

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER KAPLI POMZA AGREGALARLA ELDE
EDİLEN BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Alper BİDECİ

DOKTORA TEZİ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi:

Prof. Dr. Sabit OYMAEL

2011

EDİRNE

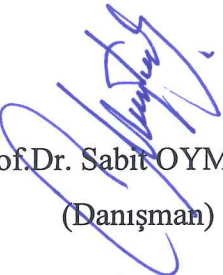
T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


POLİMER KAPLI POMZA AGREGALARLA ELDE EDİLEN BETONLARIN
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

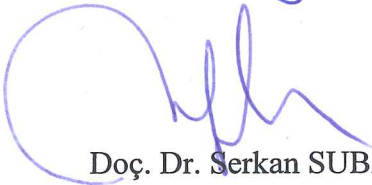
ALPER BİDECI

DOKTORA TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

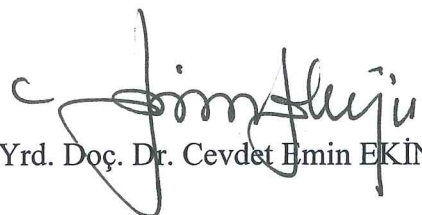
Bu tez 31.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Sabit OYMAEL
(Danışman)


Prof. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN


Doç. Dr. Serkan SUBAŞI


Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM


Yrd. Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ

ÖZET

Tezin Cinsi :Doktora
Tezin Adı :Polimer Kaplı Pomza Agregalarla Elde Edilen Betonların Özelliklerinin Araştırılması
Üniversite : Trakya Üniversitesi
Enstitü : Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı: Mimarlık Anabilim Dalı

Pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşan; gözenekli, doğal kökenli hafif bir kayaç türüdür. Volkanik kaynaklı olan bu kayaçların pomza, perlit ve benzeri çeşitleri vardır. Ülkemizde özellikle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmakta ve önem arz etmektedir. Üretim açısından kolay bir ürün olan pomza, ekonomik ve ayrıca ülke ekonomisine katma değeri yüksek olan bir malzemedir.

Düşük birim ağırlık, ısı yalıtım özelliği, yangına karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı tercih konusu olan hafif agregalı betonun, çağımızın popüler malzemesi olan polimerin su itme ve esneklik özelliği ile birleştirilerek farklı bir beton agregası ve beton üretimi, çalışmanın esasını oluşturmaktadır. Çalışmada çok yönlü olarak kullanılan polimerler ile pomza agregası kaplanarak elde edilen agregalar üzerinde, granülometri, özgül ağırlık, gevşek birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Üretilen bu agregalar ile hazırlanmış beton numuneleri üzerinde çökme, birim ağırlık, kuru birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, dona dayanım, sünme ve rötre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Araştırmada ayrıca agreganın çimento ile aderansı, SEM ve XRD ile mineralojik ve petrografik analizleri yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Böylece agregaların polimer kaplanmasıyla su emmeleri azaltılarak, yeni bir agrega ve beton türünün üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yıl: 2011
Sayfa: 104

Anahtar Kelimeler: Pomza, Polimer, Basınç Dayanımı, SEM Analizi, Mineralojik-Petrografik Özellikler

ABSTRACT

Thesis Type : Graduate
Thesis Name: Investigate the Properties of Concrete with the Polymer-Coated
Pumice Aggregates
University : Trakya University
Institute : Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department : Architecture

Pumice is a cellular, natural and light rock formed of volcanic movements. These volcanic rocks have varieties like pumice, perlite, etc. It is increasingly being used in the construction sector and gaining importance. An easily produced material, pumice, is economical and has a high added value to the national economy.

Granulometry, specific weight and loose unit weight experiments were made on pumice coated aggregates and protean polymers. Slump, unit weight, dry unit weight, compressive strength, tensile splitting strength, water absorption, creeping and shrinkage experiments were made on concrete samples prepared with the aggregates produced. In the survey, additionally, the results of aggregate's adherence with the cement were commented by making mineralogical and petro-graphical analyses through SEM and XRD. Thus, a new type of aggregate and concrete production was carried out by lessening water absorption of aggregates by means of polymer coating. Preferred due to the features like low light weight, thermo-insulation and fire resistance - light aggregated concrete's mixture with contemporarily popular polymer's water pushing and flexibility features in order to produce a different concrete aggregate and concrete is the basis of this study.

Year: 2011

Pages: 104

Key Words: Pumice, Polymer, Compressive Strength, SEM Analysis, Mineralogical- Petrographic Features

ÖNSÖZ

Endüstriyel hammaddelerimizden pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşan, gözenekli, doğal kökenli hafif bir kayaç türüdür. Çeşitli sektörlerde farklı amaçlarla kullanılmakla birlikte ülkemizde özellikle inşaat sektöründe kullanımı giderek artmakta ve önem arz etmektedir. Hafif beton yapımında kullanılan pomza agregaları normal agregalarla üretilen betonlara göre, yapıdaki zati yükü azaltmakta, kısmen ısı ve ses yalıtımı sağlayarak izolasyon görevi görmekte, yangına karşı dayanımı artırmaktadır. Olumlu özelliklerinin yanında agreganın gözenek yapısından dolayı su emme kapasitesinin yüksek olması hafif beton karışım dizaynında taze betonun işlenebilirliği için sıkıntılar oluşturmaktadır.

Polimerler su itme ve kolay şekil alabilme özelliği nedeniyle günümüzde çeşitli alanlarda kullanılan malzemelerdir. Polimer ve hafif agrega pomzanın kaplanmasıyla su emmesi düşük yeni hafif özel bir beton türü ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından, TÜBAP 2010/57 nolu ve “Polimer kaplı agregalarla üretilen betonların özelliklerinin araştırılması” başlıklı proje ile desteklenmiştir.

Doktora çalışmalarım sırasında ilgi, destek ve hoşgörüsünü hiçbir zaman eksik etmeyen, çalışmalarımın her aşamasında değerli önerileri ve eleştirileri ile beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Sabit OYMAEL’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın bir bölümünde, laboratuvarlarını kullanmama izin veren İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN’e, İnşaat Fakültesi Öğretim Üyesi Yard. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM’ a, Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Serkan SUBAŞI’na ve Kırklareli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Arş. Gör. Ünal SEVER’e teşekkür ederim.

Tez çalışmam ve akademik yaşantım süresince gösterdiği büyük sabır, ilgi, hoşgörü ve bilgisiyle çalışmalarımın her anında bana destek olan hayatımın anlamı sevgili eşim Öğr. Gör. Özlem SALLI BİDECİ ve canım oğlum Kerem BİDECİ’ye, tüm yaşantım boyunca her konuda desteğini esirgemeyen anneme, babama ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOLLER DİZİNİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Hafif Beton ve Pomza Agregaları.....	11
2.1.1. Agregalar.....	11
2.1.2. Hafif beton.....	14
2.2. Polimerler ve Polimerlerin Betonda Kullanımı.....	17
2.2.1. Polimerler.....	17
2.2.2. Polimer betonlar.....	19
2.2.2.1. Polimer beton (PC).....	19
2.2.2.2. Lateks modifiye beton (LMC).....	20
2.2.2.3. Polimer emdirilmiş beton (PIC).....	20
3. MATERYAL VE METOD	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1. Agregalar.....	22
3.1.2. Çimento.....	24
3.1.3. Polimerler.....	25
3.1.4. Su.....	27
3.1.5. Mermer tozu.....	27
3.1.6. Polimer kaplı agregalar.....	28

3.2. Metod.....	32
3.2.1. Agrega deneyleri.....	32
3.2.1.1. Tane büyüklüğü dağılımı.....	32
3.2.1.2. Özgül ağırlık.....	33
3.2.1.3. Gevşek birim ağırlık	34
3.2.1.4. Su emme oranı.....	35
3.2.2. Taze beton deneyleri.....	35
3.2.2.1. Çökme (slump) deneyi.....	35
3.2.2.2. Birim ağırlık deneyi.....	36
3.2.3. Sertleşmiş beton deneyleri.....	37
3.2.3.1. Kuru birim ağırlık.....	37
3.2.3.2. Basınç dayanımı.....	38
3.2.3.3. Yarmada çekme dayanımı.....	39
3.2.3.4. Su emme oranı.....	41
3.2.3.5. Dona dayanım	41
3.2.3.6. Sünme ve rötre.....	45
3.2.3.7. SEM analizleri.....	48
3.2.3.8. XRD analizleri.....	49
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Hafif Beton Karışım Hesabı.....	51
4.2. Mineralojik ve petrografik özellikler.....	52
4.2.1. Polimerler kaplanmamış agregaların mineralojik-petrografik özellikleri.....	55
4.2.2. Polimer kaplı pomza agregalarının mineralojik-petrografik özellikleri.....	57
4.3. Agrega Deney Sonuçları.....	58
4.3.1. Özgül ağırlık.....	58
4.3.2. Gevşek birim ağırlık.....	59
4.3.3. Su emme oranı.....	60
4.3.4. Tane büyüklüğü dağılımı.....	60

4.4. Taze Beton Numuneleri Deney Sonuçları.....	62
4.4.1. Çökme (slump) deneyi.....	62
4.4.2. Birim ağırlık deneyi.....	62
4.5. Sertleşmiş Beton Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	63
4.5.1. Birim ağırlık.....	63
4.5.2. Basınç dayanımı.....	64
4.5.3. Yarmada çekme dayanımı.....	67
4.5.4. Beton numunelerde su emme oranı.....	69
4.5.5. Dona dayanım.....	71
4.5.6. Sünme ve rötne	75
4.5.7. SEM analizleri.....	82
4.5.8. XRD analizleri.....	96
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	100
5.1. Sonuçlar.....	100
5.2. Öneriler.....	102

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

SEMBOLLER DİZİNİ

A_c	: Numunenin en kesit alanı
AF_w	: Ağırlık kaybı faktörü
B_g	: Gevşek birim ağırlık
DF_f	: Basınç dayanımındaki azalma faktörü (%)
E	: Bağlı dinamik elastikiyet modülü
E_o	: Başlangıçtaki bağlı dinamik elastikiyet modülü faktörü
EMF	: Bağlı dinamik elastikiyet modülü faktörü
E_n	: En son bağlı dinamik elastikiyet modülü faktörü
F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
F_c	: Basınç dayanımı
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı
f_n	: Numunelerin don sonu ortalama basınç dayanımı
f_o	: Numunenin deney öncesi ortalama basınç dayanımı
g	: Yer çekimi ivmesi
l_t	: Rötire deformasyon
M	: Pomza agregaların su emme yüzdesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
t	: Saat
V	: Ultrasonik ses geçiş hızı
V_{n30}	: Ultrases hızı 30 günlük okuma
V_o	: Ultrases hızı ilk okuma
Δ	: Betonun birim ağırlığı
α	: Uygulanan gerilme
ϵ_α	: Ani deformasyon
ϵ_t	: t süresi sonunda deformasyon
ϵ	: Toplam deformasyon
ϵ_f	: Gerilme deformasyon
ϵ_f / α	: Birim gerilme deformasyon
XRD	: X-ışınları difraktometresi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Deney akış şeması	3
Şekil 2.1	Türkiye önemli perlit-pomza yatakları.....	14
Şekil 3.1	Ocaktan alınan pomza (Kayseri-Talas).....	23
Şekil 3.2	Kayseri-Talas pomza ocağından bir görünüş.....	23
Şekil 3.3	Kompresör ve üstten hazneli boya tabancalı sistem.....	28
Şekil 3.4.a	Numune kaplama aşamaları.....	30
Şekil 3.4.b	4–8 mm polimer kaplı agregalar.....	31
Şekil 3.4.c	8–16 mm polimer kaplı agregalar.....	31
Şekil 3.5	Kare delikli eleklerde beton agregası granülometresi.....	33
Şekil 3.6	Deneyde kullanılan çökme hunisi	36
Şekil 3.7	Kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanan numuneler.....	37
Şekil 3.8	Deneyde kullanılan tek eksenli basınç test cihazı.....	39
Şekil 3.9	Yarmada çekme deney numuneleri.....	40
Şekil 3.10	Dona dayanım deney numunelerinin etüvde kurutulması.....	42
Şekil 3.11	Derin dondurucuda dondurulan numuneler.....	43
Şekil 3.12	Su içerisinde kür edilen numuneler.....	43
Şekil 3.13	Ultrasonik geçiş hızları (PGH) ölçülmesi.....	45
Şekil 3.14	Boy ölçüm cihazı.....	46
Şekil 3.15	Yükleme çerçevesi olarak hazırlanan düzenek.....	47
Şekil 3.16	Rötre numunelerinin ölçülmesi.....	47
Şekil 4.1.a	30m'den alınan pomzanın tek nikol mikroskop görünümü.....	55
Şekil 4.1.b	30m'den alınan pomzanın çift nikol mikroskop görünümü.....	55
Şekil 4.2.a	33m'den alınan pomzanın tek nikol çekimi.....	56
Şekil 4.2.b	33m'den alınan pomzanın çift nikol çekimi.....	56
Şekil 4.3.a	36m'den alınan pomzanın tek nikol çekimi.....	56
Şekil 4.3.b	36m'den alınan pomzanın çift nikol çekimi.....	56
Şekil 4.4	SNMC polimer ile kaplı agregaların ince kesit resmi.....	57

Şekil 4.5	KBP polimer ile kaplı agregaların ince kesit resmi.....	57
Şekil 4.6	PLP polimer ile kaplı agregaların ince kesit resmi.....	58
Şekil 4.7	Pomza agregası elek analizi mukayeseli sonuçları.....	61
Şekil 4.8	300 doz basınç dayanım grafiği.....	66
Şekil 4.9	400 doz basınç dayanım grafiği.....	67
Şekil 4.10	500 doz basınç dayanım grafiği.....	67
Şekil 4.11	Yarmada çekme dayanım değerlerinin yüzde grafiği.....	69
Şekil 4.12	Beton numunelerde su emme oranları.....	70
Şekil 4.13	Ağırlık kaybı faktörü grafiği.....	72
Şekil 4.14	Sünme deformasyonlarının 840 saatlik değişimi.....	80
Şekil 4.15	Sünme deformasyonlarının 12 aylık değişimi.....	81
Şekil 4.16	Rötre deformasyonlarının 840 saatlik değişimi.....	82
Şekil 4.17.	Rötre deformasyonlarının 12 aylık değişimi.....	82
Şekil 4.18	300 doz kontrol numunelerinin SEM görünümü.....	84
Şekil 4.19	300 doz SNMC numunelerinin SEM görünümü.....	85
Şekil 4.20	300 doz KBP numunelerinin SEM görünümü.....	86
Şekil 4.21	300 doz PLP numunelerinin SEM görünümü.....	87
Şekil 4.22	400 doz kontrol numunelerinin SEM görünümü.....	88
Şekil 4.23	400 doz SNMC numunelerinin SEM görünümü.....	89
Şekil 4.24	400 doz KBP numunelerinin SEM görünümü.....	90
Şekil 4.25	400 doz PLP numunelerin mikroyapı SEM görünümü.....	91
Şekil 4.26	500 doz kontrol numunelerinin SEM görünümü.....	92
Şekil 4.27	500 doz SNMC numunelerinin SEM görünümü.....	93
Şekil 4.28	500 doz KBP numunelerinin SEM görünümü.....	94
Şekil 4.29	500 doz PLP numunelerinin SEM görünümü.....	95
Şekil 4.30	Kontrol numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları difraktogramları.....	97
Şekil 4.31	SNMC numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları difraktogramları.....	98

Şekil 4.32	KBP numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları difraktogramları.....	99
Şekil 4.33	PLP numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları Difraktogramları.....	100

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Türkiye pomza rezerv dağılımı.....	14
Çizelge 2.2	Hafif beton için beton dayanım sınıfları.....	17
Çizelge 3.1	Pomza agregaların kimyasal analizi.....	24
Çizelge 3.2	CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal analizi	25
Çizelge 3.3	SNMC kodlu polimerin özellikleri	25
Çizelge 3.4	KBP kodlu polimerin özellikleri	26
Çizelge 3.5	PLP kodlu polimerin özellikleri	26
Çizelge 3.6	Mermer tozunun kimyasal analizi.....	27
Çizelge 3.7	Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri.....	33
Çizelge 3.8	Çökme sınıfları.....	36
Çizelge 4.1	Beton karışım oranları.....	51
Çizelge 4.2	Özgül ağırlık değerleri.....	58
Çizelge 4.3	Gevşek birim ağırlık.....	59
Çizelge 4.4	Su emme oranı.....	60
Çizelge 4.5	Elek analizi kümülatif değerleri.....	61
Çizelge 4.6	Üretilen betonların taze birim ağırlık deney sonuçları.....	62
Çizelge 4.7	Birim ağırlıkları.....	64
Çizelge 4.8	Beton numunelerin basınç dayanımları.....	65
Çizelge 4.9	28 günlük yarmada çekme dayanımları.....	68
Çizelge 4.10	Beton numunelerde su emme oranları... ..	70
Çizelge 4.11	30 çevrim sonunda ağırlık kaybı faktörü	72
Çizelge 4.12	Dona dayanım deneyi sonucu bağıl dinamik elastikiyet modülü faktörü	74
Çizelge 4.13	Deney numunelerine uygulanan gerilmeler.....	75
Çizelge 4.14	Betonların 840 saatlik birim gerilme deformasyonları.....	76
Çizelge 4.15	Betonların 12 aylık birim gerilme deformasyonları.....	78

1. GİRİŞ

Pomza, volkanik faaliyetler sonucu oluşan, gözenekli, hafif bir kayaç türüdür. Volkanik menşeli olan pomza, perlit ve benzeri kayaçlardan hafif agregalar üretilmektedir. Bu tür agregalar genelde inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Üretim açısından kolay bir ürün olan pomza, ekonomik ve ayrıca ülke ekonomisine katma değeri yüksek bir malzemedir.

İnşaat sektöründe taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı bileşenlerinde pomzanın kullanıldığı görülmektedir. Düşük birim ağırlık, ısı yalıtım özelliği, yangına karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı tercih konusu olan pomza ve bununla üretilen hafif betonların, çağımızın popüler malzemesi polimerle kaplı agregalarla yapılması özellik arz etmektedir. Polimerin su itme ve esneklik özelliği betona karakteristik sağlamaktadır.

Bu çalışmada, agreganın çok yönlü olarak kullanılan polimerlerle kaplanarak fiziksel ve mekanik özellikleri ve polimer kaplı agregalarla hazırlanmış beton numunelerin kimyasal, fiziksel, mekanik özellikleri, agreganın çimento ile aderansı incelenmiştir. Literatür taramasına ve deneysel çalışmalara dayalı araştırmada, deneyler TS EN ve ASTM standartları esas alınarak yapılmıştır.

Yapılan bu tez çalışmasında amaç ve yenilikler şunlardır:

Amaçlar;

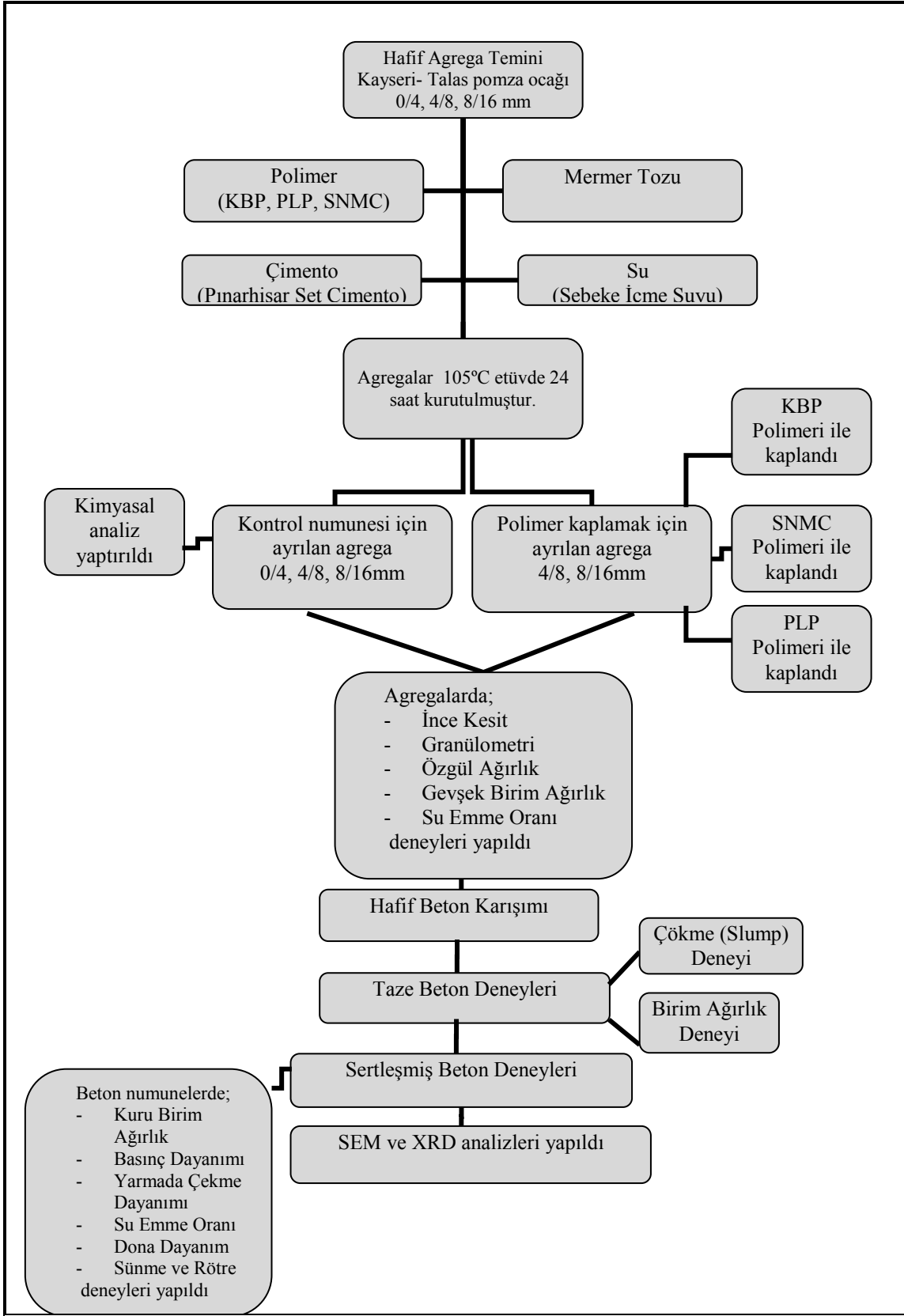
- Pomza hammaddesinin kullanım alanının artırılması,
- Pomza agregasıyla beton üretiminin özendirilmesi,
- Polimer malzemelerin farklı kullanım şekillerinin bulunması,
- Su emmesi düşük yeni hafif bir agrega türünün elde edilmesi,
- Taze hafif betonun kimyasal katkı kullanmadan işlenebilirlik özelliğinin artırılması,

- Elde edilen yeni agregâ türüyle hafif, su emmesi düşük yeni bir beton türünün elde edilmesi.

Yenilikler;

- Pomza agregasının kaplanarak yeni agregâ türünün oluşturulması,
- Literatüre, kaplanmış pomza agregasıyla üretilen beton konusunda özgün bir çalışma yaparak katkıda bulunulması,
- Literatüre polimer malzemelerin farklı kullanım şekillerinin olabileceği yönünde katkıda bulunulması,
- Su emmesi düşük hafif agregâ türünün elde edilmesi,
- Polimer malzemelerin pomza agregası ile aderansı hakkında bilgi sahibi olunması,
- Hangi polimer malzemenin betonda dayanımın artmasına sebep olabileceğinin belirlenmesi,
- Elde edilen yeni agregâ türüyle hafif, su emmesi düşük yeni bir beton türünün elde edilmesi.

Bu çalışmada, deney akış şeması Şekil 1.1.'de verilmiştir. Çalışmaların sonucunda en uygun değerlerin 500 doz KBP kodlu polimer kaplı beton numunelerden elde edildiği belirlenmiş ve agregaların polimer kaplanmasıyla su emmeleri azaltılarak, yeni bir agregâ ve beton türünün üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.1. Deney akış şeması

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Akman (1986), beton niteliğini yükseltmek amacıyla polimerlerin kullanılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Amaca erişmede süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı kullanımının en kolay ve geçerli bir yöntem olduğunu vurgulayarak daha yüksek mukavemet değerlerine polimer emdirilmiş betonlarla varılabileceğini, bu alanda yapılan çalışmalara dayanarak dayanımın tahmin edilebileceğini belirtmiştir.

Yıldırım (1989), pomza taşı ile üretilmiş yarı hafif betonun az tekrarlı yükler altındaki davranışına çimento hamuru miktarı ile yapısının ve hafif agreganın boyutunun etkisinin araştırılmasında, deneysel araştırma için üretilen yarı hafif betonlarda agreganın granülometrisini, çimento dozajı ve birim ağırlığını sabit tutmuştur. Çalışmadaki sonuçlara dayanarak az tekrarlı yüklemelerde hasar hızının düşük olabilmesi için toplam agreganın konsantrasyonunun yüksek, çimento hamuru konsantrasyonunun düşük ve ortalama hafif agreganın boyutunun küçük olması gerektiğini ifade etmiştir.

Ateş (1994), polimer betonun makine yapım malzemesi olarak kullanılabilirliği konulu çalışmasında, öncelikle polimer beton için malzeme bileşenlerini belirlemiştir. Polimer betonun takım tezgâh gövdesi şeklinde kullanılabilirliği yanında, deneyler sonucu mekanik özellikleri ve çok iyi olan sönüm özellikleri ile de birçok alanda geleneksel yapım malzemelerine alternatif olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Yıldırım (1995), normal ve hafif agregalı betonlarda agreganın hacim konsantrasyonunun betonun kısa süreli elastik ve elastik olmayan mekanik davranışına etkisini araştırdığı çalışmada, üretilen betonlarda en büyük agreganın boyutu, granülometri ve su/çimento oranını sabit tutarak agreganın hacim konsantrasyonunu değiştirmiştir. Sertleşmiş betonların elastisite modüllerini iki fazlı bir kompozit malzeme modeli yardımıyla hesaplamış ve elde edilen sonuçların deneysel değerlere yakın olduğunu bulmuştur. Yıldırım çalışmada; agreganın konsantrasyonundaki artışın, normal çakıllı ve pomza taşı agregalı hafif betonlarda,

süreksizlik sınırındaki poisson oranını düşürdüğünü, kırmataşlı normal betonlarda ise bu oranın bir minimumdan geçtikten sonra arttığının görüldüğünü belirtmiştir.

Bal (1998), bazı polimerlerin harçlarda kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada, altı adet polimer malzemesinin portland çimentosu ile yapılan harç numunelerinde %0, %2, %5, %10 ve %15 oranlarında katkı maddesi kullanmıştır. Polimer harçlar üzerinde kıvam, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, sürtünme ile aşınma dayanımı, su emme miktarları ve donma-çözünme deneyleri yapmıştır. Basınç dayanımlarının VAC 205 polimer malzemesi hariç diğer tüm malzemelerin %2'lik karışımlarında bir hayli yüksek çıktığını tespit etmiş, katkı miktarının arttırılması ile basınç dayanımlarında azalmalar meydana geldiğini belirlemiştir. Eğilmede çekme dayanımı, farklı sıcaklıklarda basınç dayanımı ve yapılan diğer deneyler sonucunda kullanılan polimer malzemelerin %2'lik katkı oranlarında en iyi sonucu verdiğini ve harcın kalitesini artırdığını görmüştür.

Sağlıyan (1999), prepakt betonların çimento ve polimer bağlayıcılı olarak iki ayrı türde incelendiği araştırmada polimer bağlayıcılı prepakt betonların çimento bağlayıcılı prepakt betonlara göre daha iyi bir performans sağladığını; fakat ekonomik yönden polimer bağlayıcılı prepakt betonların maliyet artışına neden olduğunu belirtmiştir.

Rossignolo ve Agnesini (2002), polimer ile modifiye edilmiş hafif betonların mekanik özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada, iki çeşit Brezilya hafif agregalarına polimer olarak stiren-butadien lateks (SBR) ilave edilerek elde edilen betonlara basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve su emme deneyleri uygulamışlardır. 7 günlük basınç dayanımının 39.7 MPa ile 51.9 MPa ve kuru birim hacim ağırlığı 1460–1605 kg/m³ arasında değiştiğini görmüşlerdir. Stiren-butadien latekslerin su/çimento oranını ve su emme oranını azalttığı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Çalışmanın sonucunda Brezilya hafif agregalarına SBR modifiye edilerek ince prefabrik komponent malzeme üretilebileceğini belirlemişlerdir.

Uğur (2003), belirli bir gözeneklilik derecesine sahip, özellikle volkanik cüruf ve perlitik pomza oluşumlarından elde edilen doğal hafif agrega türlerinin hafif beton karışımı

içerisinde kırmataş agrega olarak kullanımında etken parametreleri irdelemiştir. Düşük birim hacim ağırlık değerine sahip ve kuru karışım olarak değerlendirilen hafif betonlar, normal betonlara nazaran daha yüksek oranda yalıtım özelliğine sahip olmakla birlikte, karışım içerisinde daha yüksek oranda çimento kullanımı gerektirdiğini, bu nedenle artan çimento kullanımı daha yüksek maliyet oluşturan hafif agregaya ilaveten ek bir maliyet oluşturduğunu belirtmiştir. Tüm bu belirtilen hususların yanı sıra, maliyetlerin oluşturulması aşamasında kullanılan malzemenin ekonomiklik düzeyinin belirlenmesinden daha öncelikli olarak hafif betonun kullanıldığı yapının temel tasarım maliyetinin dikkate alınmasının daha uygun olacağını belirtmiştir.

Şengül ve Doğan (2003), polimer katkılı betonların mekanik ve durabilite özellikleri konulu çalışmalarında; normal dayanımlı bir beton ile aynı karışıma çimento ağırlığının %5'i oranında polimer ilave edilen betonlar üretmişlerdir. Çalışmanın sonucunda polimer (non-iyonik karboksile edilmiş stiren butadien kopolimer lâteks) ilave edilmesi taze haldeki betonun işlenebilmesini büyük ölçüde etkilemiştir. Aynı zamanda su/çimento oranı için çökme değeri yaklaşık 4 kat artmıştır. Polimer betonun hava sürüklenmesinden dolayı basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve (E) elastisite modülleri katkısız betonlara göre düşmüştür. Polimer katkılı betonların donma-çözülme ve ıslanma-kuruma etkisine karşı direnci, 25 çevrim sonunda katkısız betonlara göre daha yüksek elde etmişlerdir.

Ekinciöglü vd. (2004), farklı hidroliz derecelerine sahip polivinil alkol asetat (PVAc) kopolimerleri kullanarak üç farklı yöntemle üretilen, büyük boşluklarından arındırılmış, çimento-polimer kompozitlerinin su etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmadan polimerin hidroliz derecesi %90'ın üzerine çıktığında üretimin zorlandığı, üretilen kompozitlerin dayanımında da su etkisi altında diğerlerine göre daha yüksek düşüşler olduğu anlaşılmaktadır.

Rossignolo ve Agnesini (2004), hafif betonların dayanıklılığına stiren-butadien latekslerin (SBR) etkisinin araştırıldığı çalışmalarında, SBR modifiye edilmiş hafif betonların (LWAC) kimyasal dayanıklılık, korozyona dayanıklılığı ve su emme deneylerini analiz etmişler ve modifiye edilmemiş betonlarla kıyaslamışlardır. 7 günlük basınç dayanımınının 39.7

MPa ile 51.9 MPa ve kuru birim hacim ağırlığının 1460–1605 kg/m³ arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda SBR modifiye edilmiş hafif betonların modifiye edilmemişlere göre daha iyi sonuçlar verdiğini, su emme dayanımının daha düşük olduğunu ve kimyasal dayanıklılık ve korozyona karşı dayanımının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir.

Hiçyılmaz ve Altun (2005), pomzanın değişik alanlarda kullanıma uygunluğunu belirlemeye yönelik araştırmada, pomzanın alternatif yapı malzemesi olarak sunduğu avantajlar ile olabilecek olumsuzluklara değinilmiştir. Pomzanın yüksek silis içeriği, gözenekli yapısından ileri gelen düşük yoğunluğu, üstün yalıtkan özelliği, ekonomikliği gibi sebeplerle çimento dolgusu, hafif beton agregası, yalıtkan yapı elemanlarının eldesi veya izolasyon gibi alanlarda yapı için çok önemli alternatif hammadde olduğunu belirtmişlerdir. Amaca yönelik üretim veya kullanım koşullarının yüksek alkali içeriği veya mukavemete olan etkileri gibi olumsuz faktörler göz önüne alındığında, pomzadan bugünkünden çok daha fazla yararlanılmasının mümkün olabileceği vurgulanmıştır.

Ceylan (2005), farklı pomza türlerinden değişik çimento oranlarında elde edilmiş hafif beton örneklerinin belirli bir sıcaklık etkisindeki karakteristiği konulu araştırmasında Nevşehir-Göre, Kayseri-Talas pomzaları ve İzmir- Menderes perlitik pomzasının hafif beton agregası olarak kullanılabilir olduğunu belirlemiştir. Hafif beton numunelerinin 28 günlük doğal ortam küremesi sonucunda, yapılan tek eksenli basınç dayanım sonuçlarına göre, en yüksek dayanım değerinin 0/4 mm boyutlu Kayseri-Talas pomzasından %60, 4/8 mm boyutlu Nevşehir-Göre pomzasından % 40 oranında karıştırılıp hacimce %10 oranında portland çimentosu ile 40.55 kg/cm² elde edildiğini görmüştür.

Sancak ve Şimşek (2005), Isparta bims agregasının betonarme betonunda kullanılabilirliği üzerine yaptığı çalışmada, hafif betonlarda (HB), silis dumanı (SD) ve süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı kullanımının birim ağırlıklarına ve basınç dayanımlarına normal betonla (NB) karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. 12 farklı beton karışımı hazırlamış, SD mineral katkı olarak %0, %5 ve %10 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirerek kullanmışlardır. SA katkı ise betona, çimento ağırlığının %2'si oranında katılmıştır. Sonuç olarak; HB'ların birim ağırlıklarının, NB'lara göre %23 daha düşük olduğunu, HB'ların

basınç dayanımlarının, SD veya SA katkıya bağlı olarak, NB'ların %48'i ile %65'i arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Arısoy (2005), rasgele dağıtılmış kısa Polyvinyl alcohol (PVA) liflerle donatılmış yapay hafif agregalar kullanılarak üretilmiş betonların dayanımlarının ve sünekliğinin artırılması üzerine yaptığı çalışmada, lif hacim fraksiyonu 0.015 olan PVA lifli, yapay hafif agregalı beton birim ağırlığında, normal betona kıyasla %30-%120 oranında azalma, buna karşılık eğilme gerilmesinde %50-%250 oranında artışlar kaydedildiğini belirtmiştir.

Ünal vd. (2005), pomza ve diyatomitle üretilen hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Karışımları 275 kg/m^3 çimento dozajında ve 0.15 su/çimento oranında olmak üzere 4 farklı seri halinde $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ 'lik küp numuneler üretmişlerdir. Üretilen seriler arasında en iyi basınç dayanımı iri pomzanın %30 oranında kullanıldığı karışımlarda elde edilmiş olup 7–56 günlük numunelerin dayanımları 3.5–8 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Pomzanın kullanılmasıyla numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinin diyatomitle üretilmiş serilere göre arttığını, ancak pomza oranının artması birim hacim ağırlık üzerinde önemli etki yapmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca pomzanın kullanıldığı numunelerde kontrol serilerine göre su emme değerlerinde % 40–15 oranında bir azalma elde edildiği, sonuç olarak iri pomza agregasının diyatomitin yerine kullanılarak üretilen hafif betonların diyatomitle üretilen hafif betonlara göre daha yüksek basınç dayanımına ve daha düşük su emme değerlerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir.

Topçu vd. (2005), Kayseri yöresinden sağlanan bims kumu ve agregası üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. 450 kg/m^3 dozajlı hafif betonun birim hacim ağırlığını 14.97 kN/m^3 ve ortalama dayanımını 22.1 MPa; 400 kg/m^3 dozajlı hafif betonun birim hacim ağırlığını 15.05 kN/m^3 ve ortalama dayanımını 21.5 MPa; 350 kg/m^3 dozajlı hafif betonun birim hacim ağırlığını 14.45 kN/m^3 ve ortalama dayanımını 14.5 MPa olduğunu belirtmişlerdir. Yöresel bir hafif agrega ile üretilen hafif betondan dayanım olarak C20 sınıfına giren taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Taşıyıcı hafif betonda elastikiyet modülünü ortalama 10000 Mpa değerinde bulmuşlardır. Normal ağırlıklı (C20) beton sınıfında bu

değerin 28000 MPa civarında olduğu belirtilerek birim boy değişiminin daha fazla olacağı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca hafif beton E-modülünün düşük değerlerde bulunmasından dolayı boy değişimlerinin fazla olacağı için az katlı yapılarda kullanılmasını önermişlerdir.

Ceylan ve Saraç (2005), Kayseri-Talas pomzasından 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm aralığında gruplandırmış 3 ayrı boyutta pomza kullanmışlardır. Sekiz ayrı karışım grubu belirlemiş ve her karışım grubu %6, %8 ve %10 olmak üzere üç ayrı çimento oranında dökülerek farklı hafif beton serileri oluşturmuşlardır. En yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri 977 kg/m^3 olup, %70 0/4 mm, %30 4/8 mm boyutlu, hacimce %10 çimento oranlı karışımdan elde etmişlerdir. En düşük su emme oranını, %30 olarak belirlemişlerdir. Tek eksenli basınç dayanım değerleri incelendiğinde en yüksek dayanım değerinin 38 kg/cm^2 olup, %70 0/4 mm, % 30 4/8 mm boyutlu, hacimce %10 çimento oranlı ve %60 0/4 mm, %40 4/8 mm boyutlu, hacimce %8 çimento oranlı karışımlardan elde edildiğini belirtmişlerdir.

Binici ve Görür (2005), deniz suyu etkisinin yarattığı aşınmaya dayanıklı beton üretimi konulu çalışmalarında, bazik karakterli pomza ve yüksek fırın cürufu ile ince agregayı %40, %60, %80 oranlarında yer değiştirerek beton üretmişlerdir. Üretilen beton numunelerin aşınma, permeabilite ve deniz suyuna karşı dayanımlarını belirlemişlerdir. Deney sonucunda, pomza ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların durabilitesinin kontrol numunesinden yüksek olduğu, kontrol örneğinin permeabilite değerinin bütün numunelerden büyük bulunduğunu belirtmişlerdir. Bileşiminde %40 pomza + %40 yüksek fırın cürufu katkılı beton numunenin permeabilite değeri yüksek bulunurken basınç dayanımının en az bulunduğu, genellikle katkı oranı arttıkça permeabilite değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Eşit katkılı numunelerin permeabilite değerleri diğerlerinden az olduğu, bu sonuçlar ışığında, pomza ve yüksek fırın cürufunun eşit oranda katılarak az geçirimli beton üretilebileceğini görmüşlerdir.

Akperov ve Akyüz (2006), betonun zamana bağlı deformasyonlarının tahmini konulu çalışmalarında, normal ve düşük dayanımlı, katkısız ve mineral katkılı betonların sünme, temel sünme ve rötre deformasyonlarını incelemiş, rötre ve sünme tahmin modelleri kullanılarak elde edilen sonuçların deneysel rötre ve sünme değerlerine uygunluğunu

araştırmışlardır. Ayrıca beton numunesinin fazla su miktarı ve daha fazla ince parçacıklardan oluşması rötre deformasyonu artışına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Atar (2006), diplok kopolimerin portland çimentosu ve puzolonik bor (atık) katkılı çimento üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada priz süresi değişimi, basınç dayanımı ve hacim genişmesini belirlemiştir. Sonuçta diplok kopolimerinin Portland çimentosunun ve katkılı çimentonun erken priz süresini geciktirdiğini ve her iki çimento tipinde priz sonlanma süresi üzerine kayda değer bir etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Diplok kopolimeri su/çimento (s/ç) oranını 0.5'ten 0.42'ye azaltmıştır. Deneysel sonuçlarda diplok kopolimerinin sadece çimento hamuru hidrasyon hızını değiştirmekle kalmadığı, aynı zamanda kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) mikro yapısını da değiştirdiği görülmektedir.

Coşkun ve Tanyıldızı (2007), silis dumanı katkılı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliğine farklı kür koşullarının etkisi konulu çalışmalarında, agrega olarak pomza taşı, mineral katkı olarak ise silis dumanı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişkiye kür şartlarının etkisini araştırmışlardır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının %10'u oranında silis dumanı katıldığı, numunelerin hazırlanmasında maksimum tane çapı (d_{max}) 16mm olan pomza taşı kullanıldığı belirtilmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, en yüksek ultrasonik ses geçirgenliği (28 gün 4.21 km/sn) ve basınç dayanımı değerleri (28 gün 30.94 MPa) ile suda kür edilen numunelerde elde edilmiştir.

Ulus (2007), farklı hafif agrega, granülometri ve dozaj kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliği üzerine yaptığı araştırmada; birim hacim ağırlığı 1000–2000 kg/m³ ve basınç dayanımı 15–100 MPa arasında değişen hafif beton üretiminin mümkün olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda yüksek dayanımlı hafif betonlarda kırılmanın iri agregaların kesilmesiyle oluştuğunu ve bu nedenden dolayı kırılmanın normal betonlara göre daha gevrek olduğunu ifade etmiştir.

Akın (2007), mermer tozları ve uçucu kül ile polimer esaslı kompozit malzeme üretimi konulu çalışmasında matris malzeme olarak polyester, takviye malzemesi olarak da mermer

tozlarını kullanmıştır. Diğer taraftan puzolanik yapıdaki uçucu kül mermer tozu yer değişimi esasına yönelik olarak uçucu kül ilavesinin mukavemet üzerine etkisini incelemiştir. Ayrıca öğütülmüş hurda termoplastiklerin polyester ile yer değiştirilmesi esasına dayalı olarak malzemenin mukavemet özelliklerindeki değişimini belirlemiştir. Test sonuçları polyester yerine eklenen termoplastiğin, malzemenin mekaniksel özelliklerini azaltıcı etki yaptığını göstermiştir. Matris içerisindeki termoplastik oranı %0 iken üç noktadan eğme mukavemetinin değerinin 30 N/mm^2 ; %17 termoplastik içerdiğinde 21.7 N/mm^2 ; %50 termoplastik içerdiğinde ise 16.5 N/mm^2 olarak tespit etmiştir.

Subaşı (2009), geliştirilmiş kil agregası ile farklı çimento dozajlarında taşıyıcı hafif beton üretim olanakları ve betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak, geliştirilmiş kil agregası ile 1.7 kg/m^3 gibi düşük bir yoğunluğa sahip basınç dayanımı 41.27 MPa olan taşıyıcı hafif beton elde etmenin mümkün olduğunu belirlemiştir. Üretimi gerçekleştirilen hafif beton karışımlarında 450 kg/m^3 çimento dozlu betonların en yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerine sahip olduğunu bulmuştur.

Sarıışık vd. (2009), yalıtımlı izolasyon bloğunun (powerblok) mevcut durumda kuru birim hacim ağırlığını düşürmek için, pomza agrega katkılı powerblok örnekleri üzerinde bir dizi teknik inceleme yapmış olup tek boşluklu duvar hafif elemanlarının analiz sonuçlarını irdlemiştir. Sonuçta yalıtımlı izolasyon bloğunun birim hacim kütle değerini 562 kg/m^3 , basınç dayanımını 30.54 kg/cm^2 , kagir birim ses yutuculuk değerini 60 (dB) , ısı iletkenlik katsayısı değerini 0.088 W/mK ve sıva tutuculuk özelliğini çok iyi olarak tespit etmiştir.

2.1. Hafif Beton ve Pomza Agregaları

2.1.1. Agregalar

Agrega; tabii ve yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm 'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerinin bir yığındır (Şimşek, 2007). Beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan kum, çakıl, kırmataş

gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %75'i agrega tarafından oluşturulmaktadır (Erdoğan, 2007).

Agregalar, yoğunluklarına göre hafif, normal ve ağır agrega olarak üç gruba ayrılır (Şimşek, 2004).

Hafif agregalar, hafif beton üretmek için kullanılır. Yoğunlukları ortalama 1.2-2.0 kg/dm³ arasında olup mineral kökenli olabilir.

Normal agregalar; etüv kurusu yoğunlukları 2.0 kg/dm³ ten büyük, 3.0 kg/dm³ ten küçük, doğal akarsu yatağından elde edilen kırma (mıdır) agregalardan oluşmaktadır.

Ağır agregalar, etüv kurusu yoğunlukları, 3.0 kg/dm³ ten büyük olup ağır beton elde etmek için kullanılan agregalardır.

Pomza (ponza) terimi İtalyanca bir sözcüktür. Farklı dillerde değişik adlandırmaları vardır. Örneğin Fransızca'da ponce, İngilizce'de (iri tanelisine) pumice, (ince tanelisine) pumicite, Almanca'da (iri tanelisine) bims, (ince tanelisine) bimstein denilmektedir. Dilimizde ise süngertaşı, köpüktaşı, nasırtası, hışirtası, küvek, kisir gibi pek çok adla anılmaktadır (DPT, 2001).

Doğal hafif agrega, meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan tuf, bims, sünger taşı, lav cürufu, diatomit vb. kırılmış veya kırılmamış agregalar olarak nitelendirilmiştir. TS 3234 standardına göre de pomza, birbirine bağlantısız, boşluklu sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1.0 g/cm³'ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır (Gündüz, 2005).

Kimyasal bileşiminde %75'e varan silisyum dioksit içeriği bulunabilmektedir. Malzemenin kimyasal bileşiminde genel olarak %45 - %75 SiO₂, %13 - %21 Al₂O₃, %1 - %7

Fe_2O_3 , %1 - %11 CaO , %7 - %9 $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$, eser miktarda TiO_2 ve SO_3 ve %1 - %3 kızdırma kaybı değerleri bulunmaktadır (Gündüz, 2005).

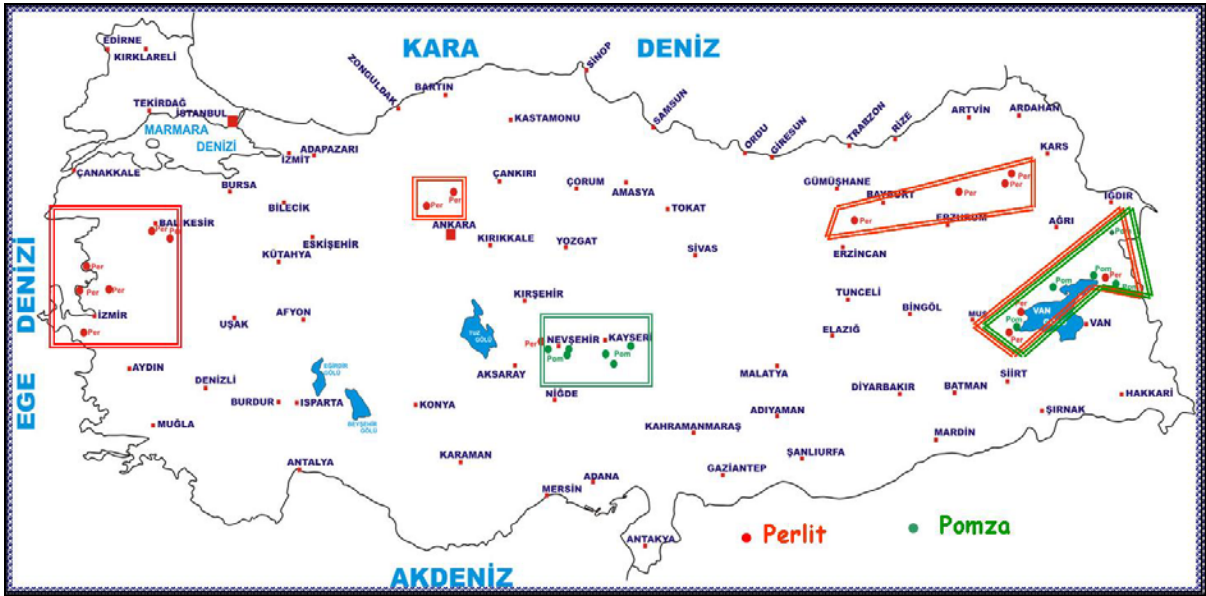
Volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşumu mevcuttur. Bunlar asidik ve bazik pomzadır. Diğer bir deyişle bazik pomzaya bazaltik pomza veya scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi siyahımsı olabilmektedir. Özgöl ağırlığı $1-2 \text{ g/cm}^3$ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü asidik pomza olup kirli beyaz veya grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir (DPT, 2001).

Ülkemiz, pomza rezervleri açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırılmış alanlarda yaklaşık 3 milyar m^3 pomza rezervi olduğu tahmin edilmektedir. Pomza rezervlerinin İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde yoğunlaşmış olmasına karşılık, Akdeniz ve Ege bölgelerinde de pomza rezervlerine rastlanılmakta ve üretim faaliyetleri görülmektedir. Dünya pomza rezervleri bakımından önemli bir yere sahip olan Türkiye, 10'a varan renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri ile oldukça yüksek dış pazar şansına sahiptir (Gündüz, 1998 ve DPT, 2001)

MTA Genel Müdürlüğü'nce ülke çapında yapılan pomza ile ilgili detaylı jeolojik etüt çalışmalarından elde edilen verilere göre ülkemizde varlığı bilinen pomza yatakları ve bunların rezerv durumları Çizelge 2.1' de (DPT, 2001) ve pomza maden yatakları haritası Şekil 2.1'de (www.berkaymadencilik.com) verilmiştir.

Çizelge 2.1 Türkiye Pomza Rezerv Dağılımı

Yeri	Rezerv Miktarı	Yeri	Rezerv Miktarı
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	404.412.834	Van-Molla kasım	5.950.000
Derinkuyu	48.660.500	Ağrı-Patnos	27.812.000
Kayseri-Gömeç	13.250.000	Ağrı-Doğubayazıt	26.875.000
Kayseri-Develi	58.500.000	Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250
Kayseri-Talas-Tomarza	241.000.000	Kars-Digor	11.718.750
Kayseri-Talas-Tomarza	284.000.000	Kars-Sarıkamış	1.875.000
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	Ankara-Güdül-Tekköy	8.070.000
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000	Isparta-Gölcük	30.983.250



Şekil 2.1 Türkiye önemli perlit-pomza yatakları

2.1.2. Hafif beton

Hafif beton, normal betona göre bazı farklı özellikleri bulunan genellikle boşluklu, daha düşük birim ağırlığa ve dayanıma, yüksek ısı yalıtımı özelliklerine sahip olan, bununla birlikte normal betonda aynı amaçlarla kullanılabilen betondur (Neville, 1993).

“Hafif betonlar, yapısal hafif yoğunluktaki agregalarla yapılan, 28 günlük basınç mukavemetleri 15–17 MPa ve 28 günlük kuru birim hacim ağırlığı 1850 kg/m³ geçmeyen betonlar olarak tanımlanırlar (ACI, 1983). ACI komisyonu 213. maddesinde birim ağırlık ve mukavemetine bağlı olarak hafif betonlar üç yapıya ayrılır” (Mindess, 1981).

Birim ağırlıklarına göre betonların sınıflandırılması şu şekilde yapılır (Taşdemir, 1982):

— Birim ağırlığı 400–1800 kg/m³ arasında olanlar hafif betonlar; birim ağırlığı 1800–2000 kg/m³ arasında olan betonlara yarı hafif betonlar denir. Alman standartlarında çoğunlukla “Hafif Normal Beton” diye geçen taşıyıcı yarı hafif betonların birim ağırlığı 2000–2100 kg/m³ arasındadır.

— Birim ağırlığı 2200–2500 kg/m³ arasında olan betonlara normal betonlar denir.

Hafif betonları birim ağırlıkları dışında fonksiyonlarına göre, a. Yalıtım betonları, b. Orta mukavemetli betonlar, c. Taşıyıcı betonlar olmak üzere üç gruba ayırmak mümkündür:

Hafif beton üretiminde üç farklı yöntem vardır:

1. Yöntemde, normal ağırlıklı agrega yerine, boşluklu hafif agrega kullanılmaktadır. Bu tip hafif betonlar, kullanılan hafif agrega cinsine göre adlandırılırlar. Genleştirilmiş kil ve şist kullanılarak taşıyıcı betonlar, perlit betonu, pomza taşı kullanılarak ses ve ısı yalıtımlı beton veya orta mukavemetli betonlar üretilebilir.

2. Yöntemde, betonda fiziksel veya kimyasal yolla geniş boşluklar oluşturulmaktadır. Bu boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleriyle elde etmek en yaygın yöntemlerden biridir. Bu tip betonlar gaz betonu, köpük betonu veya hava sürüklenmiş beton olarak adlandırılır.

3. Yöntemde, betonun bileşiminden ince agreganın çıkartılması ve betonda büyük boşluklar oluşturarak hafif beton elde edilmesidir. İri agregalar birbirlerine 1–3 mm kalınlıkta

çimento hamurlarıyla bağıdırlar. Çimento dozajı yaklaşık 70–130 kg/m³ tür. Bu tip betonlar genellikle kumsuz betonlar olarak adlandırılır (Neville, 1993).

Hafif betonların üstünlükleri yanında bazı sakıncaları da vardır. Hafif betonların üstünlükleriyle sakıncaları şöyle özetlenebilir:

Üstünlükleri:

— Hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle, yapı yükleri azalır; bu azalma ile temeller ve diğer yapı elemanları kısmen daha küçük boyutta yapılabilir.

— Ses ve ısı yalıtımına katkı sağlar.

— Yangın bakımından da normal betona göre daha elverişlidir.

Sakıncaları:

— Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, kalıpta yerleştirme zorlaşır.

— Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür. Bundan dolayı birçok yüksek mukavemetli beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme değildir.

— Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.

— Rutubete karşı yalıtım gereklidir.

— Hafif betonların (E) elastiklik modüllerinin düşük olması nedeniyle sünme bir dereceye kadar yüksektir (Taşdemir, 1982).

Hafif betonların 28 günlük basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hafif beton için beton dayanım sınıfları (TS EN 206–1)

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

2.2. Polimerler ve Polimerlerin Betonda Kullanımı

2.2.1. Polimerler

İnsan hayatının vazgeçilmez temel maddelerinin ana yapı taşları polimerlerdir. İpek, yün ve selüloz gibi doğal polimerlerin yanı sıra poliester, naylon, teflon ve sentetik kauçuk gibi sayısız türde yapay polimer bilinmektedir (Savran, 2001).

Tabii ve sentetik olarak elde edilen polimerler uzun zincirler ve uzun zincirli moleküler yapısından dolayı kuvvetli bağ yapan ve kolayca işlenebilir özelliğe sahiptir. Petrol ürünü olan sentetik polimerler plastik madde üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Oymael, 1991).

Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastik, elastomerler ve fiberlerdir. Polimerler molekül ağırlığı yüksek olan kompleks organik molekül zincirleridir. Polimerler doğal ve yapay olarak iki gruba ayrılabilir. Yapay polimerler genellikle, çok sayıda tekrarlanan “monomer” veya kısaca “mer” denen basit ünitelerden oluşur. Bunların adlandırılmasında çok sayıda anlamına gelen “poli” sözcüğü ile “mer” sözcüğü birleştirilir (Akkurt, 2007).

Polimerlerin sınıflandırılmasında en çok kullanılanı esas, işleme yöntemlerine göre yapılan sınıflandırmadır. Buna göre polimerler, termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar.

Termoplastikler; ısı ve basıncın altında yumuşayabilir, şekil değiştirebilir ve soğutulduğunda sertleşebilirler. Ayrıca tekrar ısıtıldığında tekrar yumuşayabilen, şekil alabilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Bu şekillendirme sırasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Uygun çözücülerde çözünebilirler ve bu şekilde “çözücü döküm” gibi yöntemlerle çeşitli şekiller alabilirler. Termoplastik grubunu oluşturan en önemli plastikler, akrilikler, naylon, polistiren, polietilen, karbonflörür, selülozikler ve vinillerdir.

Termosetler; ısı işlemiyle bir defa istenen şekli alabilen plastiklerdir. Tekrar ısıtılmakla şekillendirilemezler. Ayrıca bu malzemeler çözünmezler (Akkurt, 2007). Bazı önemli termoset polimerler üre-formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit, doymamış poliesterler, epoksi polimerler, poliüretanlardır (Yaşlak, 2008).

Polimerler kimyasal polimerizasyon sonrası çapraz bağına sahip oldukları için çimento ve beton karışımlarında bir nevi tutkal gibi kullanılır. Kullanılan başlıca tutkallar; epoksi reçineleri, vinil (sentetik) monomerler, furane ve iyi çapraz bağ yapabilen monomerlerden

türemiş fenietilen (stiren) vb. monomerlerin maliyeti çok yüksek olmasına rağmen cadde, koşu yolu ve hava alanlarının onarımı ve muhafazası için elverişlidir. Agregada alanlarında bulunan hücre bağları suya karşı izole edilmezse bozulur ve mukavemeti azalır (Ben-Dor, 1991).

2.2.2. Polimer betonlar

Polimer içeren betonlar üç grupta sınıflandırılabilir. Bunlar; Polimer Beton (PC= Polymer concrete), Lateks Modifiye Beton (LMC= Latex modified concrete) ve Polimer Emdirilmiş Beton (PIC= Polymer impregnate concrete). Lateks modifiye betonlara (LMC) aynı zamanda Polimer Portland Beton (PPCC=Polymer portland cement concrete) da denilmektedir. PC ve LMC betonları 1950'lerden itibaren ticari olarak kullanılmaktayken, PIC betonu geliştirilmiş ve 1970'lerden beri kullanılmaktadır. Kullanılan malzemelere bağlı olarak PC betonları, kısa sürede yüksek basınç dayanımına sahip olabileceğinden (140 MPa) maden ocağı, tünel ve karayollarında kullanılması uygundur (Mehta ve Monteiro, 2006).

2.2.2.1. Polimer beton (PC)

PC (Polymer Concrete) olarak adlandırılan sentetik reçine betonları, polimer reçinesi ile agregaya karışımıdır. Polimer agregaları birbirine bağlayan bir tutkal gibi davranırlar. Polimer beton üretilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi kütle agregalar arasındaki boşluk hacminin en aza indirilmesidir. Çünkü bir tutkal gibi kullanılan polimer reçinesi agregaya arasındaki boşlukları doldurulacağından ihtiyaç duyulan polimer miktarını artırmakta ve maliyet artışına sebep olabilmektedir (Bal, 1997). Kullanılan malzemelere bağlı olarak PC betonları, kısa sürede yüksek basınç dayanımına sahip olabileceğinden (140 MPa) maden ocağı, tünel ve karayollarında kullanılması uygundur (Mehta ve Monteiro, 2006).

2.2.2.2. Lateks modifiye beton (LMC)

Betonun gerilmeye müsait olan özellikleri düzeltilebilen kauçuk değiştirilmiş beton (LMC) bir lateks polimeri ile taze betonun birleştirilmesi ile yapılır. Daha çok Polivinil asetat, Polivinildan klorür-Polivinil ve kopolimeri, Fenietilen-butadien kopolimer, reçineler gibi ticari lateksler ya da kurutulduğunda kendiliğinden ince zarlar meydana getiren sentetik lateks polimerleri kullanılmaktadır (Sidney, 1981).

Eski bir betonla güçlü bir şekilde tutturulabiliyor olması, suyun ve parçalayıcı çözüntülerin betona sızmasını engelleyebilmesi LMC'nin en önemli özelliğidir. Polimer filmin kılcal gözenekleri ve küçük çatlakları astarlayarak, mükemmel bir şekilde LMC de sıvı sızıntısını engellediğine inanılır. Bu özellikler, LMC'yi deforme olmuş zemin, kaldırım ve köprü güverteleri onarımında çok tercih edilen bir materyal yapmaktadır (Mehta ve Monteiro, 2006).

PPCC olarak adlandırılan LMC'lerde bağlayıcılığı sağlamak için (arcylics, sentetik Butadien kopolimer vb. gibi) polimer esaslı lateks kullanılabilir. Meydana gelen karışımın çeliğe ve eski betona yapışma kabiliyeti fazla olduğu gibi suya, tuza ve donma-çözölmeye karşı da dayanıklılığı fazladır. Su geçirimsizliği azdır. Bu malzemeler köprü güverteleri ve benzeri yerler için kaplama ve tamir (yamalama) amaçlı kullanılırlar (Ben-Dor, 1991).

2.2.2.3. Polimer emdirilmiş beton (PIC)

PIC polimerize edilmiş monomer ile sertleştirilmiş bir portland çimento betonun birleşmesi ve süzölməsi ile üretilir. PIC önceden dökölmüş, kalıcılığı ve gücü yüksek ürünlerin üretiminde ve köprü güvertesi yüzeyinin dayanıklılığının artırılmasında kullanılır (Mehta ve Monteiro, 2006).

Polimer emdirilmiş beton, sert zemin üzerindeki çöküntüler ve çatlaklar betonun gücünü dolayısıyla kalıcılığını azaltırsa bu çöküntülerin ve çatlakların polimer ile doldurulması, materyalin yapısını geliştirir. Sert betonda kılcal gözeneklerin ve çatlakların

oluşturduğu deformasyon sistemi çok eğri-buğru ve dolambaçlıdır. Betondaki çatlakların içi boş değilse, akıőkanlıęı ve yapıőkanlıęı yüksek bir sıvının çatlakları kapatması zordur (Mehta ve Monteiro, 2006).

PIC'da önceden dklmő betonlara polimer emdirilmektedir. Betonun kılcal boşluklarına kadar nüfuz eden polimer, polimerize olmakta, geçirimsiz ve çok yüksek dayanımlı betonlar üretilmesine imkn vermektedir. PIC de kullanılan monomere; monomerler bir merkezden yayılan gama ışınlarına bırakılarak ve katalizör ve sıcaklık kullanılarak iki yöntemle polimerleőtirme yapılabilir (Sidney, 1981). PIC de, *in situ* yöntemiyle polimerleőtirilen monomerler betona emdirilir; PIC ise daha bağlayıcılık özelliği için agregaya polimer ilave edilir (Ben-Dor, 1991).

3. MATERYAL VE METOT

Araştırmada kullanılan materyaller ve uygulanan metotlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Agregalar

Araştırmada kaplanmamış ve polimerle kaplanmış olmak üzere iki çeşit pomza agregası kullanılmıştır.

a. Kaplanmamış pomza agregası

Bu alışmada, Kayseri ili Talas ilçesi Başakpınar mevkiinde bulunan Bintaş Yapı Elemanları San. ve Tic. A.ř' ye ait ocaktan alınan pomza agregası kullanılmıştır (şekil 3.1). M.T.A tarafından yapılan çalışmalarda, Başakpınar köyünde bulunan pomzanın, görünür rezervi 22.539.217 m³, muhtemel rezervi 62.309.750 m³, kısmen iyi kalitede ve kısmen yıkama gerektiği belirtilmektedir (www.mta.gov.tr) Pomzalardan ocağın 30 m, 33 m ve 36 m derinliklerinden, avuç büyüklüğünde toplam 100 kg kadar örnek numune kimyasal, petrografik ve mineralojik analizler için alınmıştır (şekil 3.2). Pomzalar, agrega deneyleri ve beton karışımı için tane boyutları 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm elek aralığında gruplandırılmıştır. Elek açıklığı 4/8 mm ve 8/16 mm olan agregalar suda yüzdürülerek, su üzerinde kalanlar beton yapımında kullanılmıştır. Söz konusu agregaların kimyasal analizleri Pınarhisar Set imento Fabrikası Kimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır (izelge 3.1).



Şekil 3.1. Ocaktan alınan pomza (Kayseri-Talas)



Şekil 3.2. Kayseri-Talas pomza ocağından bir görünüş

Çizelge 3.1. Pomza agregaların kimyasal analizi (%)

Kimyasal Bileşim	Oranı (%) (30m)	Oranı (%) (33m)	Oranı (%) (36m)	Asidik pomza (Çiftçi, 2003)	Kayseri Pomzası (Binici ve vd., 2009)	Kayseri Pomzası (Kadiroğlu, 2011)	Kayseri Talas (Fındık ve Saltan, 2007)	Kayseri Talas Pomzası (Gündüz, 2005)
SiO ₂	64.23	63.68	64.27	70	63.59	68.50	68.50	66.80
Al ₂ O ₃	15.04	14.86	15.34	14	15.36	14.90	14.90	14.75
Fe ₂ O ₃	3.91	3.80	3.85	2.5	4.60	3.10	3.10	2.85
CaO	2.75	2.77	2.93	0.9	3.12	2.90	2.90	2.95
MgO	1.34	1.26	1.46	0.6	2.24	0.08	0.95	0.80
K ₂ O	3.55	3.55	3.37	9	3.51	2.75	2.75	2.75
Na ₂ O	4.46	4.98	4.42		3.45	4.10	4.10	3.95
SO ₃	0.01	0.06	0.02	-	2.37	-	-	-
K.Kayı	4.71	5.04	4.34	3	0.96	-	2.62	4.15

Pınarhisar Set Çimento Fabrikası Kimya Laboratuvarı, 06.05.2010.

b. Polimer kaplı pomza agregası

Bu çalışmada, araştırmanın önemli bir parçası olmak üzere, üzeri polimerlerle kaplı pomza agregası kullanılmıştır. Kaplama uygulaması hakkında geniş bilgi 3.2.2’de verilmiştir.

3.1.2. Çimento

Çimento, kil ve kalkerin belli oranlarda karıştırılıp yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen klinkerin minimum 2800 cm²/g incelikte öğütülmesi sonucu meydana gelen mineral bağlayıcıdır. Araştırmada Pınarhisar Set Çimento Fabrikası’nda TS EN 197-1’e uygun olarak üretilen CEM I 42.5/R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait kimyasal analizi ve ilgili standard sınır değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal analizi (%)

Bileşenler (%)	CEM I 42.5 R	TS EN 197-1
CaO	63.76	C+S≥%50
SiO ₂	19.49	
Al ₂ O ₃	5.08	-
Fe ₂ O ₃	2.54	-
MgO	1.18	Lim.≤%5
SO ₃	3.13	Lim.≤%4
Na ₂ O	0.26	-
K ₂ O	0.74	-
Kızdırma Kaybı	3.82	Lim.≤%5

Pınarhisar Set Çimento Fabrikası Kimya Laboratuvarı, 06.05.2010.

3.1.3. Polimerler

Araştırmada agregaların kaplanmasında üç çeşit polimer kullanılmıştır. Söz konusu polimerlerin firma kataloglarından alınan özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

1.SNMC kodlu polimer: Bitüm ile modifiye edilmiş poliüretan esaslı, tek bileşenli, hava şartlarına, UV ışınlarına ve atmosferde bulunan kimyasal maddelerin yol açtığı bozulmalara karşı yüksek dirence sahip, mükemmel yapışmanın arzu edildiği yatay derzlerde kullanılan, kendiliğinden yayılan derz dolgu mastiğidir (www.basf-yks.com.tr). Malzemenin özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. SNMC kodlu polimerin özellikleri (www.basf-yks.com.tr)

Malzemenin Yapısı	Bitüm Modifiye Poliüretan
Renk	Siyah
Çekme Dayanımı (ASTM D 412)	1.70 N/mm ²
Kopmada Uzama (ASTM D 412)	% 1200
Servis Sıcaklığı	-40°C +80°C

2. KBP kodlu polimer: Poliüretan esaslı, tek bileşenli su yalıtımı ürünüdür. Sürülerek uygulandığı yüzeylerde süratle kuruyarak eksiz, su geçirimsiz ve yüksek mukavemetli bir su yalıtımı kaplaması oluşturur. Oluşan kaplama UV ışınlarına dayanıklı, geniş servis sıcaklığı aralığına (-30 ila +80 °C arasında) ve kalıcı elastikiyete sahiptir. Reaksiyonunu tamamladıktan sonra su, tuzlu su, tuz çözeltileri, bazlar, seyreltilmiş asitler ve deterjanlara dayanıklıdır (www.koster.com.tr). Malzemenin özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. KBP kodlu polimerin özellikleri (www.koster.com.tr)

Malzemenin Yapısı	Bitüm Modifiye Poliüretan
Çekme mukavemeti (7 gün) DIN 53 504	5.0 N/mm ²
Kopma uzaması (7 gün) DIN 53 504	> % 200
Yoğunluk	1.45 g/cm ³
Kuruma süresi (23 °C, % 50 nem)	12 – 24 saat
Servis sıcaklığı	-30 °C ile +80 °C arasında

3. PLP kodlu polimer: Poliester, ortoftalik esaslı, genel amaçlı doymamış poliester reçinedir. İyi seviyedeki dolgu kabul ve düşük çekme özellikleriyle özellikle suni mermer gibi dolgulu döküm uygulamaları için tasarlanmış olmakla beraber, hızlı kürlenme ve yüksek ısı dayanım gerektirmeyen uygulamalarda kullanılabilir. Malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir (www.plasto.com.tr).

Çizelge 3.5. PLP kodlu polimerin özellikleri (www.plasto.com.tr)

Malzemenin Yapısı	Bitüm Modifiye Poliester
Renk ISO 2211	max. 100 Hazen
Çekme mukavemeti ISO 0527	6.6 N/mm ²
Kopma uzaması ISO 0178	% 5.94
Yoğunluk	1.125 gr/cm ³

3.1.4. Su

Beton yapımında ve bakımında kullanılacak su, temiz olmalı ve içerisinde taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine zararlı etki yapabilecek miktarda kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat yağı ve endüstri atıkları gibi yabancı madde bulundurmamalıdır (Erdoğan, 1995). Araştırmada Kırklareli şehir içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır.

3.1.5. Mermer tozu

Günümüzde mermer işletmeciliğinden çıkan atık mermer tozu, ülke ekonomisine kazandırılmak amacıyla, çeşitli sanayi dallarında katkı veya dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Mermer işletmelerinde fire oranı ocak işletmeciliğinde %50, fabrika işletmeciliğinde %30'lara ulaşmaktadır. Araştırmada, agrega üzerine polimer kaplandıktan sonra agregaların birbirine yapışmaması, birbirinden ayrılmasını sağlamak ve agreganın yüzeyinde pürüz oluşturmak amacıyla piyasadan elde edilen mermer tozu kullanılmıştır. Söz konusu mermer tozunun kimyasal bileşimi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Mermer tozunun kimyasal analizi (%)

Bileşenler (%)	Mermer Tozu
CaO	31.16
SiO ₂	-
Al ₂ O ₃	-
Fe ₂ O ₃	0.02
MgO	23.31
SO ₃	-
Na ₂ O	0.51
K ₂ O	0.01
K.Kaybı	44.89

Pınarhisar Set Çimento Fabrikası Kimya Laboratuvarı, 06.05.2010.

3.1.6. Polimer kaplı agregalar

Beton karışımında homojenliği sağlamak amacıyla deneyde kullanılacak pomza agregaları, suda yüzdürülmüş ve tane büyüklüğü 4 mm üzerindeki agregalar toplanmıştır. Toplanan numuneler etüvde 24 saat süresince 105 °C’de kurutularak beton üretimi ve polimer kaplanması için hazır hale getirilmiştir.

Kaplama işlemi için, 40 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde alüminyum kaplar kullanılmıştır. Kaplama işleminde püskürtme yöntemi uygulanmıştır. Püskürtme yöntemi için, 20–25 litre hava deposuna sahip kompresör ile üstten hazneli, ortalama 7 bar hava basınçlı, 0.7–2.8 mm meme çaplı konvansiyonel tipte boya tabancalı sistem kullanılmıştır (Şekil 3.3).

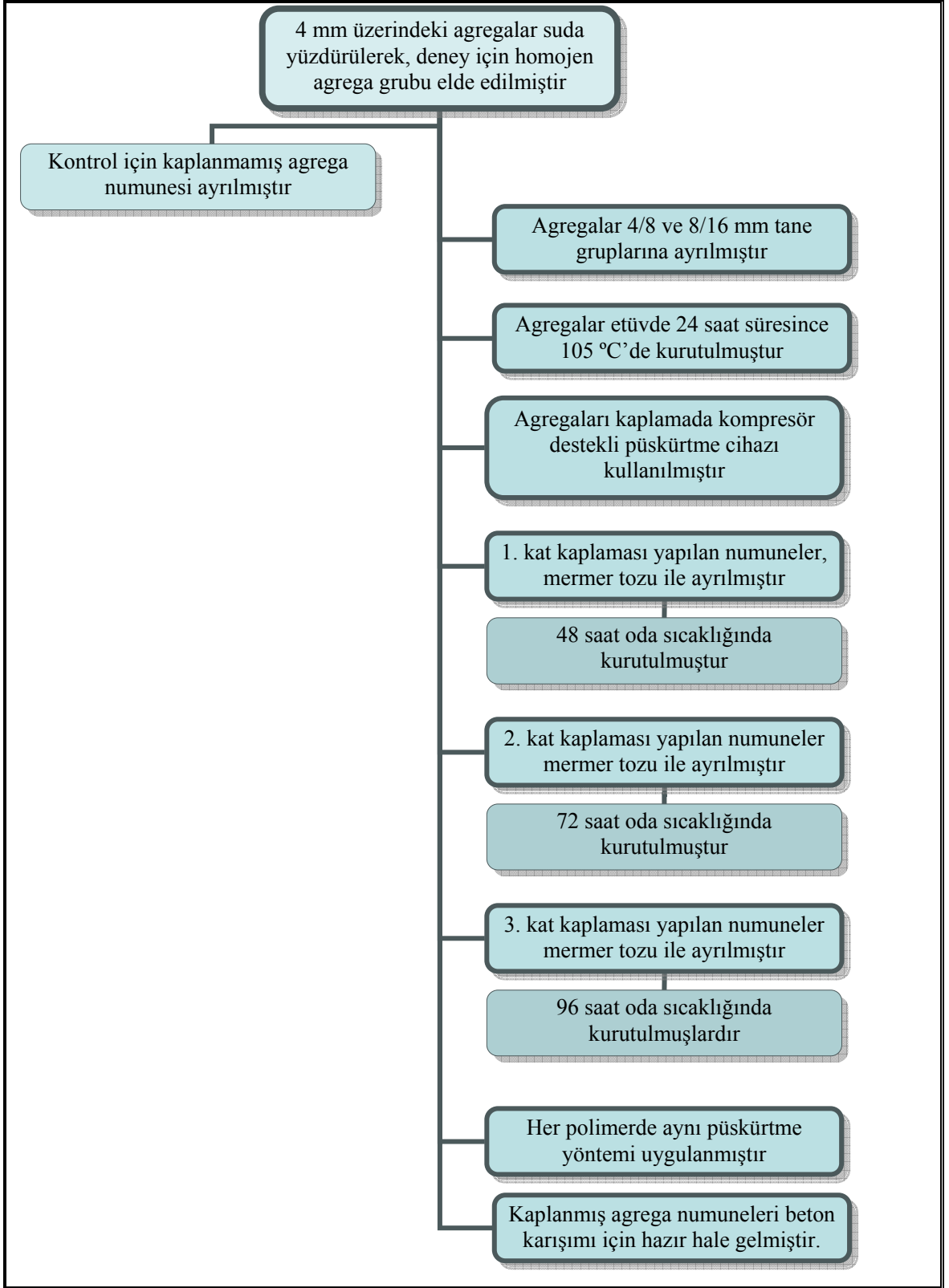


Şekil 3.3. Kompresör ve üstten hazneli boya tabancalı sistem

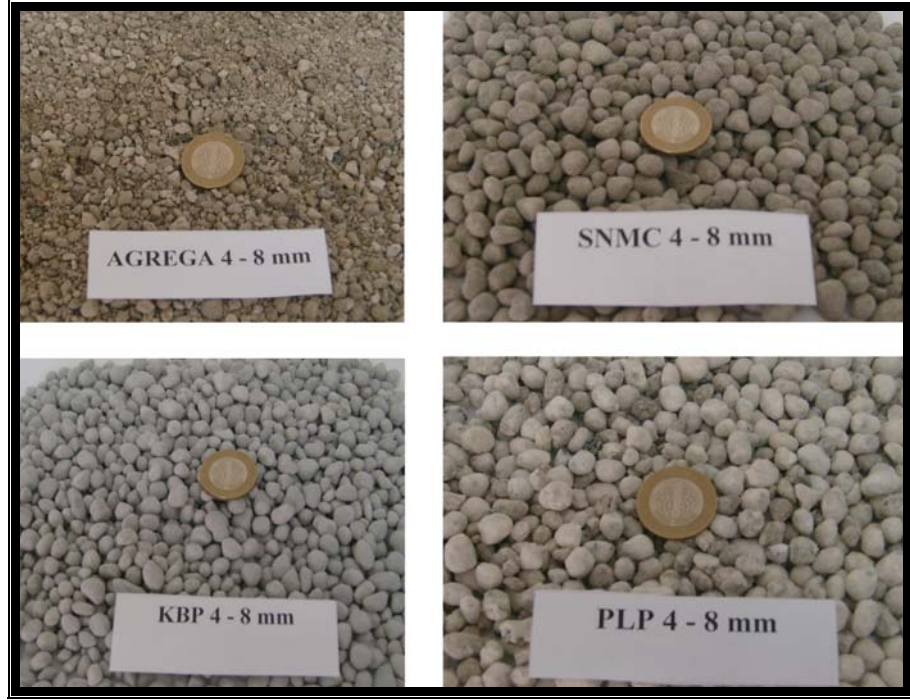
Yoğun kıvamı nedeniyle boya tabancasından püskürtülemeyen polimerlerde, selülozik tiner ile inceltme yoluna gidilmiştir. Yapılan ön çalışmalar sonucunda polimerlere katılan selülozik tiner miktarı ağırlıkça, SNMC için %25, KBP için %20 ve PLP için %10 oranında olduğu belirlenmiştir.

Agregaların polimer kaplaması üç kat olacak şekilde aşağıdaki işlem sırasına göre yapılmıştır.

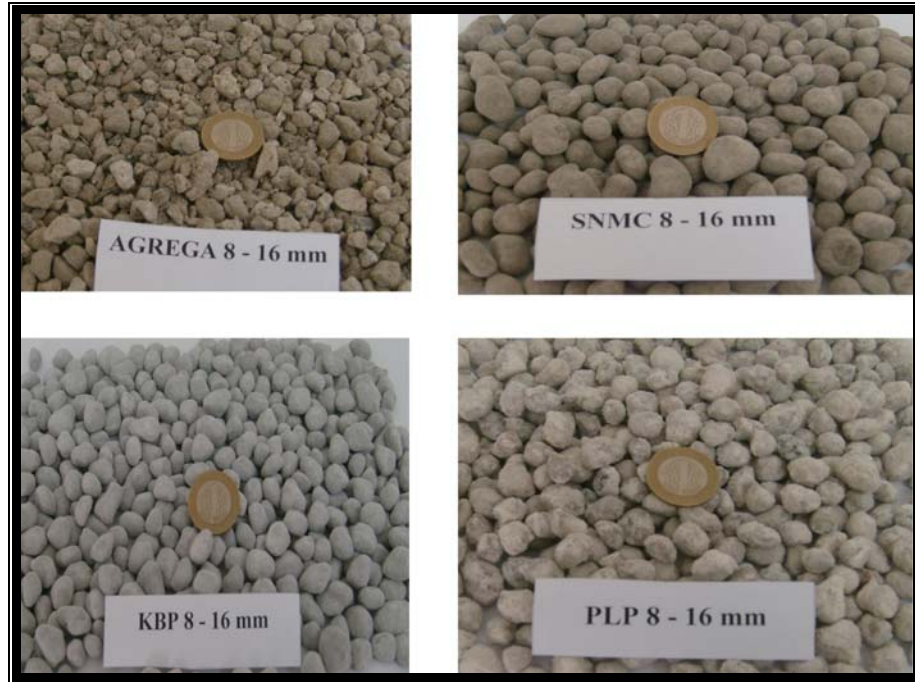
- Agregalar elenerek 4/8 mm ve 8/16 mm'lik tane gruplarına ayrılmıştır.
- Her kaplama için kaba yaklaşık 3 kg agrega konulmuştur.
- Boya tabancası kabın 30 cm uzağından tutularak püskürtme işlemi yapılmıştır.
- Agrega yüzeylerinin polimer kaplandığı görülene kadar, kap el ile sarsılmaya devam edilmiştir..
- Püskürtme işleminin ardından, polimer kaplanmış agrega tanelerinin birbirinden tamamen ayrılması için el ile mermer tozu serpilmiştir. Bir kap için ortalama 1000 g mermer tozu tüketilmiştir.
- Birbirinden ayrılan agrega numuneleri bir bez üzerine serilerek kurumaya bırakılmıştır.
- Agrega üzerindeki polimerlerin kuruma sürelerinde farklılıklar gözlenmiştir. Ön çalışmalar sonucunda kaplamada kullanılan polimerler için 1.kat uygulaması kuruma süreleri oda sıcaklığında 48 saat olarak belirlenmiştir.
- İkinci kat kaplama için aynı işlem sırası uygulanmış, agrega yüzey alanı arttığından, agregalar oda sıcaklığında 72 saat kurumaya bırakılmıştır.
- Üçüncü kat kaplamada agregalara yine aynı işlem sırası uygulanmış, en az 96 saat kuruması beklenerek, beton numune üretimi için hazır hale getirilmiştir.
- Numune kaplama aşamalarının algoritmik şeması Şekil 3.4.a ve uygulama sonrası kaplanmış agrega numune resimleri Şekil 3.4.b-c'de verilmiştir.



Şekil 3.4.a. Numune kaplama aşamaları



Şekil 3.4.b. 4-8 mm polimer kaplı agregalar



Şekil 3.4.c. 8-16 mm polimer kaplı agregalar

3.2. Metot

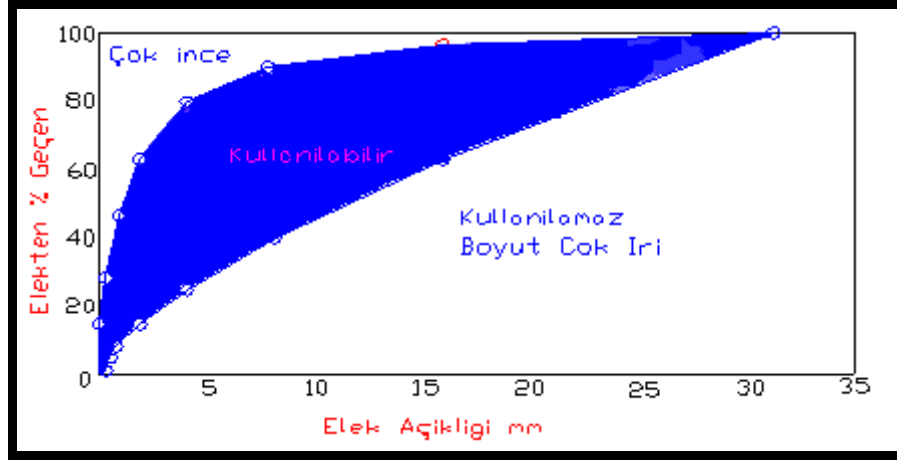
Bu bölümde, polimer kaplanmış ve kaplanmamış agrega deneyleri ile bu agregalardan elde edilen taze ve sertleşmiş beton numunelerine uygulanan deney yöntemleri açıklanmıştır.

3.2.1. Agrega deneyleri

3.2.1.1. Tane büyüklüğü dağılımı

Üzerindeki tozların temizlenmesi ve polimer kaplamasına uygun hale getirilebilmesi için ocaktan alınan pomza agregaları, içi su dolu kaplara boşaltılarak yüzdürülmüştür. Suyun üzerinde kalan agregalar toplanarak, homojen bir beton üretimine zemin hazırlanmıştır. TS EN 1097-5 standardına göre agregalar etüvde 105 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Etüv kurusu haline gelen agregalar TS 3530 EN 933-1 standardına uygun olarak elek analizine tabi tutulmuştur. Polimer kaplı agregaların boyut değişme ihtimaline bağlı olarak polimer kaplandıktan sonra elek analizi yapılmıştır.

Tane büyüklüğü dağılımında değerlerin büyük bir çoğunluğu net olarak tanımlanmadığı veya parametrik değer olarak sınırlandırılmadığı için çoğu zaman farklı kullanım uygulamalarına gidilmektedir. Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri Çizelge 3.7'de ve grafik gösterimi Şekil 3.5'te verilmiştir (Gündüz, 2005).



Şekil 3.5. Kare delikli eleklerde beton agregası granülometresi

Çizelge 3.7. Beton agregaları için elek analizi sınır değerleri

Kare delikli eleklerle göre				
Elek Açıklığı (mm)	İnce Agregası	İnce + İri Agregası Karışımı	Tüvenan Agregası	
	Elekten Geçen %		(0 – 4 cm)	(0 – 2 cm)
31.5	-	100	100	
16	-	62 – 89	95 – 100	100
8	100	38 – 77	-	-
4	61 – 85	23 – 65	25 – 45	30- 50
2	36 – 71	14 – 53	-	-
1	21 – 57	8 – 42	-	-
0.5	13 – 39	5 – 28	8 – 30	10 – 35
0.25	5 – 21	2 – 15	-	-

3.2.1.2. Özgül ağırlık

Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregası özgül ağırlık deneyi, agregası ve suyun hacimce yer değiştirme esasına göre yapılmıştır. Deneyde, agreganın hava kurusu ağırlığı (Pa) bulunmuştur. 500 ml ölçü kabı alınarak içi su ile doldurulmuş, hava kabarcığı kalmaması için üzerine cam levha kapatılmıştır. Su dolu kap tartılarak (A) ağırlığı bulunmuştur. Kaptaki su bir miktar boşaltılarak, Pa ağırlığındaki agregası aynı cam kaba konulmuş ve üzeri su ile tamamlanmıştır. Agregası ve su dolu kap tartılarak A¹

ağırlığı bulunmuştur. Agregaların özgül ağırlığı eşitlik Eşitlik (Eş.) 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}\delta &= P_a / V \text{ (g/cm}^3\text{)} & [3.1] \\ V &= P_a + (A - A^1) \text{ (cm}^3\text{)}\end{aligned}$$

Burada;

δ : Özgül ağırlık (g/cm³)

V: Agreganın hacmi (cm³)

P_a: Agreganın hava kuru ağırlığı (g)

A: Su dolu kap ağırlığı (g)

A¹: Agreganın ve su dolu kap ağırlığı (g)

Hafif agreganın olarak kullanılacak pomza agregalarının birim ağırlık değerlerinin minimum 2.1 g/cm³ olması istenmektedir (Gündüz, 2005).

3.2.1.3. Gevşek birim ağırlık

Gevşek birim ağırlık deneyi için, hava kuru durumuna getirilen deney numuneleri, agreganın segregasyona uğramaması ve kaplanmış agreganın yüzeyinde hasar oluşmamasına dikkat edilerek, ağırlığı belli olan ölçü kabına taşarcasına doldurulmuştur. Üst yüzeyi sıkıştırmaya sebep olmadan elle sıyrılarak düzeltilmiş, dolu numune kabı tartılarak ağırlıklar kaydedilmiştir. TS EN 1097-3'e göre yapılan gevşek birim ağırlık deneyi aşağıdaki Eş. 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$B_g = (W_2 - W_1) / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad [3.2]$$

Burada;

B_g: Gevşek birim ağırlık (kg/m³)

W₂: Gevşek agreganın ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

W₁: Ölçü kabı boş ağırlığı (g)

V: Ölçü kabının iç hacmi (dm³)

Agrega tane boyutlarına göre gevşek birim ağırlık değeri 480 – 880 kg/m³ arasındadır (Chandra ve Berntsson, 2003).

3.2.1.4. Su emme oranı

Su emme oranı tayini için piknometre, huni ve ızgara tartılmıştır (m_1). Deney numuneleri etüvde 110±5 °C sıcaklıkta sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler ortam sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve piknometreye dikkatlice yerleştirilerek tartılmıştır (m_2). Piknometre su ile doldurularak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkartılan agregalar kuru bir bez üzerine alınmış, yüzey suyu uzaklaştırılarak agregata taneleri tartılmıştır (M_w). TS EN 1097-6'ya uygun olarak yapılan su emme oranlarının tayini Eş. 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$W_f = [M_w - (m_2 - m_1)] / [m_2 - m_1] \times 100 \quad [3.3]$$

Burada;

W_f : Nihai ölçme zamanındaki su emme oranı (%)

M_w : Deney sonunda yüzeyi kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (g).

m_1 : Piknometre, huni ve ızgaranın kütlesi (g).

m_2 : Piknometre, huni, kuru deney numunesi ve ızgaranın kütlesi (g).

Pomza agregalarında genelde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri, ince agregada %20, iri agregada %30 civarında bir değerdir. Ancak bu oranlar agreganın alındığı yere, granülometrisine ve tane çapına göre artış sağlayabilir (Gündüz, 2005).

3.2.2. Taze Beton Deneyleri

3.2.2.1. Çökme (Slump) deneyi

Taze betonun işlenebilirliğinin saptanması amacıyla TS EN 12350-2'ye uygun olarak çökme hunisi metodu ile kıvam deneyi yapılmıştır. Çökme hunisi üç eşit

tabakada doldurulmuş ve her tabakada 25 kez şişleme çubuğu ile şişlenmiştir. Sonrasında çökme hunisi dikkatli bir şekilde yukarı çekilerek betonun kendi ağırlığı altında yayılması sağlanmıştır. Huni yayılan betonun yanına konularak çökme değeri belirlenmiştir. Deneyde kullanılan çökme hunisi Şekil 3.6’da ve TS EN 206-1’e göre çökme sınıfları Çizelge 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Deneyde kullanılan çökme hunisi

Çizelge 3.8. Çökme sınıfları

Sınıf	Çökme (mm)
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5	≥ 220

3.2.2.2. Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık deneyinde, çökme değerinin 7.5cm’den fazla olması sebebiyle taze betonun yerleştirilme işleminde şişleme çubuğu kullanılmıştır. Beton eşit hacimlerde üç tabaka halinde ölçü kabına yerleştirilmiştir. Her tabaka 25’er kez şişlenerek sıkıştırılmış ve kap her sıkıştırma işleminde 10–15 kez tokmaklanmıştır. Ölçme kabı üzerindeki fazla beton, sıyırma levhası ile düzeltilerek dolu kap tartılmıştır. Brüt ağırlıktan kabın tara ağırlığı çıkarılarak betonun net ağırlığı tayin edilmiştir (W_n). TS 2941’e göre yapılan birim ağırlık değeri Eş.3.4’e göre hesaplama yapılarak bulunmuştur.

$$B = W_n / V_n \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

[3.4]

Burada;

B: Taze betonun birim ağırlığı (kg/m³)

W_n: Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı (kg)

V_n: Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmi (m³)

3.2.3. Sertleşmiş beton deneyleri

3.2.3.1. Kuru birim ağırlık

Deneyde 100x100x100 mm boyutlarında her bir deney serisi için üç adet olmak üzere toplam 36 adet küp numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 48 saat su küründe bekletildikten sonra etüvde 100–110 °C’de 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler hassas terazide tartılmış ve boyutları kumpasla ölçülerek kuru birim hacim ağırlıkları Eş.3.5’e göre hesaplanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanan numuneler

$$S_k = W / V \quad (\text{kg/m}^3) \quad [3.5]$$

Burada;

S_k : Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı (kg/m^3)

W : Numunenin etüv kuru ağırlığı (kg)

V : Numune hacmi (m^3)

Hafif betonların kuru birim ağırlıkları, Norveç'te $1200\text{--}2200 \text{ kg/m}^3$, Amerika ve Avustralya'da en fazla 1800 kg/m^3 , Rusya'da $800\text{--}200 \text{ kg/m}^3$ ve Avrupa standardında $900\text{--}2000 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir (Newman ve Choo, 2003). Ülkemizde ise TS EN 206-1'e göre $800\text{--}2000 \text{ kg/m}^3$ 'tür.

3.2.3.2. Basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımı arasında yaklaşık da olsa bir ilişki bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bilgi edinmek mümkündür. Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamak olduğu söylenebilir (Erdoğan, 2007).

Basınç dayanımı deneyi, TS EN 12390-3 "Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini" standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir deney serisi için 3, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ boyutlarında toplam 108 adet küp numune hazırlanmıştır. Deneyde 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda ünitesi ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmış (Şekil 3.8) ve beton numunelerin basınç mukavemetleri Eş. 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$F_c = F / A_c$$

[3.6]

Burada;

F_c: Basınç dayanımı (MPa)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c: Numunenin en kesit alanı (mm²)



Şekil 3.8. Deneyde kullanılan tek eksenli basınç test cihazı

TS EN 206-1'e göre, hafif betonların basınç dayanımları silindir numunelerde 8–80 MPa ve küp numunelerde 9–88 MPa arasında değer almaktadır.

3.2.3.3. Yarmada çekme dayanımı

Beton üretiminde herhangi bir kusurun işlenmesi çekme mukavemeti değerinin düşmesine yol açar. Bu nedenle çekme mukavemetinin bilinmesinde yarar vardır. Betonların çekme mukavemeti dolaylı ve dolaysız olmak üzere iki türde bulunabilir. Dolaylı deneylerin biri de yarma metodudur (Postacıoğlu, 1987).

Deney TS EN 12390-6 “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Her bir deney serisi için 28 günlük kür süresi sonunda kırılmak üzere 100x200mm silindir boyutlarında toplam 36 adet silindir numune hazırlanmıştır. Numunelerin yük uygulama yerlerini belirlemek için, numune boyunca, aksel düzlemde, çapın her iki tarafına karşılıklı olarak, silindirin yan yüzlerine iki çizgi çizilmiştir. Bu çizgilerin uçları yükleme yerlerinin belirlenebilmesi için, alt ve üst tabanda birleştirilmiştir. Deney numunesi, sabitleme cihazı kullanılarak, makineye tam merkezlenmek suretiyle, sıkıştırma şeritleriyle numunenin yükleme düzleminde üst ve alt kısmı boyunca dikkatlice yerleştirilmiştir. Makinenin alt ve üst yükleme başlıklarının, yükleme esnasında birbirine paralel olması sağlanmıştır. Deney sonucu numune görüntüleri Şekil 3.9’da verilmiştir. Yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında Eş. 3.7 kullanılmıştır.

$$f_{ct} = 2 \times F / (3.14 \times L \times d) \quad [3.7]$$

Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı (MPa)

F: En büyük yük (N)

L: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm),

D: Numunenin seçilen en kesit boyutu (mm).



Şekil 3.9. Yarmada çekme deneyi sonucu numune görüntüleri

Tamamı hafif agrega ile üretilen hafif betonların yarmada çekme dayanımları 2.0 – 2.2 MPa arasında değişmektedir (ASTM C 330).

3.2.3.4. Su emme oranı

Sertleşmiş betonda su emme deneyi TS 3624'e göre yapılmıştır. Numuneler deney yaşına kadar (28 gün) kürde tutulmuştur. Kür sonunda su emme deneyine tabi tutulan numuneler tartıldıktan sonra 100–110 °C sıcaklıktaki bir etüvde 24 saatlik süre ile (sabit sıcaklığa gelinceye kadar) kurutulmuştur. Numuneler tartılarak kuru ağırlık değeri saptanmıştır (As). Etüv kurusu ağırlığı saptanan numuneler 20–25 °C'ye kadar soğutulmuş, 21±2 °C sıcaklıktaki su içine batırılmış ve 24 saat bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numunelerin yüzeylerinin ıslaklığı bir havlu ile silinerek tartılmış, doymun kuru yüzeyli numune ağırlığı (Bs) kaydedilmiştir. Ağırlıkça su emme deneyi için her bir deney serisinden üçer adet olmak üzere toplam 36 adet numune üretilmiş ve hesaplamasında Eş. 3.8 kullanılmıştır.

$$m_1 = (Bs - As) / As \times 100 \% \quad [3.8]$$

Burada;

m_1 : Ağırlıkça su emme oranı (%)

As: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

Bs: Doymun kuru yüzeyli numune ağırlığı (g)

3.2.3.5. Dona dayanım

Betonun elastisite modülü değerini etkileyen faktörler genel olarak agrega özellikleri, su/çimento oranı ve çimento hacmidir (Chandra ve Berntsson, 2003).

Dona dayanım deneyi ASTM-C 310 havada donma ve suda çözünme standardı esas alınarak yapılmıştır. Her bir deney serisi için üçer adet olmak üzere toplam 36 adet 100x200 mm boyutlarında üretilen silindir numunelere 28 gün su kürü uygulanmıştır. Deneye başlamadan önce numuneler değişmez ağırlığa gelinceye kadar 60 °C'lik etüvde

24 saat süresince kurutulmuştur (Şekil 3.10). Numuneler etüvden çıkarılıp uygun bir kaba konularak, oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0.1 g hassasiyetle tartılarak ağırlıkları (W_0) bulunmuştur. Daha sonra etüvden çıkarılan numuneler su emme deney yöntemiyle suya doygun hale getirilip soğuk hava dolabına konulmuştur. Numuneler $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik derin dondurucuda 3 saat süreyle dondurulmuştur (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Dona dayanım deney numunelerinin etüvde kurutulması

Deney numuneleri süre sonunda soğuk hava dolabından çıkarılarak tamamı su altında kalacak şekilde $20\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içine daldırılmış ve 2 saat bekletilerek buzların tamamen erimesi sağlanmıştır (Şekil 3.12). Sonra tekrar soğuk hava dolabına konularak $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmuştur. Yapılan donma çözünme işlemine 1 tekrar (çevirim) denir. Deney bu şekilde 30 tekrarlı olarak yapılmıştır.



Şekil 3.11. Derin dondurucuda dondurulan numuneler



Şekil 3.12. Su içerisinde kür edilen numuneler

Numunelerde donma-çözülme etkisiyle 5. çevirim sonunda meydana gelen ağırlık kaybı bulunmuştur (W_n). Don tesirleri nedeniyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması AF_w (ağırlık kaybı faktörü) olarak aşağıdaki Eş. 3.9 ile hesaplanmıştır.

$$AF_w = 1 - (W_n - W_o) \times 100 \quad [3.9]$$

Burada;

AF_w : Ağırlık kaybı faktörü (%)

W_n : Don deneyi öncesi numunenin ağırlığı (g)

W_o : Betonun don sonu etüv kurusu ağırlığı (g)

Deneyin ikinci kısmında, basınç dayanımlarındaki kaybını esas alan bir çalışma yapılmıştır. Deneyde eş değerleri üzerinde preste ortalama basınç dayanımları (f_0) bulunan numunelerin, deney sonu ortalama basınç dayanımları (f_n) bulunarak aşağıdaki Eş. 3.10 ile basınç dayanımındaki azalma faktörü (DF_f) hesaplanmıştır.

$$DF_f = 1 - (f_n / f_0) \times 100(\%) \quad [3.10]$$

Burada;

DF_f : Basınç dayanımındaki azalma faktörü (%)

f_0 : Numunenin deney öncesi ortalama basınç dayanımı (N/mm^2)

f_n : Numunelerin don sonu ortalama basınç dayanımı (N/mm^2)

Deneyin üçüncü kısmında, donma-çözölmeye tabi tutulan numunelerin deney öncesi ve deney süresince her 5 çevrim sonrasında ölçülen ultrasonik ses geçiş hızına (USH) bağlı olarak (V) değerleri bulunmuştur (Şekil 3.13). Genel olarak yüksek hızların (> 4.5 km/sn) çok kaliteli betonun ve çok düşük hızların da (< 3.0 km/sn) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir (Şimşek, 2007, Oymael, 2009). Deney 30 çevrim sonrasında bitirilmiştir. Üç tur ölçüm sonucu üzerinden numunelerin (E) bağlı dinamik elastikiyet modülleri Eş. 3.11 ile hesaplanmıştır.

$$E = 10^5 \times V^2 \times (\Delta / g) \quad [3.11]$$

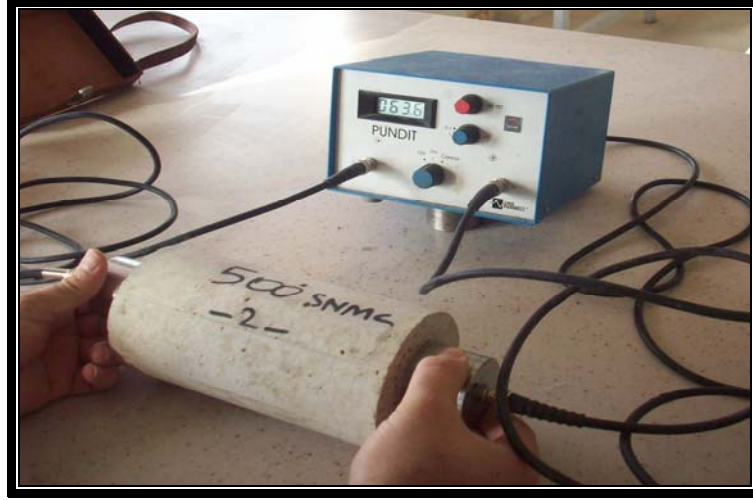
Burada;

E : Bağlı dinamik elastikiyet modülü (N/mm^2)

V : Ultrasonik ses geçiş hızı (km/sn)

Δ : Betonun birim ağırlığı (kg/m^3)

g : Yer çekimi ivmesi (g/cm^2)



Şekil 3.13. Ultrasonik geçiş hızları (PGH) ölçülmesi

3.2.3.6. Sünme ve rötre

Betonda zamana bağlı iki çeşit şekil değişimi vardır. Bunlardan biri sünme diğeri ise rötre dir. Sünmenin meydana gelmesinde çimento hamuru jel yapısının, hamur gözeneklerindeki serbest olmayan su kaybının büyük etkisi vardır. Zamanla ilk şekil değişiminin 2–3 katına ulaşan şekil değişiklikleri yapıda çatlaklara, görünüm bozukluklarına yol açabileceği gibi yüksek gerilmelerde yapı elemanının çökmesine de neden olabilir (Oymael, 1995).

Sünme deneyi TS EN 3454'e ve rötre deneyi TS EN 3453'e uygun olarak her bir deney serisinin, 500 doz deney serileri üzerinde yapılmıştır. Bunun için 100x300mm boyutlarında silindir numuneler hazırlanmıştır. Dökümden 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler 28 gün standart kürde bekletilmiş, deney süresi sonuna kadar $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ve $\%50\pm 4$ bağıl nem ortamında tutulmuştur.

Sünme ve rötre deneylerindeki boy değişimleri, beton numuneler üzerine yerleştirilen 10 mm çapında, 3 mm kalınlığında ve ölçüm aygıtı uçlarının yerleşebileceği, korozyona dayanıklı ortası oyuk olarak imal edilen özel pimler yardımıyla ölçülmüştür. Pimler numune çevresinde eşit aralıklarla üç ayrı ölçüm doğrultusu esas alınarak yerleştirilmiştir.

Sünme ve rötne deneylerinde, numunedeki birim boy değişimini en az 10^{-6} duyarlıkla ölçebilen, ölçüm sırasında takılabilecek şekilde portatif olan 1997 model M.H.Mayes & Son (Windsor) Ltd. yapımı boy ölçüm cihazı (komperatör) kullanılmıştır Şekil (3.14).



Şekil 3.14. Boy ölçüm cihazı

TS 3454 “Basınç Altında Betonda Sünme Tayini Metodu”na göre yapılan deneyde, yükleme çerçevesi; numunelerin dayandığı başlık plakaları, yükün deney numunesine sürekli olarak etkisini sağlayan bir yay düzeneği ve yüklenmiş sistemin reaksiyonunu almak için dişli çubuklardan oluşmuştur. Yükleme çerçevesi, numuneye gelen yükü düzgün yayılı olarak uygulayan ve numunenin deformasyonu halinde değişmez olarak tutabilen düzenek şeklinde yapılmıştır. Özel imal edilen dört adet düzeneğin, her birinde $\varnothing 24$ mm’lik dört adet blon ve blonlara geçirilmiş 10mm kalınlıkta üç adet çelik plak kullanılmıştır. Taban plakasının sabit olması, diğerlerinin aşağı ve yukarı doğru serbestçe hareket edebilmesi plakların en önemli özelliğidir. Çerçevede en alttaki iki plak arasında tren tamponlarında kullanılan yaprak yaylar kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yükleme çerçevesi olarak hazırlanan düzenek

Sünme deneyinde, 500 doz numunelerin 28 günlük basınç dayanımları bulunarak yükleme çerçevesine konulan numunelere bu değerlerin %40'ı kadar yük (ASTM C 512), portatif bir kriko ile yüklenmiştir. Deney numuneleri yükleme aygıtı çerçevesine yerleştirilirken merkezden kaçık bir yükleme yapılmaması için özen gösterilmiştir. Yüklemeden hemen önce ve 6 saat sonra boy ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlere bir haftaya kadar günde bir, bir aya kadar haftada bir ve bir yıla kadar ayda bir kez olmak üzere devam edilmiştir. Her ölçümden önce ve ölçüm aralarında kontroller yapılmıştır. Sünme ölçümlerinin yapıldığı günlerde, aynı ortamda tutulan yüklenmemiş beton numunelerinin rötre deformasyonları da ölçülmüştür (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Rötre numunelerinin ölçülmesi

Basınç altında betonda sünme tayin metodu esaslarına göre yapılan hesaplamalarda (α) gerilmesi uygulanan numunelerin önce ani deformasyonları ($\epsilon\alpha$) sonra her bir aylık süre sonundaki deformasyonları (ϵt) bulunmuş olup bu değerden, ani deformasyonun çıkarılmasıyla numunedeki toplam deformasyon bulunmuştur. Ancak bu deformasyon değerinin içinde rötreden kaynaklanan deformasyon da olduğunda sadece gerilmeden kaynaklanan deformasyonun (ϵ_f) bulunabilmesi için ($\epsilon_f = \epsilon - I_t$ formülüne uyan) toplam deformasyondan rötire deformasyonunun çıkarılması gerekir. Gerilmeden kaynaklanan deformasyonun gerilmeye oranı ile de birim gerilmeye isabet eden deformasyon (ϵ_f/α) bulunmuş olur.

3.2.3.7. SEM analizleri

Çimentolarda hidrasyon ve reaksiyonların nasıl geliştiği konusunda bazı ilerlemeler sağlanmış olmakla beraber, özellikle hidrasyon ürünleri olan bileşiklerin yapıları hakkında henüz tam bir fikir birliğine varılmamıştır. Çimentoda bulunan oksitlerden CaO'nin SiO₂ ile birleşmesiyle CS, C₃S, C₂S gibi kalsiyum silikatlar oluşur. CaO'nin Al₂O₃ ile birleşmesi ile de, C₃A, C₃A₅ ve C₅A₃ gibi kalsiyum alüminatlar oluşur (Oymael, 1995).

Hidrasyon sonunda C-S-H (Kalsiyum Silikat Hidrat) ile serbest kireç Ca(OH)₂ meydana gelir. Çimentonun yüksek bir mukavemete sahip olmasını sağlayan maddeler C-S-H'dır. X-ışınları ve elektronik mikroskop ile yapılan incelemeler sonucunda C-S-H'nin yapısını incelemek mümkün olmuştur. Çalışmalara göre C-S-H elemanları iyi bir şekilde kristalleşmemiş; hatta pratik bakımdan amorf yapıya yaklaşan karaktere sahiptir. Bu elemanlar genellikle lif ve ince levha veya yaprak halinde olmak üzere iki değişik şekle sahiptir. Kalsiyum silikatların hidrate elemanları meydana gelirken, Ca(OH)₂ hegzogonal kristal şeklinde oluşarak hidrate elemanlar arasında köprüler kurar. C-S-H elemanlarının zamanla artması sonunda lifler ve levhalar büyüyerek birbiri içine girerek ve birbiriyle kaynaşarak çimentonun mukavemetinin zamanla artmasını sağlar (Postacıoğlu, 1986).

Polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalarla elde edilen beton numuneler su kürüne (28 gün) tabii tutularak her bir deney serisinden, kütle halinde yaklaşık 100'er gram parça alınmıştır. Bu parçaların hidrasyonuna devam etmemesi için aseton içerisinde bekletilmişlerdir. Beton numunelerin yüzeyleri ve mikro yapıları, farklı büyütme oranlarında ikincil elektron görüntüsü yöntemiyle Tarama Elektron Mikroskobu (SEM), (LEO 435 VP) ile incelenmiştir (Rapor No: 2212).

3.2.3.8. XRD analizleri

Mineraller, doğal bir şekilde oluşan, belirli bir kristal içyapısı ve kimyasal bileşime sahip olan, kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikler içeren katı maddelerdir. Kristal, kendisini meydana getiren atom veya moleküllerin iç strüktürel yapısının sonucu olarak, düz yüzeylerle sınırlanmış katı cisimdir (Kavak ve ark, 2004).

Farklı endüstrilerde hammadde olarak kullanılan çoğu mineral ve kayalarda olduğu gibi betonda agrega ve katkı maddesi olarak kullanılan veya kullanımı öngörülen malzemenin mineralojik-petrografik analizlerinin yapılması, ilgili endüstriyel kullanım alanına uygunluğunun ve malzeme performans kriterlerinin belirlenebilmesi açısından önem taşımaktadır (Davraz, 2004).

XRD sistemi; çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı anorganik ve kristalin maddelerin araştırılmasına uygun bir aletsel yöntemdir. Yöntem, süper iletkenler, seramikler, metaller, alaşımlar, katı çözeltiler, heterojen katı karışımlar, korozif maddeler, çelik, kaplama malzemeleri, maden analizleri, toprak analizleri, safsızlık depo edilmiş yarı iletkenler, böbrek ve mesane tasları, bazı adli konularda, bazı boyarmaddeler, pigmentler, çimentolar, doğal veya yapay mineraller, herhangi bir malzemenin içerdiği bileşik veya elementlerin tayini, inorganik polimerler, faz diyagramlarının ve faz dönüşümlerinin araştırılması, bazı kristalin veya amorf kompleks bileşiklerinin incelenmesi gibi bir çok konuda yaygın kullanım alanına sahiptir. Yaygın olmamakla birlikte bazı katı organik bileşiklerin, katı organik polimerlerin, plastiklerin, organik boyar maddelerin vb. analizlerinde de kullanılmaktadır. X-ışınları toz kırınım metodu uygulanacak maddenin mutlaka kristal yapıda olması gerekir. Maddenin kristal yapısı ve birim hücre parametrelerinin bulunabilmesi için ise madde tek fazlı olmalıdır.

Bilinmeyen toz deseninin analizinde ilk basamak spektrumunda gözlenen tüm pikleri açıklayan bir kristal sistemi bulmaktır (Bayrak, 2005).

X-ışınları difraktometre tekniğinde bir x-ışını üreten tüpten çıkan ışınlar, spektrometrenin merkezinden geçerek bir eksen etrafında çeşitli açılar alabilecek olan (döndürülebilen) kristalin üzerine düşer. Kırınmış olan ışının şiddetini ölçen ve spektrometrenin merkezi etrafında dönebilen, istenilen açısal konuma getirilebilen herhangi bir sayıcıdır (Gültekin, 2006). X-ışını kırınım analiz metodu analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi analizlerinin yapılmasını sağlar (www.binatam.fatih.edu.tr)

Standart kalitatif analiz için her bir deney serisinden toz halinde en az 500g numune miktarı Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği AR-GE Laboratuvarlarında numunelerin X-ışını kırınımları difraktogramları (XRD) çekilmiştir (Rapor No: 2020).

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Hafif Beton Karışım Hesabı

Bu çalışmada, polimer kaplanmış ve kaplanmamış agrega numuneleri kullanılarak 300, 400 ve 500 dozlu numune serileri hazırlanmıştır. Deneyde bu karışımların çökme değerleri sabit tutulmuş, hava içeriği %3 kabul edilmiştir. Her bir doz deney serisinin karışım oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Betonun karılmasında 100 dm³ hacme sahip yatay eksenli laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Karışımda ince ve iri agrega mikser konulmuş 1 dakika kuru olarak karıştırılmıştır. Sonrasında çimento eklenmiş ve 2 dakika daha karıştırılmıştır. Karışım suyunun 2/3’ü karışıma ilave edildikten sonra 2 dakika çalıştırılmış, geri kalan suyun tamamı karışıma eklenerek 3 dakika daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Taze beton yerleştirilirken, betonun homojenliğini kaybetmemesi ve segregasyona uğramaması dikkate alınarak numune kaplarına yerleştirilmiştir. Numunelerin prizini tamamlaması için üzeri nemli bezle örtülerek bir gün beklenmiş ve sonrasında su sıcaklığı 20±2 °C olan kür havuzunda 3, 7 ve 28 gün bekletilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton karışım oranları

Bileşenler		Birimi	Karışım Miktarları											
			300 Doz				400 Doz				500 Doz			
			Kontrol	SNMC	KBP	PLP	Kontrol	SNMC	KBP	PLP	Kontrol	SNMC	KBP	PLP
Agrega Elek Aralığı (mm)	8 - 16	kg	96	373	363	363	87	338	329	415	78	302	294	294
	4 - 8	kg	202	224	281	187	183	203	254	214	164	181	228	151
	0 - 4	kg	737	408	436	571	667	369	394	516	600	330	353	462
Su		kg	575	400	400	360	580	350	450	400	500	350	390	385
Çimento		kg	300	300	300	300	400	400	400	400	500	500	500	500

4.2. Mineralojik-petrografik özellikleri

Mağmatik kayalar kimyasal bileşimlerine göre asit, nötr, bazik ve ultrabazik kayalar şeklinde sınıflandırılırlar. Asit kayalar (silice zengin kayalar) aynı zamanda alüminyum, sodyum, potasyumca zengin kayalardır. Buna karşın çok az kalsiyum, magnezyum ve demir ihtiva ederler (Gültekin, 2009). Mağmatik kayaları oluşturan silikat mineralleri ancak X-ışınları ile saptanabilen içyapılarına (structure) göre sınıflandırılırlar. Mağmatik kayaları oluşturan mineraller ve bu minerallerin yer kabuğunu teşkil eden tüm kayaların bileşimindeki miktarları şu şekildedir: feldispatlar %60, kuvars %12, amfiboller % 8, piroksenler % 8, mika grubu mineralleri % 4, olivin % 3, demir oksit mineralleri % 3 ve diğerleri % 2'dir (Ersoy ve Helvacı, 2011).

Kayaç yapıcı mineraller çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Örneğin kayaç içindeki önemleri göz önünde tutularak; birincil (primer), ikincil ve yabancı kökenli minerallerdir. Kayaç yapıcı ana mineral gruplarından silis grubunda, mağmatik kayalar içerisinde en çok bulunan silis mineralleri kuvars (heksagonal), tridimit (ortorombik) ve kristobalittir (tetragonal). Asidik bileşimli derinlik ve yüzey kayalarında en çok kuvarsa rastlanırken, tridimite yüzey kayalarında (örneğin bazı trakitler) rastlanır. Mağmatik petrografi laboratuvarı kapsamında incelenecek olan kayaç örneklerinde yalnızca kuvars görülür. Kuvarsın en belirgin özellikleri şunlardır (Ersoy ve Helvacı, 2011):

- El örneklerinde genellikle saydam ve grimsi renklere olup buz görünümüne sahiptir.
- Dilinim özelliği olmadığından parlak ve düzgün bir yüzey sunamaz. Bu özellikleri ile feldispatlardan rahatlıkla ayrılabilir.
- İnce kesit örneklerinde genelde özşekilsiz, düzensiz çatlaklı, yüzey kayalarında bazen kenarlarından itibaren kemirilmiş (körfez yapısı) ve yuvarlatılmış şekillerdedir.
- Gri-sarı tonlarında girişim rengine sahiptir. Tek optik (+) eksenlidir.

—Mikroskop tablası döndürüldüğünde sönmesinin çok ani olduğu görülür.

—Ayrışma sunmadığından paralel nikolde temiz bir yüzey sunması ile feldispatlardan ayırt edilebilmektedir.

Feldispat grubunda, feldispatlar potasyum, sodyum ve kalsiyum olmak üzere üçlü sistemde incelenirler. Sodyumlu uç üyeleri albit (Ab), kalsiyumlu uç üyeleri anortit (An) ve potasyumlu uç üyeleri ortoklasdır (Or) (ya da sanidin, mikroklin). Na ve Ca feldispatlar (Na-Ca Feldispatlar) plajioklas serisi olarak tanımlanır. Alkali feldispatlar daha çok derinlik (plütonik) kayalarda görülür (Ersoy ve Helvacı, 2011).

—El örneklerinde kırmızı, pembe, kahverengi ya da beyaz olabilir.

—Çift kırınım değeri düşük olup gri-beyaz arasında girişim renklerine sahiptir.

—Çift nikolde renksiz görülür. Ayrışma nedeniyle yüzeyinde gelişen kil mineralleri yüzünden çift nikolde kirli bir görünüm sunar, bu özelliği ile kuvarstan ayrılabilir.

—Çift kırınım değeri düşük olup gri-beyaz arasında girişim renklerine sahiptir.

Na-Ca feldispatlarda (plajioklaslar), Na'lu uç üyeleri albit (asidik), Ca'lu uç üyeleri anortittir (bazik). Bir kayaç içindeki plajioklas minerallerinin türleri anortit (ya da bazen albit) yüzdesine göre ifade edilir. Plajioklasların bileşimleri mikroprop yöntemleri ile belirlenir. Bundan başka optik özelliklerinden (sönme açılarından) yararlanılarak An miktarları saptanabilir. Hem derinlik hem de yüzey kayalarında önemli bir bileşendir (Ersoy ve Helvacı, 2011).

—El örneklerinde mat beyaz renkleri karakteristiktir.

—Dilinin sunmaları nedeniyle makroskopik örneklerinde ışığı tam yansıtması ile görülen düzgün yüzeyler boyunca kırılmışlardır. Gri-beyaz renkli plajioklaslar bu özellikleri ile kuvarstan ayırt edilebilir.

—İkiz düzlemleri oldukça düzgündür.

Plajjoklasların türleri sönme açılarından yararlanılarak bulunabilmektedir. Ancak en kesin sonuçlar kimyasal analizler yardımıyla elde edilir. Mikroskop yardımı ile plajjoklasların cinsi saptanırken albit yasasına göre ikizlenmiş plajjoklasların sönme açıları bulunur. Ancak bu işlem için yüzeyine dik kesitlerin bulunması gerekir. Bu yüzeyler saptanırken dikkat edilmesi gereken özellikler (Ersoy ve Helvacı, 2011);

—İkiz sınırları kesin olmalı ve bir çizgi halinde olmalıdır.

—Kristalin her iki ikiz lamelindeki sönme ikiz sınırlarına göre simetrik ve aynı büyüklükte olmalıdır.

—İkiz sınırları haç kıl ile paralel getirildiğinde mineralde ikizlenme izlerinin kaybolması gerekir. Bu durumda mineral ya tamamen gri ya da tamamen açık gri görülecektir.

Amfibol grubu mineraller ortaç ve asidik bileşimli derinlik ve yüzey kayalarında görülen mafik minerallerden biridir. Magmatik kayalarda görülen en önemli amfibol grubu mineralleri hornblend (monoklinik) ve lamprobolitdir. Hornblend mineralleri genelde asidik-ortaç kayalarda, lamprobolit (bazik amfibol) mineralleri ise ortaç ve bazik kayalarda görülür (Ersoy ve Helvacı, 2011).

—El örneklerinde siyah renkli olup ince uzun çubuksu kristaller halinde gözlenirler. Bu özellikleri ile diğer siyah renkli mineral olan biyotitten rahatlıkla ayrılır. Piroksenlerden ise daha ince ve koyu renkli olması ile ayrılır.

—Kristal şekilleri ile ayrılamaması durumunda kendine benzeyen biyotitlerden levhamsı özelliklerinin olmayışı ile ayırt edilebilir.

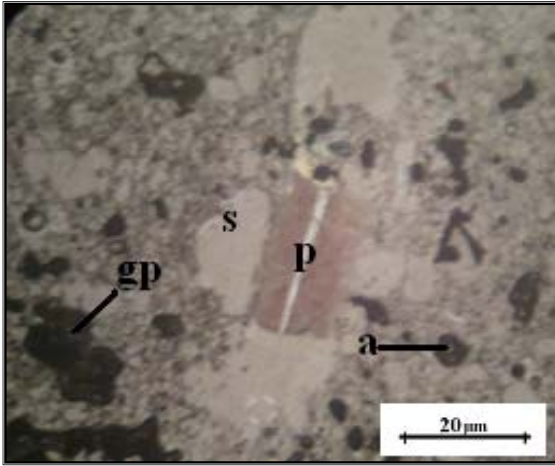
—İnce kesitlerde hornblendler yeşil, lamprobolitler kahverengi pleokrizma renklerine sahiptir.

4.2.1. Polimer kaplanmamış agregaların mineralojik-petrografik özellikleri

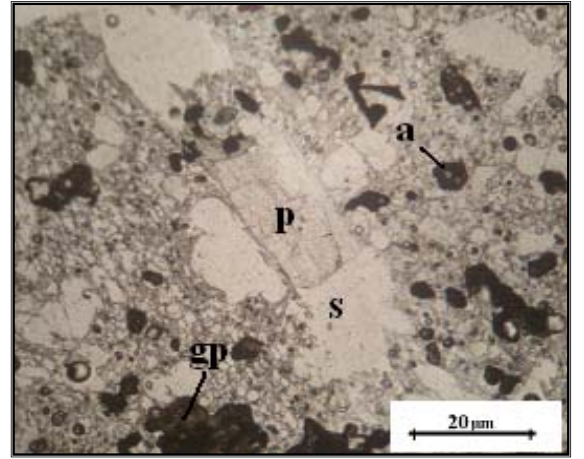
Kayseri ili Talas ilçesi Başakpınar bölgesinden alınan deney numunelerinin mineralojik-petrografik özellikleri bu bölümde verilmiştir.

Kayseri ili Talas ilçesi Başakpınar bölgesinden 30 m derinlikten çıkartılan pomza agrega numunelerinin mikroskop altındaki ince kesit görüntüsünde, plajiolaz (P), amfibol (A), camsı hamur (C) ve gözenekler (G) mevcuttur (Şekil 4.1.a-b). Plajiolazlar polisentetik ikizli çubuk şeklinde yaklaşık %3-%5 kadar, tek kristaller halinde, nadiren yan yana gelmiş halde bulunmaktadır. Amfiboller yarı öz şekilli, baklava dilinimli, amorf maddesi içerisine saçılmış, tek taneler halinde, nadiren toplanmalı, kristal boyutları 0.1–0.3 mm arasında kristal halindedir. Gözenek oranı %35-%40, camsı madde oranının ise %55-%60 civarında olduğu görülmektedir.

Derinliği 33 m'den alınan numunelerin mikroskop altındaki ince kesit görüntüleri incelendiğinde, tamamen gözenek ve amorf maddeden oluştuğu, %3-4 plajiyoklaz, %3-2 amfibol, %45-48 gözenek miktarı geri kalan kısmının camsı-yarı camsı olduğu görülmüştür (Şekil 4.2.a-b).

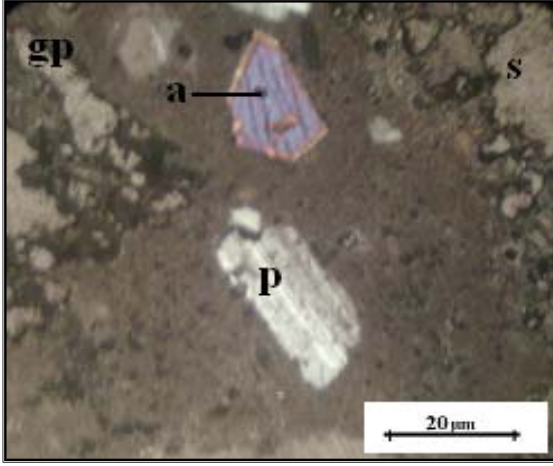


Şekil 4.1.a. 30m'den alınan pomzanın tek nikol mikroskop görünümü

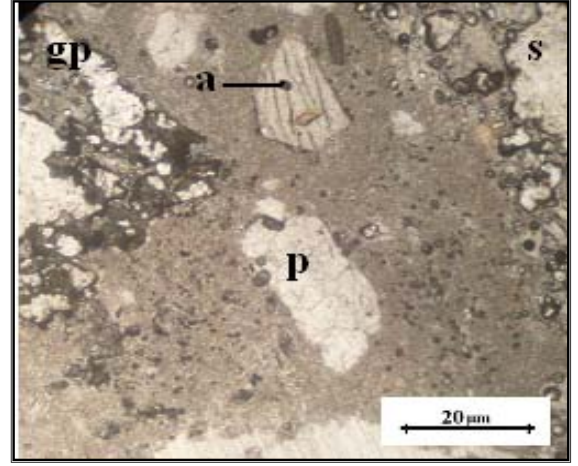


Şekil 4.1.b. 30m'den alınan pomzanın çift nikol mikroskop görünümü

(p: Plajiolaz, a: Amfibol, s: Gözenek, gp: Camsı Hamur)



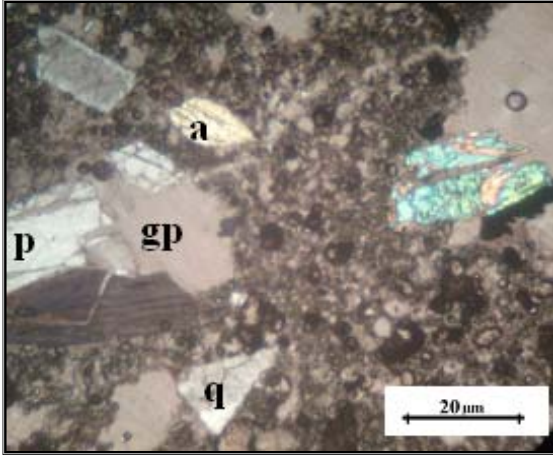
Şekil 4.2.a. 33 m'den alınan pomzanın tek nikol çekimi



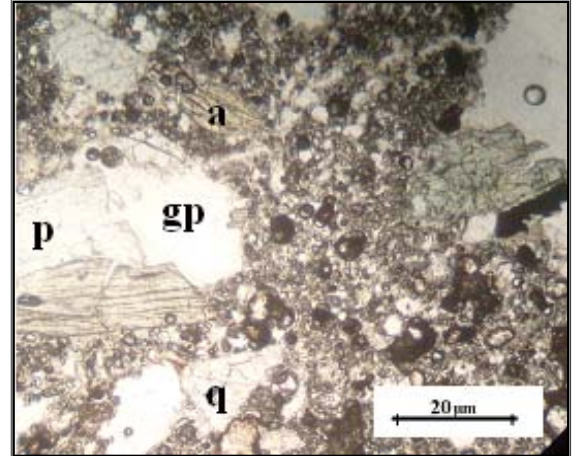
Şekil 4.2.b. 33 m'den alınan pomzanın çift nikol çekimi

(p: Pilajiolaz, a: Amfibol, s: Gözenek, gp: Camsı Hamur)

Derinliği 36 m olan deney numunelerinin mikroskop altında ince kesitlerinin görüntülerinin incelenmesinde %6–8 pilajiolaz, %3–4 amfibol, %5–8 kuvars olduğu görülmüştür (Şekil 4.3.a-b).



Şekil 4.3.a. 36 m'den alınan pomzanın tek nikol çekimi



Şekil 4.3.b. 36 m'den alınan pomzanın çift nikol çekimi

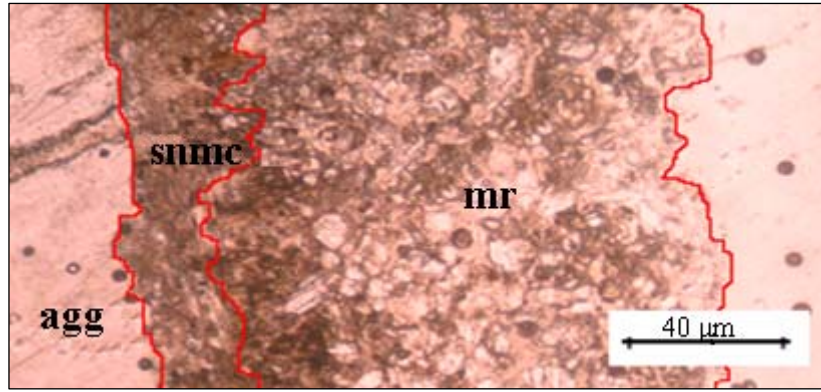
(p: Pilajiolaz, a: Amfibol, q: Kuvars, gp: Camsı Hamur)

Deneyde kullanılmak üzere 30 m, 33 m ve 36 m derinliklerinden elde edilen numunelerin mikroskop altındaki ince kesit görüntülerinin incelenmeleri sonucunda, kayacın dasit bileşimli asidik magma ürünü olduğu belirlenmiştir.

4.2.2. Polimer kaplı pomza agregalarının mineralojik ve petrografik özellikleri

— SNMC kaplı agregalar

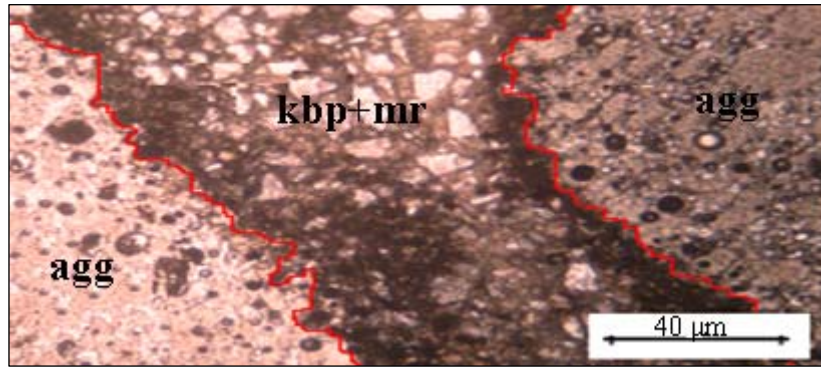
SNMC kodlu polimer ile kaplı agregaların ince kesitleri incelendiğinde (Şekil 4.4), ortalama 1 mm kalınlıkta, nadiren de olsa 1 mm'den daha kalın polimer kaplandığı görülmektedir. Aynı zamanda polimerin agrega içerisindeki çatlaklara nüfus ettiği belirlenmiştir.



Şekil 4.4. SNMC polimer ile kaplı agregaların ince kesit resmi (agg: agrega, snmc: kullanılan polimer, mr: mermer tozu)

— KBP kaplı agregalar

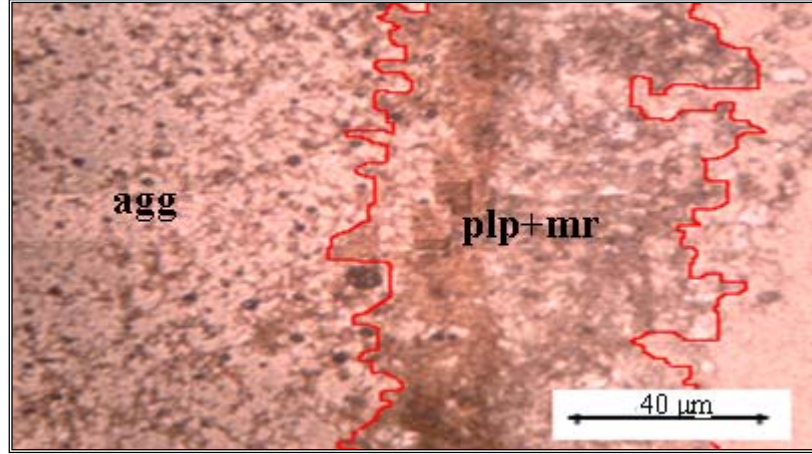
KBP kodlu polimer ile kaplı agregaların ince kesitleri incelendiğinde (Şekil 4.5), polimerin kristalleştiği ve mineral oluştuğu görülmektedir. Polimer kaplama kalınlıkları ortalama 0.5 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. KBP polimer ile kaplı agregaların ince kesit resmi (agg: agrega, kbp: kullanılan polimer, mr: mermer tozu)

— PLP kaplı agregalar

Pomza ile PLP polimer ile aynı renkte olduğundan, agrega tanesinin etrafında çok daha kalın bir kaplama zonu oluştuğu, bu kaplama kalınlığının 1.5 mm'ye kadar çıktığı görülmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. PLP polimer ile kaplı agregaların ince kesit resmi (agg: agrega, plp: kullanılan polimer, mr: mermer tozu)

4.3. Agrega Deney Sonuçları

4.3.1. Özgül ağırlık

Agrega ve suyun hacimce yer değiştirme esasına göre, polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregaların özgül ağırlıkları bulunmuştur. Deneysel sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Özgül ağırlık değerleri, (g/cm³)

Göz açıklığı (mm)	Özgül ağırlık değerleri (g/cm ³)			
	Kontrol	SNMC	KBP	PLP
0 – 4	1.57	1.57	1.57	1.57
4 – 8	1.03	1.25	1.37	1.51
8 – 16	0.98	1.20	1.28	1.45

Beton üretiminde agreganın homojenliğini sağlamak için, hafif agregalar suda yüzdürülerek su yüzeyindekiler ayrılmıştır. Polimer kaplanmayan 0–4 mm göz açıklığına sahip agregaların özgül ağırlıkları 1.57 g/cm^3 bulunmuştur. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi agrega özgül ağırlıkları $0.98\text{--}1.64 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Ancak, kontrol agregalarına göre, 4–8 mm ve 8–16 mm göz açıklığına sahip agregaların özgül ağırlık değerlerinin polimer kaplaması ile arttığı, literatürde belirtilen minimum agrega özgül ağırlık değerinin (2.1 g/cm^3) altında kaldığı belirlenmiştir.

4.3.2. Gevşek birim ağırlık

TS 3529’a göre elde edilen polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregaların gevşek birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Polimer kaplanmayan 0–4 mm göz açıklığına sahip agregaların gevşek birim ağırlıkları 225 kg/m^3 bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, literatürde verilen değerler ($480\text{--}880 \text{ kg/m}^3$) arasında olmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.3. Gevşek birim ağırlık, (kg/m^3)

Göz açıklığı (mm)	Gevşek birim ağırlık değerleri, kg/m^3			
	Kontrol	SNMC	KBP	PLP
0 – 4	225	225	225	225
4 – 8	272	282	315	330
8 – 16	221	230	290	245

Bu durum betonun homojen agregalardan oluşması için, agregaların suda yüzdürülerek üzerinde kalanların alınması, dolayısıyla gevşek birim ağırlık değerinin belirlenmesinde etkili olan özgül ağırlık değerinin düşük olması ile açıklanabilir. Çizelgede, polimer kaplı agregaların özgül ağırlık değerlerinin artışıyla, her bir numune serisinde gevşek birim ağırlık değerlerinin arttığı görülmektedir.

4.3.3. Su emme oranı

Polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregaların hava kurusu durumundaki ağırlığına göre su emme yüzdeleri sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Su emme oranı (%)

Göz açıklığı (mm)	Su emme oranı değerleri, %			
	Kontrol	SNMC	KBP	PLP
0 – 4	48.2	48.2	48.2	48.2
4 – 8	43.1	10.2	2.1	8.5
8 – 16	34.0	7.6	4.8	8.1

Deney sonuçları incelendiğinde, 0–4 mm göz açıklığına sahip polimer kaplanmamış agregaların su emme oranının %48.2 olduğu belirlenmiştir. Agregaların polimer kaplanması nedeniyle su emme oranları, 4–8 mm göz açıklığına sahip agregalarda kontrol agregalarına göre, SNMC'de %76, KBP'de %95 ve PLP'de %80 ve 8–16 mm göz açıklığına sahip agregalarda ise SNMC'de %78, KBP'de %85 ve PLP'de %76 oranında azalmıştır. Deney sonuçları literatürde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri ile kıyaslandığında da, ince agregalarda istenilen %20'yi ve iri agregalarda istenilen %30'u geçmediği belirlenmiştir.

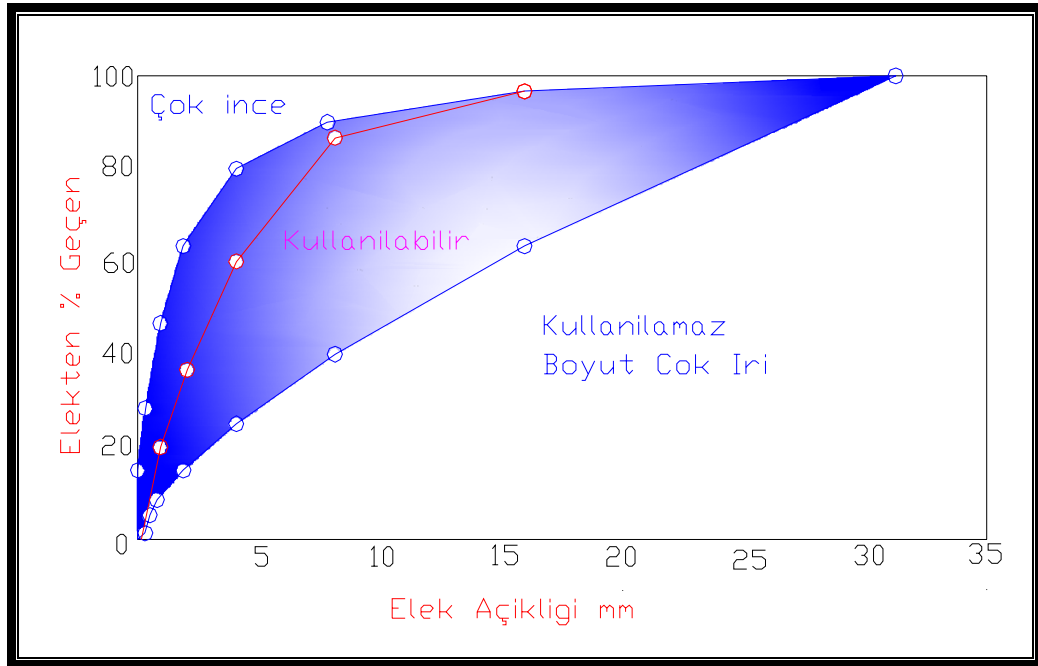
4.3.4. Tane büyüklüğü dağılımı

Üzerindeki tozların temizlenmesi ve polimer kaplamasına uygun hale getirilebilmesi için ocaktan alınan pomza agregaları, içi su dolu kaplara boşaltılarak yüzdürülmüştür. Suyun üzerinde kalan agregalar toplanarak homojen bir beton üretimine zemin hazırlanmıştır. TS EN 1097–5 standardına göre agregalar etüvde 110 °C'de 24 saat kurutulmuştur. Etüv kurusu haline gelen agregalar TS 3530 EN 933–1 standardına uygun olarak elek analizine tabi tutulmuştur. Polimer kaplı agregaların boyut değişme ihtimaline bağlı olarak polimer kaplandıktan sonra elek analizi yapılmıştır. Tane büyüklüğü dağılımı deneyi sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Yapılan tane büyüklüğü dağılımı deneyi sonucunda, Kayseri ili Talas ilçesi Başakpınar mevki pomzasının tane büyüklüğü dağılımının TS 1114 standardına uygun olduğu ve granülometrik açıdan hafif agrega olarak kullanılabilceği belirlenmiş ve granülometri eğrisi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Elek analizi kümülatif değerleri, (%)

Göz Açıklığı (mm)	% Elekten Geçen (Kümülatif)			
	Kontrol	SNMC	KBP	PLP
16	100	98	100	99
8	87	59	62	50
4	61	35	35	33
2	37	25	26	22
1	20	13	16	8
0	0	0	0	0



Şekil 4.7. Pomza agregası elek analizi mukayeseli sonuçları

4.4. Taze Beton Numuneleri Deney Sonuçları

4.4.1. Çökme (Slump) deneyi

Çökme (slump) değerinin ACI 213R-87'ye göre maksimum 100mm olması istenmektedir. Karışımlar hazırlanırken sabit çökme değerinde çalışılmış ve çökme sınıfı TS EN 206-1'e göre S3 (100–150 mm) olarak belirlenmiştir.

4.4.2. Birim ağırlık deneyi

TS 2941'e göre üretilen betonların taze birim ağırlık deneyi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Üretilen taze betonların birim ağırlık deney sonuçları, (kg/m³)

Karışımlar		Taze Birim Ağırlık (kg/m ³)
300 DOZ	Kontrol	974
	SNMC	1192
	KBP	1196
	PLP	1120
400 DOZ	Kontrol	1038
	SNMC	1122
	KBP	1248
	PLP	1193
500 DOZ	Kontrol	1116
	SNMC	1314
	KBP	1376
	PLP	1268

Üretilen taze betonların birim ağırlıkları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 dozda %7 ve 500 dozda %15 artmıştır.

Dozajlara göre üretilen taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinin birim ağırlıkları %22, %23 ve %15, 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinin birim ağırlıkları %8, %20, %15 ve 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinin birim ağırlıkları ise %18, %23 ve %14 artmıştır.

Dozajlarına bağlı olarak değişken üretilen taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %6 azalmış ve 500 dozlu numuneler %10 artmıştır. KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %4 ve 500 dozlu numuneler %15 artmıştır. PLP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %7 ve 500 dozlu numuneler %13 artmıştır.

Üretilen taze betonların birim ağırlıklarının 974 kg/m^3 ile 1376 kg/m^3 arasında değiştiği görülmüştür. Taze betonun birim ağırlıkları, çimento miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır. Kontrol numunelerinin taze birim ağırlıkları, polimer kaplı agregalardan elde edilen taze beton numunelerine oranla daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni olarak, kaplamada kullanılan polimerlerin yoğunluğunun, agrega özgül ağırlığını etkilenmesi gösterilebilir.

4.5. Sertleşmiş Beton Numunelerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.5.1. Birim ağırlık

Her bir deney numunesine ait hafif beton numunelerinin birim ağırlıkları hesaplanarak deney sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Hafif beton numunelerin birim ağırlıkları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 dozda %8 ve 500 dozda %17 artmıştır.

Dozajlara göre hafif betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinin birim ağırlıkları %25, %26 ve %18, 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinin birim ağırlıkları %8, %21, %16 ve 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinin birim ağırlıkları ise %18, %24 ve %14 artmıştır.

Çizelge 4.7. Birim ağırlıkları, (kg/m³)

Karışımlar		Birim Ağırlık (kg/m ³)
300 DOZ	Kontrol	928
	SNMC	1160
	KBP	1164
	PLP	1091
400 DOZ	Kontrol	1000
	SNMC	1081
	KBP	1210
	PLP	1162
500 DOZ	Kontrol	1084
	SNMC	1281
	KBP	1341
	PLP	1239

Dozajlarına bağlı olarak üretilen hafif betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %7 azalmış ve 500 dozlu numuneler %10 artmıştır. KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %4 ve 500 dozlu numuneler %15 artmıştır. PLP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %7 ve 500 dozlu numuneler %13 artmıştır.

Birim ağırlık değerleri incelendiğinde, polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalardan elde edilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri 1660 ile 1940 kg/m³ arasında değişmektedir. Bu değerlerin literatürde verilen üst sınırı (2000 kg/m³) geçmediği görülmektedir.

4.5.2. Basınç dayanımı

Polimer kaplı agregalarla elde edilen beton numunelerinin özelliklerinin araştırılması için polimer kaplanmamış (Kontrol numunesi) ve üç farklı polimer ile kaplanmış agregalar (SNMC, KBP, PLP) hazırlanmıştır. Her bir deney serisinden (300 Doz, 400 Doz ve 500 Doz) 100x100x100 mm boyutlarında toplam 108 adet küp beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin TS EN 12390-3'e göre yapılan

basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.8’de ve deney sonuçlarının grafiksel gösterimi, Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Beton numunelerin basınç dayanımları, (MPa)

Karışımlar		Basınç Dayanımları (MPa)		
		3 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
300 DOZ	Kontrol	3.5	5.0	8.5
	SNMC	4.3	5.7	8.8
	KBP	4.8	6.3	9.7
	PLP	2.8	4.0	5.5
400 DOZ	Kontrol	5.5	7.0	12.3
	SNMC	5.7	6.7	9.7
	KBP	6.5	7.7	10.8
	PLP	3.8	3.9	5.7
500 DOZ	Kontrol	9.2	11.3	16.7
	SNMC	8.2	9.2	14.8
	KBP	10.2	12.5	17.3
	PLP	5.5	6.7	8.0

Kaplanmış hafif beton numunelerinin, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, 3 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değer 500 doz KBP (10.2 MPa) ve en düşük 300 doz PLP (2.8 MPa) polimer kaplı agregalarla üretilen numunelerden elde edildiği görülmüştür. 7 günlük basınç dayanımlarında da en yüksek değer 500 Doz KBP (12.5 MPa) ve en düşük 400 doz PLP (3.9 MPa) polimer kaplı agregalarla üretilen numunelerden elde edildiği bulunmuştur. 28 günlük en yüksek basınç dayanımı 500 doz KBP kaplı numuneden (17.3 MPa), en düşük dayanım 300 doz PLP kaplı numuneden (5.5 MPa) elde edilmiştir.

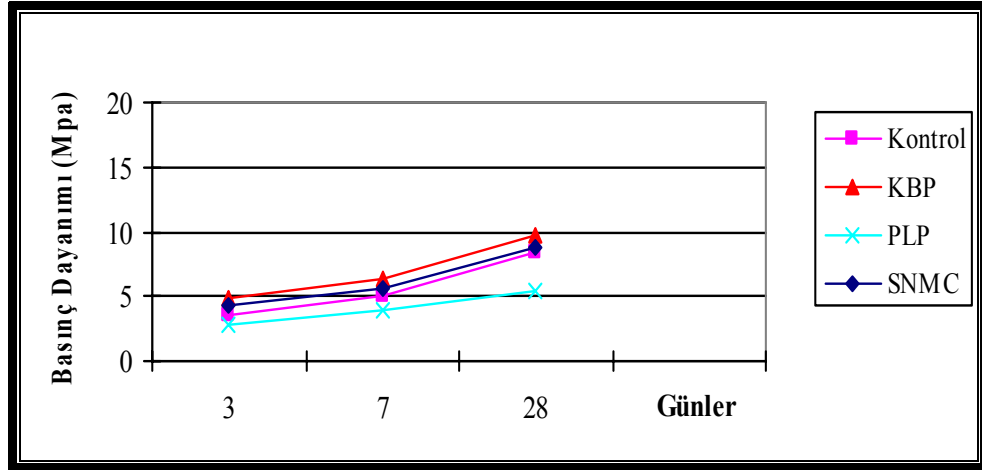
Kontrol numunelerinde dozaj artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. Söz konusu numunelerin basınç dayanımları; 300 dozda 8.5 MPa, 400 dozda 12.3 MPa ve 500 dozda 16.7 MPa bulunmuştur.

Dozajlara göre, kontrol numuneleri ile kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve KBP numunelerinin basınç dayanımları %3,5 ve %14

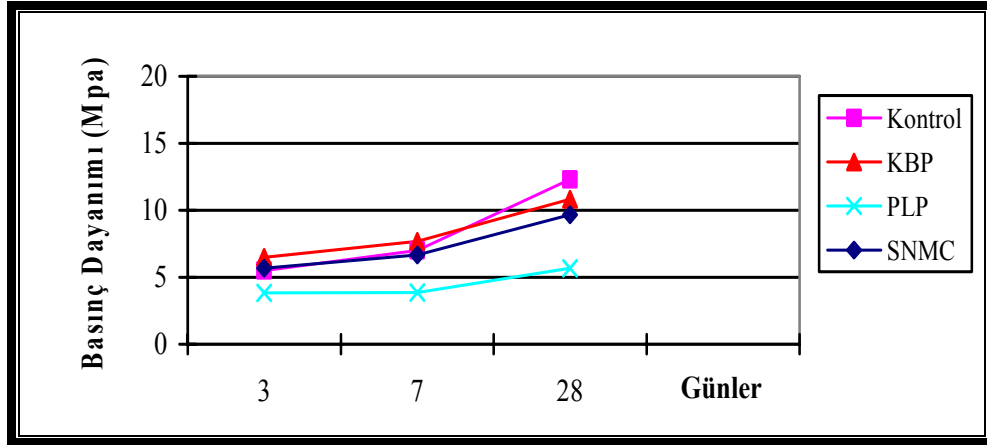
artarken, 300 doz PLP numunesinin ise %35 azalmıştır. 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinde sırasıyla %21, %12 ve %54 azalmıştır. 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP numunelerinin basınç dayanımları %11 ve %52 azalırken, KBP numunelerinin %4 arttığı görülmüştür.

Dozajlarına bağlı olarak değişken kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %10 ve 500 dozlu numuneler %68 artmıştır. KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 doz numuneler %11 ve 500 dozlu numuneler %78 artmıştır. PLP numunelerinde ise 300 doza göre; 400 doz numuneler %4 ve 500 doz numuneler %45 artmıştır. Basınç dayanım sonuçlarına göre; numunelerin kendi aralarında dozaj artışına bağlı olarak tutarlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir.

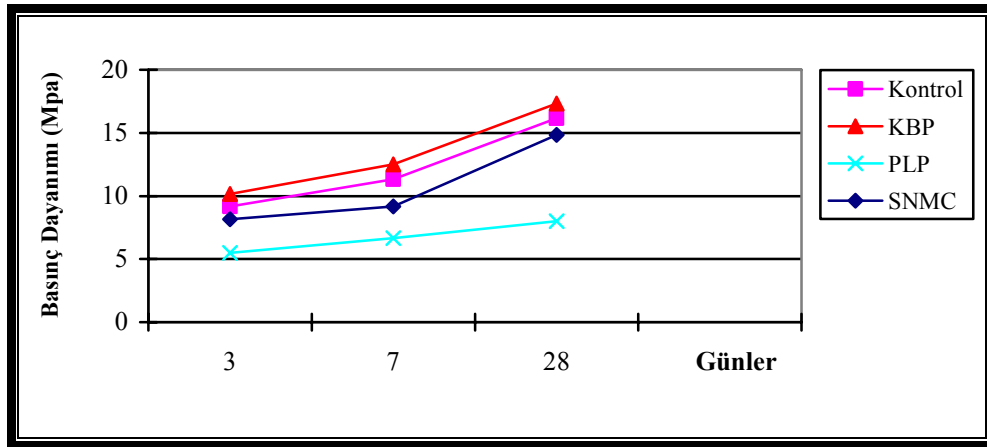
Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları TS EN 206-1'e göre (9–88 MPa) incelendiğinde, 300 dozlu serilerde KBP, 400 dozlu ve 500 dozlu serilerde Kontrol, SNMC ve KBP numunelerinin standart değerler arasında olduğu, PLP kaplı numunelerin hiçbir dozda standart değerler arasında olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.8. 300 doz basınç dayanım grafiği



Şekil 4.9. 400 doz basınç dayanım grafiği



Şekil 4.10. 500 doz basınç dayanım grafiği

4.5.3. Yarmada çekme dayanımı

Her bir deney serisinden 28 günlük 100x200 mm boyutlarında, toplam 36 adet silindir beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin TS EN 12390-6'ya göre yapılan yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.9'da ve grafik gösterimi Şekil 4.11'de verilmiştir. Yarmada çekme dayanım deney sonuçlarının, basınç dayanım deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için kontrol numunelerin değerleri %100 kabul edilmiştir.

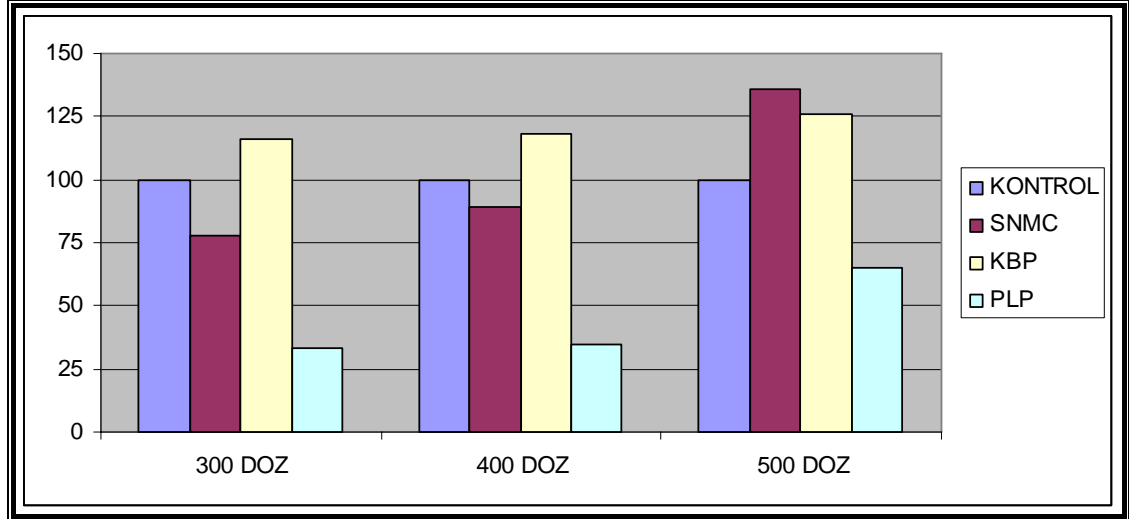
Çizelge 4.9. 28 günlük yarmada çekme dayanımları, (MPa)

Deney Numunesi		Basınç Dayanımları		Yarmada Çekme Dayanımları	
		MPa	%	MPa	%
300 DOZ	KONTROL	8.5	100	0.96	100
	SNMC	8.8	104	0.75	78
	KBP	9.7	114	1.11	116
	PLP	5.5	65	0.32	33
400 DOZ	KONTROL	12.3	100	1.17	100
	SNMC	9.7	79	1.04	89
	KBP	10.8	88	1.39	118
	PLP	5.7	46	0.41	35
500 DOZ	KONTROL	16.7	100	1.25	100
	SNMC	14.8	89	1.70	136
	KBP	17.3	104	1.58	126
	PLP	8.0	50	0.81	65

Hafif beton numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 dozda %22 ve 500 dozda %30 artmıştır.

Dozajlara göre 28 günlük yarmada çekme dayanımları karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP, %22 ve %67 azalmış, KBP %16 artmıştır. 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP numuneleri %11 ve %65 azalmış, KBP %19 artmıştır. 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve KBP %36 ve %26 artarken, PLP numuneleri %35 azalmıştır.

Dozajlarına bağlı olarak değişken kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanım değerleri karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %39 ve 500 dozlu numuneler %127 artmıştır. KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 doz numuneler %125 ve 500 dozlu numuneler %42 artmıştır. PLP numunelerinde ise 300 doza göre; 400 doz numuneler %28 ve 500 doz numuneler %53 artmıştır.



Şekil 4.11. Yarmada çekme dayanım değerlerinde değişim

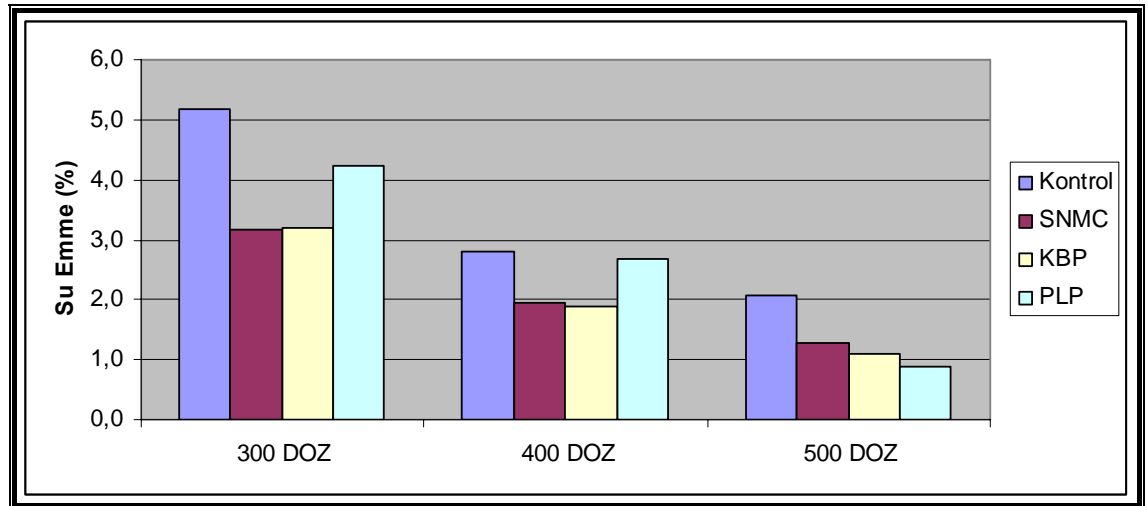
Basınç mukavemetini etkileyen faktörler aynı etkinliklerini çekme mukavemeti üzerinde gösterirler. (Postacıoğlu, 1987). Her numune serisindeki yarmada çekme dayanımı sonuçları beton üretiminde hafif agregaya (ince ve iri agregaya) kullanılması nedeniyle düşük çıkmıştır. Numunelerde dozlar arasındaki artışın çimento dozajına bağlı olarak artması, PLP numunesinin yarmada çekme dayanımının ise kontrol numunesine göre düşük çıkması, agregaya etrafını kaplayan polimerin çimento harcı ile aderansının düşük olması şeklinde yorumlanabilir.

4.5.4. Beton numunelerde su emme oranı

Betonun emebileceği su miktarı, betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmiyle ilgilidir. Betondaki toplam boşluk hacmi ise betonda kullanılan su/çimento oranı, agregaya cinsi, kür koşulları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir (Erdoğan, 2007). Beton karışım hesabında hafif agregaların su emme oranlarının bilinmesi hesaplamada kullanılması açısından oldukça önemlidir. Su emme deneyi için her bir deney serisinden üçer adet olmak üzere toplam 36 adet 100x100x100 mm küp numuneler üretilmiştir. Polimer kaplı agregalarla üretilmiş olan hafif betonun su emme deneyi ile ilgili veriler Çizelge 4.10'da ve Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Beton numunelerde su emme oranları, (%)

Karışımlar		Su Emme Oranı (%)
300 DOZ	Kontrol	5.2
	SNMC	3.2
	KBP	3.2
	PLP	4.2
400 DOZ	Kontrol	2.8
	SNMC	2.0
	KBP	1.9
	PLP	2.7
500 DOZ	Kontrol	2.1
	SNMC	1.3
	KBP	1.1
	PLP	0.9



Şekil 4.12. Beton numunelerde su emme oranları

Çimento oranı artışına bağlı olarak hafif beton numunelerin su emme oranları azalmıştır. Kontrol numunelerinde 300 doza göre; 400 dozda %46 ve 500 dozda %60 azalmıştır.

Dozajlara göre, kaplanmamış agregalı (kontrol) numuneleri ile kaplanmış agregalı beton numunelerin su emme oranları karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinde %39, %39 ve %19, 400 doz

kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinde %29, %32 ve %4 ve 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinde sırasıyla %38, %48 ve %57 azalmıştır.

Dozajlarına bağlı olarak üretilen hafif betonların su emme oranları karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %38 ve 500 dozlu numuneler %59, KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %41 ve 500 dozlu numuneler %66 ve PLP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %36 ve 500 dozlu numuneler %79 azalmıştır.

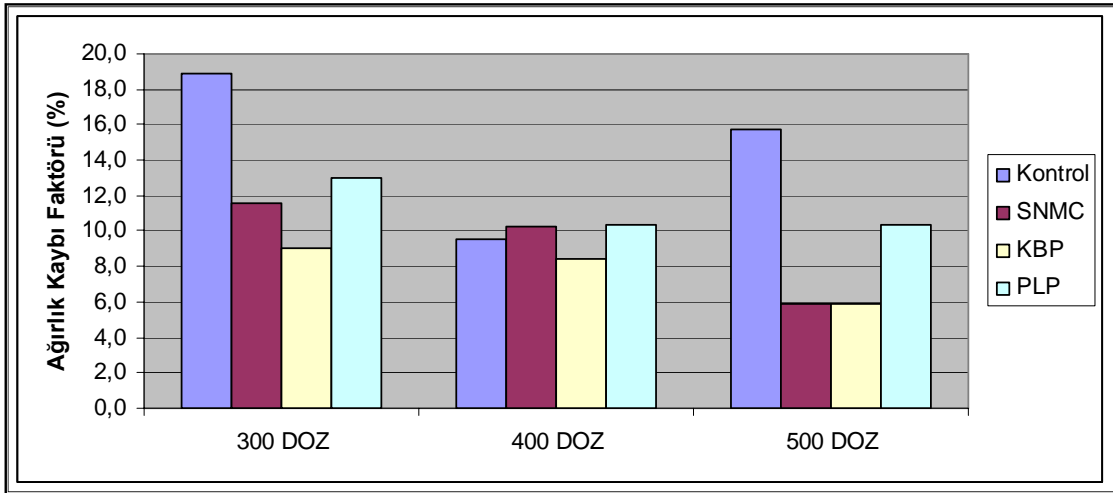
Su emme oranları (Şekil 4.12) incelendiğinde, çimento dozajının artışına bağlı olarak her bir numune serisinde su emme oranının azaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerine göre agregaları kaplayan polimer sebebi ile agregaya su geçişinin engellenmesi, polimer kaplı agregalarla üretilen beton numunelerinde su emme oranının azalmasını sağlamıştır.

4.5.5. Dona dayanım

Betonlar çeşitli doğa tesirlerine maruz kalmaktadır. Bunların içinde en etkili donma ve çözülmedir. Zira, malzeme boşluklarına dolan su (-) sıcaklıklardaki hava koşullarında donarak hacimce genişleme ve iç gerilmeler meydana getirir. Sonuçta betonda fiziksel bozukluklar, basınç dayanımında azalmalar olur (Oymael, 1995). Deneyin amacı, polimer kaplanmış ve kaplanmamış hafif agregalardan elde edilen beton numunelerinin donma-çözölmeye karşı davranışını ortaya koymaktır. Bu sebeple, 36 adet 100x200 mm boyutlarında silindir numuneler üretilmiştir. ASTM-C 310'a göre, ağırlık kaybı faktörü ve elastikiyet modülü faktörü bulunmuştur.

Çizelge 4.11. 30 çevrim sonunda ağırlık kaybı faktörü, (%)

Beton Numuneleri		Ağırlık Ölçümü (g)		Ağırlık Kaybı Faktörü (%)
		İlk Tartım	Son Tartım	
300 DOZ	Kontrol	2003.0	1624.6	18.89
	SNMC	2179.3	1928.1	11.53
	KBP	2310.7	2102.9	8.99
	PLP	2171.8	1888.5	13.04
400 DOZ	Kontrol	2128.6	1925.7	9.53
	SNMC	2158.3	1937.4	10.23
	KBP	2288.0	2094.3	8.47
	PLP	2191.7	1965.0	10.34
500 DOZ	Kontrol	1811.7	1526.7	15.73
	SNMC	2444.7	2301.0	5.88
	KBP	2441.6	2297.2	5.91
	PLP	2144.8	1923.5	10.32



Şekil 4.13. Ağırlık kaybı faktörü grafiği

Don tesirleri nedeniyle koparak ayrılan kısımlarda meydana gelen kütle azalması ağırlık kaybı faktörü (AF_w) Çizelge 4.11’de ve grafiksel gösterimi Şekil 4.13’te verilmiştir. Hafif beton numunelerin 30 çevrim sonunda ağırlık kaybı faktörü oranları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 dozda %50 ve 500 dozda %17 azalmıştır.

Dozajlara göre, kontrol numuneleri ile kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerin ağırlık kaybı faktörleri karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine

göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinde %39, %52 ve %31 azalmıştır. 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP numunelerinde %7 ve %9 artış gözlenirken KBP numunelerinde %11 azalmıştır. 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numunelerinde %63, %62 ve %34 azalmıştır.

Dozajlarına bağlı olarak değişken kaplanmış agregalarla üretilen hafif betonların ağırlık kaybı faktörleri karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %11 ve 500 dozlu numuneler %49, KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numuneler %6 ve 500 dozlu numuneler %34 ve PLP numunelerinde 300 doza göre; 400 ve 500 dozlu numunelerde %21 azalmıştır.

Polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalarla elde edilen beton numunelerinin dona dayanım sonunda ağırlık kaybı faktörleri incelendiğinde; polimer kaplı beton numunelerde don kaybının çimento dozajı arttıkça ağırlık kaybı azaldığı görülmektedir.

Donma-çözülmeye tabi tutulan deney numunelerinin, deney süresince 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 çevirim sonrasında ölçülen ultrasonik ses geçiş hızları (PGH) ve numunelerin bu değerler üzerinden bulunan bağıl dinamik elastikiyet modülü faktörleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Hafif beton numunelerin bağıl dinamik elastikiyet modülü faktörü oranları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 dozda %18 ve 500 dozda %9 artmıştır.

Dozajlara göre, kaplanmamış agregalı (kontrol) numuneleri ile kaplanmış agregalı beton numunelerin bağıl dinamik elastikiyet modülü faktörleri karşılaştırıldığında, 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP numunelerinde %9 ve %55 artarken, KBP numuneleri %64 azalmıştır. 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve KBP numunelerinde %92 ve %54 azalma gözlenirken, PLP numuneleri %39 artmıştır. 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC, KBP ve PLP numuneleri sırasıyla %92, %100 ve %100 azalmıştır.

Dozajlarına bağlı olarak değişken kaplanmış agregalarla üretilen hafif betonların bağıl dinamik elastikiyet modülü faktörleri karşılaştırıldığında, SNMC numunelerinde

300 doza göre; 400 ve 500 dozlu numunelerde %92 azalma, KBP numunelerinde 300 doza göre; 400 dozlu numunelerde %50 artış ve 500 dozlu numunelerde %100 azalma gözlenmiştir. PLP numunelerinde ise 300 doza göre; 400 dozlu numunelerde %6 artış ve 500 dozlu numunelerde %100 azalma olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.12. Dona dayanım deneyi sonucu bağıl dinamik elastikiyet modülünde değişim (%)

Karışım		Ultrases Hızı (km/sn)		Eo	En	EMF (%)
		V _o	V _{n 30}			
300 DOZ	Kontrol	2.62	2.47	64935	57713	11
	SNMC	2.71	2.54	86842	76288	12
	KBP	2.90	2.84	99788	95702	4
	PLP	2.06	1.88	47194	39307	17
400 DOZ	Kontrol	2.91	2.72	86321	75417	13
	SNMC	2.66	2.64	77969	76801	1
	KBP	2.94	2.85	106613	100186	6
	PLP	2.22	2.01	58377	47855	18
500 DOZ	Kontrol	2.64	2.47	77014	67415	12
	SNMC	3.08	3.10	126299	125488	1
	KBP	3.23	3.23	142615	142615	0
	PLP	2.41	2.41	73356	70344	0

Bağıl dinamik elastikiyet modülü faktörüne (EMF) göre yapılan değerlendirmede, literatürde hafif agregalarla üretilen betonların elastikiyet modülleri, normal ağırlıklı agregalarla üretilen betonların elastiklik modüllerinin genellikle %40-%80'i arasında (Erdoğan, 2007) olduğu, Çizelge 4.12'de ki değerlerinde bu sınırlar içerisinde bulunduğu görülmektedir.

Ultrasonik ses geçiş hızına göre yapılan incelemede (Çizelge 4.12), en düşük ultrases hızının 300 doz PLP numunelerinde ve en yüksek ultrases hızının 500 doz KBP numunelerinde olduğu gözlenmiştir. Tüm doz ve kaplama numunelerinin ultrasonik ses hızı değerleri, basınç ve yarmada çekme dayanımları ile uyum içindedir.

4.5.6. Sünme ve rötre

Sünme deformasyonu, betonun sabit yük altında zamana bağlı olarak gösterdiği deformasyondur. Rötre deformasyonu ise üzerinde yük bulunmadığı durumda dahi betonun zamana bağlı olarak gösterdiği deformasyondur. Her iki olayda da elde edilen “birim deformasyon- zaman” eğrileri birbirine oldukça benzerdir. Gerek sünme olayında ve gerekse rötre olayında büyük miktarlarda kalıcı deformasyon meydana gelmektedir (Erdoğan,2007).

Sünme ve rötre deneyinde, beton numunelerinden 300 ve 400 dozlu seriler, basınç dayanım değerlerinin düşük olması nedeniyle dikkate alınmamıştır. Sadece 500 dozlu beton numunelerinin sonuçları kıyaslanmıştır. Deneyler, her bir polimer kaplı agrega ile elde edilen beton numuneleri için, 1'er adet olmak üzere toplam 8 adet 100x300 mm boyutlarında silindir numunelere uygulanmıştır. Yükleme çerçevesine konulan numunelerin basınç dayanımlarının %40'ı kadar yük esas alınarak sünme davranışları belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Deney numunelerine uygulanan gerilmeler

Karışım	Numune Adedi	Max. Gerilme MPa	Sünme Gerilmesi (%40) MPa	Kullanılan Yay Adedi
Kontrol	3	16.17	6.50	1
SNMC	3	14.83	5.95	2
KBP	3	17.33	6.95	2
PLP	3	8.00	3.20	2

TS 3454 esaslarına göre yapılan hesaplamalarda betonların 840 saatlik sünme ve rötre deney sonuçları Çizelge 4.14'te ve 12 aylık sünme ve rötre deney sonuçları Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Betonların 840 saatlik birim gerilme deformasyonları

Süre	Uygulanan Gerilme	Ani Deform.	t Süresi Sonunda Deform.	Toplam Deform.	Rötre Deform.	Gerilme Deform.	Birim Gerilme Deform.
(Saat)	(N/mm ²)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	lt=ΔL / l ₁	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)
t	(α)	εα	ε _t	ε = ε _t -εα	lt	ε _t = ε - lt	ε _t / α
500 DOZ KONTROL							
6	6.50	1672.40	1604.57	67.83	6.55	61	9
24	6.50	1672.40	1572.00	100.40	6.55	94	14
48	6.50	1672.40	1571.67	100.73	6.54	94	14
72	6.50	1672.40	1570.57	101.83	6.63	95	15
96	6.50	1672.40	1538.10	134.30	6.61	128	20
120	6.50	1672.40	1570.33	102.07	6.61	95	15
144	6.50	1672.40	1569.13	103.27	6.61	97	15
168	6.50	1672.40	1538.77	133.63	6.61	127	20
336	6.50	1672.40	1505.63	166.77	6.63	160	25
504	6.50	1672.40	1504.30	168.10	6.66	161	25
672	6.50	1672.40	1538.60	133.80	6.52	127	20
840	6.50	1672.40	1505.23	167.17	6.56	161	25
500 DOZ SNMC							
6	5.95	1505.93	1273.30	232.63	1.52	231	39
24	5.95	1505.93	1272.63	233.30	-0.16	234	39
48	5.95	1505.93	1269.83	236.10	-0.17	236	40
72	5.95	1505.93	1269.37	236.56	1.52	235	40
96	5.95	1505.93	1238.37	267.56	1.44	266	45
120	5.95	1505.93	1240.80	265.13	1.46	264	44
144	5.95	1505.93	1240.37	265.56	1.45	264	44
168	5.95	1505.93	1240.00	265.93	1.49	264	44
336	5.95	1505.93	1172.67	333.26	3.08	330	55
504	5.95	1505.93	1172.20	333.73	3.13	331	56
672	5.95	1505.93	1173.23	332.70	1.49	331	56
840	5.95	1505.93	1170.70	335.23	1.52	334	56

Çizelge 4.14. Betonların 840 saatlik birim gerilme deformasyonları

Süre	Uygulanan Gerilme	Ani Deform.	t Süresi Sonunda Deform.	Toplam Deform.	Rötre Deform.	Gerilme Deform.	Birim Gerilme Deform.
(Saat)	(N/mm ²)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	lt=ΔL / l ₁	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)
t	(α)	εα	ε _t	ε = ε _t -εα	lt	ε _f = ε - lt	ε _f / α
500 DOZ KBP							
6	6.95	1236.47	1104.87	131.60	3.32	128	18
24	6.95	1236.47	1070.97	165.50	-0.02	166	24
48	6.95	1236.47	1070.17	166.30	0.03	166	24
72	6.95	1236.47	1068.90	167.57	0.01	168	24
96	6.95	1236.47	1038.80	197.67	0.05	198	28
120	6.95	1236.47	1038.40	198.07	0.06	198	28
144	6.95	1236.47	1038.13	198.34	0.02	198	29
168	6.95	1236.47	1037.50	198.97	0.05	199	29
336	6.95	1236.47	973.30	263.17	1.58	262	38
504	6.95	1236.47	972.83	263.64	0.07	264	38
672	6.95	1236.47	975.20	261.27	0.00	261	38
840	6.95	1236.47	973.27	263.20	0.01	263	38
500 DOZ PLP							
6	3.20	1368.53	1206.70	161.83	1.8	160	50
24	3.20	1368.53	1207.20	161.33	6.8	155	48
48	3.20	1368.53	1238.03	130.50	5.1	125	39
72	3.20	1368.53	1207.13	161.40	5.1	156	49
96	3.20	1368.53	1206.27	162.26	5.2	157	49
120	3.20	1368.53	1268.53	100.00	5.2	95	30
144	3.20	1368.53	1237.43	131.10	3.6	128	40
168	3.20	1368.53	1205.97	162.56	5.2	157	49
336	3.20	1368.53	1203.47	165.06	3.6	162	50
504	3.20	1368.53	1202.90	165.63	6.8	159	50
672	3.20	1368.53	1206.50	162.03	5.2	157	49
840	3.20	1368.53	1205.53	163.00	5.3	158	49

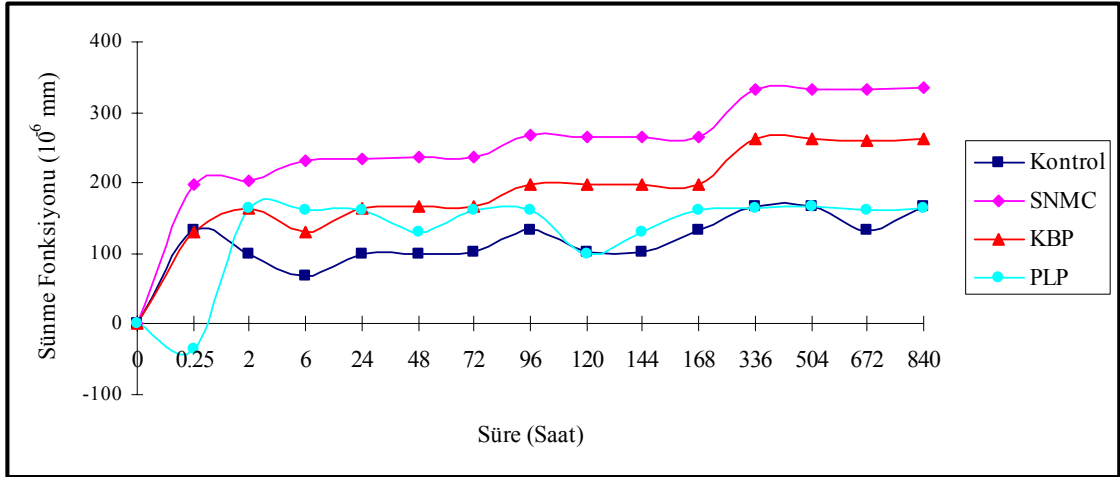
Çizelge 4.15. Betonların 12 aylık birim gerilme deformasyonları

Süre	Uygulanan Gerilme	Ani Deform.	t Süresi Sonunda Deform.	Toplam Deform.	Rötre Deform.	Gerilme Deform.	Birim Gerilme Deform.
(Ay)	(N/mm ²)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	lt=ΔL / l ₁	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)
t	(α)	εα	ε _t	ε = ε _t -εα	lt	ε _t = ε - lt	ε _t / α
500 DOZ KONTROL							
1	6.50	1672.40	1505.23	167.17	6.56	161	25
2	6.50	1672.40	1503.93	168.47	6.55	162	25
3	6.50	1672.40	1474.77	197.63	6.59	191	29
4	6.50	1672.40	1404.87	267.53	6.70	261	40
5	6.50	1672.40	1371.93	300.47	6.71	294	45
6	6.50	1672.40	1306.43	365.97	8.28	358	55
7	6.50	1672.40	1339.53	332.87	9.86	323	50
8	6.50	1672.40	1271.73	400.67	11.49	389	60
9	6.50	1672.40	1271.97	400.43	11.61	389	60
10	6.50	1672.40	1204.37	468.03	14.83	453	70
11	6.50	1672.40	1140.67	531.73	16.57	515	79
12	6.50	1672.40	1136.20	536.20	16.66	520	80
500 DOZ SNMC							
1	5.95	1505.93	1170.70	335.23	1.52	334	56
2	5.95	1505.93	1138.10	367.83	3.14	365	61
3	5.95	1505.93	1073.63	432.30	4.93	427	72
4	5.95	1505.93	1071.47	434.46	4.87	430	72
5	5.95	1505.93	1006.03	499.90	4.99	495	83
6	5.95	1505.93	972.00	533.93	6.49	527	89
7	5.95	1505.93	971.47	534.46	8.19	526	88
8	5.95	1505.93	939.40	566.53	8.18	558	94
9	5.95	1505.93	906.90	599.03	8.20	591	99
10	5.95	1505.93	905.37	600.56	8.28	592	100
11	5.95	1505.93	901.93	604.00	8.36	596	100
12	5.95	1505.93	872.93	633.00	9.93	623	105

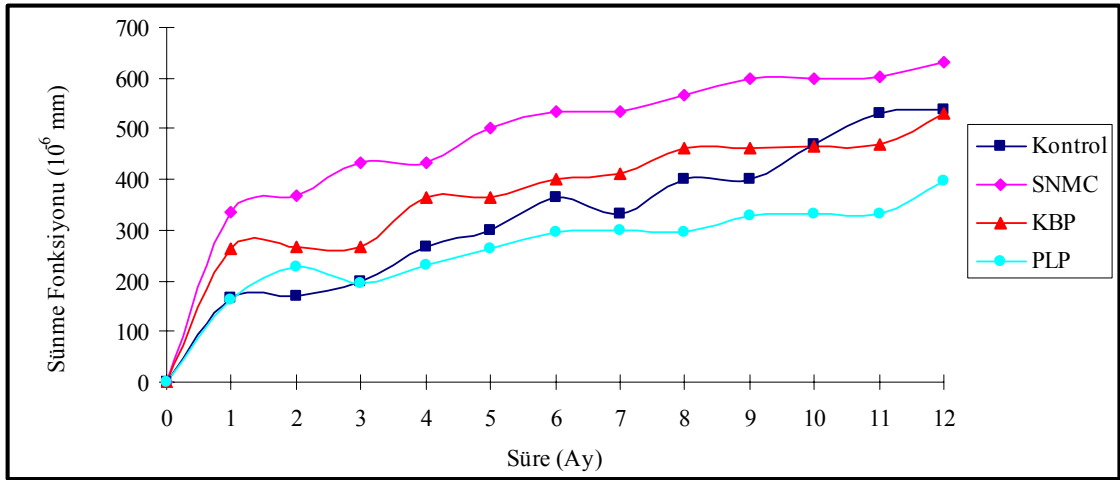
Çizelge 4.15. Betonların 12 aylık birim gerilme deformasyonları

Süre	Uygulanan Gerilme	Ani Deform.	t Süresi Sonunda Deform.	Toplam Deform.	Rötre Deform.	Gerilme Deform.	Birim Gerilme Deform.
(Ay)	(N/mm ²)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)	lt=ΔL / l ₁	(10 ⁻⁶ mm)	(10 ⁻⁶ mm)
t	(α)	εα	ε _t	ε = ε _t -εα	lt	ε _f = ε - lt	ε _f / α
500 DOZ KBP							
1	6.95	1236.47	973.27	263.20	0.01	263	38
2	6.95	1236.47	970.80	265.67	3.10	263	38
3	6.95	1236.47	967.93	268.54	3.27	265	38
4	6.95	1236.47	872.80	363.67	4.80	359	52
5	6.95	1236.47	870.73	365.74	4.96	361	52
6	6.95	1236.47	836.57	399.90	5.00	395	57
7	6.95	1236.47	826.13	410.34	8.12	402	58
8	6.95	1236.47	773.43	463.04	8.18	455	65
9	6.95	1236.47	773.03	463.44	8.18	455	66
10	6.95	1236.47	771.13	465.34	9.72	456	66
11	6.95	1236.47	768.33	468.14	9.80	458	66
12	6.95	1236.47	706.33	530.14	9.92	520	75
500 DOZ PLP							
1	3.20	1368.53	1205.53	163.00	5.28	158	49
2	3.20	1368.53	1141.33	227.20	6.91	220	69
3	3.20	1368.53	1173.77	194.76	8.51	186	58
4	3.20	1368.53	1136.20	232.33	8.58	224	70
5	3.20	1368.53	1104.30	264.23	8.63	256	80
6	3.20	1368.53	1071.70	296.83	10.24	287	90
7	3.20	1368.53	1069.33	299.20	10.27	289	90
8	3.20	1368.53	1074.03	294.50	11.84	283	88
9	3.20	1368.53	1040.40	328.13	11.92	316	99
10	3.20	1368.53	1036.67	331.86	11,99	316	99
11	3.20	1368.53	1035.10	333.43	12.05	321	100
12	3.20	1368.53	970.93	397.60	12.08	386	120

Polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalarla elde edilen betonların sünme davranışları 840 saat ile 12 ay süreyle incelenmiştir. Şekil 4.14'te 840 saatlik ve Şekil 4.15'de 12 aylık sünme değişim grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Sünme fonksiyonlarının 840 saatlik değişimi



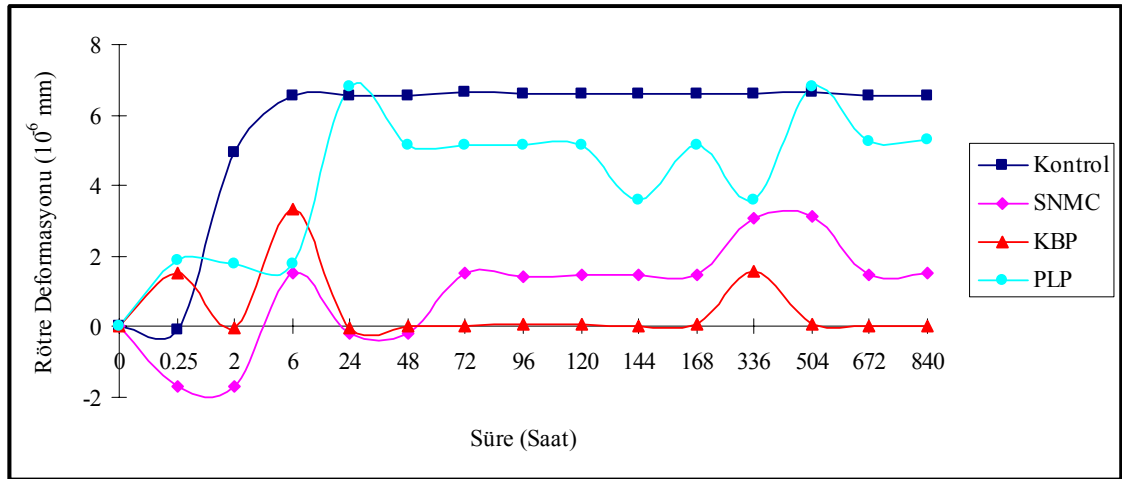
Şekil 4.15. Sünme fonksiyonlarının 12 aylık değişimi

Beton numunelerin 840 saatlik sünme fonksiyonları incelendiğinde, kontrol numunelerine göre, SNMC ve KBP numunelerinin sünekliliklerinin arttığı, PLP numunesinin sünekliliğinin ise azaldığı görülmüştür.

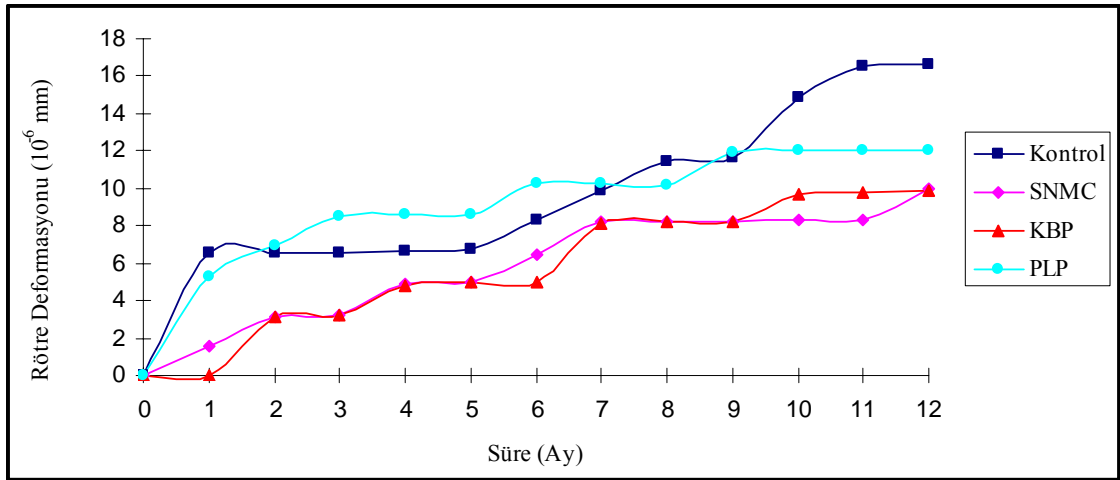
Numunelerin 12. aydaki sünme fonksiyonları incelendiğinde; değerlendirmeye alınan sünme ölçüleri, doğrusal bir seyir izlemeyip aylara bağlı, iniş ve çıkışlar

göstermiştir. En yüksek sünme fonksiyon değerine SNMC numunesi sahiptir. Kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında, PLP numunesi %26 azalmayla en düşük, SNMC numunesi % 18 artışla en yüksek ve KBP numunesiyle aynı sünme fonksiyon değerlerine sahip olduğu görülmektedir. KBP ve SNMC numuneleri kontrol numunesine göre daha az değişime uğramış ve birbirlerine paralel bir seyir izlemişlerdir.

Şekil 4.16'da rötre deformasyonlarının 840 saatlik ve Şekil 4.17'de rötre deformasyonlarının 12 aylık değişim grafikleri gösterilmiştir. Numunelerin rötre deformasyonları incelendiğinde; meydana gelen boy uzama ve kısalmaları polimer kaplı numunelerde doğrusal bir hat izlememiş, iniş çıkışlar göstermiştir. Beton numunelerinde su miktarının artışı ile rötre deformasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek rötre deformasyonu kontrol numunelerinde ve en düşük rötre deformasyonu SNMC ve KBP numunelerinde tespit edilmiştir. Kontrol numunelerine göre rötre deformasyonları; SNMC ve KBP numunelerinde %41 ve PLP numunelerinde %28 azalmıştır. Bu durum Akperov, Akyüz (2006) ve Oymael'in (1995) çalışmaları ile uyum içindedir.



Şekil 4.16. Rötre deformasyonlarının 840 saatlik değişimi



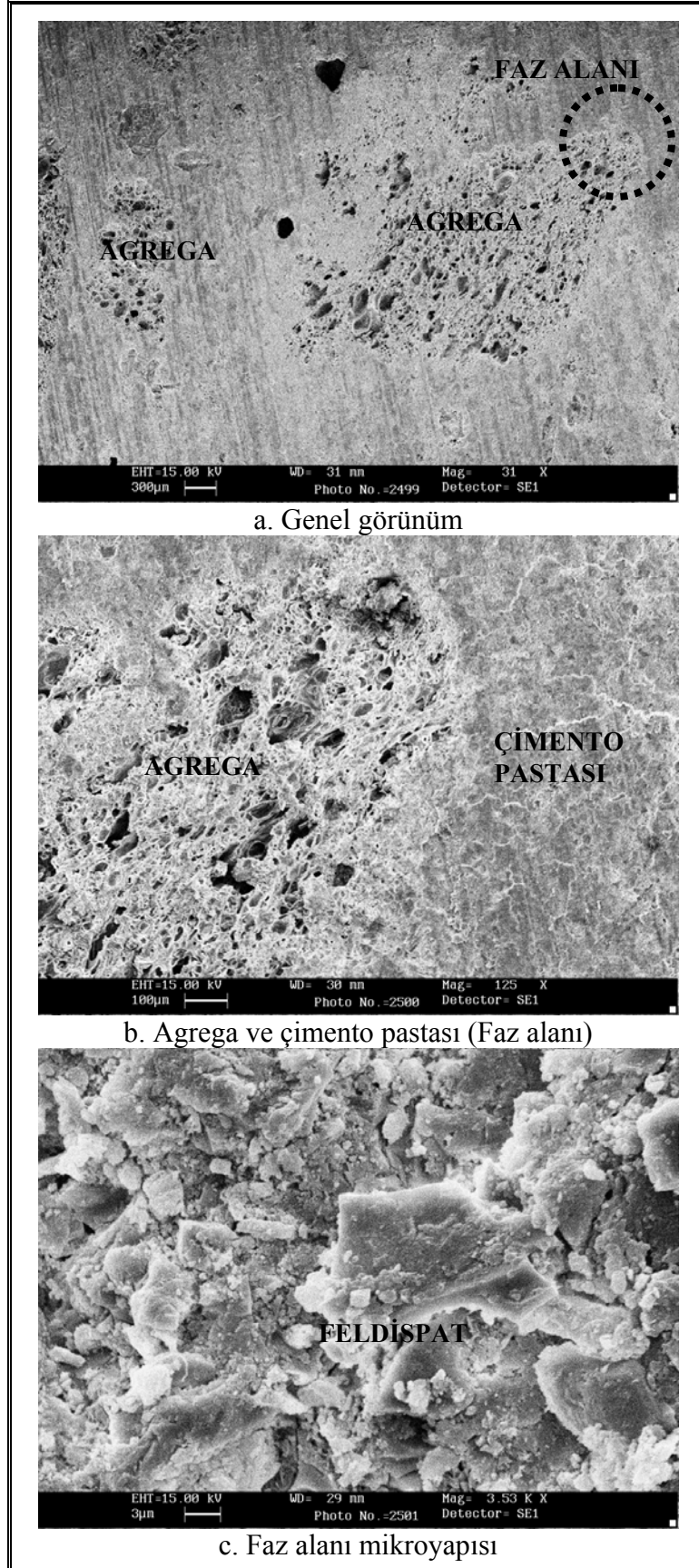
Şekil 4.17. Rötre deformasyonlarının 12 aylık değişimi

4.5.7. SEM analizleri

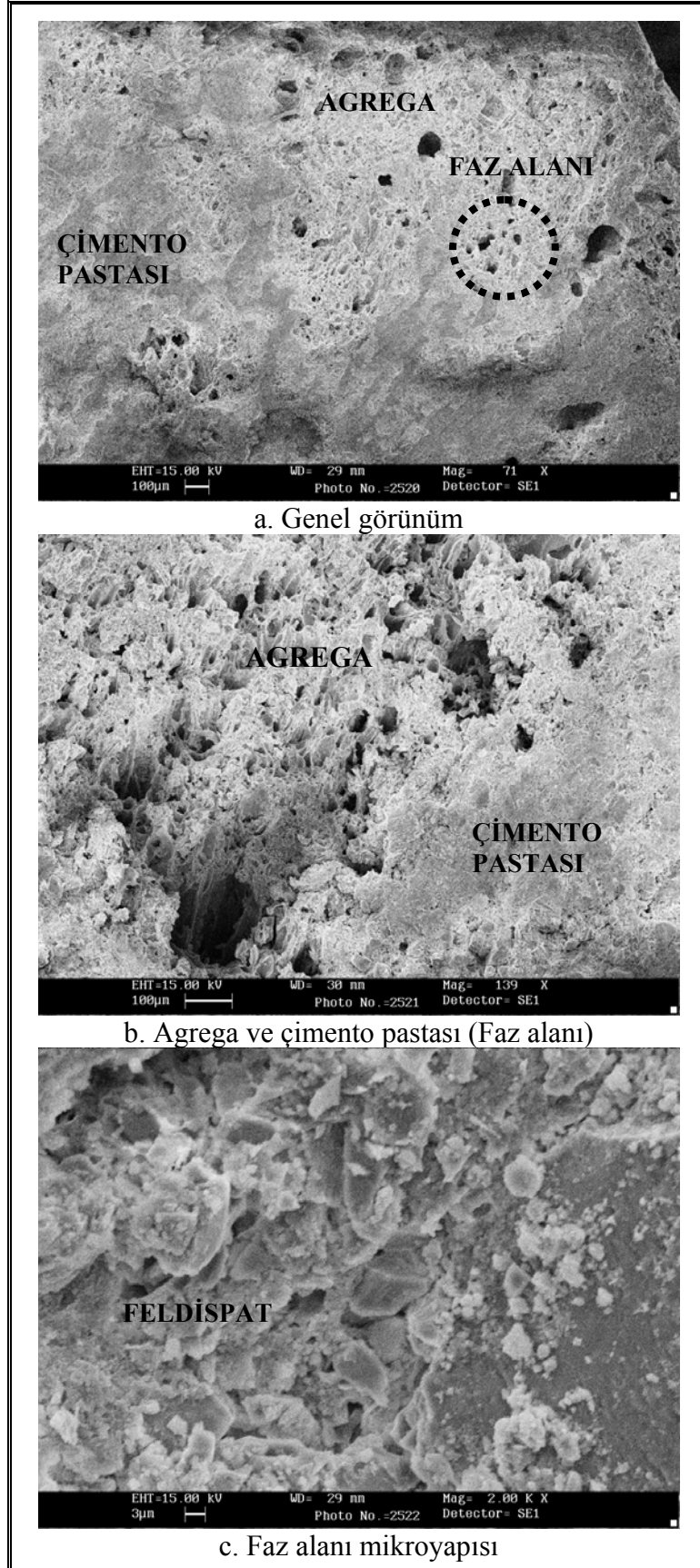
Polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalarla elde edilen 300 doz, 400 doz ve 500 dozlu hafif beton numunelere ait görüntüler yapının genel görünümü, agrega-çimento pastası (faz alanı) ve faz alanı mikroyapısı olarak üç ayrı şekilde ele alınmıştır. Görüntüler Şekil 4.18-29’da verilmiştir.

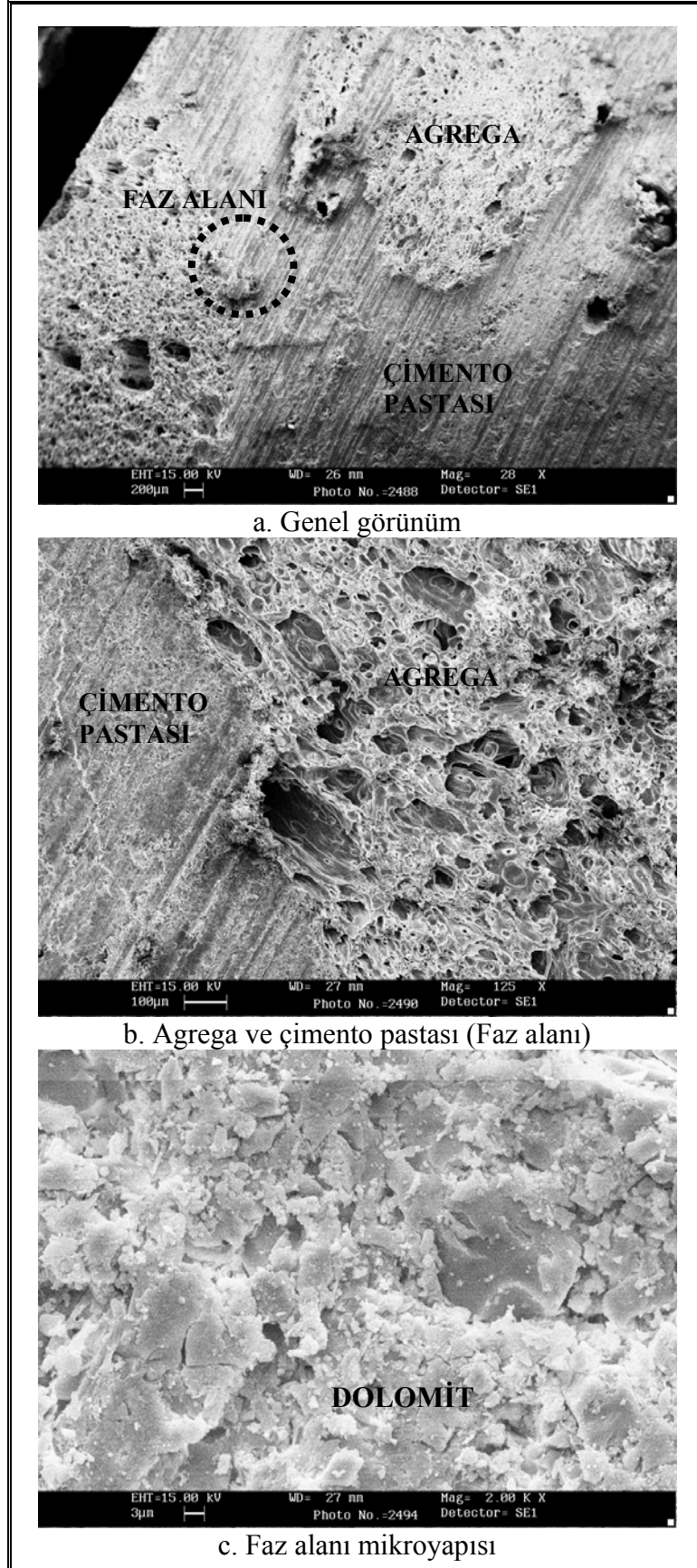
Numuneler genel olarak incelendiğinde gözenekli camsı yapıya sahip ve mineraller içeren hafif agregalar bulunduğu görülmektedir. Yapı içerisinde feldispat, dolomit, kalsit gibi mineraller ve C-S-H, portlandit ve etrengit (trisülfoaluminat hidrat) gibi hidrate fazlar ve hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu, numuneler arasında PLP numunelerin biraz daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir (Rapor No: 2212).

Pomza içindeki amorf silis, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek C-S-H oluşturmada dolayısıyla yapı içindeki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ azalmaktadır. Mağmatik kayalarda feldispat oranı %60 civarındadır (Ersoy ve Helvacı, 2011). Numunelerdeki feldispat, pomzanın asidik bileşimli magma ürünü olmasındandır. Yapıdaki dolomitin büyük bir kısmı ise, polimer kaplanan agregaları birbirinden ayırmak için kullanılan mermer tozu ve kalker oranının artışından kaynaklanmıştır. Bu durum XRD analiz sonuçları ile de desteklenmektedir.

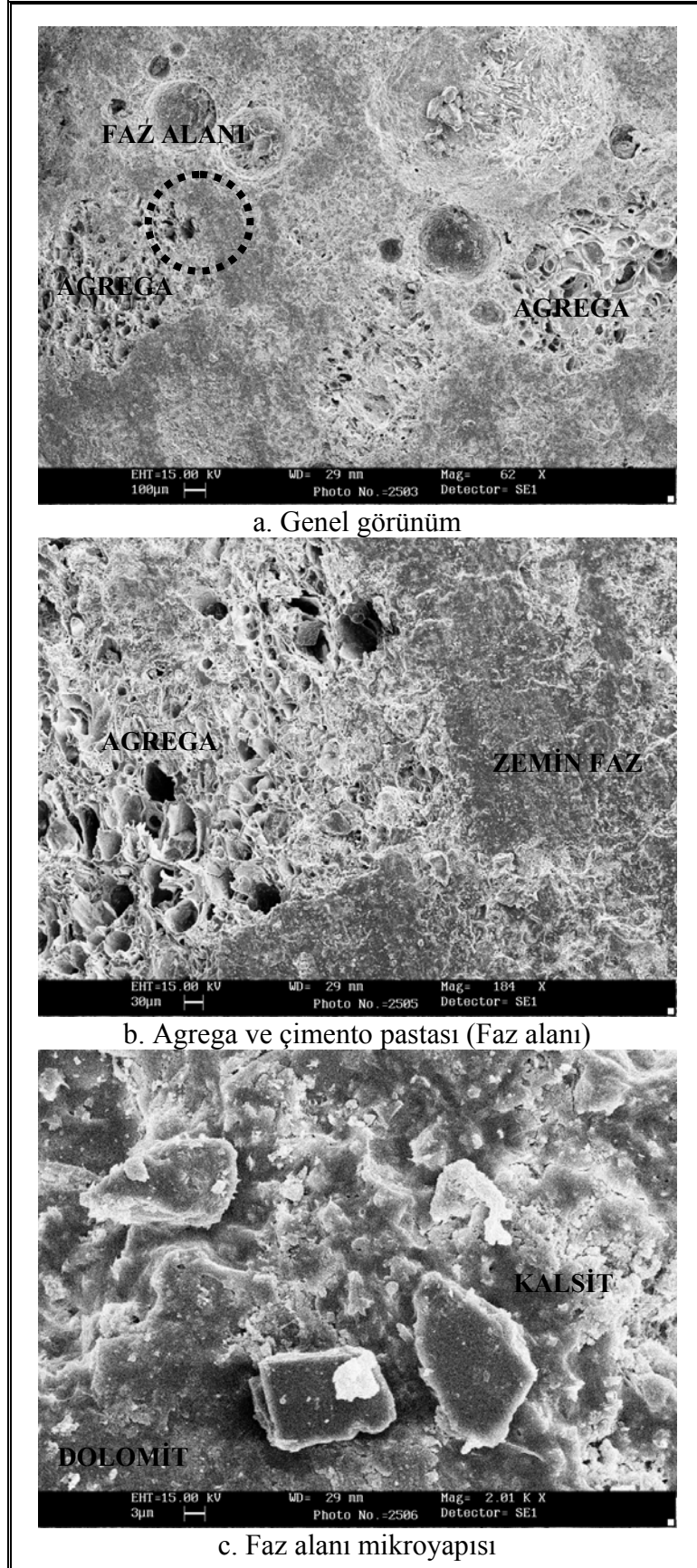


Şekil 4.18. 300 doz Kontrol numunelerinin SEM görünümü

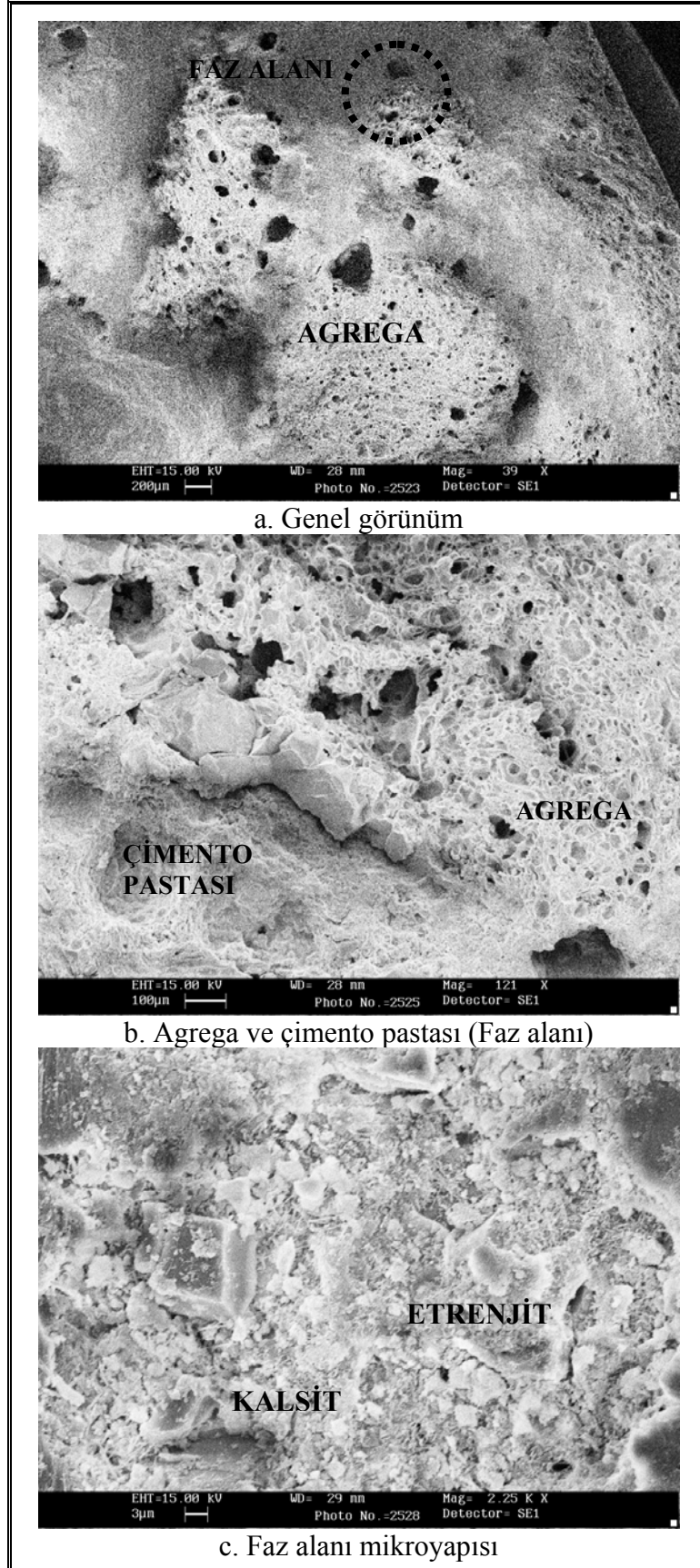




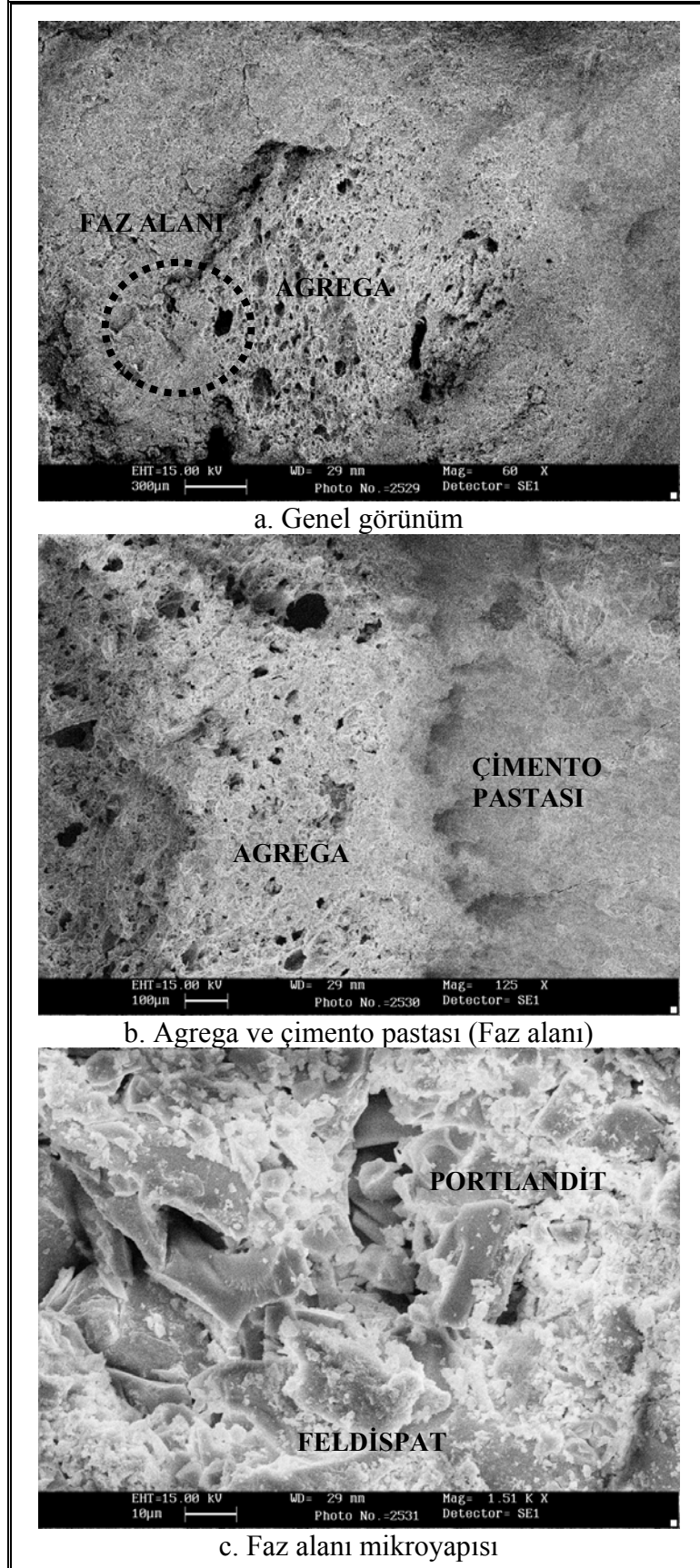
Şekil 4.20. 300 doz KBP numunelerinin SEM görünümü



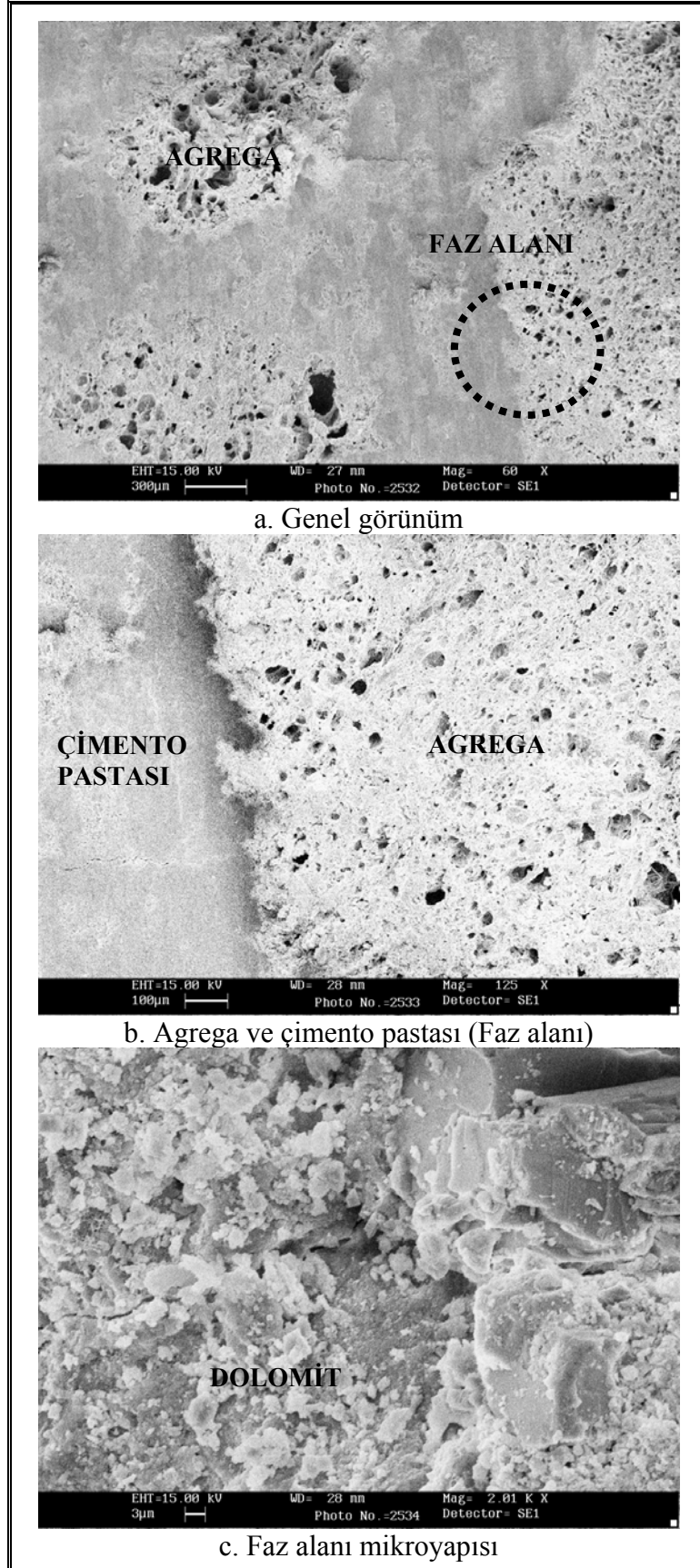
Şekil 4.21. 300 doz PLP numunelerinin SEM görünümü



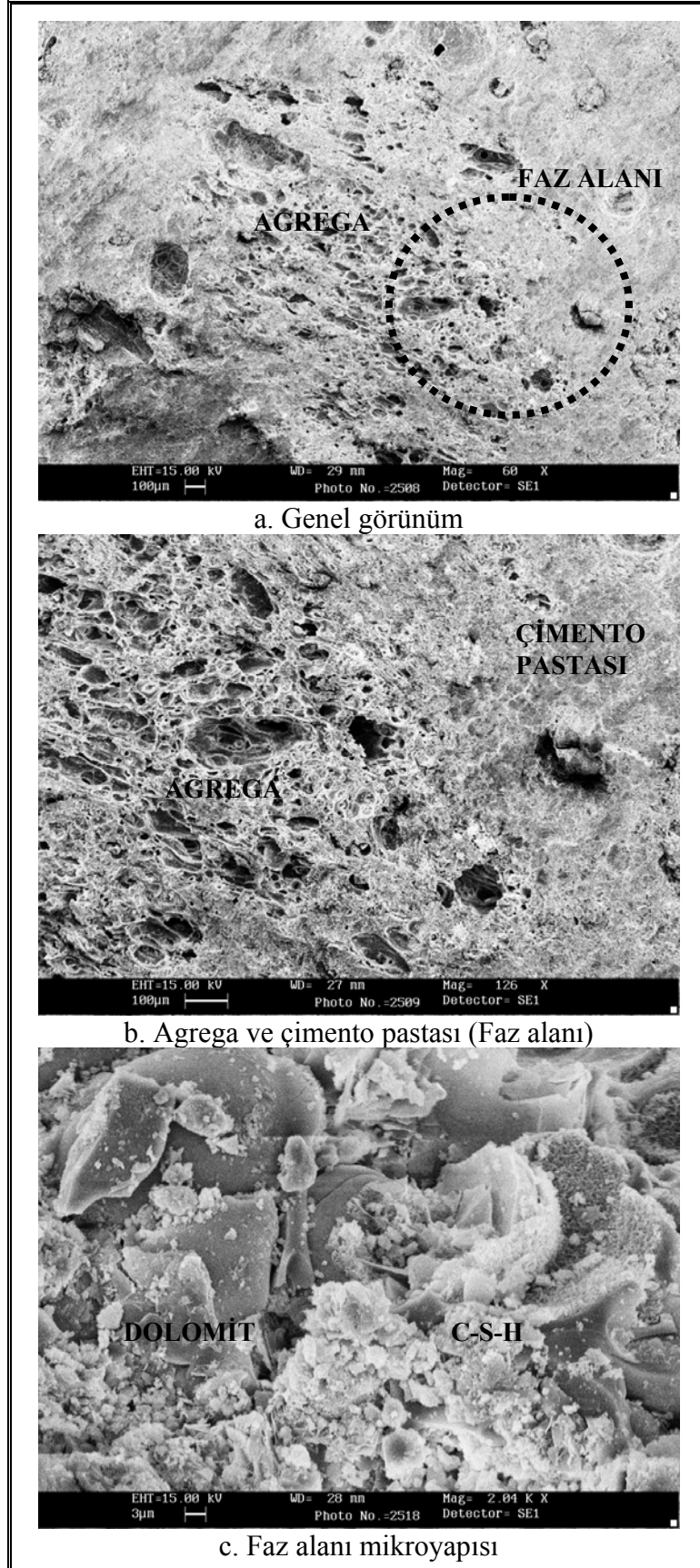
Şekil 4.22. 400 doz Kontrol numunelerinin SEM görünümü



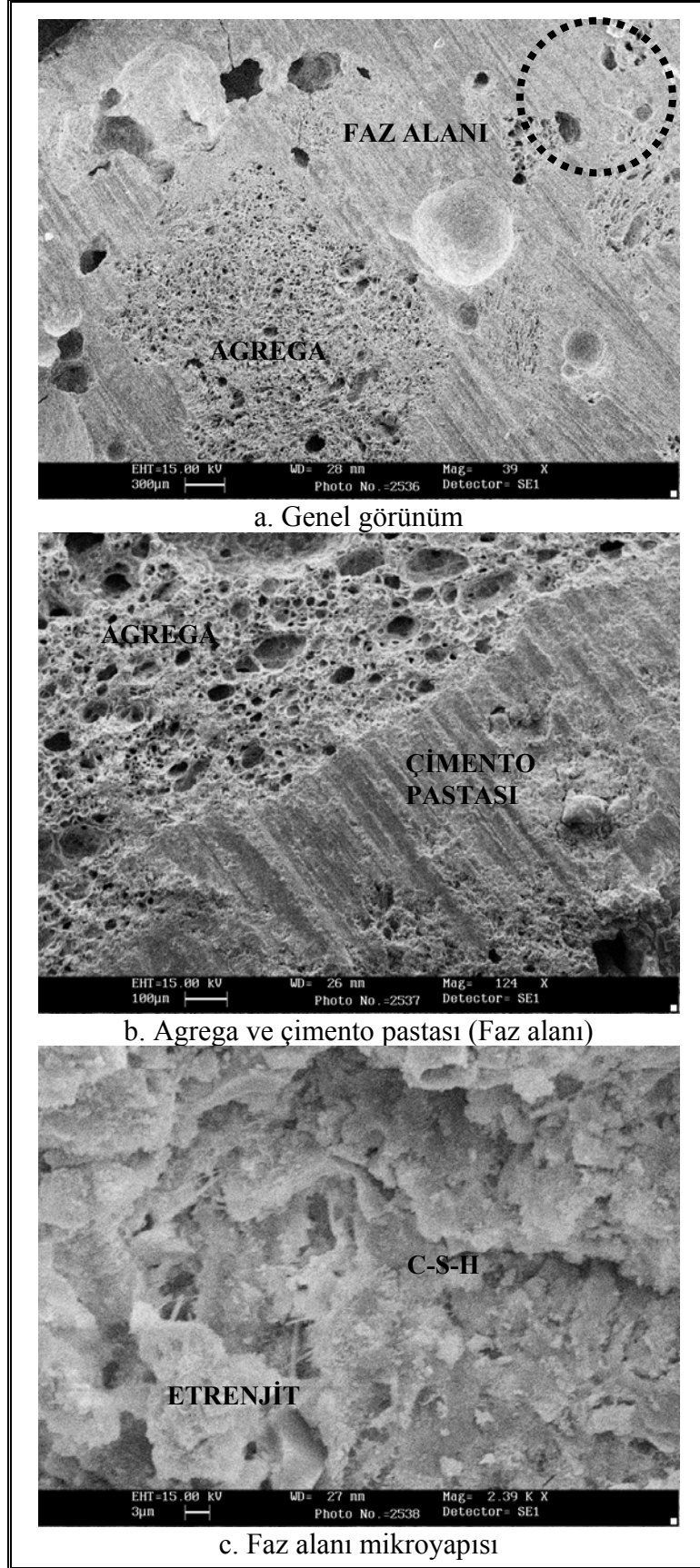
Şekil 4.23. 400 doz SNMC numunelerinin SEM görünümü

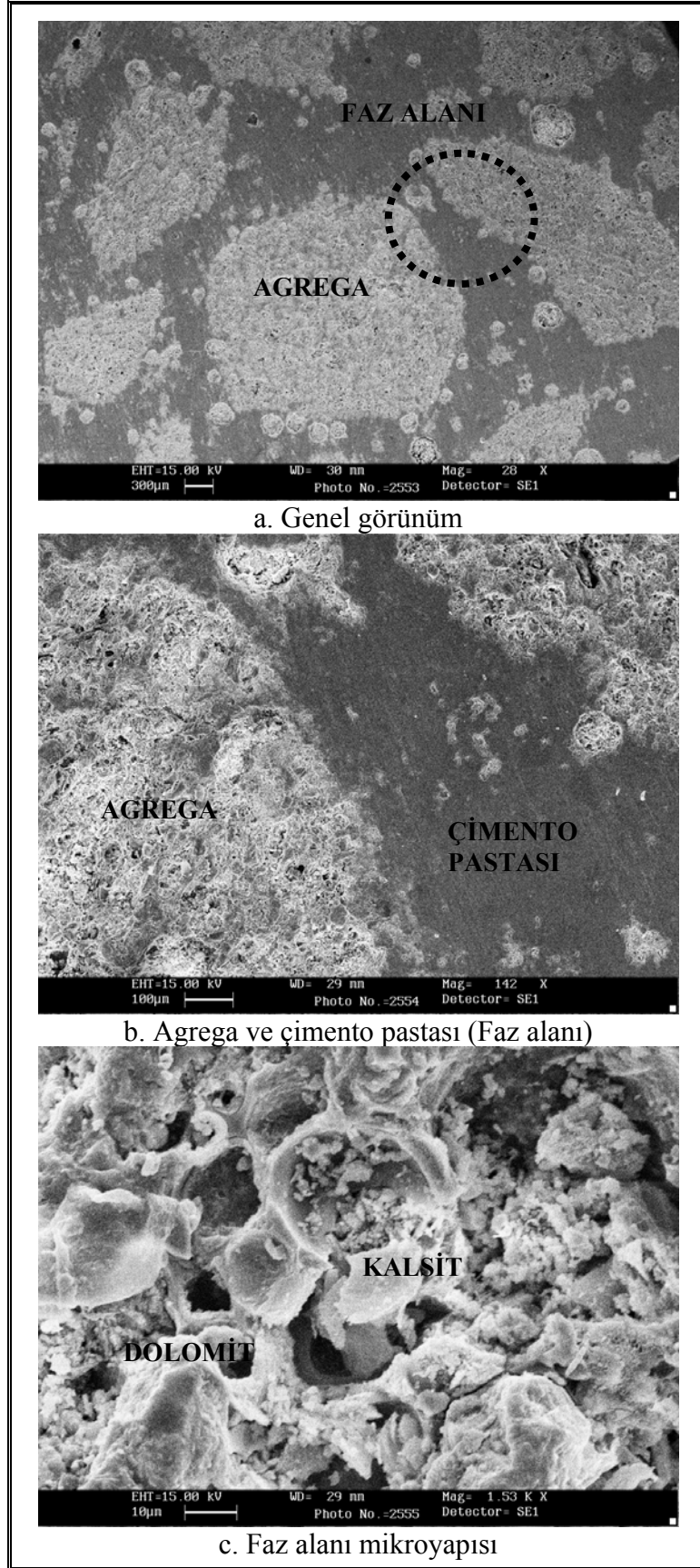


Şekil 4.24. 400 doz KBP numunelerinin SEM görünümü

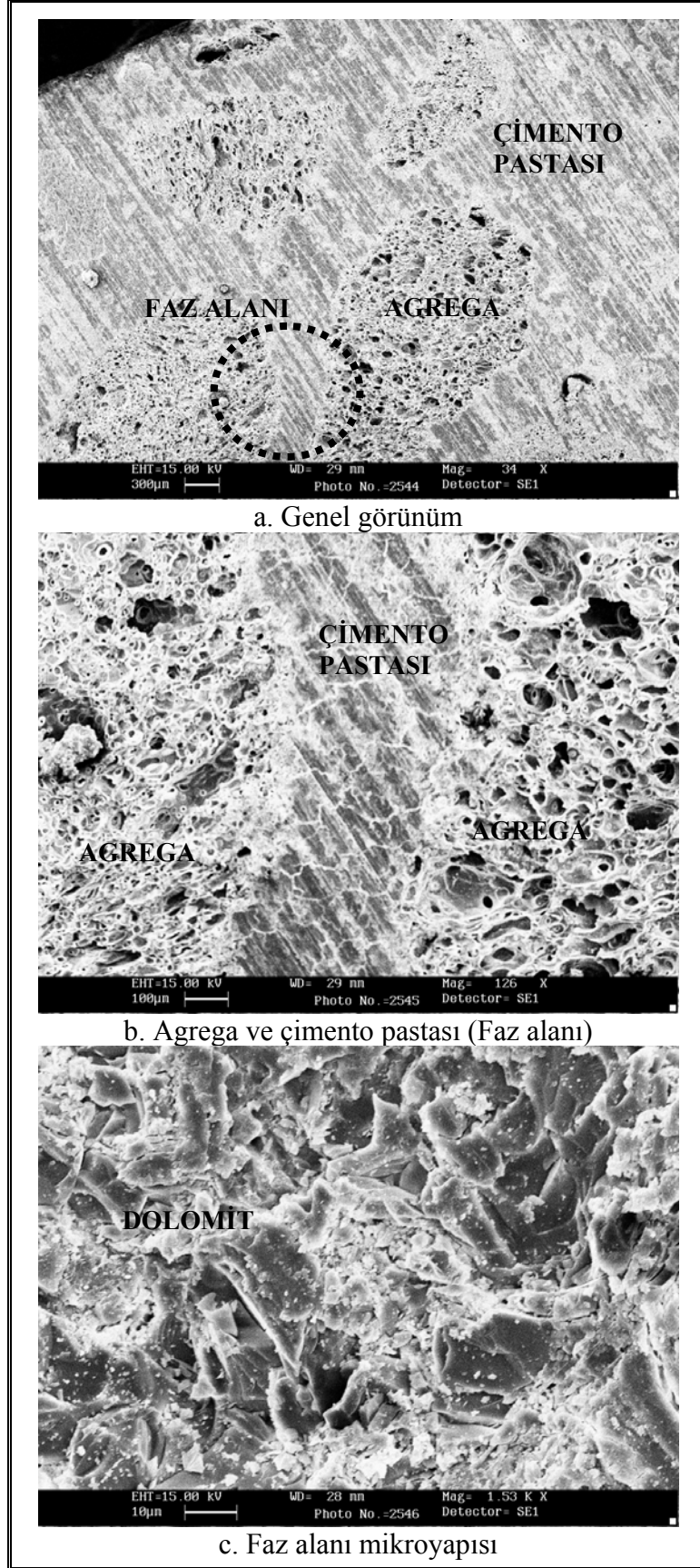


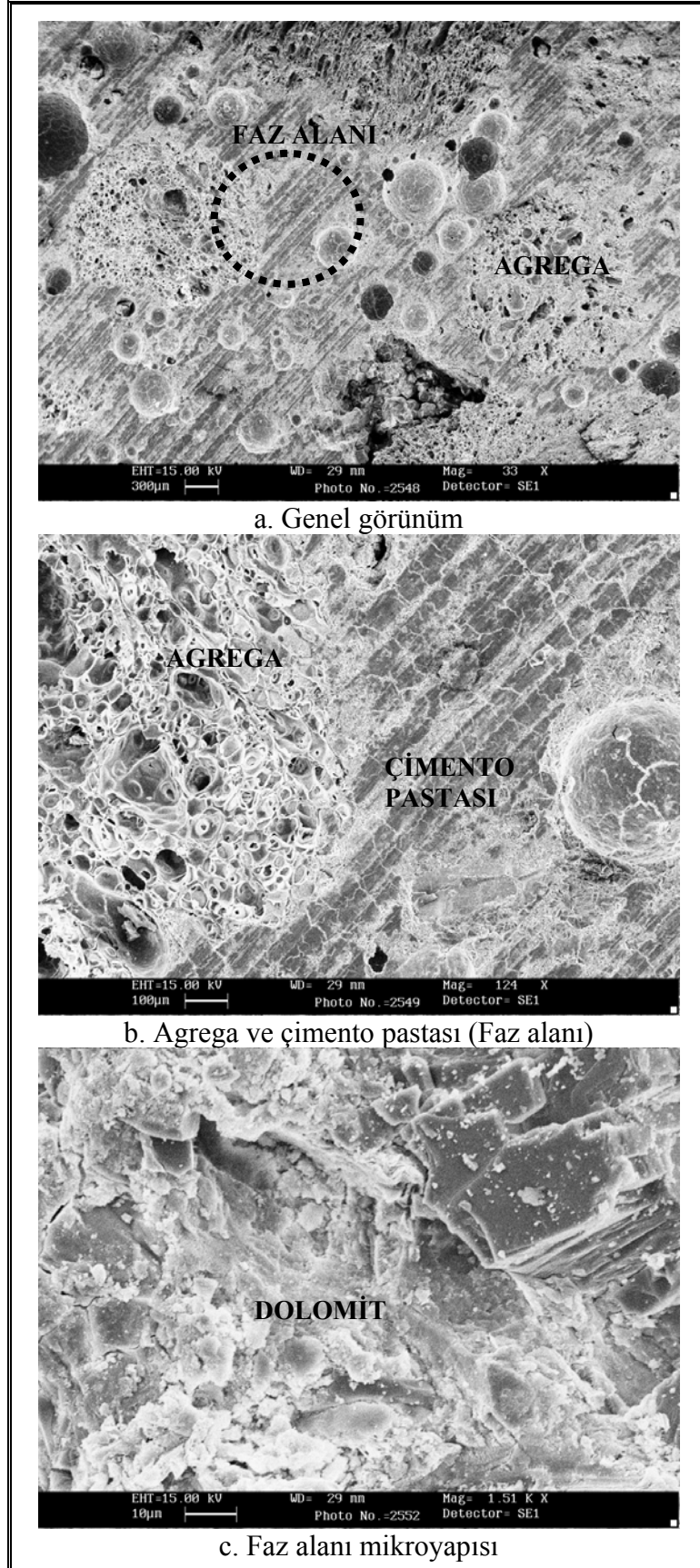
Şekil 4.25. 400 doz PLP numunelerinin SEM görünümü





Şekil 4.27. 500 doz SNMC numunelerinin SEM görünümü



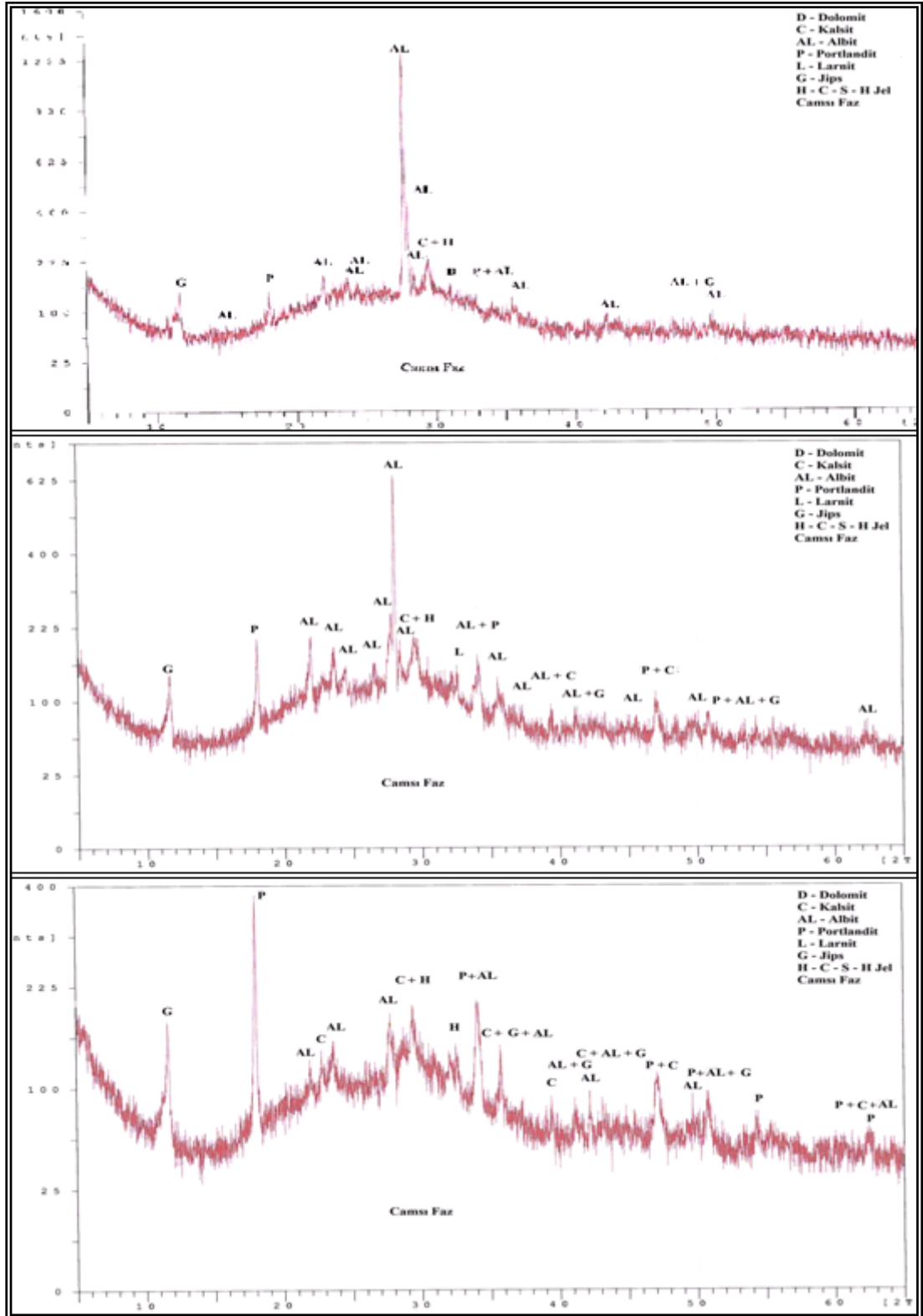


Şekil 4.28. 500 doz PLP numunelerinin SEM görünümü

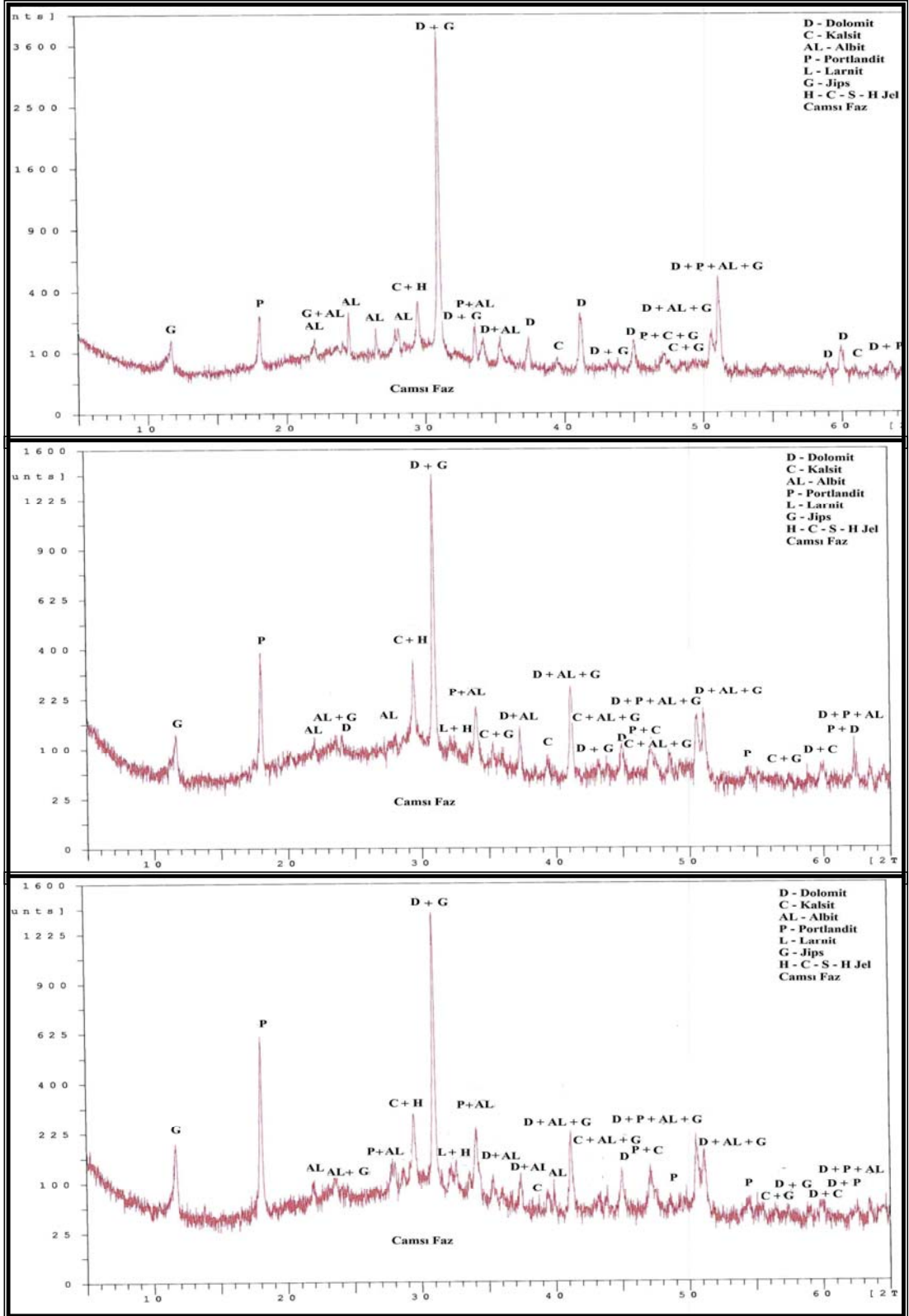
4.5.8. XRD analizleri

Polimer malzemesinin hafif agrega ve beton üzerine etkisini incelemek için 28 günlük sertleşmiş beton numuneleri üzerinde, numunelerin mineralojik yapılarını gösteren X- ışınları difraktogram sonuçları Şekil 30, 31, 32, 33'te verilmiştir.

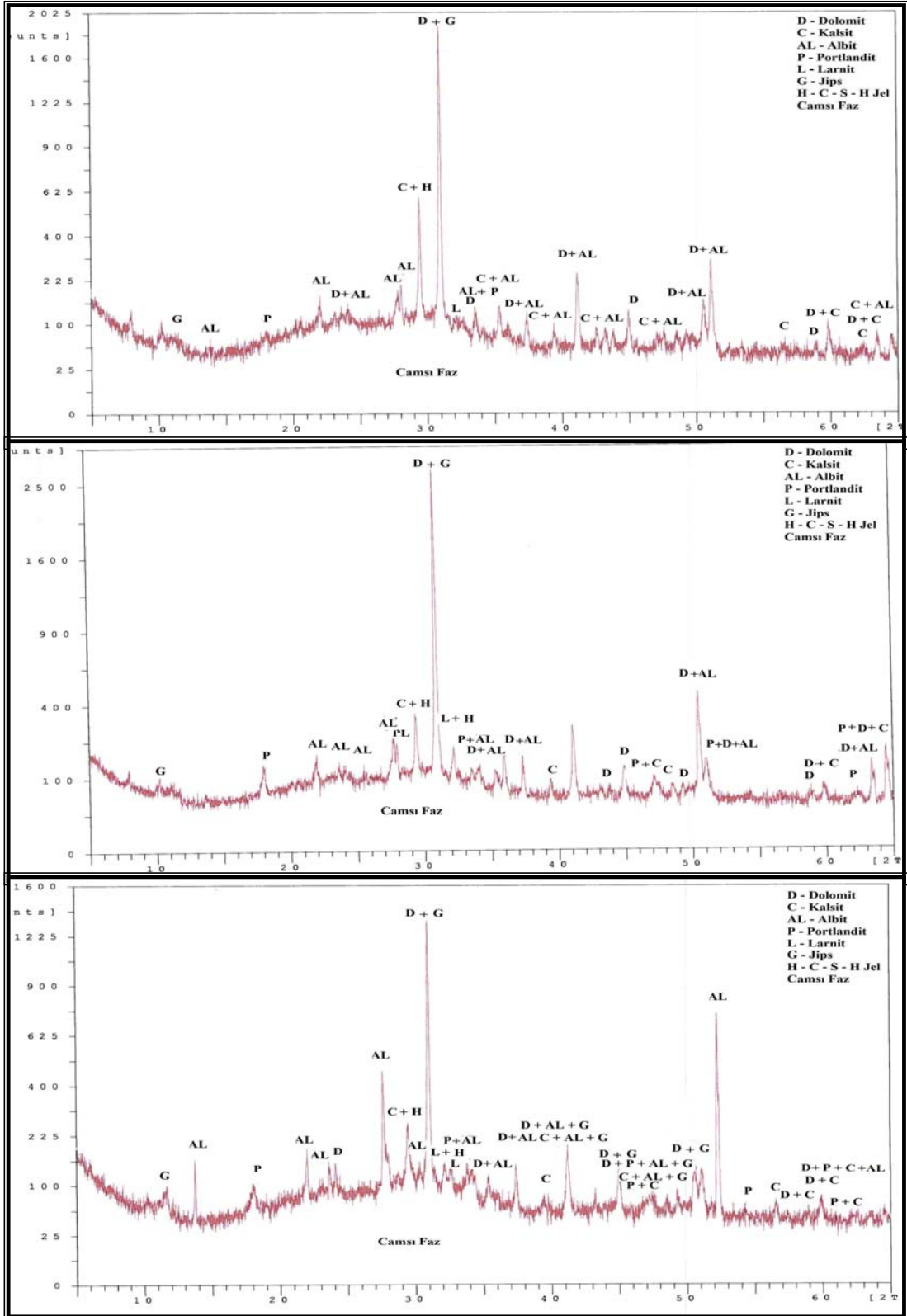
X-ışınları difraktogramları incelendiğinde, kontrol numunelerinde (Şekil 4.31), albit mineral pikinin yüksek çıktığı, 500 doz numunelerde portlandit fazının olduğu görülmektedir. Pomzanın ince kesit görüntüleriyle de (Şekil 4.1.a-b, 4.2.a-b, 4.3.a-b) bu durum desteklenmektedir. KBP numunelerinde (Şekil.4.33), 300 ve 400 doz numunelerde en yüksek pikin dolomit-jips oluşumunda olduğu, tüm dozlarda ayrıca kalsit, C-S-H jeli ve portlandit olduğu görülmektedir. PLP numunelerinde ise (Şekil.4.34) 300, 400 ve 500 doz numunelerde yine en yüksek pikin dolomit-jips oluşumunda olduğu, dozaj arttıkça kalsit ve C-S-H jel pik değerinin azaldığı görülmektedir. X- ışınları difraktogramlarında SNMC, KBP ve PLP numunelerinde dolomit ve jips mineral piklerinin yüksek çıkmasının mermer tozu ve çimento içeriğindeki alçı taşından kaynaklandığını düşündürmektedir. Kontrol numunelerinde mermer tozu katkısının olmaması ve jips değerlerinin düşük çıkması bu durumu açıklamaktadır. Ayrıca jipsin fazlalığı katkısız çimento kullanımından da ileri gelmektedir. Puzolanlı çimento kullanılmamış olması ve çimento içerisinde oluşan Ca(OH)_2 ve kısmen de buna bağlı sülfatlar puzolanlarla bağlanamamıştır.



Şekil 4.30. Kontrol numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları difraktogramları



Şekil 4.31. SNMC numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları difraktogramları



Şekil 4.33. PLP numunelerin (300, 400, 500 doz) X-ışınları difraktogramları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, polimer kaplanmamış ve üç farklı polimer kaplı hafif agregalarla üretilen betonlar üzerinde yapılan deneylerin ve analizlerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Agrega deneyleri;

— Kayseri ili Talas ilçesi Başakpınar mevkiinden alınan pomza agregaları üzerinde polarizan mikroskop çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda kayacın dasit bileşimli asidik magma ürünü olduğu belirlenmiştir.

— Kaplanmış ve kaplanmamış hafif agregaların özgül ağırlıkları 0.98–1.64 g/cm³ arasında değişmektedir. Kontrol agregalarına göre, 4–8 mm ve 8–16 mm göz açıklığına sahip agregaların özgül ağırlık değerlerinin polimer kaplaması ile arttığı ve literatürde belirtilen minimum agrega özgül ağırlık değerinin (2.1 g/cm³) altında kaldığı bulunmuştur.

— Polimer kaplanmayan 0–4 mm göz açıklığına sahip agregaların gevşek birim ağırlıkları (225 kg/m³) literatürde verilen değerlerden (480 – 880 kg/m³) düşük çıkmıştır.

— Kaplanmamış hafif agregaların 4–8 mm ve 8–16 mm fraksiyonlarda ortalama su emmeleri, 4–8 mm göz açıklığına sahip agregalarda kontrol agregalarına göre azalmıştır. Deney sonuçları literatürde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri ile kıyaslandığında da, ince agregalarda istenilen %20'yi ve iri agregalarda istenilen %30'u geçmediği tespit edilmiştir.

— Polimer kaplı pomza agregaların ince kesitleri incelendiğinde; SNMC kodlu polimer kaplı agregalarda ortalama 1 mm kalınlıkta, polimer kaplandığı görülmektedir. Aynı zamanda polimerin agrega içerisindeki çatlaklara nüfus ettiği belirlenmiştir. KBP kodlu polimer kaplı agregalarda; polimerin kristalleştiği ve mineral olduğu kaplama kalınlığının ortalama 0.5 mm olduğu tespit edilmiştir. PLP kodlu polimer kaplı agregalarda ise polimer ile pomza aynı renkte olduğundan, agrega tanesinin etrafında çok daha kalın bir kaplama zonu olduğu, bu kaplama kalınlığının da ortalama 1.5 mm'ye kadar çıktığı görülmüştür.

Taze beton deneyi;

— Üretilen taze betonların birim ağırlıkları 974 kg/m^3 ile 1376 kg/m^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Taze betonun birim ağırlıkları, çimento miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır.

Sertleşmiş beton deneyleri;

— Polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalardan elde edilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri 1660 ile 1940 kg/m^3 arasında değişmektedir. Bu değerlerin literatürde verilen üst sınırı (2000 kg/m^3) geçmediği görülmüştür.

— Kaplanmış hafif beton numunelerinin basınç dayanımları, kontrol numunelerinde dozaj artışına bağlı olarak artmıştır. Dozajlara göre, kontrol numuneleri ile kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerinde en yüksek basınç dayanımı 500 doz KBP numunelerinden ve en düşük basınç dayanımı 400 doz PLP numunelerinden elde edilmiştir. TS EN 206-1 hafif beton için beton dayanım sınıfları kapsamında kontrol betonları için 300 doz hafif beton numuneleri LC 8/9, 400 doz hafif beton numuneleri LC 8/9, 500 dozlu hafif beton numuneleri LC 12/13 dayanım sınıfında olduğu belirlenmiştir.

— Hafif beton numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 ve 500 dozda artmıştır. Dozajlara göre, 28 günlük yarmada çekme dayanımlarında, en yüksek değer 500 doz SNMC numunelerinden ve en düşük değer 300 doz PLP numunelerinden elde edilmiştir. PLP kaplı beton numune serilerinde basınç dayanımında görülen azalma davranışı benzer şekilde yarma dayanımında da görülmüştür.

— Hafif beton numunelerin su emme oranları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 ve 500 dozda azalmıştır. Dozajlara göre, kontrol numuneleri ile kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerin su emme oranlarında, en yüksek 500 doz SNMC numunelerinden ve en düşük 400 doz PLP numunelerinden elde edilmiştir. Kontrol numunelerine göre agregaları kaplayan polimerin agregaya su geçişini engellemesi, polimer kaplı agregalarla üretilen beton numunelerinde su emme oranının azalmasını sağlamıştır.

— Hafif beton numunelerin 30 çevrim sonunda ağırlık kaybı faktörü oranları, 300 doz kontrol numunelerine göre; 400 ve 500 dozda azalmıştır. Dozajlara göre, kontrol numuneleri ile kaplanmış agregalarla elde edilen beton numunelerinde, en çok kayıp 500 doz SNMC ve en az kayıp PLP numunelerinde gözlenmiştir.

— Beton numunelerine yapılan dona dayanım deneyinde, polimer kaplı numunelerde çimento dozajı arttıkça ağırlık kaybı azalmıştır. En çok ağırlık kaybı tüm dozlarda PLP, en az ağırlık kaybını tüm dozlarda KBP numunesi vermiştir. Ayrıca polimer kaplı agregalarla üretilen betonların elastikiyet modülleri literatürde istenilen, normal ağırlıklı agregalarla üretilen betonların elastiklik modüllerinin %40-%80'i arasındadır.

— Beton numunelerin 840 saatlik sünme fonksiyonları incelendiğinde, kontrol numunelerine göre, SNMC ve KBP numunelerinin sünekliliklerinin arttığı, PLP numunesinin sünekliliğinin ise azaldığı görülmüştür.

— Sünme fonksiyonları eğrisine göre 12 aylık sünme fonksiyonlarında, kontrol numunelerine göre en yüksek sünme değeri SNMC kaplı numunelerden ve en düşük PLP kaplı numunelerden elde edilmiştir. KBP ve SNMC kaplı numunelerin 12 aylık sünme değeri kontrol numunesinin sünme değerinden yüksek çıkmıştır.

— Numunelerin 840 saat ve 12 ay süre ile rötreleri incelendiğinde meydana gelen boy uzama ve kısalmaları polimer kaplı numunelerde doğrusal bir hat izlemeyerek iniş ve çıkışlar göstermiştir. 840 saatlik SNMC, KBP, PLP kaplı numunelerin rötre deformasyon sonuçları kontrol numunesinin rötre deformasyonundan düşük ve PLP kaplı numunenin 12 aylık rötre deformasyonu kontrol numunesi rötre deformasyonundan yüksek çıkmıştır.

— Hafif beton numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, gözenekli camsı yapıya sahip ve mineraller içeren hafif agregalar bulunduğu görülmüştür. Yapı içerisinde feldispat, dolomit, kalsit gibi mineraller ve C-S-H, portlandit ve etringit (trisülfoaluminat hidrat) gibi hidrate fazlar ve hidrate olmamış çimento tanecikleri bulunduğu, numuneler arasında PLP numunelerinin biraz daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Yapılan tüm bu çalışmaların sonucunda; 500 doz KBP kaplı agregaların hafif beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Agregaların polimer kaplanmasıyla su emmeleri azaltılarak, yeni bir agrega ve beton türünün üretimi gerçekleştirilmiştir.

5.2. Öneriler

Çalışmada pomza agregasına polimer kaplaması yapılarak hafif beton numuneleri elde edilmiştir. Benzer çalışmalar yapılırken; agregaların kaplama işlemi için 0–4 mm fraksiyondan büyük tanelerin kullanılması, polimer kaplandıktan sonra tane çapları değişeceğinden tane büyüklüğü dağılımının tekrar yapılması önerilmektedir. Bu çalışmaların yanı sıra beton numunelerin ısı yalıtımı, klor geçirgenliği, yangın, sülfat ve asitlere karşı dayanımı ve betonda kullanılan kimyasal

katkı maddeleriyle etkileşimleri incelenebilir. Ayrıca üretilen beton üzerinde, deprem ve diğer sismik titreşimleri absorbe ederek beton yapı elemanlarında hasar görme özelliklerinin en aza indirilmesine yönelik deneyler gerçekleştirilebilir. Farklı polimer malzemeler ve agregaların birbirini yapışmasını engelleyen farklı toz hammaddeleri kullanarak, elde edilecek beton numunelerin dayanım ve durabilite açısından özellikleri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Akın, E., 2007, “Mermer Tozları ve Uçucu Kül ile Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

Akkurt, S., 2007, “Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı”, Birsen Yayınevi, İstanbul

Akman, S., 1986, “Beton Niteliğini Yükseltmek Amacı ile Polimer Kullanılması”, www.e-kutuphane.imo.org.tr/10995.pdf. (Erişim Tarihi: 2011)

Akperov, A., Akyüz, S., 2006, “Betonun Zaman Bağlı Deformasyonlarının Tahmini”, İTÜ Dergisi, Cilt 5, Sayı 3, Kısım 1, s: 155-164, İstanbul

Arısoy, B., 2005, “Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı”, Deprem Sempozyumu 23-25 Mart, Kocaeli

ASTM-C 310, 1964, “Method of Test for Resistance of Concrete Specimens to Slow Freezing in Air and Thawing in Water”, Annual Book of ASTM Standarts

ASTM-C 330, 2002, “Spesification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete”, Annual Book of ASTM Standarts

ASTM-C 512-87, 1994, “Standart Test Method for Creep of Concrete in Compression”, Annual Book of ASTM Standarts

Atar, N., 2006, “Suda Çözünen Polimerlerin Çimento ve Beton Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, Kütahya

Ateş, E., 1994, “Epoksi Polimer Betonun Makina Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir

Bal, H., 1998, “Bazı Polimerlerin Harçlarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ

Bayrak, N., 2005, “Pomza Taşlarının X-Işını Toz Kırınım Yöntem ile Nitel Analizi ve Yapısal Özelliklerinin Araştırılması”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri

Ben-Dor, L., 1991, “Cement and Concrete Science, Technology”, Volume 1, Part 2, Cement Research Institute (NBC), New Delhi, India

Biçer, Y., Kavak Akpınar, E., 2004, “Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Yeni Bir Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi”, Polimer İşleme ve Geri Kazanımı Sempozyumu Bildiri Kitabı, s:189-194, Mersin

Binici, H., Görür, E., B., 2005, “Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Deniz Yapılarında Kullanımı”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s:121-125, Isparta, Türkiye, 15-17 Eylül

Binici, H., Kaplan, H., Yaşarer, F., 2009, “Pomza Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonların Durabilitesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 13-1, s:40-47, Isparta

Ceylan, H., 2005, “Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta

Ceylan, H., Saraç, M., S., 2005, “Kayseri Pomzasından Elde Edilen Hafif Betonun Tek Eksenli Basınç Dayanım Karakteristiği”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s:127-132, Isparta, Türkiye

Chandra, S. ve Berntsson, L., 2003, “Lightweight Aggregate Concrete, Science, Technology and Application”, Noyes Publications, s:193, A.B.D.

Coşkun, A., ve Tanyıldızı, H., 2007, “Silis Dumanı Katkılı Hafif Betonun Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Ses Geçirgenliğine Farklı Kür Koşullarının Etkisi”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, ISSN-1302-3055, s.14

Davraz. M., 2004, “Isparta Keçiborlu Yöresi Doğal Amorf Silika Oluşumlarının Geleneksel ve Hafif Beton Endüstrilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta

DPT, 2001, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı”, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri-III, Ankara

Ekincioglu, Ö., Özkul, H. ve Struble, L.J., 2004, “Farklı PVA’larla Üretilen Büyük Boşluklarından Arındırılmış Çimento-Polimer Kompozitlerinin Suya Karşı Dirençlerinin İncelenmesi”, www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3133.pdf. (Erişim Tarihi: 2011)

Erdoğan, T.Y., 2007, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara

Erdoğan, T.Y., 1995, “Betonu Oluşturan Malzemeler-Agregalar”, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul

Ersoy, Y., Helvacı, C., 2011, “Petrografi Laboratuvar Notları I (Mağmatik Petrografi)”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, <http://kisi.deu.edu.tr/yalcin.ersoy/petrolab.pdf> (Erişim Tarihi: 2011)

Fındık, S., Saltan, M., 2011, “Hafif Agregaların Esnek Üstyapı Alt Temelinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11157.pdf (Erişim Tarihi: 2011)

Gümüştaş, Ö., Yılmaz, F. B., 2004, “Hurda Otomobil Lastiklerinin Geri Dönüşümünde Farklı Bir Yöntem”, Polimer İşleme ve Geri Kazanımı Sempozyumu Bildiri Kitabı, s:143-149, Mersin

Gültekin, A.H., 2006, “Kagir Malzemelerin Destructive ve Non-Destructive Analiz Yöntemleri”, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Ders Notları, Edirne

Gültekin, A.H., 2006, “Yapı Taşları Jeolojisi”, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Ders Notları, Edirne.

Gündüz, L., 1998, “Pomza Teknolojisi, Pomza Karakterizasyonu”, Cilt I, Isparta

Gündüz, L., 2005, “İnşaat Sektöründe Bimsblok”, Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi

Hiçyılmaz, C., Altun, N., E., 2005, “Pomzanın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılma Olanaklarındaki Son Gelişmelerin ve Koşullarının Değerlendirilmesi”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s:159-165, Isparta, Türkiye

Kadiroğlu, İ., 2011, “Kendiliğinden Yerleşen Normal Dayanımlı Hafif Beton Üzerine Deneysel Bir Çalışma”, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayi A.Ş., İzmir, www.as-beton.com/pdf/kendiliginden_yerlesen_hafif_beton.pdf

Kavak, O., Dalgıç, A., Şenyiğit, A., 2004, “İnsan Sağlığına Etki Eden Mineraller ve Analiz Yöntemleri”, Dicle Tıp Dergisi, Cilt 31, Sayı:1

Mehta, P.K. ve Monteiro P.J.M., 2006, “Concrete: Microstructure, Properties, and Materials”, McGraw-Hill Comp. Inc., Third Edition, New York

Mindess, J. ve Young, J. S., 1981, “Concrete”, Engleood Cliffs, Newjersey: Prentice Hall, Inc. Pp. 581–596. New Jersey

Neville, A.M., 1993, “Properties of Concrete”, Pitman Publishing, London

Newman, J. ve Choo, B.S., 2003, “Advanced Concrete Technology”, Butterworth-Heinemann, Elsevier, p.2/9, Oxford

Oymael, S., 1995, “Bitümlü Şist Külünün Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi” Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ

Oymael S., 1991, “Yapı Malzemesi Alanında Uygulamalar-Sorunlar”, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, ss.226-227, Elazığ

Oymael, S., 2009, “Yapıda Beton Teknolojileri ve Teorisi”, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Ders Notları, Edirne

Postacıoğlu, B., 1986, “Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt 1, İstanbul

Postacıoğlu, B., 1987, “Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt 2, İstanbul

Rapor No:2020, “Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Laboratuarları İnceleme Raporu”, Ankara, 05.11.2010

Rapor No:2212, “Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge laboratuarları İnceleme Raporu”, Ankara, 05.11.2010

Rossignolo, J.A., Agnessini, M.V.C., 2002, “Mechanical Properties of Polymer-Modified Lightweight Aggregate Concrete”, Cement and Concrete Research, 32, pp. 329-334

Rossignolo, J.A., Agnessini, M.V.C., 2004, “Durability of Polymer-Modified Lightweight Aggregate Concrete”, Cement And Concrete Research, 26, pp. 375-380

Sağlıyan, D.S., 1999, “Polimer Bağlayıcılı Prepakt Agrega Betonların Mekaniksel ve Ekonomik Yönden İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ

Sancak, E., Şimşek, O., 2005, “Betonarme Betonunda Isparta Bims Agregasının Kullanılabilirliği”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s:235-243, Isparta, Türkiye

Sarışık, A., Ersoy, B., Sarışık, G. ve Dönmez, F., 2009, “Pomzadan Üretilen Hafif Beton ve EPS Köpüğünden Yapılan Yalıtımlı İzolasyon Bloğunun (Powerblok) Özelliklerinin İrdelenmesi”, 7. Uluslar arası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, ss. 148–156, Kuşadası

Savran, Ö.H., 2001, “Elastomer Teknolojisi-I”, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul

Sidney, R., Young, J.F., 1981, “Concrete”, Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 07632

Subaşı, S., 2009, “Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 24, No 3, 559-567, Ankara

Şengül, Ö., Doğan, Ü.A., 2003, “Polimer Katkılı Betonların Mekanik Ve Durabilite Özellikleri”, www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10598.pdf. (Erişim Tarihi: 2011)

Şimşek, O., 2004, “Beton ve Beton Teknolojisi”, Seçkin Yayıncılık, Ankara

Şimşek, O., 2007, “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, Seçkin Yayıncılık, Ankara

Şimşek, O., 2007, “Yapı Malzemeleri-II”, Seçkin Yayıncılık, Ankara

Taşdemir, M.A., 1982, “Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul

Tolğay, A., Yaşar, E. ve Erdoğan, Y., 2004, “Nevşehir Pomzasının Agregata Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Sayfa No: 345-354, İzmir, Türkiye

Topçu, İ., B., Altun, F., Arı, K., 2005, “Kayseri Yöresi Hafif Agregata Özellikleri Ve Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s:167-175, Isparta, Türkiye

TS EN 206-1, 2002, “Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 1114 EN 13055-1, 2004, “Hafif Agregalar-Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 2941, 1978, “Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 3234, 1978, “Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 3530 EN 933–1, 1999, “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 3524, 1981, “Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS 3454, 1981, “Basınç Altında Betonda Sünme Tayin Metodu”, 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 EN 1097-5, 2001, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 5: Hava Dolaşımı Etüvde Kurutma ile Su Muhtevasının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 1097-6, 2002, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 12350-1, 2010, “Beton – Taze Beton Deneyleri Bölüm 1: Numune Alma”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 12350-2, 2010, “Beton –Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 12390-3, 2010, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS EN 12390-6, 2010, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Uğur, İ., 2003, “Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz”, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, s. 67-74, İstanbul

Uluslu, İ., 2007, “Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilirliğinin Araştırılması”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum

Ünal, O., Uygunoğlu, T., Yıldız, A., 2005, “Pomza ve Diyatomit Üretilen Hafif Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005, s:211-217, Isparta, Türkiye

Yaşlak, S., 2008, “Organik Sınai Kimya”, Dahi Yayınları Bilim Dizisi 001, s:234

Yıldırım, H., 1989, “Yarı Hafif Betonun Az Tekrarlı Yük Altındaki Davranışına Bileşimin Etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Yıldırım, H., 1995, “Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

2010, “BASF, Chemical Company, Mastikler ve Yapıştırıcılar”, http://www.basfks.com.tr/TR/urunler/yapi_sistemleri/mastikleryapistircilar/sonomeric_1/Pages/default.aspx
www.basf-yks.com.tr

2010, “Kayseri İli Maden ve Enerji Kaynakları”, http://www.mta.gov.tr/v1.0/turkiye_maden/maden_potansiyel_2010/kayseri_madenler.pdf

2010, “Köster, Water Proofing Systems, Gezilebilir teraslar için, poliüretan esaslı su yalıtımı”, <http://www.koster.com.tr/yenifoyler/0302.pdf>

2010, “Plasto, fiberglas, polyester”, <http://www.plasto.com.tr/plasto20/urunler4.asp?urunID=68>

2011, “Fatih Üniversitesi BiyoNanoTeknoloji Ar-Ge Merkezi, X-Işını Kırınım Cihazı”, <http://binatam.fatih.edu.tr/?xrdfpt>

2011, “Türkiye Perlit-Pomza Maden Yatakları Haritası”, <http://www.berkaymadencilik.com.tr/yataklar.html>

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1996 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği'nden 2000 yılında mezun oldu. 2000 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi'nde başladığı yüksek lisansını 2003 yılında tamamladı. 2002–2004 yılları arasında Ankara Mamak Battalgazi Endüstri Meslek Lisesi Yapı Ressamlığı Bölümü'nde vekil öğretmenlik görevini üstlendi. 2005 yılında Erzurum'da askerlik görevini yaptı. 2006 yılında Trakya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen, 2007 yılında kurulan, Kırklareli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

Yabancı dili İngilizce'dir. Evli ve bir çocuk babasıdır.