

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLEMANİT KATKILI ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN
POMZA AGREGALI HAFİF BETONUN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

İnş.Müh. Namık YALTAY

Doktora Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ
MART-2015

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

**KOLEMANİT KATKILI ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN POMZA AGREGALI HAFİF
BETONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Namık YALTAY

(06225201)

Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi

Danışman: Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Şubat 2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOLEMANİT KATKILI ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN POMZA AGREGALI
HAFİF BETONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

İnş.Müh. Namık YALTAY

(06225201)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Şubat 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 19 Mart 2015

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Cevdet Emin EKİNCİ (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Sabit OYMAEL (İst.Arel Ü.)

Doç.Dr. Serkan SUBAŞI (Düzce Ü.)

Doç.Dr. Yüksel ESEN (F.Ü.)

Y.Doç.Dr. Erdiñç ARICI (F.Ü.)

MART-2015

BEYANNAME

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre ve Dr. Cevdet Emin EKİNCİ akademik danışmanlığında hazırlamış olduğum **“Kolemanit Katkılı Çimento İle Üretilen Pomza Agregalı Hafif Betonun Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması”** adlı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

Namık YALTAY

23 Mart 2015

ÖNSÖZ

Ülkemizdeki pomza rezervinin büyüklüğü ve yapılarda yaygın şekilde kullanımı pomzanın hafif betonla kullanımı anlamında ilgi odağı olmaya devam etmektedir. Bu nedenle pomzalı betonların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri konusundaki araştırmalar hız kazanmaya başlamıştır. Diğer taraftan, son derece yaygın kullanımı olan hafif betonun ve pomzanın radyasyon geçirgenliğinin belirlenmesi ve bir bor minerali olan kolemanit ile iyileştirilmeye çalışılması, hem yaygın kullanılan pomza açısından, hem de dünyanın en büyük bor rezervine sahip Türkiye’de bor mineralinin kullanım alanlarıyla ilgili olarak önem taşımaktadır. Teknolojinin hızla geliştiği çağımızda birçok alanda hayatımıza giren radyasyonun insan sağlığı açısından olumsuzluklarının belirlenmesi giderilmesi ya da azaltılmaya çalışılması da ayrıca önem taşımaktadır.

Bu çalışmamda beni yönlendiren, kendisiyle çalışmaktan büyük bir memnuniyet duyduğum akademik danışman hocam Sayın Dr. Cevdet Emin EKİNCİ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarımın çeşitli aşamalarında destekleyen mesai arkadaşlarıma, teşekkür ederim.

Namık YALTAY

ELAZIĞ – 2015

KOLEMANİT KATKILI ÇİMENTO İLE ÜRETİLEN POMZA AGREGALI HAFİF BETONUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Kolemanit katkılı çimento ile üretilen pomza agregalı hafif betonun, fiziksel özelliklerini araştırmak amacıyla yapılan bu çalışma kapsamında, %0, %0.4, %0.6, %0.8, %1 ve %2 oranlarında çimento ile ikame edilen kolemanit katkısı ile hafif beton numuneleri üretilmiştir. Beton karışımında iri ve ince agrega olarak, Türkiye-Van-Erciş-Kocapınar Bölgesi'nden elde edilen pomza kullanılmıştır. Beton numuneleri 28, 56 ve 360 gün kürlenmiş ve çalışma kapsamında, beton numunelerinin gama radyasyon soğurganlıkları deneysel olarak incelenerek kolemanit katkısının bu anlamda etkisi irdelenmiş, ayrıca WinXcom programı ile teorik olarak hesaplanan radyasyon zırhlama değerleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca numuneler üzerinde, porozite, kılcal su emme, ultrases hızı geçiş, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımı deneyleri yapılmış ve kür yaşının söz konusu parametrelere etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kolemanit katkısı hafif betonun radyasyon zırhlama özelliğinde iyileştirme yapmış, ancak kolemanit oranı (%0.4-2) ile lineer ve kütle soğurma katsayıları arasında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmüştür. Özellikle uzun süreli (360 gün) kürleme yaşının lineer ve kütle soğurma katsayılarını yükseltmiş ve ortalama serbest yol değerlerini düşürmüş, kür yaşı ile söz konusu parametreler arasında güçlü doğrusal bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. WinXcom ile yapılan radyasyon zırhlama teorik hesaplarıyla uyumlu sonuçlar bulunmuştur. İleri kür yaşı (360 gün), kapiler su emme ve porozite değerlerini sırasıyla, %23.13-43.76 ve %9.6-23.8 seviyelerinde düşürmüş, basınç dayanımında kolemanit katkısı özellikle ileri kür yaşlarında iyileşmeler göstermiş, 360 günlük kür yaşı basınç dayanımını pozitif yönde etkilemiş ve ultrases geçiş değerleri ile karşılaştırıldığında sonuçlar birbirine uyumlu çıkmıştır. 28 ve 56 günlük kolemanit katkılı numunelerde 400°C sıcaklık sonrası değişken bir ağırlık ve basınç kaybı gözlemlenirken, 600°C ve 800°C'lik sıcaklıklarda birbirine yakın çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kolemanit, Pomza, Gama Radyasyon Zırhlama, Hafif Beton, Kür Yaşı

THE INVESTIGATION OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCED WITH PUMICE AGGREGATE AND COLEMANITE BLENDED CEMENT

SUMMARY

Within the context of this study aimed to investigate physical properties of lightweight pumice aggregate concrete produced with cement containing colemanite, lightweight concrete specimens were produced with colemanite contribution substituted in cement proportions as 0%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1%, and 2%. In concrete mix, pumice obtained from Kocapınar Region in Erciş, Van Turkey was used as coarse and fine aggregates. Concrete specimens were cured into 28, 56 and 360 days and in the context of this study, the effect of colemanite contribution was examined by experimentally investigating of gamma radiation shielding properties of concrete specimens, besides it was compared with radiation shielding values calculated theoretically with WinXcom Program. Additionally porosity, capillary absorption, ultrasonic pulse velocity, compressive strength and high temperature endurance tests were applied on these specimens, and the effect of cure age on aforesaid parameters was determined. According to the obtained results, colemanite contribution improved the radiation shielding feature of lightweight concrete but there was no linear relationship between colemanite proportion (0.4-2%) and linear and mass attenuation coefficient. Especially long term curing age (360 days) enhanced linear and mass attenuation coefficient and reduced mean free path values, and it was revealed that there was an intense linear relationship between curing age and aforesaid parameters. The results were found coherent with radiation shielding theoretical calculations obtained from WinXcom. Long term curing age (360 days) reduced capillary water absorption and porosity values respectively as 23.13-43.76% and 9.6-23.8%, and at the compression strength colemanite contribution indicated improvements in long term curing age, 360 days curing age affected positively compression strength and comparing with the values of ultrasonic pulse velocity, the result were found coherent. It was observed that 28 and 56 days specimens with colemanite contribution had loss of changeable weight and compressive strength after 400°C, and at 600°C and 800°C they were closed to each other.

Key Words: Colemanite, Pumice, Gamma Radiation Shielding,
Lightweight Concrete and Curing age

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
İÇ KAPAK	I
ONAY SAYFASI	II
BEYANNAME	III
ÖNSÖZ	IV
ÖZET	V
SUMMARY	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ	XII
SİMGELER LİSTESİ	XIV
KISALTMALAR LİSTESİ	XV

1. GİRİŞ	1
1.1. Pomza ve Hafif Beton	1
1.2. Radyasyon	4
1.2.1. Radyasyon Kaynakları	5
1.2.1.1. Doğal Radyasyon Kaynakları	5
1.2.1.2. Yapay Radyasyon Kaynakları	6
1.2.2. Radyasyon Işınlamasının Etkileri	7
1.2.3. Radyasyon Işınlanmasının Biyolojik Etkileri	8
1.2.4. Parçacık Radyasyonu	9
1.2.4.1. Alfa Bozunumu	9
1.2.4.2. Beta Bozunumu	10
1.2.5. Nötronlar	14
1.2.6. Elektromanyetik Radyasyon	15
1.2.7. Gama Bozunumu	17
1.2.8. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi	19
1.2.8.1. Alfa Parçacıkları ve Ağır Çekirdeklerin Etkileşimleri	20
1.2.8.2. Beta Parçacıklarının Etkileşimleri	20
1.2.8.3. Foton Etkileşimleri	20
1.2.8.3.1. Fotoelektrik Etkileşimler	21

1.2.8.3.2. Compton Etkileşimleri	22
1.2.8.3.3. Çift Oluşum	22
1.2.9. Lineer Soğurma Katsayısı, Kütle Soğurma Katsayısı ve Ortalama Serbest Yol	23
1.2.10. Radyasyon Zırhlama	24
1.2.10.1. Alfa ve Beta Kaynaklarının Zırhlanması	25
1.2.10.2. Foton Kaynaklarının Zırhlanması	25
1.3. Bor ve Radyasyon Geçirimsizliği	26
1.4. Beton ve Yüksek Sıcaklık	27
1.5. Hafif Agregalı Betonda Basınç Dayanımı	29
1.6. Betonda Su Geçirimsizlik Süreci	32
1.7. Literatür Bildirimi	33
2. AMAÇ VE YÖNTEM	56
3. MATERYAL VE METOT	58
3.1. Materyal	58
3.1.1. Mineral Katkı (Kolemanit)	58
3.1.2. Pomza Agregası	59
3.1.3. Çimento	61
3.2. Beton Karşımı	62
3.3. Radyasyon Zırhlama Deneyi.....	64
3.4. Radyasyon Zırhlama Teorik Hesaplamaları.....	67
3.5. Kapiler Su Emme Deneyi	67
3.6. Porozite Deneyi	69
3.7. Ultrases Geçiş Hızı ile Beton Basınç Dayanımı Deneyi	69
3.8. Basınç Dayanım Deneyi	70
3.9. Yüksek Sıcaklık Deneyi	70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	72
4.1. Radyasyon Deneyi Bulguları	72
4.1.1. Kolemanitin Lineer ve Kütle Soğurma Katsayılarına Etkileri	72
4.1.2. Yoğunluk ve Lineer Soğurma Katsayısı	74
4.1.3. Kür Yaşının Lineer ve Kütle Soğurma Katsayısına Etkileri	76
4.1.4. Deneysel Sonuçların WinXcom Teorik Hesaplamalarla Karşılaştırılması	78
4.2. Kapiler Su Emme Deneyi Bulguları	79
4.3. Porozite Deneyi Bulguları	81

4.4. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları	83
4.5. Basınç Dayanım Deneyi Bulguları	85
4.6. Yüksek Sıcaklık Deneyi Bulguları	87
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	11

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Alfa bozunumu	10
Şekil 1.2. β^- bozunumu	11
Şekil 1.3. ^{14}C 'ün dönüşüm ürünü olan ^{14}N 'e göre çekirdek grafiği üzerindeki yeri ve bozunma şeması	12
Şekil 1.4. β^+ bozunumu	13
Şekil 1.5. Elektron yakalama	13
Şekil 1.6. Elektromanyetik dalga spektrumu	17
Şekil 1.7. Gama bozunumu	18
Şekil 1.8. Fotoelektrik olay	21
Şekil 1.9. Compton olayı	22
Şekil 1.10. Çift oluşum	23
Şekil 1.11. Kumsuz (ince agrega yok), gaz beton, hafif agregalı beton	30
Şekil 1.12. Hafif agregalı betonlar için küp day. etüv kurusu yoğunluk ile değişimi	30
Şekil 1.13. Hafif beton ve normal betonda kırılma yolu	31
Şekil 3.1. Öğütülmüş ve elenmiş kolemanit örneği (hassas terazi ile tartım işlemi)	58
Şekil 3.2. Deneylere esas pomzanın granülometri eğrisi	60
Şekil 3.3. Özgül ağırlık faktörü deneyi	63
Şekil 3.4. Deneme karışımlarının yapılması	63
Şekil 3.5. Beton karışımının hazırlanması (pan mikseri)	63
Şekil 3.6. Taze betonda çökme (slump) testi	64
Şekil 3.7. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi	64
Şekil 3.8. Kalıptan çıkarılan beton numunelerinin kür havuzunda bekletilmesi	64
Şekil 3.9. Radyasyon deney düzeneği	65
Şekil 3.10. Cobalt 60 radyasyon kaynağı ve radyasyon deney düzeneği	66
Şekil 3.11. Radyasyon deneyi (numunenin yerleştirilmesi)	66
Şekil 3.12. Radyasyon deney düzeneği kontrol paneli ve elektrometre	66
Şekil 3.13. Kılcal su emme deneyi için parafinin benmari yöntemiyle eritilmesi	68
Şekil 3.14. Kılcal su emme deneyi için eritilmiş parafinin numuneye uygulanması	68
Şekil 3.15. Kılcal su emme deneyi için kullanılan deney düzeneğinin tesviye edilmesi	68
Şekil 3.16. Kılcal su emme uygulaması (numune tabanı su seviyesinin 5 mm altında)	68
Şekil 3.17. Ultrases geçiş hızı okuma cihazı (pundit)	69
Şekil 3.18. Beton presi ile beton basınç dayanımını belirleme işlemi	70

Şekil 3.19. Yüksek sıcaklık fırını	71
Şekil 3.20. Yüksek sıcaklık fırını sıcaklık-süre kontrol paneli.....	71
Şekil 4.1. Kolemanit oranı ile kütle soğurma katsayısı değişimi	73
Şekil 4.2. Kolemanit oranı ile lineer soğurma katsayısı değişimi	74
Şekil 4.3. 28 günlük numuneler için yoğunluk ile lineer soğurma katsayısı değişimi	75
Şekil 4.4. 56 günlük numuneler için yoğunluk ile lineer soğurma katsayısı değişimi	75
Şekil 4.5. 360 günlük numuneler için yoğunluk ile lineer soğurma katsayısı değişimi	76
Şekil 4.6. Kür yaşı ile kütle soğurma katsayısı değişimi.....	77
Şekil 4.7. Kür yaşı ile yoğunluk değişimi	77
Şekil 4.8. Kür yaşı ile lineer soğurma katsayısı değişimi.....	78
Şekil 4.9. Deneysel ve teorik lineer soğurma katsayıları	79
Şekil 4.10. Kolemanit oranına göre kapiller su emme katsayıları.....	80
Şekil 4.11. Kür yaşı ile kapiler su emme katsayısı değişimi	81
Şekil 4.12. Kolemanit oranına göre porozite değerleri.....	82
Şekil 4.13. Kür yaşı ile porozite değişimi	83
Şekil 4.14. Kolemanit oranına göre ultrases geçiş hızı-fck değerleri.....	84
Şekil 4.15. Kür yaşı ultrases geçiş hızı-fck değerleri değişimi ve korelasyon katsayıları ..	85
Şekil 4.16. Numune gruplarına göre basınç dayanım değişimleri.....	86
Şekil 4.17. Kür yaşı basınç dayanımı-fck değerleri değişimi ve korelasyon katsayıları.....	87
Şekil 4.18. 28 günlük numunelerin 400°C sonrası değişimi	89
Şekil 4.19. 28 günlük numunelerin 600°C sonrası değişimi	90
Şekil 4.20. 28 günlük numunelerin 800°C sonrası değişimi	90
Şekil 4.21. 400°C sonrası ağırlık kaybı-basınç dayanım kaybı değişimi (28 gün)	91
Şekil 4.22. 400°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (28 gün)	91
Şekil 4.23. 600°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (28 gün).....	92
Şekil 4.24. 600°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (28 gün)	92
Şekil 4.25. 800°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (28 gün).....	93
Şekil 4.26. 800°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (28 gün)	93
Şekil 4.27. 56 günlük numunelerin 400°C sonrası değişimi	94
Şekil 4.28. 56 günlük numunelerin 600°C sonrası değişimi	95
Şekil 4.29. 56 günlük numunelerin 800°C sonrası değişimi	95
Şekil 4.30. 400°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (56 gün).....	96
Şekil 4.31. 400°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (56 gün)	96

Şekil 4.32. 600°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (56 gün).....	97
Şekil 4.33. 600°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (56 gün)	97
Şekil 4.34. 800°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (56 gün).....	98
Şekil 4.35. 800°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (56 gün)	98

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye pomza rezerv dağılımı	4
Tablo 1.2. Radyasyonun etkileşme özellikleri.....	19
Tablo 3.1. Kolemanitin kimyasal içeriği	59
Tablo 3.2. Kolemanitin fiziksel analiz sonuçları.....	59
Tablo 3.3. Pomza elek analizi sonuçları	61
Tablo 3.5. Pomza'nın kimyasal içeriği.....	61
Tablo 3.6. Çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri	62
Tablo 3.7. Beton karışım oranları	63
Tablo 4.1. Deneysel lineer soğurma katsayısı ve ortalama serbest yol sonuçları 1250 keV. (28 gün).....	72
Tablo 4.2. Deneysel lineer soğurma katsayısı ve ortalama serbest yol sonuçları 1250 keV. (56 gün).....	73
Tablo 4.3. Deneysel lineer soğurma katsayısı ve ortalama serbest yol sonuçları 1250 keV. (360 gün).....	73
Tablo 4.4. Lineer soğurma katsayıları ve ortalama serbest yol değerlerinin WinXcom ile hesaplanan teorik sonuçları.....	79
Tablo 4.5. Numune gruplarına göre kapiler su emme katsayıları	80
Tablo 4.6. Numune gruplarına göre porozite değerleri	82
Tablo 4.7. Ultrases geçiş hızına göre hesaplanan beton basınç dayanımları.....	84
Tablo 4.8. Deney sonuçlarına göre beton basınç dayanımları.....	86
Tablo 4.9. 28 günlük numunelerde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar.....	89
Tablo 4.10. 56 günlük numunelerde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar.....	94
Tablo 5.1. Kolemanit katkısının hafif betonların özelliklerine etkisinin genel değerlendirmesi	101
Tablo 5.2. Kür yaşının kolemanit katkılı hafif betonların özelliklerine etkisinin genel değerlendirmesi	101

SİMGELER LİSTESİ

A	: Kesit Alan
C - C0	: Kontrol grubu (%0 kolemanit içeriği)
C1	: 1 nolu numune grubu (%0.4 kolemanit içeriği)
C2	: 2 nolu numune grubu (%0.6 kolemanit içeriği)
C3	: 3 nolu numune grubu (%0.8 kolemanit içeriği)
C4	: 4 nolu numune grubu (%1 kolemanit içeriği)
C5	: 5 nolu numune grubu (%2 kolemanit içeriği)
cm	: Santimetre
eV	: Elektronvolt
fck	: Karakteristik basınç dayanımı
I₀	: Gelen fotonun şiddeti
I	: Soğurulmadan geçen fotonun şiddeti
k	: Kapiller su emme katsayısı
MPa	: Megapaskal
m	: Kütle
mSv	: MiliSievert (Radyasyon doz birimi)
t	: Süre
Q	: Emilen Kılcal su miktarı
Z	: Atom numarası
μ	: Lineer soğurma katsayısı
μ_p	: Kütle soğurma katsayısı
σ	: Compton soğurma katsayısı
α	: Alfa parçacığı
β	: Beta parçacığı
λ	: Ortalama serbest yol
°C	: Santigrat derece

KISALTMALAR LİSTESİ

CBE	: Uluslararası alanda beton-donatı üzerine çalışmalar yapan bir kuruluş.
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DYK	: Doygun yüzey kuru
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi
keV	: Kilo elektron volt
KYB	: Kendiliğinden yerleşen beton
KYHB	: Kendiliğinden yerleşen hafif beton
NaI (TI)	: Talyum aktifli sodyumiyodür detektörü
SONREB	: Bileşik yıkıntısız beton denetimi
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TSW	: Trommel sieve waste (Döner elek atığı)
VPB	: Volkanik pomza betonu

1. GİRİŞ

1.1. Pomza ve Hafif Beton

Pomza, volkanik kökenli bir kayaç olup boşluklu ve süngerimsi bir yapıya sahiptir. Türkiye’de, değeri yeni anlaşılan ve son 20 yılda endüstride kullanılmaya başlayan madenlerdendir. İtalyanca bir sözcük olan “pomza” (ponza) terimi, farklı dillerde değişik şekillerde (ponce, pumice, pumicite, bims, bimstein gibi) isimlendirilmektedir (DPT, 2001).

Pomza, volkanik aktivite patlaması sonucu oluşmuş, boşluklu yapısıyla, volkanik kökenli bir alüminyum silikattır. Boşluklu yapısı hafif ve izolasyon özelliklerinden ötürü pomza, yapıda yaygın kullanılan bir malzemedir (Aydın, 2008). Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayaçtır. Türkiye’de “süngertaşı, köpüktaşı, nasırtası, hışırtası, küvek, şeklinde adlandırılan pomzaya özellikle Orta ve Doğu Anadolu’da, Kayseri, Nevşehir, Niğde ve Van gibi şehirlerde rastlanır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza, kendisine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayaçlardan (perlit, obsidyen, pekş-tayn) ayrılır. Bunlardan rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılmaktadır. Sertliği mohs skalasına göre 5-6’dır. Kimyasal olarak %75’e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Pomzanın genel kimyasal bileşimi; %60-75 SiO₂, %13-17 Al₂O₃, %1-3 Fe₂O₃, %1-2 CaO, %7-8 Na₂O-K₂O ve eser miktarda TiO₂ ve SO₃’den oluşmaktadır. Kayacın içerdiği SiO₂ oranı kayaca abraziflik özelliği kazandırmaktadır. Bu özelliğinden dolayı çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve yüksek ısıya dayanım özelliği kazandırmaktadır. Na₂O ve K₂O tekstil sanayiinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir (DPT, 2001; Türkmen, 1997). Türkiye’de pomza, hafif beton üretimi için en geniş kullanımı olan agregadır ve tahminlere göre 3 milyon m³ kadar bir rezervi vardır (Gündüz ve Uğur, 2005; Bideci vd., 2013). Düşük yoğunlukta olup orta düzeyli taşıma kapasiteli zeminde yapıya izin vermesi, daha az donatıya ihtiyaç duyması, daha yüksek binalar inşa edilebilmesi

düşük maliyetli ve yüksek termal yalıtımlı hafif betonun avantajlarıdır (Gündüz ve Uğur, 2005).

Bazaltik pomza; inşaat, tekstil, tarım ve kimya gibi 5 farklı sektörde kullanılabilir (Yaşar ve Erdoğan, 2001). Pomzanın ısı yalıtımı için ideal bir malzeme olduğunu (Gündüz, 2001), “Pomza taneleri, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişime maruz bırakılmaksızın, farklı tane boyutlarında, serbest taneler halinde ısı yalıtım amaçlı bir malzeme olarak inşaat sektöründe kullanılabilir. Bu bakımdan, pomza taneleri, teknolojik olarak higroskopik bir malzeme ve pratikte montaj için fazla nem gerektirmeyen bir yalıtım elemanı türü olarak tanımlanabilir (Gündüz, 1998)” şeklinde ifade etmektedir.

Hafif beton, geleneksel bir beton olmadığı gibi ve aynı özelliklere de sahip değildir. Genel bir ifadeyle hafif beton, içinde %75'e varan oranda hava kabarcıkları, 400-1600 kg/m³ birim ağırlığı ve 1-15 MPa basınç mukavemeti olan harçtan yapılmış beton olarak tanımlanabilir. Geleneksel betonlara göre çok daha az birim ağırlığa ve yoğunluğa sahiptir. Hafif beton farklı alanlarda da kullanılabilir.

Örnek olarak;

- Çatı ve ara kat ısı yalıtımı malzemesi,
- İç ve dış mekanlarda taşıyıcı olmayan duvar malzemesi,
- Ara katların şaplarında veya yüzey yükseltme işlemleri,
- Tutuşmayı ve yangını önleyici engeller ve boşlukların oluşturulması,
- Tesisat kanallarının yanı sıra geleneksel binaların tavan sıva malzemesi,
- Çelik inşaat aksamının etrafına kalıp yardımı ile dökülerek yangın koruyucu bir tabaka oluşturulması,
- Zemin stabilizasyonu ve dolgu malzemesi,
- Kanalizasyon,
- Yer altı boruları, kanal ve tünellerin doldurulması; yüzme havuzu, su depoları, sarnıçlar, maden ocakları gibi tekrar kazanılması gereken yüzeylerin doldurulmasında dolgu malzemesi,
- Arazi işlemleri,
- Dekoratif panellerin üretimi ile çok amaçlı yapı dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği gösterilebilir (Ekinci, 2008).

Pomza agregalı betonların sıcaklık genleşme katsayısı yaklaşık olarak normal betondan %25 daha düşüktür. Dolayısıyla da pomza agregalı hafif betonlar sıcaklık değişimine karşı daha dayanıklıdır. Bu da önemli derecede farklı sıcaklıkların etkisinde kalacak olan hiperstatik yapılarda hafif beton kullanımının yararlı olacağını gösterir. Isı iletkenliği, birim hacim ağırlığa ve su içeriğine göre değişmekle beraber, bu iletkenlik normal betonunkinden çok düşük değerlerdedir (Gündüz vd., 1998).

Pomza, normal beton agregalarına göre daha fazla şekil değiştirmeye yatkın olduğundan, rötrenin etkisiyle çatlama ihtimali normal betona göre daha azdır. Pomza agregalı betonların sünme-şekil değiştirmesi, normal betona göre yaklaşık %40 daha büyüktür. Pomza agregalı betonların ısı iletkenlikleri ve genleşme katsayıları küçük olduğundan, bu betonların yangına karşı dayanımları normal betona göre daha yüksektir. Pomza agregalı betonlar önemli miktarlarda su emmesine rağmen donmaya karşı dayanımı yüksektir. Zira suya doymun olmayan çok sayıda gözeneğe sahip olmasından dolayı zarar görmeden buzlanma genleşmesine imkan vermektedir (Gündüz vd., 1998; Çağlayan ve Kahriman, 2003; Gül ve Bingöl, 2002).

Donatı-beton kenetleşmesi (aderans) bakımından ise, aderans konusunda CBE, düşey konumda donatı çubukları için normal betondaki kenetleme boyunu, yatay konumdaki donatı çubukları için ise aderansı geliştirilmiş donatılarla, kenetleme boyunun 1,5 katını kullanmayı önermektedir. Aderanstaki bu azalma, beton dökümünde boşluk oluşma ihtimalinin normal betona göre daha büyük olmasından meydana gelmektedir. Pomza agregalı hafif betonun korozyona karşı dayanımı en az normal betonunki kadardır. Dinamik etkiler altındaki davranışı açısından ele alındığında ise, pomza agregalı betonlarda dalga yayılma hızı normal betonunkinden yaklaşık %25 daha küçüktür. Titreşimleri daha az iletir. Şok etkilerini daha iyi absorbe eder (Gündüz vd., 1998; Çağlayan ve Kahriman, 2003).

Binanın zati (ölü) yükünün düşürülmesi için hafif malzeme kullanımının önemi gittikçe artmaktadır. Bilindiği üzere, inşa edilen binalarda kullanılan malzemenin hafifliği, binanın ölü ağırlığının düşük bir değerde olmasında önemli bir etkidir. Bina statiği açısından, bina zati 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 (Gündüz vd., 2001).

Radyasyon zırlama amacıyla, kurşun tungsten gibi ağır elementler ideal malzemelerdir, fakat durabilite ve ekonomik problemlerden dolayı direkt olarak yapı inşasında kullanılamazlar (Akkurt vd., 2010a).

Tablo 1.1. Türkiye pomza rezerv dağılımı (DPT, 2001).

Yeri	Rezerv miktarı (ton)	Rezerv kategorisi
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	404 412 834	A+B
Derinkuyu	48 660 500	C
Kayseri-Gömeç	13 250 000	A+B
Kayseri-Develi	58 500 000	A+B
Kayseri-Talas-Tomarza	241 000 000	A
Kayseri-Talas-Tomarza	284 000 000	B
Bitlis- Tatvan	1 100 000 000	B
Van-Erciş-Kocapınar	154 625 000	A+B
Van-Mollakasım	5 950 000	A+B
Ağrı-Patnos	27 812 000	A+B
Ağrı-Doğubeyazıt	26 875 000	A+B
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40 156 250	B
Kars-Digor	11 718 750	B
Kars-Sarıkamış	1 875 000	B
Ankara-Güdül-Tekköy	8 070 000	A+B
Isparta-Gölcük	30 983 250	A+B+C

(A: Görünür rezerv, B: Mümkün rezerv, C: Muhtemel rezerv)

1.2. Radyasyon

Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacık formunda bir enerjidir. Radyoaktivite, radyasyon yayan kararsız atom çekirdeğinde kendiliğinden olan değişimdir. Bu değişim, çekirdek bozunması olarak adlandırılır. Genellikle, radyoaktif atomlar, ilgili kimyasal elementin “radyonüklitleri” veya “radyoaktif izotopları” olarak adlandırılırlar (TAEK, 2010). Lazer, güneş, radar sistemi, televizyon vericileri, x-ışını makineleri ve radyoaktif kaynaklar gibi birçok radyasyon kaynağı mevcuttur (Bora, 2001).

Parçacık veya elektromanyetik dalga formundaki radyasyon, etkileştiği atomların elektronlarını koparacak kadar yeterli enerjiye sahipse atomlar yüklü hale gelir ve iyonlaşmış olur. Bu da “iyonlaştırıcı radyasyon” olarak adlandırılır. Etkileşim sonucunda oluşan iyonlar, hücrelere hasar veren kimyasal değişimlere neden olabilecek kapasitedirler. Parçacık veya elektromanyetik formdaki radyasyon, atomları iyonlaştırmada yeterli enerjiye sahip değilse “iyonlaştırıcı olmayan radyasyon” olarak adlandırılır.

İyonlaştırıcı radyasyon alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötron veya gama ışınları ve “X” ışınları olarak bilinen elektromanyetik radyasyon formunda olabilir. İyonlaştırıcı radyasyonun her bir tipi, madde (insan vücudu da dahil) ile farklı şekilde etkileşir ve bunların her biri, farklı tipteki malzemeye etkin bir şekilde durdurulabilir (TAEK, 2010).

1.2.1. Radyasyon Kaynakları

Radyasyon kaynakları doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır (TAEK, 2010). Üç milyar yıl önce, günümüzden daha yüksek olduğu sanılan çevresel radyasyon düzeyinde başlayan insan yaşamı, günümüzde de, gerek doğal gerekse yapay radyasyona maruz kalmaktadır (Bora, 2001).

1.2.1.1. Doğal Radyasyon Kaynakları

İyonlaştırıcı veya iyonlaştırıcı olmayan doğal radyasyon kaynakları “kozmetik” veya “karasal” olarak tanımlanabilirler. Gökyüzünden gelen kozmik radyasyon, yıldızların oluşumu ve ömrünü tamamlaması gibi çeşitli olaylarla oluşmaktadır. Kozmik radyasyonun dünyada bizi ilgilendiren şimdiye kadarki en büyük yayıcısı güneştir. Karasal radyasyon ise dünyanın kendisinden gelmektedir ve yer kabuğunda başlangıçtan beri var olan bozunmalar ve kozmojenik radyonüklitlerle oluşurlar. Uranyum ve toryum elementi milyonlarca yıldır azar azar bozunarak iyonlaştırıcı radyasyon yayarlar ve en sonunda, kararlı ve radyasyon yaymayan kurşuna dönüşürler (TAEK, 2010).

Uranyumun bozunma zincirlerinin üyelerinden birisi olan radon, dünya yüzeyine yakın bir yerde oluşursa atmosfere gaz halinde dağılır. Radyasyon, sadece direkt olarak dünyadaki kaynaklardan yayılmaz, aynı zamanda yaşadığımız yerdeki radyoaktif elementlerin çeşidine ve miktarına bağlı olarak az ya da çok miktarda soluduğumuz atmosferde de bulunur (TAEK, 2010).

Bitkiler ve hayvanlar çevreden radyoaktif maddeleri soğurdıkları için yiyeceklerimiz bile doğal olarak radyoaktiftir. Sonuç olarak, vücudumuzda özellikle kemiklerimizde az miktarda Karbon-14, Potasyum-40 ve Radyum-226 bulunmaktadır. Potasyum önemli bir besin mineralidir ve muz, potasyum açısından oldukça zengin olup radyoaktif izotop Potasyum-40 içermektedir. Doğal olarak oluşabilen, aynı zamanda insan üretimi de olan

(yapay) ve dünyadaki suların bir kısmında oluşan hidrojen izotopu Tritiyum, vücudumuzda özellikle yumuşak dokular ve kan dolaşımında az miktarda bulunur (TAEK, 2010).

1.2.1.2. Yapay Radyasyon Kaynakları

Nükleer enerjinin ve bilimin gelişmesi, çeşitli yeni radyasyon kaynaklarının (yapay radyasyon) üretimini mümkün hale getirmiştir. Başlangıçta yerüstünde gerçekleştirilen nükleer silah denemeleri, dünyanın en üst atmosfer tabakasında çok miktarda radyoaktif maddelerin birikmesi ile sonuçlanmıştır. Kuzey Yarımküre nüfusunun büyük çoğunluğu ve Güney Yarımkürenin bir kısmı bu maddelerden kaynaklanan radyasyona maruz kalmış ve halen kalmaktadır (TAEK, 2010).

1950’li yıllardan beri nükleer gücün gelişimi yakıt çevrimindeki çeşitli aşamalarda atmosfere ve sulara radyoaktivite salınmasına neden olmaktadır. Bu radyoaktivite salımı, çoğunlukla kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi ve az miktarda da yakıt imalatı ve güç üretiminden kaynaklanmaktadır (TAEK, 2010).

Radyasyon, keşfedildiğinden beri tıp bilminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. “X” ışınının kullanılmasıyla önemli miktarda iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalınmaktadır. Son yıllardaki gelişme ise, cerrahi aletlerini insan vücudunda doğru şekilde konumlandırmasına olanak sağlayan gerçek zamanlı “X” ışını görüntüleme sistemleridir. Gama ışınlarının diğer karmaşık tıp kullanım alanları, bilgisayarlı tomografi (CT) ve pozitron emisyon tomografisi (PET)’dir (TAEK, 2010).

Radyasyon, tümör hücrelerini yok edebilmesi nedeniyle kanser tedavisinde de kullanılmaktadır. Radyasyon kaynakları, cerrahi olarak tümör hücresine yerleştirilebilmektedir (implant tedavisi). Sıvı radyasyon kaynakları ise kan dolaşımına enjekte edilmekte ve tümör hücrelerinde toplanabilmektedir. Bu yöntem, tiroit kanseri tedavisinde kullanılmaktadır. Hem hastalar hem de tıbbi görevliler için bütün bu işlemler birer iyonlaştırıcı radyasyon kaynağıdır (TAEK, 2010).

Radyasyonun tıbbi kullanımı en çok alınan radyasyon kaynağı olmasına rağmen yıllık dünya ortalaması 0.3 mSv’dir. Nükleer santraller, nükleer yakıt çeviriminin her aşamasında çevreye bir miktar radyoaktif madde salarlar. Bu salınımdan alınan yıllık radyasyon dozunun dünya ortalaması 0.008 mSv’dir (Bora, 2001).

1.2.2. Radyasyon Işınlamasının Etkileri

Herhangi bir ortamdan, örneğin insan vücudundan, geçen radyasyonun birincil sonucu enerjinin ortamda birikmesi, depolanmasıdır. Bir maddeden radyasyon geçmesi sonucunda o maddede enerji depolanması olur. Madde ile etkileşim sonucunda radyasyon enerjisini kaybederken, madde enerji kazanır. Radyasyon ısınlamasını ölçmek için kullanılan birim, soğurulan enerji miktarını temel alır. Günümüzde radyasyon ısınlaması (doz olarak ifade edilir) gray (Gy) ile ölçülür ve 1 gray, maddenin 1 kg'ında 1 joule'lük enerji soğurulması meydana getiren radyasyon miktarı olarak tanımlanır (TAEK, 2010).

İyonlaştırıcı radyasyonun bazı tipleri diğerlerine göre daha çok hasar verir. Örneğin, alfa parçacıkları büyük kütleye ve elektrik yüküne sahip olduklarından oldukça kısa mesafede yüksek miktarda enerjiyi çarptığı hücreye iletirler ve hassas biyolojik dokularla temas ettiklerinde önemli hasarlara neden olabilirler. Nötronlar, atomlarla oldukça nadir etkileşime girer, ancak etkileştiğinde de etkileri büyük olabilir. Bu fiziksel nedenlerden dolayı, farklı tipteki radyasyonlara, fiziksel olarak depolanan enerji ile radyasyonun neden olacağı hasarın biyolojik olarak anlamlı hale getirilmesini sağlayan ağırlık faktörleri verilmiştir (TAEK, 2010).

Biyolojik hasarı ölçmek için kullanılan birim Sievert (Sv), gray ile ifade edilen depolanan enerji miktarı ile ilgili ağırlık faktörünün çarpımına eşittir. Yüksek ağırlık faktörlerinde tahmin edilen hasarlar da büyük olur. Alfa parçacıkları için bu faktör 20, nötron için enerjisine bağlı olarak 5-20 aralığında, gama ışını (γ), beta ışını (β) ve "X" ışını için ise 1'dir (TAEK, 2010).

Hasar tahminindeki hesaplamalarda, ısınlamaya maruz kalan vücudun tamamı veya hasar gören parçası ve dokusu dikkate alınmalıdır. Akciğer, karaciğer ve kemikler gibi farklı dokular, radyasyona karşı farklı duyarlılık gösterirler. Örneğin, uranyum için biyolojik olarak anlamlı ısınlama alfa parçacıklarıdır. Bu parçacıklar, insan derisinden geçemezler ve bu yüzden genellikle derinin uranyum tozlarına maruz kalmasının bir zararı yoktur. Fakat aynı tozlar bulunduğu zaman hassas akciğer dokularına ulaşmakta ve hücrelere oldukça hasar verebilmektedir. Bu durumda, aslında tek doku ısınlamaya maruz kalmıştır ve depolanan enerji sadece o dokuyla sınırlı kalmıştır. Bu ısınlamayı diğerlerine eşitlemek için araştırmacılar doku-ağırlık faktörlerini geliştirmişlerdir (TAEK, 2010).

1.2.3. Radyasyon Işınlanmasının Biyolojik Etkileri

Radyasyon, tüm zehirli ajanlar içinde üzerinde en çok çalışılan konulardan biridir. Kanserle neden olan kimyasallardan farklı olarak dokunulmamasına, tadılmamasına veya koklanmamasına rağmen kolayca tanımlanabilir ve miktarı ölçülebilir. Madde içerisinde geçen radyasyonun fiziği kolayca anlaşılır ve bu da farklı miktardaki radyasyon ışınlamasının insan üzerindeki etkilerinin bilimsel olarak incelenmesine olanak tanır (TAEK, 2010).

İyonlaştırıcı radyasyon enerjisi, içinden geçtiği maddenin atomuna aktarılır. Su, vücutta en çok bulunan moleküldür ve oldukça kolay iyonlaşır. Radyasyonla normal olmayan kimyasal reaktivite kazanır. Bu su molekülleri, insanın doku hücrelerindeki deoksiribonükleik asit (DNA) moleküllerinin yakınında bulunursa hücrelerin üretim merkezi olan DNA'lar zarar görebilir. Radyasyonla hasar gören hücrede üç farklı sonuç ortaya çıkabilir (TAEK, 2010).

- Hücre başarılı bir şekilde kendi kendini onarır.
- Kendi kendini onaramaz ve ölür.
- Kendi kendini onaramaz ve ölmez.

Uzun dönem etkilerin olasılığı üçüncü durum ile ifade edilebilir, hasar hücrenin kanserleşmesine neden olabilir. Ayrıca hasar gören hücreler yumurta ve sperm hücresi gibi üreme hücreleri ise DNA hasarı genetik bozukluklarla sonuçlanabilir. Burada özetlenen iki potansiyel durum, radyasyon sağlığı ile uğraşan bilim insanlarının temel ilgi alanıdır (TAEK, 2010).

İnsanların iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıklarında oluşabilecek etkiler ise şu şekilde sınıflandırılmıştır:

- Erken etkiler; radyasyona maruz kalınır kalınmaz oluşan etkilerdir ve deterministik (belirli) etkiler olarak adlandırılır.
- Gecikmiş etkiler; etkileri yıllar sonra açığa çıkar ve stokastik (olası) etkiler olarak adlandırılır (TAEK, 2010).

Deterministik etkiyle sonuçlanan radyasyon ışınlamasının eşik doz seviyesi, insanlar için yaklaşık 250 mSv civarındadır. Bu eşik dozun üstünde, doz miktarlarına bağlı olarak farklı biyolojik reaksiyonlar oluşmaktadır. Doz miktarı arttıkça etkilerin şiddeti de artmaktadır. Yüksek dozda radyasyon ışınlaması olan kazalar oldukça azdır ve yüksek

dozda radyasyon almış kişiler için tıbbi tedavi imkanları oldukça gelişmiştir ve gelişmeye de devam etmektedir (TAEK, 2010).

Stokastik etkilerin kesin olarak oluşması söz konusu değildir. Fakat ışınlama miktarı arttıkça oluşum olasılığı da artmaktadır. Stokastik etkilerin en önemli çeşidi kanserdir (lösemi-kan kanseri). Teorik olarak üreme hücreleri ışınlamaya maruz kaldığında genetik bozukluklar olabilir. Ancak, Hiroşima, Nagasaki ve Çernobil’de meydana gelen olaylar sonrası hayatta kalan insanlar üzerinde yapılan çalışmalarda herhangi bir genetik bozukluk gözlenmemiştir (TAEK, 2010).

1.2.4. Parçacık Radyasyonu

Parçacık radyasyonu; belli bir kütle ve enerjiye sahip çok hızlı hareket eden minik parçacıkları ifade eder. Alfa (α), Beta (β) ve Nötron (n^0) parçacıkları bu tür radyasyona örnektir (Önen, 1993).

1.2.4.1. Alfa Bozunumu

Bu işlemde çekirdek bir alfa parçacığı yayınlar (Rutherford ve arkadaşları bu parçacığın bir ${}^4_2\text{He}$ çekirdeği olduğunu göstermişlerdir). Alfa yayınlaması bir coulomb itmesi olayıdır (Şekil 1.1). Alfa Parçacığının yayınlanması reaksiyon (1.1) ile ifade edilebilir (Krane 2011). Çekirdek içinde hapsedilmiş bir alfa parçacığı, geçici olarak bir araya gelmiş iki nötron ve iki protondan oluştuğu düşünülür. 4-5 MeV’lik bir alfa parçacığı çekirdeğin potansiyel kuyusu içinde saniyede 10^{22} kez ileri geri sıçrayarak gerekli hıza ulaşır. De Broglie dalga boyu ile tanımlanan çekirdeğin potansiyel engeli üzerinde bu kadar çok sıçrama ile “tünelleme” ile engelden çıkması mümkün olur. Alfa parçacığının yayınımları ile çekirdeklerin proton ve nötron sayıları 2 ve kütle numarası 4 birim azalır (Martin, 2013).

Nispeten daha ağır olmasına rağmen, bu parçacık, ancak havada 1-2 cm gibi bir menzile sahiptir. İnce kağıt ve cilt tarafından tamamen soğurulabilir. Solunum ya da sindirim yoluyla vücuda alınması durumunda akciğer veya mide dokularının yüksek radyasyona maruz kalmasına neden olabilir (TAEK, 2009).





Şekil 1.1. Alfa bozunumu (Kaçar, 2006).

1.2.4.2. Beta Bozunumu

Çekirdek fazla proton veya nötronundan bir protonu nötrona veya bir nötronu protona dönüştürerek kurtulabilir. Bu işlem üç farklı yolla gerçekleşebilir. Her üçünde de elektrik yükünün korunabilmesi için başka bir yüklü parçacığın bulunması gerekir (Başlangıçta β parçacığı olarak adlandırılan yüklü parçacığın bilinen elektrona özdeş olduğu daha sonra gösterilmiştir) (Krane, 2011).

- β^- Bozunumu ($n \rightarrow p + e^-$)
- β^+ Bozunumu ($n \rightarrow p + e^-$)
- Elektron yakalama ($p + e^- \rightarrow n$)

Bu üç olayın hepsinde de nötrino veya antinötrino adı verilen bir parçacık yayınlanır, nötrinonun elektrik yükü olmadığından varlığı diğer parçacıkların kimliğini etkilemez (Krane, 2011).

Beta parçacıkları alfa parçacıklarından çok küçük olduğundan, doku veya malzemeye daha fazla nüfuz eder. Beta radyasyonu plastik, cam veya metal tabakalar tarafından tamamen soğurulabilir. Normal olarak cildin üst tabakasından öteye geçemezler. Ancak yüksek enerjili beta yayınlayıcılar ile aşırı derecede ışınlama, cilt yanıklarına neden olabilir. Bu tip beta yayınlayıcılar, solunum ya da sindirim yoluyla vücuda alındığı takdirde tehlike oluştururlar (TAEK, 2009).

- **β^- Bozunumu:** Negatif β bozunumu veya negatron bozunumu olarak adlandırılır. Bu tip bozunumda bir elektron oluşturularak yayınlanır (Krane, 2011). Nötron zengini çekirdeklerin kararlı hale gelebilmesi için, nötron sayılarını azaltmaları gerekir. Nötron sayısı azalmış olan çekirdek, kararlı çekirdekler grafiğinin üst solunda bulunur. Basit bir tanımlama ile bu, çekirdekte bir negatif yükün

azalmasını (veya bir pozitif yükün artmasını) gerektirir. Nötron zengini çekirdekler fazla enerjiye (kütle) sahip oldukları için negatif yüklü bir elektron (ya da β parçacığı) yayınlamakla dönüşürler (Şekil 1.2). Bu dönüşüm çekirdek üzerinde bir yük artışı ve kütlelerinin az miktarda azalması ile sonuçlanır. Böylece bir nötron bir protona dönüşür ve negatif yüklü elektron yüksek enerji ile yayınlanır (Martin, 2013).

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu} + Q \quad (1.2)$$

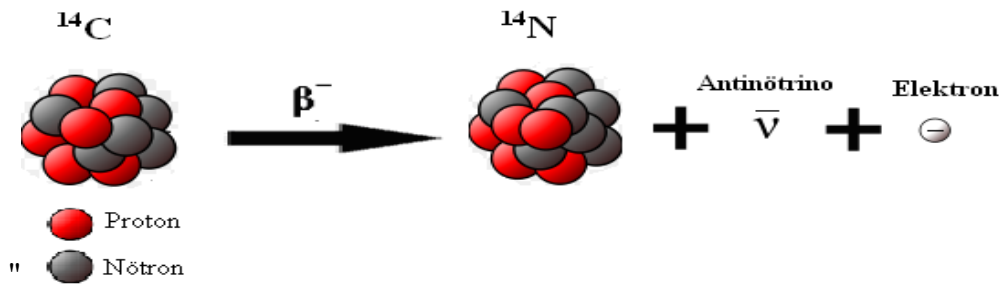
veya

$${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z+1}^A Y + \beta^- + \bar{\nu} + Q \quad (1.3)$$

Eşitlik (1.2)'de n, nötronu; p, protonu; $\bar{\nu}$, antinötrinoyu ve denklem (1.3)'de ise ${}_Z^A X$, kararsız ana çekirdeği; ${}_{Z+1}^A Y$ ise kararlı ürün çekirdeği ifade eder. Örnek olarak ${}^{14}_6\text{C}$ 'ün beta parçacığı yayınlamakla gerçekleştirdiği dönüşüm aşağıdaki tepkime ile gösterilebilir.

$${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + \beta^- + \bar{\nu} + Q \quad (1.4)$$

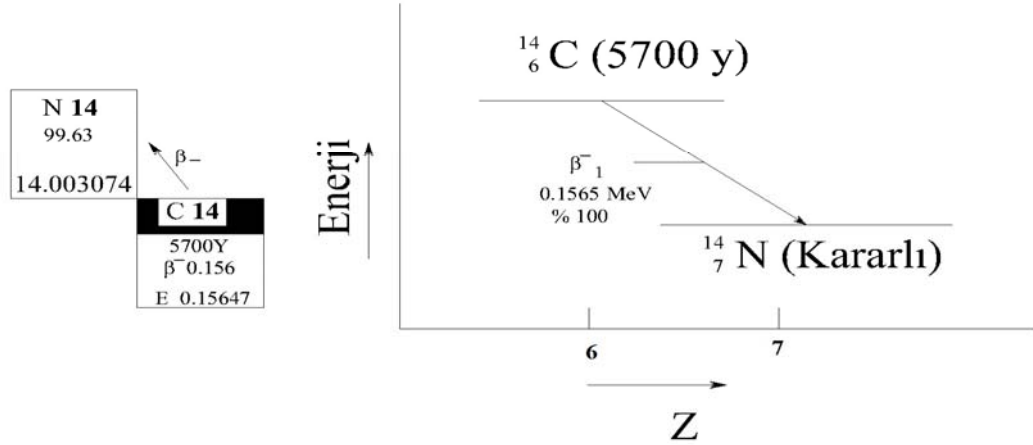
Bu dönüşüm için Q değeri 0.156 MeV olup pozitiftir. Bu dönüşümün kendiliğinden olması demektir. Bu enerji, çekirdeğin geri tepme enerjisi (ihmal edilebilir), yayınlanan elektron ve nötrino arasında paylaşılır. ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{14}_7\text{N}$ 'e dönüştüğünde atom numarası Z, 1 artar; nötron sayısı N de 1 azalır ve kütle numarası A, aynı kalır (Martin, 2013).



Şekil 1.2. β^- bozunumu (Oto, 2012)

Radyoaktif dönüşümler bozunma şemaları ile tasvir edilirler. Bozunma şemaları Z'ye (yatay eksen) karşı enerjinin (düşey eksen) çizildiği diagramlardır. Atom sayısında bir artış ve toplam enerjide azalma olduğundan bir beta parçacığı yayımlanması ile olan dönüşüm

şekilde gösterilmiştir. Gösterim aşağı ve sağa doğru bir ok ile yapılmıştır (Şekil 1.3) (Martin, 2013).



Şekil 1.3. ^{14}C 'ün dönüşüm ürünü olan ^{14}N 'e göre çekirdek grafiği üzerindeki yeri ve bozunma şeması (Martin, 2013).

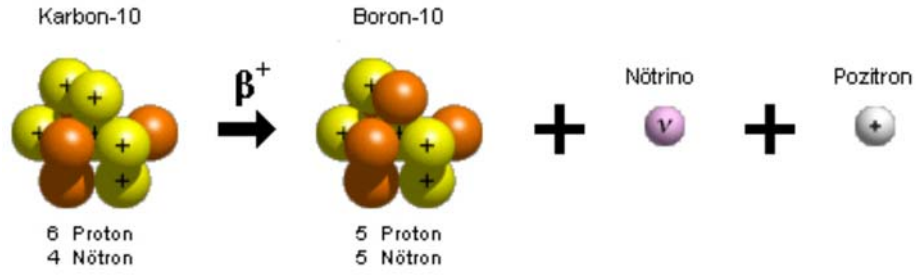
- **β^+ Bozunumu:** Çekirdekte proton fazlası olması halinde proton, bir pozitron yayınlarak nötrona dönüşür ve bir nötrino meydana gelir. Bu esnada radyonüklidin yükü “-1” azalır. (Şekil 1.4)

$$p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu \quad (1.5)$$

veya

$$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z-1} Y + \beta^+ + \nu \quad (1.6)$$

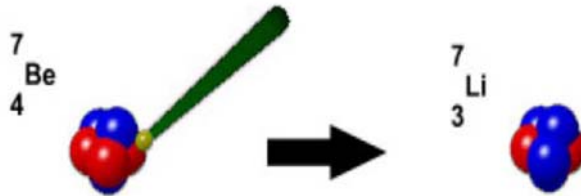
Pozitron, elektronun anti parçacıdır. Çekirdekten çıktıktan sonra çevresindeki materyallerin atomlarıyla çarpışmalar yapar. Pozitron bir elektronla çarpışmak suretiyle kütesini kaybederek enerjiye dönüşür ve yok olur. Bu olaya yok olma (anihilasyon) denir. Yok olma olayında her bir parçacığın kütle-enerji eşdeğeri 511 keV'dir. Bu olayın olduğu yerde, birbiriyle tam zıt yönde iki foton salınımı gerçekleşir. Böyle bir olayın gerçekleşmesi için gelen β^+ parçacığının enerjisinin en az 1022 keV olması gerekir (Oto, 2012).



Şekil 1.4. β^+ bozunumu (Kaçar, 2006)

- **Elektron Yakalama:** Proton zengini çekirdeklerde pozitron yayınımları ile yarışan bir işlemdir. Proton zengini çekirdeklerde pozitron yayınımları için yeterli enerji bulunmuyorsa, protonların sayısı sadece bir yörüngesel elektron yakalayarak azalabilir. Hem pozitron yayınımları hem de elektron yakalama, kararlılığı sağlamak amacıyla proton sayısını azalttığı için, her iki işlemin oluşmasının mümkün olduğu durumlarda birbirleriyle yarışır. Yörüngedeki elektronun dalga hareketi onu kararsız çekirdeğe yeterince yaklaştırabildiği için elektron yakalama işlemi meydana gelir (Şekil 1.5). Bu durumdaki elektronun çekirdek tarafından yakalanması çekirdekteki proton sayısının azalmasına neden olur. Elektron yakalama dönüşümlerinde “Z” bir birim azalır, “N” bir birim artar ve “A”, Kütle sayısı değişmez. Ancak “K”, “L” veya “M” kabuğundan bir elektron yakalanması bir elektron boşluğu oluşması demektir ve bu boşluk daha yüksek enerji seviyesindeki bir elektron tarafından doldurulur. Bu işleme ürün çekirdeğin karakteristik “X” ışınları yayınımları da eşlik eder (Martin, 2013).

$${}_1p^1 + {}_{-1}e^0 \rightarrow {}_0n^1 + \nu \quad (1.7)$$



Şekil 1.5. Elektron yakalama (Kaçar, 2006)

1.2.5. Nötronlar

Nötronlar hafif elementlerin (örnek Berilyum ve Bor) bombardımanı sonucu olarak 1932’de keşfedilmiştir. Bu yöntem laboratuvar şartlarında hala uygun bir üretim yöntemi olmasına rağmen, en kullanışlı ve kuvvetli kaynak, içinde nötronların uranyum-235 gibi parçalanabilir materyallerin fizyon ile üretildiği nükleer reaktörlerdir (Turner, 2003).

Nötron elektrikçe yüksüz olup, kütlesi elektronun 1839 katı olan bir parçacıktır. Nötronlar, 7–8 MeV’lik bağ enerjisinden daha yüksek olan enerjilere sahip oldukları zaman, kararsız halde bulunan çekirdeklerden yayınlanır. Doğada nötron yayınlayan bir radyonüklid bulunmaz. 13 dakikalık yarı ömre sahip nötronların Atom numarası sıfırdır ve serbest nötronlar kararsızdır. Radyoaktif olan nötron bir beta ışını yayınlamaya protona dönüşür. Gama ışınları gibi dış radyasyon tehlikeleri en fazla olan radyasyon çeşididir. Yüksüz olmaları, vücut içersine kolayca nüfuz etmelerine ve dolaylı olarak dokulara iyonizasyonla zarar vermelerine neden olur.

Nötronlar üç şekilde üretilebilir.

- **Radyonüklitler kullanılarak (Küçük kaynaklar oluşturularak):** Bu yöntemde hafif elementler alfa parçacıklarıyla bombardıman edilir. Bu şekilde elde edilen nötronların enerjileri 0,5 MeV ile 10 MeV arasındadır.
- **Nükleer reaktörler kullanılarak:** Fisyon esasına dayanan bu yöntem, en önemli nötron kaynağıdır ve reaktörlerde elde edilir ve değişik enerji ve yüksek akıya sahip nötronlar oluşur.
- **Hızlandırıcıdan elde etme:** Hedef maddesinin yeterli enerjiye sahip parçacıklarla bombardıman edilmesi yöntemiyle elde edilen nötronlar, reaktörlerde elde edilenlere göre küçük enerjilidirler (Keskin, 2008).

Bir nötronun yakalanmasının sonucu yeni bir (muhtemelen radyoaktif) nüklid olabilir ve aslında bu radyoizotopların üretimindeki temel metoddur. Yüksüz olmaları nedeniyle, nötronlar direkt iyonizasyona sebep olmazlar, yüksek atom numaralı materyaller içinde büyük mesafelere kadar hareket edebilirler. Nötron zırhlamada en etkili materyaller, hafif çekirdekli olanlardır, bunlar nötron enerjisini ağır materyallerden daha hızlı düşürürler. Su, hidrokarbonlar ve grafit etkili materyallere örnek verilebilir (Turner, 2003).

Nötronlar ilk defa Bothe ve Becker tarafından radyoaktif parçalanma kaynaklı berilyumu, α tanecikleri ile bombardıman ederlerken iyonlaşma gücü olmayan bir ışınım

şeklinde gözlemlendiler. Curie ve Joliot, bu ışının parafinden geçerken yüksek enerjili bir proton yayınladığını farkettiler ve protonların parafin içindeki menziline kullanarak enerjilerinin 5.3 MeV olduğunu belirlediler. Bu ışın eğer gerçekten gama ışını olsaydı protonların parafinden Compton olayına benzer bir çarpışma ile koparılmalrı gerekirdi. Compton saçılma formülünü kullanarak hesaplar yapınca bu kadar yüksek enerjili proton koparabilmesi için en az 52 MeV enerjiye sahip olması gerektiğini ve bu derece yüksek enerjili gama ışınını son derece gerçek dışı olacağı sonucuna vardılar. 1932’de Chadwick kütlesi proton kütlesine yakın olan nötr bir parçacık olduğunu ileri sürdüğü bu ışın üzerinde yaptığı deneylerle hipotezini doğruladı (Krane, 2002).

1.2.6. Elektromanyetik Radyasyon

Işık ve ısı, asırlar boyunca sadece radyasyonun bir çeşidi olarak bilindi. Bugün, ışık ve ısı radyasyonunun en uzun radyo dalgalarından en kısa gama ışınlarına uzanan ve elektromanyetik spektrum olarak bilinen devasa alanın sadece çok küçük bir parçasını oluşturduğu anlaşıldı. Radyasyon dalga boyları, 100 kilometreden mikrometrelere kadar değişmektedir. Görünür ışık radyasyonları, spektrumun ortasına yakın bir yerde bulunur. Diğer tüm radyasyonlar insan gözüne görünmez. Elektromanyetik radyasyon araştırmaları 1680 lere; Newton’un beyaz ışık kompozisyon teorisine kadar dayanmaktadır. Newton beyaz ışığın farklı renklerden oluştuğunu göstermişti. Bir prizma, bu ışınları dalga boylarına göre değişen derecelerde kırar ve onları yayar. Sonuç, ışığın görünür spektrumudur. 1800’lü yıllardan itibaren, William Herschel’in görünür olmayan kızılötesi (infrared), Johan Ritter’in ultraviyole (morötesi) ışınları keşfetmesiyle devam eden süreç, aynı yıllarda ışığın dalgalarından oluştuğunun, Fresnel tarafından ısıpatlanması ile devam etti. Fresnel ışığın hem birçok düzlemde veya tek düzlemde çapraz yönde titreştiğini, düzlem-polarize olduğunu ifade etti. Yayılma yönü ve elektrik titreşim yönünün ikisini de içeren düzleme, polarizasyon düzlemi dendi. 1831’de Faraday’ın ışık manyetizma ve elektrik arasındaki yakın ilişkiyi göstermesi ve 1864’de Maxwell’in aynı yöndeki araştırmaları ile elektromanyetik dalgaların teorisini formüle etmesi, bugün bilinen elektromanyetik spektrumun dalga teorisinin temelini oluşturdu. 1886 da Heinrich Hertz’in Wimshurst makineleri’ni kullanarak yaptığı düzenek ile radyo dalgalarını ve 1895’te Wilhelm Röntgen’in dekarj tüplerinin birinin kimyasal bir madde üzerinde farklı etkiye sahip

olduğunu tesadüfen bulmasıyla, spektrumun diğer bir elemanı olan X ışınları da keşfedilmiş oldu (Turner, 2003).

1896 yılında Fransız fizikçi Henri Becquerel, uranyum kullanarak yaptığı deney ile bir çeşit görünmeyen ışınlar yayan minerallerin olduğunu buldu. Ardından Pierre and Marie Curie birçok maddede bu etkinin olduğunu gösterdi; böylece radyoaktivite keşfedilmiş oldu. Bu radyasyon analiz edildiğinde, ileriki yıllarda Ernest Rutherford tarafından “alfa” ve “beta” ışınları olarak adlandırılacak olan, yüklü tanecikler içerdiği anlaşıldı. Bu tanecikler ince kağıt veya metal ile kolayca durdurulabiliyordu.

1900’de Villard, kalın bir çelik plakadan bile geçebilen çok daha fazla giriciliğe sahip başka bir radyasyonu keşfetti. Rutherford’un gama ışınları olarak adlandırdığı bu ışınlar, bugün bilinen elektromanyetik spektruma eklenen son kısmını oluşturmuştur (Turner, 2003).

Elektromanyetik Dalgalar, frekansları ve dalga boyları kadar, kullanım yerleri ve oluşum metodlarına göre de sınıflandırılır. Bu anlamda Radyo dalgaları çeşitli bantlara ayrılmıştır. Frekans büyüklüğüne (30 kHz-30000 MHz) göre çok düşük, düşük, orta, yüksek frekans, gibi isimlerle anılmaktadır. 100 MHz’den daha büyük frekanslara mikro dalga denmektedir. Mikrodalga infrared (kızılötesi) bandı ile örtüşmektedir. Aslında bütün dalga boyu bantlar birbirine belli belirsiz birleşiktir; net bir ayrım yoktur. Bir sonraki, görünür ışığın dar bandıdır. Bu görünür ışınları, ultraviyole ışınları ve “X” ışınları takip eder. Aynı şekilde bütün bu bantlar birbirine birleşir. Son olarak da gama ışınları: aslında “X” ışınları ailesinin bir bölümü olup kaynağı dışında, benzer özelliklere sahiptir (Şekil 1.6).

Elektromanyetik dalgalar serbest elektronlar ya da salınım yapan atomlar gibi hareketli yükler tarafından oluşturulur. Yörüngeli elektronlar bir yörüngeden diğer yörüngeye hareket ederken radyasyon yayarlar. Salınım yapan çekirdekler gama ışınları yayar. Elektromanyetik radyasyonun frekansı

$$f = \frac{E}{h} \quad (1.8)$$

ifadesi ile hesaplanır. İfadede f “frekans”, E “enerji” ve h “Planck Sabiti”ni (6.6×10^{-34} Js) temsil etmektedir.

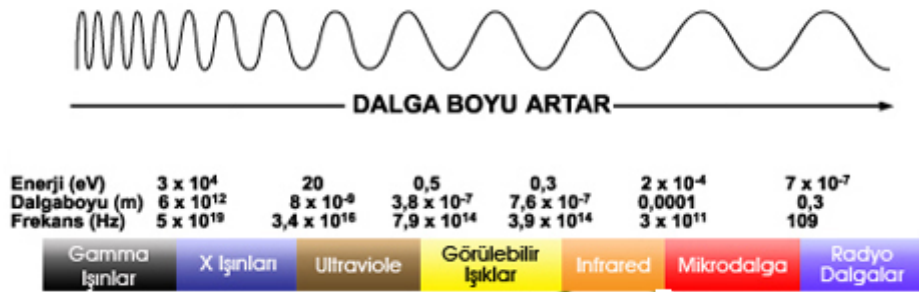
Elektromanyetik radyasyon aşağıdaki temeller üzerine kurulmuştur.

- Hepsi yansıma, kırılma, dağılma, difraksiyon, girişim ve polarizasyon özelliği gösterir.

- Her birinin hızı havasız ortamda (vakum) sabittir.
- İletim modu, çapraz dalga hareketidir.
- Bütün elektromanyetik radyasyonlar kuantum (veya ışık durumunda foton) olarak adlandırılan paketlerde yayılır ya da absorbe edilir.

4. madde ile bağlantılı olarak Planck her bir kuantumun enerjisi radyasyonun frekansı ile doğrusal değiştiğini ortaya koymuştur. Modern fizik günümüzde elektromanyetik radyasyonun hem dalga şeklinde davranış gösterdiğini hem de yayılım ve emilimini “kuanta”da olduğunu kabul eder (Turner, 2003).

Elektromanyetik radyasyonun uygulaması muazzam bir genişliktedir. radyo dalgaları iletişim ses ve televizyon yayını, navigasyon, radar uzay keşifleri, endüstri araştırma vb. infrared (kızıl ötesi) ışınlar güvenlik sistemleri yangın tespiti, fotoğraf, endüstri ve medikal terapi gibi uygulamalarda, ultraviyole ışınlar ki güneşten kaynaklanır, endüstriyel ve medikal uygulamalarda, “X” ve gama ışınları doktor ve bilim adamlarının hergün kullandığı alet haline gelmiştir ayrıca endüstride kullanılır ve dar bandtaki görünür ışınlar sadece çevremizdeki dünyayı görünür yapmaz, aynı zamanda fotosentez prosesini olanaklı kılar ve bitkilerin büyümesini ve gıdalarımızın bileşiklerini depo etmelerini sağlar (Turner, 2003).



Şekil 1.6. Elektromanyetik dalga spektrumu (Oto, 2012)

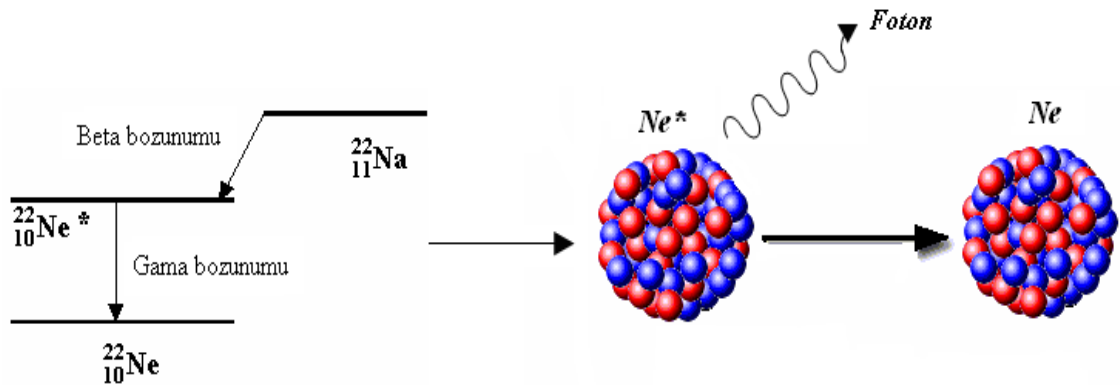
1.2.7. Gama Bozunumu

Gama (γ) doğadaki elektromanyetik bir radyasyon çeşididir ve bu nedenle yüksüz ve kütesizdir. Dalga boyu ışıktan veya radyo dalgalarından çok daha kısadır ve bu anlamda “X” ışınları ile benzerdir. “ γ ” ışınları ile “X” ışınları arasındaki ayırt edici durum, “ γ ” ışınları çekirdekte üretilirken, “X” ışınları bir elektronun dış yörüngeden iç yörüngeye geçişiyle üretilmesidir. “ γ ” radyasyonu, çekirdek içindeki enerji seviyeleri arasındaki geçiş sonucunda oluştuğu için iyi tanımlanan miktarda enerjilidir, enerji spektrumunun çok dar

bantlarında bulunur. γ radyasyonu büyük bir girici güce sahiptir. Kayda değer miktarları 50 mm genişliğinde kurşun kalıptan geçebilir. 1 MeV enerjiye sahip “ γ ” fotonları enerjilerinin %1’inden daha azını, yarım mil hava engeliyle kaybederler (Turner, 2003).

Gama ışıını radyoaktif bir elementten salınan yüksek enerjili elektromanyetik ışıınımlardır. Radyoaktif elementlerde de atom çekirdeği bir ışııma yaptıktan sonra kararlı bir enerji yapısında bulunmak durumundadır. Bazı radyoaktif elementlerde bir alfa veya beta ışıması yaptıktan sonra çekirdek temel enerji düzeyinin üstünde, uyarılmış durumda kalır. Bu çekirdek temel enerji düzeyine geçerken aradaki fark enerjiyi gama ışıması olarak salar. Bu şekilde bozunan yarı kararlı nüklidin atom ve kütle sayılarında bir değişme olmaz, bu nedenle, bu bozunmaya izomerik bozunma adı verilmiştir (Şekil 1.7).

Radyoaktif maddelerden yayınlanan gama fotonlarının enerji bandı yaklaşık olarak 30 keV ile 7 MeV arasındadır. Bununla beraber fisyon olayı esnasında oluşan ani gamalar 10^{10} MeV ve daha yüksek enerjilere kadar çıkabilmektedir. Radyasyon dozimetrisi ve radyasyon korunması alanlarındaki enerji bandı 10 keV ile 7 MeV, dalga boyları da $0.25 \text{ \AA}$ ile $0.025 \text{ \AA}$ arasındadır ve yüksek giriciliğe sahiptir. Beta parçacıklarından 100 defa, alfa parçacıklarından 10000 defa daha gericidir. Yüksek gericiliklerinden dolayı insan vücudundan rahatça geçebilirler. Bu geçiş esnasında dokularda yüksek derecede hasarlar oluşturur. Bu ışın kaynaklarından ancak uzakta durmak ve zırhlanma yöntemleriyle korunabilir. Yüksüz olduklarından elektrik ve manyetik alanda sapma göstermezler. Kütleleri ve yükleri sıfır kabul edilir dolayısıyla gama ışıınıma uğrayan bir elementin atom ve kütle numarası değişmez (Oto, 2012).



Şekil 1.7. Gama bozunumu (Oto, 2012)

1.2.8. Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

Her tip radyasyon yayıldığı ortamda aktardığı enerji ile etkileşime girer. Hedefteki enerji birikimi “Radyasyon Dozu” olarak adlandırılır ve sonuçta canlı bir doku ile etkileşime girerse istenmeyen biyolojik değişimler meydana gelir. Bu etkileşimleri anlamak, doğal olarak radyasyon ışınlama (poz) ve radyasyon dozu ve bunların belirlenmesine öncülük eder.

Radyasyon dozu iki önemli temel kavramı içinde barındırır. Bunlar;

1. Soğurucu ortamda özellikle dokuda gram başına depolanan enerji (soğurulan doz)
2. Radyasyon tipinin hasar etkisini anlatan etkin doz eşdeğeri (radyasyon pozu=ışınlama)’dir.

Soğurulan doz un SI birimi gray (Gy)’dir ve ortamın kilogramı başına soğurulan 1 J’lük enerji olarak tanımlanır.

$$1\text{Gy}=1\text{ J/kg}$$

Soğurulan enerji aynı da olsa farklı tip radyasyon farklı miktarlarda biyolojik hasara neden olduğundan doz eşdeğeri tanımına ihtiyaç duyulur. Doz eşdeğerinin SI birimi Sievert (Sv)’dir.

$$\text{Sievert}=\text{Gy}\times\text{Q}$$

İster parçacık, ister elektromanyetik biçimde olsun, enerji, kütle, momentum ve yük özelliklerinin hepsinin radyasyon etkileşimine katkısı vardır. Çeşitli soğurma ve saçılma etkileşimleri ortamın uyarılmasına ve iyonizasyonuna sebep olurlar. Bu işlemlerle radyasyon başka bir tipe dönüşebilir. Yüklü parçacıklar genelde iyonizasyonla önemli miktarda enerji kaybederken, fotonlar ve nötronlar saçılma ve soğurma etkileşimleri ile enerji aktarırlar (Tablo 1.2) (Martin, 2013).

Tablo 1.2. Radyasyonun etkileşme özellikleri (Martin, 2013)

Radyasyon	Yük	Enerji	Havadaki menzil	H ₂ O’daki Menzil
α parçacıkları	2	3-10 MeV	2-10 cm	20-125 μm
β^+ β^- parçacıkları	-1	0-3 MeV	0-10 m	<1 cm
Nötronlar	0	0-10 MeV	0-100 m	0-1 m
X-Işınları	0	0.1-100 MeV	m-10 m	mm-cm
Gama ışınları	0	0.01-10 MeV	cm-10 m	mm-10 cm mertebesinde

1.2.8.1. Alfa Parçacıkları ve Ağır Çekirdeklerin Etkileşimleri

Geri tepen ağır çekirdekler, fisyon ürünleri ve alfalar yüklü parçacıklardır ve bir ortamı geçerken iyonizasyona sebep olurlar. Radyoaktif bir çekirdekten yayınlanan alfa parçacıkları tipik olarak 4-10 MeV'lik kinetik enerjiye sahiptir ve nispeten büyük kütlelerinden dolayı, ürün çekirdek, önemli miktarda büyük enerji ile geri teper. Bunun sonucu olarak hem +2 yüklü alfa parçacığı hem de geri tepen ürün çekirdeği çok kısa mesafede büyük miktarda enerji kaybeder. Enerji kaybı önce iyonizasyonla meydana gelir, hızı azalınca iyonizasyon üretme olasılığı artar ve hedef atomların etrafında daha fazla zaman harcamasına yol açar. Yavaşlayıp durduğunda yörünge elektronlarını kaparak nötr bir Helyum atomuna dönüşür (Martin, 2013).

1.2.8.2. Beta Parçacıklarının Etkileşimleri

Bir beta parçacığı, radyoaktif atom çekirdeğinden yayınlanması nedeniyle bu adla tanımlanmış yüksek hızlı bir elektrondur. Durgun kütlesi sadece 9.1×10^{-28} g ve yükü 1.6022×10^{-19} C'dur. Büyük enerjili ve küçük kütleli olmalarından dolayı, MeV mertebesinde enerjiye sahip beta parçacıkları ışık hızına yakın hızlara sahiptirler.

Beta parçacıkları ortamda enerjilerini dört şekilde kaybederler. Bunlar;

- Doğrudan iyonizasyon,
- İyonizasyon sebebiyle yayınlanan elektronların neden olduğu delta ışınları,
- Bremsstrahlung üretimi ve
- Cerenkov radyasyonudur.

Her ne kadar bu dört işlemin gerçekleşme ihtimali olsa da en önemli olanlar doğrudan iyonizasyon ve Bremsstrahlung üretimi'dir (Martin, 2013).

1.2.8.3. Foton Etkileşimleri

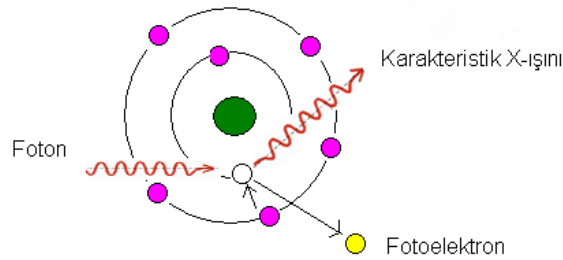
Her ne kadar radyasyondan korunmadaki rolü yeterince bilinse de fotonu tanımlamak zordur. Durgun kütlelerinin olmaması, her zaman ışık hızında yol alması ve her ne kadar bir dalga olsa da bir parçacık gibi etkileşebilmesi fotonun oldukça belirgin özellikleridir. Bir fotonun içyapısı veya nelerden oluştuğu tam olarak bilinmemektedir. Elektrona benzer bir

noktadır, fiziksel bir boyutu yoktur ve alt bileşenler oluşturacak şekilde parçalara ayrılamaz (Martin, 2013).

Fotonların madde içinde azalması ve enerji depolaması için temel etkileşimler, fotoelektrik etki, compton saçılması ve çift oluşumdur. Fotonlar Rayleigh saçılması, Bragg saçılması, fotobozunum ve nükleer rezonans saçılması da yaparlar. Ancak bu etkileşimlerde azalma ve enerji depolanması önemsizmeyecek kadar küçüktür ve genelde radyasyon korunması açısından ihmal edilebilirler (Martin, 2013).

1.2.8.3.1. Fotoelektrik Etkileşimler

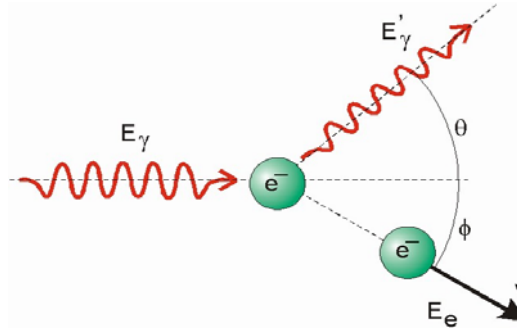
Fotoelektrik etkide düşük enerjili bir foton yörüngeye bağlı elektronla çarpışır ve onu da atomdan fırlatır. Elektron, gelen foton enerjisi $h\nu$ ile elektronun yörüngesindeki bağlanma enerjisi arasındaki farka eşit bir enerjiyle atomdan çıkarılır. Etkileşme atoma bağlı bir elektronla meydana gelmelidir. Çünkü atomun tamamı momentum korunumu için gereklidir ve bu çoğunlukla iç kabuktaki elektronlardan biriyle meydana gelir. Elektronun fırlatılması sonucu kabukta oluşan boşluk başka bir yörünge elektronu tarafından doldurulur ve genellikle karakteristik “X” ışını yayınlanır (Şekil 1.8). Fırlatılan elektronun kinetik enerjisi daima fotoelektrik olayın olduğu ortamda soğurulur. Üretilen karakteristik “X” ışınlarının soğurulması da muhtemelen aynı ortam içerisinde, başka bir fotoelektrik etkileşim veya Auger elektronlarının yayınlanması/soğurulması sonucu gerçekleşir (Martin, 2013).



Şekil 1.8. Fotoelektrik olay (Oto, 2012)

1.2.8.3.2. Compton Etkileşimleri

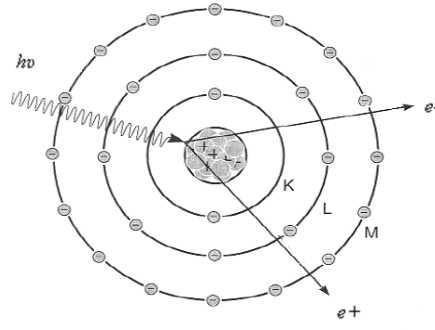
Compton saçılma etkileşimleri özellikle orta enerjideki (0.5-1.0 MeV) gama ışınları için önemlidir ve doku gibi küçük Z 'li malzemelerde 0.1 MeV'in altında da baskın olabilir. Compton saçılması bir foton ile serbest veya gevşek bağlı elektron arasındaki çarpışma olayıdır. Hem enerji hem de momentum korunur. Compton saçılmasına uğramış foton, çarpışmadan yeni bir yönde, azalmış enerji ve artan dalga boyu ile çıkar. Elektronu enerji aktarımı olması compton etkileşiminin en önemli sonucudur (Şekil 1.9). Compton etkileşim katsayısı artan enerjiyle azalır ve hemen hemen atom numarasından bağımsızdır. 100 keV üzerindeki enerjilerdeki fotonlar için yumuşak dokudaki compton etkileşimi hem fotoelektrik hem de çift oluşumundan daha önemlidir (Martin, 2013).



Şekil 1.9. Compton olayı (Oto, 2012)

1.2.8.3.3. Çift Oluşum

Yüksek enerjili bir (>1.022 MeV) foton, bir çekirdeğin elektromanyetik alanıyla etkileştiğinde, enerji bir eksi yüklü (elektron) ve diğeri pozitron denen artı yüklü olmak üzere bir çift elektrona dönüşebilir (Şekil 1.10). Çift oluşum bir elektronun elektromanyetik alanında bir pozitron, bir negatron ve geri tepen elektron oluşturarak da gerçekleşebilir. Çift oluşum, fotonun tüm enerjisinin iki elektron kütlesine dönüştüğü Einstein'ın özel görelilik teorisinin klasik bir örneğidir (Martin, 2013).



Şekil 1.10. Çift oluşum (Oto, 2012)

1.2.9. Lineer Soğurma Katsayısı (μ), Kütle Soğurma Katsayısı (μ_p) ve Ortalama Serbest Yol (λ)

“X” ve gama ışınları bir maddeden geçirildiğinde ışın demetinin şiddetinin değişimi eksponansiyel bir dağılım göstermektedir. Hem fotoelektrik olay, hem saçılma hem de çift oluşum olayı madde ile etkileşen ışın demetinin şiddetinde azalmaya neden olmaktadır. Buna göre, I_0 şiddetli bir foton (“X” ışını, gama ışını, vs.) dx kalınlığındaki soğurucu bir maddeden geçerken şiddetinde dI kadar bir azalma olur ve bu azalma soğurucunun kalınlığı ile orantılıdır.

$$dI \propto -I dx \quad (1.9)$$

$$dI = -\mu I dx \quad (1.10)$$

$$dI/I = -\mu dx \quad (1.11)$$

Burada μ (cm^{-1}) lineer soğurma katsayısıdır. Lineer soğurma katsayısı bir fotonun yok olması için birim kalınlık başına düşen soğurulma olarak tanımlanır. Lineer soğurma katsayısı, soğurucunun atom numarasına (Z) ve gelen fotonun enerjisine bağlıdır. Denklem (1.9)’un sonlu bir x kalınlığı üzerinden integralini alınırsa,

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^x \mu dx \quad (1.12)$$

$$\ln I - \ln I_0 = -\mu x \quad (1.13)$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1.14)$$

Lambert-Beer yasası olarak bilinen ifade elde edilmiş olur. Buradan da lineer soğurma katsayısı aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\mu = x^{-1} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad (1.15)$$

Lineer soğurma katsayısı (μ);

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad (1.16)$$

τ Fotoelektrik soğurma katsayısını, σ Compton soğurma katsayısını ve κ çift oluşum soğurma katsayısını göstermek üzere üç ayrı enerji kaybetme olayının soğurma katsayılarının toplamına eşittir. Fotonların soğurulmasında soğurucu ortamın kalınlığının yanı sıra yoğunluğu da soğurmanın bir ölçüsüdür. Lineer soğurma katsayısı μ 'nün, madde yoğunluğuna oranına kütle soğurma (azaltma) katsayısı denir. Kütle soğurma katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\mu_\rho = \mu / \rho = \tau / \rho + \sigma / \rho + \kappa / \rho \quad (1.17)$$

Yukarıdaki ifadede τ/ρ fotoelektrik kütle soğurma katsayısı, σ/ρ saçılma kütle soğurma katsayısı ve κ/ρ ise çift oluşumu kütle soğurma katsayısını temsil etmektedir (Kaplan, 1989).

1.2.10. Radyasyon Zırhlama

Kaynak ile alıcı arasına yerleştirilen materyal, kaynaktan alıcıya geçen radyasyon miktarını etkileyebilir. Bu etkiler, yayınlanan radyasyonun, kaynak kapsülünde veya zırhlama materyalinde azaltılması ve soğurulmasından dolayıdır. Zırhlama radyasyonun nasıl oluştuğuna bakılmaksızın radyasyondan korunma için önemlidir; çünkü zırhlama radyasyon kontrolünün bir şeklidir. Bu yüzden zırhların özellikleri, tasarımları, kullanımları ve etkinlikleri özel şartları belirler (Martin, 2013).

1.2.10.1. Alfa ve Beta Kaynaklarının Zırhlanması

Nispeten büyük kütle ve yüklere sahip alfa parçacıklarının, ortamdaki menzillerini sınırladığı için zırhlanması kolaydır. Havada birkaç cm, birçok ortamda ise 10 mikrometrenin birkaç katı kadar menzile sahiptirler. En yüksek enerjiye sahip olan Alfa parçacıkları insan derisinin sadece ölü tabakasına sızabilirler. Fakat vücut içinde önemli hasara neden olabilirler. Alfa kaynakları, belli materyalle kaplı olmalarından dolayı dokunmak ya da bulunduğu ortamı solumak, bir kontaminasyon (bulaşma) oluşturmaz. Çok yüksek kontamine olmuş bölgeler bile bir boya tabakası veya başka bir kaplama materyali ile ihmal edilebilir seviyelere indirilebilir. Denetimin sürekli yapılması ve kaplama materyalinin bozulmamış olarak kalmasına özen gösterilmelidir. Kısa menzilli olmaları sebebiyle alfa parçacıklarının tespit edilmesi zordur. Kullanılacak detektörün hassas bölgesine ulaşabilmesi için detektörü kaplayan malzemeyi ve pencereyi aşabilmelidir. Bu anlamda kalın pencere ya da yanlış bir detektör, alfa parçacıklarını tespit edemez.

Yüklü olmalarından dolayı, ortamdaki beta parçacıkları, enerjilerinin tamamını iyonizasyon ve bremsstrahlung üretimiyle kaybettikleri belli bir menzile sahiptirler. Beta parçacıklarının havadaki menzili birkaç metre kadardır. Bu anlamda hava beta parçacıklarını önemli miktarda azaltır, daha yoğun malzemelerde birkaç milimetrelik bir menzile sahiptirler (Martin, 2013).

1.2.10.2. Foton Kaynaklarının Zırhlanması

“X” ve gama ışınları madde içinden geçerken bazıları soğurulur, bazıları etkileşme olmaksızın geçer, bazıları da birincil demetteki fotonlardan farklı yönlerde olmak üzere, daha düşük enerjilerde saçılır. Foton demeti azalması ideal geometride meydana geliyorsa, soğurularak ve saçılarak alıcıya ulaşan fotonların enerjileri başlangıçtakine eşittir. Zayıf geometride meydana geliyorsa, saçılan fotonların büyük kısmı alıcıya ulaşır ve başlangıç enerjilerini koruyan fotonlar olduğu gibi, saçılmış fotonların değişken enerjileri olacağı için enerji spektrumu karmaşıktır. Doku ışınlama ve foton azaltma için zırhlama gibi deneysel çalışmalarda ideal bir geometri oluşturmak mümkün olmayacağı için saçılan fotonlar göz önüne alınmalıdır (Martin, 2013).

İdeal dar demet şartlarında fotonların çeşitli soğurucu materyaller ile azaltılması $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ eşitliği ile ifade edilir. I_0 ilk foton şiddeti olarak isimlendirilir. $I(x)$ ise “x” kalınlıklı soğurucuyu geçtikten sonraki foton şiddeti, μ toplam azalma katsayısıdır ki saçılma reaksiyonları ve tüm etkileşme süreçlerini içerir ve soğurucu ortam ile foton enerjisine bağlıdır (Martin, 2013).

Foton şiddetini yarıya indirmek için gerekli soğurucu kalınlığına yarı değer kalınlığı (HVL) ve onda bir oranında indirmek için gerekli kalınlığa ise onda bir değer kalınlığı (TVL) denir (Martin, 2013).

$$X_{1/2} = HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (1.18)$$

$$X_{1/10} = HVL = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (1.19)$$

Zayıf geometrili foton kaynaklarının zırhlaması amacıyla, kaynak ile alıcı arasına metal zırh gibi önemli bir soğurucu yerleştirildiğinde, foton akısı soğurucuda üretilen Compton saçılma fotonlarından dolayı önemli ölçüde değişecek ve bu fotonların çoğu alıcıya ulaşacaktır. Saçılan fotonların enerjisi azalacak ve alıcıya ulaşan fotonların akısı, demet boyu foton enerji dağılımı, soğurucu materyal ve geometrinin bir fonksiyonudur. Bu durum zayıf geometri olarak adlandırılır. İdeal geometride $I(X)$ değeri alıcıya ulaşan fotonların sayısının altında bir değer verecektir. Bu da soğurmanın gerçekte olandan daha büyük olduğunu ve buna dayalı tasarlanan zırh kalınlığının yeterli olmadığı anlamına gelir. Saçılmayan ilk fotonlara ilave olarak saçılan fotonların etkisi B yığılma faktörü ile en iyi şekilde ifade edilir. Bu değer 1.0'den büyüktür ve alıcıya ulaşan saçılan fotonları açıklar. Yığılma faktörü göz önüne alındığında radyasyon şiddeti,

$$I(x) = I_0 e^{-B\mu x} \quad (1.20)$$

şeklinde ifade edilir. Yığılma faktörü, soğurucu ortama, foton enerjisine, fotonların ortamda azalma katsayısına ve soğurucu kalınlığına bağlıdır (Martin, 2013).

1.3. Bor ve Radyasyon Geçirgenliği

Bor elementi 100'den fazla minerale sahip olup bünyelerinde değişik oranlarda bor oksit (B_2O_3) içeren mineralleri vardır. Bunlardan en önemlileri, kolemanit, tinkal ve üleksittir. Bor mineralleri bazı alanlarda ham olarak kullanılabildiği gibi, genel olarak

rafine bor bileşiklerine ve uç ürünlere dönüştürüldükten sonra geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Cam endüstrisinden sabun ve deterjanlara, gübre ve tarımsal ilaçlardan aleve dayanıklı malzemelere, nükleer uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanı olan bor mineralleri günümüz teknolojisinde önemli bir role sahiptir.

Türkiye'deki toplam bor rezervinin %26.81'i kolemanit, %25.39'u tinkal ve %1.40'ını üleksit ve %46.40'ını da propertit+üleksit minerali oluşturmaktadır (Eti Maden, 2015). Türkiye'de bor rezervleri, Bursa Mustafakemalpaşa, Kestelek Köyü; Balıkesir Bigadiç; Kütahya Emet; Eskişehir Kırka'da bulunmaktadır. Toplam tahmini 800 milyon ton olan bu rezerv, dünyadaki toplam bor rezervinin yaklaşık %66'sını oluşturmaktadır. Ülkemiz bugün bu rezerv ile dünya ham bor ihtiyacının %60'ını karşılamaktadır (Demir ve Keleş, 2006; Oto, 2012).

Kolemanit, renksiz; beyaz, şeffaf-yarı şeffaf, renklerde dir. Kristal örgüsü monokliniktir. Üleksit, üzerine meteorik suların etkisiyle bozuşup ayrıışmış ve kolemanit oluşmuştur. Sertliği 4.5 Mohs, özgül kütlesi ise 2.42 g/cm³'tür. Kurak iklim bölgelerindeki playa ve tuz göllerinde boraks ile birlikte oluşur. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek, Kırka, Sultançayır borat yataklarında yaygın olarak oluşmuştur. Kırka hariç diğer yatakların esas cevheridir. Nükleer atıkların depolanmasında, yüksek nötron soğurma özelliğinden dolayı, nükleer reaktörlerde kontrol soğurucu ve nötron zırlama malzemesi olarak, tekstil sanayinde, çeliğin sertliğini arttırıcı özelliğinden dolayı demir çelik sanayinde kullanılmaktadır (Demir ve Keleş, 2006; Oto, 2012). Borun ayrıca radyasyon zırlama için normal betonda, ağır betonda kullanılmasına kıyasla daha etkili sonuçlar verdiğini ifade edilmektedir (Kaplan,1989).

1.4. Beton ve Yüksek Sıcaklık

Binalardaki yangınlarda 1200°C'ye kadar çıkan sıcaklıklar ölçülmüştür. Yapı malzemeleri bu sıcaklığa kadar ısıtıldığında ahşabın yandığı, çeliğin yumuşayıp mukavemet kaybettiği, beton veya taşların ise parçalanıp döküldüğü görülmektedir. Bu durumda, taşıyıcı ve tamamlayıcı yapı malzemelerinin hiçbirisi bu derece yüksek sıcaklıklara dayanamaz. Ancak, bunlar arasında beton, diğerlerine kıyasla biraz daha fazla dayanıklı olup, uzun sürede parçalanır (Kocataşkın, 2000).

Yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, betonun kimyasal ve fiziksel özellikleri önemli ölçüde değişir. Yaklaşık 110°C üstündeki sıcaklıkta kimyasal olarak kalsiyum silika

hidratlara (CSH) bağılı suyun ayrılmasıyla, önemli ölçüde dehidrasyon oluşur. 300°C sonrasında kalsiyum silika hidratların dehidrasyonu ve agreganın termal genişmesi içsel gerilmeyi artırır ve malzemede mikro çatlaklar oluşur. Çimento pastasının en önemli bileşenlerinden olan, kalsiyum hidroksit Ca(OH)_2 530°C civarında betonun büzülmesi sonucu çözülmeye başlar. Çimento pastasına dayanım veren bileşik CSH jeli 600°C üzerinde ayrışır, 800°C’de beton genellikle parçalanır ve 1150°C üzerinde feldispat erir ve diğer mineraller cam fazına döner. Bunun bir sonucu olarak, önemli mikro değişiklikler oluşur ve beton dayanımını ve durabilitesini kaybeder (Arıöz, 2007).

Beton bir bütün olarak düşünüldüğünde, genellikle içindeki bileşenlerin (agrega ve çimento hamuru) termal genişmelerinin birbirinden farklıdır. Bu nedenle betonda sıcaklık değişimleri, içindeki bileşenlerde, birbirinden farklı hacim değişmelerine, çatlak oluşumuna ve betonun dayanıklılığının azalmasına neden olur ve bu olay “betondaki bileşenlerin termal uyumsuzluğu” olarak bilinir. (Sancak ve Şimşek 2006). Ekinci’ye göre de (2008) betonarme yapı elemanına 700°C yangın sıcaklığı durumunda, içindeki çelik donatının yumuşamaya başlaması sonucu betonarme sistem veya betonarme çerçeve ciddi hasar görmekte ve sistem çökmektedir. Ayrıca Kovler ve Roussel’e göre (2011), 700°C sıcaklığa kadar yüksek sıcaklığa maruz betonlarda, suda hızlı soğumadaki dayanım kaybı daha dikkate değer bir durumdur.

Agrega tipi, yüksek sıcaklık altında beton basınç dayanımını etkileyen temel öğelerden biridir. Yüksek sıcaklıkta, silisli agregalı beton, kalkerli ve hafif betonlara göre daha düşük basınç dayanımına (yüzde olarak) sahiptir. Termal döngü radyasyon zırhlama betonlarının basınç dayanımını, kopma modülünü ve statik elastik modülünü düşürebilir (Naus, 2010).

Agrega çimento hamuruyla güçlü bir sıcaklık-dayanım bağı oluşturmalıdır (Aydın, 2008). Literatüre göre normal dayanımlı beton, yüksek dayanımlı beton ve kendiliğinden yerleşen beton davranışı, yüksek sıcaklıkta birbirinden farklı olduğu literatürde bildirilmiştir. Ancak sonuçları birçok parametrenin etkilediği bilinmelidir (Annand ve Prince Arulraj, 2011).

Taşıyıcı hafif agregalı betonların yangın dayanımı normal agregalı betondan daha yüksektir. Çünkü,

- hafif agreganın doğal yapısından dolayı, yüksek sıcaklıkta dayanımını daha az kaybeder,

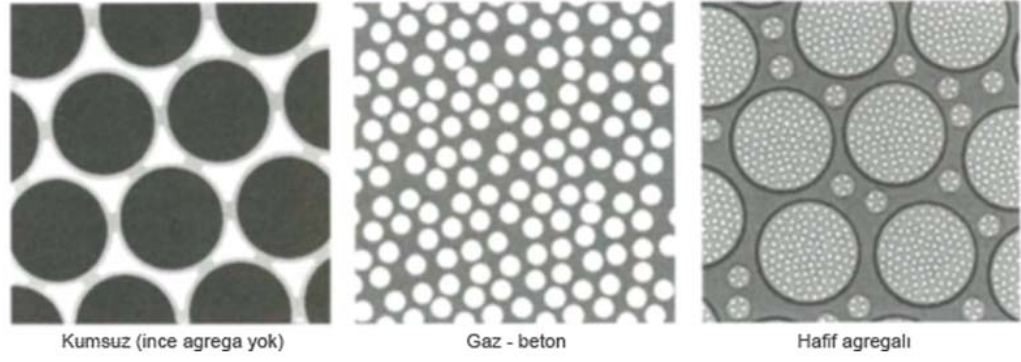
- gelişmiş termal iletimi (termal iletimi düşük kaplama sağlama) nedeniyle daha fazla yalıtım sağlar,
- daha az dökülmeye neden olan düşük termal genişlemeye sahiptirler (Newman ve Owens, 2003).

1.5. Hafif Agregalı Betonda Basınç Dayanımı

Kullanım amacına göre pomza agregalı hafif betonun birim ağırlığı, oldukça farklılıklar gösterir. Örneğin, yapı taşıyıcı panolarda bu ağırlık 1-1.2 t/m³ olabilir. Bu betonun dayanımı 10-15 MPa civarındadır. Kullanımının en önemli yararı ısı iletkenliğinin düşük ($\lambda=0.3$ W/mK) olmasıdır. Normal betonarme yapılarda bu birim hacim ağırlığı, 1.50 t/m³ mertebesinde dir. Dayanımları ise 30 MPa'a ulaşabilir. Sanat yapılarında kullanılmak üzere birim hacim ağırlığı 1.7-1.9 t/m³ ve dayanımları 50 MPa'a ulaşan hafif betonlar yapmak da mümkündür. Elastisite modülü, yaklaşık olarak normal betonun yarısı kadardır. Bu da hafif beton kirişlerinin normal beton kirişlere göre çok daha fazla sehim yapacağını gösterir (Gündüz vd., 1998). Öte yandan Newman ve Owens'a göre (2003) hafif betonlar yaklaşık 300-2000 kg/m³, aralığında etüv kurusu yoğunlukta, buna karşılık gelen 1-60 MPa küp dayanımında ve 0.2-1.0 W/mK ısı iletkenliğinde üretilir. Normal betonla karşılaştırıldığında, bu değerler sırasıyla 2100-2500 kg/m³, 15-100 MPa ve 1.6-1.9 W/mK'dir.

Hafif beton üretiminde kullanılan ilkesel teknikler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Normal ağırlıklı agregaya ince bölümü dahil etmeyip 1924'de İngiltere'de Wimpey tarafından öncülüğü yapılan bir proses kullanılarak, hava dolu boşluklar oluşturmak suretiyle (kumsuz (ince agregası yok) beton)
- Hücreli yapı oluşturmak için, gaz baloncukları içeren çimento pastası veya harç matrisi (gaz veya köpük beton).
- Bir beton karışımında doğal agregası ile büyük ölçüde boşluk içeren agregayı tamamen veya kısmi olarak yer değiştirerek (hafif agregalı beton) (Şekil 1.11) (Newman ve Owens, 2003).

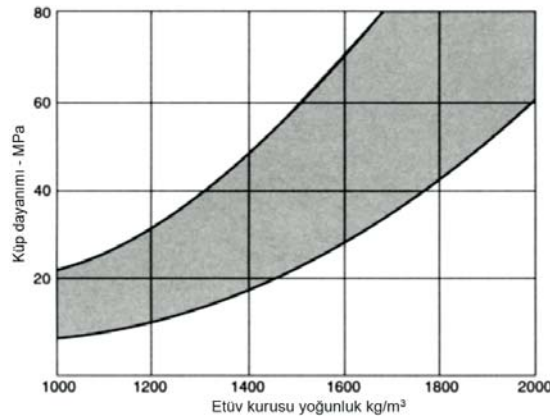


Şekil 1.11. Kumsuz (ince agregası yok), gaz beton, hafif agregalı beton (Newman ve Owens, 2003).

Newman ve Owens'a göre (2003) değişken özellikler gösteren hafif agregalar, normal agregalarda olduğu gibi, değişken küp dayanımları vermektedir. Normal betonla hafif beton karşılaştırıldığında, her ikisi için de karışımı oluşturan malzemelerin türleri önemlidir.

Newman ve Owens'a göre (2003) dayanımı etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Agregası taneciklerinin dayanım ve sertliği
- Su/çimento oranı
- Çimento miktarı
- Yaş
- Yoğunluk: Birim ağırlık betonların yoğunluğu, agregası taneciklerinin porozitesine ve sıkıştırma faktörlerine göre değişir (Şekil 1.12). Farklı yoğunluktaki agregalar, farklı beton yoğunluğu ve farklı beton dayanımlarına sebep olur (Newman ve Owens, 2003).

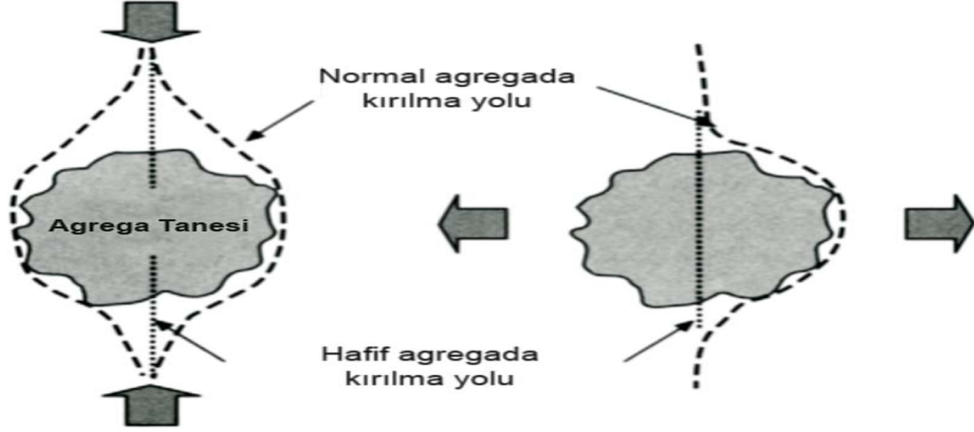


Şekil 1.22. Hafif agregalı betonlar için küp dayanımının etüv kuru yoğunluk ile değişimi (Newman, 1993; Newman ve Owens, 2003)

Yüksek çimento miktarı hafif agregalı betonda korozyonu engellemek için yüksek alkalın bir çevre temin eder. Bu, iyi sıkışma olasılığının yükselmesiyle birlikte korozyon

riskini düşürür. Fakat düşük çimento miktarı (yaklaşık 300 kg/m³'ten az) erken korozyona neden olur (Newman ve Owens, 2003).

Kırılma yolu (Şekil 1.13), normalde hafif agreganın etrafından çok, içinden geçer. Davranış, kırma taş agregayla üretilen eğilme/basınç dayanım oranı yüksek, normal betonla benzerdir (Newman ve Owens, 2003).



Şekil 1.13. Hafif beton ve normal betonda kırılma yolu (Newman ve Owens, 2003).

Binalarda hafif agregalı betonun kullanılması, binanın zati yükünü minimize eder, yapısal elemanların ebatlarını düşürür, inşaat programını hızlandırır. “Chikago” daki 42 katlı “Prudential Life Building” ve ünlü "Nordhordland" köprüsü taşıyıcı hafif agregalı beton uygulamalarına güzel örneklerdir. Sekiz katlı bir ofis binası üzerinden, donatılı hafif beton ile normal beton yapım maliyeti bakımından karşılaştırıldığında, hafif betonla yapılan binanın yapım periyodunda 114 hafta kazanılmıştır. Hafif betonun maliyetinin geleneksel normal betondan %5 fazla olmasına rağmen, toplam maliyet %4 kadar azalmıştır (Newman ve Owens, 2003).

Normal agregada olduğu gibi, basınç dayanımı arttıkça hafif agregalı betonun aşınma direnci artar. Ancak, hafif agregalı betonun matrisi, agregataneceklerini açığa çıkaracak şekilde aşınırsa, nispeten hızlı yıpranacaktır. Aşınma dayanımı düşük yoğunluklu iri agregat ile, doğal ince agreganın birleştirilmesi, matrisin kalitesinin iyileştirilmesi ve yüzey iyileştiriciler kullanılarak geliştirilebilir (Newman ve Owens, 2003).

1.6. Betonda Su Geçirirnililik Süreci

Beton içindeki boşluklara gazlar (atmosferde bulunan azot, oksijen ve CO₂ vb.) veya sıvı maddeler (içinde çeşitli iyonların çözünmüş olduğu su vb.) nüfuz edebilir. Permeabilite terimi betonun bünyesine bu maddelerin girişine izin verme özelliğini gösterir. Betonun permeabilitesi, sadece su yapıları ve elemanları (borular, kanallar veya su tankları) için değil, betonarmenin durabilitesinde de önemli ve belirleyici bir faktördür. Betonarmenin bozulması betonun porozitesi ve kapilaritesine bağlı olarak içinden su, karbondioksit, klorür iyonları, oksijen, sülfat iyonlarının geçişine imkan verilmesine beton içindeki elektrik akımına bağlıdır.

Betonda akışkanların ve iyonların hareketinde aşağıdaki temel unsurlar etkilidir:

- Kapiler emme: beton içinde kapiler etkiden kaynaklanır,
- Permisyon: basınçtan kaynaklanır ve
- Migrasyon: elektrik potansiyelinden kaynaklanır.

Geçiş kinetiği, beton yüzeyinde bulunan çevresel durumlara ve bunların zamanla değişimine bağlı olduğu kadar, mekanizmaya, beton özelliklerine (porozite ve çatlak mevcudiyetine), hidrate çimento hamurunun taşınan maddelerine (bileşiklerine) göre değişir (Bertolini vd., 2004).

Hafif agregalı betondaki agrega tanecikleri kaliteli bir matris tarafından çevrelendiğinde fark beklendiği kadar büyük olmaz. Bu durum hafif agregalı betonun tipik normal agregalı betondan kütlege daha yüksek su emmeye sahip olması sonucunu doğurur. Hafif betonun su emme miktarının, dayanıklılıkla direkt bağlantılı olmadığı gösterilmiştir ve bu, betonlar karşılaştırıldığında, su emme değerlerinin hacimselden çok kütlege kullanılmasının uygunsuzluğundan kaynaklanıyor olabilir (Newman ve Owens, 2003).

Bir agrega taneciğinin su emme miktarı ve su emme hızı;

- boşluk hacmine,
- tanecik bünyesindeki boşluk dağılımına,
- boşlukların yapısına (Örn. birbirine bağlantılı olması ya da olmaması gibi) bağlıdır.

Hacimsel olarak nispeten yüksek boşluğa sahip hafif agrega taneciklerinin su emme hızının, doğal yoğun agregalardan çok daha fazla olması muhtemeldir. Fakat agrega taneciklerinin yüzey alan karakteristikleri emilim üzerinde büyük etkiye sahiptir. Öyle ki, doğal ve hafif agregalar arasındaki eşitsizlik, yoğunluktaki farktan beklendiği kadar büyük

olmayabilir. Örneğin, bazı tanecikleri saran, küçük, nispeten birbirinden bağımsız boşluklar içeren sinterlenmiş “kabuk” (bunların genleşmiş veya sinterlenmiş agregaları gibi) emilim prosesini engeller. Agregaların su emmesi çoğunlukla etüv kurusu kütlenin 30 dakika ve 24 saat sonra emdiği oran olarak ifade edilir. Pek çok normal agreganın için 24 saatte su emme oranı yaklaşık %0.5-2, hafif agregalarda ise genellikle kuru ağırlığın %5-15’i kadardır. Karışım süresince ve hemen sonra hafif agreganın su emilimi için yaklaşık bir düzeltme tahmini 30 dakikalık su emme miktarı üzerinden yapılabilir ki bu değer tipik olarak %3-12 aralığındadır. Genel olarak, malzemenin ince sınıfında su emmenin, doğal agregada olduğu gibi, iri kısmındakinden daha yüksek olacağı unutulmamalıdır (Newman ve Owens, 2003).

1.7. Literatür Bildirimi

Pomza ve Hafif Beton İle İlgili Çalışmalar:

Uysal (1996), Kocapınar pomzası ile üretilen betonların birim ağırlıklarının normal betonlara göre %40 oranında daha düşük olduğunu ve ısı iletkenliklerinin de %46 oranında azaldığını bildirmiştir. Benzer şekilde aynı çalışmada çimento dozu artırılınca betonun birim ağırlığının ve ısı iletkenliğinin arttığını, puzolan miktarı ile ısı iletkenliği arasında herhangi bir ilişki olmadığını belirtmiştir.

Türkmen (1997), hafif agreganın (Erciş-Kocapınar pomzası) kullanılmasıyla elde edilen betonların normal betonlara göre donma çözölmeye daha dayanıklı olduğunu bildirmiştir.

Yeğinobalı (1997), doğal hafif agregalarla yapılan bir çalışmada; %15 silis dumanı (SD) katkısı ile birim ağırlığı 2000 kg/m³, basınç dayanımı yaklaşık 50 MPa olan bims betonlar (BB) üretilmiştir.

Şahin (1996), Kocapınar pomzası ile üretilen betonları yalnızca normal agreganın kullanılarak üretilen betonlarla karşılaştırmış ve %25 ile %100 oranlarda pomza ile üretilen betonların normal agreganın ile üretilenlere göre, %12-41.5 oranında daha düşük birim ağırlıklara sahip olduğunu, bununla birlikte mukavemetin de düştüğünü bildirmiş, aynı çalışmada çimento dozajının betonun hem birim ağırlığı hem de mukavemetini artırdığını belirtmiştir.

Kaplan (2005), Kocapınar pomzası ile ilgili yaptığı bir çalışmada, mühendislik özellikleri bakımından pomzaların hafif beton ve hafif blok üretimi bakımından yapılan değerlendirmede, pomza agregalı hafif betonlarda dayanımın 70 kg/cm^2 civarında olduğu ve pomza agregalarının yapılar da yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvar elemanı şeklinde değerlendirilebileceği sonucuna ulaşıldığını bildirmiştir.

Gönen (2009), kendiliğinden yerleşen pomza ve perlit agregalı hafif harçlarla yaptığı bir çalışmada, hem kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetine sahip olduğu hem de yüksek dayanımlı olduğu ve birim ağırlıklar azaldıkça basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Cavaleri vd. (2003) yaptıkları çalışmada, pomza taşı hafif betonun bazı özelliklerini malzemenin olası yapısal kullanımı için irdemişlerdir. Pomzanın gerçekten de yaygın kullanılan yapay hafif agregalara alternatif düşünülebileceğini göstermek için, pomza agregalı hafif betondan üretilen yapısal sistemler üzerinde yükleme testleri ile işaret edilen performansı dikkate alarak, deneysel bir araştırmanın sonuçlarını ifade etmişlerdir. pomza agregalı hafif beton, genleştirilmiş kil hafif beton ve normal beton kullanarak üç farklı çeşit güçlendirilmiş duvar paneli yapmış ve bunların yatay döngülü ve dikey sabit yüklere yapısal tepkilerini, yanal sertlik, çatlama deseni, son dayanım ve birleşik plastik deformasyon anlamında karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma pomzanın bir agregat olarak, beton imalatında en azından bu tip yapısal bir elemanda geçerliğini gösterdiğini bildirmişlerdir.

Yaşar vd. (2003) yaptıkları çalışmada, bazaltik pomzayı agregat ve uçucu külü de mineral katkı olarak kullanarak, taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde, bazaltik pomzanın taşıyıcı hafif beton agregası olarak kullanılabileceğini, ayrıca uçucu külün de katkı olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Böylece maliyetin düşeceği ve çevre kirliliğinin önlenebileceğini, bu şekilde 25 MPa silindirik basınç dayanımında taşıyıcı hafif beton üretilebileceği, bazaltik pomzanın bu şekilde üretilen taşıyıcı hafif beton üretiminde değerlendirilerek yapıdaki depremden kaynaklanan riski düşürülebileceği sonucuna varmışlardır.

Dikici (2010) yaptığı çalışmada, pomza agregası ve değişik oranlarda mineral katkı kullanılarak üç ayrı tip taşıyıcı hafif beton üretmiştir. Üretilen taşıyıcı hafif betonları, değişik yaş (7., 28. ve 56. gün) ve değişik kür koşullarında (su kürü ve buhar kürü) kuru yüzey doygun ve etüv kurusu halinde mekanik deneylere tabi tutmuştur ve bu kapsamda

basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü ve gerilme-birim şekil değiştirme özelliklerini araştırmıştır. Etüv kurusu durumunda kırılan numunelerin basınç dayanımı sonuçları, kuru yüzey doygun hale göre yüksek çıkarken, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımında tam tersi sonuçlar bulunduğunu bildirmiş, buhar kürü ile bir günde elde edilen sonuçların, kuru yüzey doygun halde yedi günde elde edilen sonuçlar ile paralellik gösterdiğini ve kuru yüzey doygun haldeki elastisite modülü sonuçları ise etüv kurusu durumundan yüksek değer verdiğini bildirmiştir.

Beycioğlu (2008) yaptığı çalışmada, pomza agregası ile ürettiği ve su/bağlayıcı oranı sabit (0.50) hafif betonlarda %0, %5, %10, %15 ve %20 oranında uçucu kül ve uçucu külün her bir ikame miktarında %0, %5, %10, %15 ve %20 oranında silis dumanının, birbiri ile oluşturabileceği bütün eşleşmeleri çimentoya ikame etmiş ve 25 farklı seri beton üreterek bu betonların fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirmiştir. Ayrıca bu betonların basınç dayanımlarının tahmini için bir bulanık mantık modeli geliştirmiş ve geliştirdiği bulanık mantık modelinin tahmin yeteneğinin bütün beton serileri için deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, deney sonuçları ile uyum içerisinde olduğunu bildirmiştir.

Topçu ve Uygunoğlu (2010) yaptıkları çalışmada, agrega tipinin hafif agrega ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemiş, üç tip iri agrega (pomza, volkanik tuf ve diatomit ve normal kireçtaşı) ile ürettikleri betonlarda değişik su/bağlayıcı oranları ve farklı miktarlarda süperakışkanlaştırıcı kullanarak karışımlar yapmışlardır. Toplam toz içeriği (çimento ve mineral katkı) deneylerde sabit tutulmuştur. Sertleşmiş betonlar için termal geçirimsizlik, kuru birim ağırlık, porozite ve kapiler su emme gibi fiziksel ve basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı elastik modül ve aşınma dayanımı gibi mekanik özelliklerini belirlemişler ve sonuçta hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonun, normal agregalı betona göre ısı geçirgenlik hariç, düşük fiziksel ve mekanik özellikleri olduğunu belirlemişlerdir.

Başıyigit, vd'nin (2011) pomza agregalı beton numunelerin 7 günlük basınç dayanımı deneyi sonucunda sera ortamında kür edilen numunenin basınç değerlerinin daha yüksek olduğu, bunun yanı sıra 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonucunda, suda kür edilmiş beton numunenin basınç değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Felekoğlu (2012) yaptığı çalışmada, iri pomza agregasının alkil aksoxy silan işlemesiyle ve aynı malzemenin direk karışıma farklı dozlarda eklenmesi ile beton blokların işlenebilirlik, su gereksinimi, erken dayanım gelişimi değerlerini araştırmış, katkı

maddesiyle işleme işlenebilirliği dolaylı olarak iyileştirdiğini; fazla su gereksiniminin gözle görülür şekilde düştüğünü direkt katkı eklemenin işleme metodu kadar etkili olmadığını bildirmiştir.

Kabay ve Aköz (2012) yaptıkları çalışmada, pomza ile üretilen hafif betonun üç ön-ıslatma metodunun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisini incelemiş, karışım öncesi, ön ıslatma, su ıslatma ve vakum ıslatma metotlarını pomza ile üretilen hafif betonlara uygulamışlardır. Test sonuçları vakum ve su ıslatma yöntemlerinin ön ıslatma yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini, bu anlamda işlenebilirliği basınç dayanımı ve kuruma rötresini iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

Khandaker (2005), volkanik kül ve volkanik pomza tozunun beton karışımlarında korozyon dayanımı incelemiş ve her iki malzemenin de donatının korozyonunun engellenmesinde etkili olduğunu bildirmiştir.

Bideci vd. (2014), pomzayı çeşitli amaçlar için kullanılan bazı polimerler ile kaplayarak, elde ettikleri agegaların içyapılarını incelemiş ayrıca özgül ağırlık, birim ağırlık kaybı ve su emme deneyleri yapmışlardır. Sonuçta yüksek su emme kapasiteli pomzanın özelliklerinin geliştirildiğini ve kaplamalı hafif agrega üretiminin gerçekleştirildiğini bildirmişlerdir.

Kadiroğlu (2015), Kayseri bölgesinden temin edilen pomza taşı agregaları kullanarak kendiliğinden yerleşen normal dayanımlı hafif betonun üretilebilirliği konusunda, laboratuvar bazında deneysel araştırmalar yapmıştır. Çalışmada 1400, 1500, 1600 ve 1700 kg/m³ kuru birim ağırlıkta hafif, aynı zamanda kendiliğinden yerleşen özelliklere sahip betonlar üretmiştir. Belirtilen yoğunluklardaki karışımlarda, bağlayıcı (çimento, uçucu kül, silika dumanı) miktarları sabit tutulmuş, agrega oranları değiştirilerek hedef yoğunluklar elde edilmiştir. Üretilen betonlar üzerinde U-box, L-box, 50 cm'ye yayılma süresi, hava içeriği, birim hacim kütlesi deneyleri uygulayarak taze beton özellikleri tespit edilmiştir. Taze betonlardan alınan numunelerle betonların basınç, çekme ve eğilme dayanımları ile elastisite modülleri bulunarak irdelenmiştir. Sonuç olarak, sadece taze beton ve dayanım özellikleri göz önüne alındığında, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebileceği kanaatine varmıştır.

Sağın ve Demir (2005) yaptıkları bir çalışmada, Isparta yöresinden alınan pomza ile 0-1 mm ve 0-3 mm olmak üzere iki farklı tane boyutunda numuneler hazırlamış, deney örnekleri beş farklı karışım oluşturarak elde edilmiştir. Karışımların ikisinde bağlayıcı

olarak (KPÇ 32.5) çimentosu ve diğer üç karışımda ise kireç-alçı kullanmıştır. Su/bağlayıcı oranı azaltmak amacı ile süperakışkanlaştırıcı ve gözenek artırıcı katkı olarak hava sürükleyici kimyasal kullanmıştır. Numuneler (10x10x10 cm) 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak iki farklı kür işlemine tabi tutulmuştur. Her bir numune serisi de ikiye ayrılarak bir guruba 28 günlük su kürü diğer guruba 6 saat buhar basınçlı otoklav kürü uygulanmıştır.

Sonuçta örneklerin mekanik özellikleri belirlenerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

- Çimento kullanılan numunelerde bulk yoğunluğun yüksek çıktığı, buna karşılık çimentolu karışımlara oranla kireç alçı kullanılan karışımlarda görünür yoğunluk değerlerinin artma eğilimi gösterdiği ve bunun da çimentonun gözenekleri kapatmasına bağlı olduğu,
- Porozite değerlerinin değişiklik gösterdiği ve bunun iki sebebinin olduğu, çimentonun poroziteyi azalttığı ve su kürünün otoklav buhar kürüne tabi tutulan numunelere oranla daha yüksek poroziteye sahip olduğu,
- Karışımda %10 alçı bulunan serilerde çok düşük dayanımlar elde edildiği. Buna karşı bağlayıcı olarak toz kireç bulunan seride otoklav ve su kürü işlemi sonucu sırasıyla 75 ve 85 kg/cm² basınç dayanımı değerleri gösterdiğini bildirmişlerdir. Başka bir seride %25 oranında karışıma giren ince tane boyutunda pomza malzemenin puzolanik reaksiyon göstererek daha çok hidrasyon fazları (CSH) üretmesinin mukavemet artışına yol açtığı kanaatine varmışlardır. Çimento bağlayıcı kullanılan serilerde ise otoklav kürü sonunda sırasıyla 105 ve 102 kg/cm², su kürü sonunda ise 128 ve 132 kg/cm² basınç dayanımı değerleri elde ettiklerini, otoklav kürü sonucu elde edilen mukavemet değerlerinde 28 günlük su kürü sonucu elde edilen mukavemet değerlerine göre nispi bir düşme belirlendiğini ve bunda otoklav prosesindeki buhar basıncı, sıcaklık ve kür süresin etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Şahin vd. (2003), yaptıkları bir çalışmada, pomza agregası ve normal agrega ile ürettikleri betonların basınç dayanımlarını araştırmışlardır. Farklı çimento dozajlarında ve çökme değerlerinde ve normal agregayla belli oranlarda pomza agregasını yer değiştirerek yaptıkları çalışma sonucunda pomza agregasının beton yoğunluğunu %41,5 oranında düşürdüğünü, çimento dozajının artmasıyla yoğunluk ve basınç dayanımının sırasıyla %3,2 ve %265 oranında arttığını (200 kg/m³ dozajlı betonla karşılaştırıldığında), çökmenin

yoğunluk ve basınç dayanımı üzerindeki etkisinin değişken olduğunu, pomza agregası oranının arttıkça elastik modülün düştüğünü ve çimento dozajının artmasıyla yükseldiğini, çimento içeriğinin artmasıyla su emmenin iyileştiğini bildirmişlerdir.

Sarı ve Paşamehmetoğlu (2005) yaptıkları deneysel bir çalışmada, pomza agregası ile uygun dayanımda hafif beton üretimini araştırmışlardır. Derecelendirme eğri performanslarını, basınç dayanımı ve yoğunluk açısından incelemişlerdir. Süper akışkanlaştırıcı ve hava ekleme katkılarının sertleşmiş betonun dayanım/yoğunluk oranını ve taze betonun işlenebilirliğini iyileştirdiğini ve çalışma sonucunda minimum 6.56 N/mm² basınç dayanımı ve 1300 kg/m³ yoğunlukta hafif beton blokları elde edebildiklerini bildirmişlerdir.

Topçu ve Uygunoğlu (2007) yaptıkları çalışmada, diatomit ve pomza hafif agregalarıyla üretilen hafif betonların otoklav kürü sonrasındaki fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çimento dozajını 300 kg/m³ ve su/çimento oranını 0.2 alarak ürettikleri hafif beton karışımında 0-4 mm maksimum boyutta agrega kullanmışlar, 50x100 mm silindirik numuneleri 24 saat sonra kalıptan çıkarmış ve 2, 4, 6, 8 ve 10 saat boyunca otoklav kürüne maruz bırakmışlardır. Ayrıca sırasıyla 20±2°C sıcaklıktaki suda ve havada iki farklı kür uygulamışlardır. Otoklav ve çevresel kürlemenin bitiminde 7, 28 ve 590 günlük numunelere basınç dayanımı, birim ağırlık, spesifik porozite, termal iletkenlik ve su emme testleri uygulamışlardır. Ayrıca diatomit ve pomza ile ürettikleri hafif betonların mikro yapısını da incelemişlerdir. Sonuçta 8-10 saat otoklav kürlenmiş numunelerin dayanımının, 28 gün suda kürlenmiş numunelere göre, %75 oranında yükseldiğini bildirmişlerdir.

Binici ve diğerleri (2008) yaptıkları bir çalışmada, Türkiye’de Van, Kayseri, Nevşehir ve Osmaniye Bölgeleri’nden elde ettikleri pomzanın korozyon dayanımını incelemişlerdir. Donatı olarak kullanılan çeliğin korozyon rezistansı ve beton örneklerindeki ağırlık kayıplarını incelemişlerdir. Örnekler %5 ile %10 sodyum sülfata maruz bırakılmış ve çelik ve betonun ağırlık kaybı ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Kaplama tabakasının artışı ile örneklerin basınç ve korozyon dayanımlarında iyileşmeler görülmüştür. Pomza ile kaplı örneklerin korozyon hızı, kontrol örneklerinden daha düşük çıkmıştır. Pomza kaplama tipi ile çelik korozyonu arasında yakın bir ilişki olduğu, reaktif SiO₂ miktarı yükseldikçe korozyon oranının düştüğü bildirilmiştir. Beton alkalinitesi (bazik), kaplanan betonun

geçirimsizliği, betonun kalitesi ve korozyon çevresi donatının korozyondan korunması için kullanılan beton kaplamanın etkisini artırmada önemli faktörler olduğu ifade edilmiştir.

Emiroğlu, vd'ne (2011) göre, yüksek fırın cüfufu kendiliğinden pomza agregalı yerleşen hafif betonların vizkositesini düşürmektedir.

Campione ve Mendola (2004), çelik etriye veya spiral enine donatı ile sınırlandırılmış fiber-güçlendirilmiş hafif betonun basınç davranışını analiz ettikleri çalışmalarında, kompozitin ağırlığını düşürmek için pomza ve genleştirilmiş kil agregasından yararlanmışlar ayrıca kancalı çelik fiber de eklemiştirler. Açık-çevrim deplasman kontrol makinesi kullanarak, farklı ebatlarda silindir ve prizmatik numuneleri basınç altında test etmişler ve tüm yük-deformasyon eğrilerini kayıt altına almışlardır. Ebat ve şeklin, çelik enine donatı ile sınırlandırılmış numunelerin düktilitesi ve taşıma kapasitesi üzerindeki etkiyi analiz etmişlerdir. Sonuçta fiber ve çelik enine donatının çift etkisi boyunca, yüksek sınırlama seviyesi elde etme ihtimalini ortaya koymuşlardır.

Kurugöl (1997), normal betonun iri agrega grubu süngertaşı hafif agregası ile değiştirerek hafif betonlar üretmiş ve bu hafif betonlarla normal betonların çelik tellerle donatarak, harçlarda aderans artırıcı özelliği olan stiren bütadyen kopolimer lateks maddesi ekleyerek mekanik mukavemetlerini iyileştirme yoluna gitmiştir. Karışıma giren bileşenlerin hafif ve normal betona etkilerini belirlemek suretiyle, üretilen karışımların bir kıyaslamasını yapmıştır. Ayrıca deneysel basınç mukavemet değerleri SONREB yöntemiyle güvenilirlikleri araştırmıştır.

Sonuçta:

- Normal beton bünyesinde süngertaşı hafif agregasının hacim oranı arttıkça, buna bağlı olarak mukavemetinin azaldığı, hafif agrega hacminin maksimum tutulduğunda elastik modül değerinin %57, basınç mukavemetinin %52, eğilme mukavemetinin %35, yarma mukavemetinin %31 oranında azaldığını,
- Hafif betonlarda basınç mukavemeti ile birim ağırlık ve e-modülü değerleri arasında iyi bir ilişki mevcut olduğunu,
- Hafif betonların mukavemetlerini belirlemek için tahribatsız SONREB yönteminin uygulanabileceği sonucu ortaya çıktığını,
- Çelik tel donatım malzemesi hafif betonların e-modüllerini normal betonlara göre daha çok artırdığını,

- Normal ve hafif betonlara çelik tel donatım malzemesi katılması birim ağırlığı ve e-modülü değerlerini yükseltmesine karşın basınç mukavemeti bir miktar düşürdüğünden, bu betonlarda e-modülünün birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak irdelenmesi sonucunda bir ilişkinin kurulamadığını ve bununla birlikte hafif agrega hacim oranının ve çelik tel hacim oranının sabit olduğu çelik tel donatılı hafif betonlarda bu ilişkilerin daha iyi kurulabileceğini,
- Çelik tel donatılı normal ve hafif betonlar için SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceğini,
- Normal ve hafif betonlarda belirli hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların ilk çatlak, göçme ve yarma gerilmesi değerlerini önemli derecede arttırmakta basınç mukavemeti değerlerinde ise bu anlamda bir etki yapmadığını,
- Hafif betonlara belirli bir oran dahilinde katılan çelik tellerin bu betonların basınç mukavemetinin ve birim ağırlıklarını önemli sayılabilecek bir ölçüde değiştirmedikleri hatta basınç mukavemetlerinde bir azalmaya neden oldukları, e-modülü değerlerini %37 eğilme mukavemetlerini %136 ve yarma mukavemetlerini ise %45 oranında artırdıklarını,
- Değişken hafif agrega ve sabit çelik tel hacim oranına göre üretilmiş donatılı hafif betonlarda e-modül, basınç, eğilme ve yarma mukavemeti değerlerinde azalmalar olduğunu, bununla birlikte mukavemetlerdeki bu azalma değerleri donatısız hafif betonlara göre daha yüksek değerlere ulaştığını bildirmiştir. Yine bu betonların basınç mukavemeti ve birim ağırlıkla, e-modül değerleri arasında da bir ilişkinin olduğunun belirlendiğini ayrıca SONREB tahribatsız deney yönteminin rahatlıkla bu betonlara da uygulanabileceğini saptadığını ifade etmiştir.
- Demirboğa (2001) yaptığı bir çalışmada, silis dumanı ve uçucu külün, çalışmasına konu olan hafif betonların rötre ile donma-çözülme özelliklerini iyileştirdiği ve ısı iletkenlik değerleri ile birim ağırlıklarını azalttığı, silis dumanı 28 günlük basınç dayanımlarını artırırken, uçucu külün düşürdüğünü bildirmiştir.

Sancak vd. (2008) yaptıkları bir çalışmada, pomza ile ürettikleri hafif beton ile normal agrega ile üretilen beton hakkında araştırma yapmışlar ve yüksek sıcaklığa (20°C, 100°C, 400°C, 800°C ve 1000°C) maruz bırakıldıktan sonra, numunelerin basınç dayanımı ağırlık kaybını belirlemişlerdir. Bu amaçla 12 değişik tipte beton karışımı üretmişlerdir. Üretimde

silis dumanı portland çimentosuyla ağırlık olarak %0, %5 ve %10 oranlarında yer değiştirilmiştir. Ağırlıkça %2'den fazla orandaki karışımlar süper akışkanlaştırıcı eklenerek elde edilmiştir. Sonuçta hafif betonun birim ağırlığı normal betondan %23 düşük çıkmış, %2 silis dumanı içeren hafif beton ise ilk basınç dayanımının %38'ini korumuştur. Bozulma hızı hafif betonla karşılaştırıldığında normal betonda yüksek olduğu, basınç dayanımı azalması silis dumanı kullanım oranına bağlı olarak ve yaklaşık 800°C ve üstünde yükseldiğini bildirmişlerdir.

Yücel (2001) yaptığı bir çalışmada, pomza ve perlit agregasının hafif yapı elemanı olarak kullanılabilirliği deneysel ve teorik olarak incelenmiş, deneysel programda; üretilen pomza ve perlit miktarının briketin mukavemet ve ısı özelliklerine etkisini araştırmıştır. Deneysel sonuçlar perlit oranı arttıkça yapı elemanının mukavemetinin azaldığını göstermiş, buna rağmen perlit miktarındaki artışın ısı özelliklerini iyileştirdiğini ayrıca teorik modelde yapı elemanında sıcaklık dağılımını veren bir matematiksel model geliştirmiş, modeli kontrol hacim metoduna göre nümerik olarak çözmüştür. Sonuçta perlit/pomza dağılımının sıcaklık dağılımına önemli ölçüde etki ettiğini göstermiştir.

Aydın (2001) yaptığı çalışmada, Niğde civarında üretilen pomza taşının ısı ve mukavemet özellikleri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel programda pomza taşından imal edilen bir briketin ısı transfer katsayısı ve maksimum gerilme değerleri çimento ve agrega oranına bağlı olarak ölçmüştür. Teorik programda ise, briketin içerisindeki gerilme ve şekil değiştirme miktarını, geçerli diferansiyel denklemlerin çözümü ile elde ederek, geçerli diferansiyel denklemleri, karesel ağ yapısı uygulanarak sonlu elemanlar metodu ile nümerik olarak çözmüştür.

Ceylan (2005), Kayseri İli Talas İlçesi'nden, Nevşehir İli Göre Beldesi'nden çıkarılan pomzalar ve İzmir İli Menderes İlçesi'nden çıkarılan perlitik pomzalar kullanarak yaptığı çalışmada söz konusu pomzalardan üretilen hafif betonların sıcaklık etkisindeki karakteristikleri ile ilgili çıkarımlar elde etmeye çalışmıştır.

Davraz (2004), Isparta Keçiborlu yöresi amorf silika oluşumlarının mineral katkı maddesi olarak geleneksel beton özelliklerine etkisi ve pomza gibi doğal-hafif agregalara alternatif agrega olarak değerlendirilebilirliğini araştırdığı çalışmasında I. lokasyon kayacının geleneksel betonda mineral katkı maddesi ve II. lokasyon kayacının yapı elemanları eldesinde hafif agrega olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuştur.

Kurt (2009) Erzurum bölgesinden elde edilen pomza ile yaptığı çalışmada, kendiliğinden yerleşen, taşıyıcı hafif beton ve ısı yalıtımlı hafif betonların, üretim ve kullanılabilirliğini araştırmış ve kendiliğinden yerleşen ısı yalıtım betonu ve taşıyıcı hafif betonlar üretilebileceği sonucuna varmıştır. Elde ettiği bulgulara göre genel olarak, yüksek fırın cürufu ve uçucu külün kendiliğinden yerleşen hafif betonların işlenebilirlik özellikleri iyileştirdiğini, pomza tozunun olumsuz etki gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca, mineral katkıları kendiliğinden yerleşen, taşıyıcı hafif betonların birim ağırlık, ısı iletkenlik ve rötre değerlerini azaltırken, su emme miktarını artırdığını, basınç dayanımına etkilerinin ise zamana ve işlenebilirliğe bağlı olduğunu bildirmiştir.

Gündüz (2008a) yaptığı bir çalışmada, ince orta ve iri pomza ile ürettiği hafif beton bloklarda farklı agrega/çimento oranları için işlenebilirlik, basınç dayanımı, elastik modül, kütle yoğunluğu, ıslaklık genişlemesi, kuruma rötresi, su emme ve ısı iletkenliği özelliklerini incelenmiştir. Pomza agregalı hafif betonlarda (PAHB) 25:1'e kadar Agrega/çimento oranlarının, taşıyıcı blok uygulamalarındaki beklenen yeterli dayanım ve uygun yoğunlukta olduğunu, ayrıca 25:1 üzeri oranların ise, yalıtım amaçlı taşıyıcı olmayan hafif betonlar için aynı özelliklere ek olarak uygun ısı iletkenliğine sahip olduğunu bildirmiştir. PAHB düşük yoğunluğu nedeniyle sağladığı düşük sabit yükler ile dizayn esnekliği ve tasarruf sağladığını, düşük agrega/çimento (A/Ç) oranlarının (yüksek çimento) basınç dayanımını elastik modülü ve yoğunluğu artırdığını, buna karşın yüksek A/Ç oranlarında su emme, ıslanma genişlemesi, kuruma rötresi ve ısı iletkenliğini düştüğünü bildirmiştir. Çalışma sonucunda taşıyıcı olmayan hafif betonların başka ek veya katkı olmadan, ince orta ve iri agrega ile üretilebileceğini bildirmiştir.

Gündüz (2008b), duvar ve bölme elemanı amacıyla kullanılmak üzere uçucu kül, cüruf, perlitik pomza ve çimento dörtlüsü kullanılarak üretilen bloklar üzerinde yaptığı çalışmada, genel yapı endüstrisinde kullanımı için yeterli dayanım ve uygun su emme özelliğine sahip olduğunu bildirmiştir.

Zandi (2012) yaptığı çalışmada, taşıyıcı hafif betonla üretilen yekpare ve prefabrike yapı elemanlarının davranışlarını deneysel ve teorik olarak incelemiş ve çalışma kapsamında üretilen taşıyıcı hafif betonun, üretilebilirliği, donatı-beton aderansı, üretilen betonarme giriş ve kolon elemanlarının, eğilme ve merkezi basınç etkisindeki davranışları dikkate alındığında, yekpare ve prefabrike yapılarda kullanılabileceği ortaya koymuştur.

Libre ve diğerkleri (2011) yaptıkları bir çalışmada, pomza agregalı betonun düktilitesini hibrit çelik ve polipropilen fiber birleştirerek iyileştirmeyi amaçlamışlar ve hibrit çelik ve polipropilen ekleyerek ürettikleri betonun mekanik ve kütle yoğunluğu ile işlenebilirlik özelliklerinde yaptığı değişimleri araştırmışlardır. Bu amaçla yapılan çalışmada betonların kütle yoğunluğu, taze betonun işlenebilirliği, basınç, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımları ve sertliğini incelemişlerdir. Değişik hacim oranlarında çelik ve polipropilen fiber içeren dokuz beton karışımını test etmişler ve çelik fiber ekleme sonucunda basınç, eğilme düktilitesi ve enerji yutma kapasitesinin yüksek miktarda arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca polipropilen fiberin, özellikle de çelik ve polipropilen fiberin ikisinin birlikte kullanıldığı karışımlarda, sertleşmiş betonun mekanik özelliklerinde önemsiz değişimlere sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Bu gözlemlerin, farklı fiber güçlendirme sitemlerinin kırılğan kabul edilen pomza agregalı hafif betonun mekanik performansına faydaları hakkında fikir verdiğini ve bu sonuçların yoğunluğu düşük beton malzemelerin dizayn edilmesine rehberlik ettiğı ve yüksek binaların inşa edilmesi ve depreme dayanıklı yapıları da kapsayan farklı uygulamaların düktilitesini geliştirdiğini bildirmişlerdir.

Hossain ve diğerklerinin (2011) yaptıkları bir çalışmada, ASTM Tip I çimento ile harmanlanmış pomza tabanlı çimento ve agrega (iri ve ince) kullanılarak üretilen hafif volkanik pomza betonunun (VPB) gelişimini incelemişler ve sonuçta VPB'lerin yapısal uygulamalarda yeterli dayanım ve durabilite karakteristiklerine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca pomza harmanlı çimento kullanımının kuruma rötresi ve su geçirgenliği üzerinde faydalı etki yaptığı, iri ince pomzanın mevcudiyeti düşük geçirgenlikle ilişkili olduğu bunun da yüksek kalitede arayüzey agrega hamurunun geçiş bölgesi ve volkanik pomza betonunun içten kürlenme gelişimiyle oluştuğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada gösterildiğı üzere kabul edilebilir dayanım ve durabilite karakteristiklerine sahip volkanik pomza betonunun sürdürülebilir yapı ve volkanik afet alanlarının rehabilitasyonunda son derece faydalı olabileceğini bildirmişlerdir.

Khandaker (2003) yaptığı çalışmada, volkanik pomza ile çimentoyu yer değiştirerek ve iri agrega olarak kullandığı hafif betonların fiziksel, kimyasal özelliklerini incelemiş ve volkanik pomza betonunun taşıyıcı hafif beton anlamında yeterli dayanımda ve uygun yoğunlukta olduğunu, fakat kontrol betonlarıyla karşılaştırıldığında daha düşük elastik modülüne ve daha yüksek geçirgenliğe ve ilk yüzey emilimine sahip olduğunu bildirmiştir.

Zaetang ve diğerkleri (2013) yaptıkları çalışmada, hafif ve geçirimli beton üretmek amacıyla Diatomit ve pomzayı hafif doğal agrega olarak kullanmışlar ve hacimce %15, %20 ve %25 şeklinde üç çimento harcı ile beton üretmişler ve sonuçları otoklav havalandırmadan geri kazanılmış hafif agregalarla (GKHA) ürettikleri aynı betonlar ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta iri agrega olarak pomza, diatomit ve GKHA kullanılmasının yoğunluğu ve ısı geçirgenliği normal agrega içeren betona oranla 3-4 kat düşürdüğünü, yoğunlukların 800 kg/m^3 'ten düşük olduğunu ($558-775 \text{ kg/m}^3$) ve yalıtım betonu olarak kullanımının uygun olduğunu bildirmişlerdir. 28 günlük basınç dayanımlarının 2.47-5.99 MPa arasında olduğunu, çimento harcı içeriğinin artmasının mekanik özellikleri iyileştirdiğini, dolomit içeren karışımın pomza ve GKHA'ya göre daha yüksek mekanik özelliğe sahip olduğunu fakat pomza agregalı karışımın daha yüksek permeabiliteye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Ayhan ve diğerkleri (2011), pomzanın taşıyıcı hafif/yarıhafif betonlarda, arayüz geçiş bölgesinin morfolojik özelliklerine etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, pomzanın kimyasal, fiziksel yapısının ve hacimsel oranının, yoğunluk genişlik ve fiziksel aderans nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Pomzanın sözkonu pomza ara yüzey geçiş bölgesi morfolojik özelliklerine katkıda potansiyeli yüksek bir seviyede olduğu sonucuna ulaştıklarını bildirmişlerdir.

Arıöz (2007) yaptığı çalışmada, yüksek sıcaklığın potland çimentosu kırmataş ve dere çakılı ile ürettiği betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemiş ve numuneleri 200-1200°C arasında değişen sıcaklıklara maruz bırakmıştır. Sıcaklık artışı ile numune ağırlığının önemli ölçüde düştüğünü, 800°C sonrası bu düşüşün sert olduğunu bağıl beton dayanımının sıcaklık arttıkça düştüğünü bildirmiştir.

Aydın (2008), 900°C üstündeki yüksek sıcaklığın değişik miktarlarda öğütülmüş yüksek fırın cürufu eklediği çimento bazlı pomza harcının mekanik ve mikroyapısına etkilerini incelemiş, yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı ve eğilme dayanımlarını belirleyerek öğütülmüş yüksek fırın cürufunun pomza harcına eklenmesinin yüksek sıcaklık dayanımını önemli şekilde etkilediğini, bu sıcaklık seviyesinde %80, öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren harcın basınç dayanımının sadece %23-28 aralığında kaybettiğini, içermeyen harcın ise basınç dayanımının %70 kaybettiğini bildirmiştir. Ayrıca, öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren harçların hiçbirinin havada soğutulduğunda 600°C'ye kadar basınç dayanım kaybına uğramadıklarını ifade etmiş, yüksek sıcaklıkta

basınç kaybı anlamında en ağır durumun eğilme yüklemesinde ve su ile soğutmada olduğunu bildirmiştir.

Baradan ve Aydın, (2007) 3 saat boyunca 300°C, 600°C ve 900°C yüksek sıcaklıklara maruz bıraktıkları pomza ve uçucu kül içeren betonların mekanik özelliklerini incelemiş ve su ile ve havada soğutulan numunelerin kalan dayanımlarını araştırmışlardır. %60 uçucu kül içeren pomza agregalı betonun özellikle 900°C’de en iyi performansı gösterdiğini ve havada soğutulunca basınç dayanımında herhangi bir kaybın olmadığını bildirmişler ve bu üstün performansın güçlü agrega çimento arayüz geçiş bölgesi ve seramik bağ oluşumundan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca bütün numunelerin eğilme dayanımı açısından ciddi kayıplar verdiğini, suda soğutulan numunelerin havada soğutulan numunelere göre daha çok dayanım kaybına uğradığını ve geliştirilen pomza, uçucu kül ve çimento esaslı harçların yüksek sıcaklık tehlikelerini önlemede umut verici bir malzeme olduğunu ifade etmişlerdir.

Sancak ve Şimşek (2006)’in, Kong, Evans, Cohen and Roll (1983) ve Abeles and Bardhan-Roy (1981)’dan bildirdiklerine göre; hafif agregalı betonun 500°C’ye kadar dayanımını koruduğu ve hafif betonun yangın etkisinden sonra kalan dayanımı, sıcaklığın yaklaşık 500°C’den 800°C’ye yükselmesi sonucunda yaklaşık %100’den %40’a lineer olarak azaldığı belirtilmiştir.

Andiç-Çakır ve Hızal (2012), iki değişik iri hafif agregayı sabit su/çimento oranında normal kireçtaşı ile yer değiştirerek kendiliğinden yerleşen hafif beton üretmişlerdir. KYHB karışımlarından birini farklı su/çimento oranında hazırlamış ve tüm karışımları 300, 600°C ve 900°C yüksek sıcaklıklara tabi tutmuşlar ve hafif agrega tipinin su/çimento oranının su taşıma karakteristiklerini ve yüksek sıcaklık dayanımını etkilediğini bildirmişlerdir.

Aydın (2008), Baradan ve Aydın’ın (2003) yaptıkları çalışmada, pomza agregalı harcın en iyi performansı gösterdiği 600°C yüksek sıcaklıkta, basınç dayanımının sadece %5’ini kaybederken, doğal dere kumuyla yapılan karışım %40 kayba uğradığını bildirmiştir.

Rao ve diğerleri (2012), silis dumanı ve uçucu kül kullanarak ürettikleri betonları yüksek sıcaklığa maruz bırakarak, aniden sulama sonucunda basınç dayanımını araştırmışlardır. 150°C, 300°C, 450°C ve 600°C sıcaklıkta bir saat tutulan numunelerin

aniden su ile soğutulduktan sonra kalan dayanımları ve ağırlık kayıpları ilk değerler ile karşılaştırmışlardır.

Köksal ve diğerlerinin (2012) yaptıkları çalışmada, değişen miktarlarda genişletilmiş vermikulit ile ürettikleri dört farklı kompozit karışımı 6 saat boyunca 300°C, 600°C, 900°C ve 1100°C yüksek sıcaklığa maruz bırakarak, havada soğutmuş ve birim ağırlık, porozite, su emme, kalan basınç dayanımı, kalan yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik pulse hızı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Ayrıca elektron tarama mikroskobu kullanarak mikro yapıyı incelemiş ve vermikulit ile üretilen hafif betonların yüksek sıcaklıkta iyi bir performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Genişletilmiş vermikulit çimento materyalleri için yangın dayanım amaçlı kullanılan önemli bir hafif agrega olduğunu ve vermikulitli beton çimento tabanlı yangına dayanan materyal olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Karakoç (2013) yaptığı çalışmada, 700°C sıcaklığa maruz bıraktığı genleştirilmiş perlit agregası ve pomza agregası ile ürettiği betonları, üç soğutma rejimi (doğal, su, fırın) kullanarak soğutmuş ve kalan basınç dayanımlarını 0.25, 0.30, 0.35 su/çimento (S/Ç) oranları için araştırmıştır. Her iki agrega türünü de ince agrega olarak %10, %20, %30 oranında yer değiştirmiştir. Test sonuçlarına göre suda soğutulan betonların, farklı oranlarda agrega karışımlarına etkisinin doğal ve fırın soğutmasından daha fazla olduğunu ve kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında, suda soğutulan betonların basınç dayanımı, sırasıyla ortalama %78, %81 ve %83 oranlarında düşük çıktığını bildirmiştir.

Correia vd. (2014) yaptıkları çalışmada, yüksek sıcaklığın, plastik atık agregayla ürettikleri betonlara etkilerini araştırmışlardır. Normal agregayla ürettikleri betonlarla karşılaştırdıkları numunelerde, 600°C ve 800°C sonrası Basınç, yarmada çekme dayanımları elastik modül, ultrasonik puls hızı yüzey sertliği ve su emme özelliklerini incelemişlerdir.

Bogas ve diğerleri (2014) yaptıkları çalışmada, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan hafif betonların kırılmasıyla elde edilen geri kazanılmış betonların uzun dönem bazı özelliklerini analiz etmişlerdir. Kuruma rötresi, kapiler ve daldırma su emme, karbonatlaşma ve klor emme direnci özelliklerini inceledikleri çalışmada, %20, %50 ve %100 oranlarında iki tip iri hafif agregayı, iki tip geri kazanılmış hafif beton agregasıyla yer değiştirmişler ve uzun dönem rötrenin hafif agregaya yapışan harç tarafından etkilendiğini ve hafif agrega yer değiştirme yüzdesinin yükselmesiyle arttığını, ancak geri kazanılmış agreganın

sağladığı iç kürlemenin erken yaş rötrei azalttığını bildirmişlerdir. Durabilite anlamında, taşıyıcı hafif agrega ile geri kazanılmış agreganın yer değiştirilmesi nedeniyle deneysel çalışmaların çalışılan bütün özelliklerin genel olarak zayıfladığını gösterdiğini ifade etmişlerdir. Ancak uzun dönem özelliklerde genel düşme olmasına rağmen, geri kazanılmış hafif beton, geri kazanılmış agrega tipine bakılmaksızın durabil de olabildiğini bildirmişlerdir.

Liu ve diğerleri (2010), betonda, ince ve iri hafif agrega ve harç matris kalitesinin su emme, geçirgenlilik ve klor-iyon penetrasyon direncine etkilerini değerlendirmek için deneysel çalışma yapmışlardır. Sonuçta benzer su/çimento oranlarında üretilmiş normal beton ile karşılaştırıldığında, önceden ıslatılmış iri-hafif agreganın betonla birleşimi, su emme ve geçirgenliliği hafifçe artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca iri hafif agreganın poroziteyi yükselmesiyle, ince agreganın su emme ve klor-iyon penetrasyonuna direnci düşürdüğünü bildirmişlerdir. İnce hafif agrega kullanımı (<1.18 mm), aynı iri agregalı kumlu hafif betonlarla karşılaştırıldığında tüm hafif betonların su ve klor-iyon penetrasyonuna direncini düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Harç matrisinin kalitesi, kullanılan agreganın porozitesine kayıtsızca, betonda geçiş özelliklerinin kontrolünde dominant faktör olduğunu, Düşük su/çimento oranlarında ve silis dumanı, düşük birim ağırlıktaki hafif beton (1300 kg/m^3), normal ve hafif betonların yüksek birim hacim ağırlıklı olanlarına göre, su ve klor-iyon penetrasyon dirençli betonlar ürettiğini ifade etmişlerdir.

Reinhardt ve Jooss (1998) yaptıkları çalışmada, 20°C , 50°C ve 80°C sıcaklıkta betonda su ve su buharı geçişini incelemişler ve sıcaklık artışının daima geçiş prosesini hızlandırıcı etki yaptığını bildirmişlerdir.

Castro ve diğerleri (2011a), su emme testinin numune hazırlama ile etkilendiğini bildirmişlerdir. Bu amaçla yaptıkları çalışma sonucunda, %50 bağıl nem şartlarındaki bir numunenin %80 bağıl nemdeki aynı numunelere göre 6 kat daha fazla toplam su emme yaptığını, 105°C fırında ısıtılan numunelerin, düşük sıcaklıklarda uzun süre bekletilenlerle karşılaştırıldığında benzer eğilim göstermediklerini ve su emmenin numunelerin hamur hacminden de etkilendiğini göstermişlerdir. Ayrıca, nem kontrolü olmaksızın veya malzeme karışımı göz önüne alınmaksızın yapılan çalışmalar gerçek su emme davranışının yanlış anlaşılmasına sebebiyet vereceğini bildirmişlerdir.

Castro ve diğerkleri (2011b) yaptıkları çalışmada, hafif agrega için zamana göre değışen su emme miktarını ölçmüşlerdir. Sonuçta çoğunlukla kullanılan hafif ince agrega için 24 saat su emme miktarının geniş bir aralıkta olduğunu (Örneğın: %6-31) bildirmişlerdir. Aynı çalışmada dışarı salınan su miktarı da ölçölmüş %93'ten büyük nem oranında, 24 saatte emilen suyun %85-98'inin dışarı salındığını bildirmişlerdir. Bu özelliklerin normalleştirilebileceğini ve böylece iç kürelemede kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Liu ve diğerkleri (2011) yaptıkları çalışmada, betonda ($S/C= 0.38$) kümülatif hafif agrega içeriğinin (hafif kum içeren) su emme, su geçirimliliğı ve klor-iyon penetrasyon direncine etkisini incelemişlerdir sonuçları hazırladıkları normal betonlarla karşılaştırmışlardır. Sonuçta hafif betonların toplam geçen şarj, geçiş katsayısı ve difzyon katsayısının, aynı su/çimento oranındaki normal betonlardan çok farklı olmadığını ve hafif betonlarda klor penetrasyon direncinin kümülatif hafif agrega içeriğinin artmasıyla düştüğünü bildirmişlerdir. Basınç altında su penetrasyon derinliğı ve su emmesinin aynı eğilimi gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Medeiros ve diğerkleri (2012) yaptıkları çalışmada, permabilite mekanizmasını, kapiler su emmeyi ve geçişi kapsayan testler yaparak efektif klorür yayılımını, doygun şartlarda test etmişlerdir. Bu anlamda üç tip koruma yöntemi kullanmışlardır. Sonuçta klorür yayılma ve kapiler su emme katsayılarının dış çevreden su girişinin kısıtlanmasıyla düştüğünü ve bununla korozyon kinetiğı ve klorür giriş kontrolünü düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Lo ve diğerkleri (2008) yaptıkları deneysel çalışmada, su emmenin hafif beton ara yüz bölgesindeki boşluk büyüklüğü dağılımına etkisini incelemişlerdir. Ara yüz alanındaki boşluk alan yüzdesinin sertleşmiş çimento pastasından daha yüksek olduğunu, su/çimento oranının ara yüz alanındaki boşluk alan yüzdesine etkisinin önemli olmadığını ve su emme yüzdesi büyük agregaların ara yüz alanında, daha büyük boşluk alanları ürettiğini bildirmişlerdir.

Claisse ve diğerkleri (1997), beton kaplamanın, ilk yüzey emme testi (ISAT), Covercrete emme testi (CAT) ve sorptivite testi ile elde edilen su emme ve sorptivite karakteristiklerini çalışmış ve karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında iki tip beton üretmişler ve laboratuvar sonuçları ISAT ve sorptivite testlerinin birbirine yakın, CAT testinin ise daha yüksek değerler verdiğini ifade etmişlerdir. Kapilarite mekanizması akım güdümlü

basınca bağılı olarak bir analitik model geliştirmiş ve geliştirdikleri model deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçlar vermiştir.

Kiong ve Norsuzailina (2013) yaptıkları çalışmada, polimer ve puzolan kombinasyonu ile düzenledikleri harcın su emmesini ilk yüzey su emme testi yaparak araştırmışlardır. Sonuçta yüksek oranda polimer ve düşük oranda puzolanik çimentoyla yapılan betonun en düşük ilk yüzey su emmesine sahip olduğu bildirmişlerdir.

Klein ve diğerleri (2014) yaptıkları çalışmada, zamanla agrega tarafından emilen suyun gelişimini tanımlayan bir model önermişlerdir. Modelin bir değer fonksiyonu içerdiğini ve agreganın tane büyüklüğü dağılımı ile su emme olgusunun kinetiğini dikkate aldığını, farklı agrega tipleri için deneysel doğrulama ve verilerin Bilimsel literatürden toplandığını ve sonuçların önerilen model ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir korelasyon olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir.

Nili ve diğerleri (2010) çalışmalarında, 0.45 S/Ç oranında yaptıkları beton karışımında, çimentoyla mikrosilika ve koloidal nano-silika'yı eş zamanlı yer değiştirmişlerdir. Sonuçta %6 mikrosilika ve %1.5 nanosilika oranının beton basınç dayanımını elektrik resistansını iyileştirdiğini ve kapiler su emme miktarını önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Sepehr ve diğerleri (2013) yaptıkları çalışmada, doğal pomzanın yüzeyini magnezyum klorür ($MgCl_2$) ve Hidrojen Peroksit (H_2O_2) sulu çözeltisi ile modifiye ederek doğal ve modifiye pomzaları florür alım kapasitesi anlamında karşılaştırmışlardır.

Cortas ve diğerleri (2014), agrega doygunluğunun betonun büzülme gelişimi ve erken yaş kırılma riski potansiyelini araştırdıkları çalışmada, kuru, kısmi doygun ve tam doygun kireç taşı agregaları kullanarak betonlar üretmişler ve erken yaş davranışı ve mekanik özelliklerin agrega doygunluğu ile güçlü bir bağı olduğunu ve aynı özelliklerin karışım sırasında eklenen su ile de bağıntılı olduğunu bildirmişlerdir.

Bor ve Radyasyon Geçirgenliliği ile İlgili Çalışmalar:

Oto vd. (2013) değişik oranlarda barit ve kolemanit içeren beton numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada, ^{133}Ba (80.99 ve 303 keV) ve ^{241}Am (59.54 keV) radyasyon kaynaklarını kullanarak gama ışınlarının geçirgenliliğini ölçmüşlerdir. Ölçüm için 122 keV ve 662 keV kaynak çözünürlüklü NaI(Tl) dedektör kullanmışlardır. Çalışma sonucunda

Lineer soğurma katsayısının, barit ve kolemanit oranının artmasıyla yükseldiğini bildirmişlerdir.

Demir ve Keleş (2006) yaptıkları çalışmada, değişik bor atıkları içeren (borcips ve kolemanit konsentratör atığı) beton numuneleri üzerinde, 59.54 ve 80.99 keV gama enerjisi için, son derece daraltılmış ışın transmisyon metodu kullanarak, radyasyon geçirgenlilik deneyini uygulamışlar. Si(Li) detector ile yaptıkları ölçümlerde kayda değer farklılıklar gözlemlemişlerdir. Ayrıca, beton numunelerinde bor konsantrasyonunun yükseldiği durumda, kütle soğurma katsayısının da yükseldiğini bildirmişlerdir. Radyasyon geçirgenliliğinde, iki farklı atığın da hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Demir (2010) çalışmasında, bor mineralleri olan tincal, ulexite ve kolemanit'in kütle soğurma katsayılarını, 59.54 keV enerjili ²⁴¹Am noktasal radyasyon kaynağı kullanarak deneysel olarak belirlemiş ayrıca teorik hesaplamalar yapmıştır. Sonuç olarak; kolemaniti üleksit ve tinkal'in foton ve nötron radyasyonlarının engellenmesi için zırhlama malzemesi olarak kullanıldığını bildirmiştir.

Demir vd. (2010) barit, kolemanit ve normal agregası ile ürettikleri betonlar üzerinde ışınım transmisyon metodu kullanarak 6 ve 18 MV "X" ışınları üreten lineer hızlandırıcı (LINAC) kullanarak radyasyon geçirgenliliklerini belirlemek amacıyla ölçümler yapmışlar ve 13 ağır ve 4 normal beton için lineer soğurma katsayısı hesaplamışlardır. Kolemanit konsantrasyonu ile lineer soğurma katsayısının yükseldiği diğer literatüre göre, farklı tip ve enerjide ışın kullandıkları çalışmada, iki beton çeşidinde de lineer soğurma katsayısının ($\mu \text{ cm}^{-1}$), kolemanit konsantrasyonu ile düştüğünü ve barit konsantrasyonu ile yükseldiğini bildirmişlerdir.

Akkurt ve Akyıldırım (2012), pomza agregası ile ürettikleri beton numuneleri üzerinde 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde, radyasyon zırhlama özelliklerini test etmek için yaptıkları foton zayıflatma katsayıları ölçüm sonuçlarını, Xcom programıyla yaptıkları teorik hesaplamalarla karşılaştırmışlardır. Ayrıca, elde ettikleri sonuçları, pomzanın radyasyon zırhlamadaki etkisini görmek için, normal beton ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta pomza agregalı lineer soğurma katsayısının hem deneysel ölçümlerde, hem de teorik hesaplamalarda normal betondan düşük olduğunu ve pomzanın radyasyon zırhlama anlamında ideal sonuçlar vermediğini bildirmişlerdir. Buna karşılık, Tapan vd. (2014)

foton enerji soğurma parametrelerinin, pomza numunelerinin Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 içeriğiyle doğru orantılı olduğunu bildirmiştir.

Boncukçuoğlu vd. (2005) yaptıkları çalışmada, Tinkal'den boraks üretimi esnasında ortaya çıkan döner elek atığını klinkere ekleyerek hazırladıkları çimentonun mekanik ve radyoaktif transsmisyon özelliklerini araştırmışlardır.

Gençel (2009) yaptığı çalışmada, bor içerikli kolemanitin beton agregası olarak kullanılmasıyla üretilen kolemanit katkılı betonun, fiziksel ve mekanik özellikleri ile birlikte radyasyona karşı bir kalkan olarak kullanılabilirliği fiziksel ve biyolojik yöntemlerle araştırmıştır. Standartlara göre yapılan taze ve sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen sonuçlara göre betona kolemanit ilave edilmesiyle betonun fiziksel ve mekanik özellikleri azalma gösterdiğini, 25 MeV foton enerjisi ve ortalama 4.5 MeV nötron ışınına karşı fiziksel yöntemle yapılan ölçümlerde, kolemanit katkılı betonun zırhlama performansının nötronlara karşı daha etkin olduğu bildirmiştir.

Binici vd. (2010) yaptıkları çalışmada, barit, kolemanit, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza içeren betonların dayanım ve dayanıklılığını incelemiş, çimeto ile ince agrega yerine söz konusu malzemeleri ikame ederek referans ve katkılı betonların basınç dayanımı, sülfat dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözülme direnci ve permeabilite özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçta kolemanitin 0.75 düzeyinde basınç dayanımını arttırdığını ve daha yüksek düzeyde kullanımının beton prizini engellediğini bildirmişlerdir.

Aydın (2009), yaptığı çalışmada kolemanit atığının beton numunelerinin basınç ve silindir yarma dayanımına olan etkisi araştırmış, kolemanit atığını cimento ile %3, %5, %10 ve %15 yer değiştirmiştir. Basınç ve silindir yarma dayanımı sonuçlarına göre %3 ve %5 kolemanit atığı katkısının betonun dayanım özelliklerini iyileştirdiğini göstermiş ve tüm karışımların uzun vadede sahit numuneden daha yüksek dayanıma ulaştığını ve betonda mineral katkı olarak kullanılabileceğini bildirmiştir.

Sevim ve Tümen (2013) yaptıkları çalışmada %0, %3, %5, %10 ve %15 oranlarında borcips içeren betonların priz süresi, hacimsel genleşme, birim ağırlık, kıvam ile basınç ve yarmada çekme dayanımı araştırarak, borcipsin betonda katkı olarak potansiyel kullanımını irdelemişlerdir. Sonuçta %3-5 borcips içeren beton numunelerinde kontrol numunelerine göre daha yüksek basınç dayanımı oluştuğunu ve %5-10 oranında borcipsin betonda katkı olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca borcipsin beton kıvamını azalttığı ve

betonda prizi yavaşlattığı bu nedenle priz geciktirici olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Kula vd. (2001) yaptıkları çalışmada kolemanit atığı, taban külü, uçucu kül, çimento+kül karışımları ve çimento+kolemanit atığının fiziksel ve kimyasal özellikleri ve betondaki mekanik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Araştırmaya göre uçucu ve alt külün %25 konsantasyonda bile referans karışıma göre daha iyi sonuçlar verdiğini, kolemanit atığının %9 portlant çimentosuna ikamesi ile basınç dayanımında düşüşe neden olmasına rağmen, sonuçların Türk Standartları sınırlarında olduğunu ve çimentoda kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Targan vd. (2002) yaptıkları çalışmada bentonit, kolemanit atığı, uçucu kül ve taban külünün çimento ve beton özelliklerine etkisini araştırmış ve bentonitin priz süresini hızlandırdığını ve kolemanit atığı ile birlikte kullanılınca priz süresini, düşük ikame seviyesinde, geciktirdiğini ve yüksek ikame seviyesinde hızlandırdığını bildirmişlerdir. Bentonitin %5-10 seviyesinde çimento ile ikame edilmesi, erken yaşlarda basınç dayanımını artırdığı halde, diğer malzemelerle kombinasyon şeklinde kullanıldığında söz konusu parametreyi düşürdüğünü ve sonuçların Türk Standartlarına uygun çıktığını bildirmişlerdir.

Erdoğan vd. (1998) yaptıkları çalışmada, tanecik çapı 25 mm'den küçük kolemanit atığı ve konsantratör atığını sıcak hava akımı ile kurutarak portlant ve traslı çimentolara karıştırmıştırarak priz ve mekanik özelliklere etkilerini incelemişler ve sonuçta, bazı kolemanit atıklarının çimento ağırlığının %5'ine kadar katkı olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Binici vd. (2014) yaptığı çalışmada, kolemanit, barit, öğütülmüş pomza ve yüksek fırın cürufunu katkı olarak kullandığı harçlarda, ileri kür yaşlarında basınç ve eğilme dayanımlarının yüksek fırın cürufu eklenen numunelerde dikkate değer şekilde yükseldiğini, ancak bütün kür yaşlarında, pomza ve barit katkılı numunelerin basınç dayanımları referans numuneleriyle karşılaştırıldığında düşük olduğunu bildirmiştir.

İçelli vd. (2003), 15.746–40.930 keV enerji aralığında Bazı bor bileşikleri ile (H_3BO_3 , $B_3Al_2O_3$, $Na_2B_4O_7$) TSW bor atığının kütle soğurma katsayılarını son derece daraltılmış ışın transmisyonu metodu kullanarak ölçmüşler, aynı enerji seviyesinde TSW'nin bu bileşiklere göre daha büyük kütle soğurma katsayısına sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Çalık vd. (2009) yaptığı çalışmada, bor ve bor kaplı bazı çelik malzemelerin radyasyon soğurma özellikleri incelemiş ve borlanmış çelik malzemelerin radyasyon soğurma kabiliyetlerinin arttığını bildirmişlerdir.

Benk ve Çoban (2012) yaptıkları çalışmada, pomza ve/veya genişletilmiş perlit gibi hafif agregalar ile çimento ya da harç bağlayıcıları kullanmadan, ısı yalıtımlı suya dirençli ya da su geçirmez hafif beton üretmişlerdir. Araştırma sonucunda %2.5 boraks eklenerek yapılan sertleşmiş H_3PO_4 veya NH_4NO_3 melas bağlayıcının çimento veya harca alternatif olabileceği sonucuna varmışlardır.

Bideci'nin (2013) yaptığı çalışmada, pomza agregaların bor kaplanmasıyla agregada basınç dayanımının arttığı, su emmenin %50 azaldığı ve bu agregalarla üretilen beton numunelerinde basınç dayanımlarının artarak ultrases geçiş hızına, basınç altında su işleme derinliğine, sülfat dayanımına, hızlı klor geçirimsizliğine olumlu katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Genel olarak %12.5 oranında kolemanitli çimentolarla kaplı agregalarla üretilen beton numunelerinin basınçlı su geçirimsizliği ile hızlı klorür geçirimsizliği azalırken; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve sülfat dayanımının arttığı belirlenmiştir. Böylece kolemanitli çimentolarla kaplı hafif agregalı betonların yapılar da taşıyıcı özel hafif beton olarak kullanılabileceği tespit etmiştir.

Akkurt vd. (2010a) yaptıkları çalışmada, barit ve baritten ürettikleri betonun radyasyon zırlama özelliklerini araştırmışlar ve sonuçları standart zırlama malzemesi olan kurşun ile karşılaştırmışlardır. 1 keV-1 GeV aralığında hesapladıkları lineer soğurma katsayılarını, 662, 1173 ve 1332 keV Enerji seviyelerinde, NaI(Tl) detektör kullanarak yapılan ölçümler ile karşılaştırmışlardır sonuçta kurşunun radyasyon zırlamada ideal bir malzeme iken, baritin beton agregası olarak yapıda buna bir alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Akkurt vd. (2010b), değişik tip baritlerle ürettikleri betonların lineer soğurma katsayılarını 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde ölçmüş ve sonuçları kurşun ile karşılaştırmışlardır. Kurşunun ideal bir zırlama malzemesi olduğu sonucuna vardıkları çalışmada, barit betonda agrega olarak kullanıldığında, radyasyon zırlama özelliğini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Akkurt vd. (2005), barit ($BaSO_4$) ile ürettikleri betonları gama radyasyonu için zırlama malzemesi olarak çalışmışlar, değişik hacimlerdeki baritlerden dolayısıyla farklı yoğunluk ve agregadan oluşan betonlar hazırlamışlardır. Xcom programıyla hesapladıkları

kütle soğurma katsayılarını 0.66 ve 1.25 MeV enerjilerde yaptıkları deneysel sonuçlarla ve normal betonla karşılaştırmışlardır. Hem teorik hem de deneysel sonuçlara göre barit yüklü betonların radyasyona karşı yapı inşasında kullanımını önermişlerdir.

Kılınçarslan vd. (2007) yaptıkları bir araştırmada, barit ve normal agregası kullanarak C20, C30 ve C40 dayanım sınıfına sahip üç farklı seri beton üretmiş ve bu betonların fiziksel ve mekanik özellikleri ile radyasyon soğurma özelliklerini inceleyerek sonuçta, normal agregası yerine barit kullanılması ile barit oranı artışı ile lineer soğurma katsayısının arttığı, fiziksel ve mekanik dayanımlarda değişimler olduğunu bildirmişlerdir.

Ustabas (2012) bor mineralleri olan kolemanit ve üleksit, çimentonun priz süresini artırdığını, üleksit minerali kolemanite göre daha fazla priz başlama süresini artırdığını, bu minerallerin doğrudan kullanımı harç numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında bir artışa neden olmadığını bildirmiştir. Isıl işleme tabi tutulan kolemanit harcın karışım suundaki suyu bağlayarak harcın kıvamının azalmasına neden olduğunu ve bu durumun çok az miktardaki kolemanitin harcın kıvamını azaltma özelliği sayesinde betonda dayanım artışına neden olabileceğini bildirmiştir.

Esen ve Yılmaz (2010) Türkiye’de Muş Bölgesi’nden temin ettikleri barit (BaSO_4) ile ürettikleri betonların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmalarında hacmen %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında barit ile hazırladıkları 6 grup beton numuneleri hazırlamışlar ve ısı iletkenlik katsayısını belirlemek için bu oranı %100’e yükseltmiş ve normal ve barit agregalı betonların deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Esen ve Yılmaz (2011) yaptıkları çalışmada normal agregası yerine, farklı miktarlarda barit agregası kullanarak ürettikleri ağır betonların, “X” ışını ve radyoizotop enerji soğurma kapasitelerini araştırmışlardır. Araştırmada söz konusu betonların yoğunluk-kalınlık-enerji varyasyonlarını 85 keV, 118 keV, 164 keV, 662 keV and 1250 keV enerji seviyelerinde belirlemişler ve sonuçta daha yüksek barit içeren betonların daha yüksek yoğunluğa ve enerji soğurma kapasitesine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Korkut vd. (2010), hazırladıkları dört barit ve dört beton numunesine %0, %5, %10 ve %15 oranlarında kolemanit ekleyerek nötron doz geçişini mono-enerjik nötron kaynağı ($E_{\text{eff}} = 4.5 \text{ MeV} - {}^{241}\text{Am}-\text{Be}$) kullanarak ölçmüşler ve sonuçta kolemanit oranı arttıkça nötron doz geçiş değerinin düştüğünü ve buna göre barit ve normal betonun nötron

zırhlama özelliğinin farklı kolemanit oranları eklenerek iyileştirilebileceğini bildirmişlerdir.

Yılmaz vd. (2011), 59.5 keV ve 662 keV enerjilerinde gama radyasyonları için değişik oranlarda hazırladıkları uçucu kül, silika dumanı ve yüksek fırın cürufu içeren 12 beton numunesinin, lineer soğurma katsayılarını deneysel olarak belirlemiş, NXcom programıyla hızlı nötron soğurma tesirlerini hesaplamışlardır. Sonuçta katkısız betonun hızlı nötronlar için daha iyi zırhlama yaptığını bildirmişlerdir.

Awadallah ve Imran (2007), Ürdün’de kullanılan bazı yapı malzemelerinin gama radyasyonu soğurma değerlerini test etmek amacıyla, HPGe dedektör kullanarak kireçtaşı, briket ve beton gibi yapı malzemelerinin 662 ve 1332.5 keV enerjili fotonlar için azaltma katsayılarını ölçmüşlerdir. 1332.5 keV’lik gama enerjisi için toplam soğurma katsayılarını kireçtaşı için 14.0 m^{-1} , briket için 10.8 m^{-1} ve beton için 11.2 m^{-1} olarak bulmuşlardır.

2. AMAÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı, kolemanit katkılı çimento ile üretilen pomza agregalı hafif betonun fiziksel özelliklerinin araştırılmasıdır.

Çalışmadaki veriler, deneysel çalışma ve teknik gözleme incelemeler sonucunda elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarla elde edilen veriler ilgili standartlar ile daha önce yapılan benzer amaçlı çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmış, gerek akademik danışmanın ve gerekse konuyla ilgili alan uzmanlarının görüşleri ışığında yorumlanmıştır.

Kaplan'a (1989) göre, radyasyon geçirgenliliğini azaltmak amacıyla normal betona bor eklenmesi, ağır betona eklenmesine kıyasla daha olumlu sonuçlar vermektedir. Buradan hareketle, hafif betona eklenen kolemanit katkısının radyasyon geçirgenliliği üzerindeki etkilerini araştırarak, kolemanit katkısının hafif beton üzerinde radyasyon zırlama açısından etkisi belirlenmiş olacaktır.

Literatürde bildirildiği gibi, yaklaşık %40-50 oranında bor içeren kolemanit, gama radyasyonu zırlama amacıyla çeşitli enerji seviyelerinde ve farklı birim hacim ağırlıkta (normal ve ağır beton) yapılan betonlar için denenmiş ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir (Oto vd., 2013; Demir vd., 2010; Gençel, 2009; Binici vd., 2014). Benzer çalışmalar daha çeşitli bor atıkları kullanılarak da yapılmıştır (Demir ve Keleş, 2006; Boncukçuoğlu vd., 2005; Kula vd., 2001; İçelli vd., 2003). Bu çalışmada, kolemanit katkısının gama radyasyon zırlamaya etkisi, hafif agregalı betonda araştırılarak, daha önce yapılan çalışmalara ek ve tamamlayıcı olacaktır.

Ayrıca, daha önce hafif betonun radyasyon geçirgenliliğini iyileştirme ile ilgili yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Türkiye'de büyük rezervi olan ve yapılarda çok yaygın olarak kullanılan pomza ile üretilen hafif betonun radyasyon zırlama özelliklerinin araştırılması ve iyileştirilmesi bu anlamda önem taşımaktadır. Benzer şekilde dünya bor rezervinin yaklaşık %66'sına sahip olan Türkiye'de bor minerallerinin kullanımı ve değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Betonda kürlenme yaşı ile radyasyon zırlama parametreleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan daha önce yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu deneysel çalışma ile pomza ile üretilen hafif betonun kürlenme yaşının gama radyasyon zırlama parametrelerine etkisi incelenerek yeni bir çalışma yapılacak ve kürlenme yaşının radyasyon zırlama parametreleri açısından normal ve ağır betonlarda araştırılmasına da katkı sağlayacaktır.

Betonda radyasyon geçirenliğini etkileyen önemli faktörlerden biri de yoğunluktur (Akkurt vd., 2010a; Akkurt vd., 2010b; Akkurt vd., 2010c; Akkurt vd., 2005; El-Sayed Abdo, 2002; Tapan vd., 2014) ve bilindiği gibi yoğunluk, betonun porozitesiyle değişen bir parametredir. Bu anlamda betonun porozitesinin belirlenmesi, ayrıca kür yaşının poroziteye etkilerinin araştırılması gereklidir.

Beton, jet uçak motoru etkileri, yangın, kimyasal ve metalurjik endüstriyel uygulamalar ve nükleer reaktör kazaları gibi durumlarda yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır (Naus, 2010). Yüksek sıcaklık, beton yapının durabilitesini etkileyen en önemli fiziksel bozunma süreçlerinden biridir, buna rağmen doğru malzeme seçimi gibi önleyici tedbirler alarak, yüksek sıcaklığın beton üzerindeki zararlı etkilerini minimize etmek mümkündür (Aydın, 2008). Yüksek sıcaklığa maruz kalacak özellikle bu tür yapılarda, Al_2O_3 bileşimi ile ateşe ve yüksek ısıya dayanım özelliği yüksek olan pomza agregalı hafif beton (DPT, 2001; Gül ve Bingöl, 2002) kullanımı önem taşımaktadır. Bu anlamda pomza agregalı hafif betona eklenecek kolemanit gibi bir katkının yüksek sıcaklık davranışına olumlu veya olumsuz etkilerinin ortaya konulması gerekir.

Beton karışımına eklenen bor katkısının etkili olabileceği en önemli parametrelerden biri de basınç dayanımıdır. Beton basınç dayanımı ve diğer fiziksel özelliklere bor katkısının etkisi çeşitli çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Binici vd. 2010; Aydın, 2009; Kula vd., 2001; Targan vd., 2002; Gençel, 2009; Sevim ve Tümen, 2013; Bideci, 2013; Ustabas, 2012; Boncukçuoğlu vd., 2005; Erdoğan vd., 1998). Hafif agregalı betona eklenen %0,4-2 oranlarında kolemanit katkısının bu anlamda yapacağı etki bu deneysel çalışmayla ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Yukarıda belirtilen hususlardan hareketle, bu çalışmada Van-Erciş-Kocapınar bölgesinden elde edilen pomza ile üretilen hafif betonlara, belirli oranlarda (%0, 0.4, 0.6, 0.8, 1 ve 2) kolemanit katkısı çimento ile ikame edilerek, gama radyasyon geçirgenliliği ile porozite, kılcal su emme, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımı özellikleri araştırılmıştır. Gama radyasyon zırlama parametrelerinin deneysel sonuçları WinXcom ile hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca üretilen beton numuneleri 28, 56 ve 360 gün kürlenerek, kür yaşının söz konusu parametrelere etkisi irdelenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Mineral Katkı (Kolemanit)

Deneylerde kullanılan kolemanit, Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup ve 63 mikron elekten elenerek belirlenen oranlarda CEM II 42.5 çimentosuyla ikame edilmiştir.

Bor mineralleri arasında en yaygın bulunan kolemanit olup, B_2O_3 içeriği $\%40\pm0,50$ 'dir. Monoklinik sistemde kristallenir, suda yavaş, HCl'de ise hızlı çözünür. Bor bileşikleri killer içinde, cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halindedir. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek bölgelerinde bulunur (Eti Maden, 2015). Kimyasal bileşim formülü $Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$ olan kolemanitin Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4.5 ve özgül ağırlığı ise 2.42 g/cm^3 'tür (Tolun, Yarari ve Gundiler, 2012; Yiğitbaşoğlu, 2012). Deneylerde kullanılan toz kolemanit örneği Şekil 3.1'de görülmektedir. Kolemanitin kimyasal içeriği ise Tablo 3.1'de verilmiştir.

Kolemanitin inceliği (özgül yüzey (blain) ve özgül ağırlık değerleri) TS EN 196-6'ya uygun olarak dijital piknometre ve otomatik blaine cihazı ile belirlenmiştir. Kolemanitin deneysel olarak belirlenen fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Özgül yüzey değeri TS 25'te verilen $4000\pm\%25$ sınır değerine uygundur.



Şekil 3.1. Öğütülmüş ve elenmiş kolemanit örneği

Tablo 3.1. Kolemanitin kimyasal içeriği (Eti Maden, 2015; Yaltay vd., 2015)

Bileşik	Birim	Metot	TÇMB Sonucu	Eti Maden İşl.Sonucu
SiO ₂	%	ICP-OES	4.29	4.00
CaO	%	ICP-OES	26.05	27.00
MgO	%	ICP-OES	2.02	3.00
Al ₂ O ₃	%	ICP-OES	<0.01	0.40
Fe ₂ O ₃	%	ICP-OES	<0.01	0.08
SO ₃	%	Spektrofotometre	0.06	-
Na ₂ O	%	ICP-OES	0.05	0.35
K ₂ O	%	ICP-OES	0.03	-
SO ₄	%	ICP-OES	-	0.60
B ₂ O ₃	%	Titrimetrik Metot	39.27	40.0
H ₂ O	%	ICP-OES	-	1.0
TiO ₂	%	ICP-OES	0.01	-
Kızdırma Kaybı	%	TS EN 196-2	27.59	24.60

Tablo 3.2. Kolemanitin fiziksel analiz sonuçları

Fiziksel Özellik	Metot	TÇMB Sonuç
Özgül yüzey (cm ² /g)	İşletme İçi Metot: KKB.TA.06 Otomatik Blain Cihazı	3990
Özgül ağırlık (g/cm ³)	İşletme İçi Metot: KKB.TA.9 Dijital Piknometre	2,46
90µ elek üzeri kalıntı (%)	TS EN 196-6	%0.9
200µ elek üzeri kalıntı (%)	TS EN 196-6	%0.1

3.1.2. Pomza Agregası

Türkiye’de Van Erciş Kocapınar Bölgesi’nden temin edilmiş olup agreg a elek analiz sonuçları Tablo 3.2’de, dane çapı dağılımı ise Şekil 3.2’de verilmiştir. Deneylerde kullanılan pomza için D_{max} değeri 32 mm alınmıştır. TS 706 EN 12620+A1’de verilen 32 mm D_{max} sınır değerleri ve eğrileri ile karşılaştırıldığında pomzanın kullanılabilir bölgede kaldığı görülmektedir (Tablo 3.2, Şekil 3.2).

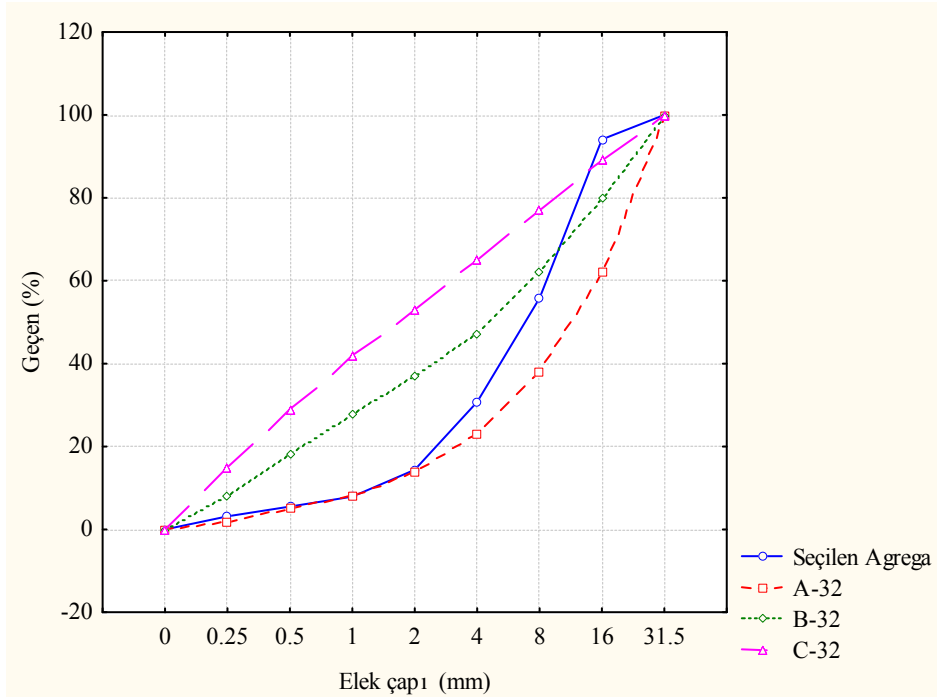
Pomza sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlıkları TS EN 1097-3’e göre yapılmıştır. Buna göre sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık için, iri ve ince agreg a ayrı ayrı 105°C’de değışmez ağırlığ a gelinceye kadar kurutulmuş, ölçekli deney kaplarda net ağırlık ve hacim belirlenerek yapılmıştır.

İri ve ince agreganın özgül ağırlık ve su absorpsiyon değeri, iri agreg a için arşimet terazisi, ince agreg a için 500 ml balon joje kullanılarak yapılmıştır. Bu deneylerin sonucu Tablo 3.3’te görülmektedir. Özgül ağırlık faktörü TS 2511’de belirtilen esaslara göre 500 ml piknometre kullanılarak, 10 dakika su emme süresine göre yapılmıştır (Şekil 3.3).

Pomza agregası için yapılan kimyasal analiz, analiz için kullanılan metod ve cihazlar ayrıca aynı bölgeden alınan pomza üzerinde daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.5’te gösterilmiştir. Buna göre kimyasal analiz sonuçları önceki çalışmalarla uyumludur.

Tablo 3.3. Pomza elek analizi sonuçları (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013).

Elek Ebadı	Her Elek Üstü Kalan (g)	Kümülatif Ağırlık (g)	Her Elek Üstü Ağırlık (g)	Yığılmış Ağırlık (g)		Sınır Değerler (TS 706 EN 12620)		
				Kalan (%)	Geçen (%)	A-32	B-32	C-32
31.5	0	0		0	100.00	100	100	100
16	60	60	5,92	5,92	94.08	62	80	89
8	388	448	38,26	44,18	55.82	38	62	77
4	254	702	25,05	69,23	30.77	23	47	65
2	166	868	16,37	85,60	14.40	14	37	53
1	66	934	6,51	92,11	7.89	8	28	42
0.5	24	958	2,37	94,48	5.52	5	18	29
0.25	24	982	2,37	96,84	3.16	2	8	15
Tepsi	32	1014	3,16	100,00	0	0	0	0
Numune Ağırlığı	1014	İncelik Modülü			5,88			



Şekil 3.2. Deneylere esas pomzanın granülometri eğrisi ($D_{max}=32$ mm) (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)

Tablo 3.4. Agrega fiziksel özellikleri (Deney sonuçları)

Fiziksel özellik	İri agrega	İnce agrega
Özgöl ağırlık (kuru) (g/cm ³)	0.693	0.956
Özgöl ağırlık (doymun yüzey kuru) (g/cm ³)	1.227	1.432
Zahiri özgöl ağırlık (g/cm ³)	1.488	1.828
Su absorpsiyonu (%)	77.046	49.9
Sıkışık birim hacim ağırlık (kg/m ³)	0.74	0.88
Gevşek birim hacim ağırlık (kg/m ³)	0.68	0.8

Tablo 3.5. Pomza'nın kimyasal içeriği (Yaltay vd., 2015).

Bileşik	Deney Sonucu (%)	Metod-Cihaz	Uysal vd., (2004) (%)	Tapan vd., (2014) %	Efe, (2011) (%)
SiO ₂	70.82	ICP-OES	71.35	71.81	75.62
CaO	0.78	ICP-OES	1.84	2.02	0.49
MgO	0.1	ICP-OES	0.01	0.64	0.42
Al ₂ O ₃	12.56	ICP-OES	13.2	12.74	13.45
Fe ₂ O ₃	1.4	ICP-OES	1.54	5.53	1.96
SO ₃	0.08	UV-spektrofotometre	0.04	-	0.17
Na ₂ O	3.19	ICP-OES	3.4	2.61	1.14
K ₂ O	5.77	ICP-OES	5	4.04	5.24
Cl	-	-	-	0.08	0.01
P ₂ O ₅	-	-	-	0.03	0.03
TiO ₂	0.09	ICP-OES	0.25	0.50	0.12
Kızdırma Kaybı	4.21	TS EN 196-2	3.05	-	4.19

3.1.3. Çimento

Araştırmada Van Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM II/A-LL 42.5 R tipi portland kalkerli kompoze çimentosu kullanılmış olup fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.6. Çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri
(Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013; Yaltay vd., 2015)

Fiziksel Testler			TS EN 197-1	Bileşik	Oran (%)	TS EN 197-1
İncelik (0,09mm elek üstü, %)	1.1		-	SiO ₂	18.92	-
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.99		-	CaO	60.15	-
Özgül yüzey (cm ² /g)	4109		-	MgO	2.82	-
Litre ağırlık (g)	1031		-	Al ₂ O ₃	4.5	-
Priz başlangıcı (saat-dk)	2sa-36dk.		-	Fe ₂ O ₃	3.28	-
Priz sonu (saat-dk)	3sa-31dk.		-	SO ₃	2.6	Max. 4.00
Hacim genleşmesi (mm)	2		-	Na ₂ O	0.21	-
Mekanik Özellikler (N/mm ²)			-	K ₂ O	0.53	-
Basınç dayanımı	(2. Gün)	20.80	min. 20	Cl	0.0079	Max. 0.10
	(7. Gün)	35.20	-	SO ₄	-	-
	(28. Gün)	50.40	min.42.5 max. 62.5	SO ₃	2.6	-
Eğilme dayanımı	(2. Gün)	4.20	-	B ₂ O ₃	-	-
	(7. Gün)	6.30	-	H ₂ O	-	-
	(28. Gün)	7.90	-	TiO ₂	-	-
				Kzd. Ky	6.44	-

3.2. Beton Karşımı

Bu çalışmada 6 grup beton (C0=kontrol grubu, C1, C2, C3, C4 ve C5 üretilmiştir. CEM II PÇ 42.5 çimentosuna ağırlıkça %0, %0.4, %0.6, %0.8, %1 ve %2 oranlarında kolemanit, ikame edilmiştir. Karışımlar TS 2511 standardına göre hazırlanmıştır. Bu standarda göre hafif agrega olarak kullanılacak pomza ile ilgili ön deneyler yapılmıştır. Hesaplamalarda ihtiyaç duyulan su muhtevaları, birim hacim ağırlıklar, özgül ağırlık değerleri Tablo 3.3'te karışım oranları ise Tablo 3.6'da verilmiştir. Hazırlanan karışım 10x10x10 cm³ ve 15x15x15 cm³ küp kalıplara yerleştirilmiş ve prizini alan beton numuneleri 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28, 56 ve 360 gün boyunca 20°C sıcaklıktaki kirece doymun suda kürlenmiştir. Yapılan deneme karışımlarında (Şekil 3.4) kolemanit oranının (%2-6) yüksek olması priz süresini çok geciktirmiş ve %10 ve %20 oranlarında değiştirilen kolemanit ise betonu standart dışı yapmış çimento fiziksel özelliklerinde, istenilmeyen bozukluklar meydana getirmiştir. Bu durum Yalçın (1996) ve Binici vd., (2010) tarafından da desteklenmektedir.



Şekil 3.3. Özgöl ağırlık faktörü deneyi



Şekil 3.4. Deneme karışımlarının yapılması

Tablo 3.7. Beton karışım oranları (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)

Numune	Su (kg)	Çimento (kg)	Agrega (Pomza)		Çimento ile İkame	
			İri (kg)	İnce (kg)	Kolemanit (%)	Kolemanit (kg)
C0	130.9	400	330.05	441.06	0	0
C1	130.9	398.40	330.05	441.06	0.4	1.60
C2	130.9	397.60	330.05	441.06	0.6	2.40
C3	130.9	396.80	330.05	441.06	0.8	3.20
C4	130.9	396.00	330.05	441.06	1	4.00
C5	130.9	392.00	330.05	441.06	2	8.00



Şekil 3.5. Beton karışımının hazırlanması (pan mikseri)



Şekil 3.6. Taze betonda çökme (slump) testi (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



Şekil 3.7. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



Şekil 3.8. Kalıptan çıkarılan beton numunelerinin kür havuzunda bekletilmesi

3.3. Radyasyon Zırhlama Deneyi

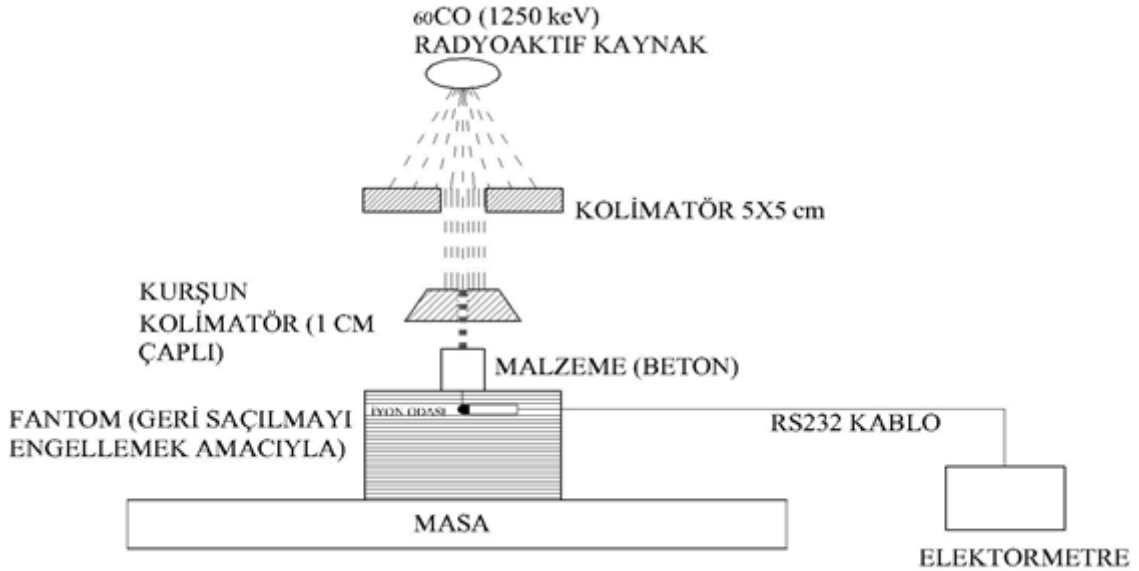
Beton numunelerinden (her bir gruptan 5, toplamda 90 adet) alınarak, radyoterapi amaçlı kullanılan Thratron 1000E™ cihazı üzerinde monteli ^{60}Co radyasyon kaynağından elde edilen 1250 keV enerjili foton ile radyasyon deneyi yapılmıştır. Dar ışın elde etmek için, öncelikle 5x5 cm² delikli kolimatör ve ardından üzerinde 1 cm² lik bir delik bulunan kurşun Şekil 3.9'da gösterildiği gibi kullanılmıştır. Geri saçılmayı minimize etmek amacıyla suya eşdeğer (1 g/cm³ yoğunluğunda) fantomlar kullanılmıştır (Şekil 3.9 ve 3.10).

I/I_0 foton geçiş değerleri 0.6 cc, farmer type, PTW™ iyon odası kullanarak ölülmüştür. Doz okumaları PTW™ Unidose Electrometer cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.12). Çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 3.9’da gösterilmiştir. I ve I_0 okumaları tüm numuneler için aynı şartlar altında yapılmıştır. Numune kullanılmadan yapılan ilk okuma I_0 ve numune kullanılarak yapılan okuma I olarak kayıt altına alınmış (Şekil 3.11) ve lineer soğurma katsayısı (μ) ve ortalama serbest yol (λ) değerleri bağıntı (2.1) ve bağıntı (2.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$I=(I_0)(e^{-\mu x}) \quad (2.1)$$

$$\lambda=1/\mu \quad (2.2)$$

Deneysel sonuçlar WinXCom (Gerward vd., 2001) programı kullanılarak elde edilen teorik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.9. Radyasyon deney düzeneği (Yaltay vd., 2015)



Şekil 3.10. Cobalt 60 radyasyon kaynağı ve radyasyon deney düzeneği



Şekil 3.11. Radyasyon deneyi (Numunenin yerleştirilmesi)



Şekil 3.12. Radyasyon deney düzeneği kontrol paneli ve elektrometre ile yapılan okumalar

3.4. Radyasyon Zırhlama Teorik Hesaplamaları

XCOM herhangi bir element, bileşik ya da karışımın kütle soğurma katsayıları ya da foton etkileşim tesir kesiti'nin 1 keV to 100 GeV enerji aralığında hesaplanması Berger ve Hubbell (1987/99) tarafından geliştirilmiş ve Gerward ve diğerleri (2001) bu iyi bilinen ve çok kullanılan programı Windows ortamına taşımışlardır Gerward vd., (2004). “Programın Windows versiyonu “WinXcom” olarak bilinir, Windows işletim sistemi altında çalışır ve madde tanımlama listesinde maddeleri tanımlamayı, yeniden tanımlamayı ve kayıt altına almayı kolaylaştıran bir arayüz sağlar. Madde bir defa tanımlandığında bileşiklerin ya da karışımların tanımlanmasında kullanılabilir. Henüz tanımlanmış bileşik ya da karışımdan yeni karışım bile tanımlamak mümkündür. Madde tanımlama listesi periyodik tabloda ilk yüz elementin (Z=1-100) ön tanımlı listesi ile gelir” (Gerward vd., 2004).

WinXcom programı ile elde edilen teorik kütle soğurma katsayıları “ μ_p ” tüm numune grupları için hemen hemen aynı çıkmıştır. (C0, C1, C2, C3, C4, C5). Bu “ μ_p ” değerleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırmak amacıyla 2.3 bağıntısı kullanılarak “ μ ” değerlerine dönüştürülmüştür. Böylece farklı kür yaşlarında elde edilen teorik “ μ ” değerleri de deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilmiştir.

$$\mu_p = \mu / \rho \quad (2.3)$$

3.5. Kapiler Su Emme Deneyi

105°C sıcaklıkta 24 saat kurutulan numunelerden 5'er adet (toplamda 90 adet) alınarak kapiler su emme deneyi uygulandı. Yan yüzeyleri, buharla eritilmiş parafin ile kaplanan numuneler, 15'li gruplar halinde kapiler su emmeye tabi tutuldu. Deney öncesi kuru ağırlıkları belirlenen numunelerin su havuzunda 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360, 720, 1440 dakika su emdirilmesi sonucu DYK belirlenerek denklem (2.4)'e göre kapiler su emme katsayıları belirlendi.

$$k = \frac{Q}{A \times \sqrt{t}} \quad (2.4)$$

k= Kapiler su emme katsayısı (cm.sn⁻¹)

Q= Emilen su miktarı (cm³),

A= Su emilen kesit alan (cm²)

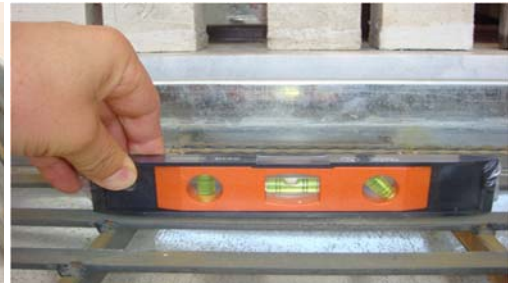
t= Süre (sn)



Şekil 3.13. Parafinin benmari yöntemiyle eritilmesi



Şekil 3.14. Eritilmiş parafinin numuneye uygulanması



Şekil 3.15. Kapiler su emme deney düzeneğinin tesviye edilmesi



Şekil 3.16. Su emme uygulaması için numune yerleştirilmesi
(taban, su seviyesinin 5 mm altında)

3.6. Porozite Deneyi

Kapiler su emme deneyi uygulanan numuneler, (her gruptan 5'er adet olup toplam 90 adet) 72 saat su havuzunda bekletilmiştir. Her bir numunenin su altında arşimet terazisinde asılı ağırlığı (W_{su}) ve havadaki ağırlığı (W_{dyk}) (doymun, kuru yüzey) arşimet düzeneği kullanılarak belirlendi. Kapiler su emme deneyi öncesi kuru ağırlıkları (W_{kuru}) belirlenen numuneler için porozite değerleri denklem (2.5) kullanılarak hesaplandı.

$$\%P = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{dyk} - W_{su}} * 100 \quad (2.5)$$

3.7. Ultrases Geçiş Hızı ile Beton Basınç Dayanımı Deneyi (Tahribatsız)

105°C sıcaklıkta 24 saat kurutulan numunelerden 5'er adet (toplamda 90 adet) alınarak ASTM C597-83'e, (ASTM, 2002) uygun olarak, ultrases geçiş hızı deneyi ile numunelerin basınç dayanım değerleri belirlenmeye çalışıldı. Bu kapsamda pundit cihazıyla (Şekil 3.17) numune iki yüzeyi arasında ses geçiş süresi (μs) okunarak, birimi km/sn'ye dönüştürüldü. Daha sonra, denklem (2.6), (Uyanık vd., 2012) kullanılarak karakteristik beton basınç dayanımı belirlendi.

$$f_{ck} = 2.6 * (V_p)^{1.8} \quad (2.6)$$

V_p = Ultrases boyuna dalga hızı (km/sn),

f_{ck} = 28 günlük beton karakteristik basınç dayanımı (MPa)'dır (Uyanık vd., 2012).



Şekil 3.17. Ultrases geçiş hızı okuma cihazı (Pundit) (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)

3.8. Basınç Dayanım Deneyi

Beton numunelerinin basınç dayanım değerlerini belirlemek amacıyla, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak, numuneler beton presinde kırılmıştır (Şekil 3.18). Her numune grubundan 5'er adet (toplamda 90 adet) numune deneye tabi tutulmuştur. Kürden 24 saat önce çıkarılarak DYK halde bekletilen numuneler, preste 0.6 ± 0.2 MPa/sn (TS EN 12390-3) sabit yükleme hızında yüklenerek kırılmıştır.



Şekil 3.18. Beton presi ile beton basınç dayanımını belirlenmesi işlemi

3.9. Yüksek Sıcaklık Deneyi

28 ve 56 günlük numunelerin her grubundan üçer adet alınarak 105°C 'lik etüvde değişmez ağırlığa getirildi. Aynı numuneler 400°C , 600°C ve 800°C sıcaklığa maruz bırakıldı. Söz konusu ısıda 1 saat boyunca bekletilen numuneler, oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar bekletildi. Bu işlemler Protherm HLF 150 marka laboratuvar tipi fırında (Şekil 3.19) gerçekleştirildi. Söz konusu fırın 1200°C maksimum ısıtma kapasiteli, ($2.5^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ hızla ısıtan) istenen sıcaklıkta ve sürede bekletilerek otomatik olarak soğutabilen bir cihaz olup soğutma hızı yaklaşık $2^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'dır (Şekil 3.19).

Etüv sonrası 28 ve 56 günlük numunelerin sabit ağırlıkları belirlenerek, pundit ile ultrases geçiş hızı yöntemiyle numunelerin basınç dayanımları belirlenmeye çalışıldı. Aynı işlemler 400°C , 600°C ve 800°C yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra tekrar yapıldı. Deneyde kullanılan yüksek sıcaklık fırınına ait sıcaklık-süre kontrol paneli Şekil 3.20'de görülmektedir.



Şekil 3.19. Yüksek sıcaklık fırını
(Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



Şekil 3.20. Yüksek sıcaklık fırını sıcaklık-süre kontrol paneli

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Radyasyon Deneyi Bulguları

4.1.1. Kolemanitin Lineer ve Kütle Soğurma Katsayılarına Etkileri

Radyasyon deneyi sonucunda (kolemanit katkısız) kontrol numuneleri için, elde edilen lineer soğurma katsayıları ve ortalama serbest yol değerleri genel olarak Akkurt ve Akyıldırım (2012) ile uyumludur. Deneysel sonuçlara göre, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, bütün kür yaşlarında, lineer ve kütle soğurma katsayıları kolemanit katkısı ile yükselmiştir. Bu sonuç Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'te görülebilir. Ancak, Şekil 4.1 ve 4.2'de görüldüğü gibi, (r ve p değerleri grafik üzerindedir) lineer ve kütle soğurma katsayıları ile kolemanit arasında doğrusal bir bağıntı elde edilmemiştir.

Akkurt ve Akyıldırım (2012)'ye göre pomza, radyasyon zırlama anlamında ideal bir malzeme değildir. Yapılan bu çalışmaya göre pomza ile üretilen hafif betonun radyasyon zırlama özelliği kolemanit katkısıyla belirli bir oranda iyileştirilebilmiştir.

Ayrıca, materyal metot bölümünde de açıklandığı gibi, yapılan deneme karışımlarında kolemanit oranının (%2-6) olması priz süresini geciktirmiş, daha yüksek oranlarda eklenen kolemanit (%10-20), çimentonun bağlayıcı özelliğini etkileyerek, kalıptan çıkarma sırasında dağılmasına neden olmuştur. Bundan dolayıdır ki çalışmada optimum olarak düşünülen %0.4-2 aralığında kolemanit, çimento ile yer değiştirilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel lineer soğurma katsayısı ve ortalama serbest yol sonuçları 1250 keV (28. gün) (Yaltay vd., 2015)

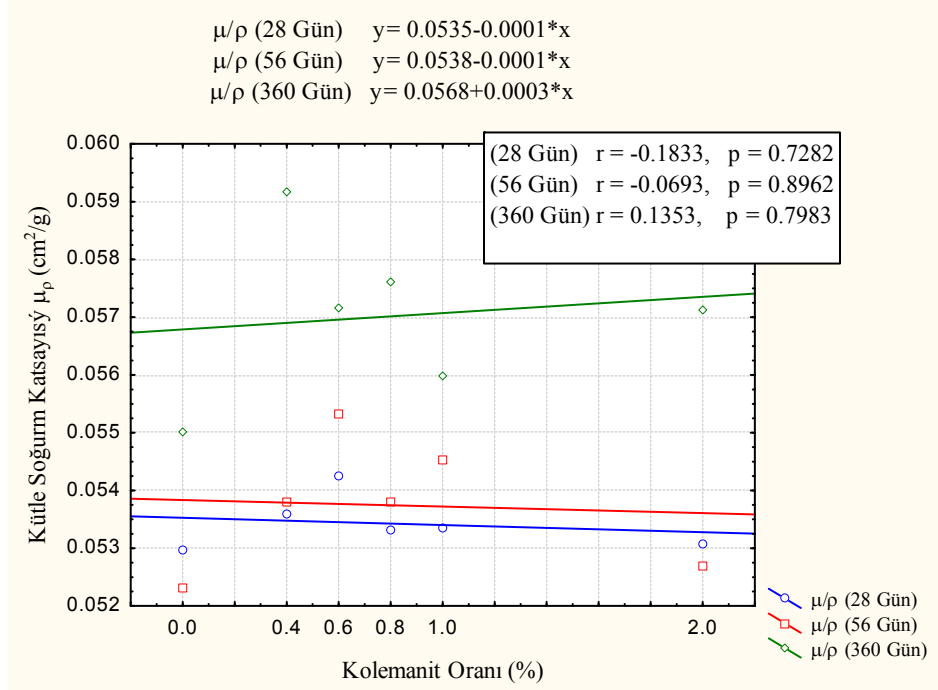
Numune	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$\mu(\text{cm}^{-1})$	$\lambda(\text{cm})$	$\mu_p(\text{cm}^2/\text{g})$	Değişim Oranı (%)	
					μ ve λ	μ_p
C0	1.098	0.05816±0.00022	17.19±0.065	0.05297±0.00028	0.00	0.00
C1	1.193	0.06393±0.00033	15.64±0.081	0.05359±0.00016	9.92	1.17
C2	1.178	0.06392±0.00105	15.64±0.251	0.05426±0.00050	9.90	2.44
C3	1.200	0.06398±0.00085	15.63±0.211	0.05332±0.00052	10.00	0.66
C4	1.159	0.06182±0.00042	16.18±0.111	0.05334±0.00010	6.29	0.70
C5	1.172	0.06222±0.00032	16.07±0.083	0.05309±0.00040	6.98	0.23

Tablo 4.2. Deneysel lineer soğurma katsayısı ve ortalama serbest yol sonuçları 1250 keV (56. gün) (Yaltay vd., 2015)

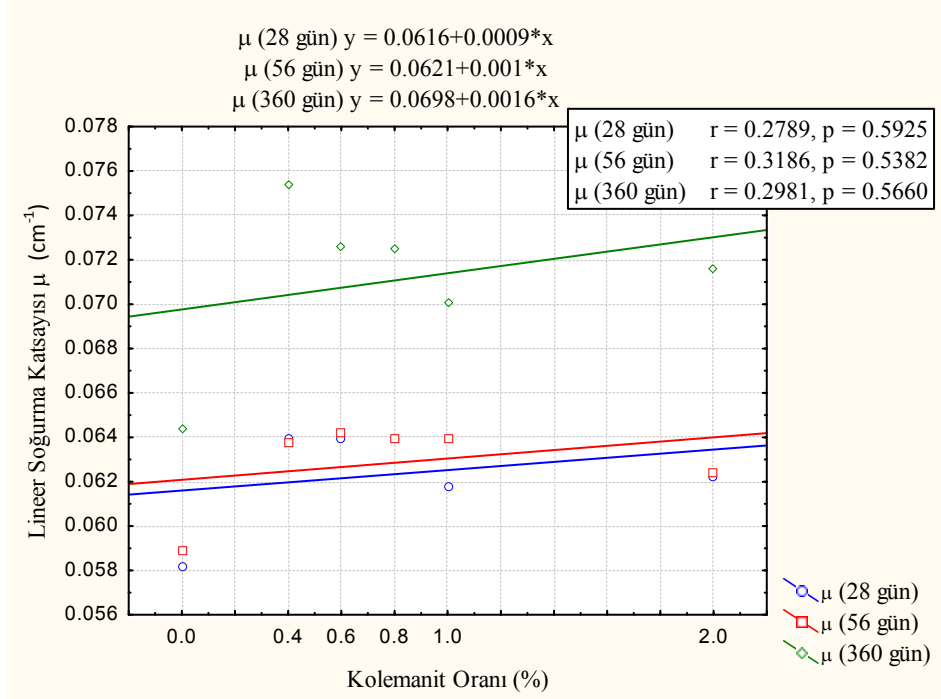
Numune	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$\mu (\text{cm}^{-1})$	$\lambda (\text{cm})$	$\mu_p (\text{cm}^2/\text{g})$	Değişim Oranı (%)	
					μ ve λ	μ_p
C0	1.126	0.05889±0.00036	16.98±0.105	0.05230±0.00037	0.00	0.00
C1	1.185	0.06376±0.00082	15.68±0.204	0.05381±0.00061	8.27	2.88
C2	1.161	0.06422±0.00046	15.57±0.114	0.05531±0.00050	9.05	5.76
C3	1.188	0.06391±0.00109	15.65±0.269	0.05380±0.00061	8.52	2.86
C4	1.172	0.06392±0.00057	15.64±0.139	0.05454±0.00046	8.54	4.28
C5	1.184	0.06241±0.00048	16.02±0.123	0.05271±0.00029	5.98	0.79

Tablo 4.3. Deneysel lineer soğurma katsayısı ve ortalama serbest yol sonuçları 1250 keV (360. gün) (Yaltay vd., 2015)

Numune	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$\mu (\text{cm}^{-1})$	$\lambda (\text{cm})$	$\mu_p (\text{cm}^2/\text{g})$	Değişim Oranı (%)	
					μ ve λ	μ_p
C0	1.17	0.06437±0.00097	15.54±0.237	0.05501±0.00064	0.00	0.00
C1	1.274	0.07537±0.00020	13.27±0.035	0.05916±0.00011	17.09	7.53
C2	1.269	0.07256±0.00110	13.78±0.211	0.05718±0.00072	12.72	3.93
C3	1.258	0.07247±0.00094	13.80±0.181	0.05761±0.00060	12.58	4.71
C4	1.251	0.07003±0.00089	14.28±0.184	0.05598±0.00071	8.79	1.75
C5	1.253	0.07160±0.00039	13.97±0.076	0.05714±0.00037	11.23	3.86



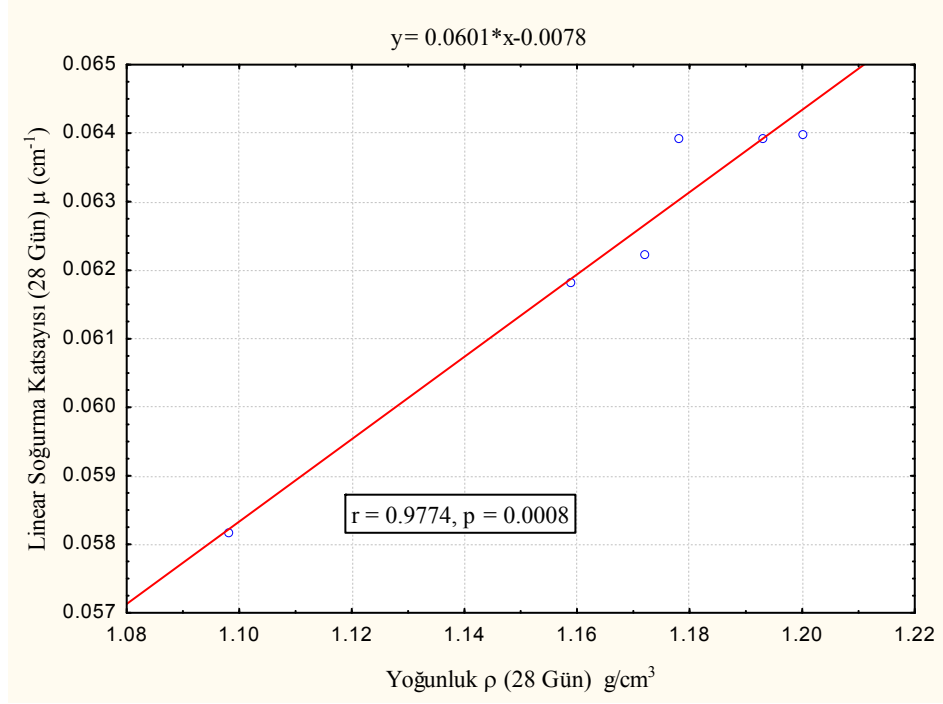
Şekil 4.1. Kolemanit oranı ile kütile soğurma katsayısı (μ_p) değişimi (Yaltay vd., 2015)



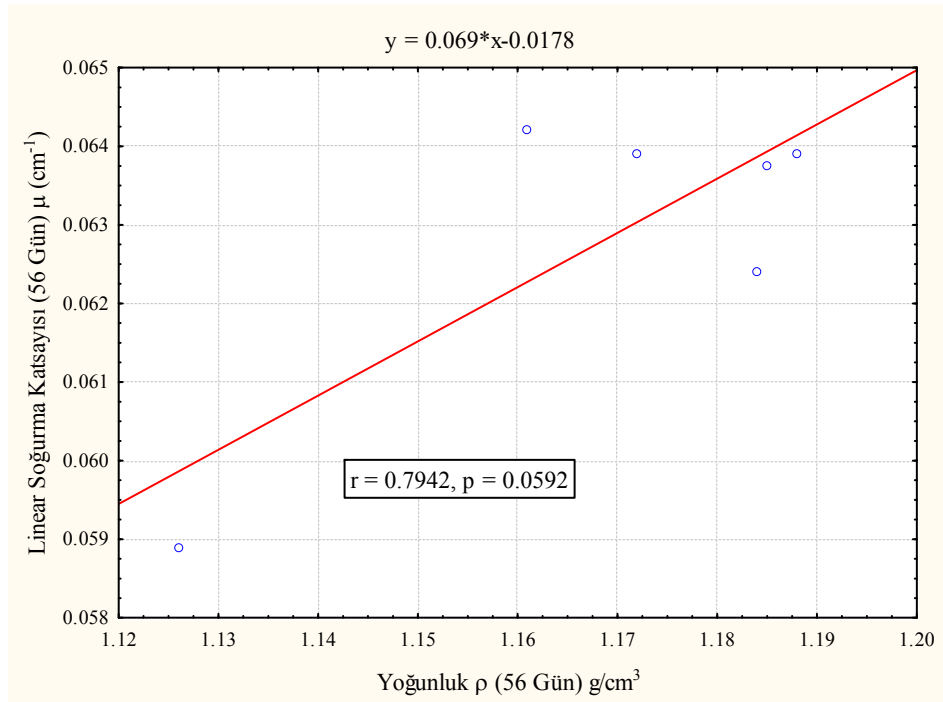
Şekil 4.2. Kolemanit oranı ile lineer soğurma katsayısı (μ) değişimi (Yaltay vd., 2015)

4.1.2. Yoğunluk ve Lineer Soğurma Katsayısı

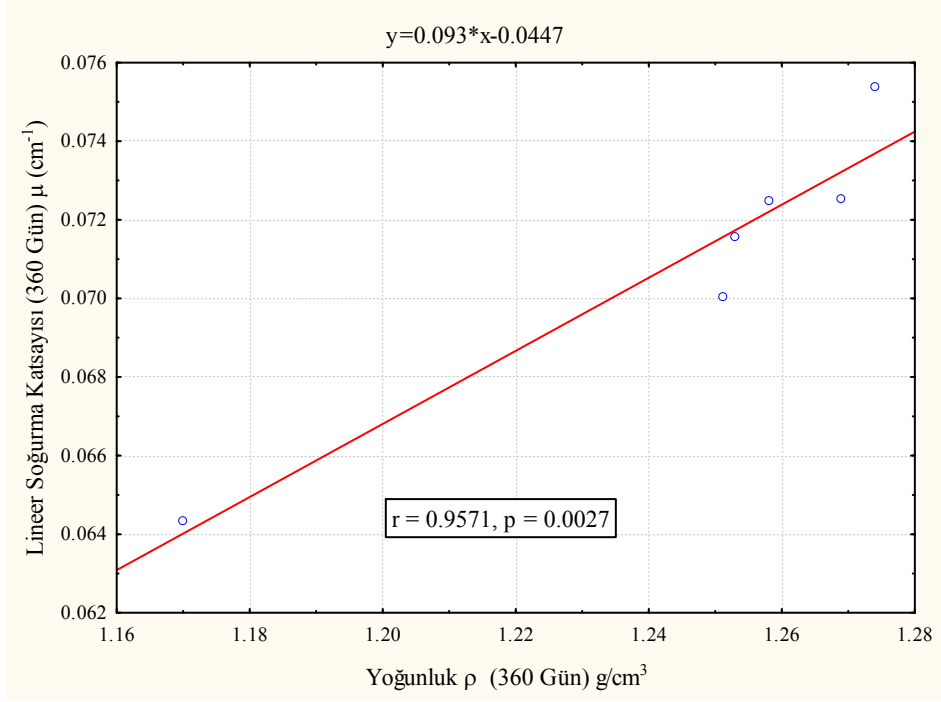
Üretilen hafif betonların yoğunluk değerleri ile lineer soğurma katsayısı arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan basit regresyon analizi sonucunda, yoğunluk ile lineer soğurma katsayısı arasında güçlü bir korelasyon (ilgileşim) elde edilmiştir (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5) (korelasyon katsayıları grafikler üzerinde). Lineer soğurma katsayıları numunelerin yoğunluğuna göre değişmektedir. Bu bulgu literatür ile uyumludur (Akkurt vd., 2010a; Akkurt vd., 2010b; Akkurt vd., 2010c; Akkurt vd., 2005; El-Sayed Abdo, 2002; Tapan vd., 2014).



Şekil 4.3. 28 günlük numuneler için yoğunluk (ρ) ile lineer soğurma katsayısı (μ) değişimi (Yaltay vd., 2015)



Şekil 4.4. 56 günlük numuneler için yoğunluk (ρ) ile lineer soğurma katsayısı (μ) değişimi (Yaltay vd., 2015).



Şekil 4.5. 360 günlük numuneler için yoğunluk (ρ) ile lineer soğurma katsayısı (μ) değişimi (Yaltay vd., 2015).

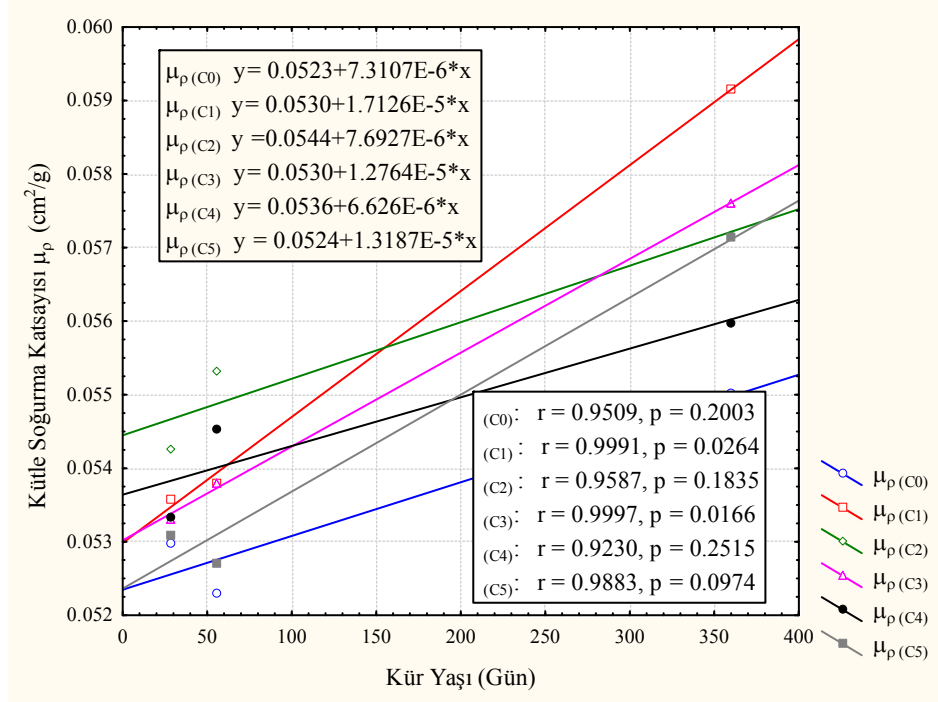
4.1.3. Kür Yaşının Lineer ve Kütle Soğurma Katsayısına Etkileri

Deney sonuçları üzerinde yapılan korelasyon (ilgileşim) analizinde kür yaşı ile lineer ve kütle soğurma katsayıları arasında güçlü bir ilişki vardır (Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8). Korelasyon katsayıları ve bağıntılar grafikler üzerinde gösterilmiştir. Tüm numune gruplarında (kolemanit katkılı ya da katkısız) ileri kür süresinin (360 gün), lineer soğurma katsayısı, kütle soğurma katsayısı ve yoğunlukları bariz şekilde arttırdığı görülmektedir. Bununla birlikte ileri kür yaşı (360 gün), kolemanit katkılı numunelerde, lineer ve kütle soğurma katsayılarını kontrol numunelerine göre daha yüksek düzeyde artırmıştır.

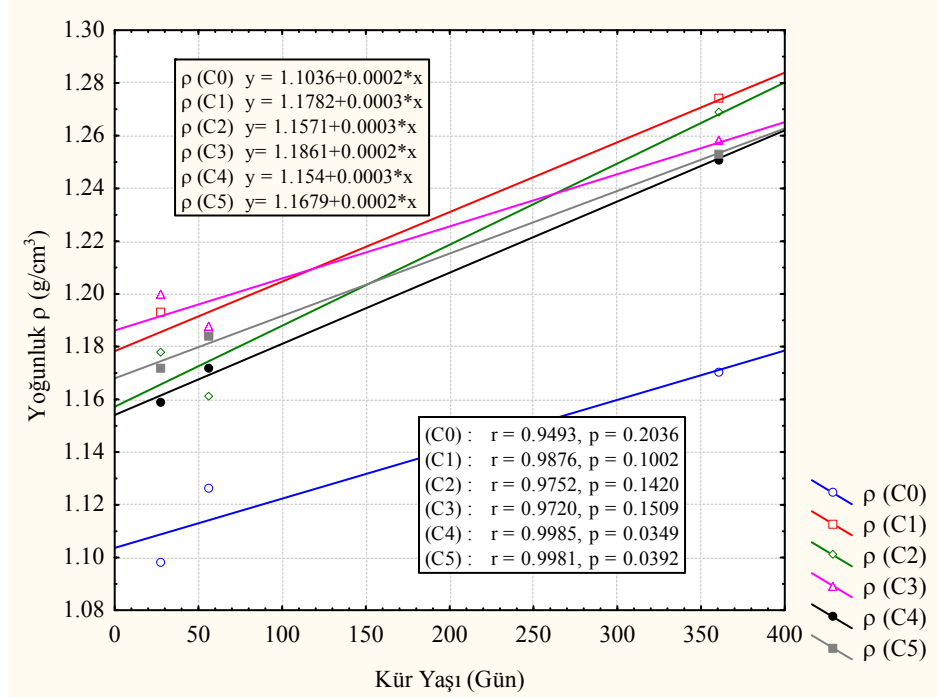
360 gün kürlenmiş C1 grubunun (kolemanit katkılı) lineer soğurma katsayısı, 28 gün kürlenmiş C1 grubu numunelere göre %17.89 arttığı gözlenmiştir. Aynı karşılaştırma yapıldığında bu katsayı, kontrol numunelerinde (kolemanit katkısız), %10.78 oranında artmıştır ki, bu da kür yaşının artmasıyla, kolemanit katkısının lineer soğurma katsayısına pozitif etki yaptığını net olarak göstermektedir.

Benzer şekilde, 360 gün kürlenmiş C1 grubunun (kolemanit katkılı) kütle soğurma katsayısı, 28 gün kürlenmiş C1 grubu numunelere göre %10.40 arttığı gözlenmiştir. Aynı karşılaştırma yapıldığında bu katsayı, kontrol numunelerinde (kolemanit katkısız), %3.87

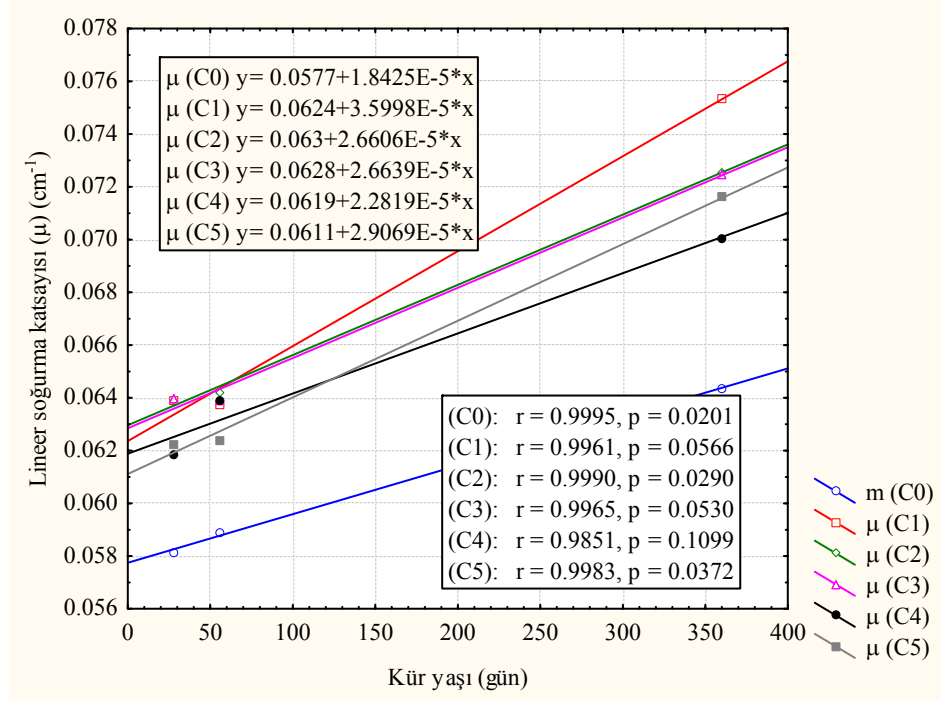
oranında artmıştır ki, bu da kür yaşının artmasıyla, kolemanit katkısının kütle soğurma katsayısına pozitif etki yaptığını net olarak göstermektedir.



Şekil 4.6. Kür yaşı ile kütle soğurma katsayısı (μ_p) değişimi (Yaltay vd., 2015)



Şekil 4.7. Kür yaşı ile yoğunluk (ρ) değişimi (Yaltay vd., 2015)



Şekil 4.8. Kür yaşı ile lineer soğurma katsayısı (μ) değişimi (Yaltay vd., 2015)

4.1.4. Deneysel Sonuçların WinXcom Teorik Hesaplamalarla Karşılaştırılması

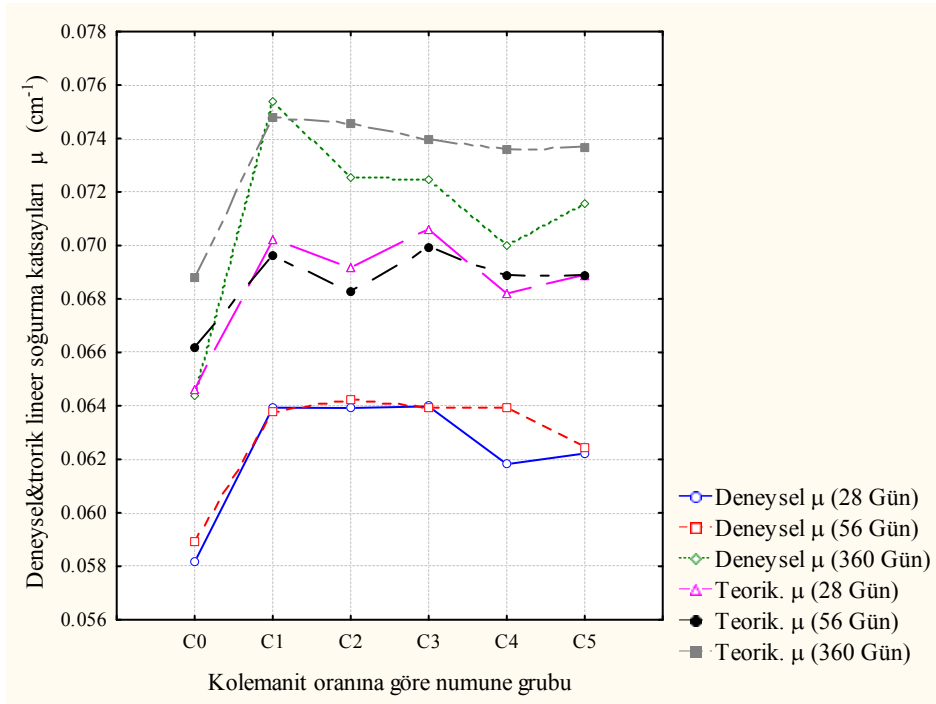
Farklı kolemanit içeren Numune grupları için WinXcom programıyla hesaplanan teorik lineer soğurma katsayıları, genellikle deneysel testlerde elde edilen sonuçlara yakın bulundu. Ancak teorik “ μ ” değerlerinde küçük dalgalanmalar görülmüştür.

Kür yaşının artması ile deneysel değerlerin teorik olarak hesaplanan değerlere daha da yakınlaştığını gözlenmiştir.

Bu anlamda hesaplanan teorik değerler ile deneysel sonuçlar arasındaki maksimum fark, 56 günlük kontrol numuneleri (C0) arasında 0.00731 cm^{-1} olarak hesaplanırken, minimum fark 360 günlük (C1) numuneleri arasında 0.00057 cm^{-1} değerinde kalmıştır. Ortalama farklar ise, 28 günlük numunelerde 0.006278 cm^{-1} iken, 56 günlük numunelerde 0.005782 cm^{-1} ve son olarak 360 günlük numunelerde 0.002373 cm^{-1} olduğu görülmüştür (Tablo 4.4, Şekil 4.9).

Tablo 4.1. Lineer soğurma katsayıları ve ortalama serbest yol değerlerinin WinxCom ile hesaplanan teorik sonuçları (Yaltay vd., 2015)

Numune Grubu	28. Gün		56. Gün		360. Gün	
	μ (cm ⁻¹)	λ (cm)	μ (cm ⁻¹)	λ (cm)	μ (cm ⁻¹)	λ (cm)
C0	0.0646	15.482	0.0662	15.105	0.0688	14.532
C1	0.0702	14.253	0.0696	14.358	0.0748	13.367
C2	0.0692	14.442	0.0683	14.651	0.0746	13,398
C3	0.0706	14.167	0.0699	14.313	0.0740	13.516
C4	0.0682	14.671	0.0689	14.51	0.0736	13.594
C5	0.0689	14.503	0.0689	14.361	0.0737	13.57



Şekil 4.9. Deneyel ve teorik lineer soğurma katsayıları (μ) (Yaltay vd., 2015)

4.2. Kapiler Su Emme Deneyi Bulguları

Yapılan kapiler su emme deneyi sonuçları incelendiğinde 28 ve 56 günlük numunelerde katsayının birbirine paralel değiştiği gözlenmiştir (Şekil 4.10). 28 gün ve 56 günlük kür yaşları dikkate alındığında, kolemanit oranı ile kapiler su emme katsayıları arasında doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir.

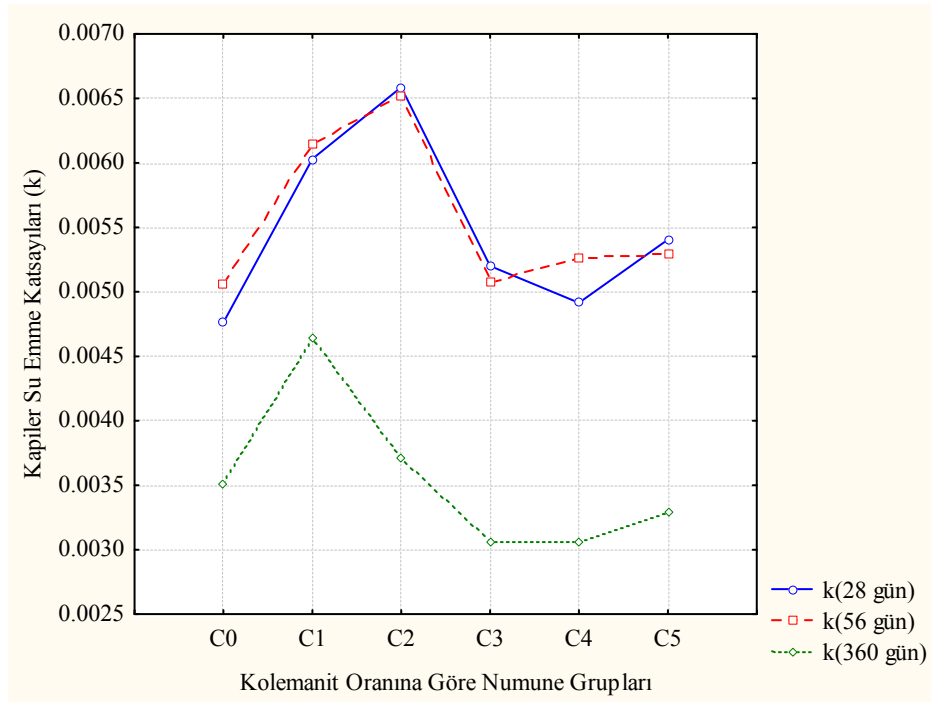
360 günlük numunelerde, kapiler su emme katsayısının, 28 günlük numunelerle karşılaştırıldığında bütün numune grupları için bariz şekilde düştüğü (minimum düşüş %23.13 ile C1 grubunda ve maksimum düşüş %43.76 ile C2 grubunda) gözlenmiş ve

yapılan korelasyon analizinde kür yaşı ile kapiler su emme katsayıları arasında güçlü bir bağ olduğu ortaya koyulmuştur (Şekil 4.11).

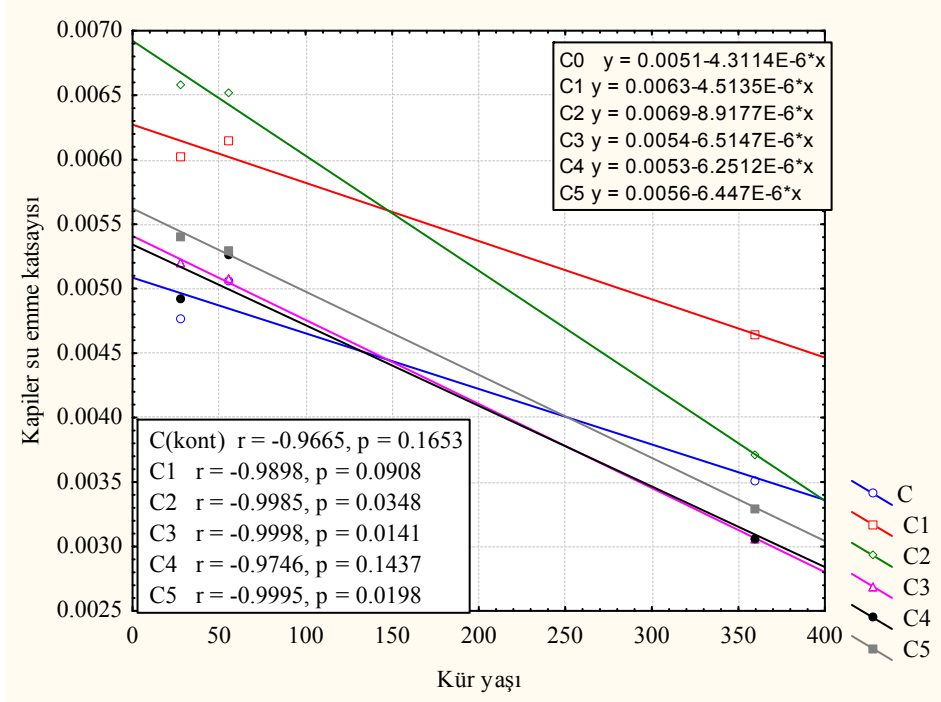
Birim ağırlıklar ile su emme katsayıları arasındaki ilişkiye bakıldığında, literatüre göre (Topçu ve Uygunoğlu, 2010) birim ağırlıklar düşük olunca kapiler su emme katsayıları yüksek çıkmaktadır. Beklenen bir durum olarak, buna neden olarak hafif beton üretilirken literatürde ince agrega olarak kum ve süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılması gösterilebilir.

Tablo 4.5. Numune gruplarına göre kapiler su emme katsayıları

Numune Grubu	Kapiler Su Emme Katsayıları (cm.s ^{-1/2})		
	28. Gün	56. Gün	360. Gün
C0	0.0048	0.0051	0.0035
C1	0.0060	0.0061	0.0046
C2	0.0066	0.0065	0.0037
C3	0.0052	0.0051	0.0031
C4	0.0049	0.0053	0.0031
C5	0.0054	0.0053	0.0033



Şekil 4.10. Kolemanit oranına göre kapiller su emme katsayıları



Şekil 4.11. Kür yaşı ile kapiler su emme katsayısı değişimi

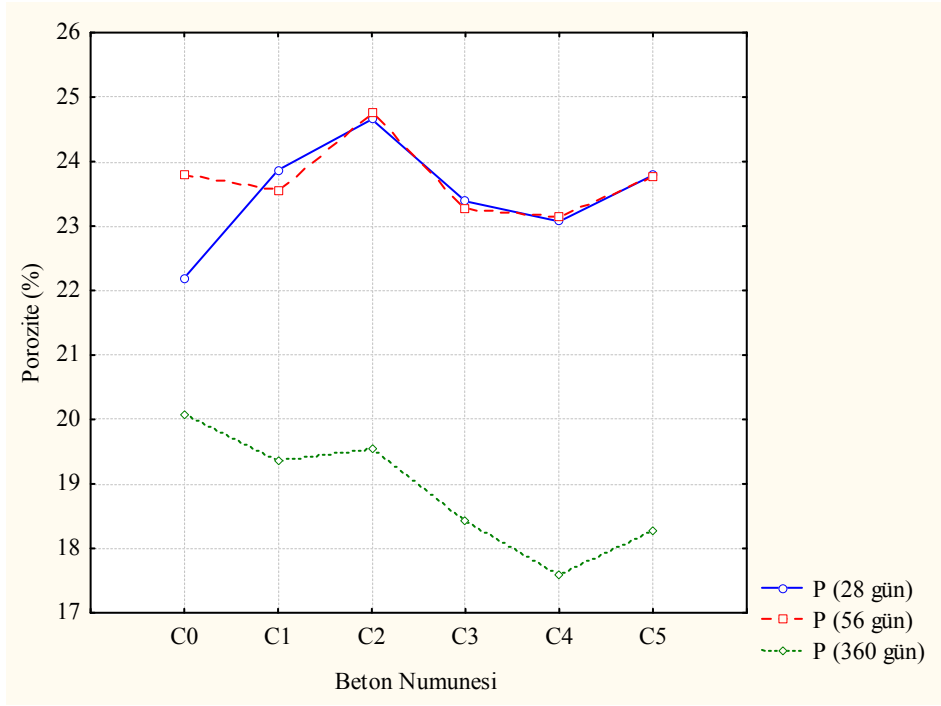
4.3. Porozite Deneyi Bulguları

Porozite deneyi sonuçları incelendiğinde, pomza agregası ile üretilen betonların 28 ve 56 günlük numunelerde %22.2-24.8 arasında değişen oranlar görülmektedir. 360 günlük numunelerde bu değerler %17.6-20.1 aralığına düşmüştür. 28 ve 56 günlük numune gruplarında kolemanit oranı porozitede çok büyük değişiklikler yapmamıştır ancak 360 günlük numunelerde kolemanit katkısı poroziteyi %2.55-12.40 oranlarında düşürmüştür. En yüksek düşüş C3 nolu beton numune grubunda (%0.6 kolemanit katkılı) gerçekleşmiştir (Tablo 4.6, Şekil 4.12 ve 4.13).

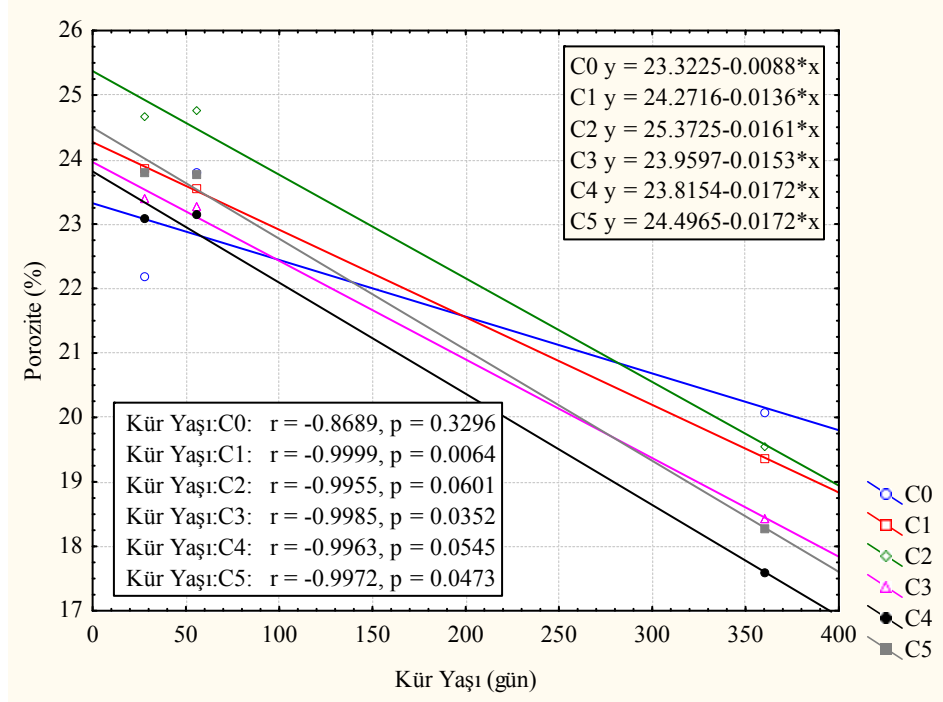
Kapiler su emme bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde Beklendiği gibi hafif agregalı beton numuneleri yüksek poroziteli ve yüksek su emme yüzdelere ulaşmış ve ileri kür yaşında (360 gün) su emme miktarları düşmüştür. Benzer şekilde kapiler su emme katasyıları, ileri kür yaşlarında belirgin olarak azalmıştır. Porozitenin azalması bunun temel nedenidir.

Tablo 4.6. Numune gruplarına göre porozite değerleri

Numune Grubu	Porozite (%)		
	28. Gün	56. Gün	360. Gün
C0	22.20	23.79	20.07
C1	23.87	23.54	19.38
C2	24.66	24.76	19.56
C3	23.38	23.27	18.44
C4	23.07	23.13	17.58
C5	23.79	23.78	18.27



Şekil 4.12. Kolemanit oranına göre porozite değerleri



Şekil 4.13. Kür yaşı ile porozite değişimi

4.4. Ultrases Geçiş Hızı ile Basınç Dayanım Deneyi Bulguları

Ultrases geçiş hızı ölçülen numunelerin karakteristik basınç dayanımları (f_{ck}) denklem (2.6) ile hesaplanmış ve Tablo 4.7’de verilen sonuçlar bulunmuştur.

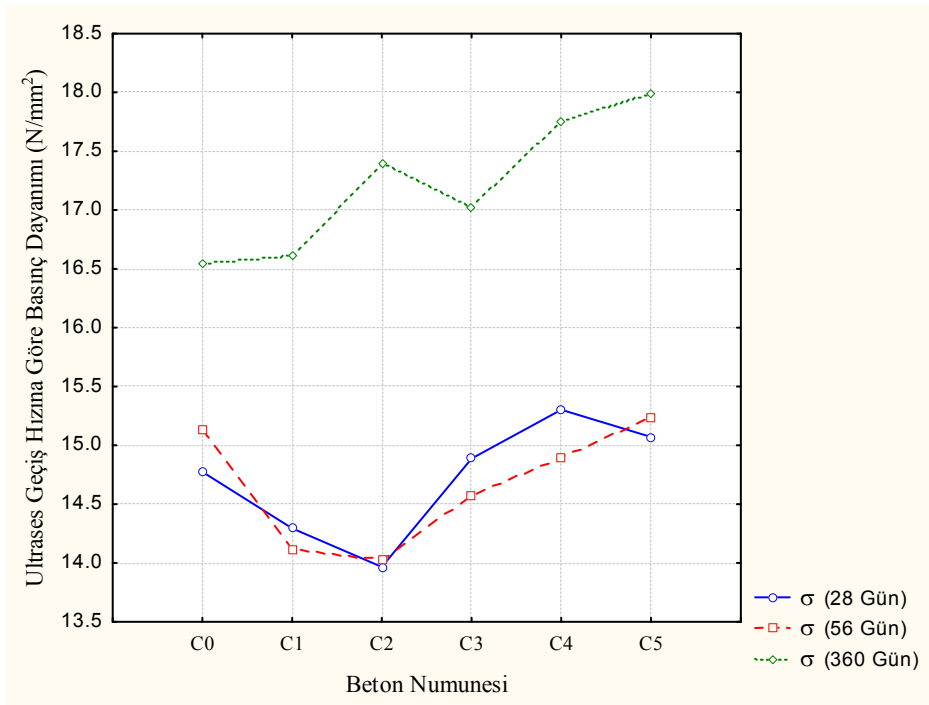
Bu sonuçlara göre, 28 ve 56 günlük numunelerin basınç dayanımlarının birbirine yakın ve paralel şekilde değiştiği ve %0.4 ve %0.6 oranlarında küçük artışlar gözlemlenmiştir. Bu kür gruplarında kolemanit katkı oranının (%0.4-2) basınç dayanımına etkisinin çok az olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.14).

360 günlük numunelerin sonuçları incelendiğinde, kolemanit katkılı veya katkısız bütün numunelerde basınç dayanımında bariz iyileşmeler gözlenmiş ve kolemanit oranının artmasıyla bu dayanım iyileşmesinin de arttığı gözlenmiştir. Kontrol grubunda 28 günlük numune dayanımlarıyla karşılaştırıldığı zaman basınç dayanım artışı 360 günlük numunelerde %9.34 değerinde kalırken bu oran aynı kür yaşında C2 grubunda (%0.6 kolemanit katkılı numunelerde) %24.04 olmuştur. Bu da kür yaşının kolemanit katkısıyla basınç dayanımında yaptığı pozitif etkiyi net bir şekilde göstermektedir.

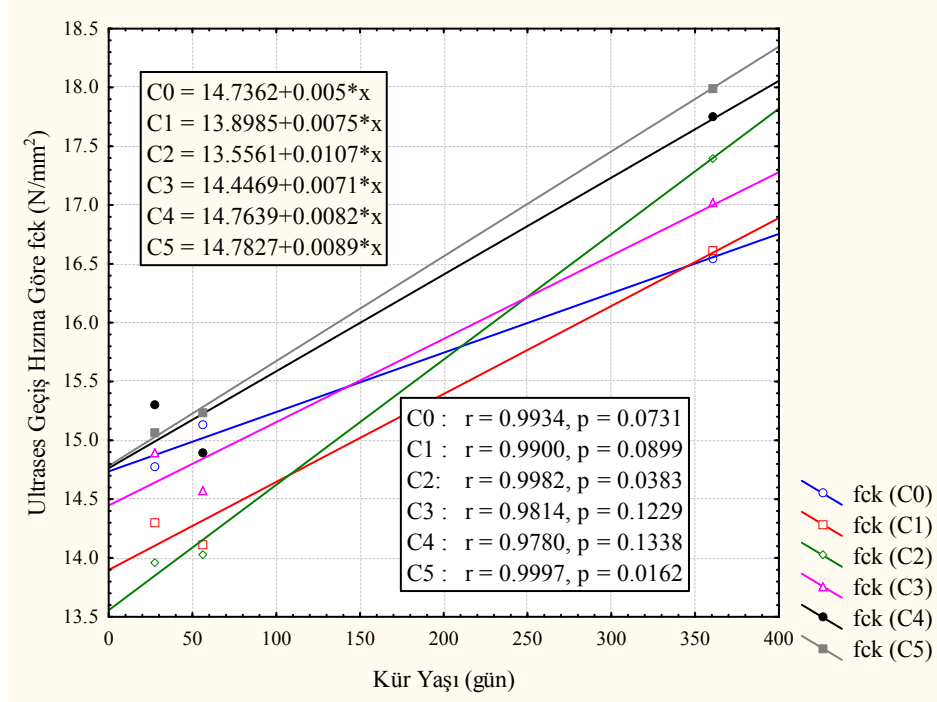
Yapılan korelasyon analizinde kür yaşı ile ultrases geçiş hızına göre bulunan dayanımlar arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Korelasyon katsayıları grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.15).

Tablo 4.7. Ultrases geçiş hızına göre hesaplanan beton basınç dayanımları

Numune Grubu	Basınç Dayanımları (N/mm ²)		
	28. Gün	56. Gün	360. Gün
C0	14.78	15.13	16.54
C1	14.29	14.11	16.61
C2	13.97	14.03	17.40
C3	14.89	14.58	17.02
C4	15.30	14.89	17.75
C5	15.07	15.24	17.99



Şekil 4.14. Kolemanit oranına göre ultrases geçiş hızı- f_{ck} değerleri



Şekil 4.15. Kür yaşı ultrases geçiş hızı-f_{ck} değerleri değişimi ve korelasyon katsayıları

4.5. Basınç Dayanım Deneyi Bulguları

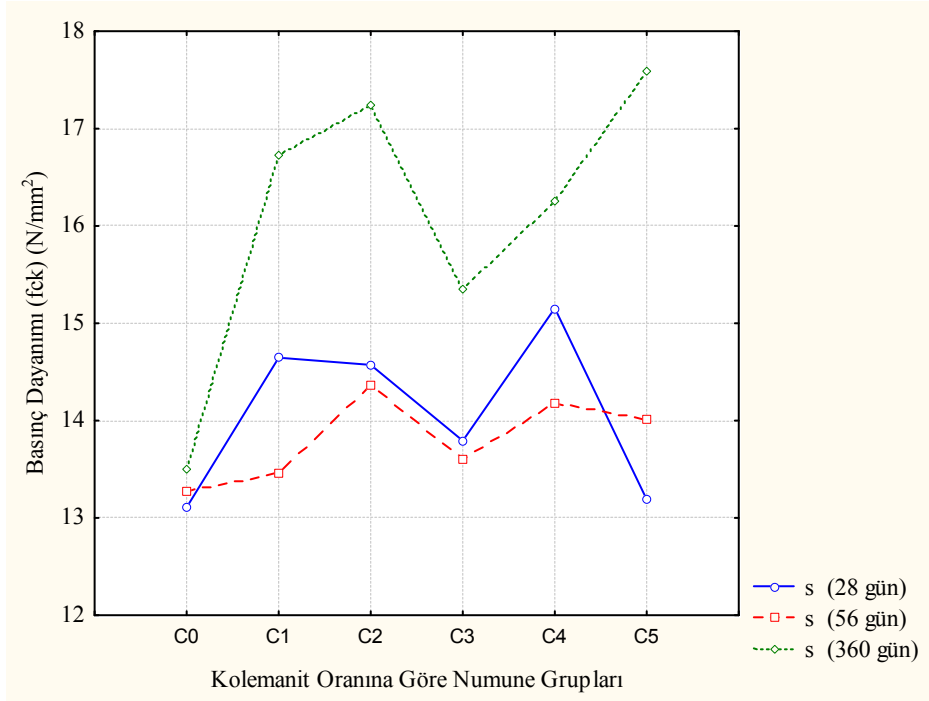
Ultrases geçiş hızına bağlı olarak hesaplanan değerlerle uyumlu sonuçlar bulunmuştur. Basınç dayanım değerleri genellikle (Gündüz vd., 1998)'de bildirilen 1-15 MPa değeriyle ve (Newman ve Owens, 2003)'te verilen dayanım-yoğunluk grafiğindeki (Şekil 1.11) banda uyumlu çıkmıştır. Yaşar ve diğerlerinin (2003), konuyla ilgili bulgularıyla karşılaştırıldığında burada bulunan dayanım değerleri, söz konusu çalışmada bulunan taşıyıcı hafif beton basınç dayanım değerlerinden (25 MPa) düşük çıkmıştır. Ancak bu çalışma ile karşılaştırıldığında, aynı çalışmada beton birim ağırlığı 1860 kg/m³ gibi yüksek değerlerdedir. Bu fark kullanılan agreganın farklı olmasıyla açıklanabilir. Basınç dayanım değerleri, pomza ile kendiliğinden yerleşen hafif beton üreten Topçu ve Uygunoğlu'na (2010a) göre düşük çıkmıştır. Çalışmada beton yoğunlukları 1394-1595 kg/m³ aralığındadır. Çalışmada ince agregaya yerine kum ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmasının bu farkı oluşturduğu söylenebilir.

Benzer şekilde Kabay ve Aköz'ün (2012) çalışmalarında ulaştıkları 21.0–29.4 MPa basınç dayanımları ince agregaya olarak kırma kum (beton birim ağırlığı 1412-1593 kg/m³) kullanmaları nedeniyle burada bulunan değerlere göre yüksektir. Hossain vd. (2011)

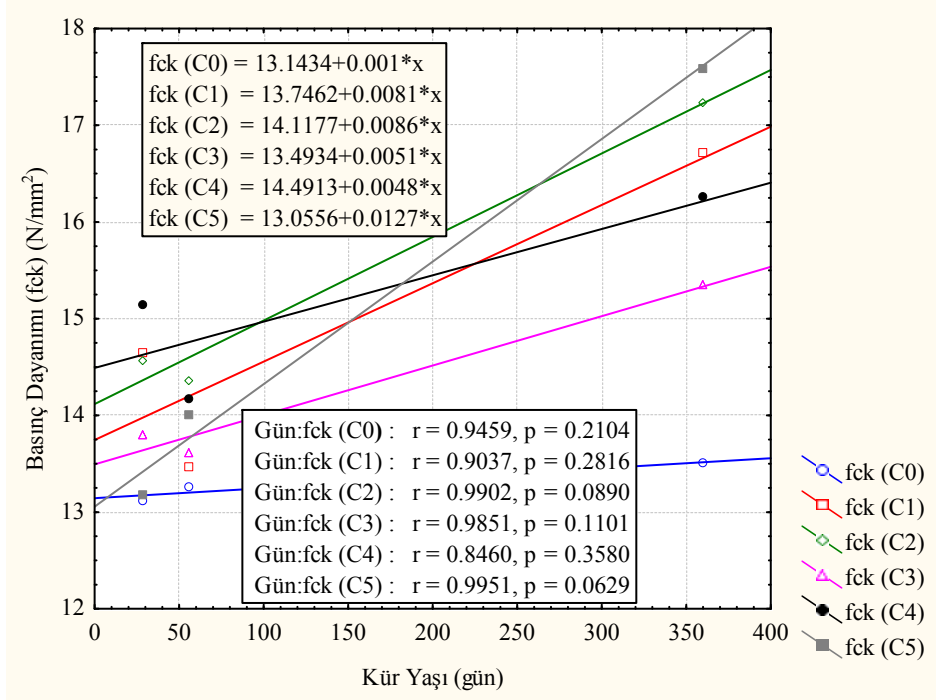
tarafından sadece iri ve ince pomza kullanılarak üretilen beton dayanımları ile uyumlu sonuçlar (10-12-15-16-19-21 MPa) görülmüştür.

Tablo 4.8. Deney sonuçlarına göre beton basınç dayanımları

Numune Grubu	Basınç Dayanımları (N/mm ²)		
	28. Gün	56. Gün	360. Gün
C0	13.11	13.27	13.51
C1	14.65	13.46	16.72
C2	14.57	14.37	17.24
C3	13.79	13.61	15.35
C4	15.15	14.18	16.26
C5	13.19	14.01	17.59



Şekil 4.16. Numune gruplarına göre basınç dayanım değişimleri



Şekil 4.17. Kür yaşı basınç dayanımı-f_{ck} değerleri değişimi ve korelasyon katsayıları

4.6. Yüksek Sıcaklık Deneyi Bulguları

28 ve 56 günlük numunelerin 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra ağırlık değişimleri ve ultrases hızı geçişine bağlı olarak hesaplanan basınç dayanımı azalması ile ilgili sonuçlar Tablo 4.9, 4.10 ve Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.27, 4.28 ve 4.29'da görülmektedir. Buna göre 400°C sıcaklığa kadar olan ağırlık ve basınç dayanımı azalmaları değişken bir şekilde seyrederken (28 günlük numunelerde %2.51-11.05 ve 56 günlük numunelerde %5,27-27,37 aralıklarında) 600°C ve 800°C sıcaklıklarda birbirine yakın çıkmıştır.

56 günlük numunelerde kontrol grubuna göre C1, C2 ve C3 grubu'nda (%0.4-0.6-0.8 kolemanit katkılı) ağırlık ve basınç kaybı düşük değerlerde kalmıştır. Aynı durum 56 günlük numunelerin 800°C sonraki değişim için de geçerlidir.

Sancak ve Şimşek (2005) yaptıkları çalışma sonucunda, hafif betonlarda basınç dayanımının 400°C sonrası %79'unu koruduğunu (%21 kayıp) ve 800°C sonrası %28'ini koruduğunu (%72 kayıp) bildirmişlerdir. Bu çalışmada kontrol numunelerinde kayıp 400°C sonrası %2.51 olurken 800°C sonrası %76.66 olmuştur. Dolayısıyla 800°C için uyum

gösteren bu sonuç, 400°C için daha düşük çıkmıştır. Ayrıca aynı çalışmada “Kong vd. ve Abeles ve Bardhan-Roy’a göre hafif agregalı beton yaklaşık 500°C’ye kadar dayanımını korur.” Sancak ve Şimşek (2005) şeklindeki ifade 400°C için daha düşük çıkan durumu desteklemektedir.

Aydın 2008 öğütülmüş yüksek fırın cürufu ekmediği pomza agregalı betonların 900°C’de basınç dayanımının %70’ini kaybettiğini bildirmiştir. Bu çalışmada 800°C sıcaklık için %70 kayıp söz konusudur. Bu anlamda uyumlu sonuçlar bulunmuştur. 600°C’de ise kayıplar % 4 civarındadır. Bu sıcaklık için sonuç uyumlu değildir.

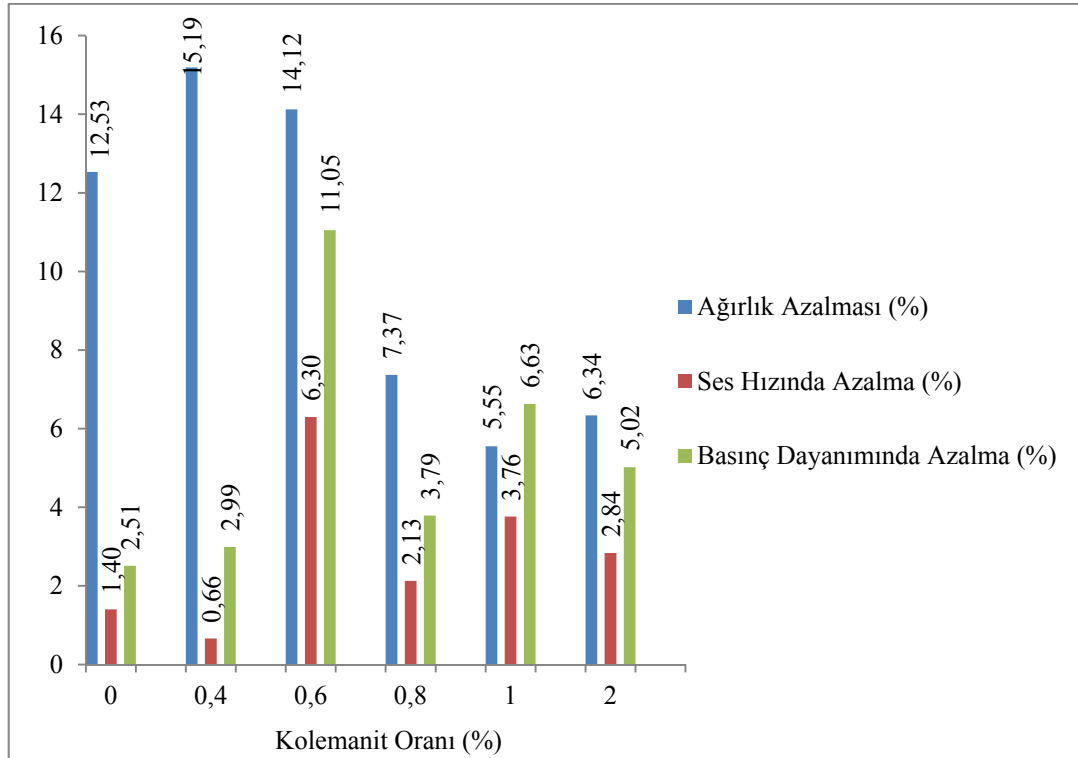
Benzer durum Baradan ve Aydın’a (2003) göre 600°C sıcaklık altında basınç dayanımının sadece %5’ini kaybettiğini bildirdikleri durum için de geçerlidir. Bu anlamda sonuç uyumlu değildir.

Ağırlık kayıpları ile basınç dayanım kayıpları incelendiğinde, 28 günlük numunelerde 400°C sonrası anlamlı bir değişim olmamasına rağmen, 600°C ve 800°C sonrasında ağırlık azalma yüzdesinin yükselmesi ile basınç dayanım azalma yüzdesinin düştüğü görülmüştür. Bu durum, özellikle 800°C sonrasında iki parametre arasında güçlü doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir (Şekil 4.21, 4.23 ve 4.25). 56 günlük numuneler için söz konusu parametreler incelendiğinde, 28 günlük numunelerden farklı olarak, 400°C sonrası ağırlık azalma yüzdesinin yükselmesi ile basınç dayanım azalma yüzdesinin yükseldiği, 600°C sonrası daha düşük bir korelasyon katsayısı ile yükseldiği ve 800 °C sonrasında ise düştüğü görülmektedir (Şekil 4.30, 4.32 ve 4.34).

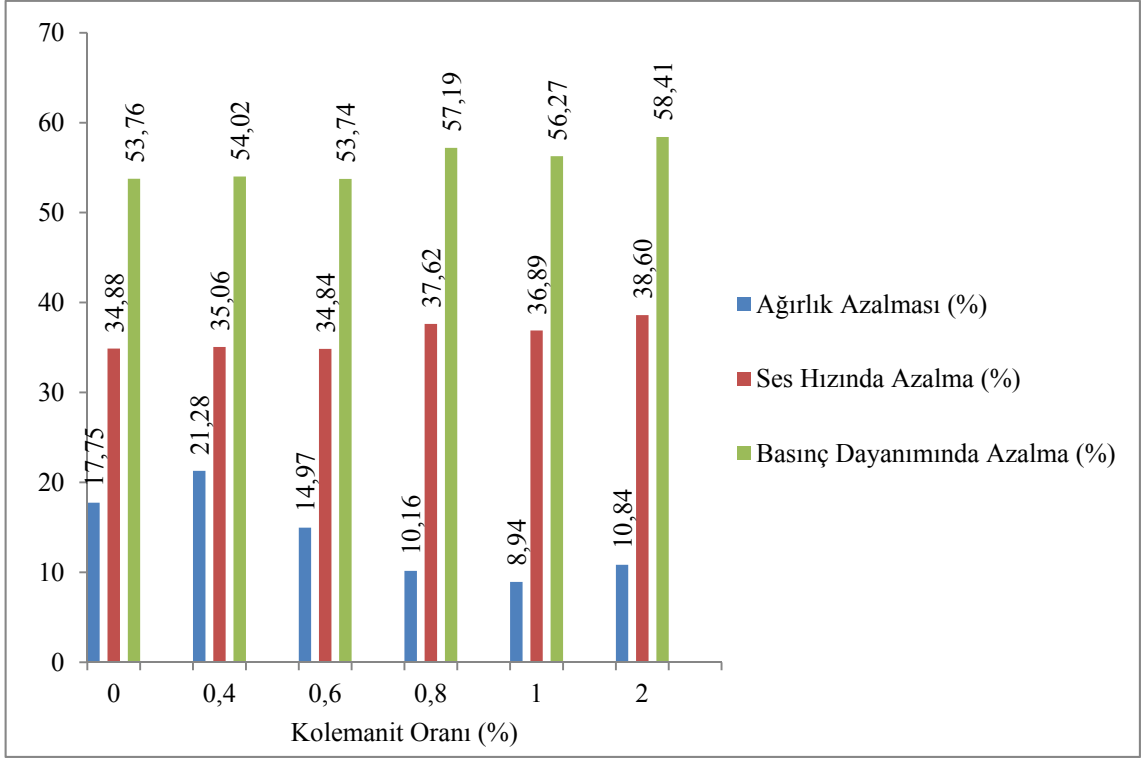
Ses hızındaki azalma yüzdesi ile ağırlık kayıpları incelendiğinde, yukarıdaki sonuçlara benzer şekilde, 28 günlük numunelerde 400°C sonrası anlamlı bir değişim gözlenmemiş, 600°C ve 800°C sonrasında ses hızı azalma yüzdesinin yükselmesi ile ağırlık azalma yüzdesinin düştüğü belirlenmiştir. 800°C sonrasında iki parametre arasında nispeten güçlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 4.22, 4.24 ve 4.26). 56 günlük numunelerde, 28 günlük numunelerden farklı olarak, 400°C sonrası ses hızı azalma yüzdesinin yükselmesi ile ağırlık azalma yüzdesinin yükseldiği, 600°C sonrası daha düşük bir korelasyon katsayısı ile yükseldiği ve 800°C sonrasında ise düştüğü görülmektedir (Şekil 4.31, 4.33 ve 4.35).

Tablo 4.9. 28 günlük numunelerde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)

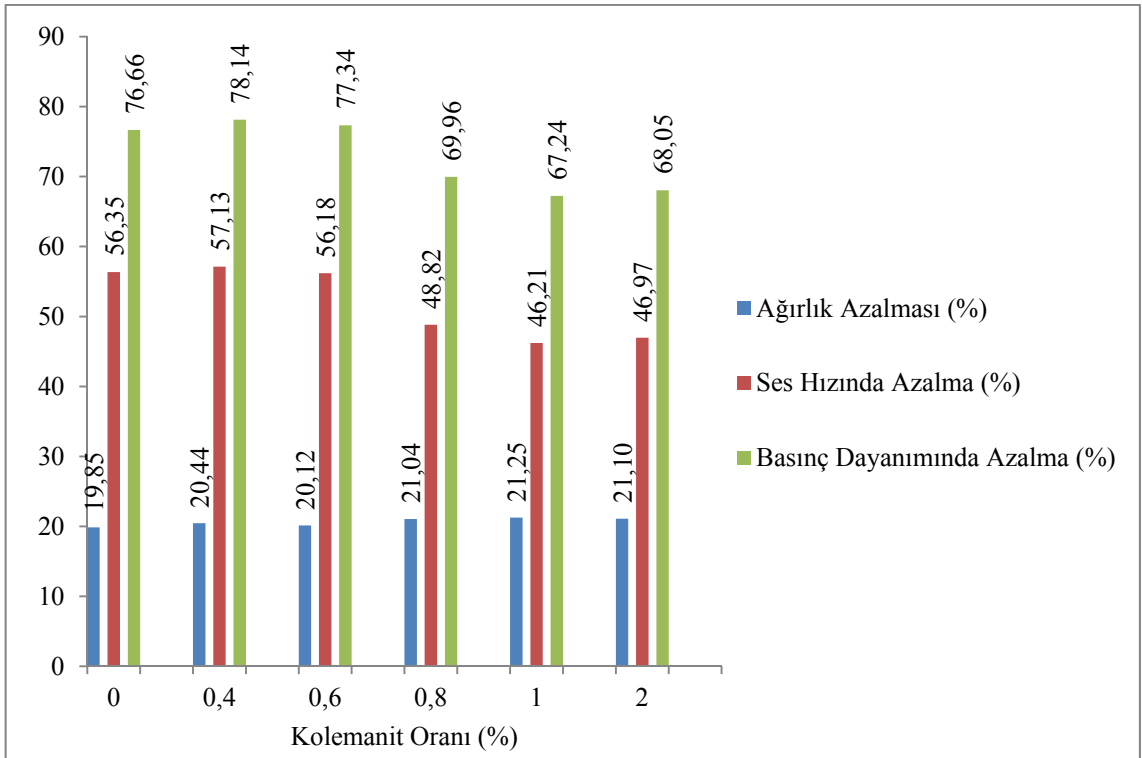
Sıcaklık (°C)	Kolemanit Katkısı (%)	Ağırlık Farkı (g)	Ses Hızı Farkı (km/sn)	Ağırlık Farkı (%)	Ses Hızı Farkı (%)	Sıcaklık Öncesi Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanım Farkı (N/mm ²)	Basınç Dayanım Farkı (%)
400	Kontrol	147.35	0.044	12.53	1.403	20.52	20.00	0.52	2.51
	0.4	188.90	0.051	15.19	0.663	19.78	19.19	0.60	2.99
	0.6	173.05	0.201	14.12	6.298	21.11	18.78	2.33	11.05
	0.8	84.05	0.067	7.37	2.129	20.053	19.28	0.77	3.79
	1	63.65	0.120	5.55	3.764	20.74	19.35	1.39	6.63
	2	72.35	0.088	6.34	2.836	20.28	19.27	1.01	5.02
600	Kontrol	212.65	1.090	17.75	34.882	20.22	9.35	10.87	53.76
	0.4	267.25	1.094	21.28	35.055	20.16	9.27	10.89	54.02
	0.6	177.70	1.10	14.97	34.84	20.68	9.56	11.12	53.74
	0.8	116.40	1.19	10.16	37.62	20.81	8.92	11.89	57.19
	1	106.10	1.17	8.94	36.89	20.68	9.04	11.64	56.27
	2	131.00	1.27	10.84	38.60	22.31	9.29	13.02	58.41
800	Kontrol	244.20	1.769	19.85	56.353	20.33	4.73	15.60	76.66
	0.4	252.35	1.811	20.44	57.130	20.74	4.53	16.21	78.14
	0.6	243.65	1.815	20.12	56.183	21.48	4.88	16.60	77.34
	0.8	261.15	1.497	21.04	48.821	19.56	5.89	13.67	69.96
	1	265.50	1.441	21.25	46.208	20.16	6.61	13.55	67.24
	2	261.10	1.450	21.10	46.967	19.77	6.31	13.46	68.05



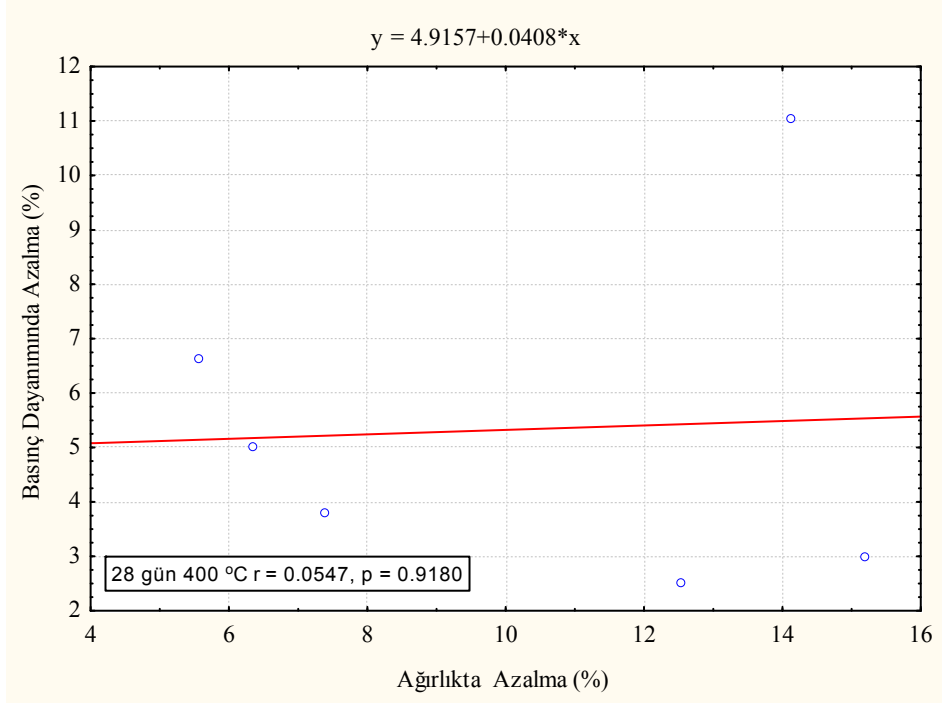
Şekil 4.18. 28 günlük numunelerin 400°C sonrası değişimi (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



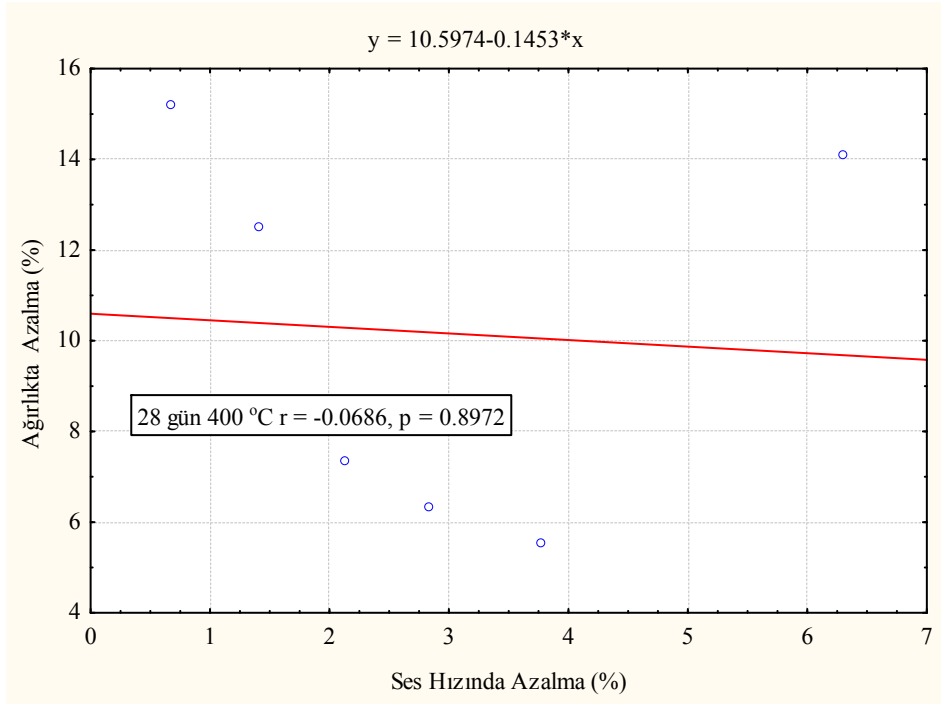
Şekil 4.19. 28 günlük numunelerin 600°C sonrası değişimi
(Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



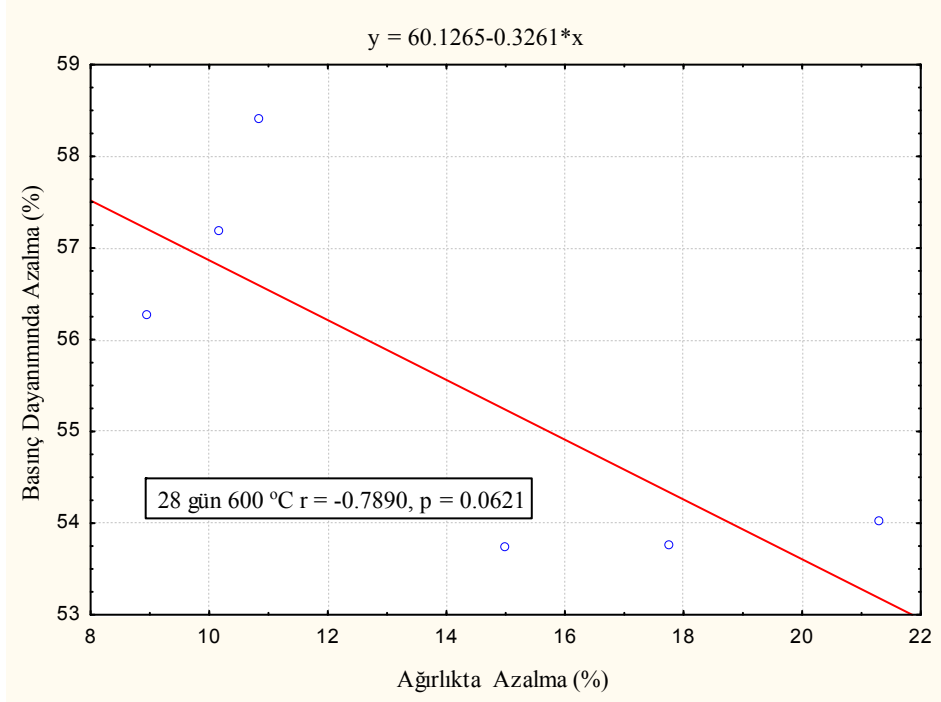
Şekil 4.20. 28 günlük numunelerin 800°C sonrası değişimi
(Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



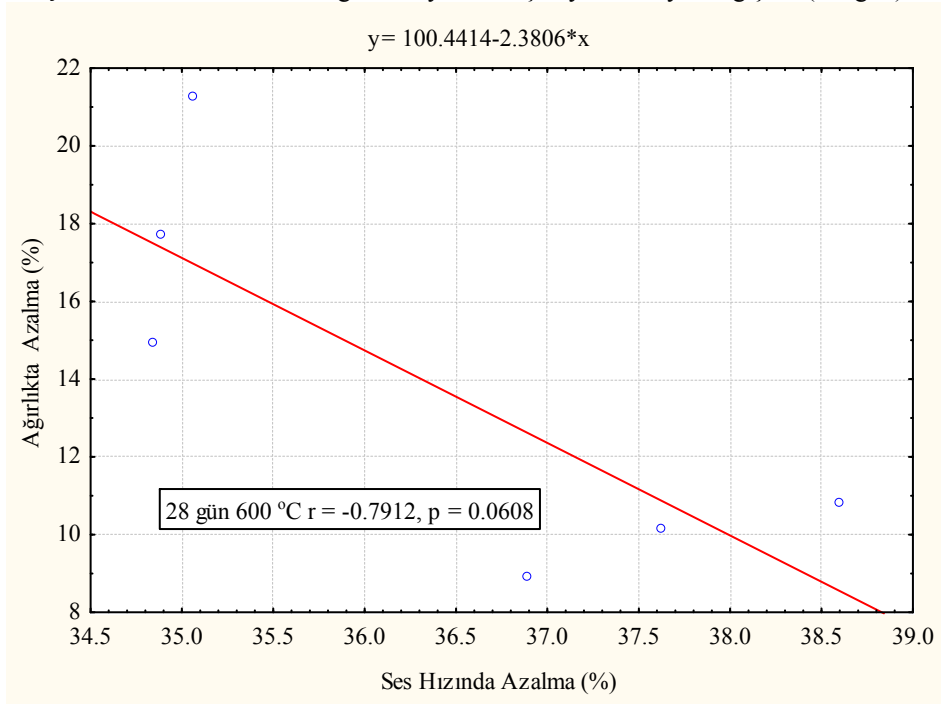
Şekil 4.21. 400°C sonrası ağırlık kaybı-basınç dayanım kaybı değişimi (28. gün)



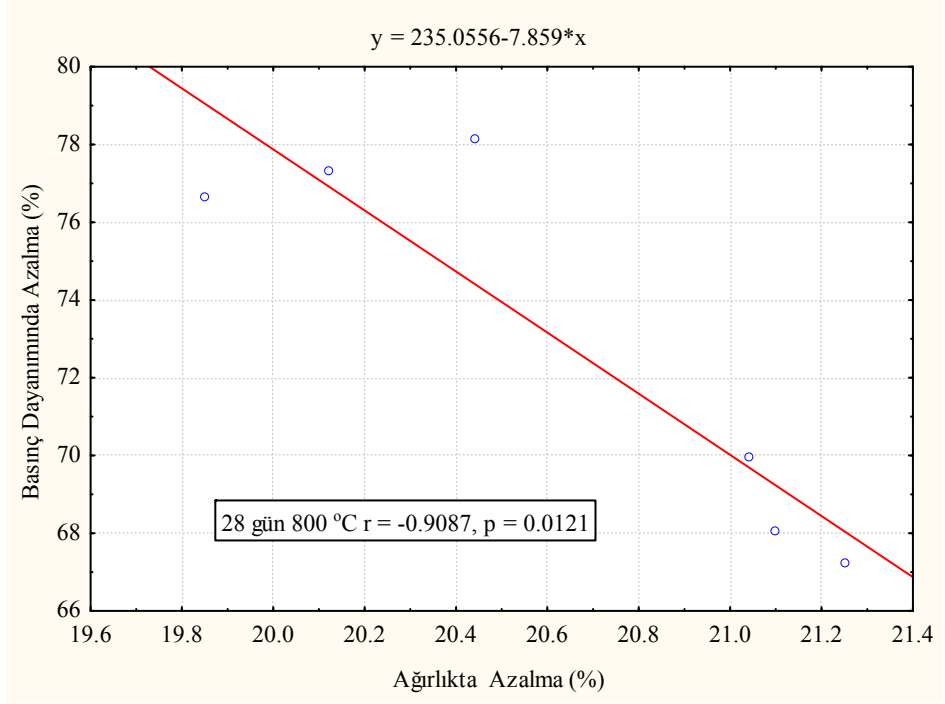
Şekil 4.22. 400°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (28. gün)



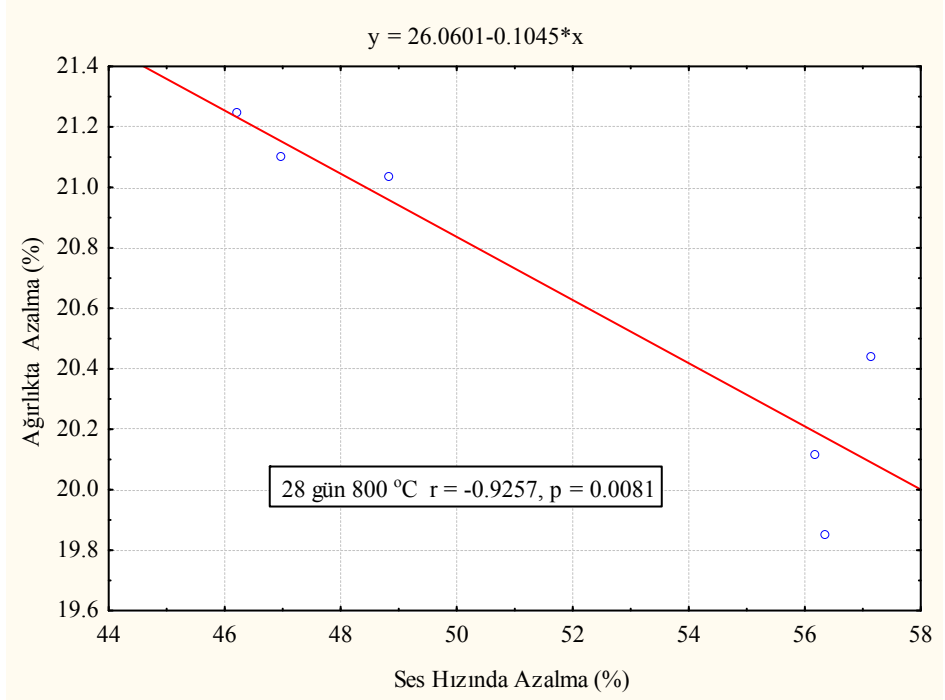
Şekil 4.23. 600°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (28. gün)



Şekil 4.24. 600°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (28. gün)



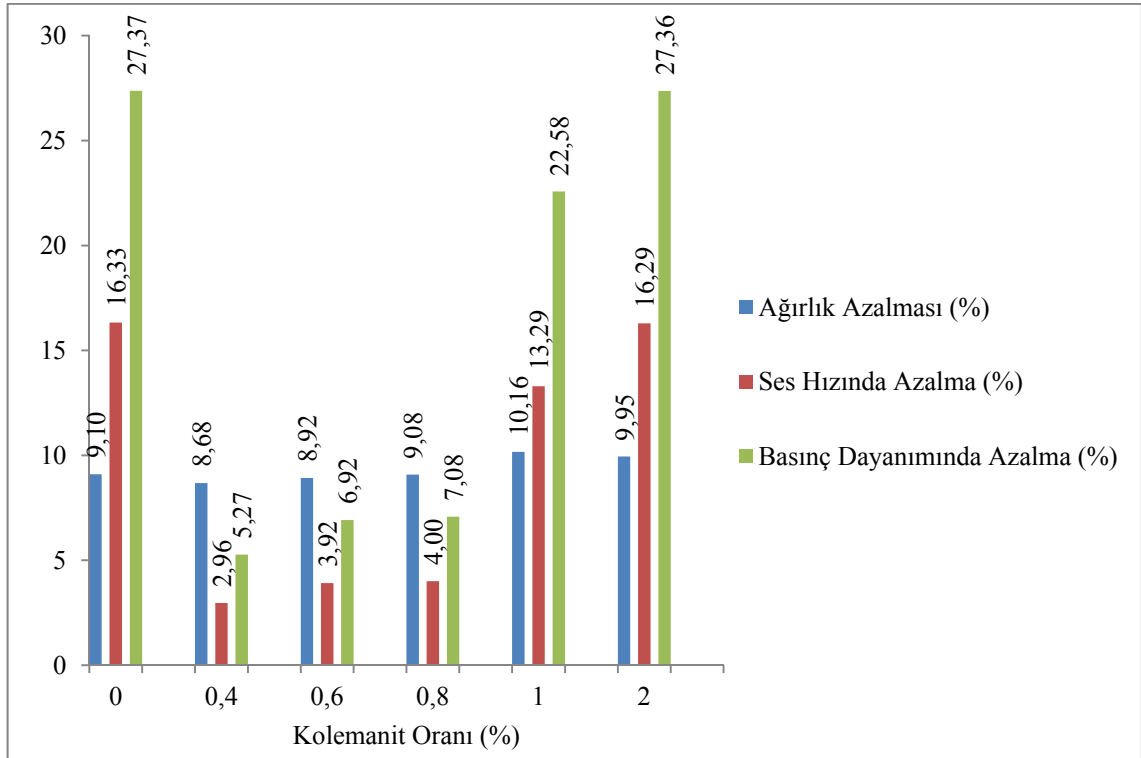
Şekil 4.25. 800°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (28. gün)



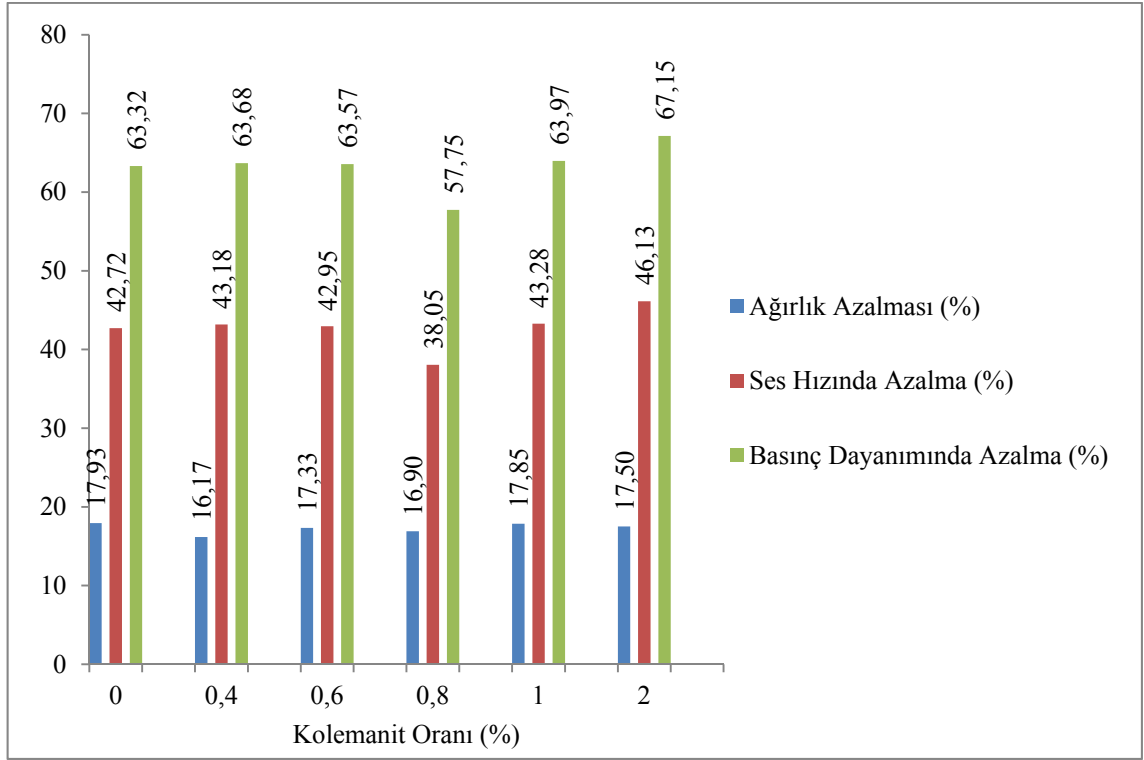
Şekil 4.26. 800°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (28. gün)

Tablo 4.10. 56 günlük numunelerde yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)

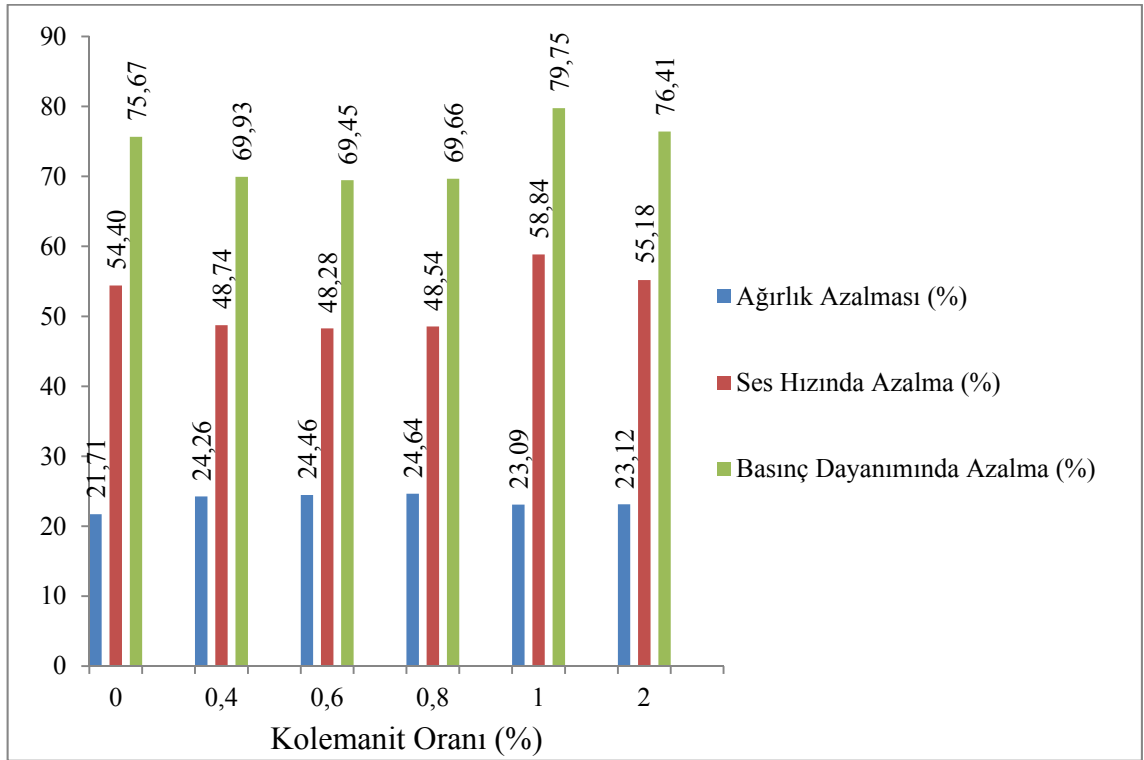
Sıcaklık (°C)	Kolemanit Katkısı (%)	Ağırlık Farkı (g)	Ses Hızı Farkı (km/sn)	Ağırlık Farkı (%)	Ses Hızı Farkı (%)	Sıcaklık Öncesi Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanım Farkı (N/mm ²)	Basınç Dayanım Farkı (%)
400	Kontrol	104.30	0.498	9.10	16.330	19.21	13.908	5.30	27.37
	0.4	102.40	0.091	8.68	2.964	19.39	18.369	1.02	5.27
	0.6	102.60	0.119	8.92	3.915	19.08	17.750	1.33	6.92
	0.8	105.30	0.124	9.08	4.003	19.99	18.579	1.41	7.08
	1	120.20	0.420	10.16	13.294	20.46	15.811	4.65	22.58
	2	116.65	0.513	9.95	16.292	20.50	14.892	5.61	27.36
600	Kontrol	220.00	1.341	17.93	42.716	20.39	7.479	12.91	63.32
	0.4	206.50	1.356	16.17	43.176	20.39	7.402	12.99	63.69
	0.6	217.85	1.377	17.33	42.947	21.17	7.704	13.46	63.57
	0.8	211.70	1.226	16.90	38.054	21.35	9.013	12.33	57.75
	1	227.00	1.424	17.85	43.284	22.17	7.989	14.18	63.97
	2	222.65	1.518	17.50	46.129	22.17	7.283	14.89	67.15
800	Kontrol	268.25	1.617	21.71	54.402	18.47	4.493	13.97	75.67
	0.4	309.80	1.494	24.26	48.737	19.55	5.884	13.67	69.93
	0.6	313.40	1.472	24.46	48.279	19.34	5.908	13.43	69.45
	0.8	315.15	1.497	24.64	48.537	19.72	5.973	13.74	69.66
	1	292.70	1.880	23.09	58.838	21.04	4.258	16.78	79.75
	2	290.25	1.777	23.12	55.183	21.34	5.035	16.31	76.41



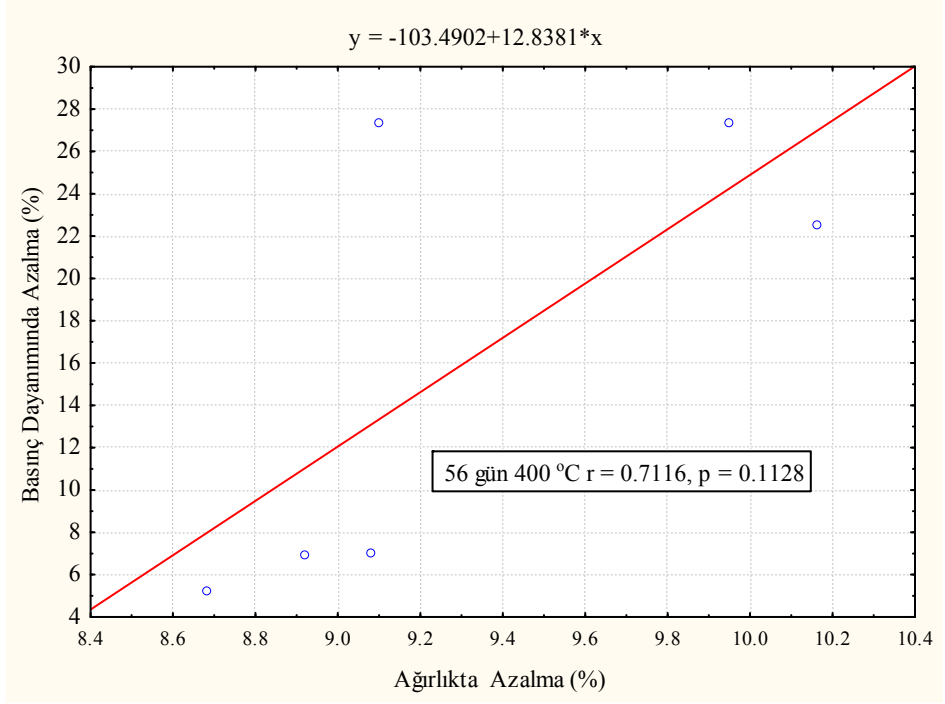
Şekil 4.27. 56 günlük numunelerin 400°C sonrası değişimi (Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



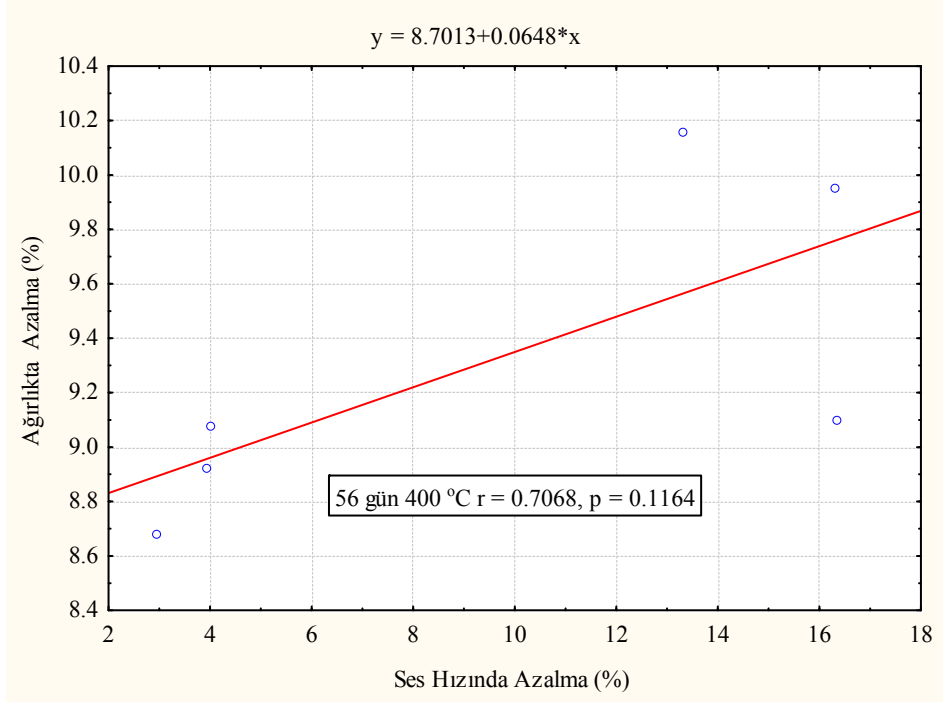
Şekil 4.28. 56 günlük numunelerin 600°C sonrası değişimi
(Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



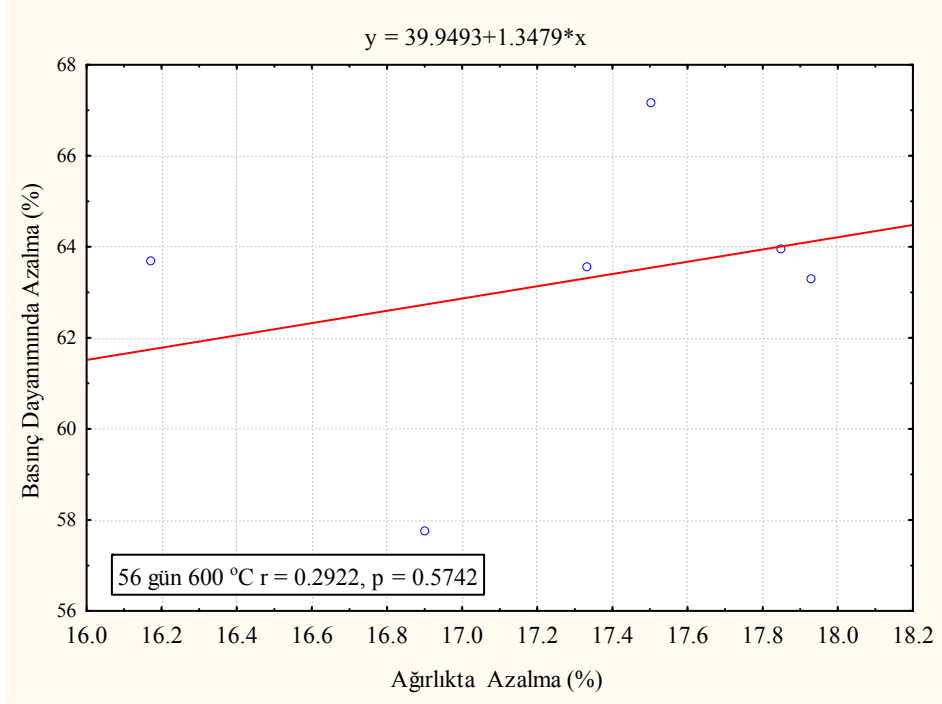
Şekil 4.29. 56 günlük numunelerin 800°C sonrası değişimi
(Yaltay ve Ekinci, 2012; Yaltay ve Ekinci, 2013)



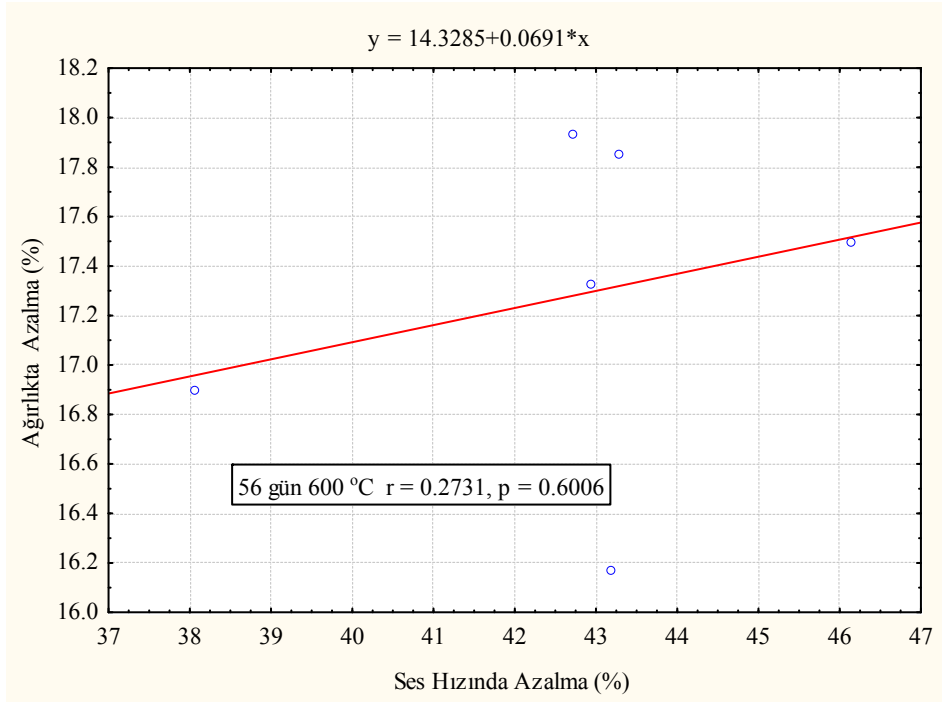
Şekil 4.30. 400°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (56. gün)



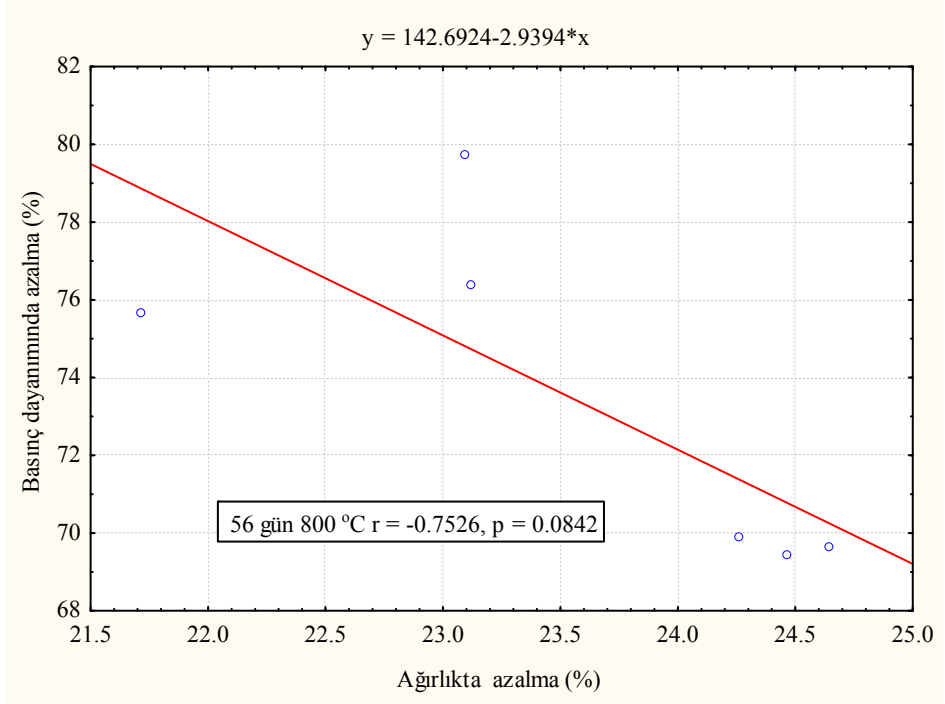
Şekil 4.31. 400°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (56. gün)



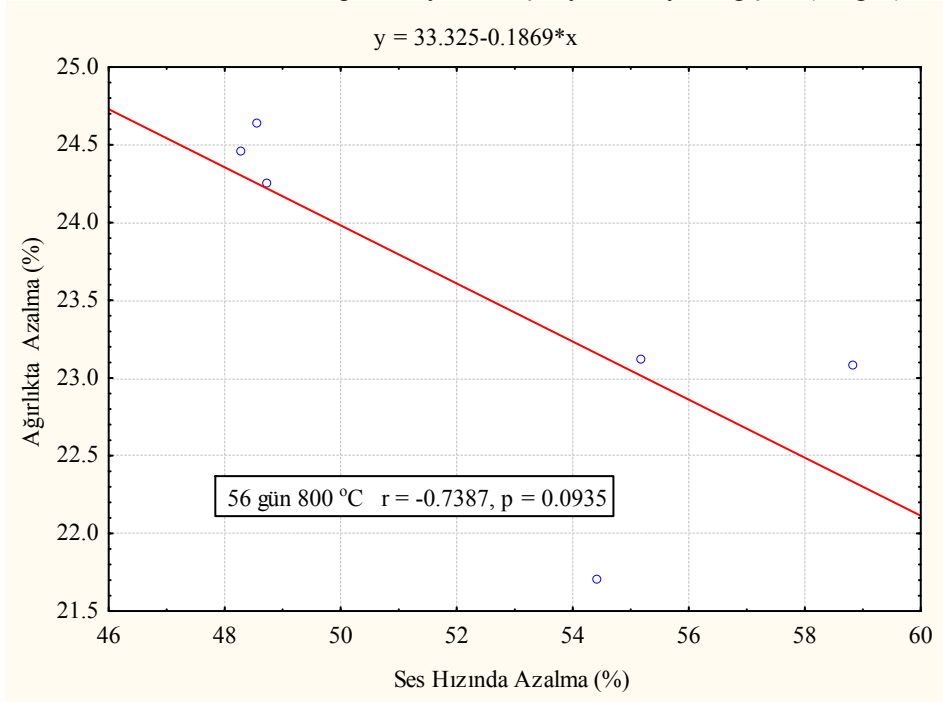
Şekil 4.32. 600°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (56. gün)



Şekil 4.33. 600°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (56. gün)



Şekil 4.34. 800°C sonrası ağırlık kaybı basınç dayanım kaybı değişimi (56. gün)



Şekil 4.35. 800°C sonrası ses hızında azalma ağırlık azalması değişimi (56. gün)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Kolemanit Katkılı Çimento İle Üretilen Pomza Agregalı Hafif Betonun Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması” konu başlıklı deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kütleme yaşı, ileri yaşlarda (360 gün) lineer ve kütle soğurma katsayılarını gerek kolemanit katkılı gerekse katkısız numunelerde bariz şekilde iyileştirmiştir. Kütleme yaşının artması ile lineer ve kütle soğurma katsayılarının yükseldiği ve kütleme yaşı ile söz konusu parametreler arasında bu anlamda güçlü bir ilişki ($r=0.9$) olduğu ortaya çıkmıştır. 360 gün kürlenmiş kontrol numunelerinde, 28 günlük numuneler ile karşılaştırıldığında, %0.4 kolemanit katkılı (C1) numunelerde, lineer soğurma katsayısı %17.89 ve kütle soğurma katsayısı %10.40 oranında yükselmiştir. Aynı karşılaştırma kontrol numuneleri için (C0) yapıldığında, bu artışlar sırasıyla %10.78 ve %3.87 oranlarında olmuştur. Bu bulguya göre kolemanit katkılı numunelerde bu artış kolemanit katkı eklenmeyen numunelere göre daha yüksek oranda çıkmıştır.
- Pomza ile üretilen hafif betonun gama radyasyon geçirgenliği kolemanit katkısıyla 28 ve 56 günlük numunelerde, lineer soğurma katsayısı %5.8-10, kütle soğurma katsayısı ise %0.23-5.76 seviyelerinde yükselmiş, aynı artış 360 günlük numunelerde, sırasıyla %8.79-17.09 ve %1.75 ve %7.53 seviyelerinde olmuş, ancak kolemanit oranı ile lineer soğurma katsayısı ve kütle soğurma katsayısı arasında doğrusal ve güçlü bir ilişki gözlenmemiştir.
- Literatürde de belirtildiği gibi, lineer soğurma katsayılarının, numunelerin yoğunluğuna göre değiştiği ve iki parametre arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucu bu çalışmada da ortaya konulmuştur.
- WinXcom programıyla 1250 keV enerji seviyesinde, çalışmada kullanılan numuneler için gama radyasyon soğurganlığı konusunda yapılan teorik hesaplamaların, deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu ve teorik sonuçların en çok 360 günlük numunelerde elde edilen deneysel sonuçlara yaklaştığı görülmüştür.
- İleri kür yaşı (360 gün), kapiler su emme ve porozite değerlerini sırasıyla, %23.13-43.76 ve %9.6-23.8 seviyelerinde düşürmüş, kolemanit oranı ile kapiler su emme ve porozite arasında doğrusal bir ilişkiye rastlanmamıştır. Fakat, 360 günlük C0

numunelerinde porozitenin %9.6 oranında düşmesine karşılık, bu oran C4 (%1 kolemanit katkılı) numunelerinde, %23.8 seviyesinde olmuştur. Bu da kolemanit katkısının, ileri kür yaşında poroziteyi daha yüksek seviyelerde düşürdüğünü göstermektedir.

- Basınç dayanımında kolemanit katkısı özellikle ileri kür yaşlarında iyileşmeler göstermiş, ultrases geçiş değerleri ile karşılaştırıldığında sonuçlar birbirine uyumlu çıkmıştır. Bu anlamda beton basınç dayanımı 28 ve 56 günlük numunelerde %0.6-15 arasında yükselmiş ve bu artış 360 günlük numunelerde %13-30 aralığında olmuştur. 28 günlük numuneler ile karşılaştırıldığında %3.05-33.4 oranlarında bir artışla 360 günlük kür yaşı basınç dayanımını pozitif yönde etkilemiştir.
- Yüksek sıcaklık deney sonuçlarına göre
 - o 28 ve 56 günlük kolemanit katkılı numunelerde 400°C sıcaklık sonrası değişken bir ağırlık ve basınç kaybı gözlemlenirken (28 günlük numunelerde basınç kaybı %2.51-11.05 ve 56 günlük numunelerde %5.27-27.37 aralıklarında), 600°C ve 800°C'lik sıcaklıklarda birbirine yakın (28 günlük numunelerde basınç kayıpları sırasıyla %53.76-58.41, %67.24-78.14 ve 56 günlük numunelerde %57.75-67.15, 69.45-79.75) çıkmıştır.
 - o 28 günlük numuneler için, 400°C sıcaklık sonrası ses hızında azalma ve ağırlık kaybı arasında anlamlı bir ilişki gözlemlenmemiş ancak 600°C ve 800°C'lik sıcaklıklarda ses hızında azalma artarken ağırlık kaybı düşmüş ve 800°C sıcaklıkta söz konusu iki parametre arasında nispeten güçlü doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. Benzer şekilde Ağırlık kaybı ve basınç dayanım kaybı arasında, 400°C sıcaklık için anlamlı bir ilişki yokken, 600°C ve 800°C'lik sıcaklıklarda ağırlık kaybı artarken basınç dayanım kaybı düşmüş ve 800°C sıcaklıkta iki parametre arasında nispeten güçlü ve doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir.
 - o 56 günlük numunelerde farklı olarak, 400°C sıcaklık sonrası ses hızında azalma artarken ağırlık kaybı da artmış ve iki parametre arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiş, 600°C sıcaklıkta, ses hızında azalma artarken ağırlık kaybı nispeten daha az artmış ve 800°C sıcaklıkta ise ses hızında azalma artarken, basınç kaybı düşmüştür. Aynı durum ağırlık kaybı ve basınç dayanım kaybı parametreleri için de geçerlidir.

Sonuç değerlendirme tablosundan da anlaşılaçağı üzere (Tablo 5.1) kolemanit katkısı betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını zayıf (pasif) yönde etkilediğı gözlemlenmiştir. Betonların kapiler su emme konusunda ise dikkate değeri olumsuz bir gelişme tesbit edilmemiştir. Fakat, betonların basınç dayanımı ve porozite yapısında dikkate değeri olumlu yapı meydana gelmiştir. Bu sonuca göre, %0.4-2 aralığında kolemanit katkısının betonların mekanik özelliklerine olumsuz etki yapmadığı söylenebilir.

Diğeri taraftan özellikle radyasyon soğurma konusunda önemli katkısının olduğı, kütle soğurma ve lineer soğurma katsayılarını artırdığı ve WinXcom ile yapılan teorik hesaplamalarla sonuçların güvenilir olduğı anlaşılmıştır.

Aynı şekilde kür yaşının incelenen parametrelere etkisi genel olarak değerlendirildiğinde (Tablo 5.2) yüksek sıcaklık altında davranış dışındaki bütün parametrelere, özellikle radyasyon zırlama özelliklerine, kür yaşının ciddi etkileri olmuştur.

Tablo 5.1. Kolemanit katkısının hafif betonların özelliklerine etkisinin genel değerlendirmesi

İncelenen Temel Özellikler	Değerlendirme			
	*	**	***	****
Yüksek sıcaklık altında davranışı	✓			
Kapiler su emme davranışı		✓		
Basınç dayanımı (Tahribatlı)			✓	
Basınç dayanımı (Tahribatsız)			✓	
Porozite yapısı (özellikle 360 gün kür yaşında)			✓	
Kolemanitin lineer ve kütle soğurma				✓
Notasyon:	*Zayıf (Pasif), **Orta, ***İyi, **** Çok İyi			

Tablo 5.2. Kür yaşının kolemanit katkılı hafif betonların özelliklerine etkisinin genel değerlendirmesi

İncelenen Temel Özellikler	Değerlendirme			
	*	**	***	****
Yüksek sıcaklık altında davranışı	✓			
Kapiler su emme davranışı			✓	
Basınç dayanımı (Tahribatlı)			✓	
Basınç dayanımı (Tahribatsız)			✓	
Porozite yapısı			✓	
Lineer ve kütle soğurma katsayıları				✓
Notasyon:	*Zayıf (Pasif), **Orta, ***İyi, **** Çok İyi			

Yapılan çalışma sonucunda;

- Pomza ile üretilen hafif betonun kolemanit katkısıyla lineer soğurma katsayısının arttığı, fakat bu artışın doğrusal olmadığı belirlenmiştir. Böylece hafif betonun da

kolemanit ya da benzer katkılar kullanılarak radyasyon zırhlama özelliğinin artırılabilceğı sonucuna varıldığı gibi, kolemanitin radyasyon zırhlama konusunda hafif betonda bile pozitif etkileri olduğı görülmüştür.

- Kolemanit katkısının toz şeklinde kullanılmasının sınırlı olduğı ve %6 oranından yüksek değerlerde çimentonun bağlayıcı özelliğini olumsuz etkilediğı ve bunun engellenmesi için toz yerine iri taneli kolemanit kullanılmasının ve çimentoyla yer değıştirmek yerine hafif agregayla yer değıştirmenin denenmesi ileriki çalışmalar için önerilebilir.
- Kolemanit katkısıyla hazırlanan betonlarda kür yaşı, radyasyon geçirgenliğı ile doğrusal bir ilişkiye sahiptir. Özellikle uzun kür yaşlarında kolemanit katkısının lineer ve kütle soğurma katsayılarını yükselttiğı ve bu artışın oldukça bariz olduğı görülmüştür. Kolemanit katkılı olmayan numunelerde de kür yaşının pozitif etkileri söz konusudur. Sonraki çalışmalarda normal ve ağır beton numunelerinde kür yaşının radyasyon zırhlama etkilerinin araştırılması önerilir.
- Kolemanit katkılı hafif betonların 28 ve 56 günlük basınç dayanım değerlerinde 0.6-15 arasında yükselmiş ve bu artış 360 günlük numunelerde %13-30 oranlarında olmuştur. Ancak, 28 günlük numunelerle karşılaştırılınca, ileri kür yaşı (360 gün) beton basınç dayanımında bariz iyileşmeler yapmış ve kolemanit katkılı numunelerde bu artış daha yüksek olmuştur.
- Hafif betonlarda, özellikle 56 günlük numunelerde %0.4, %0.6 ve %0.8 oranlarında kolemanit katkısının yüksek sıcaklık dayanımına etkisinin 400°C ve 800°C gibi sıcaklıkta olumlu etkileri olmuştur. Bunun dışında, yüksek sıcaklıkla ilgili deneysel çalışmalar yapılabilir.
- İleriki çalışmalarda hafif betonun bor atıkları ile radyasyon geçirgenliliğı ve mekanik özellikleri araştırılabilir. Bu sayede çevre kirliliğinin önlenmesi sağlanabileceğı gibi atık malzemelerin değerlendirilmiş olacaktır. Bor yerine kullanılabilecek atık maddeler ekonomik anlamda da fayda sağlayacağından, araştırmaları yaygınlaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abeles, P.W. ve Bardhan-Roy, B.K.**, 1981. Prestressed Concrete Designer's Handbook, 3rd Edition, A Viewpoint Publication, *Cement and Concrete Association*, Wexham Springs, pp:556.
- Akkurt, I., Basyigit, C., Kilincarslan, S. ve Mavi, B.**, 2005. The shielding of c-rays by concretes produced with barite. *Progress in Nuclear Energy*, 46 (1), 1–11.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S. ve Basyigit, C.**, 2010a. Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, 52 (2010) 620-623.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi B., Kilincarslan, S. ve Basyigit, C.**, 2010b. Photon attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, 37 (2010) 910–914.
- Akkurt, I., Akyıldırım, H., Mavi, B., Kilincarslan, S. ve Basyigit, C.**, 2010c. Radiation shielding of concrete containing zeolite. *Radiat. Meas.* 45, 827-830.
- Akkurt, I. ve Akyıldırım, H.**, 2012. Radiation transmission of concrete including pumice for 662, 1173 and 1332 keV gamma rays. *Nucl. Eng. Des.* 252, 163-166.
- Anand, N. ve Prince Arulraj, G.**, 2011. The effect of elevated temperature on concrete materials - A literature review. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Volume: 1, No: 4.
- Andiç-Çakır, Ö. ve Hızal, S.**, 2012. Influence of elevated temperatures on the mechanical properties and microstructure of self consolidating lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 34 (2012) 575–583.
- Arıöz, Ö.**, 2007. Effects of elevated temperatures on properties of concrete. *Fire Safety Journal* 42 (2007) 516–522.
- ASTM**, 2002. ASTM C597-83: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Philadelphia.
- Awadallah, M.I. ve Imran, M.M.A.**, 2007. Experimental investigation of γ - ray attenuation in Jordanian building materials using HPGe – spectrometer. *J. of Enviro. Rad.*, 94: 129-136.
- Aydın, S. ve Baradan, B.**, 2003. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Harç Gelistirilmesi. *TMMOB 5, Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, ss:452–460.
- Aydın, S. ve Baradan, B.**, 2007. Effect of pumice and fly ash incorporation on high temperature resistance of cement based mortars, *Cement Concrete Res.* 37 (6) (2007) 988–995.
- Aydın S.**, 2008. Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice. *Fire Safety Journal* 43 (2008) 610–617.
- 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, ss:75.
- Aydın, U.**, 2009. Kolemanit Atığının Beton Dayanımına Olan Etkisinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayhan, M., Gönül, H., Gönül, İ.A. ve Karakus, A.**, 2011. Effect of basic pumice on morphologic properties of interfacial transition zone in load-bearing lightweight/semi-lightweight concretes. *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 2507–2518.

- Başıyigit, C., Akkaş, A., Serin, E. ve Karthi, M.İ.**, 2011. Farklı kür şartlarının pomza agregalı hafif beton özelliklerine etkisinin araştırılması, *e-Journal of New World Sciences Academy*, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0260
- Berger, M.J. ve Hubbell, J.H.**, 1987/99. XCOM: Photon Cross Sections Database. Web Version 1.2, available at <http://physics.nist.gov/xcom>, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA, August 1999. Originally published as NBSIR 87-3597, XCOM: Photon Cross Sections on a Personal Computer (July 1987).
- Benk, A. ve Çoban, A.**, 2012. Possibility of producing lightweight, heat insulating bricks from pumice and H₃PO₄- or NH₄NO₃-hardened molasses binder. *Ceramics International*, 38 (2012) 2283–2293.
- Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P. ve Polder, R.P.**, 2004. Corrosion of Steel in Concrete. Willey-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim.
- Beycioğlu, A.**, 2008. Endüstriyel Atıkların Hafif Beton Özelliklerine Etkilerinin Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:108.
- Bideci, Ö.S., Bideci, A., Gültekin, A., H., Oymael, S. ve Yıldırım, H.**, 2014. Polymer coated pumice aggregates and their properties. *Composites: Part B* (2013), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.009>.
- Bideci, Ö.**, 2013, Bor Kaplı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması, *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Binici, H., Aksogan, O., Sevinç, A.H. ve Kucukonder, A.**, 2014. Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with colemanite, barite, ground basaltic pumice and ground blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, 50 (2014) 177–183.
- Binici, H., Aksogan, O., Görür, E.B., Kaplan, H. ve Bodur, M.N.**, 2008. Performance of ground blast furnace slag and ground basaltic pumice concrete against seawater attack. *Construction and Building Materials* 22 (2008) 1515–1526.
- Binici, H., Sevinç, A., H. ve Durgun, Y.M.**, 2010. Barit, Bazaltik Pomza, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Özellikleri *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1).
- Binici, H., Zengin, H., Zengin, G. ve Yasarer, F.**, 2008. The use of pumice as a coating for the reinforcement of steel against corrosion and concrete abrasions, *Corrosion science*, 50, (2008), pp:2140–2148.
- Bogas, J.A., Brito, J. ve Cabaço, J.**, 2014. Long-term behaviour of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete. *Construction and Building Materials* 65 (2014) 470–479.
- Boncukçuoğlu, R., İçelli, O., Erzenoğlu, S. ve Kocakerim, M.M.**, 2005. Comparison of radioactive transmission and mechanical properties of portland cement and a modified cement with trommel sieve waste. *Cement and Concrete Research*, 35 (2005) 1082–1087.
- Bora, H.**, 2001. Radyasyon Güvenliği. Ankara Üniversitesi SHMYO Yıllığı Cilt 2 Sayı 1
- Campione, G. ve Mendola, L.L.**, 2004. Behavior in compression of lightweight fiber reinforced concrete confined with transverse steel reinforcement. *Cement & Concrete Composites*, 26 (2004) 645–656.

- Castro, J., Bentz, D. ve Weiss, J., 2011a.** Effect of sample conditioning on the water absorption of concrete. *Cement & Concrete Composites*, 33 (2011) 805–813.
- Castro, J., Keiser, L., Golias, M. ve Weiss, J., 2011b.** Absorption and desorption properties of fine lightweight aggregate for application to internally cured concrete mixtures. *Cement & Concrete Composites* 33 (2011) 1001–1008.
- Cavaleri, L., Miraglia, N. ve Papia, M., 2003.** Pumice concrete for structural wall panels. *Engineering Structures* 25 (2003) 115–125.
- Ceylan, H., 2005.** Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:201
- Claisse, P.A., Elsayad, H.I. ve Shaaban, I.G., 1997.** Absorption and sorptivity of cover concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, volume 9 (3): 105-110.
- Correia, J.R., Lima, J.S. ve Brito, J., 2014.** Post-fire mechanical performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement & Concrete Composites*, 53 (2014) 187–199.
- Cortas, R., Rozière, E., Staquet, S., Hamami, A., Loukili, A. ve Delplancke-Ogletree, M.-P., 2014.** Effect of the water saturation of aggregates on the shrinkage induced cracking risk of concrete at early age. *Cement & Concrete Composites*, 50 (2014) 1–9.
- Çağlayan, M. ve Kahriman, A., 2003.** Alternatif Beton Agregası Olarak "Pomza" ve Kent Mobilyalarında Kullanılabilirliği, *III.Ulusal Kırmataş Sempozyumu*
- Çalık, A., Akkurt, İ. ve Akyıldırım, H., 2009.** Borun radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılmasının Araştırılması *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu* (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Davraz, M., 2009.** Isparta Keçiborlu Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel Ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:214.
- Demir, D. ve Keleş, G., 2006.** Radiation transmission of concrete including boron waste for 59.54 and 80.99 keV gamma rays. *Nucl. Instrum. Method. B* 245, 423–428.
- Demir, F., Budak, G., Sahin, R., Karabulut, A., Oltulu, M., Serifoğlu, K. ve Un, A., 2010.** Radiation transmission of heavyweight and normal-weight concretes containing colemanite for 6 MV and 18 MV X-rays using linear accelerator. *Annals of Nuclear Energy*, 37, 339–344.
- Demir, F., 2010.** Determination of mass attenuation coefficients of some boron ores at 59.54 keV by using scintillation detector. *Applied Radiation and Isotopes* 68, 175–179.
- Demirboğa, R., 2001.** Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza İle Üretilen Hafif Betonun Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:147.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2001.** Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2617, ÖİK:628, ss:73.
- Dikici, T., 2010.** Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:115.
- Efe, T., 2011.** Edremit Travertenleri ve Van Gölü Kuzeyinde Yüzeyleyen Pomzaların Çimento Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Ekinci, C.E.**, 2008. Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, Ankara: Data Yayınları.
- Emiroğlu, M., Köstek, N., Ballı, E. ve Altok, A.**, 2011. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların taze haldeki özelliklerine mineral katkıların etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy, NWSA: Engineering Sciences*, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0242.
- El-Sayed Abdo, A.**, 2002. Calculation of the cross-sections for fast neutrons and gamma-rays in concrete shields. *Annals of Nuclear Energy*, 29, 1977–1988.
- Erdoğan, Y., Zeybek, M.S. ve Demirbaş, A.**, 1998. Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes. *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 4, pp. 605–609, 1998
- Esen, Y. ve Yılmaz, B.**, 2010. Investigation of some physical and mechanical properties of concrete produced with barite aggregate. *Scientific Research and Essays*, Vol. 5(24), pp. 3826-3833, 18 December, 2010.
- Esen, Y. ve Yılmaz, B.**, 2011. An investigation of X-ray and radio isotope energy absorption of heavyweight concretes containing barite. *Bull. Mater. Sci.*, Vol.: 34, No: 1, February 2011, pp. 169–175.
- Eti Maden**, 2015. Öğütülmüş Kolemanit (Ürün Kataloğu), <http://www.etimaden.gov.tr/d/file/ogutulmus-kolemanit.pdf> (Erişim Tarihi: 12.02.2015).
- Eti Maden**, 2015. Bor Rezervleri. <http://www.etimaden.gov.tr/bor-rezervleri-72s.htm> (Erişim Tarihi: 20.03.2015)
- Felekoğlu, B.**, 2012. A method for improving the early strength of pumice concrete blocks by using alkyl alkoxy silane. *Construction and Building Materials*, 28 (2012) 305–310.
- Gençel, O.**, 2009. Hamile Ratlarda Oksidatif Strese Neden Olan Radyasyona Karşı Kolemanitli Betonun Koruyucu Etkisinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Gerward, L., Guilbert, N., Bjørn, J.K. ve Leving, H.**, 2001. X-ray absorption in matter reengineering XCOM. *Radiat. Phys. Chem.* 60, 23-24
- Gerward, L., Guilbert, N., Bjørn Jensen, K. ve Leving, H.**, 2004. A program for calculating X-ray attenuation coefficients. *Radiat. Phys. Chem.* 71, 653e654.
- Gönen, T.** 2009. Kendiliğinden yerleşen pomza ve perlit agregalı hafif harçların mekanik özellikleri. *e-Journal of New World Sciences Academy, NWSA: Engineering Sciences*, Volume: 4, Number: 2, Article Number: 1A0019.
- Grdic, Z.J., Curcic, G.A.T, Ristic, N.S. ve Despotovic, I.M.**, 2012. Abrasion resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 27 (2012) 305–312.
- Gül, R. ve Bingöl, F.**, 2002. “Betonun Yangın Dayanımına Genel Bir Bakış” DSİ Teknik Bülteni, No 99, 3-18.
- Gündüz L.**, 2001. Isı Yalıtım Agregası Olarak Pomzanın Kullanımı. *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu* 118-19 Ekim 2001, izmir, Türkiye
- Gündüz L., Saruşık A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur İ. ve Çankıran, O.**, 1998. Pomza Teknolojisi (İnşaat Sektöründe Pomza), Cilt II, Temmuz 1998-İsparta.
- Gündüz, L., Rota, A. ve Hüseyin, A.**, 2001. Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 118, İzmir, Türkiye

- Gündüz, L. ve Uğur, İ.**, 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. *Cement and Concrete Research*, 35 (2005) 1859–1864.
- Gündüz, L.**, 2008a. The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties. *Construction and Building Materials*, 22 (2008) 721–728.
- Gündüz, L.**, 2008b. Use of quartet blends containing fly ash, scoria, perlite pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry blocks for non-load bearing walls. *Construction and Building Materials*, 22 (2008) 747–754.
- Hossain, K.M.A., Ahmed, S. ve Lachemi, M.**, 2011. Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate mechanical and durability characteristics. *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 1186–1195.
- İçelli, O., Erzenoğlu, S. ve Boncukçuoğlu, R.**, 2003. Measurement of mass attenuation coefficients of some boron compounds and the trommel sieve waste in the energy range 15.746–40.930 keV. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 78 (2003) 203–210.
- Kabay, N. ve Aköz, F.**, 2012. Effect of prewetting methods on some fresh and hardened properties of concrete with pumice aggregate. *Cement & Concrete Composites*, 34 (2012) 503–507.
- Kaçar, A.**, 2006. Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:59.
- Kadiroğlu, İ.**, 2015. Kendiliğinden Yerleşen Normal Dayanımlı Hafif Beton Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş., ss:11. http://www.as-beton.com/pdf/kendiliginden_yerlesen_hafif_beton.pdf (Erişim Tarihi: 20.03.2015)
- Kaplan, M.F.**, 1989. Concrete Radiation Shielding. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Kaplan, Ü.C.**, (2005). Erciş-Kocapınar Yöresindeki Pomza Yataklarının Jeolojisi, Mühendislik Özellikleri ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*. Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:58
- Karakoç, M.B.**, 2013. Effect of cooling regimes on compressive strength of concrete with lightweight aggregate exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 41 (2013) 21–25.
- Keskin, S.**, 2008. Tuz Gölü Civarından Alınan Toprak Örneklerinde Doğal Radyonüklidlerin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Khandaker, M.A.H.**, 2003. Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*, 34 (2004) 283–291.
- Khandaker, M.A.H.**, 2005 Chloride induced corrosion of reinforcement in volcanic ash. *Cement & Concrete Composites*, 27 (2005) 381–390.
- Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C. ve Akkurt, İ.**, 2007. Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2): 393-399.
- Kiong, S.L. ve Norsuzailina, M.S.**, 2013. Initial surface absorption of pozzolan and polymer modified mortar. *UNIMAS e-Journal of Civil Engineering*, Volume: 4, Issue 1/April 2013.
- Klein, N.S., Aguado, A., Carbonari, B.M.T. ve Real, L.V.**, 2014. Prediction of the water absorption by aggregates over time: Modelling through the use of value

- function and experimental validation. *Construction and Building Materials* 69 (2014) 213–220.
- Kocataşkın, F.**, 2000. Yapı Malzemesi Bilimi. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Koksal, F., Gencel O., Brostow, W. ve Hagg Lobland, H.E.**, 2012. Effect of high temperature on mechanical and physical properties of lightweight cement based refractory including expanded vermiculite. *Materials Research Innovations*, Vol: 16, No: 1.
- Kong, F.K., Evans, R.H., Cohen, E. ve Roll, F.**, 1983. Handbook of Structural Concrete, PitmanBooks Limited, London.
- Korkut, T., Ün, A., Demir, F., Karabulut, A., Budak, G., Şahin, R. ve Oltulu, M.**, 2010. Neutron dose transmission measurements for several new concrete samples including colemanite. *Annals of Nuclear Energy*, 37: 996–998.
- Krane, K.S.**, 2002. Nükleer Fizik-II. Palme Yayıncılık, No: 195, 460s. Ankara.
- Krane, K.S.**, 2011. Nükleer Fizik I. Palme Yayıncılık, Ankara.
- Kurugöl, S.**, 1997. Çelik Tel Donatı ve Polimer Katkının, Normal ve Hafif Betonların Mukavemet Özellikleri Üzerine etkileri. *Doktora Tezi*. Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kovler, K. ve Roussel, N.**, 2011. Properties of fresh and hardened concrete. *Cement and Concrete Research*, 41 (2011) 775–792.
- Kula, I., Olgun, A., Erdoğan, Y. ve Sevinç, V.**, 2001. Effect of colemanite waste, coal bottom ash and fly ash on the properties of cement. *Cement and Concrete Research*, 31 (2001) 491-494.
- Kurt, M.**, 2009. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:196.
- Libre, N.A, Shekarchi,M., Mahoutian, M. ve Soroushian, P.**, 2011. Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice. *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 2458–2464.
- Liu, X., Chia, K.S. ve Zhang M.H.**, 2010. Development of lightweight concrete with high resistance to water and chloride-ion penetration. *Cement & Concrete Composites* 32 (2010) 757–766.
- Liu, X., Chia, K.S. ve Zhang M.H.**, 2011. Water absorption, permeability, and resistance to chloride-ion penetration of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 335–343.
- Lo, T.Y., Cui, H.Z., Tang, W.C. ve Leung, W.M.**, 2008. The effect of aggregate absorption on pore area at interfacial zone of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 22 (2008) 623–628.
- Martin, J.E**, 2013. (Physics for Radiation Protection) Radyasyon ve Radyasyondan Korunma Fiziği. Palme Yayıncılık
- Medeiros, M.H.F., Castro-Borges, P., Aleixo, D.M., Quarcioni, V.A.N., Marcondes, C.G. ve Helene P.**, 2012. Reducing Water and Chloride Penetration Through Silicate Treatments for Concrete as a Mean to Control Corrosion Kinetics. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7 (2012) 9682–9696.
- Naus, D.J.**, 2010. A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures. United States Nuclear Regulatory Commission.

- Nili, M., Ehsani, A. ve Shabani, K.**, 2010. Influence of Nano-SiO₂ and Microsilica on Concrete Performance. *Second International Conference on sustainable Construction Materials and Technologies*, June28-June30, 2010 Università Politecnica Della Marche, Ancona, Italy.
- Newman, J.B.**, 1993. Properties of Structural Lightweight Aggregate Concrete (Edited by: L.L.Clarke; Structural Lightweight Aggregate Concrete). Blackie Academic & Professional, Glazdow G642NZ.
- Newman, J. ve Owens, P.**, 2003. Properties of Lightweight Concrete. *Advanced Concrete Technology*, Volume 4, 2003, Pages 3-29.
- Oto, B.**, 2012. Barit, Manyetit, Bazı Bor Mineralleri ve Atıklarını İçeren Beton Numunelerinin Gama Radyasyon Soğurganlıkları ve Nötron Tutma Kapasitelerinin Araştırılması. *Doktora Tezi*. Yüzüncüyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Oto, B., Gür, A., Kaçal, M.R., Doğan, B. ve Arasoğlu, A.**, 2013. Photon attenuation properties of some concretes containing barite and colemanite in different rates. *Annals of Nuclear Energy*, 51 (2013) 120–124.
- Önen, S.**, 1993. Radyasyon Biyofiziği. İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi Basımevi, 112 s., İstanbul.
- Rao, M.D., Yaragal, S.C., Chacko, K.S., Nivedita, G. ve Narayan, K.S.B.**, 2012. Studies on elevated temperatures and quenching effects on blended concretes international journal of applied engineering and technology ISSN: 2277-212X (Online) *An Online International Journal Available at <http://www.cibtech.org/jet.htm>* 2012 Vol. 2 (2) April-June, pp.31-38.
- Rashad, A.M.**, 2013. A preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete. *Construction and Building Materials*, 44 (2013) 487–495.
- Reinhardt, H.W. ve Jooss, M.**, 1998. Permeability, diffusion, and capillary absorption of concrete at elevated temperature in the service range. *Otto-raf-Journal* Volume: 9.
- Sağın, S. ve Demir, İ.**, 2005. Pomza İle Üretilen Hafif Beton Blokların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Antalya: *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Bildiriler Kitabı. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11154.pdf> (Erişim Tarihi: 20.03.2015)
- Sancak, E. ve Şimşek, O.**, 2006. Yüksek sıcaklığın silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkılı hafif betona etkileri. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt:21, No: 3, ss:443-450.
- Sancak, E., Sarı, D.Y. ve Şimşek, O.**, 2008. Effects of elevated temperature on compressive strength and weight loss of the light-weight concrete with silica fume and superplasticizer, *Cement & Concrete Composites*, 30, pp:715–721.
- Sari, D. ve Pasamehmetoglu, A.G.**, 2005. The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 5, May 2005, Pages 936–942
- Sepehr, M.N., Sivasankar, V., Zarrabi, M. ve Kumar, M.S.**, 2013. Surface modification of pumice enhancing its fluoride adsorption capacity: an insight into kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, 228 (2013) 192–204.

- Sevim, U.K. ve Tümen, Y.,** 2013. Strength And Fresh Properties of Borogypsum Concrete. *Construction and Building Materials*, 48 (2013) 342–347
- Şahin, R.,** 1996. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Mukavemetinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:108.
- Şahin, R., Demirboga, R., Uysal, H. ve Gul, R.,** 2003. The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete. *Cement and Concrete Research*, 33 (2003) 1245–1249.
- Tapan, M., Yalçın, Z., İçelli, O., Kara, H., Orak, S., Özvan, A. ve Depci, T.,** 2014. Effect of physical, chemical and electro-kinetic properties of pumice samples on radiation shielding properties of pumice material. *Annals of Nuclear Energy*, 65 (2014) 290–298.
- Targan, Ş., Olgun, A., Erdoğan, Y. ve Sevinç, V.,** 2002. Effects of Supplementary cementing materials on the properties of cement and concrete. *Cement and Concrete Research*, 32 (2002) 1551-1558.
- Tolun, R., Yarari, B. ve Gundiler, İ.,** 2012. Kolemanit cevherlerinin dekrepitasyon yolu ile zenginleştirilmesi, ODTÜ, Kimya Bölümü. *Madencilik Dergisi*, Cilt: 11, Sayı: 5, ss:1-6 (www.maden.org.tr/resimler/ekler/21461af90cadfda_ek.pdf, Erişim Tarihi:30 Temmuz 2012).
- Topçu, İ.B. ve Uygunoğlu, T.,** 2007. Properties of autoclaved lightweight aggregate concrete. *Building and Environment*, 42 (2007) 4108–4116.
- Topçu, İ.B. ve Uygunoğlu, T.,** 2010. Effect of aggregate type on properties of hardened self-consolidating lightweight concrete (SCLC). *Construction and Building Materials* 24 (2010) 1286–1295.
- TS 2511,** 1977. Taşıyıcı Hafif Betonların Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1097-3,** 1999. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 706 EN 12620,** 2009. Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-3,** 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-2,** 2010. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-6,** 2010. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 6: İncelik Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1,** 2002. Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Turner L.W.,** (Edited by Boyes, W.,) 2003. Radiation (Chapter 41). Instrumentation Reference Book. Elsevier.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK),** 2009. Radyasyon İnsan ve Çevre. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Yayınları, Ankara.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK),** 2010. Radyasyondan Korunma, (<http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/166-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/440-bolum-06-radyasyondan-korunma.html> (Erişim Tarihi: 05.01.2015))

- Türkmen, İ.**, 1997. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:83.
- Ustabaş, İ.**, 2012. Kolemanit ve Üleksitin Çimentoda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Rize Üniversitesi, ss:367-375
- Uyanık, O., Gülay, F.G. ve Tezcan, S.**, 2012. Beton dayanımının tahribatsız ultrasonik yöntemle tayini. *Hazır Beton*, Ocak-Şubat 2012, 85.
- Uysal, H.**, 1996. Kocapınar Pomzası İle Üretilen Hafif Betonun Isı Geçirgenliğinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:95.
- Uysal, H., Demirboga, R., Sahin, R. ve Gul, R.**, 2004. The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregateratios on the thermal conductivity and density of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34 (2004) 845–848.
- Yalçın S.**, 1996. Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Yaltay, N. ve Ekinci, C.E.**, 2012. Investigation of compression strength of lightweight concrete, subjected to elvated temperature, produced with pumice agregate and colemanite addition, by non-destructive method *International Construction Congress*, ICONC2012-SDÜ.
- Yaltay, N. ve Ekinci, C.E.**, 2013. Kolemanit katkılı ve pomza agregali hafif betonların yüksek sıcaklık altındaki basınç mukavemeti özelliğinin tahribatsız yöntemle incelenmesi. *SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, Cilt 5, Sayı: 2 pp. 30-41.
- Yaltay, N., Ekinci, C.E., Çakır, T. ve Oto, B.**, 2015. Photon attenuation properties of concrete produced with pumice aggregate and colemanite addition in different rates and the effect of curing age to these properties. *Progress in Nuclear Energy*, Volume 78, January 2015, Pages 25-35.
- Yaşar, E.C., Atis, C.D., Kilic, A. ve Gulsen, H.**, 2003. Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash. *Materials Letters*, 57 (2003) 2267–2270.
- Yaşar, E. ve Erdoğan, Y.**, 2001. Toprakkale Bazaltının Doğal Taş Endüstrisindeki Yeri. *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 18-19 Ekim 2001, İzmir, Türkiye.
- Yeğınobalı, A.**, 1997. Hafif ve yüksek dayanımlı hafif beton. *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*. Cilt:2, Sayı:8, ss:20-30.
- Yılmaz, E., Baltaş, H., Kırıs, E., Ustabaş, İ., Çevik, U. ve El-Khayatt, A.M.**, 2011. Gamma ray and neutron shielding properties of some concrete materials. *Annals of Nuc. Energy*, 38: 2204-2212.
- Yiğitbaşıoğlu, H.**, 2012. Türkiye İçin Önemli Bir Maden: Bor. Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 06100, Sıhhiye, Ankara. yigitbasioglu@yahoo.com (Erişim Tarihi: 30 Temmuz 2012).
- Yücel, A.İ.**, 2001. Niğde Yöresi Pomza Taşının Mukavemetinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:84.
- Zaetang, Y., Wongs, A., Sata, V. ve Chindaprasirt, P.**, 2013. Use of lightweight aggregates in pervious concrete. *Construction and Building Materials*, Volume 48, November 2013, Pages 585–591.

Zandi, Y., 2012. Taşıyıcı Hafif Betonla Üretilen Yekpare ve Prefabrike Yapı Elemanlarının Davranışlarının İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ss:98.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Van’da doğdu ve İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Van’da tamamladı. 1992 yılında girdiği Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 1997 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 1998 yılında Yüzüncüyıl Üniversitesi Erciş Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisansını 2006 yılında tamamladı. Belli dönemlerde Yüzüncüyıl Üniversitesi Yapı İşleri Teknik ve Daire Başkanlığında inşaat mühendisi olarak görev aldı. Halen Yüzüncüyıl Üniversitesi’nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.