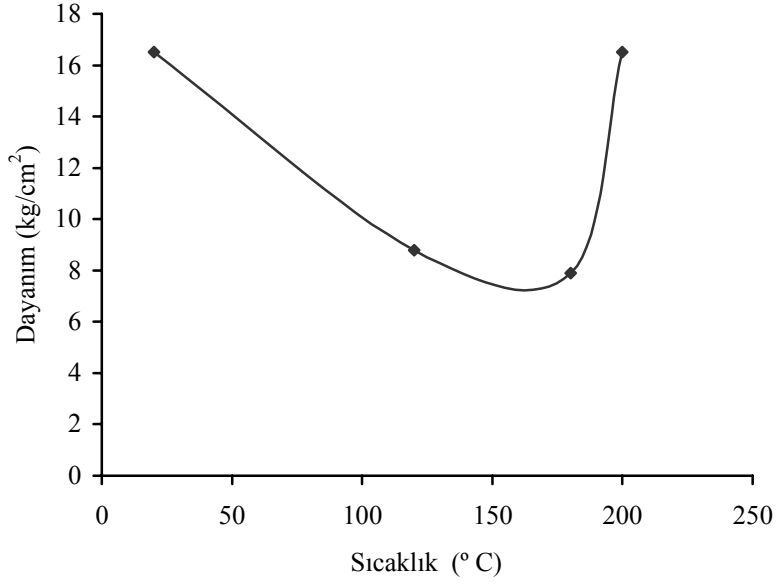
Şekil 4.109. %60PK(0/4)+%40PN(0/4)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği

İlk 24 seriden sonra gelen ve 52. seriye kadar olan 27 adet seri, Kayseri-Talas pomzası ile Nevşehir-Göre pomzasının değişik granülometrik bileşimlerinin üç ayrı çimento oranında karıştırılmasıyla oluşan serilerdir. Diğer bir deyişle bu seriler, agrega olarak Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas pomzası karışımını temsil etmektedir.

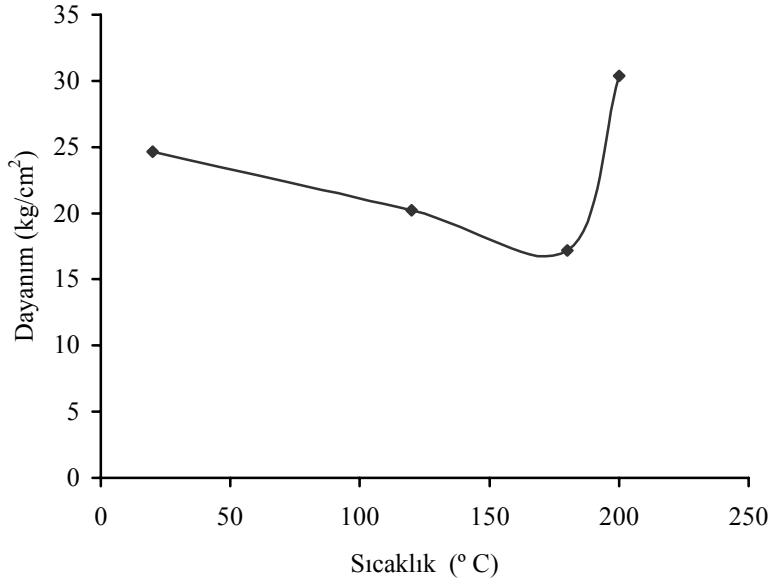
Bu karışım gruplarının sıcaklık etkisindeki basınç dayanım değeri değişimlerinde de ilk 24 seride olduğu gibi, 120°C ve 180°C sıcaklık uygulamalarından sonra düşüşler görülmektedir. Ancak, burada 120°C sıcaklık uygulamasından sonraki dayanım değeri düşüşleri daha belirgin olarak görülmektedir. Dayanım değerleri serilerin çoğunluğunda, 120°C sıcaklık uygulamasından sonra düşüş göstermektedir. 180 ve 200°C sıcaklık uygulamalarından sonra ise genel bir yükseliş trendi görülmektedir. Elde edilen basınç dayanım değerleri kıyaslandığında, 200°C sıcaklık uygulamasından sonra Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas karışımından oluşan bu 27 seriden 21'nin basınç dayanım değerinin, 28 günlük kür sonucu elde edilen basınç dayanım değerlerine göre arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda, 200°C sıcaklık uygulamasının bu seriler üzerinde dayanımı artırıcı etki yarattığı 120°C sıcaklık uygulamasının ise dayanımı azaltıcı etki yaptığını söylemek mümkün görünmektedir.

İlk 24 seriden farklı olarak, Kayseri-Talas pomzasına, Nevşehir-Göre pomzası ilave edilmesiyle oluşturulan bu serilerde, dayanım değeri, 120°C sıcaklık uygulamasında, aynı ilk 24 seride olduğu gibi minimum değerler almaktadır. 180°C ve 200°C sıcaklık uygulamalarında ise ilk 24 seriden farklı olarak, muhtemelen karışımlardaki Nevşehir-Göre pomzası nedeniyle dayanım değerlerinde artışlar görülmektedir. Bu durum, sıcaklık etkisine dayanım açısından, Nevşehir-Göre pomzasının Kayseri-Talas pomzası ile birlikte hafif agrega olarak kullanımının, tek başına Kayseri-Talas pomzası kullanımına göre daha avantajlı olduğunu söylemek mümkündür.

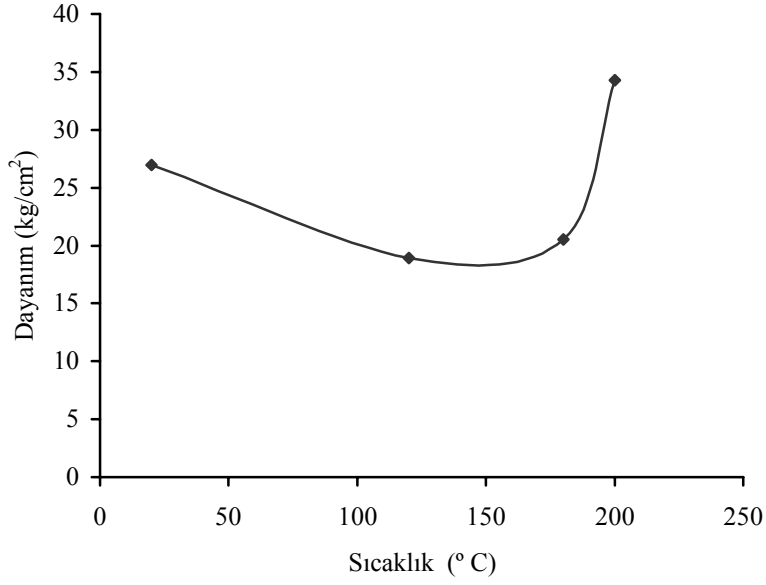
Araştırmada analiz edilen diğer karışım kombinasyonlarına ait sıcaklık-dayanım ilişkisini gösteren grafikler ise Şekil 4.110.- Şekil 4.117. arasında verilmiştir.



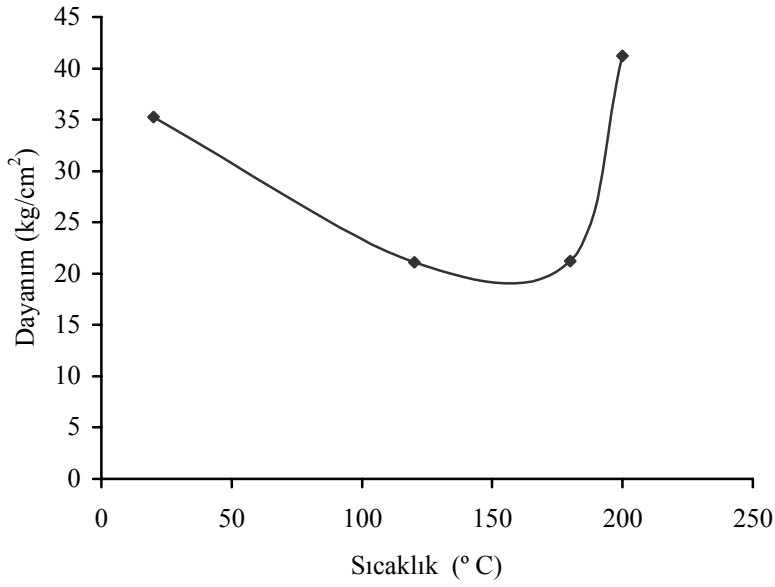
Şekil 4.110. %100PM(0/4)+ %8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



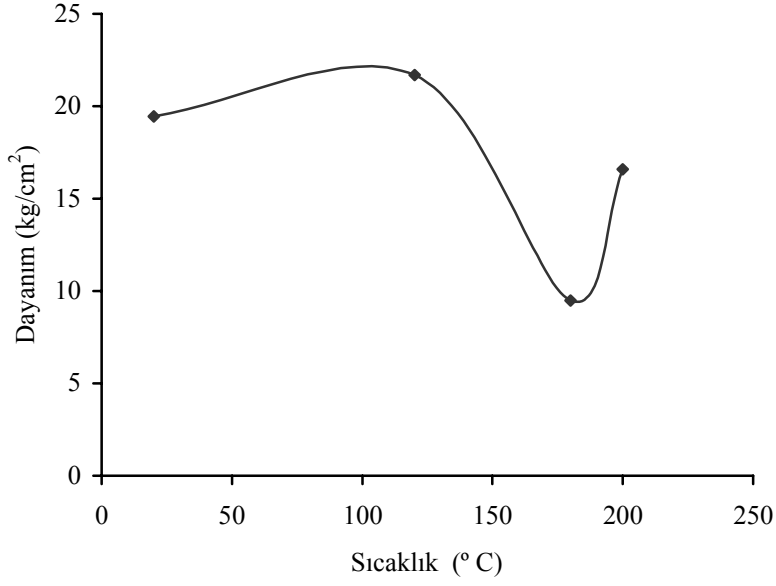
Şekil 4.111. %100PM(0/4)+ %10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



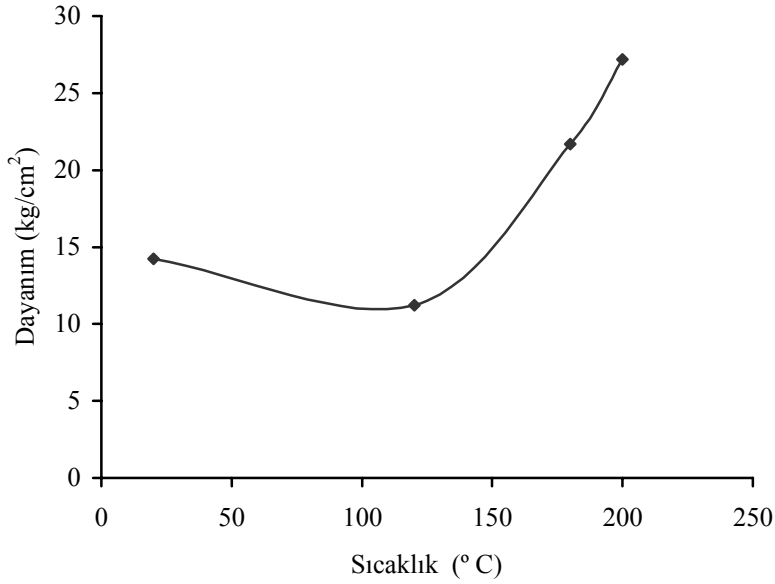
Şekil 4.112. %80PM(0/4)+ %20PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



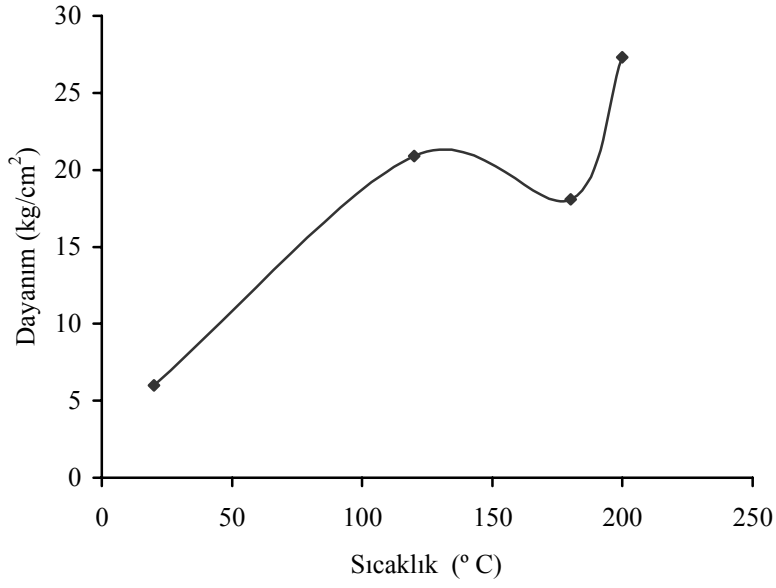
Şekil 4.113. %70PM(0/4)+%30PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



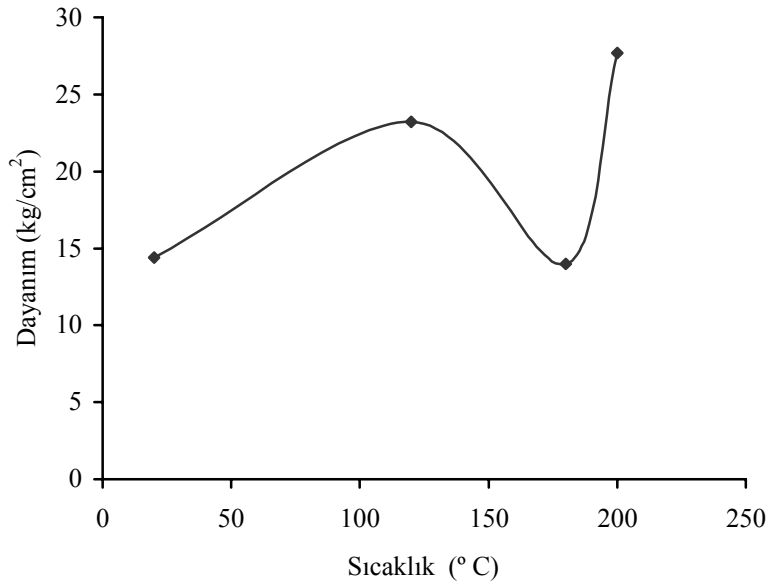
Şekil 4.114. %50PM(0/4)+%50PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.115. %40PM(0/4)+ %60PM(4/8)+%8ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.116. %20PM(0/4)+%80PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği



Şekil 4.117. %100PM(4/8)+%10ÇP karışım kombinasyonuna ait sıcaklık-dayanım ilişkisi grafiği

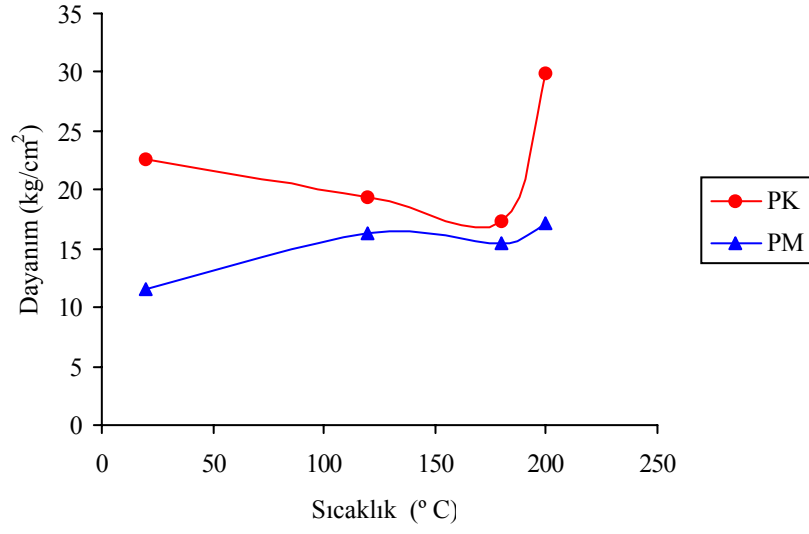
52. seriden 78. seriye kadar olan 27 adet seri, İzmir-Menderes perlitik pomzasının değişik granülometrik bileşimlerinin üç ayrı çimento oranında analiz edilen serilerdir. Bu seriler, agrega olarak sadece İzmir-Menderes perlitik pomzasını temsil etmektedir.

Bu serilerde de ilk 24 seride olduğu gibi 120°C ya da 180°C sıcaklık uygulamalarından sonra dayanım değerlerinde düşüşler oluşmaktadır. Ancak 200°C sıcaklık uygulamasından sonra dayanım değerlerinde artışlar görülmektedir.

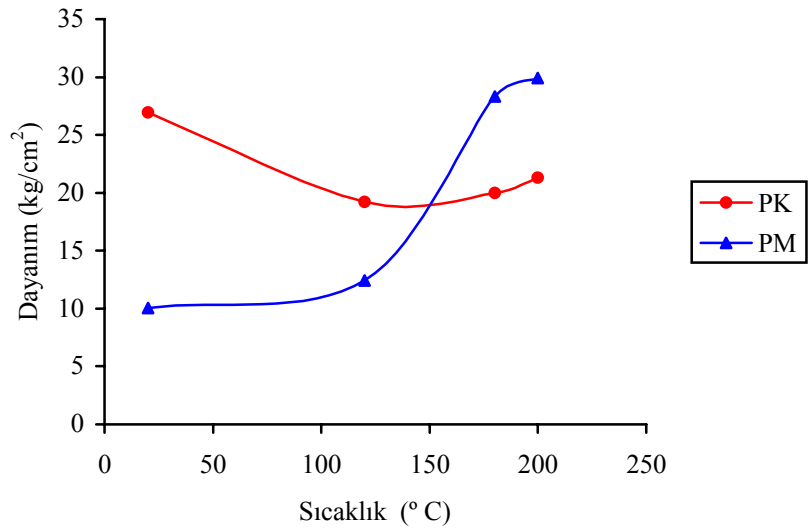
4.2.10. Hafif Beton Numunelerinde Kullanılan Pomza Türlerinin Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği

Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası kullanılarak üretilen 78 farklı hafif beton numunesi üzerinde, KBHA, su emme, dayanım, sıcaklık etkisinde dayanım ve KBHA değişimi gibi analizler yapıldıktan sonra, elde edilen bulgulara göre, hafif beton numunelerinde kullanılan pomza türlerini birbirleri ile karşılaştırabilmek amacıyla bazı analizler yapılmıştır. Bu amaçla, üzerinde çalışma yapılan 26 ayrı karışım grubu içerisinde, aynı karışım oranlarına sahip karışım gruplarının kıyaslamalı olarak, sıcaklık-dayanım grafikleri çizilmiştir.

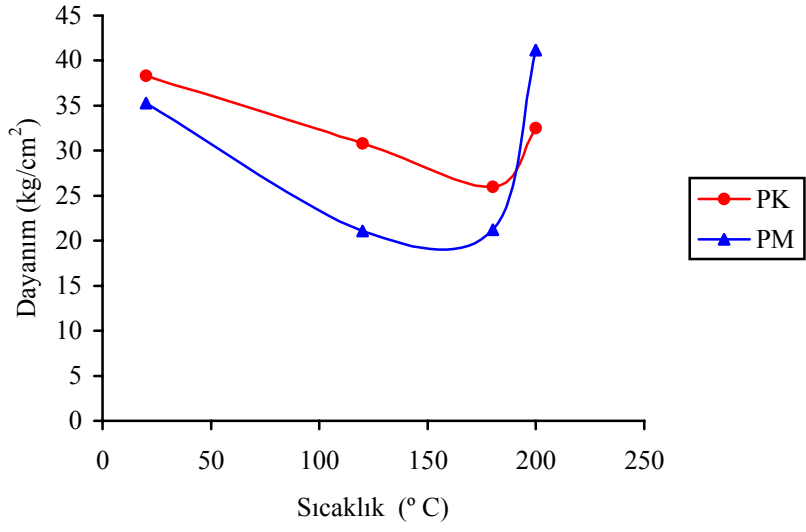
Çalışmada belirlenen 26 karışım grubundan, ilk 5 karışım grubu ile 20, 21, 22, 23 ve 24. karışım gruplarının karışım oranlarının aynı olduğu görülmektedir. Bu karışım gruplarından ilk 5'i Kayseri-Talas pomzasına aittir. 20, 21, 22, 23 ve 24. karışım grupları ise İzmir-Menderes perlitik pomzasına aittir. Burada aynı karışım oranlarına sahip Kayseri-Talas pomzası ile İzmir-Menderes perlitik pomzası sıcaklık-dayanım açısından kıyaslamak mümkün görünmektedir. Bu amaçla, 5 karışım grubuna ait 3 ayrı çimento oranında dökümü yapılmış, 15 seri hafif beton numunesinden elde edilen verilere göre çizilmiş, kıyaslamalı sıcaklık-dayanım grafikleri aşağıda verilmiştir.



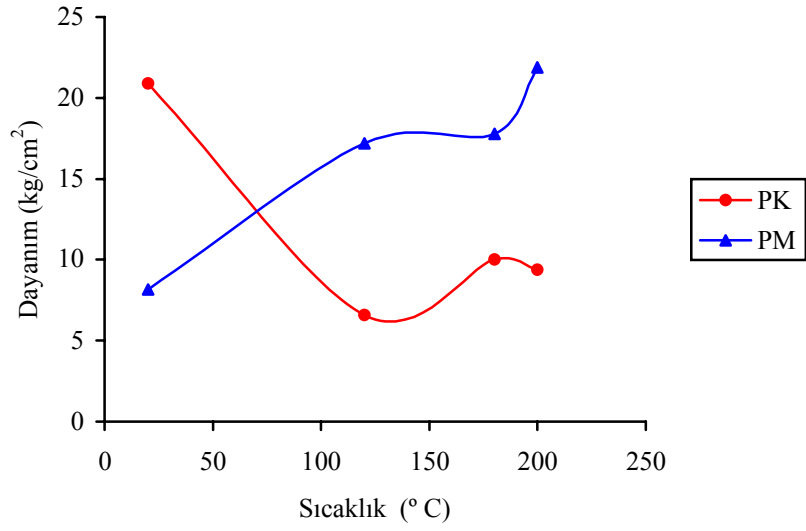
Şekil 4.118. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 1-Karışım 20 kıyaslaması, hacimce %6 ÇP)



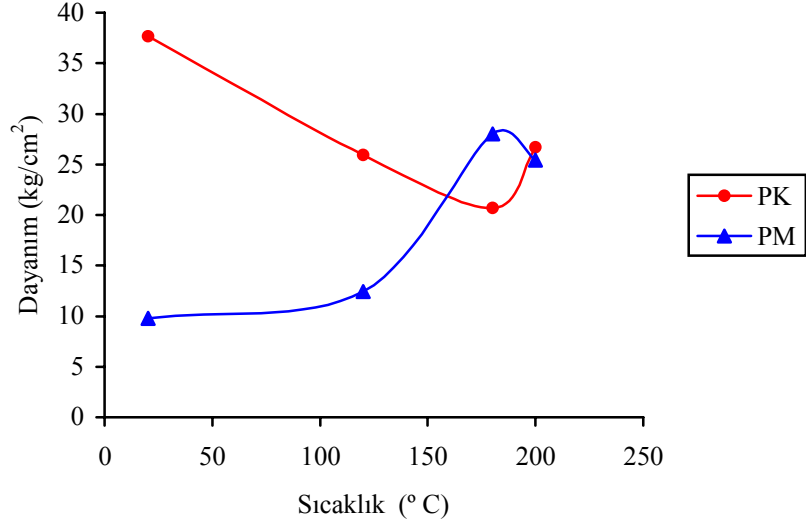
Şekil 4.119. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 1-Karışım 20 kıyaslaması, hacimce %8 ÇP)



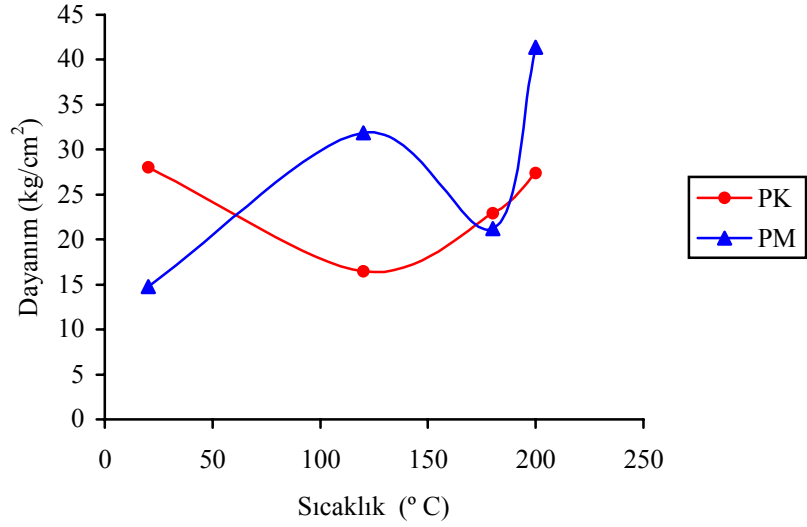
Şekil 4.120. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 1-Karışım 20 kıyaslaması, hacimce %10 ÇP)



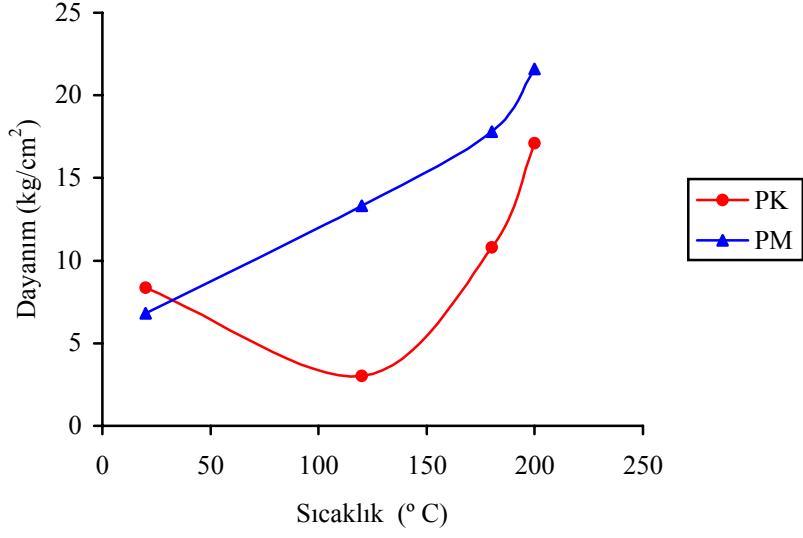
Şekil 4.121. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 2-Karışım 21 kıyaslaması, hacimce %6 ÇP)



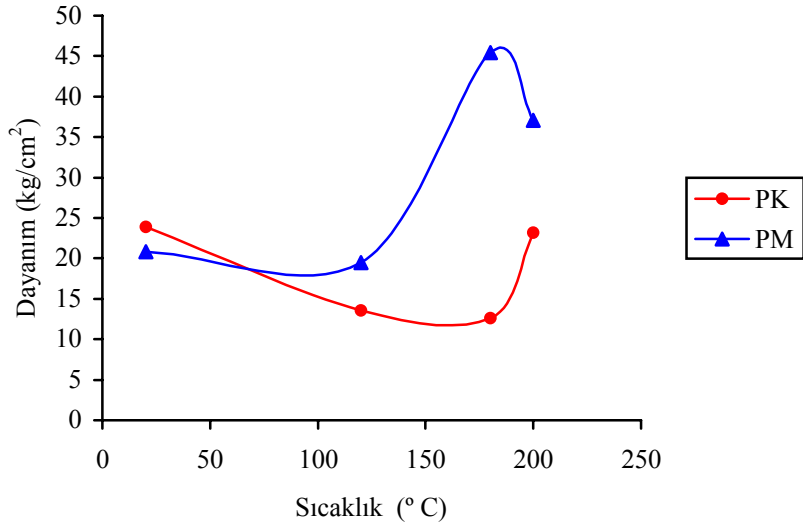
Şekil 4.122. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 2-Karışım 21 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)



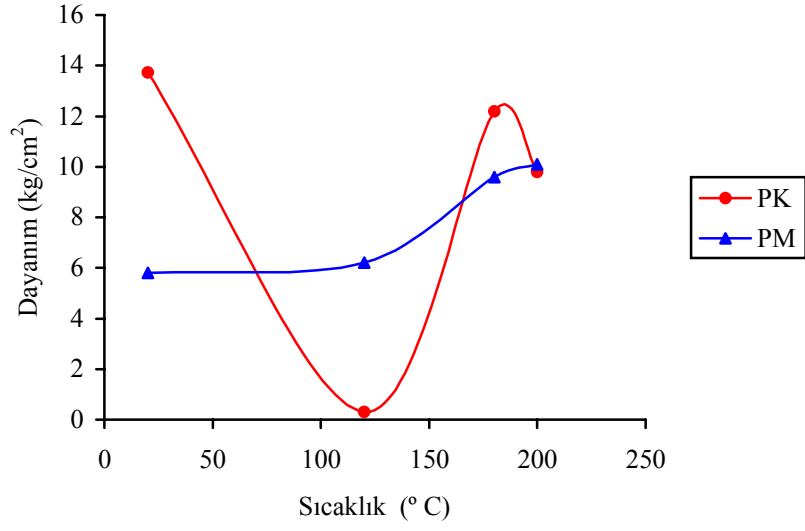
Şekil 4.123. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 2-Karışım 21 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)



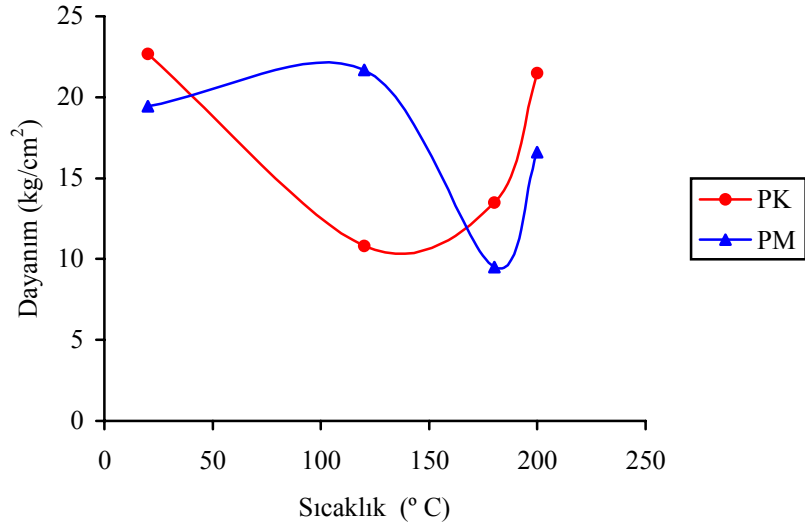
Şekil 4.124. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 3-Karışım 22 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)



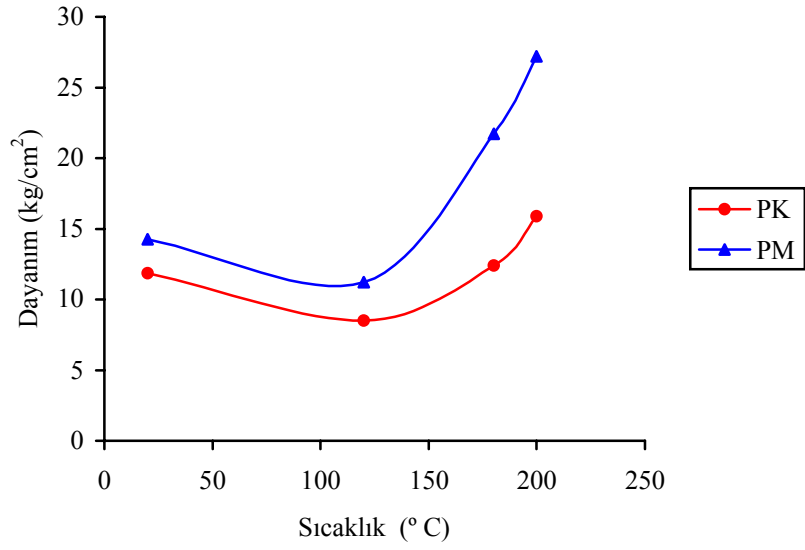
Şekil 4.125. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 3-Karışım 22 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)



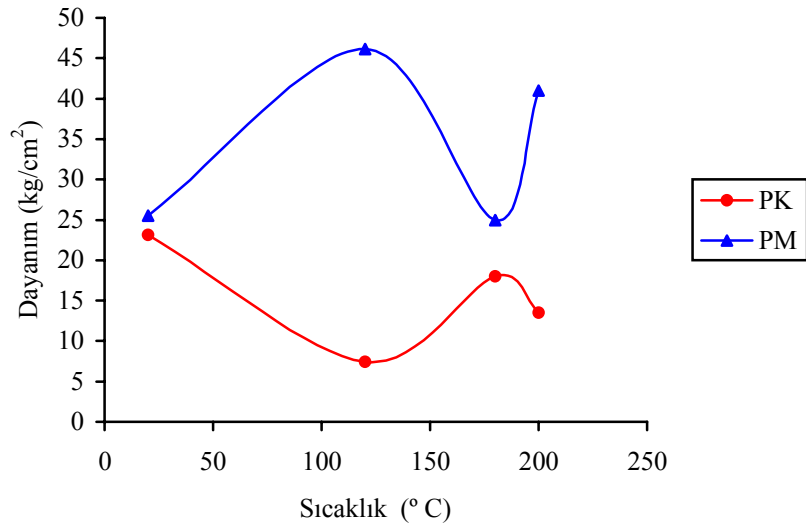
Şekil 4.126. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 3-Karışım 22 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)



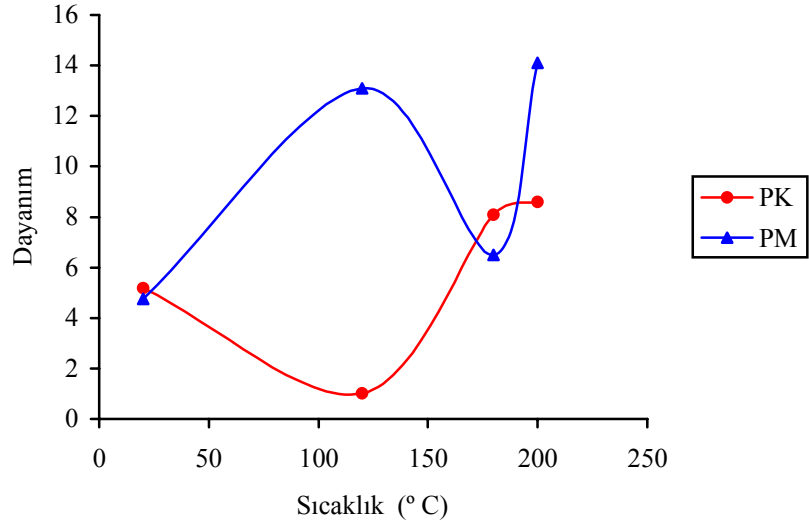
Şekil 4.127. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 4-Karışım 23 kıyaslaması, hacimce %6 ÇP)



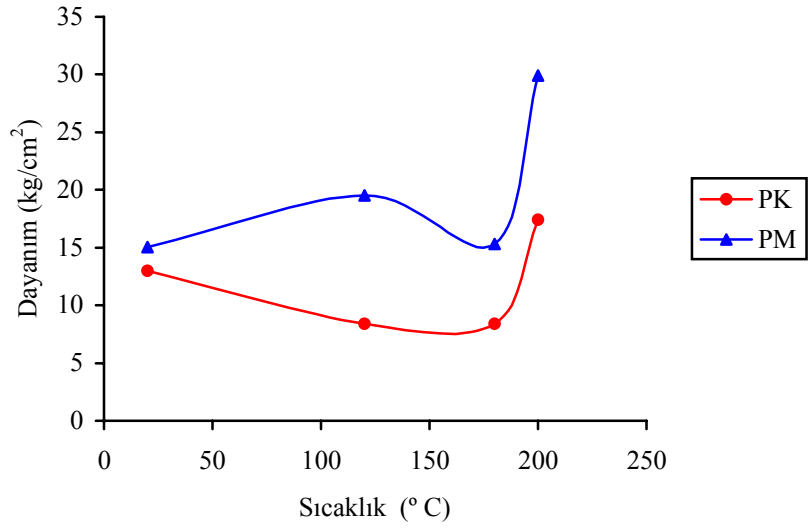
Şekil 4.128. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 4-Karışım 23 kıyaslaması, hacimce %8 ÇP)



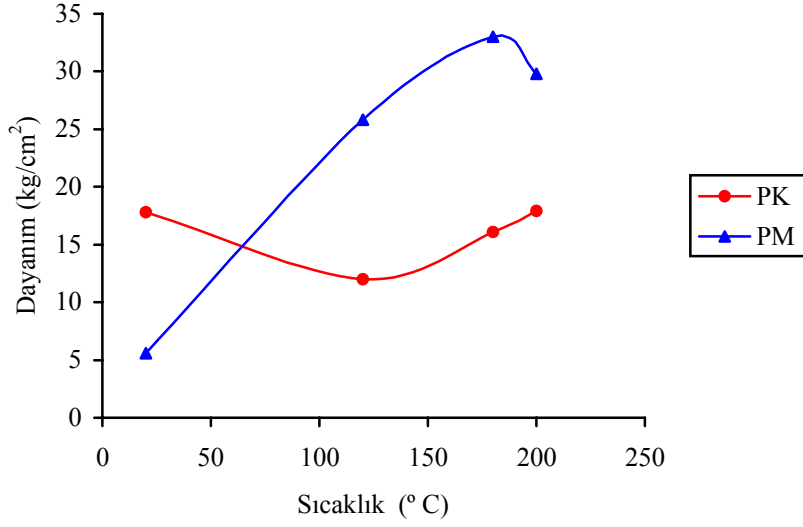
Şekil 4.129. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 4-Karışım 23 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)



Şekil 4.130. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 5-Karışım 24 kıyaslaması, hacimce %6 ÇP)



Şekil 4.131. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 5-Karışım 24 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)



Şekil 4.132. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PM'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 5-Karışım 24 kıyaslaması, hacimce %10 ÇP)

Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının aynı granülometrik bileşimde kullanıldığı hafif beton numunelerine ait karşılaştırmalı sıcaklık-dayanım grafikleri incelendiğinde, farklı çıkarımlar elde edilebilmektedir.

Grafiksel analizlere göre, genel olarak çimento oranı arttıkça her iki türe ait, sıcaklık etkisindeki basınç dayanım değerlerinin arttığı görülmektedir.

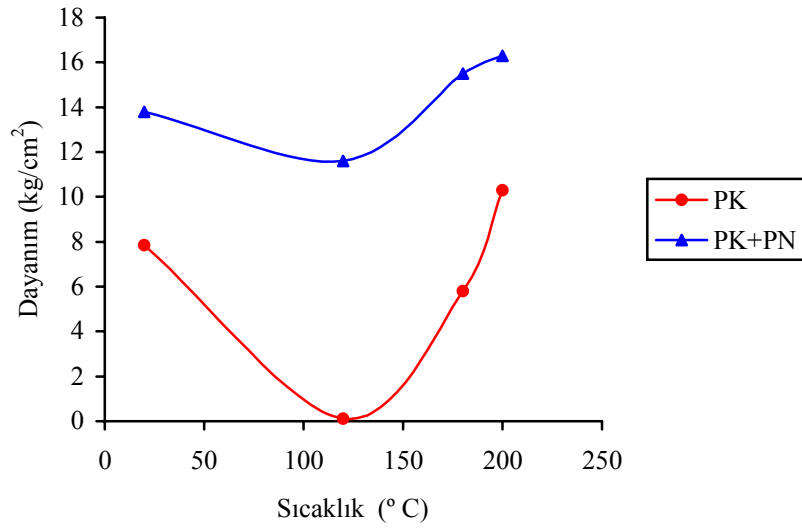
Kıyaslama yapılan 5 karışım grubunda da İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinde, Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif beton numunelerine göre, sıcaklık uygulaması sonucu dayanım değerlerinde oldukça yüksek artışlar görülmektedir. Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif beton numunelerinde genel olarak benzer bir eğilim görülmemektedir.

İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine ait serilerin çoğunluğunda, 200°C'deki dayanım değeri, 28 günlük külden sonra ölçülen ilk dayanım değerinden yüksektir. Kayseri-Talas pomzasından elde edilen aynı karışım oranına sahip hafif beton serilerinde ise genel olarak bunun tersi bir durum görülmektedir. 200°C'deki dayanım değerleri, 28 günlük külden sonra ölçülen ilk dayanım değerlerinden daha düşüktür.

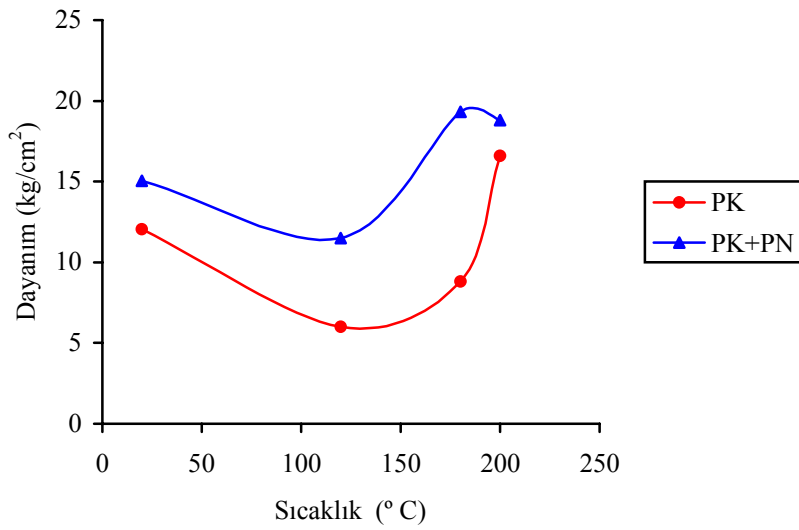
Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine ait seriler arasında bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından değerlendirme yapıldığında, 28 günlük külden sonra elde edilen basınç dayanım değerlerine göre en uygun karışım gruplarının 1, 2, 3, 4, 20 ve 23. karışım grupları olduğu görülmektedir.

Aynı değerlendirme sıcaklık etkisindeki dayanım değerlerine göre yapıldığında, en uygun karışım gruplarının 1, 2, 20, 21. karışım grupları olduğu görülmektedir. Çünkü bu karışım gruplarında genel olarak 25 kg/cm^2 'nin üzerinde dayanım değerleri elde edildiği verilerden tanımlanabilmektedir. Bu karışım grupları, Kayseri-Talas pomzasının %70 0/4 mm + %30 4/8 mm ve %60 0/4 mm + %40 4/8 mm ile İzmir Menderes perlitik pomzasının %70 0/4 mm + %30 4/8 mm ve %60 0/4 mm + %40 4/8 mm karışımlarından oluşmaktadır. Diğer karışım gruplarına ait serilerinde, genel olarak 25 kg/cm^2 'nin üzerinde dayanım değeri görülmemektedir. Sadece İzmir-Menderes pomzasına ait 22, 23 ve 24. karışım gruplarının %10 çimento oranlı serilerinde 25 kg/cm^2 'nin üzerinde dayanım değerleri ölçülmüştür.

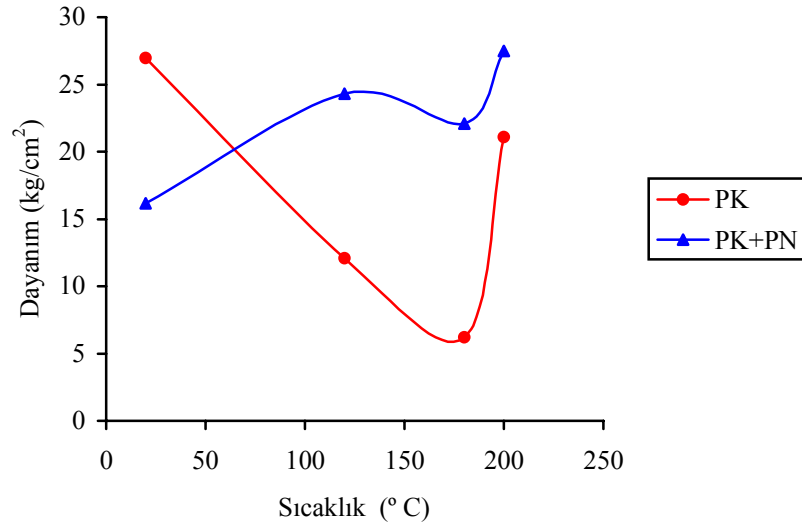
Çalışmada irdelenen 26 karışım grubundan, karışım oranlarına göre karşılaştırma yapılabilecek diğer karışım grupları ise, 6, 7, 8, 12, 13 ve 14. karışım gruplarıdır. Bu karışım gruplarından 6, 7, 8. karışım grupları Kayseri-Talas pomzasına aittir. 12, 13 ve 14. karışım grupları ise Kayseri-Talas pomzası ile Nevşehir-Göre pomzası karışımından oluşmaktadır. Burada aynı karışım oranlarına sahip, tamamı Kayseri-Talas pomzası ile üretilmiş hafif beton ile Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası karıştırılması ile elde edilen hafif betonun sıcaklık-dayanım açısından kıyaslaması mümkün görünmektedir. Bu amaçla, bu karışım gruplarının 3 ayrı çimento oranında dökümü yapılmasıyla elde edilen 9 seri hafif beton numunesinden elde edilen verilere göre çizilmiş, kıyaslamalı sıcaklık-dayanım grafikleri, Şekil 4.133.-Şekil 4.141'de verilmiştir.



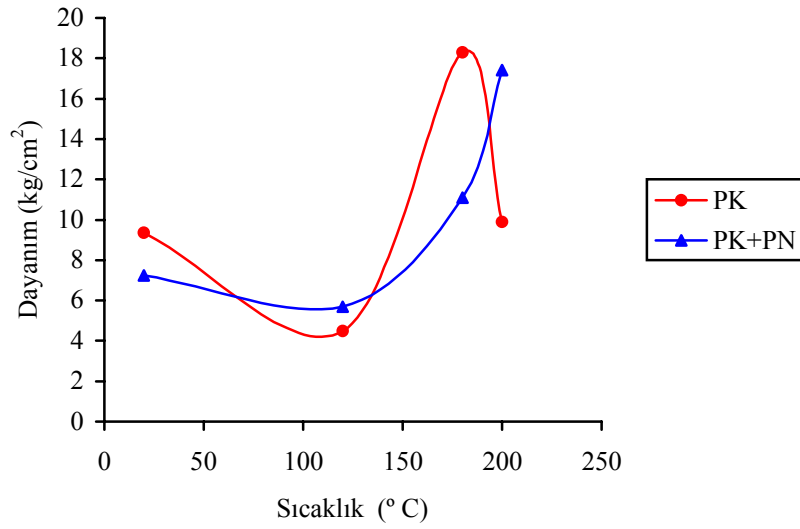
Şekil 4.133. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 6-Karışım 12 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)



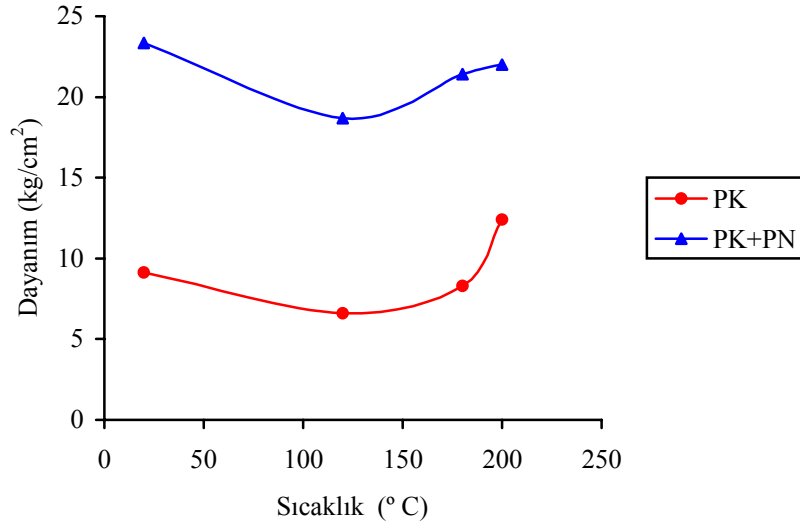
Şekil 4.134. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 6-Karışım 12 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)



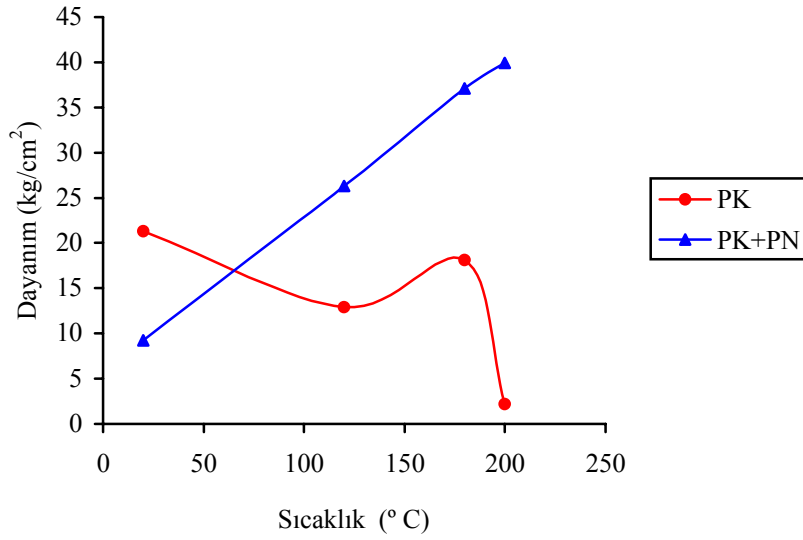
Şekil 4.135. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 6-Karışım 12 kıyaslaması, hacimce%10 ÇP)



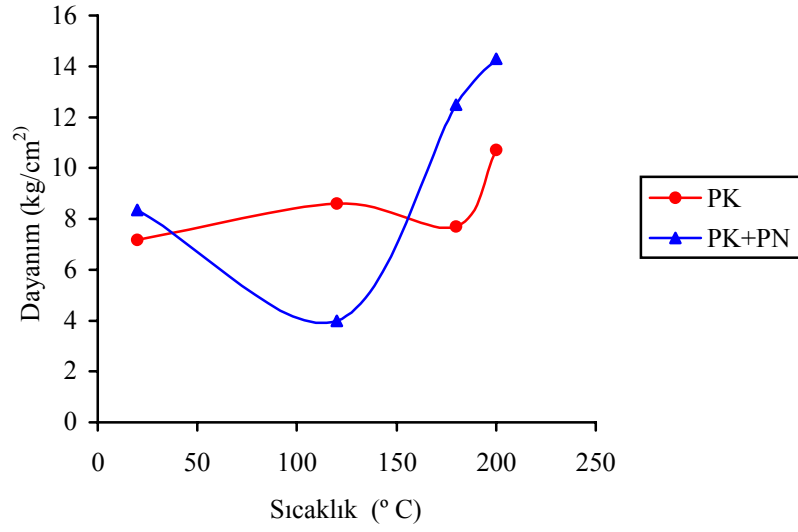
Şekil 4.136. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 7-Karışım 13 kıyaslaması, hacimce %6 ÇP)



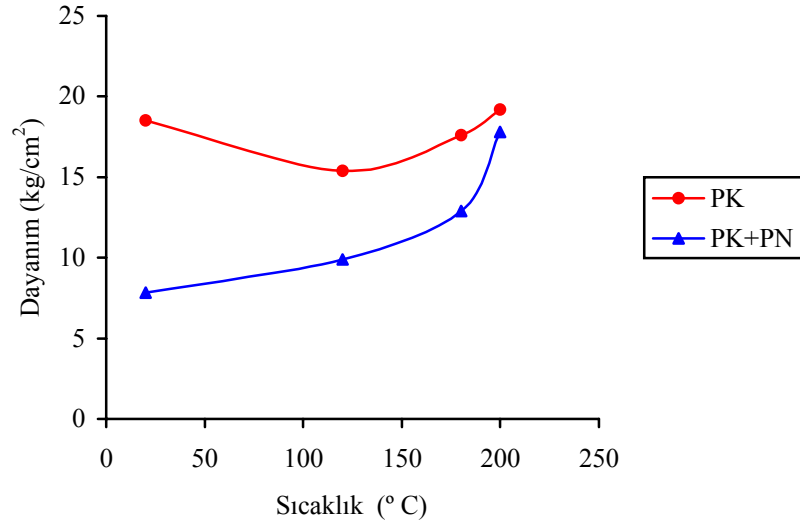
Şekil 4.137. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 7-Karışım 13 kıyaslaması, hacimce %8 ÇP)



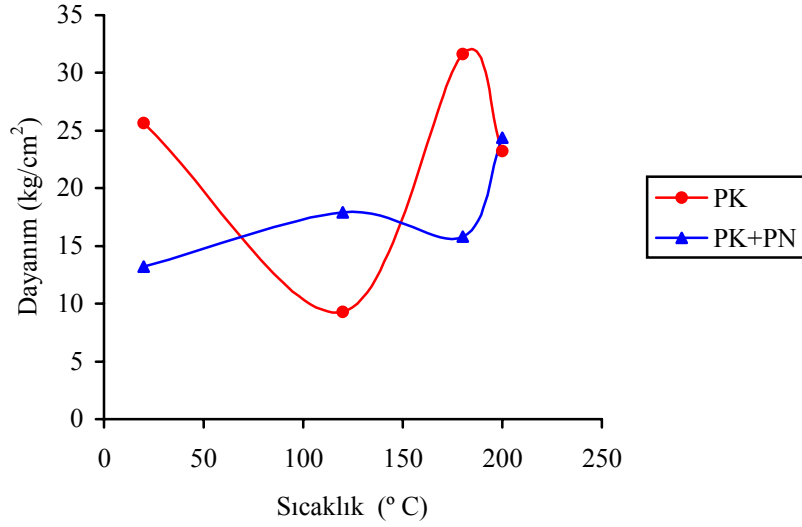
Şekil 4.138. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 7-Karışım 13 kıyaslaması, hacimce %10 ÇP)



Şekil 4.139. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 8-Karışım 14 kıyaslaması, hacimce%6 ÇP)



Şekil 4.140. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 8-Karışım 14 kıyaslaması, hacimce%8 ÇP)



Şekil 4.141. Aynı karışım oranlarına sahip PK ve PK+PN'in sıcaklık-dayanım ilişkisi (Karışım 8-Karışım 14 kıyaslaması, hacimce %10 ÇP)

Kayseri-Talas pomzası ve Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası ilave edilmesiyle elde edilen karışımlardan oluşan hafif beton numunelerine ait kıyaslamalı sıcaklık-dayanım grafikleri incelendiğinde, doğal olarak çimento oranı arttıkça sıcaklık etkisindeki basınç dayanım değerlerinin düzensiz bir şekilde de olsa arttığı görülmektedir.

Kayseri-Talas pomzası ve Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası ilave edilmesiyle elde edilen karışımlardan oluşan hafif beton numunelerine ait seriler arasında bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından değerlendirme yapıldığında, 28 günlük kürden sonra elde edilen basınç dayanım değerlerine göre en uygun karışım gruplarının 6 ve 8. karışım grupları olduğu görülmektedir. Bu grupların sadece %10'luk çimento oranlı serilerinde 25 kg/cm^2 'nin üzerinde dayanım değerleri elde edilmiştir. Diğer serilerde ise uygun dayanım elde edilememiştir.

Aynı değerlendirme sıcaklık etkisinden sonra elde edilen dayanım değerlerine göre yapıldığında, en uygun karışım gruplarının 6, 8, 12 ve 13. karışım grupları olduğu görülmektedir. Çünkü bu karışım gruplarının %10'luk çimento oranlı serilerinde genel olarak 25 kg/cm^2 'nin üzerinde dayanım değerleri elde edildiği verilerden anlaşılmaktadır.

Grafiksel analizlerde görülen bir başka sonuç ise, sadece Kayseri-Talas pomzasından elde edilen karışımlara ait hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin, Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası karıştırılmasıyla elde edilen hafif beton numunelerine ait dayanım değerlerinden düşük olduğudur. Yani bu serilerden elde edilen veriler, Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas pomzasının birlikte kullanımının, tek başına Kayseri-Talas pomzası kullanımına göre, dayanım ve sıcaklık etkisinde dayanım açısından daha uygun olduğunu göstermektedir.

Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının karıştırılmasıyla elde edilen hafif beton numunelerine ait serilerin, hemen hemen tümünde, 200°C'deki dayanım değeri, 28 günlük kürden sonra ölçülen ilk dayanım değerinden yüksektir. Sadece Kayseri-Talas pomzasından elde edilen hafif beton serilerinde de genel olarak bir artış gözlenmektedir. Ancak Kayseri-Talas pomzasından üretilen ilk 5 karışım grubunda böyle bir artış trendi gözlenememiştir. Bunun muhtemel nedeni, granülometrik bileşimlerdeki farklılıklardır. İlk 5 karışım grubunda, Kayseri-Talas pomzasına ait 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonları kullanılmıştır. 6, 7 ve 8. karışım gruplarında ise 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm fraksiyonları kullanılmıştır. Karışımdaki bu boyut farklılığının sıcaklık etkisindeki dayanım değerlerini etkilediği elde edilen bulgulardan anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, farklı pomza türlerinden, değişik çimento oranlarında elde edilmiş hafif beton örneklerinin belirli bir sıcaklık etkisindeki karakteristiği araştırılmıştır. Çalışmada, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzaları ve İzmir-Menderes perlitik pomzaları kullanılmıştır. Pomza agregaları ve hafif betonlarla ilgili yapılan araştırma, inceleme ve analizlerin yorumlanması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Yapılan deneysel çalışma ve analizler sonucunda, Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzaları ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının hafif beton agregası olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.
2. Üzerinde çalışma yapılan 78 farklı seri hafif beton numunesi arasında, kuru birim hacim ağırlık değeri en düşük olan seri 13. seri olup bu seri, Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm fraksiyonundan %30 ve 4/8 mm fraksiyonundan %70 karıştırılarak hacimce %6 oranında Portland çimentosu ile elde edilmiştir. Kuru birim hacim ağırlık değeri en yüksek olan seri ise 56. seri olup, bu seri de İzmir-Menderes pomzasının %80 0/4 mm fraksiyonunun, %20 4/8 mm fraksiyonu ile karıştırılarak hacimce %8 oranında Portland çimentosu uygulanarak elde edilmiştir.
3. İzmir-Menderes perlitik pomzasından üretilen hafif beton numunelerinin su emme oranları %12-18 aralığında, sadece Kayseri-Talas ve Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzalarının karışımlarından üretilen hafif beton numunelerinin su emme oranları ise %30-40 civarlarındadır. En düşük su emme oranı 78. seriden elde edilmiş olup, bu seri, İzmir-Menderes pomzasının 4/8 mm fraksiyonundan oluşan agreganın hacimce %10 oranında Portland çimentosu ile elde edilen hafif beton karışımından oluşmaktadır. En yüksek su emme oranı ise 7. seriye aittir. Bu seri, Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonunun yarı yarıya karışımının hacimce %6 oranında Portland çimentosu ile elde edilmiştir.

4. Hafif beton numunelerinin, 28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonucunda yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, en yüksek dayanım değerinin 30. seriye ait olduğu tespit edilmiştir. Bu seri, 0/4 mm boyutlu Kayseri-Talas pomzasından %60, 4/8 mm boyutlu Nevşehir-Göre pomzasından %40 oranında karıştırılıp hacimce %10 oranında Portland çimentosu ile elde edilmiştir.

5. Hafif beton numunelerinin, 28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonucunda yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçları, bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından incelendiğinde, sadece 10 karışıma ait dayanım değerinin istenen değerleri sağladığı, diğer karışımlara ait dayanım değerlerinin 25 kg/cm^2 'nin altında olduğu belirlenmiştir. Ancak, çalışmadan elde edilen bu sonuçların kesinleştirilmesi için en yüksek dayanım elde edilen serilerin yeni çalışmalar yapılarak irdelenmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

6. Hafif beton numunelerine etüvde 72 saat süre ile 120°C sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonucu elde edilen değerlere göre, en yüksek dayanım 69. seride elde edilmiştir. 180°C 'lik sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonucu elde edilen değerlere göre de en yüksek dayanım 69. seride elde edilmiştir. Bu seri, İzmir-Menderes perlitik pomzasının 0/4 fraksiyonundan %40, 4/8 fraksiyonundan %60 oranında karıştırılıp %10 çimento oranında dökümü üretilmiştir. Hafif beton numunelerine etüvde 72 saat süreyle 200°C sıcaklık uygulandıktan sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, en yüksek dayanım 63. seriden elde edilmiştir. Bu seri, İzmir-Menderes perlitik pomzasının 0/4 mm fraksiyonundan %60, 4/8 mm fraksiyonundan %40 oranında karıştırılıp %10 çimento oranında üretilmiştir.

7. Hafif beton numuneleri üzerinde sıcaklık uygulamasından önce ve sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonuçlarına göre, 28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonrası yapılan deneylerde en yüksek dayanım, Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarının karışımından oluşan hafif beton numunelerinden, sıcaklık uygulamalarından sonra yapılan deney sonuçlarına göre ise en yüksek dayanımlar, İzmir-Menderes perlitik pomzasına ait karışımlardan elde edilmiştir.

8. 28 günlük doğal ortam kürlenmesi sonrası ölçülen basınç dayanım değerlerine göre yapılan en yüksek ilk 10 dayanım değeri sıralaması, sıcaklık uygulamasından sonra yapılan sıralamayla genel olarak uyum göstermemektedir. 28 günlük külden sonraki dayanımlara göre yapılan ilk 10 sıralamasında sadece 30 ve 3 numaralı seriler bütün gruplarda dayanım olarak ilk 10 seri arasına girmiştir. Diğer 8 seri, sıcaklık uygulaması sonucu dayanım değerlerinin düşmesi nedeniyle diğer gruplarda dayanım açısından ilk 10 seride yer almamaktadır. Bu serilerin yerine, sıcaklık uygulaması sonucu dayanımı artan farklı serilerin yer aldığı gözlenmiştir. Buna göre, sıcaklık uygulamasından sonra hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin değiştiği, bazı karışım gruplarının sıcaklık etkisi nedeniyle dayanımının azaldığı, bazılarının ise arttığı görülmüştür.

9. Sıcaklık uygulamalarından sonra yapılan dayanım ölçümlerinde, en yüksek ilk 10 basınç dayanım değerine göre sıralama yapıldığında, bazı serilerin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu kategoriye giren seriler, her üç sıcaklık grubunda benzerlik göstermektedir. Örneğin, 69, 63, 3, 30, 39, 72 numaralı serilerin her üç grupta da yer aldığı görülmektedir. Bu seriler bütün sıcaklık uygulamalarında en yüksek dayanımın elde edildiği serilerdir.

10. Hafif beton numuneleri üzerinde sıcaklık uygulamasından önce ve sonra yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyi sonucu elde edilen basınç dayanım değerleri kıyaslamalı olarak incelendiğinde, 28 günlük külden sonra yapılan basınç dayanım deneyinden elde edilen değerlerin sıcaklık uygulamaları sonucunda büyük oranda değiştiği görülmektedir. 120°C sıcaklık uygulamasından sonra, 46 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 32 seriye ait dayanım değeri artmıştır. 180°C sıcaklık uygulamasından sonra, 36 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 42 seriye ait dayanım değeri artmıştır. 200°C sıcaklık uygulamasından sonra ise 20 seriye ait dayanım değeri düşmüş, 57 seriye ait dayanım değeri artmış, 1 seriye ait dayanım değeri ise değişmemiştir. Sonuçlara göre, genel olarak en fazla dayanım artışının 200°C sıcaklık uygulaması sonucunda olduğu gözlenmektedir. Bu artış ve düşüşlerde, belirli seriler ön plana çıkmaktadır. Örneğin sadece Kayseri-Talas pomzası kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin genel olarak sıcaklık

artıkça düştüğü gözlenmiştir. İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinin dayanım değerlerinin hemen hemen bütün sıcaklık uygulamalarından sonra arttığı görülmüştür. Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzalarının karışımlarından elde edilmiş diğer hafif beton numunelerinin ise bazılarının 120°C bazılarının ise 180°C sıcaklık uygulaması sonucunda basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür.

11. Hafif beton numunelerine sıcaklık uygulanması sonucunda, kuru birim hacim ağırlık değerlerinde değişimler olduğu görülmektedir. Bu değişimler, genel olarak sıcaklık arttığı kuru birim hacim ağırlık değerinin azalması yönündedir. Kuru birim hacim ağırlık değerleri, bazı serilerde 120°C’de, bazılarında ise 180°C veya 200°C’de minimum değerlere ulaşmaktadır.

12. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinin, tek eksenli basınç dayanım değerlerinin, genel olarak, çoğunluğu 120°C’de olmak üzere 120°C ve 180°C sıcaklık uygulanmasından sonra azaldığı, 200°C’de bir iyileşme olduğu gözlenmiştir.

13. Kayseri-Talas pomzasının değişik kombinasyonlarından oluşan hafif beton numunelerinin sıcaklık etkisinde dayanım değerlerinde görülen değişimlere göre, genel olarak 120°C ve 180°C sıcaklık uygulamalarının dayanımı düşürdüğü, 200°C sıcaklık uygulamasının ise dayanımı düşürücü etkisinin daha az olduğu sonucu elde edilmiştir.

14. Kayseri-Talas pomzası ile Nevşehir-Göre pomzasının değişik granülometrik bileşimlerinden oluşan hafif beton numunelerinin sıcaklık etkisindeki basınç dayanım değeri değişimlerinde 120°C ve 180°C sıcaklık uygulamalarından sonra düşüşler görülmektedir. Ancak, burada 120°C sıcaklık uygulamasından sonraki dayanım değeri düşüşleri daha açık görülmektedir. Dayanım değerleri çoğunlukla 120°C sıcaklık uygulamasından sonra düşüş göstermektedir. 180°C ve 200°C sıcaklık uygulamalarından sonra ise genel bir yükseliş trendi görülmektedir. Elde edilen basınç dayanım değerleri kıyaslandığında, 200°C sıcaklık uygulamasından sonra

Nevşehir-Göre ve Kayseri-Talas karışımından oluşan 27 seriden 21'nin basınç dayanım değerinin, 28 günlük kür sonucu elde edilen basınç dayanım değerlerine göre arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda, 200°C sıcaklık uygulamasının bu seriler üzerinde dayanımı arttırıcı etki yarattığı 120°C sıcaklık uygulamasının ise dayanımı azaltıcı etki yaptığı gözlenmiştir.

15. Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının birlikte kullanıldığı hafif beton serileri ile sadece Kayseri-Talas pomzasının kullanıldığı hafif beton serileri sıcaklık-dayanım değerleri açısından kıyaslandığında, 120°C sıcaklık uygulamalarında, bütün serilerde dayanımın minimum değerler aldığı, 180°C ve 200°C sıcaklık uygulamalarında ise muhtemelen karışımlardaki Nevşehir-Göre pomzası nedeniyle Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının birlikte kullanıldığı hafif beton serilerinin sadece Kayseri-Talas pomzasının kullanıldığı hafif beton serilerine oranla dayanım değerlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre, sıcaklık etkisine dayanım açısından, Nevşehir-Göre pomzasının Kayseri-Talas pomzası ile birlikte, hafif agrega olarak kullanımının, tek başına Kayseri-Talas pomzası kullanımına göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

16. İzmir-Menderes perlitik pomzasının değişik granülometrik bileşimlerinden oluşan serilerde de 120°C ya da 180°C sıcaklık uygulamalarından sonra dayanım değerlerinde düşüşler oluşmaktadır. Ancak 200°C sıcaklık uygulamasından sonra dayanım değerlerinde artışlar tespit edilmiştir.

17. Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasının aynı granülometrik bileşimde kullanıldığı hafif beton numunelerinin ait sıcaklık-dayanım değişimleri kıyaslandığında, İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerinde, Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif beton numunelerine göre, sıcaklık uygulaması sonucu dayanım değerlerinde oldukça yüksek artışlar görülmektedir. Kayseri-Talas pomzasından üretilen hafif beton numunelerinde genel olarak benzer bir eğilim gözlenmemiştir.

18. İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine ait serilerin çoğunluğunda, 200°C'deki dayanım değeri, 28 günlük külden sonra ölçülen ilk dayanım değerinden yüksektir. Kayseri-Talas pomzasından elde edilen aynı karışım oranına sahip hafif beton serilerinde ise genel olarak bunun tersi bir durum görülmektedir. Yani, 200°C'deki dayanım değerleri, 28 günlük külden sonra ölçülen ilk dayanım değerlerinden daha düşüktür.

19. Kayseri-Talas pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzasından elde edilen hafif beton numunelerine ait seriler arasında bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından değerlendirme yapıldığında, 28 günlük külden sonra elde edilen basınç dayanım değerlerine göre en uygun karışım gruplarının 1, 2, 3, 4, 20 ve 23. karışım grupları olduğu görülmektedir.

20. Aynı değerlendirme sıcaklık etkisinde dayanım değerlerine göre yapıldığında, en uygun karışım gruplarının 1, 2, 20, 21. karışım grupları olduğu görülmektedir. Çünkü bu karışım gruplarında genel olarak 25 kg/cm²'nin üzerinde dayanım değerleri elde edildiği verilerden anlaşılmaktadır. Bu karışım grupları, Kayseri-Talas pomzasının %70 0/4 mm + %30 4/8 mm ve %60 0/4 mm + %40 4/8 mm ile İzmir Menderes perlitik pomzasının %70 0/4 mm + %30 4/8 mm ve %60 0/4 mm + %40 4/8 mm karışımlarından oluşmaktadır. Diğer karışım gruplarına ait serilerinde, genel olarak 25 kg/cm²'nin üzerinde dayanım değeri görülmemektedir. Sadece İzmir-Menderes pomzasına ait 22, 23 ve 24. karışım gruplarının %10 çimento oranlı serilerinde 25 kg/cm²'nin üzerinde dayanım değerleri ölçülmüştür.

21. Sadece Kayseri-Talas pomzası ve Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası ilave edilmesiyle elde edilen karışımlardan oluşan hafif beton numunelerine ait dayanım değerleri bimsblok üretiminde kullanılabilirlik açısından değerlendirildiğinde, 28 günlük külden sonra elde edilen basınç dayanım değerlerine göre en uygun karışım gruplarının 6 ve 8. karışım grupları olduğu görülmektedir. Bu grupların sadece %10'luk çimento oranlı serilerinde 25 kg/cm²'nin üzerinde dayanım değerleri elde edilmiştir. Diğer hiçbir seride uygun dayanım elde edilememiştir. Aynı değerlendirme sıcaklık etkisinden sonra elde edilen dayanım değerlerine göre

yapıldığında, en uygun karışım gruplarının 6, 8, 12 ve 13. karışım grupları olduğu görülmektedir.

22. Sadece Kayseri-Talas pomzasından elde edilen karışımlara ait hafif beton numunelerine ait dayanım değerleri, Kayseri-Talas pomzasına Nevşehir-Göre pomzası karıştırılmasıyla elde edilen hafif beton numunelerine ait dayanım değerlerinden düşüktür. Yani hafif beton üretiminde, Kayseri-Talas pomzasının Nevşehir-Göre pomzası ile birlikte kullanımı, tek başına Kayseri-Talas pomzası kullanımına göre, dayanım ve sıcaklık etkisinde dayanım açısından daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

23. Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasının karıştırılmasıyla elde edilen hafif beton numunelerine ait serilerin, hemen hemen tümünde, 200°C'deki dayanım değeri, 28 günlük külden sonra ölçülen ilk dayanım değerinden yüksektir.

24. Sadece Kayseri-Talas pomzasından elde edilen hafif beton serilerinin sıcaklık uygulamasından sonraki dayanım değerlerinde de genel olarak bir artış görülmektedir. Ancak Kayseri-Talas pomzasından üretilen ilk 5 karışım grubunda benzer bir artış trendi gözlenememiştir. Bunun nedeni muhtemelen granülometrik bileşimlerdeki farklılıklardır. İlk 5 karışım grubunda, Kayseri-Talas pomzasına ait 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonları kullanılmıştır. 6, 7 ve 8. karışım gruplarında ise 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm fraksiyonları kullanılmıştır. Bu bulgulara göre, granülometrik bileşimlerin, sıcaklık etkisinde dayanım değerlerini etkilediği belirlenmiştir.

Pomzanın hafif beton üretiminde agrega olarak kullanımı ve bu hafif betonların sıcaklık etkisindeki karakteristikleri ile ilgili olarak yapılan bu tez çalışmasında, yukarıda belirtilen hususlarda bazı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu çalışmadan elde edilen bulgular aynı zamanda, beraberinde yeni çalışmaları gerektirecek birçok yeni konuyu ortaya çıkarmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulardan yararlanılarak birçok yeni araştırma yapmak mümkündür. Örneğin, en yüksek dayanımın elde edildiği türler ve seriler üzerinde daha ayrıntılı yeni çalışmalar yapılabilir. Bu

çalışmada, daha önce üzerinde çalışma yapılmadığı ve ideal karışımlar ile ilgili net bulgular olmadığı için üzerinde çalışılan pomza türlerinin granülometrik olarak hemen hemen tüm karışımları üzerinde 78 ayrı döküm yapılmak suretiyle en uygun türün en uygun karışımları bulunmaya çalışılmıştır. Bu konuda bazı anlamlı sonuçlara da ulaşılmıştır. Bu nedenle araştırmacıların bu sonuçlardan yararlanarak yeni çalışmalara yönelmelerinde fayda olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, üzerinde çalışılan pomza türlerinden elde edilen hafif beton numunelerinin sadece belirli sıcaklıklardaki karakteristiklerini araştıran deneysel bir çalışmadır. Ancak elde edilen sonuçların pratikte kullanılabilirliği ile ilgili olarak, bu çalışmanın devamı niteliğindeki çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışmadan elde edilen sonuçlara göre bimsbloklar üretilerek yeni denemeler yapılmalıdır. Ayrıca elde edilen ürünün, piyasa koşullarındaki rakipleri ile kıyaslamalı teknik analizleri yapılarak üstünlükleri belirlenmelidir.

Tez çalışmasında pomzadan elde edilen hafif beton numuneleri, sadece 120°C, 180°C ve 200°C sıcaklık uygulamasına tabi tutulmuşlardır. Pomzadan elde edilen hafif betonların daha yüksek sıcaklıklardaki karakteristikleri ile çalışma yapılması gerekmektedir. Bu konuda yeni araştırmaların yapılması uygun olacaktır.

Türkiye’de üzerinde ayrıntılı çalışma yapılmamış birçok pomza yatağı mevcuttur. Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzası ve İzmir-Menderes perlitik pomzası dışındaki türlerle ilgili benzer çalışmalar yapılmalıdır. Böylelikle bu tür çalışmalar sonucunda, Türkiye pomzalarının teknik bir envanteri de çıkarılmış olacaktır.

Bu çalışma, pomzadan üretilen ve bimsblok üretiminde kullanılabilir nitelikte, taşıyıcı olmayan hafif betonlarla ilgilidir. Bu nedenle, çalışmada düşük oranlarda çimento kullanılmıştır. Oysa, pomza agregasından yüksek çimento oranları kullanılarak yarı taşıyıcı ve taşıyıcı nitelikte hafif beton üretilebilmektedir. Bu nedenle, pomzadan taşıyıcı ve yarı taşıyıcı nitelikte beton üretimi ile ilgili çalışmaların da yapılması uygun olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Açıkel, H., 1995. Karapınar Volkanik Agregasından (TS 4047'ye uygun) Hazır Döşeme ve Çatı Plakları İmalı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164 s, Konya.
- Ağırdır, M. L., 1989. Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Briket İmalatı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, Konya.
- Altınışik, A., 2001. Niğde ve Yöresinde Bulunan Pomzanın Yüksek Isı ve Ses Yalıtım Özelliğine Sahip Poliüretan Destekli Briket İmalatında Kullanımının Teorik ve Deneysel İncelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69 s, Kütahya.
- Altun, İ. A., 2001. Effect of temperature on the mechanical properties of self-flowing low cement refractory concrete. Cement and Concrete Research. 31 (8), 1233-1237.
- Anonim, 2001. İZOLAKUM, Ürün Tanıtım Kataloğu, Pomza Export Madencilik San. Tic. A.Ş., 6 s. İzmir.
- Arda, A., 1994. Hafif Betonlarda Agrega Konsantrasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65 s, İstanbul.
- Arıcı, E., 1997. Van Yöresi Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi ve Taşıyıcı Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77 s, Elazığ.
- Aydın, N., 2001. Pomza Taşından İmal Edilen Hafif Yapı Elemanlarının Isıl Performans ve Mukavemet Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s, Niğde.
- Azanbaeva, S., 1998. Genleştirilmiş Ferrokrom Cürufundan Preslenmiş Duvar Elemanları. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, Ankara.
- Baldan, N., 2001. Pomza Taşı ile Su ve Atıksulardan Demir ve Manganın Giderimi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67 s, Isparta.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın No: 207, 221 s. İzmir.
- Bingöl, A. F., 2002. Pomza İle Üretilen Hafif Betonların Yangına Karşı Dayanımı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77 s, Erzurum.

- Clfik, M. S., zturan T., 2002. Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar. *Cement and Research*, 32 (5), 809-816.
- ankıran, O., 1998. Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik zellikleri ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Arttırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82 s, Isparta.
- evikbaş, A., İlgün, F., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 13-18, Isparta.
- ınar, B., 2000. Karapınar Volkanik Agregasından İmal Edilen Hafif Betonların Aderans Davranışı zerine Deneysel Bir İnceleme. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, Konya.
- DPT, 2001. Pomza, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik zel İhtisas Komisyon Raporu, 23 s. Ankara.
- Dal, A. R., 1998. Niğde Yöresi Pomza Taşının Isı ve Ses yalıtımında Kullanılmasının Araştırılması. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66 s, Niğde.
- Davraz, M., Gündüz, L., 1997. Isparta Yöresi Pomza Taşının Hafif Yapı Elemanı Olarak Değerlendirilmesi zerine Bir Analiz. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 61-70, Isparta.
- Davraz, M., Yiğit, Y., Gündüz, L., 1997. Granlomertik Pomza Tanelerinin atı ve Taban Döşemede Değerlendirilebilirliği. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 195-205, Isparta.
- Davraz, M., 1998. Isparta Pomzasının Hafif Agregasın Olarak Değerlendirilmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73 s, Isparta.
- Davraz, M., 2004. Isparta Keçiborlu Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 245 s, Isparta.
- Demir, M., 1995. Siyah Pomza Taşının Farklı Fosfor Düzeyinde Mısır Bitkisinin Gelişmesine Etkisi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147 s, Tokat.
- Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza İle retilen Hafif Betonların zellikleri zerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 147 s, Erzurum.
- Deniz, V., 1997. Isparta Yöresi İki Farklı Pomzanın Kırılma zelliklerinin İncelenmesi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 207-211, Isparta.

- Ekmekyapar, T., Örüñg, İ., 1993. İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları, No : 145, Erzurum.
- Erdoğan, T. Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler-Agregalar. ODTÜ, 162 s. Ankara.
- Geçten, O., 1993. Elazığ Ferrokrom İşletmesi Granüle Cürufunun Hafif Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s, Erzurum.
- Gencer, Ö., 2000. Pomza Katkılı Bimsbeton Bloklar ile Yapılmış Yığma Yapı Üzerinde Deprem Etkisinin Araştırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76 s, Isparta.
- Güllüce, H., 1997. Pasinler (Demirdöven) Yöresinde Çıkarılan Pomzanın Isı Yalıtımlı Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65 s, Erzurum.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998 (a). Pomza Teknolojisi Cilt I. 285 s. Isparta.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998 (b). Pomza Teknolojisi Cilt II. 203 s. Isparta.
- Gündüz, L., Uğur, İ., 2000. Pomzadan Mamul Blok Elemanlarında Kayaç Parametreleri - Ses Akustiğı İlişkisi Üzerine Teknik Bir Analiz. V. Ulusal Kaya Mekaniğı Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Saraç, S., Gündüz, L., Altındağ, R.), 205-215, Isparta.
- Gür, K., Zengin, M., Uyanöz, R., 1997. Pomzanın Tarım ve Çevre Açısından Önemi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 125-132, Isparta.
- Hüsem, M., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 170 s, Trabzon.
- İlhan, S., Nurbaş M., Ekmekçi S., Özdağ, H., 1997. Pomzanın Biyoteknolojide Adsorbant Olarak Kullanımı. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 39-46, Isparta.
- Karaman, M. R., 1993. Bitki Yetiştirme Ortamı Olarak Pomza Taşının Azot Dozlarında Mısır Bitkisinin Gelişmesine Etkisi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 165 s, Tokat.
- Karışahin, M., Tığdemir, M., Fincanoğlu, A., Saltan, M., 1997. Asfalt Betonun Karışımında Pomzanın Filler Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 119-124, Isparta.

- Kaşıkkara-Pazarlıoğlu, N., Telefoncu A.,1997. Pomzanın Fenol İçeren Endüstriyel Atıksuların Biyokimyasal Arıtımında Kullanılması. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 25-30, Isparta.
- Kaya, A., 2002. Styropor Kullanılarak Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91 s, Elazığ.
- Keçeli, D. A., Kaya, M. A., Kamacı Z., Türker, A.E., 1997. Pomza Yataklarının Özdirenç Yöntemi İle Araştırılması. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 187-194, Isparta.
- Keskin, S. N., Çimen, Ö., 1997. Killi Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesinde Pomza Kullanımının Araştırılması. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 97-101, Isparta.
- Kocaman, B., 2000. Doğu Anadolu Bölgesindeki Doğal Hafif ve Normal Agregalarla Üretilen Betonların Fiziksel, Mekanik ve Isı İletkenlik Özelliklerinin Belirlenmesi ile Tarımsal Yapılarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 143 s, Erzurum.
- Köktürk, U., 1997. Endüstriyel Hammaddeler. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:205, 259 s. İzmir.
- Kuşcu, M., 1991. Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları Yayın No: 2, 177 s. Isparta.
- Neville, A. M., 1975. Properties of Concrete. Pitman Publishing. London.
- Mahdy, M., Speare, P. R. S., Abdel-Reheem, A. H., 2002. Effect of transient high temperature on heavyweight, high strength concrete. 15th ASCE Engineering Mechanics Conference. Columbia University, New York.
- Mol, F., 2001. Değişik Oranlardaki Pomza-Zeolit Karışımlarının Kimi Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57 s, Bursa.
- Onar, A. N., Balkaya N., Öztürk B., 1997. Pomza Taşının Su Arıtım Teknolojisinde Kullanımı. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 31-38, Isparta.
- Özbayoğlu, F., Gürel, A., 1997. Nevşehir Pomzalarının Puzolonik Maddeler Katkısı İle Yol Stabilizasyonunda Kullanılması. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 113-118, Isparta.
- Öztok, İ., 1997. Yüksek Dayanımlı Doğal Hafif Agregalı Beton. ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 149 s, Ankara.

- Sancak, E., 1999. Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif kullanımının Etkisi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78 s, Isparta.
- Sarıışık, A., Şahin, B., 1997. Isparta Pomzasının Aşındırma-Parlatma Karakteristiğinin İrdelenmesi. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 53-60, Isparta.
- Serin, G., 1999. Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106 s, Isparta.
- Sezgin, M., 1999. Diatomitin Hafif yapı Eldesinde Değerlendirilebilirliği. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81 s, Isparta.
- Söylemezoğlu, S., 1997. Niğde Yöresi Hafif Yapı Malzemelerinden Pomzanın Minerolojik-Petrografik İncelenmesi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s, Niğde.
- Şahin, R., 1996. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108 s, Erzurum.
- Şahin, S., 2002. Tarımsal Yapılarda Kullanılan Hafif Agregalı Beton Blokların Bazı Özelliklerinin İyileştirilmesi Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 164 s, Erzurum.
- Şahin, Ü., Hanay, A., Anapalı, Ö., 1997. Seralarda Topraksız Kültürde Pomzanın Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 133-140, Isparta.
- Şimşek, O., 1987. Madenşehri (Konya-Karaman) Doğusundaki Ponza Taşının Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 39 s, Ankara.
- Şimşek, O., 2000 (a). Yapı Malzemesi I. Beta Basım Yayım AŞ., 146 s. İstanbul.
- Şimşek, O., 2000 (b). Yapı Malzemesi II. Beta Basım Yayım AŞ., 211 s. İstanbul.
- TS 1114, 1986. (Tadil: 1987/10/13).Hafif Agregalar-Beton İçin, Türk Standartları Enstitüsü, 17 s. Ankara.
- TS 1226, 1996. Deney Elekleri-Teknik Özellikler ve Deneyler-Kısım 2: Delikli Metal Levhalı Deney Elekleri. Türk Standartları Enstitüsü, 14 s. Ankara.
- TS 1227, 1996. Deney Elekleri-Teknik Özellikler ve Deneyler-Kısım 1: Tel Örgülü Deney Elekleri. Türk Standartları Enstitüsü, 14 s. Ankara.

- TS 2717, 1977. Harç Kumları, Türk Standartları Enstitüsü, 17 s. Ankara.
- TS 2823, 1986. (Tadil: 1988/08). Bimsbetondan Mamül Yapı Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, 28 s. Ankara.
- TS 3234, 1978. Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, 30 s. Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 5 s. Ankara.
- TS EN 206-1, 2002. Beton-Bölüm 1 : Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 65 s. Ankara.
- Taşdemir, M. A., 1982. Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları, İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- Temoçin, Z., 2000. Bazı Ağır Metallerin Mikroorganizma İmmobilize Edilmiş Ponza Taşında Adsorpsiyon Şartlarının Araştırılması. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64 s, Kırıkkale.
- Tomsuk, F., 2001. Yer Karosu Üretiminde Alternatif Ergitici Olarak Pomzanın Kullanım İmkanının Araştırılması. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81s, Eskişehir.
- Türkmen, İ., 1997. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83 s, Erzurum.
- Uğur, İ., 2001. Doğal Yapı ve Kaplama Taşlarının Ses Akustiği ve Kayaç Parametreleri ile İlişkisinin İncelenmesi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 247 s, Isparta.
- Uysal, H., 1996. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Isı Geçirgenliğinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95 s, Elazığ.
- Ünal, O., Çankıran, O., Sancak E., 1997. Hafif Blok Elemanlarının Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri. 1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı. (Gündüz, L.), 89-96, Isparta.
- Yalçın, V., 1996. Pomza Uygulamalı Pamuk Ekim Tekniği. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62 s, İzmir.
- Yücel, A. İ., 2001. Niğde Yöresi Pomza Taşının Mukavemetinin Araştırılması. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75 s, Niğde.

Xu, Y., Wong, Y. L., Poon, C. S., Anson, M., 2001. Impact of temperature on PFA concrete. *Cement and Concrete Research*. 31 (7), 1065-1073.

www.maden.org.tr/yeni3/madenistatistikleri/madenistatistikleri.htm

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan CEYLAN

Doğum Yeri : Aydın

Doğum Yılı : 30. 05. 1969

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durum:

Lise : 1984-1985 İzmir Atatürk Lisesi
Lisans : 1990-1991 Hacettepe Üniversitesi
Zonguldak Mühendislik Fakültesi
Maden Mühendisliği Bölümü
Y. Lisans : 1998-2000 Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora : 2000- Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi :

1996-1997 BATIÇİM Aydın Hazır Beton Tesisleri
1997-1998 T.C. Çevre Bakanlığı Tekirdağ Çevre Müdürlüğü
1998-1999 T.C. Çevre Bakanlığı Aydın Çevre Müdürlüğü
1999-2003 T.C. Çevre Bakanlığı Isparta Çevre Müdürlüğü
2003- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Isparta Çevre ve Orman Müdürlüğü

EK-1 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN KBHA DEĞERLERİ

Seri No	Karışım Oranları (Hacimce %)	KBHA (kg/m ³)
1	70PK(0/4)+30PK(4/8)+6ÇP	872,41
2	70PK(0/4)+30PK(4/8)+8ÇP	940,83
3	70PK(0/4)+30PK(4/8)+10ÇP	976,56
4	60PK(0/4)+40PK(4/8)+6ÇP	836,94
5	60PK(0/4)+40PK(4/8)+8ÇP	932,22
6	60PK(0/4)+40PK(4/8)+10ÇP	848,19
7	50PK(0/4)+50PK(4/8)+6ÇP	703,64
8	50PK(0/4)+50PK(4/8)+8ÇP	825,14
9	50PK(0/4)+50PK(4/8)+10ÇP	831,75
10	40PK(0/4)+60PK(4/8)+6ÇP	732,20
11	40PK(0/4)+60PK(4/8)+8ÇP	716,06
12	40PK(0/4)+60PK(4/8)+10ÇP	802,91
13	30PK(0/4)+70PK(4/8)+6ÇP	659,07
14	30PK(0/4)+70PK(4/8)+8ÇP	716,28
15	30PK(0/4)+70PK(4/8)+10ÇP	747,23
16	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+6ÇP	751,55
17	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+8ÇP	803,40
18	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+10ÇP	922,36

EK-1 : (Devamı)

19	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+6ÇP	806,22
20	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+8ÇP	810,45
21	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+10ÇP	916,41
22	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+6ÇP	747,89
23	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+8ÇP	885,70
24	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+10ÇP	921,16
25	70PK(0/4)+30PN(4/8)+6ÇP	867,48
26	70PK(0/4)+30PN(4/8)+8ÇP	829,14
27	70PK(0/4)+30PN(4/8)+10ÇP	788,56
28	60PK(0/4)+40PN(4/8)+6ÇP	727,43
29	60PK(0/4)+40PN(4/8)+8ÇP	824,01
30	60PK(0/4)+40PN(4/8)+10ÇP	978,37
31	50PK(0/4)+50PN(4/8)+6ÇP	788,81
32	50PK(0/4)+50PN(4/8)+8ÇP	849,44
33	50PK(0/4)+50PN(4/8)+10ÇP	863,72
34	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+6ÇP	819,55
35	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+8ÇP	829,71
36	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+10ÇP	806,45
37	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+6ÇP	736,15

EK-1 : (Devamı)

38	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+8ÇP	858,84
39	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+10ÇP	893,70
40	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+6ÇP	716,31
41	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+8ÇP	701,71
42	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+10ÇP	728,19
43	70PK(0/4)+30PN(0/4)+6ÇP	877,32
44	70PK(0/4)+30PN(0/4)+8ÇP	811,55
45	70PK(0/4)+30PN(0/4)+10ÇP	908,29
46	60PK(0/4)+40PN(0/4)+6ÇP	890,70
47	60PK(0/4)+40PN(0/4)+8ÇP	870,94
48	60PK(0/4)+40PN(0/4)+10ÇP	923,60
49	50PK(0/4)+50PN(0/4)+6ÇP	778,26
50	50PK(0/4)+50PN(0/4)+8ÇP	828,15
51	50PK(0/4)+50PN(0/4)+10ÇP	820,31
52	100PM(0/4)+6ÇP	1288,42
53	100PM(0/4)+8ÇP	1379,19
54	100PM(0/4)+10ÇP	1477,52
55	80PM(0/4)+20PM(4/8)+6ÇP	1348,59
56	80PM(0/4)+20PM(4/8)+8ÇP	1494,89

EK-1 : (Devamı)

57	80PM(0/4)+20PM(4/8)+10ÇP	1371,98
58	70PM(0/4)+30PM(4/8)+6ÇP	1383,51
59	70PM(0/4)+30PM(4/8)+8ÇP	1345,46
60	70PM(0/4)+30PM(4/8)+10ÇP	1453,51
61	60PM(0/4)+40PM(4/8)+6ÇP	1356,43
62	60PM(0/4)+40PM(4/8)+8ÇP	1341,63
63	60PM(0/4)+40PM(4/8)+10ÇP	1397,27
64	50PM(0/4)+50PM(4/8)+6ÇP	1366,82
65	50PM(0/4)+50PM(4/8)+8ÇP	1447,35
66	50PM(0/4)+50PM(4/8)+10ÇP	1405,94
67	40PM(0/4)+60PM(4/8)+6ÇP	1349,19
68	40PM(0/4)+60PM(4/8)+8ÇP	1416,32
69	40PM(0/4)+60PM(4/8)+10ÇP	1470,77
70	30PM(0/4)+70PM(4/8)+6ÇP	1364,55
71	30PM(0/4)+70PM(4/8)+8ÇP	1384,25
72	30PM(0/4)+70PM(4/8)+10ÇP	1301,02
73	20PM(0/4)+80PM(4/8)+6ÇP	1298,92
74	20PM(0/4)+80PM(4/8)+8ÇP	1181,25
75	20PM(0/4)+80PM(4/8)+10ÇP	1162,97
76	100PM(4/8)+6ÇP	1364,12
77	100PM(4/8)+8ÇP	1366,09
78	100PM(4/8)+10ÇP	1336,22

EK-2 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN SU EMME ORANLARI

Seri No	LCM ₂₄ (%)	LCM ₄₈ (%)	LCM ₇₂ (%)
1	35,15	36,54	37,88
2	34,16	35,27	36,37
3	29,16	32,16	32,43
4	38,29	40,86	42,58
5	32,43	32,71	32,97
6	33,10	34,89	36,23
7	43,81	48,23	46,18
8	37,61	41,11	41,99
9	34,69	37,71	38,52
10	39,93	43,10	44,53
11	36,32	39,76	39,44
12	34,78	36,14	36,93
13	39,39	43,33	44,00
14	35,43	39,43	39,43
15	33,91	36,21	37,07
16	44,41	45,91	46,15
17	39,14	42,87	42,90
18	30,68	32,29	32,52
19	36,41	40,00	41,16
20	36,40	38,18	38,59
21	32,76	35,24	35,74
22	34,84	37,66	37,74
23	32,79	35,90	35,90
24	28,16	29,07	29,77
25	35,82	37,81	39,80
26	38,36	39,46	41,10
27	37,37	40,82	41,05
28	40,66	42,54	42,94
29	35,00	36,95	37,25
30	27,00	28,00	28,25
31	32,97	34,65	35,38
32	30,36	33,12	33,40
33	27,82	28,79	30,23
34	37,84	39,95	41,01
35	35,68	37,50	38,02
36	34,29	36,37	37,14
37	37,85	40,83	41,16
38	31,90	33,42	33,67
39	26,92	28,15	28,15
40	35,41	37,09	37,74

EK-2 : (Devami)

41	34,26	36,23	37,22
42	33,90	36,68	37,31
43	38,15	42,94	43,66
44	39,77	42,48	42,89
45	35,92	38,83	41,26
46	39,42	41,35	42,79
47	37,91	39,81	42,65
48	36,70	38,99	41,74
49	38,31	42,29	41,79
50	34,67	37,19	38,69
51	38,31	37,81	41,79
52	17,16	18,34	18,05
53	17,21	18,10	18,69
54	15,68	16,27	16,57
55	15,19	15,47	16,02
56	15,77	17,18	17,18
57	14,63	16,12	16,12
58	15,29	15,60	15,90
59	15,13	15,43	15,73
60	12,85	13,97	14,25
61	13,50	14,32	14,60
62	14,79	15,62	16,16
63	13,37	13,95	14,53
64	14,20	15,36	15,65
65	13,37	13,95	14,53
66	11,67	12,47	12,73
67	12,89	13,73	14,01
68	12,86	13,43	13,43
69	12,43	13,28	13,56
70	13,06	13,35	14,24
71	12,43	12,72	13,01
72	12,01	12,57	12,85
73	13,09	13,99	14,29
74	12,84	13,46	13,76
75	12,15	13,56	13,28
76	13,25	13,41	14,29
77	12,84	13,04	13,59
78	11,35	11,66	12,58

EK-3 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 28 GÜNLÜK TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIM DEĞERLERİ

Seri No	Karışım Oranları (Hacimce %)	σ_{28} (kg/cm ²)
1	70PK(0/4)+30PK(4/8)+6ÇP	22,55
2	70PK(0/4)+30PK(4/8)+8ÇP	26,92
3	70PK(0/4)+30PK(4/8)+10ÇP	38,35
4	60PK(0/4)+40PK(4/8)+6ÇP	20,91
5	60PK(0/4)+40PK(4/8)+8ÇP	37,65
6	60PK(0/4)+40PK(4/8)+10ÇP	28,01
7	50PK(0/4)+50PK(4/8)+6ÇP	8,36
8	50PK(0/4)+50PK(4/8)+8ÇP	22,66
9	50PK(0/4)+50PK(4/8)+10ÇP	23,91
10	40PK(0/4)+60PK(4/8)+6ÇP	13,72
11	40PK(0/4)+60PK(4/8)+8ÇP	11,86
12	40PK(0/4)+60PK(4/8)+10ÇP	23,11
13	30PK(0/4)+70PK(4/8)+6ÇP	5,19
14	30PK(0/4)+70PK(4/8)+8ÇP	13,02
15	30PK(0/4)+70PK(4/8)+10ÇP	17,82
16	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+6ÇP	7,86
17	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+8ÇP	12,05

EK-3 : (Devamı)

18	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PK(8/16)+10ÇP	26,95
19	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+6ÇP	9,34
20	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+8ÇP	9,12
21	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PK(8/16)+10ÇP	21,32
22	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+6ÇP	7,18
23	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+8ÇP	18,51
24	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PK(8/16)+10ÇP	25,68
25	70PK(0/4)+30PN(4/8)+6ÇP	14,15
26	70PK(0/4)+30PN(4/8)+8ÇP	13,30
27	70PK(0/4)+30PN(4/8)+10ÇP	10,00
28	60PK(0/4)+40PN(4/8)+6ÇP	1,65
29	60PK(0/4)+40PN(4/8)+8ÇP	14,85
30	60PK(0/4)+40PN(4/8)+10ÇP	40,55
31	50PK(0/4)+50PN(4/8)+6ÇP	15,05
32	50PK(0/4)+50PN(4/8)+8ÇP	15,80
33	50PK(0/4)+50PN(4/8)+10ÇP	14,00
34	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+6ÇP	13,80
35	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+8ÇP	15,05
36	70PK(0/4)+15PK(4/8)+15PN(8/16)+10ÇP	16,15
37	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+6ÇP	7,25

EK-3 : (Devami)

38	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+8ÇP	23,35
39	60PK(0/4)+20PK(4/8)+20PN(8/16)+10ÇP	9,25
40	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+6ÇP	8,35
41	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+8ÇP	7,85
42	50PK(0/4)+25PK(4/8)+25PN(8/16)+10ÇP	13,20
43	70PK(0/4)+30PN(0/4)+6ÇP	7,55
44	70PK(0/4)+30PN(0/4)+8ÇP	7,20
45	70PK(0/4)+30PN(0/4)+10ÇP	18,10
46	60PK(0/4)+40PN(0/4)+6ÇP	5,35
47	60PK(0/4)+40PN(0/4)+8ÇP	9,10
48	60PK(0/4)+40PN(0/4)+10ÇP	22,85
49	50PK(0/4)+50PN(0/4)+6ÇP	3,15
50	50PK(0/4)+50PN(0/4)+8ÇP	5,65
51	50PK(0/4)+50PN(0/4)+10ÇP	6,55
52	100PM(0/4)+6ÇP	3,60
53	100PM(0/4)+8ÇP	16,50
54	100PM(0/4)+10ÇP	24,65
55	80PM(0/4)+20PM(4/8)+6ÇP	4,35
56	80PM(0/4)+20PM(4/8)+8ÇP	26,95

EK-3 : (Devamı)

57	80PM(0/4)+20PM(4/8)+10ÇP	19,15
58	70PM(0/4)+30PM(4/8)+6ÇP	11,55
59	70PM(0/4)+30PM(4/8)+8ÇP	10,05
60	70PM(0/4)+30PM(4/8)+10ÇP	35,25
61	60PM(0/4)+40PM(4/8)+6ÇP	8,15
62	60PM(0/4)+40PM(4/8)+8ÇP	9,80
63	60PM(0/4)+40PM(4/8)+10ÇP	14,75
64	50PM(0/4)+50PM(4/8)+6ÇP	6,80
65	50PM(0/4)+50PM(4/8)+8ÇP	19,45
66	50PM(0/4)+50PM(4/8)+10ÇP	20,80
67	40PM(0/4)+60PM(4/8)+6ÇP	5,80
68	40PM(0/4)+60PM(4/8)+8ÇP	14,25
69	40PM(0/4)+60PM(4/8)+10ÇP	25,55
70	30PM(0/4)+70PM(4/8)+6ÇP	4,75
71	30PM(0/4)+70PM(4/8)+8ÇP	15,05
72	30PM(0/4)+70PM(4/8)+10ÇP	5,56
73	20PM(0/4)+80PM(4/8)+6ÇP	5,00
74	20PM(0/4)+80PM(4/8)+8ÇP	7,25
75	20PM(0/4)+80PM(4/8)+10ÇP	6,00
76	100PM(4/8)+6ÇP	7,25
77	100PM(4/8)+8ÇP	7,10
78	100PM(4/8)+10ÇP	14,40

EK-4 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 120°C'DEKİ DAYANIM VE KBHA DEĞERLERİ

Seri No	$\sigma_{120^{\circ}\text{C}}$ (kg/cm ²)	KBHA (kg/m ³)
1	19,4	879,94
2	19,2	857,38
3	30,8	972,07
4	6,6	775,15
5	25,9	874,67
6	16,5	866,92
7	3,0	698,63
8	10,8	764,86
9	13,6	783,52
10	0,3	683,53
11	8,5	707,65
12	7,4	705,95
13	1,0	671,55
14	8,4	728,16
15	12,0	747,79
16	0,1	751,34
17	6,0	812,01
18	12,1	820,81
19	4,5	765,90
20	6,6	783,52
21	12,9	835,28
22	8,6	745,41
23	15,4	845,51
24	9,3	844,57
25	12,1	857,14
26	15,5	852,47
27	19,5	802,98
28	5,8	736,53
29	8,6	791,66
30	27,5	921,22
31	6,8	779,14
32	12,2	807,65
33	14,5	841,69
34	11,6	795,04
35	11,5	803,62
36	24,3	828,61
37	5,7	747,23
38	18,7	882,72
39	26,3	759,84

EK-4 : (Devamı)

40	4,0	706,71
41	9,9	740,87
42	17,9	797,65
43	3,9	838,31
44	2,9	782,81
45	16,9	911,34
46	6,6	893,82
47	8,8	865,74
48	19,8	913,15
49	5,8	806,93
50	7,0	824,06
51	8,0	828,07
52	0,1	1256,07
53	8,8	1435,93
54	20,2	1431,31
55	9,2	1384,81
56	18,9	1467,63
57	15,1	1333,09
58	16,3	1443,74
59	12,4	1367,64
60	21,1	1411,17
61	17,2	1464,64
62	12,4	1327,56
63	31,9	1434,26
64	13,3	1368,35
65	21,7	1454,18
66	19,5	1393,23
67	6,2	1310,05
68	11,2	1370,64
69	46,1	1461,38
70	13,1	1417,76
71	19,5	1376,22
72	25,8	1339,09
73	10,3	1291,57
74	18,4	1222,46
75	20,9	1266,71
76	9,4	1371,64
77	10,0	1349,19
78	23,2	1361,76

EK-5 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 180°C'DEKİ DAYANIM VE KBHA DEĞERLERİ

Seri No	$\sigma_{180^{\circ}\text{C}}$ (kg/cm ²)	KBHA (kg/m ³)
1	17,3	873,96
2	20,0	886,28
3	26,0	914,48
4	10,0	794,37
5	20,7	759,38
6	22,9	843,07
7	10,8	747,97
8	13,5	770,67
9	12,6	759,93
10	12,2	700,81
11	12,4	670,26
12	18,0	760,98
13	8,1	677,69
14	8,4	694,48
15	16,1	735,85
16	5,8	746,72
17	8,8	790,39
18	6,2	876,51
19	18,3	751,67
20	8,3	778,44
21	18,1	848,68
22	7,7	719,31
23	17,6	819,52
24	31,6	901,21
25	12,4	870,28
26	17,9	839,40
27	19,6	804,69
28	9,0	718,59
29	14,6	792,43
30	37,4	954,10
31	12,1	775,82
32	12,8	776,68
33	28,2	898,34
34	15,5	766,14
35	19,3	812,75
36	22,1	813,65
37	11,1	745,97
38	21,4	851,51
39	37,1	906,02

EK-5 : (Devamı)

40	12,5	708,14
41	12,9	758,75
42	15,8	797,65
43	7,1	837,71
44	6,2	810,28
45	14,5	875,85
46	2,3	842,10
47	16,2	902,72
48	14,8	880,05
49	4,7	812,46
50	6,6	803,46
51	7,9	822,62
52	8,6	1394,14
53	7,9	1376,78
54	17,2	1408,62
55	9,2	1384,81
56	18,9	1467,63
57	15,1	1333,09
58	16,3	1443,74
59	12,4	1367,64
60	21,1	1411,17
61	17,2	1464,64
62	12,4	1327,56
63	31,9	1434,26
64	13,3	1368,35
65	21,7	1454,18
66	19,5	1393,23
67	6,2	1310,05
68	11,2	1370,64
69	46,1	1461,38
70	13,1	1417,76
71	19,5	1376,22
72	25,8	1339,09
73	10,3	1291,57
74	18,4	1222,46
75	20,9	1266,71
76	9,4	1371,64
77	10,0	1349,19
78	23,2	1361,76

EK-6 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 200°C'DEKİ DAYANIM VE KBHA DEĞERLERİ

Seri No	$\sigma_{200^{\circ}\text{C}}$ (kg/cm ²)	KBHA (kg/m ³)
1	29,9	894,51
2	21,3	840,35
3	32,5	927,64
4	9,4	768,73
5	26,7	764,54
6	27,4	863,96
7	17,1	718,41
8	21,5	794,79
9	23,2	808,77
10	9,8	663,55
11	15,9	710,61
12	13,5	744,47
13	8,6	672,74
14	17,4	720,60
15	17,9	738,61
16	10,3	752,03
17	16,6	819,50
18	21,1	817,98
19	9,9	740,88
20	12,4	784,40
21	2,2	851,31
22	10,7	736,93
23	19,2	814,25
24	23,2	894,10
25	17,5	876,42
26	19,2	816,86
27	17,8	792,73
28	6,0	705,84
29	13,1	789,32
30	30,6	934,39
31	13,1	864,46
32	17,8	834,38
33	22,5	859,18
34	16,3	784,85
35	18,8	807,92
36	27,5	825,60
37	17,4	773,28
38	22,0	817,49
39	39,9	876,65

EK-6 : (Devamı)

40	14,3	724,53
41	17,8	754,23
42	24,4	771,01
43	10,6	831,15
44	11,4	810,34
45	16,7	870,50
46	7,7	849,81
47	22,4	909,18
48	21,5	891,66
49	11,1	808,51
50	12,7	809,05
51	15,4	840,52
52	15,0	1371,14
53	16,5	1425,60
54	30,4	1436,38
55	18,1	1410,01
56	34,3	1503,11
57	20,5	1360,05
58	17,2	1389,95
59	29,9	1423,82
60	41,2	1484,07
61	21,9	1455,96
62	25,4	1412,93
63	41,4	1482,13
64	21,6	1386,09
65	16,6	1333,77
66	37,1	1449,58
67	10,1	1302,27
68	27,2	1408,70
69	41,0	1458,89
70	14,1	1306,38
71	29,9	1398,32
72	29,8	1236,46
73	17,4	1320,06
74	27,8	1229,81
75	27,3	1282,26
76	9,5	1314,73
77	22,6	1370,20
78	27,7	1336,53

EK-7 : HAFİF BETON NUMUNELERİNİN 28 GÜNLÜK VE 120°C, 180°C, 200°C SICAKLIK ETKİSİ SONRASI BASINÇ DAYANIM DEĞERLERİ

Seri No	σ_{28} (kg/cm ²)	$\sigma_{120^{\circ}\text{C}}$ (kg/cm ²)	$\sigma_{180^{\circ}\text{C}}$ (kg/cm ²)	$\sigma_{200^{\circ}\text{C}}$ (kg/cm ²)
1	22,55	19,4	17,3	29,9
2	26,92	19,2	20,0	21,3
3	38,35	30,8	26,0	32,5
4	20,91	6,6	10,0	9,4
5	37,65	25,9	20,7	26,7
6	28,01	16,5	22,9	27,4
7	8,36	3,0	10,8	17,1
8	22,66	10,8	13,5	21,5
9	23,91	13,6	12,6	23,2
10	13,72	0,3	12,2	9,8
11	11,86	8,5	12,4	15,9
12	23,11	7,4	18,0	13,5
13	5,19	1,0	8,1	8,6
14	13,02	8,4	8,4	17,4
15	17,82	12,0	16,1	17,9
16	7,86	0,1	5,8	10,3
17	12,05	6,0	8,8	16,6
18	26,95	12,1	6,2	21,1
19	9,34	4,5	18,3	9,9
20	9,12	6,6	8,3	12,4
21	21,32	12,9	18,1	2,2
22	7,18	8,6	7,7	10,7
23	18,51	15,4	17,6	19,2
24	25,68	9,3	31,6	23,2
25	14,15	12,1	12,4	17,5
26	13,30	15,5	17,9	19,2
27	10,00	19,5	19,6	17,8
28	1,65	5,8	9,0	6,0
29	14,85	8,6	14,6	13,1
30	40,55	27,5	37,4	30,6
31	15,05	6,8	12,1	13,1
32	15,80	12,2	12,8	17,8
33	14,00	14,5	28,2	22,5
34	13,80	11,6	15,5	16,3
35	15,05	11,5	19,3	18,8
36	16,15	24,3	22,1	27,5
37	7,25	5,7	11,1	17,4
38	23,35	18,7	21,4	22,0
39	9,25	26,3	37,1	39,9

EK-7 : (Devami)

40	8,35	4,0	12,5	14,3
41	7,85	9,9	12,9	17,8
42	13,20	17,9	15,8	24,4
43	7,55	3,9	7,1	10,6
44	7,20	2,9	6,2	11,4
45	18,10	16,9	14,5	16,7
46	5,35	6,6	2,3	7,7
47	9,10	8,8	16,2	22,4
48	22,85	19,8	14,8	21,5
49	3,15	5,8	4,7	11,1
50	5,65	7,0	6,6	12,7
51	6,55	8,0	7,9	15,4
52	3,60	0,1	8,6	15,0
53	16,50	8,8	7,9	16,5
54	24,65	20,2	17,2	30,4
55	4,35	9,2	9,2	18,1
56	26,95	18,9	18,9	34,3
57	19,15	15,1	15,1	20,5
58	11,55	16,3	16,3	17,2
59	10,05	12,4	12,4	29,9
60	35,25	21,1	21,1	41,2
61	8,15	17,2	17,2	21,9
62	9,80	12,4	12,4	25,4
63	14,75	31,9	31,9	41,4
64	6,80	13,3	13,3	21,6
65	19,45	21,7	21,7	16,6
66	20,80	19,5	19,5	37,1
67	5,80	6,2	6,2	10,1
68	14,25	11,2	11,2	27,2
69	25,55	46,1	46,1	41,0
70	4,75	13,1	13,1	14,1
71	15,05	19,5	19,5	29,9
72	5,56	25,8	25,8	29,8
73	5,00	10,3	10,3	17,4
74	7,25	18,4	18,4	27,8
75	6,00	20,9	20,9	27,3
76	7,25	9,4	9,4	9,5
77	7,10	10,0	10,0	22,6
78	14,40	23,2	23,2	27,7