

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

**SİLİS DUMANININ BETONUN PERFORMANSINA
VE KLOR GEÇİRİMLİLİĞİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Reşit DUMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. MANSUR SÜMER

Ocak 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLİS DUMANININ BETONUN PERFORMANSINA
VE KLOR GEÇİRİMLİLİĞİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Reşit DUMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 14/01/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Zeki GÜNDÜZ
Üye


Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK
Üye

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her türlü desteği veren danıŐman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER' e minnet ve Őükranlarımı sunarım. Eğitimim boyunca emeği geçen tüm hocalarıma da minnet duygularımı sunmayı bir borę bilirim.

ÇalıŐmalarım esnasında bana yardımcı olan projenin ilerlemesinde büyük yardımı olan değerli arkadaŐım İnş. Yük. Müh. Davut PARALI' ya, beni ben yapan aileme ve ilkokul öğretnenim Zeynep GÜL' e ayrıca teşekkür ederim.

Ocak 2010

Reşit DUMAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BETONU OLUŞTURAN MALZEMELER.....	2
2.1. Çimento.....	2
2.1.1. Portland Çimentosu'nun tarihi.....	3
2.1.2. Çimentonun üretimi.....	5
2.1.3. Çimento tipleri.....	7
2.1.3.1. CEM çimentosu.....	7
2.1.3.2. Portland Çimentosu klinkeri.....	8
2.1.3.3. Ana tipler.....	8
2.2. Agrega.....	8
2.3. Su.....	9
2.4. Puzolanlar.....	9
2.4.1. Puzolanların tarihi.....	9
2.4.2. Puzolanik reaksiyon ürünleri.....	11
2.4.3. Puzolanların sınıflandırılması.....	11

2.5. Doğal Puzolanlar.....	12
2.5.2. Doğal puzolan tipleri.....	13
2.5.2.1. Volkanik orjinli puzolanlar.....	13
2.5.2.2. Pişirilmiş kil ve şeyl.....	14
2.5.2.3. Diatomlu topraklar.....	14
2.5.2.4. Doğal puzolanların kimyasal kompozisyonu.....	15
2.5.2.5. Doğal puzolanların puzolanik aktivitesi.....	16
2.6. Yapay Puzolanlar.....	17
2.6.1. Uçucu kül.....	18
2.6.2. Granüle yüksek fırın cürufu.....	20
2.6.3. Silis dumanı (SD).....	21
2.7. Puzolan İçeren Çimentoların Özellikleri.....	21
2.7.1. Prizlenme zamanı.....	22
2.7.2. Dayanım.....	22
2.7.3. Geçirimsizlik ve gözeneklilik.....	23
2.7.4. Hidratasyona etkisi.....	24
2.7.5. Hidratasyon ısısına etkisi.....	25
2.7.6. Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık.....	25
2.7.7. Sülfatlara dayanıklılık.....	25
2.7.8. Alkali - Silika reaksiyonuna (ASR) dayanıklılık.....	26
2.7.9. Klor (Cl ⁻) etkisine dayanıklılık.....	26
2.8. Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar.....	27
2.8.1. Süperakışkanlaştırıcılar.....	27
2.8.2. Priz süresini değiştiren kimyasal katkılar.....	28
2.8.3. Hava sürükleyici katkılar.....	28
2.8.4. Antifrizler.....	29

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMA.....	30
3.1. Çalışmanın Amacı.....	30
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	30

3.2.1. Çimento.....	30
3.2.2. Agrega.....	31
3.2.3. Su.....	31
3.2.4. Silis dumanı.....	31
3.3. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Dizaynı.....	32
3.3.1. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler.....	34
3.3.1.1. Basınç dayanımı.....	34
3.3.1.2. Klor geçirimliliği.....	37
3.3.1.3. Elastisite modülü tayini.....	38
3.4. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	40
3.4.1. Basınç dayanım sonuçları.....	40
3.4.2. Klor geçirimliliği sonuçları.....	44
3.4.3. Elastisite modülü tayini sonuçları.....	45
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TS	: Türk standartları
M.Ö	: Milattan önce
yy	: Yüzyıl
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
SiO ₂	: Silisyum dioksit
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CaO	: Kalsiyum oksit
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
MgO	: Magnezyum oksit
CaSO ₄	: Kalsiyum sülfat
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
Cl	: Klor
SO ₃	: Kükürt trioksit
C ₄ AF	: Tetrakalsiyum alüminoferrit
C ₃ A	: Trikalsiyum alüminat
C ₃ S	: Trikalsiyum silikat
C ₂ S	: Dikalsiyum silikat
C-S-H	: Kalsiyum-Silika-Hidrate
TÇ	: Translı çimento
SD	: Silis dumanı
ASTM	: American Society for Testing Materials
ASR	: Alkali - silika reaksiyonu
D.P.T.	: Devlet Planlama Teşkilatı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri

Y.F.C.	: Yüksek fırın cürufu
G.Y.F.C.	: Granüle yüksek fırın cürufu
kwh	: Kilowatt saat
CEM I	: Portland çimentosu
CEM II	: Portland -kompoze çimento
CEM III	: Portland yüksek fırın cürufu çimento
CEM IV	: Puzolanik çimento
CEM V	: Kompoze çimento
°C	: Celcius derecesi
g	: Gram
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
lt	: Litre
Mpa	: Megapascal
N	: Newton

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Çimento üretimi akım şemasının diyagramı.....	7
Şekil 2.2.	Puzolanların sınıflandırılması ve türleri.....	13
Şekil 2.3.	Kalsine edilmiş kil ve şeylin zamana bağlı genleşme davranışı....	16
Şekil 3.1.	Slump Deneyi sırasında slump değerinin ölçülmesi.....	33
Şekil 3.2.	Uygun koşullarda saklanan numuneler ve beton basınç deney presi.....	36
Şekil 3.3.	Klor geçirimliliği deneyi için numunelerin kesilmesi ve sodyumklorür tartımı.....	39
Şekil 3.4.	Klor geçirimliliği deney aleti.....	40
Şekil 3.5.	Elastisite modülü tayini için deney numunesi hazırlanması.....	41
Şekil 3.6.	Elastisite modülü tayini deney numunesi ve aleti.....	42
Şekil 3.7.	Silis dumanlı betonların 7 günlük basınç dayanım sonuçları.....	43
Şekil 3.8.	Silis dumanlı betonların 7 günlük bağıl basınç dayanımı (%),.....	43
Şekil 3.9.	Silis dumanlı betonların 28 günlük basınç dayanım sonuçları.....	44
Şekil 3.10.	Silis dumanlı betonların 28 günlük bağıl basınç dayanımı (%),....	44
Şekil 3.11.	Silis dumanlı betonların 56 günlük basınç dayanım sonuçları.....	45
Şekil 3.12.	Silis dumanlı betonların 56 günlük bağıl basınç dayanımı (%),....	45
Şekil 3.13.	Silis dumanlı betonların 90 günlük basınç dayanım sonuçları.....	46
Şekil 3.14.	Silis dumanlı betonların 90 günlük bağıl basınç dayanımı (%),....	46
Şekil 3.15.	Şahit ve Silis Dumanı İkameli Betonların 90 Gün İçerisindeki Basınç Dayanımı Değişimi.....	47
Şekil 3.16.	Filler kullanılan betonların 7 günlük basınç dayanım sonuçları...	48
Şekil 3.17.	Filler kullanılan betonların 7 günlük bağıl basınç dayanımı (%)...	48
Şekil 3.18.	Filler kullanılan betonların 28 günlük basınç dayanım sonuçları..	49
Şekil 3.19.	Filler kullanılan betonların 28 günlük bağıl basınç dayanımı (%).	49
Şekil 3.20.	Filler kullanılan betonların 56 günlük basınç dayanım sonuçları..	50

Şekil 3.21.	Filler kullanılan betonların 56 günlük bağıl basınç dayanımı (%).	50
Şekil 3.22.	Filler kullanılan betonların 90 günlük basınç dayanım sonuçları..	51
Şekil 3.23.	Filler kullanılan betonların 90 günlük bağıl basınç dayanımı (%).	51
Şekil 3.24.	Şahit ve Filler İkameli Betonların 90 Gün İçerisindeki Basınç Dayanımı Değişimi.....	52
Şekil 3.25.	Klor geçirimsizliği deney sonuçları.....	53
Şekil 2.26.	Silis dumanlı betonların 28 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	54
Şekil 3.27.	Silis dumanlı betonların 28 günlük numunelerinde bağıl elastisite modülü (%)......	54
Şekil 3.28.	Silis dumanlı betonların 56 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	55
Şekil 3.29.	Silis dumanlı betonların 56 günlük numunelerinde bağıl elastisite modülü (%)......	55
Şekil 3.30.	Silis dumanlı betonların 90 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	56
Şekil 3.31.	Silis dumanlı betonların 90 günlük numunelerinde bağıl elastisite modülü (%)......	56
Şekil 3.32.	Filler kullanılan betonların 28 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	57
Şekil 3.33.	Filler kullanılan betonların 28 günlük numunelerinde bağıl elastisite modülü(%)......	57
Şekil 3.34.	Filler kullanılan betonların 56 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	58
Şekil 3.35.	Filler kullanılan betonların 56 günlük numunelerinde bağıl elastisite modülü(%)......	58
Şekil 3.36.	Filler kullanılan betonların 90 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları.....	59
Şekil 3.37.	Filler kullanılan betonların 90 günlük numunelerinde bağıl elastisite modülü(%)......	59

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Bazı doğal puzolanlarda yer alan oksitlerin miktarları.....	17
Tablo 3.1.	Deneysel çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	32
Tablo 3.2.	Silis dumanının kimyasal özellikleri	33
Tablo 3.3.	Deneysel çalışmada 1m ³ için kullanılan malzeme miktarları.....	34
Tablo 3.4.	Deneysel çalışmada her beton karışımı için kullanılan malzeme miktarları.....	34
Tablo 3.5.	Basınç dayanım sonuçları.....	37
Tablo 3.6.	Klor geçirimsizliği sonuçları.....	38
Tablo 3.7.	Elastisite modülü tayini sonuçları.....	41

ÖZET

Anahtar kelimeler: Beton, Silis Dumanı, Filler, Puzolan, Basınç Dayanımı, Elastisite Modülü, Klor Geçirimsizliği

Bu çalışmada, silis dumanının betonun basınç dayanımına, elastisite modülüne ve klor geçirimsizliğine olan etkileri incelenmiştir. Betona karışım esnasında çimento yerine çeşitli oranlarda (%5, %10, %15) silis dumanı ve filler katılarak 7., 28., 56., ve 90. günlerde laboratuvar ortamında çeşitli deneyler yapılmış ve puzolan kullanılmayan şahit numune ile bir karşılaştırma yapılmıştır.

Dört bölüm halinde sunulmuş olan bu çalışmanın, birinci bölümünde konunun tanıtılması ve konunun önemi vurgulanmıştır.

İkinci bölümde betonu oluşturulan malzemeler tanıtılarak, bunların betonun mekanik özelliklerine olan etkilerinden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, yapılan deneysel çalışmanın amacı, deneyde kullanılan malzemeler, malzemelerin özellikleri ile yapılan deneyler anlatılarak deney sonucu bulunan değerler, tablo ve grafik halinde verilmiştir.

Son bölümde analiz sonuçları karşılaştırılmış ve genel bir değerlendirme yapılmıştır.

THE SURVEY OF THE EFFECTS OF SILICA FUME ON THE PERFORMANCE OF CONCRETE AND THE PERMEABILITY OF CHLORINE

SUMMARY

Keywords : Concrete, silica fume, filler, pozzolan, compressive strength, the modulus of elasticity, the permeability of chlorine.

In this research, it is searched that the silica fume has an effect on the compressive strength of the concrete, its modulus of elasticity and its permeability of chlorine. During the mix, the silica fume and the filler in different proportions (5%, 10%, 15%) are added instead of the cement. The various experiments are realized in the laboratory during 7., 28., 56. and 90. days and a comparison is done with the fixed sample in which the pozzolan isn't used.

This research is composed of four parts. The introduction and the importance of the subject are emphasized in the first part.

The second part is about the materials forming the concrete and the effects of mechanical features of the concrete.

The aim of this experimental research and the features of used materials are mentioned in the third part. It is told that the values of experiments are composed of tableaux and graphics.

The analyzed outcomes are compared and a general evaluation is done in the last part.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega v.b.), çimento, mineral, kimyasal katkıları ve suyun karıştırılmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir. Bu malzemeler hesaplanmış belirli oranlarda bir araya getirildiğinde, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Beton; yapı endüstrisinde kullanılan diğer malzemelerden farklı ve daha üstün kılan en önemli özelliklerden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten kısa bir süre sonra prizini alır ve zamanla dayanım kazanır (Ersoy, 2001).

Betonun kalitesi için esas alınan ölçüt betonun basınç dayanımıdır. Beton üzerinde yapılmış araştırmalarda, betonun basınç dayanımı ile beton oluşturmak için kullanılan malzemelerin muhtelif özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve betonun diğer mekanik özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı eğilimde olduğu gözlemlenmiştir (Erdal, 2002). Bununla birlikte basınç dayanımının yanı sıra, çeşitli çevresel koşullar göz önünde bulundurulduğunda durabilite kavramı da önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, silis dumanı ve filler malzemeleri, çimento yerine çeşitli oranlarda kullanılmış, hazırlanmış beton numunelerinin basınç dayanımına, sünekliğe ve klor geçirimsizliğine etkileri incelenmiştir.

Bu amaçla, silis dumanı ve filler %5, %10, %15 oranlarında çimento yerine kullanılarak beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ise kür havuzunda standart kür etkisine maruz bırakılarak 7., 28., 56., ve 90. günlerde basınç, elastisite modülü ve hızlı klor geçirimsizliği deneylerine tabi tutularak referans betonla kıyaslanmıştır.

BÖLÜM 2. BETONU OLUŞTURAN MALZEMELER

2.1. Bağlayıcı

“Çimento” sözcüğünün kökeni olan “Caementum”u ilk defa Romalı mimar-mühendis Marcus Vitruvius Pollio (M.Ö.1.yy) “De Architectura” adlı eserinde kullanmıştır. Bu eserinde Vitruvius, toz halinde bulunan ve büyük binaların inşasında kullanılan bir malzemeden “Caementum” olarak bahsetmektedir. Latince “bağlayıcı” anlamına gelen bu sözcük diğer dillere Cement (ingilizce), Ciment (Fransızca), Zement (Almanca), Cemento (İtalyanca) olarak geçmiştir. Ortaçağda harç anlamında da kullanılan bu sözcük Farsça’da yine bağlayıcı anlamını taşıyan, kemend olarak yer almış ve Türkçe’ye de kement olarak geçmiştir. Türkçe telaffuz benzerliğinden dolayı, İtalyanca “Cemento” sözcüğü çimento olarak kullanılmaktadır (Postacıoğlu, 1986).

Antik çağlarda yapılar topraktan veya kesme taştan inşa edilmişlerdir. Bağlayıcı olarak kullanılan ilk malzemeler sönmüş kireç ve alçıdır. Hititler (M.Ö. 2000-1100) ve Fenikeliler (M.Ö. 3000-60) tarafından sönmüş kireç kullanılmıştır. Bu malzemenin daha önceden de bilindiği tahmin edilmektedir. Sönmüş kireç-puzolan karışımı hidrolik bağlayıcıları ilk kullananlar, her ne kadar Romalılar olarak bilinse de, gerçekte Hititliler ve Giritlilerdir (Postacıoğlu, 1986). Romalılara, kireç-puzolan karışımı hidrolik bağlayıcıyı tanıtanlar büyük olasılıkla Anadolu’dan İtalya’ya göç eden Etrüskler (M.Ö. 700-400) veya Yunanlılardır. (Postacıoğlu, 1986).

Eski Yunanlılar ve Romalılar killi kalkerleri pişirerek su kireci elde etmişlerdir. Aynı zamanda bazı volkanik formasyonların ince öğütülüp kireç ve kum ile karıştırılması sonucu, kireç harcından daha kuvvetli ve suya karşı daha dayanıklı bir malzeme elde edileceğinin bilincine varmışlardır Roumain, 2000. Eski Mısırlılar M.Ö. 2000 yıllarında alçıyı bağlayıcı olarak kullanmışlardır. Mısır piramitlerinden alınan

örnekler incelendiğinde harçların alçıdan yapılmış olduğu görülmüş ve Mısır uygarlığında kireç bazlı harçların ilk defa, Büyük İskender'in Mısır'ı fethinden (M.Ö. 332) sonra Amon surlarının restorasyonunda kullanıldığı saptanmıştır. Ortaçağda, 18. yüzyıla kadar, Avrupa ve Asya'da kireç-puzolan karışımı hiçbir yenilik yapılmadan kullanılmış, hatta kalite olarak da geriye gitmiştir (Postacıoğlu, 1986).

Kullanılan en eski çimento malzemelerinden birisi "mud" dur ki; bu malzeme, bugün bile dünyanın çeşitli yerlerinde blok ve birimlerin inşaatında bağlanma kapasitesini artırmak için kıyılmış yaprak ve başka bitkisel liflerle birlikte karıştırılarak hazırlanmaktadır (Roumain vd., 2000).

2.1.1. Portland Çimentosu'nun tarihi

18. yüzyıla kadar geçen süre içinde bazı tip kireçlerin su içinde sertleşebildikleri görülmüştür. Ancak nedeni anlaşılammıştır. 1756-1830 yıllarında İngiltere'de John Smeathon ve Joseph Parker adlı mühendisler, fazla kil içeren kalker taşlarından su kireci elde edildiğini ortaya çıkarmışlardır. Bu tip su kireçleri 1800 yıllarında Roma Çimentosu adı altında Fransa ve İngiltere'de üretilmeye başlanmıştır (Baradan, 1994).

Bağlayıcı malzemelerin önemi 18. yüzyılda anlaşılmaya başlanmıştır. Çağdaş çimento kronolojisinin başlangıcı, 1880'li yılların başında Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin'in Portland Çimentosu'nun patentini almasıyla başlamıştır (Karakule vd., 2004).

Ömrünü çimento ve hidrolik bağlayıcıların araştırmasına adanmış olan Louis-Joseph Vicat, kirecin kil ile beraber pişirilmesi yolu ile hidrolik bağlayıcı yapılabileceğini göstermiş olup puzolan harç karışımında pişirme sıcaklığının, hammadde tipinin, tane boyutu dağılımının vs. etkisini incelemiştir. Aynı kişi harçların mekanik ve jeolojik özelliklerinin incelenebilmesi için laboratuvar aletleri yapmış olup, hidrolik endeks kavramını da ortaya çıkarmıştır. (Güvercin, 2002).

Birkaç öncü çalışmanın ardından, Leeds şehrinde bir yapı ustası olan Joseph Aspdin 1824 yılında Portland Çimentosu'nun patentini almıştır (Peray, 1987). Aspdin killi kireç taşlarının kalsinasyonu ile havasız yerde ve su altında çözünmeyen su kirecinden daha üstün özelliklere sahip bir bağlayıcı madde elde edilebildiğini görmüştür. Bu ürüne kum ile su katıldığında ve zamanla sertleşme olması ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırması nedeniyle Portland Çimentosu adı verilmiştir (TÇMB, 1999).

Portland Çimentosu'nun bileşimi ile ilgili ilk sistematik çalışmalar Amerika'da başlamış ve 1906'da termik ve petrolojik metotların uygulanması çimento ile ilgili bilgileri bilimsel temele oturtmuştur (Targan, 2001).

Portland Çimentosu'nun fabrikada üretilmesi çalışmaları ilk olarak İngiltere'de yapılmış ve Swanscombe'da 1825 yılında J.Frost tarafından gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra Belçika ve Almanya'da 1855 yılında ilk çimento fabrikaları kurulmuştur. Birleşik Amerika'da ise 1855 yılında ilk çimento fabrikaları kurulmuştur (Kula, 2000). Sonraları hidrolik çimento kullanımı Avrupa ve kuzey Amerika'da hızla yayıldı. Çimento üretiminde kullanılan ekipmanın geliştirilmesine başlandı (Roumain vd., 2000).

1835'de İsaac Charles Johnson pişirme sıcaklığını yükselterek ve öğütmeye daha çok önem vererek bugünkü çimentoyu buldu. Yüksek sıcaklıklarda pişirilmeleri gerektiği için, başlangıçta Portland Çimentoları doğal çimentolardan daha pahalı idiler ve onlarla rekabet edemediler. Ancak 1885'de Frederic Ransome döner fırını bularak bu sorunu çözdü. (Baradan, 1994).

Bu o zamanlar için çimento endüstrisinde önemli bir gelişmeydi ancak gerçekten başarılı işlev gören döner fırın yıllar sonra gerçekleşti. Ransome'nin fırınından sonra bazı Amerikalı mühendisler bu buluşu geliştirmeye devam ettiler. Amerika'da ekonomik olarak çalışan döner fırın Atlas Çimento Şirketi'nden Hurry ve Seaman tarafından geliştirilerek 1895 yılında üretime başladı (Roumain vd., 2000). Bugün su kireci ve doğal çimento çok az üretilmektedir (Baradan, 2004).

Portland Çimentosu'nun üretimi arttıkça hammadde ve çimentolarla ilgili deney yöntemleri ve karakterizasyonlar üzerine çalışmalar başladı. Çok sayıda laboratuvar çalışmasından sonra 1900 lü yılların başında başlıca çimento deneyleri büyük ölçüde standartlaşmış oldu. O zamandan beri bunların bir bölümü gözden geçirilip değiştirildi ve bütün dünyada çimento standartlarıyla yeni deneyler eklendi (Roumanin, vd., 2000).

2.1.2. Çimentonun üretimi

Çimento üretimi jeoloji, kimya, fizik, termodinamik, fiziko kimya gibi çok sayıdaki gibi bilim dallarındaki bilgilerin birlikte kullanılması gerekir (Targan, 2001).

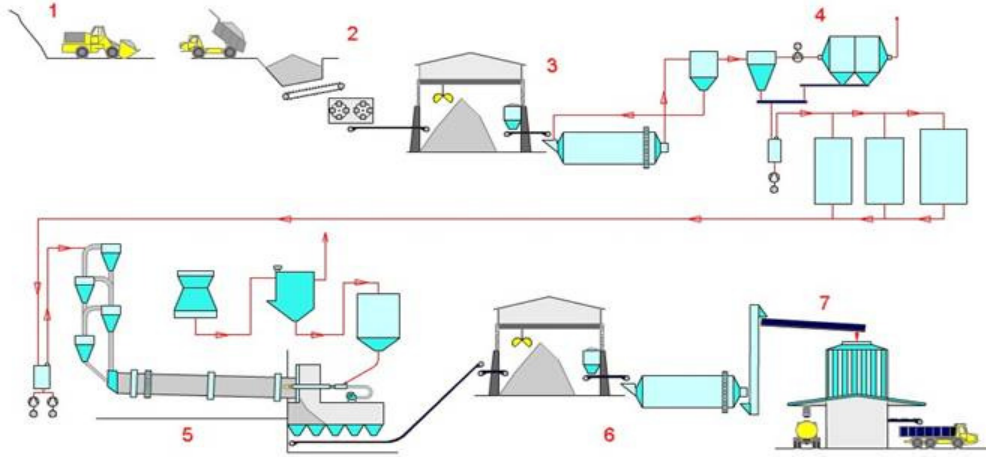
Portland Çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve "klinker" olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır (Erdoğan T, 2003).

Çimentonun ilkel maddeleri kalker (kireç taşı) ve kildir. Çimento yapımında bu maddeler belirli oranlarda karıştırılır ve yüksek sıcaklıklarda pişirilir. Yüksek sıcaklıkta kalkerin ayrışması sonunda CaO, kilin ayrışması sonunda silis (SiO₂), Alümin (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) oluşur (Baradan, 1994). Bu maddeler yüksek sıcaklıklarda yine aralarında birleşerek esas bileşimleri olan ve çimentoya bağlayıcı özelliğini kazandıran silikat ve alüminatları oluştururlar (Baradan, 1994). Ana hatları ile üretim aşamaları; "hammadde üretim ve hazırlama prosesi", "pişirme prosesi", "çimento öğütme ve paketlenme prosesi" olarak incelenebilir (Nakamora vd., 1986; Sarkar, 1990).

Çimento üretimi enerjinin yoğun tüketildiği bir süreç olup, günümüz teknolojileri ile yapılan üretimlerde 1 ton çimento üretmek için yaklaşık 100 kwh enerji harcanmaktadır (T.Ç.M.B, 1999).

Ülkemizde üretilen çimentoların üretim prosesi genel olarak aşağıdaki şekildedir (Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş., 1973).

- a) Çimento hammaddesi olan kalker, kil (veya marn) hammadde ocağından alınarak kırıcıya gönderilir.
- b) Kırıcıdan geçen hammadde stoklanır.
- c) Stoktan alınan hammadde değirmene gönderilerek öğütülür. Belli oranlarda kil ve kalker karışımından ibaret öğütülmüş hammadde karışımına “Farin” adı verilmektedir.
- d) Farin silolarda depolanır.
- e) Sonra ısı değıştiricilerden geçirilir
- f) Döner fırına verilen Farin 1400 - 1450 °C sıcaklıkta pişirilir. Farinin pişmesi sonucunda elde edilen ürüne “klinker” adı verilir
- g) Fırından çıkan klinker soğutuculardan geçirilir
- h) Soğutulan klinker depolanır.
- i) Klinkere alçıtaşı eklenerek çimento değirmeninde öğütülür. Öğütülmüş klinker ve alçıtaşı karışımına “çimento” adı verilir.
- j) Çimento pompalanarak silolara doldurulur.
- k) Torbalanarak pazarlanır.



Şekil 2.1. Çimento üretimi akım şemasının diyagramı

- 1) Hammadde kırılmak üzere taş kırıcıya taşınır.
- 2) Hammadde, kırıldıktan sonra stokholde stoklanır.
- 3) Hammadde belli oranlarda karıştırılarak farin değirmenlerine alınır ve öğütülür.
- 4) Farin pişirmek üzere stoklanır.
- 5) Döner fırınında farin pişirilir.
- 6) Fırından klinker olarak çıkan yarımamül soğutucuda soğutularak stoklanır. Alçıtaşı ve üretilecek çimento cinsine uygun katkılarla çimento değirmenlerinde öğütülür.
- 7) Cinslerine göre ayrı ayrı silolarda stoklanan çimento, torbalı ve dökme çimento olarak pazarlanır.

2.1.3. Çimento tipleri

Çimento içindeki ana bileşenleri (C_3S , C_2S , C_3A ve C_4AF) farklı oranlarda bulundurmak suretiyle çeşitli amaçlara yönelik farklı çimentolar elde edilebilmektedir (Erdoğan T, 1995).

Çimentonun, kullanım amaçlarına ve daha ekonomik olarak üretilmesine yönelik çeşitli tipleri üretilmiştir. Birkaç tipin haricinde katkısız ve katkılı çimento daima Portland Çimentosu klinkeri kullanılmaktadır (Targan, 1998).

Yeni genel çimentolar TS 197-1’de “CEM Çimentosu” olarak adlandırılır. Ayrıca bir

klinker standardı olmadığı için klinkerde aranan özelliklerde çimento standardının içine alınmıştır. İlgili tanımlamalar şu şekildedir (Yeniboğalı vd., 2005).

2.1.3.1. CEM çimentosu

Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az % 50 olması gereken çimentodur. Bileşimi portland çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir (Yeniboğalı vd., 2005).

2.1.3.2. Portland Çimentosu klinkeri

Kalker ve kil gibi hammaddelerin CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ gibi oksitlerini içeren, hassas bir orantı ile birleştirilip ince öğütülmüş karışımının (farinin) döner fırında 1400 - 1500 °C sıcaklıkta sinterleşmesi sonucu elde edilen yaklaşık 1-3 cm çapında granüle malzemedir. Kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikat içermeli, CaO/SiO₂ oranı 2.0 den az olmamalıdır. Ayrıca MgO içeriği en fazla % 5 olarak sınırlanmaktadır (Yeniboğalı vd., 2005).

TS EN 197-1 standardı genel amaçlı çimentoları (CEM) çimentoları 5 ana tip içerisinde toplamaktadır (Yeniboğalı vd., 2005).

2.1.3.3. Ana tipler

- CEM I Portland Çimentosu
- CEM II Portland Kompoze Çimento
- CEM III Portland Yüksek Fırın Curuflu Çimento
- CEM IV Puzolanik Çimento
- CEM V Kompoze Çimento

2.2. Agregas

Mineral kökenli olup boyutları genellikle 100 mm'ye kadar çıkan tanelerden oluşan malzemeye agregas denir. Betonun hacim bazında %60-80'ini, ağırlıkça ise %80'ini agregas oluşturur.

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırmataş (mıcır) malzemeden meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere yataklarından, deniz ve nehir tabanlarından elde edilirler. İstenen agregas boyutlarının elde edilebilmesi için ise büyük taş kütleleri konkas rde kırılırlar. Bu Şekilde oluşan köşeli ve p r zli y zeeye sahip malzemelere mıcır adı verilir ve mıcır bu özellikleriyle doğal kum ve akıldan ayrılır. Taze ve sertleşmiş betonun özellikleri, karışım oranları ve maliyet agreganın özelliklerinden önemli derecede etkilenir (Ağar, 1998).

2.3. Su

Beton  retiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır: Kuru haldeki imento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek ve imento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamak. Bilindiği üzere beton mukavemeti, su/imento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini yok eder.

Beton  retiminde kullanılan suya çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü karma suyunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkilerler ve donatının korozyonuna yol açarlar. (Ağar, 1998).

Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması Őart değildir. Birtakım  n deneyler yapılmak kaydıyla, iilemeyen sularla gayet kaliteli beton  retilenir.

Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb.) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır.

2.4. Puzolanlar

Hammaddeleri değiştirmeden ve alçıtaşından başka katkı kullanmadan farklı özelliklerde Portland çimentoları üretilbileceğini biliyoruz. Bu işlemler sadece hammaddelerin karışım oranları değiştirilerek sağlanmaktadır. Diğer taraftan eski zamanlardan bu yana bağlayıcı malzeme teknolojisinde kullanılan bazı mineraller bu yüzyıl içerisinde Portland Çimentosu içerisinde katkı maddesi olarak yer almaya başlamış, kullanım miktarları artmış ve özellikle endüstriyel türleri çeşitlenmiştir. Mineral katkılı çimentoların bazı türlerinde Portland çimentosu klinkeri azınlıkta kaldığı için bu çimentoların isimlerinden artık “Portland” kelimesinin kullanılmadığı dahi görülmektedir (Yeniboğalı vd., 2001).

2.4.1. Puzolanların tarihi

Puzolan teriminin iki farklı anlamı vardır. Birincisi Pozzuoli (Napoli) civarında ve İtalya'nın diğer yörelerinde rastlanan camsı içeriği fazla olan piroklastik bir kayacı ifade eder. Diğer anlamı ise doğal ve yapay olup, su ve sönmüş kireçle veya portland çimentosu klinkeri gibi kalsiyum hidroksiti serbest bırakabilen maddelerle karıştırıldıklarında sertleşen bütün inorganik maddeleri içerir. Yeraltı suyunun tabanında bulunan puzolanların kullanılması Romalılara kadar uzanmaktadır. Bugünkü İtalya'da Vezüv yanardağ eteklerinde bulunan Puzzoli kasabasında, volkanik küllerin su ile söndürülmüş kireç ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcı malzeme oluşturduğu fark edilmiştir (D.P.T, 1986). Napoli puzolanlarının bağlayıcı özelliğini keşfeden Romalılar, bunu kireç ile yapılan harca ilave ederek

kullanılmışlardır. Yapımında bağlayıcı olarak tras kullanılan birçok tarihi yapı hala hizmet vermektedir. Bunlardan bazıları, Romalılar tarafından 2000 yıl önce tras ve kireç karışımının çimento yani bağlayıcı olarak kullanılması ile yapılmış olan Rihine Nehri boyundaki su kanalı, 1910-1920 tarihleri arasında İdoha'da inşa edilen Arrowrock Barajı, New Mexico'da San Fransisko Bay Köprüsü, Oregon'da Bonneville Barajı, Los Angeles'da su kanalı, Neuwied Ren Köprüsünün ayakları, Agger Barajı, Saldenbach Barajı şeklinde sıralanabilir. Bilim adamlarının Türkiye'de Çatalhöyük'deki eski yapılar üzerinde yaptıkları incelemelerde, bu yapılarda kullanılan harcın 8000 yıl eski olduğu ortaya çıkmıştır.

Sadece kireç veya alçıdan elde edilen bağlayıcılar özellikle sulu ortam koşullarına karşı dayanıklı değildirler ve bu bağlayıcıların bu kadar uzun süre dayanıklılık göstermeleri mümkün değildir. O nedenle, 800 yıl eskilikteki harcın muhtemelen puzolanik malzemelerle yapıldığı anlaşılmaktadır. Bir başka deyişle, Romalılardan çok uzun yıllar önce de (bu malzemenin puzolan olarak adlandırılmasından çok önce de), puzolanik malzemeler eski insanlar tarafından bir şekilde kullanım bulmuşlardır (Erdoğan T, 2003).

Öğütülmüş tuğlanın (pişirilmiş kilin) ve kirecin suyla karılması sonucu elde edilen bağlayıcılar da çok eski zamanlarda, yaygın olarak kullanılmışlardır. Bu malzemelerden yapılan harçlar, Hindistan'da "surkhi", Mısır'da "Homra" adıyla anılmışlardır (Ramachandran, 1995).

Osmanlılar dönemindeki Türkler tarafından yapılan çok önemli eserlerde de kullanılan bu harç, "horosan harcı" olarak adlandırılmıştır (Erdoğan T, 2003).

2.4.2. Puzolanik reaksiyon ürünleri

Kireç-puzolan tepkimesi puzolan tipinden bağımsız olarak, Portland Çimentosu'nun hidrate olmasıyla ortaya çıkan ürünlerle genel olarak aynı ürünleri verir. Olası

farklılıklar küçüktür ve hidratasyon ürünlerinin yapısından çok miktarını etkiler (Hewlett, 1998; Targan, 2001).

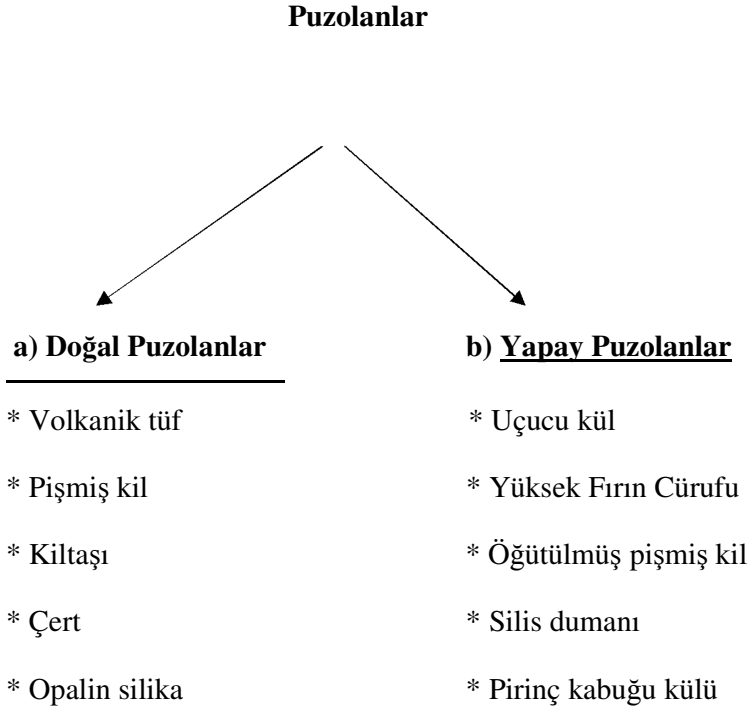
Kireç-doğal puzolan tepkimesi sonucunda literatürde aşağıda sıralanmış ürünler oluştuğu yönünde ortak bir görüş vardır (Targan, 2001).

1. C-S-H formunda kalsiyum silikat hidrat
2. C_4AH_x formunda kalsiyum alüminat hidrat ($9 \leq x \leq 13$)
3. Hidrat gehlenit- C_2ASH_8
4. Kalsiyumkarboalüminat - C_3A . $CaCO_3$ H_{12}
5. Etringit- C_3A . $CaSO_4$. H_{32}
6. Kalsiyum alüminat monosülfat- C_3A . $CaSO_4$. H_{12}

Bu ürünlerin varlığı esas olarak doğal puzolanın kimyasal içeriğine, ortamda kirecin varlığına ve çevre şartlarına bağlıdır. Bilindiği gibi doğal puzolanlar, silikanın baskın olduğu kompozisyonlardan, alüminyumun baskın olduğu kompozisyonlara kadar geniş bir yayılım göstermektedirler. Bu sebeple her doğal puzolanın kireçle tepkimesi aynı ürünleri açığa çıkarmaz (Targan, 2001).

2.4.3. Puzolanların sınıflandırılması

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenirler. Aşağıda puzolanlar şematik olarak gösterilmiştir (Onat, 1998).



Şekil 2.2. Puzolanların sınıflandırılması ve türleri

Puzolanların ana bileşeni silistir. Puzolanların içinde bulunan silis ve alüminin kireçle yapmış olduğu reaksiyon sonucunda puzolan bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Bir puzolanla Portland Çimentosu karıştırıldığı vakit çimentonun hidratasyonu sonucunda meydana gelen Ca(OH)_2 ile SiO_2 ve Al_2O_3 arasında reaksiyon sonucunda puzolan yine bağlayıcılık özelliğine sahip olur (Onat, 1998).

2.5. Doğal Puzolanlar

Doğada bulunan ve ince taneli duruma getirildikten sonra kalsiyum hidroksit ve suyla birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliği gösteren silisli ve alüminli malzemelere, “doğal puzolanlar” denilmektedir (Erdoğan T, 2003). Türkiye’de “tras” olarak adlandırılırlar. TS EN 197-1’e göre doğal puzolanlarda reaktif silis miktarı en az % 25 olmalıdır (Yeniboğalı vd., 2005).

Doğal puzolanların en önemlisi Almanya'da Ren vadisinde çıkarılan ve tras adı verilen puzolandır. Bu puzolan gayet üstün özelliklere sahip olduğundan birçok ülkelerde bu arada da bizim ülkemizde de puzolanlar tras olarak adlandırılmaktadır ve puzolan katkılı çimentolara traslı çimentolar (TÇ) denilmektedir (Kaplan vd., 1996).

Doğal puzolanlar, doğal olarak oluşan amorf yapıda silika içerir veya ASTM C 618'e göre N sınıfı olarak tanımlanan amorf silikayı elde etmek üzere işlem görmüş malzemelerdir. Puzolanların tek başlarına bağlayıcılık özellikleri yoktur. Kireç veya çimento gibi başka bir bağlayıcı ile karıştırılınca bu özelliği kazanırlar. Doğal puzolanlar, volkanik küller ve tüfler (traslar) ve pomza taşlarıdır (Tosun, 2001).

Volkanik orjinli malzemelerin puzolanik özellik gösterebilmeleri için, çok ince taneli (en az Portland Çimentosu inceliğine) getirilmek üzere öğütülmeleri gerekmektedir. Öte yandan, kil, şeyl ve diatomlu toprak, önce ısı işleme tabi tutulup (pişirilip) daha sonra ince taneli duruma getirildiklerinde (öğütüldüklerinde) puzolanik özellik kazanabilmektedirler (Erdoğan T, 2003).

İnce taneli durumdaki puzolanların bağlayıcı olarak görev yaptıkları değişik kullanım tarzları mevcuttur: (Erdoğan T, 2003).

Söndürülmüş kireçle veya suyla birleştirilerek, çok eski zamanlarda olduğu gibi, doğrudan kullanılabilirler.

2.5.2. Doğal puzolan tipleri

2.5.2.1. Volkanik orjinli puzolanlar

Doğal puzolanların büyük bir bölümü volkanik kökenli malzemelerdir. Volkanik püskürme sırasında silisli ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik durumdaki magma, yüzeye lav olarak çıkarak çok çabuk soğuma gösterdiği takdirde, camı (amorf) yapıya sahip olmaktadır. Püskürme esnasında gazların da bulunması,

malzemenin gözenekli yapıya ve çok büyük yüzey alanına sahip olmasına neden olmaktadır. Yüzey alanının büyük olması ve düzensiz yerleşim göstermelerinden dolayı, alüminli silisler, sulu ortamda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilmektedirler. Volkanik püskürmenin çok hızlı olması, malzemenin daha amorf yapıya ve daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olmalarına yol açmaktadır (Ramachandran, 1995).

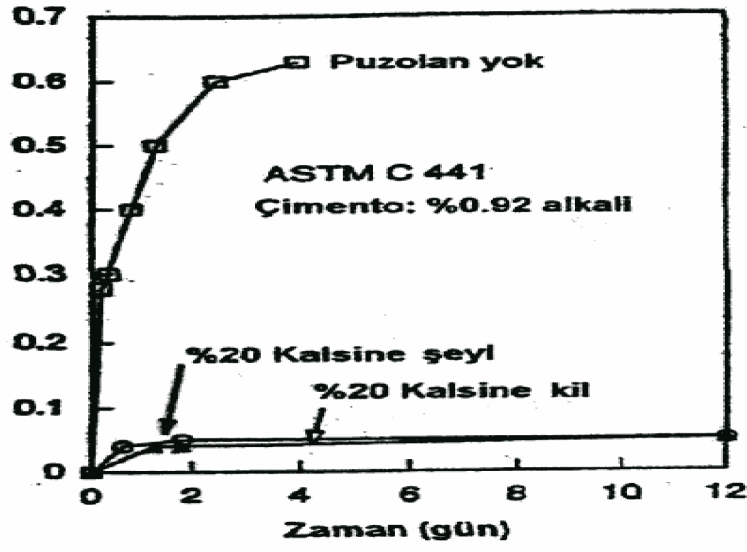
2.5.2.2. Pişirilmiş kil ve şeyl

Büyük miktarda silis ve alüminden oluşan kil ve şeyl mineralleri kristal yapıya sahiptirler. Doğal yapıları itibariyle puzolanik özellik göstermemektedir. Ancak, bir iki saat kadar 700-900 °C civarında sıcaklığa tabi tutulduklarında, bu malzemelerin düzenli kristal yapısı bozulmakta ve yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapı elde edilmektedir. Böylece puzolanik malzeme durumuna gelmektedirler. Killi malzemelerin pişmesiyle elde edilen puzolanlar, ABD’de, Brezilya’da ve Hindistan’da birçok baraj inşaatında kullanılmışlardır (Ramachandran, 1995).

2.5.2.3. Diatomlu topraklar

Diatomlar, silisli hücrelere sahip olan mikroskobik büyüklükteki tek hücreli su bitkileridir. Diatomlu topraklarda, bu organik kalıntılardan kaynaklanan ve amorf yapıda olan büyük miktarda silis bulunabilmektedir (Ramachandran, 1995).

Çimento harcının kirecini tutarak ortamın pH derecesini indirgeyen puzolanlar, silikanın çözünürlüğünü azaltarak alkali silika reaksiyonunu ve jel yapısında daima var olan CaO’yu bağladığı için jel oluşumunu da engeller. Doğal puzolanlar ham veya kalsine dilmiş halde ASR’na karşı kullanılabilirler. Bu durum şekil 2.3’de özetlenmektedir (Tosun, 2001).



Şekil 2.3. Kalsine edilmiş kil ve şeylin zamana bağlı genişleme davranışı

Bazı silisli maddelerin yaklaşık 1000 °C de kalsine edilmesiyle puzolanik malzemeler elde edilebilmektedirler.

2.5.2.4 Doğal puzolanların kimyasal kompozisyonu

Aşağıdaki tabloda bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarları verilmiştir (Erdoğan T, 2003).

Tablo 2.1. Bazı doğal puzolanlarda yer alan oksitlerin miktarları (% olarak)

Puzolan türü	Oksit Miktarları (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik cam	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik tüf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomlu toprak	86.0	2.3	1.8	--	0.6	0.4
Pişirilmiş kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

2.5.2.5. Doğal puzolanların puzolanik aktivitesi

Puzolanik aktivite, puzolanın özelliklerine, içerisinde bulunan aktif fazların kalite ve miktarına bağlıdır (Erdoğan vd.,1999). Genel olarak, puzolanların heterojen bir yapıda olmaları ve hidrasyonun karmaşık yapısı nedeniyle puzolanik aktiviteyi açıklayıcı bir model geliştirilememektedir. Bununla beraber, bu hususta ancak genel eğilimler açıklanabilir (Hewlett, 1998).

1. Diğer özellikleri aynı kalmak üzere puzolanın bağladığı Ca(OH)₂ miktarının fazla olması, bu puzolanda aktif madde miktarının da fazlalığına işaret eder.
2. Bir puzolanın kısa dönemdeki aktivitesi esas olarak özgül yüzey alanına, buna karşılık uzun dönemdeki aktivitesi ise kimyasal ve mineralojik kompozisyonuna bağlıdır.
3. Bir puzolanın bağladığı Ca(OH)₂ miktarı, puzolanın aktif fazlarını içerisindeki SiO₂ miktarı ile ilişkilidir.
4. Belirli sınırlar dahilinde kireç-puzolan karışımlarında, kireç/puzolan oranının artması Ca(OH)₂ bağlanmasını artırır.
5. Zeolitik puzolanlar camsı puzolanlara göre genel olarak daha aktiftir.
6. Farklı puzolanlarda bulunan camsı fazlar farklı kireç bağlayabilme yeteneğine sahiptir.

7. Puzolan –kireç karışımlarında ortamda su miktarının fazla olması bağlanan kireç miktarını artırır. Isıtıldıklarında birçok doğal puzolan aktiviteyi etkileyen olumlu ve /veya olumsuz kimyasal yapısal değişikliklere uğrar. Olumlu etkiler genel olarak puzolanın camsı ya da zeolit fazındaki suyun kaybı ve killerin kristal yapısının bozulmasıyla olur. Olumsuz etkiler ise, özgül yüzey alanının azalması, camsı fazın bozunması ve kristalleşme neticesindedir (Targan, 2001).

2.6. Yapay Puzolanlar

Çeşitli fabrikalardan ve endüstriyel proseslerden yan ürün olarak ortaya çıkan ve şu an atık olarak kabul edilen, yine aynı şekilde yalnız başına kullanıldığı zaman bağlayıcı madde olmayan,fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman su ile yaptığı reaksiyon sonucunda bağlayıcı özelliğini kazanan silis veya silis-alümin içeren maddelerdir. Yapay puzolanlardan uçucu kül ve Y.F.C.'lerinin özelliklerine ayrıntılı olarak ileride değinilecektir.

Bir Portland Çimentosu'na puzolan karıştırıldığı zaman çimentonun hidrasyonu sonunda meydana gelen Ca(OH)_2 ile puzolan içinde bulunan SiO_2 ve Al_2O_3 arasında meydana gelen reaksiyonlar puzolana bağlayıcılık özelliği kazandırmaktadır (Şensöz vd, 2000).

Harçlar, doğal puzolan betonları ve kireç son yüzyılın sonlarına kadar her zaman kullanılmış, kimyasal etkilere özellikle deniz suyu etkisine karşı koyabilen malzemelere başvurmak gerekli olmuştur. Puzolanik harçların ve betonların kullanımı ve önemi, Portland Çimentolarının başarılı uygulanabilirlik, hızlı sertleşme ve mekanik dayanımının gelişmesine sahip olması nedeniyle bir süre düşüş göstermiştir. Portland Çimentosu' nun puzolanlı kireç karışımına ilave edilmesiyle dayanım önemli ölçüde geliştiği halde bu düşüş süresi kısa olmuştur (Saygılı, 2000; Targan, 2001; Şensöz vd., 2000).

İyi puzolanlara sahip olan ülkelerde puzolanlı çimentolar, Portland Çimentolarıyla mukayese edildiklerinde geliştirilmiş dayanıklılıkları nedeniyle hızlı bir yayılış göstermişlerdir. Bu çimentolar ile yapılmış denizle ilgili yapılar, su kuvvetiyle işleyen yapılar ve yeraltı yapılarının 80 yıldan daha fazla bir zamanda serviste kalmasıyla geçerliliği onaylanmış ve doğrulanmıştır (Saygılı, 2000).

Isı gelişiminin düşük olması nedeniyle puzolanik çimentolar geniş kütleli beton kalıplarında büyük ölçülerde kullanılmışlardır. Yakın zamanlarda Amerika Birleşik Devletlerinde puzolanik çimentoların, alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu genleşmeyi önlemek için kullanılabilceği bulunmuştur (Saygılı, 2000).

Eğer puzolan miktarı kalsiyum silikatların hidratasyonu sırasında oluşan kirecin tamamını sabit tutmaya yeterli ise puzolanik çimentolar, yeterli değilse puzolanlı çimentolar elde edilir. Puzolanik çimentolar alışlagelmiş karakteristikleri nedeniyle puzolanlı çimentolara oranla daha çok miktarlarda elde edilirler (Saygılı, 2000; Massazza, 1999).

2.6.1. Uçucu kül

Uçucu kül terimi 1930'lu yıllarda elektrik gücüne dayalı endüstrinin gelişmesi ile yayılmaya başladı. Uçucu külün betonda kullanımını ile ilgili ilk kapsamlı bilgi 1937 yılında Kuzey Amerika'da Davis tarafından hazırlandı. 1970'li yıllarda enerji maliyetindeki hızlı artışa paralel olarak çimentonun da önemli derecede pahalalanmasıyla uçucu kül dünya genelinde kabul görmeye başladı (Gökçe, 1995).

Termik santrallerde pulvarize kömürün yanması sonucu üç atık malzeme meydana gelir. Bunlardan birincisi taban külü, ikincisi bacadan çıkan duman içindeki çok ince zerrecikler halinde bulunan ve atık malzemelerin % 75-80'ini oluşturan uçucu kül, üçüncüsü ise kazanın dibinde oluşan ve kazan külü olarak da adlandırılan taban külüdür (Özdemir, 2001). Uçucu kül baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen üresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince

(0.5-150 mikron) olup baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, “uçucu kül” olarak adlandırılmaktadır (Türker vd., 2004).

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 , alkali oksitlerde minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden SiO_2 % 25-60, Al_2O_3 % 10-30, Fe_2O_3 % 1-15 ve CaO % 1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir (Türker vd., 2004).

TS 639’a göre uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucunda oluşan ve baca gazları ile sürüklenen, silis ve alümino- silisli toz halinde bir yanma kalıntısı olarak tanımlanır (Güvercin, 2002). Uçucu kül renk olarak çimento tozundan farklı değildir ve rengi krem renginden koyu griye doğru değişir (Cripvwell, 1992).

Uçucu küllerin ekonomik olarak değerlendirilmesi, kullanılan miktara gerekli nakliye miktarına ve istenilen tasarıma bağlıdır. Dünyadaki uçucu kül üretimi yıllık 450 milyon tondur. Ancak bunun sadece % 6’sı çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye’deki yıllık uçucu kül üretimi ise yıllık yaklaşık 15 milyon tondur ancak endüstride kullanımı düşüktür. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi yetersiz bilgi, ikincisi ise uçucu kül özelliklerinin her zaman üniform olmayışıdır (Şengül vd, 2002).

Her şeye rağmen uçucu külün ham bileşen olarak kullanımında problemler vardır. Uçucu külün plastik özelliklerinin eksikliği nedeniyle, yaş proses sistemlerde kabon partiküllerinin yüzey üzerinde yüzmesine sebep olacak şekilde farin çamurunun diferansiyel çökmesi ve ayrılması olasılığı vardır. Ön ısıtıcı sistemleri ihtiva eden kuru proses sistemlerde uçucu kül kullanımı sülfat ve alkalilerin uçucu hale geçmesine ve lokal olarak aşırı ısıtma problemlerine yol açar ve malzeme akışını güçleştirir.

2.6.2. Granüle yüksek fırın cürufu

Demir cevherleri doğada esas olarak içerdikleri demir oksit bileşenlerinin yanı sıra silis, alümin, kükürt, fosfor ve mangan gibi bazı yabancı maddelerle bir arada bulunmaktadır (Onat, 1998).

Yüksek fırın cürufu demir sanayinin bir yan ürünüdür ve kalkerin, kok dan gelen kül ve cevherden demirin ayrılması ve indirgenmesinden sonra geri kalan silisli ve alüminyumlu atık ile ergitilmesinin sonucunda oluşmaktadır (Witold (Çeviren Katnaş), 1992).

Fırdaki yüksek sıcaklık nedeniyle eriyik hale gelen ve CaO, SiO₂, Al₂O₃ gibi oksitleri içeren curuf, ani olarak (suda) soğutulduğu takdirde, gri kum parçacıkları boyutunda amorf yapıya sahip granüle bir durum kazanmaktadır (Erdoğan T, 2003).

Yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki SiO₂ ve Al₂O₃ içeren gayri saflıklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan curufun bileşimi portland çimentosuna büyük benzerlik gösterir. Fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO, MgO ve SiO₂ miktarları toplamı gene en az 2/ 3 oranında olmalıdır. CaO + MgO/SiO₂ orantısının ise 1 den fazla olması istenmektedir (Yeniboğalı vd., 2005). Türkiye’de demir-çelik üretimi esnasında elde edilen atık Y.F.C. miktarı yaklaşık olarak 690.000 ton/yıldır.

Yüksek fırın cürufu bağlayıcı ve puzolanik özelliğinden dolayı betonda en fazla kullanılan atık malzemeler arasındadır. 1862 yılında Langens’in Y.F.C.’lerin bağlayıcı özelliklere sahip olduğu gözleminin ardından 1865 yılında ilk kez Y.F.C. kireç karışımından elde edilen bağlayıcılar ticari olarak üretilmeye başlamıştır. Y.F.C.’nin çimento hammaddesi olarak kullanımı ise ilk kez 1883 yılındadır. Portland çimentosu klinkerinin G.Y.F.C. ile birlikte öğütülerek Portland Yüksek Fırın Cürufu çimentosunun üretimi de 1892 yılında Almanya’da başlamıştır (Tokyay vd., 2003).

2.6.3. Silis dumanı (SD)

Silis dumanı (SD) yüksek saflıkta kuvarsitin silisyum veya ferrosilisyum alaşımı üretimi üretiminde kullanılan elektrik ark fırınlarında kok kömürü ile indirgenmesi sonucu elde edilen genellikle gri renkli bir tozdur (Yeniboğalı vd., 2001; Yeniboğalı, 2002).

SD taneleri daha büyük çimento taneleri arasında yer alarak granülometriyi iyileştirilir. Ancak bu olumlu etkiye rağmen, meydana getirdikleri çok büyük toplam yüzey alanı net su ihtiyacını artırır. Çimentonun % 5 civarında SD katılması halinde su ilavesine gerek olmayabilirken daha fazla miktarlar akınlaştırıcı kimyasal katkıların da birlikte kullanımını gerektirir (Yeniboğalı vd., 2001).

SD ayrıca yüksek oranda amorf, silisyum dioksit içerdiği ve çok ince olduğu için puzolanik özelliğe sahiptir. Bu ürünün beton teknolojisinde kullanımını başta Kanada ve Amerika Birleşik devletleri olmak üzere bütün dünyada artmaktadır. Bugün dünyanın hemen hemen her yerinde silis dumanı katkılı betonla üretilmiş önemli yapılar vardır (Güvercin, 2002).

2.7. Puzolan İçeren Çimentoların Özellikleri

Puzolanlar klinker hidrasyonu sonucu oluşan kireç ile yavaşça reaksiyona girerler. Diğer bir deyişle uygun miktarda puzolan klinker hidrasyonu ilerlediği zaman reaksiyona girerler. Buna bağlı olarak puzolan-kalsiyum hidroksit reaksiyonunun ürünleri klinkerin hidrasyonu sırasında oluşan boşlukları doldurur. Bu geçirgenlikte bir azalmaya neden olur, fakat aynı zamanda puzolanik reaksiyonların gelişimini yavaşlatır. Hem doğal, hem de yapay puzolan içeren çimentolarda oluşan bileşenlerin farklı oranlarda olmalarına rağmen portland çimentosu hidrasyonundakilerle oluşum olarak aynı olduğu söylenebilir (Saygılı, 2000; Targan, 2001; Aslan, 1998; Kaplan vd., 1996).

2.7.1. Prizlenme zamanı

Puzolanların varlığı, çok çabuk tepkimeye giren klinkerin standart tutarlılığının meydana gelmesi için gerekli su miktarından daha fazla kullanılmasına bağlı olarak çimentonun priz alma süresinde bir gecikmeye neden olur.

Puzolan içeren çimentolar ile Portland Çimentoları'nın prizlenme zamanları arasında çok fazla bir fark yoktur. Doğal puzolan içeren 42,5 sınıfı çimentolar diğerleri ile mukayese edildiklerinde ilk ve son prizlenme zamanları daha az geçirirken, uçucu kül içeren 32,5 sınıfı çimentoların ilk ve son prizlenme zamanları çimentonun tipi ve sınıfına göre değişiklikler gösterir. Priz esnasında ısı neşretmemesi, çimentonun içerisinde mevcut olan ve zamanla artan serbest kirecin tras içindeki aktif silis ve alüminle birleşerek daha mukavim plastik beton elde edilmesi gibi nedenlerden dolayı özellikle kitle betonlarında puzolanlı çimentolar tercih edilir (Saygılı, 2000; Kaplan vd., 1999).

2.7.2. Dayanım

Genelde puzolanların Portland Çimentolarına ilavesi erken dönemlerde betonun dayanımını düşürür. İlave edilen puzolanın tip ve miktarına bağlı olarak son dayanımları Portland Çimentosu'nun son dayanımlarını aşabilir. Özellikle 90 gün sonraki dayanımlarında bu durum daha fazla fark edilir. Dayanım artışı bir seneden sonra da devam etmektedir. Puzolanların miktarları belli miktarları aştığı zaman dayanım değerleri hızla düşmektedir. Çünkü tam bir reaksiyon için kireç miktarının yetersiz olması nedeniyle puzolanların fazlası sertleşmeye katkıda bulunmaz. (Saygılı, 2000; Targan, 2001; Erdoğan vd., 1999).

Puzolanların dayanımı artırması; çimentonun hidrasyonu ile oluşan ve dayanıma katkısı son derece az olan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek çimentolaşabilen malzeme miktarının artması nedeniyledir (Aslan, 1998; Erdoğan vd., 1999).

Puzolanlı çimentolar genellikle betonun kimyasal etkilere karşı direncini artırır, ancak fiziksel etkilere karşı olan direncini fazla değiştirmezler. Puzolanlı çimento

hamurlarının Portland Çimentosu'na oranla kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı oluşları; (Massazza, 1999).

1. Daha düşük portland içerikleri
2. Daha düşük geçirgenlikleri

ile açıklanabilir.

Çimento hamurundaki serbest kireç miktarı klinker hidratasyonu sonucu kalsiyum hidroksit oluşması ile puzolanik reaksiyon sonucu kirecin bağlanması arasındaki yarışa bağlıdır.

Tanımlama gereği, hidrate olmuş puzolanik çimento sistemlerinde kalsiyum hidroksitin sıfır veya sıfıra çok yakın olması gerekir. Ancak, bu sonuca ulaşılması çok uzun zaman alır. Bu nedenle puzolan/Portland Çimentosu oranı çok büyük olsa dahi betonda her zaman serbest kireç bulunur (Massazza, 1999).

2.7.3. Geçirimsizlik ve gözeneklilik

Puzolanların beton geçirimsizliğine de olumlu katkıları vardır. Başlangıçta Portland Çimentosu hamuru ile kıyaslandığında puzolanlı çimento hamurlarında geçirimsizlik ve su emme başlangıçta daha fazladır ancak kür süresi uzadıkça daha az olma eğilimi görülür (Massazza, 1999).

Puzolanlı çimentodan beton hazırlandığında çok sıkı bir yapı oluşturan C-S-H bileşiği oluşmakta, bu böylece porları doldurarak içini bloke etmekte ve betonun geçirimsizliğini azaltmaktadır. Bu sayede sıkı beton teşkil ettiğinden demire nüfuz ederek korozyona sebep olan suyu geçirmez. Dolayısıyla, su altı inşaatlarında liman, köprü ayağı ve sulama kanalı inşaatlarında tercihen rahatlıkla kullanılabilir (Aslan, 1998).Yapılan bir araştırmada elde edilen veriler aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir (Massazza,1999).

2.7.4. Hidratasyona etkisi

Esas olarak, kireç-doğal puzolan karışımlarından oluşan tepkimeler Portland Çimentosu-doğal puzolan karışımlarında da olur. Fakat Portland Çimentosu-doğal puzolan karışımlarında doğal puzolanın tepkime verebilmesi için gerekli kireç, suyla karıştırıldığı ilk anda ortamda yoktur. Zamanla Portland Çimentosu'ndaki C_3S ve C_2S minerallerinin hidratasyonu ile ortama $Ca(OH)_2$ birikir ve tras puzolanik tepkimelerinin sonucunda C-S-H jelleri vermeye başlar.

Puzolanlar ve pek çok durumda klinker minerallerinin hidratasyonunu hızlandırır. Çimentonun hidratasyonu esnasında iki rakip reaksiyon meydana gelir; bunlardan biri kalsiyum hidroksit miktarının artışına, diğeri ise azalmasına yol açar. Bu reaksiyonlar hidratasyonun farklı kademelerinde farklı bir hızla ilerler. Böylece, katkılarından bağlanan kalsiyum hidroksit miktarı ile puzolanik aktivite tayini metotları katkı kalitelerinin belirsiz karakteristiklerini sağlar. Bu nedenle, sertleşmiş çimentoda yeniden oluşan diğer hidratasyon ürünlerinin miktarlarının da ayrı ve tayin edilmesi gerekir

Sertleşmiş harç özelliklerinin doğrudan, katkıya bağlanan kalsiyum hidroksit miktarına bağlı olmadığı bilinmektedir. Örneğin, dayanım hidratasyon ürünlerinin ve porların dağılımı, büyüklüğü, şekli ve tipinden kuvvetlice etkilenir ve dayanım ile kimyasal reaksiyonun tamamlanma derecesi arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Bundan dolayı, mekanik dayanım testleri ve yapısal incelemeler puzolanik aktivitenin belirlenmesi için kimyasal metotlarla bütünlenmelidir (Lilkov vd., 1996).

Çeşitli doğal puzolanlarla yapılan araştırmalara göre doğal puzolanlı çimentolarda bulunan Portland Çimentosu kısmının hidratasyonu trasın etkisiyle hızlanır. Bu durum genel olarak tüm ince öğütülmüş puzolanlar için geçerlidir. Doğal puzolan parçacıklarının, yüksek incelikleri nedeniyle, ortamda hidratasyon ürünü olan C-S-H jellerinin toplanabileceği bir yüzey oluşturmasıyla puzolanlı çimentoların hidratasyon hızları katkısız olanlara göre genelde daha fazladır (Targan, 2001).

2.7.5. Hidratasyon ısısına etkisi

Puzolan içeren çimentoların hidratasyon ısısı klinker/puzolan oranını sürekli düşürür. % 30-40 oranında puzolan içeren puzolanik çimentolarda Portland Çimentolarına karşı hidratasyon ısısındaki azalma % 20 yi aşabilir (Saygılı, 2000).

2.7.6. Kimyasal etkilere karşı dayanıklılık

Daha önce de belirtildiği gibi puzolanlar betonun kimyasal etkilere karşı direncini artırır, ancak fiziksel etkilere karşı olan direncini pek değiştirmezler. Puzolanlı çimento hamurlarının Portland Çimentosu'na oranla kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı oluşları;

1. Daha düşük portlandit içerikleri
2. Daha küçük geçirgenlikleri ile açıklanabilir.

Puzolanlı çimentolar kimyasal etkilere karşı dayanıklı, ayrıca Portland Çimentosu'nun hidratasyonu sırasında ortaya çıkan serbest kireç puzolanlar ile tepkimeye girerek stabil bir bileşik oluşturur. Böylece serbest kirecin sudaki serbest karbondioksitisi ile veya doğrudan doğruya çözünerek beton bünyesini terk etmesi önlenmiş olmaktadır.

2.7.7. Sülfatlara dayanıklılık

Çimento üretiminde klinkerin öğütülme safhasında klinkerle birlikte öğütülen alçı taşı, çimentonun içerisinde bulunan C_3A ana bileşeni ve su arasındaki hidratasyon reaksiyonları sonucunda yarı kararlı durumdaki kalsiyum alüminosülfohidrat ürünü ile etrenjit olarak adlandırılan kalsiyum alüminotrisülfohidrat ürünü ortaya çıkmaktadır. Etrenjitin büyük genleşme kapasitesi vardır. Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sülfat sızdığı takdirde, sertleşmiş çimento hamurunun yapısında bulunan kalsiyum hidroksitin bir bölümü alçıtaşına dönüşmektedir. Daha sonra, alçı taşı kalsiyum alümino monosülfohidrat ve su arasındaki reaksiyon sonucunda etrenjit oluşmakta ve betonda genleşme meydana getirmektedir.

2.7.8. Alkali - Silika reaksiyonuna (ASR) dayanıklılık

Reaktif silika içeren agregalarla çimentonun alkalileri arasında yer alan reaksiyonlar sonucunda, sertleşmiş betonun içerisinde oluşan alkali silika jelleri çok büyük genleşmelere yol açmaktadır.

Daha az miktarda çimento ve dolayısıyla daha az miktarda alkali içeren puzolanik betonlarda, alkali- silika reaksiyonları daha az yer almaktadır (Erdoğan T, 2003).

Çünkü suda çözünebilen alkaliler, genleşmeyen C-S-H bileşimini oluşturmakta, ayrıca por çözültisinde pH'ı düşürmekte ve sonunda alkali silikattan meydana gelen genleşmeler olmamaktadır (Aslan, 1998).

Puzolanik aktivite deneyini sağlamaları koşulu ile çimentoya % 30-40 oranlarında katılacak doğal puzolan veya uçucu kül ile genleşme önlenebilecektir. Çoğu puzolanın yüksek alkali içeriği betondaki toplam alkali içeriğinin artmasına rağmen genleşmede azalma olur.

2.7.9. Klor (Cl^-) etkisine dayanıklılık

Donatı korozyonu yurdumuzdaki yapılarda yaygın olarak karşılaşılan bir durabilite sorunudur. Betonun karbonatlaşması sonucu pH'ın düşmesiyle pasivasyon tabakası kaybolur. İkinci durumunda ise klor (Cl^-) iyonlarının donatıya ulaşması ile korozyon başlayabilir. Klor betona çeşitli şekillerde girebilir (Şengül vd., 2002).

1. Kullanılan agrega veya katkı maddelerinden,
2. Yapının bulunduğu çevreden, örneğin deniz suyu etkisiyle ya da kışın kullanılan buz çözücüsü tuzların etkisiyle.

Çeşitli mineral katkıları kullanılarak beton durabilitesinin iyileştirilebildiği bilinmektedir (Şengül vd., 2002).

2.8. Betonda Kullanılan Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkılar betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belirli oranda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasal katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddeleri çoğunlukla betonun karışım suyuna katılır ve çimento ağırlığının %5' inden az olurlar. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi, yine gereğinden az kullanıldığı takdirde hiçbir faydası olmayabilir. Ancak şunun iyi bilinmesi gerekir ki; kurallara uygun üretilmeyen bir betonun özelliklerini katkı maddelerini iyileştirmek mümkün değildir. Kurallarına uygun üretilen betonların da katkı maddeleri ile uyumu önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir. Kimyasal katkı maddelerinin kullanılması beton üretimi için zorunluluk taşımaz.

Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri aşağıda belirtildiği şekilde gruplandırılır.

2.8.1. Süperakışkanlaştırıcılar

Süper akışkanlaştırıcılar taze betonun işlenebilirliğini son derece arttırlar. Katkı oranı artırılarak 0-2 cm çökme veren bir betonu 22 cm çökmeli yapmak mümkündür. 0,5 değerinde su/çimento oranı ile belli bir işlenebilme sağlayan bir betonu bu katkılarla aynı işlenebilmeye sahip fakat su/çimento oranını 0,35 olan bir betona dönüştürmek mümkündür. Şu halde süper akışkanlaştırıcı katkıları mantıksal olarak aşağıdaki üç amaç için kullanmak mümkündür:

- 1) İstenen işlenebilmeye sahip, fakat su-çimento oranı düşük betonlar üretmek mekanik mukavemeti yükseltmek. Bu yolla mukavemet %60 oranında artırılabilir.
- 2) Su-çimento oranını sabit tutarak taze betonun işlenebilme özelliğini arttırmak, akıcı kıvamda ancak yeterli mukavemeti sağlayan beton üretmek.
- 3) İstenilen işlenebilme özelliğine sahip, su-çimento oranı ise çimento dozajı düşürülerek sabit tutulan betonlar üretmek. Bu yolla çimentodan ekonomi sağlanmış

olacaktır. Ancak bu son uygulamayı betonun durabilitesi açısından ihtiyatla karşılamak gerekir.

Süper akışkanlaştırıcıların en önemli sorunların biri zaman geçtikçe bunların taze betondaki etkilerinin kaybolmasıdır. Buna çökme kaybı (slump loss) adı verilmektedir. Yarım saat ile bir saat geçtikten sonra katkıının sağladığı yarar yani çökme artışı sıfıra inmektedir. Süper akışkanlaştırıcı betonların erken yaşlardaki mukavemetleri de yüksek olabilmektedir. Bu betonlar özellikle pompa betonlarında kullanılmaktadır.

2.8.2. Priz süresini değiştiren kimyasal katkılar

Standartlara göre çimentoların bir saatten önce prize başlamamaları, on saatten önce priz olayının bitmesi istenir. Ancak özel durumlarda priz başlama ve bitme sürelerinin değiştirilmesi, sertleşmenin de hızlandırılması istenebilir. Bu istek katkı maddeleri ile sağlanır. Bu katkı maddeleri priz hızlandırıcılar ve priz geciktiriciler olarak ikiye ayrılır. Bu katkı maddelerinin kullanım oranları %0,5 ile %5 arasında değişmektedir. Özellikle ya aylarında, uzun taşıma mesafelerinde priz geciktiriciler, kış aylarında ise priz geciktiriciler kullanılır.

2.8.3. Hava sürükleyici katkılar

Hava sürükleyici katkı maddeleri sertleşmiş betonların donma-çözölmeye dayanıklılığını önemli ölçüde arttıran maddelerdir. Betonda hava boşluğu, karıştırma sonucu oluşan düzensiz yapıdaki hapsolmuş hava boşluğu, fazla karma suyunun buharlaşması sonucu oluşan hava boşluğu ve özellikle oluşturulan 10~250 mm çapında küresel birbiriyle bağlantısı olmayan hava boşluklarıdır. Bu hava boşluklarının sayesinde betonların donmaya dayanıklılığı artmaktadır. Hava sürükleyici katkı maddeleri taze betonun plastisitesini artırdığından dolayı betonun işlenebilirliği de artmaktadır. Bu katkı maddeleri çimento ağırlığının %0,5-%2

oranında kullanılırlar. Bu katkı maddesinin kullanımı betonun mukavemetini düşürür, kılcal su emmeleri azaltır.

2.8.4. Antifrizler

Bu tip katkılar beton içindeki suyun donma sıcaklığını düşürerek suyun donmasını ve betonun çatlamasını engeller. Ancak soğuk hava şartlarında betona sadece antifriz ilave edilmesi kesin çözüm olmayıp döküm yerinde betonun korunması için özel önlemlerin alınması gereklidir.

İnsanoğlu yüzyıllardır performansı daha yüksek beton elde etme uğraşı içindedir. Betonun basınç dayanımına, sünekliğine, durabilitesine katkı sağlamaya yönelik farklı çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Bu çalışmalarda çimento yerine farklı oranlarda ince taneli malzemelerin kullanılması da önemli yer tutmaktadır.

Tüm bu bilgiler ışığında, yukarıda bahsedilen malzemeler kullanılarak, basınç dayanımı, sünekliği ve durabilitesi farklı beton çeşitleri üretilmiştir. Bu çalışmanın bir sonraki bölümünde, silis dumanı ve filler malzemelerinin betonun performansına olan etkileri deneyler eşliğinde araştırılıp irdelenecektir.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Çalışmanın Amacı

Bilindiği üzere, betonun performansını arttırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde hafifliği, bağlayıcılığı, inceliği ve dayanıma katkısı bilinen silis dumanı malzemesinin ve 200 nolu eleği geçen, mineral toz olan filler malzemesinin basınç dayanımına, elastisite modülüne ve klor geçirimsizliğine olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda çimento ağırlığının %5'i, %10'u ve %15'i oranlarında silis dumanı ve filler ikame edilerek hazırlanan beton numunelerinin laboratuvar ortamında uygun kür koşulları sağlanarak 7., 28., 56. ve 90. günlerde basınç dayanımı, elastisite modülü tayini ve hızlı klor geçirgenliği deneyleri yapılmıştır. Bu çalışma dahilinde, yukarıda bahsedilen iki malzemenin, betonun performansına olan katkıları araştırılmış, bulunan olumlu sonuçlara binaen bu katkı malzemelerinin hangi oranlarda çimento ile ikame edilmesi gerektiği üzerine çalışılmıştır.

3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Bu çalışma için üretilen beton karışımlarında çimento, agrega, su, silis dumanı ve filler kullanılmıştır.

3.2.1 Çimento

Bu deneysel çalışmada üretilen betonlarda, piyasada beton üretiminde en çok tercih edilen portland 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özelliği kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikatlardan, alüminyum ve demir içeren klinker fazları ile diğer bileşiklerden oluşan hidrolik bağlayıcıdır. Çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışmada kullanılan çimento fiziksel özellikleri

Malzeme	FİZİKSEL ÖZELLİKLER									
	Özgül Ağırlık gr/cm ³	Blanie cm ² /gr	Priz Süresi		Hacim Gen. (mm)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)			Puzolanik Aktivite	
			Baş.	Bit.		2 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
Çimento	3,1	3285	2h 30'	3h 20'	2,00	22,2	39,2	48,0

3.2.2. Agregası

Bu çalışmada sırasıyla 1, 2 no' lu mıcır ve 0-3 mm kum kullanılmıştır. Malzeme yoğunlukları aşağı yukarı benzer yoğunluklara sahip (2,72 kg/dm³) Adapazarı civarındaki taş ocaklarından temin edilmiş agregalar ile Sakarya nehrinden çıkarılan dere kumu (2,58 kg/dm³) temin edilmiştir.

3.2.3. Su

Beton yapımında su önemli bir bileşen olduğundan, beton karışım suyunun içilebilecek su veya daha önceden denenmiş iyi sonuç vermiş bütün sular kullanılabilir. Beton karma suyunda aşındırıcı karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, silt yağı, organik maddeler, evsel ve endüstriyel artıklar bulunmamalıdır. Çalışmamızda kullandığımız su, içilebilir özellikte Adapazarı şebeke suyudur.

3.2.4. Silis dumanı

Literatür çalışması bölümünde detaylı olarak anlatılan silis dumanı, çimento ile ikameli olarak karışıma dahil edilmiştir. Belirlenen farklı oranlarda silis dumanı içeren beton karışımları elde edilmiştir. Bu karışım oranları kullanılarak silis dumanının değişen oranlarda çimento ile ikamesi sonucunda, betonun geçirimsizlik ve basınç dayanımı özelliklerine etkisini tespit etmek amacıyla beton üretilmiştir. Beton

üretiminde kullanılan silis dumanının analiz sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Silis dumanının kimyasal özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,24
SiO ₂ (%)	95,7
H ₂ O (Nem içeriği)	0,53
Kızdırma Kaybı (%)	1,29

3.3. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Dizaynı

Homojen bir beton temin edebilmek için karıştırma işleminin tam olarak yapılması gerekir. Bu sebeple beton yapımı sırasında kullanılan donanım ve yöntemlerin beton içerisindeki en büyük agregayı da içeren malzemelerin en etkin bir şekilde karıştırabilecek ve kullanacağı iş için en küçük çökme değerini verebilecek kapasitede olması gerekir.

Çalışmamızda kullanılmak üzere hazırlanan 7 farklı beton karışımı ayrıtları 10cm olan küp kalıplar ile 15cm çaplı 30cm yüksekliğinde ve 10cm çaplı 20cm yüksekliğindeki silindirik kalıplar içerisine yerleştirilmiştir. Bütün beton numuneleri 15cm slump değerini sağlayacak şekilde üretilmiştir. Her karışım için toplam 40 lt beton üretilmiştir. Beton sertliği sağlandıktan sonra kalıplardan çıkartılarak kür havuzlarına konulmuştur. Kür havuzunda deney anına kadar yaklaşık 23 °C ± 2 °C sıcaklıkta ve doymuş rutubetli kür odasında saklanmıştır. Çalışma için üretilen beton karışım dizaynı Tablo 3.3’ de ve Tablo 3.4’ de verilmiştir.



Şekil 3.1 Slump Deneyi sırasında slump değerinin ölçülmesi

Tablo 3.3. Deneysel çalışmada 1m³ için kullanılan malzeme miktarları

Karışım	Kullanılan Malzemeler (kg/m ³)						
	Çimento	Kum	1 no'lu Mıçır	2 no'lu Mıçır	Filler	Silis Dumanı	Su
1 NK	400	877,25	513	342	0	0	205,75
2 NK	380	877,25	513	342	20	0	205,75
3 NK	360	877,25	513	342	40	0	206,50
4 NK	340	877,25	513	342	60	0	207,25
5 NK	380	877,25	513	342	0	20	205,75
6 NK	360	877,25	513	342	0	40	206,50
7 NK	340	877,25	513	342	0	60	207,25

Tablo 3.4. Deneysel çalışmada her beton karışımı için kullanılan malzeme miktarları

Karışım	Kullanılan Malzemeler (kg/40 dm ³)						
	Çimento	Kum	1 no'lu Mıçır	2 no'lu Mıçır	Filler	Silis Dumanı	Su
1 NK	16	35,09	20,52	13,68	0	0	8,23
2 NK	15,2	35,09	20,52	13,68	0,8	0	8,23
3 NK	14,4	35,09	20,52	13,68	1,6	0	8,26
4 NK	13,6	35,09	20,52	13,68	2,4	0	8,29
5 NK	15,2	35,09	20,52	13,68	0	0,8	8,23
6 NK	14,4	35,09	20,52	13,68	0	1,6	8,26
7 NK	13,6	35,09	20,52	13,68	0	2,4	8,29

- 1NK: Şahit beton numunesi (Silis dumanı ve filler içermeyen beton)
2NK: % 5 (İçerisinde ağırlıkça % 5 oranında filler içeren beton)
3NK: % 10 (İçerisinde ağırlıkça % 10 oranında filler içeren beton)
4NK: % 15 (İçerisinde ağırlıkça % 15 oranında filler içeren beton)
5NK: % 5 (İçerisinde ağırlıkça % 5 oranında silis dumanı içeren beton)
6NK: % 10 (İçerisinde ağırlıkça % 10 oranında silis dumanı içeren beton)
7NK: % 15 (İçerisinde ağırlıkça % 15 oranında silis dumanı içeren beton)

3.3.1. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

Sertleşmiş beton üzerinde, betonun çeşitli özelliklerini tespit edebilmek için farklı(basınç, eğilme, çekme, su emme, klor geçirimsizliği, kılcallık, boşluk oranı, elastisite modülü, geçirimsizlik vb.) deney yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada betonun basınç dayanımı, klor geçirimsizliği ve elastisite modülü gibi özelliklerini tespit etmek amacıyla yönelik deneyler yapılmıştır.

3.3.1.1. Basınç dayanımı

Bu yöntemde ayrıtları 10cm olan standart küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken küp şekilli kalıplara TS EN 12390-2 standardının belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplardan çıkartılmaktadır. Kalıplardan çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri deney tarihine kadar aynı standardın belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır (Şekil 3.2). Elde edilen sonuçlar Tablo 3.5' te verilmiştir.



Şekil 3.2. Uygun koşullarda saklanan numuneler ve beton basınç deney presi

Tablo 3.5. Basınç dayanım sonuçları

Basınç Kuvveti Sonuçları (KN)								
			Silis Dumanı Oranı (%)			Filler Oranı (%)		
Deney Yaşı	Seri	Şahit	5	10	15	5	10	15
7. gün	Numune 1	24,841	21,351	23,370	22,192	25,957	36,010	14,550
	Numune 2	25,764	22,264	23,469	22,213	22,156	13,366	14,612
	Numune 3	24,974	20,909	21,735	20,932	24,346	20,485	17,485
	Ortalama	25,193	21,508	22,858	21,779	24,153	23,287	15,549
28. gün	Numune 1	30,977	34,470	35,306	24,641	31,241	27,658	28,446
	Numune 2	34,667	27,379	34,479	29,659	33,598	27,839	26,475
	Numune 3	32,576	32,606	28,768	37,866	27,786	25,833	22,284
	Ortalama	32,740	31,485	32,851	30,722	30,875	27,110	25,735
56. gün	Numune 1	33,515	40,888	45,041	40,285	38,278	28,139	30,014
	Numune 2	32,811	40,352	44,342	41,395	35,478	33,756	23,867
	Numune 3	36,766	38,532	48,479	45,496	32,987	30,556	24,899
	Ortalama	34,364	39,924	45,954	42,392	35,581	30,817	26,260
90. gün	Numune 1	34,939	42,516	46,913	44,438	36,204	29,876	28,874
	Numune 2	36,456	42,248	50,431	42,519	36,393	31,828	24,763
	Numune 3	36,986	45,328	46,743	45,553	35,538	33,411	29,613
	Ortalama	36,127	43,364	48,029	44,170	36,085	31,705	27,750

3.3.1.2. Klor geçirimliliği

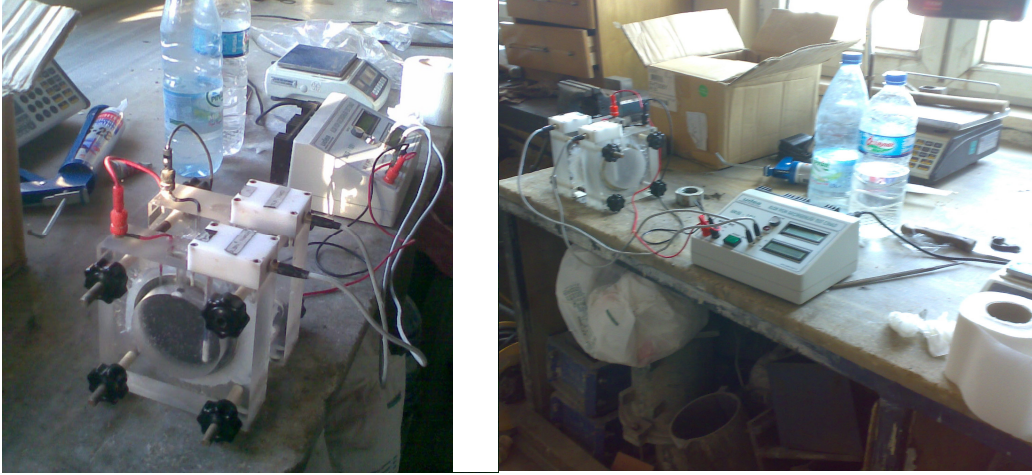
ASTM 1202-97 standardına göre yapılan hızlı klorür geçirimliliği deneyi için, 100 mm çapında, 200 mm yüksekliğindeki silindir numuneler kullanılmıştır. Kr süresi olan 90 gün dolduğunda, numunelerin üst ve alt kısımlarından 20'şer mm kesildikten sonra 3 eşit parçaya kesilerek kalınlıkları 50 mm çapları 100 mm olan üç adet silindir elde edilmiş oldu. Kesim işleminin ardından numunelerin etrafı(kavisli yüzeyler) elektrik akımının geçmesini önlemek amacıyla sikaflex-PRO poliüretan mastik ile kaplanmıştır. Daha sonra vakum haznesine konulan numuneler 3 saat süre ile 1 mm Hg dan daha düşük basıncın altında bekletildikten sonra haznenin içerisine mevcut basınç değişmeden saf su dolduruldu ve 1 saat süre ile bu şekilde vakum işlemine devam edildi. Vakumlama işleminin ardından numuneler 18 ± 2 saat süre ile saf suda bekletildi. Deney için hücrelere yerleştirilen numunelerin etraflarına, çözeltilerin sızmasının engellenmesi için çabuk kuruyan silikon sürüldü. Silikonun kurummasının ardından hücrelerin birine NaCl zeltisi, diğerine NaOH zeltisi dolduruldu ve 60 voltluk gerilim uygulandı. Düzeneğe akım verilmesi ile birlikte ilk ölçüm yapıldı ve 6 saat süre ile her 30 dakikada bir devreden geçen akım ölçüldü. Ölçülen amper değerleri coulomb'a dönüştürülerek sonuçlar elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 3.6' da verilmiştir. Klor geçirimliliği deney aleti şekil 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.6: Klor geçirimliliği sonuçları

Klor Geçirimliliği Sonuçları (Coulomb)				
Numune Tipi	Seri 1	Seri 2	Seri 3	Ortalama
şahit	2143	2231	2196	2190
%5 Filler	1998	1891	1858	1916
%10 Filler	2134	2058	2285	2159
%15 Filler	3212	3467	2985	3221
%5 Silis	1823	1786	1976	1862
%10 Silis	1342	1419	1397	1386
%15 Silis	1114	1076	1185	1125



Şekil 3.3. Klor geçirimliliği deneyi için numunelerin kesilmesi ve sodyumklorür tartımı



Şekil 3.4. Klor geçirimsizliği deney aleti

3.3.1.3. Elastisite modülü tayini

Betonda statik elastisite modülü, beton deney numunelerinin elastik bölgede (beton dayanımının $1/3 - 1/5$ değerlerindeki basınç gerilmelerinde) uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde meydana getirdiği boyuna birim kısaltmaya oranıdır (E). Bu oran elastik bölgede çizilen gerilme deformasyon (birim boy değişimi) doğrusunun eğiminden belirlenir.

Beton numunelerinin elastisite modülü tayini için gerekli boy küçülmesi ölçümleri boy değişimi ölçer aleti ile yapılır. Aletin boyunduruk kısmı alüminyum-magnezyum alaşımından, diğer parçalar paslanmaz çelikten yapılmalıdır.

Her alette iki adet boyunduruk bulunur. Boyunduruk, beton numuneler için $180 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ iç çapında ve $30 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ genişliğinde ve $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ kalınlığında olmalıdır. Numunelerin alete düzgün ve dik olarak yerleştirilmesini sağlamak üzere 2 adet ayak bulunmalı ve boyunduruk üzerindeki özel yerlerine düşey olarak yerleştirilmelidir.

Ayar çubuğu boyu, numune boyundan beton numuneler için $200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, karot numuneler için $30 \text{ mm} - 40 \text{ mm}$ daha kısa olmalıdır. Aleti numuneye tespit eden vidalar alt boyundurukta 3, üst boyundurukta 2 adet olmalıdır. Ayrıca sıkışma

miktarının yeterli duyarlılıkta ölçülebilmesi için ölçüm göstergesinin bulunması gerekmektedir. (TS EN 3502, 1981) Bulunan sonuçlar Tablo 3.7’ de verilmiştir. Örnek numuneler ve alet Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’ de verilmiştir.

Tablo 3.7. Elastisite modülü tayini sonuçları

Elastisite Modülü Tayini Sonuçları (Mpa)										
		Silis Dumanı Oranı						Filler Oranı		
Deney Yaşı	Şahit	%5 Silis Dumanı	%10 Silis Dumanı	%15 Silis Dumanı	%5 Filler	%10 Filler	%15 Filler			
28 Günlük	32419	32062	32450	31842	31886	30760	30330			
56 Günlük	32870	34339	35821	34958	33201	31870	30495			
90 Günlük	33348	35197	36308	35393	33349	31830	30957			



Şekil 3.5. Elastisite modülü tayini için deney numunesi hazırlanması

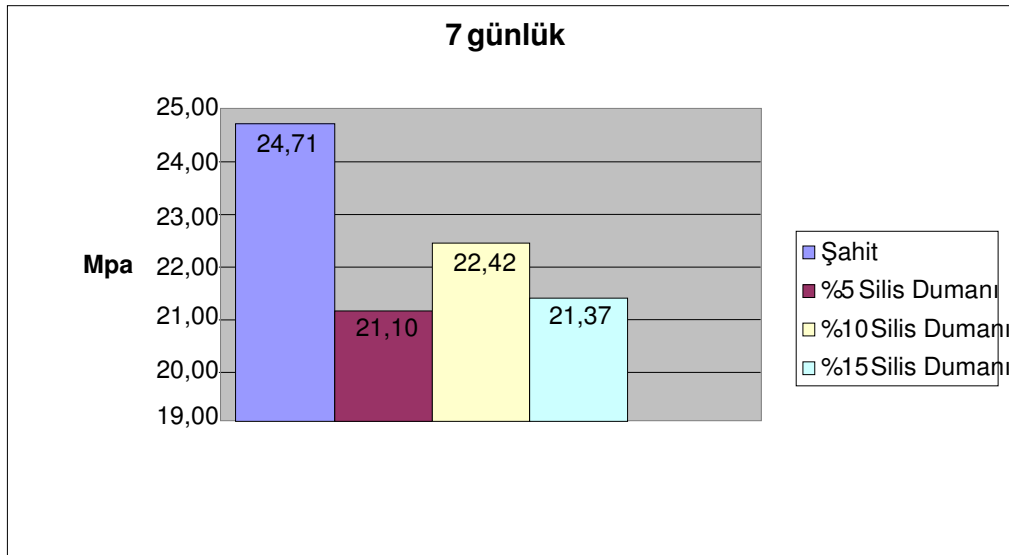


Şekil 3.6. Elastisite modülü tayini deney numunesi ve aleti

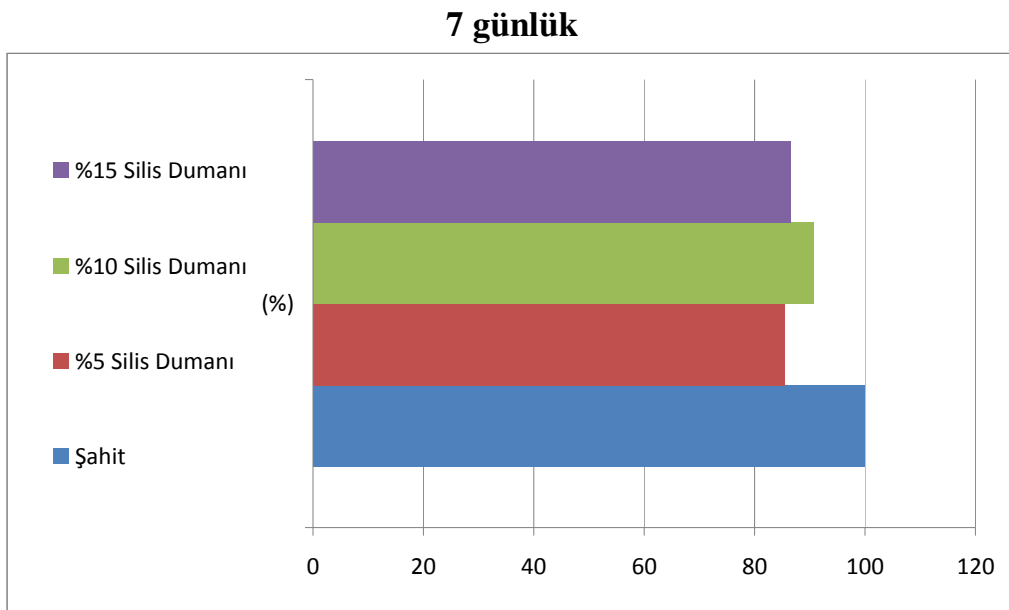
3.4. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

3.4.1. Basınç dayanım sonuçları

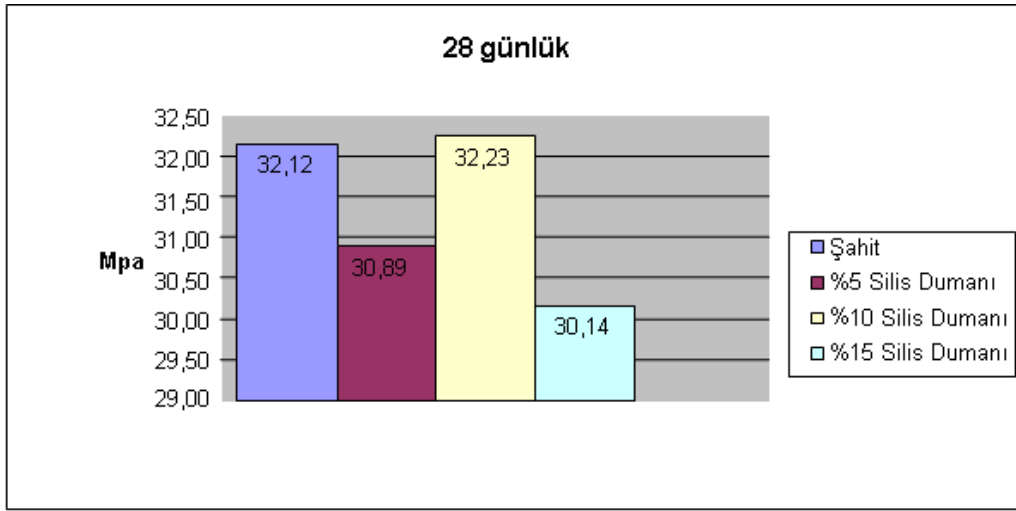
Bu deney için 10x10x10 ebatlarında 72 adet beton küp numunesi hazırlanmış olup bu numuneler (şahit, %5, %10, %15 oranlarında silis dumanı ve %5, %10, %15 oranlarında filler) üçerli gruplar halinde her farklı ikame oranlarında 7., 28., 56., 90. günlerde deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları aşağıda Şekil 3.7, Şekil 3.9, Şekil 3.11, Şekil 3.13, Şekil 3.15, Şekil 3.16 Şekil 3.18, Şekil 3.20, Şekil 3.22, Şekil 3.24' de verilmiştir



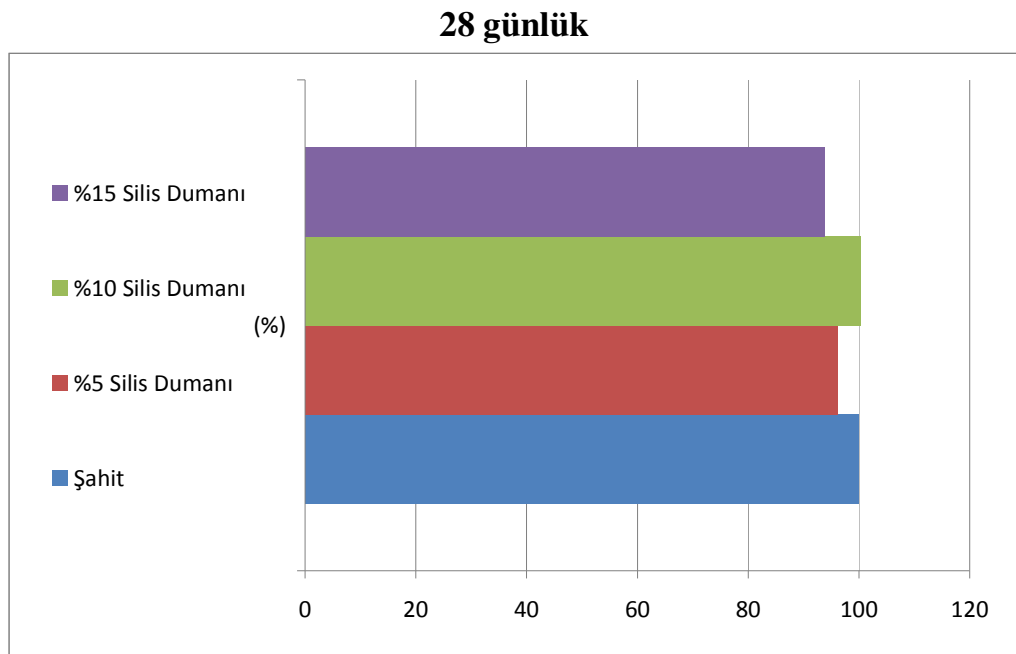
Şekil 3.7. Silis dumanlı betonların 7 günlük basınç dayanım sonuçları



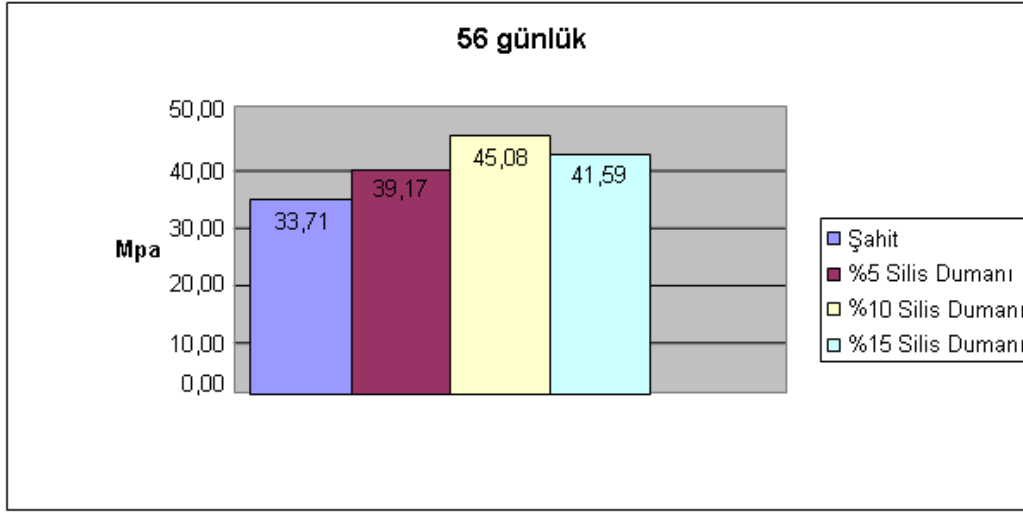
Şekil 3.8. Silis dumanlı betonların 7 günlük bağlı basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



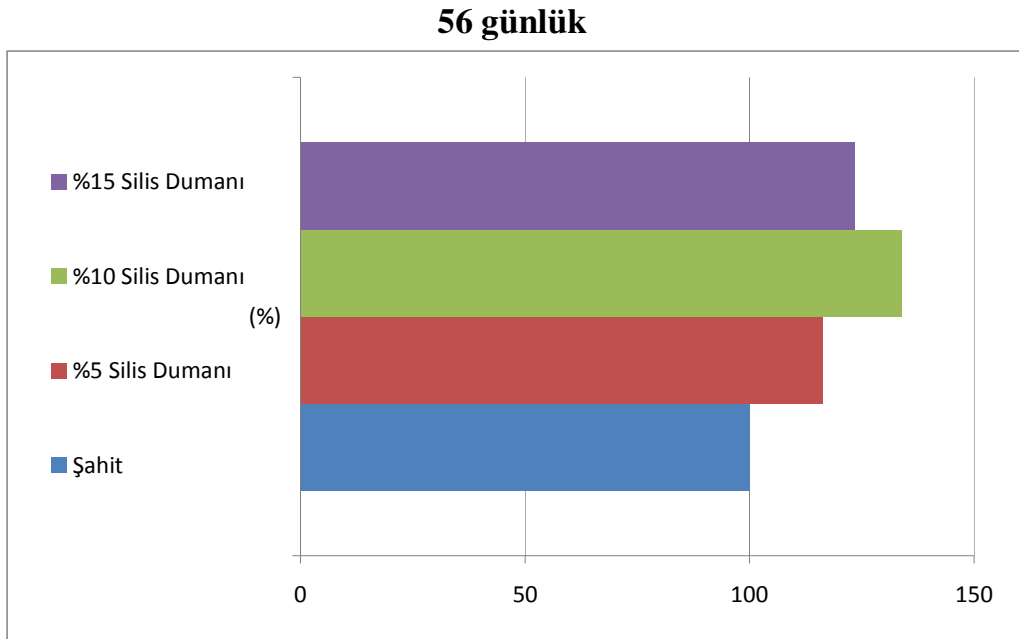
Şekil 3.9. Silis dumanlı betonların 28 günlük basınç dayanım sonuçları



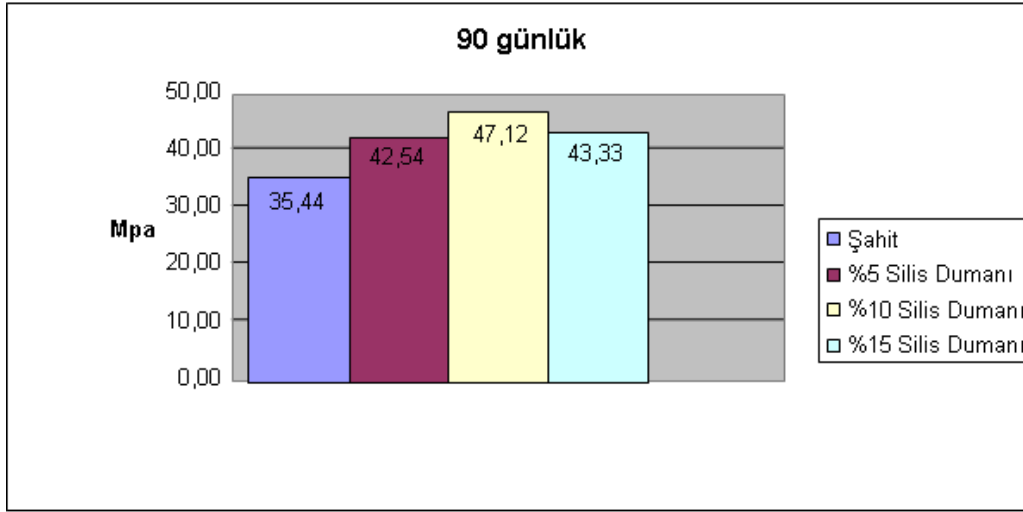
Şekil 3.10. Silis dumanlı betonların 28 günlük bağıl basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



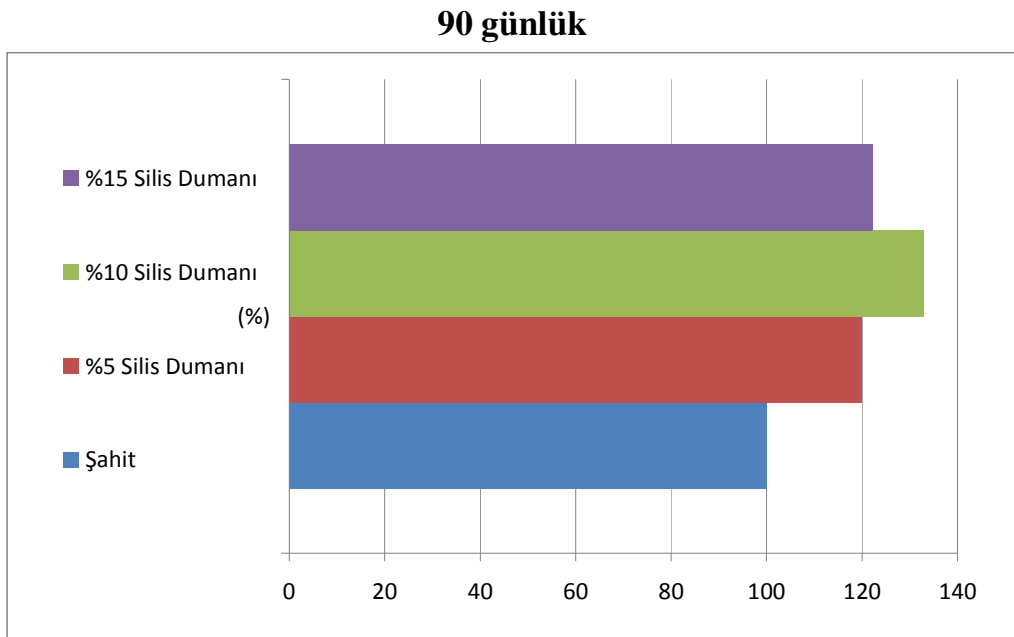
Şekil 3.11. Silis dumanlı betonların 56 günlük basınç dayanım sonuçları



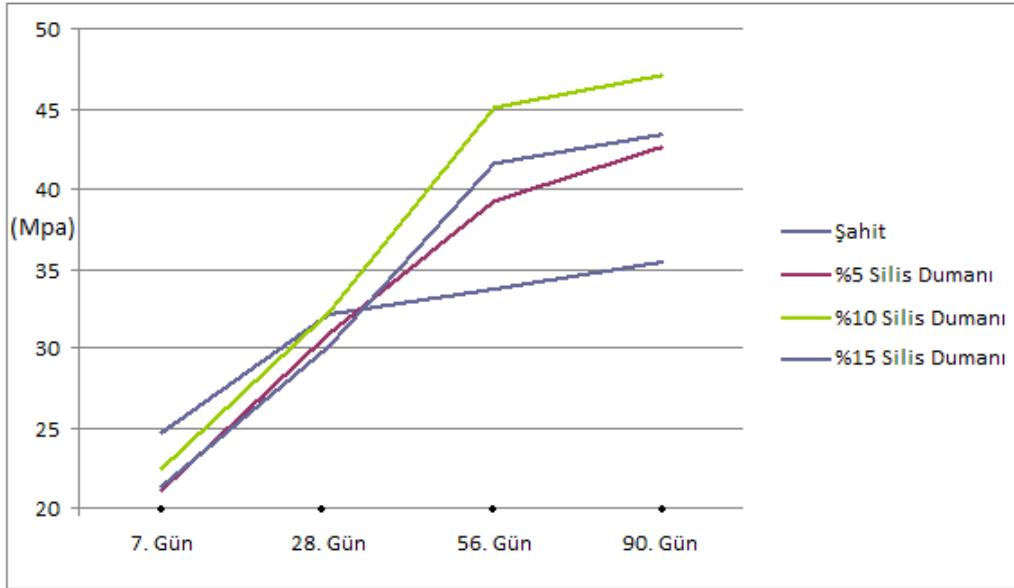
Şekil 3.12. Silis dumanlı betonların 56 günlük bağıl basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



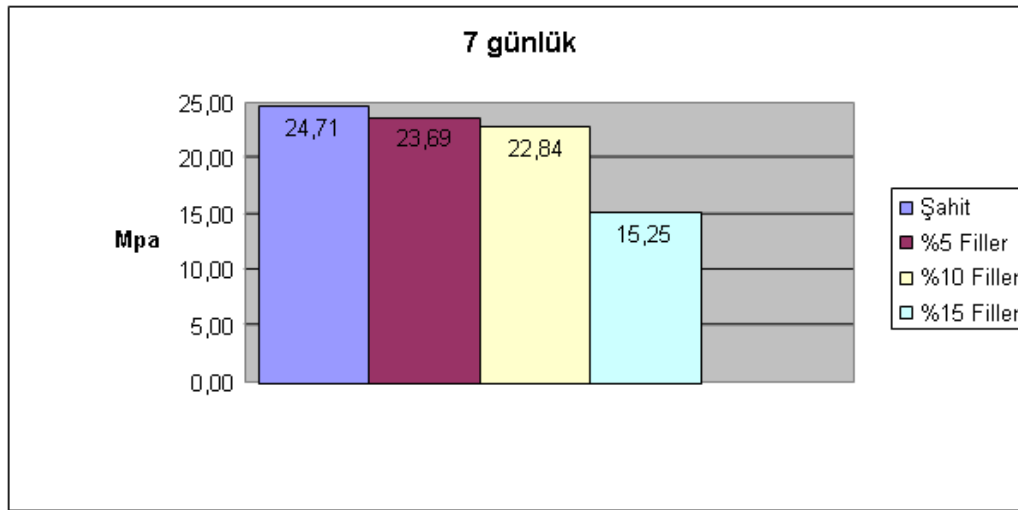
Şekil 3.13. Silis dumanlı betonların 90 günlük basınç dayanım sonuçları



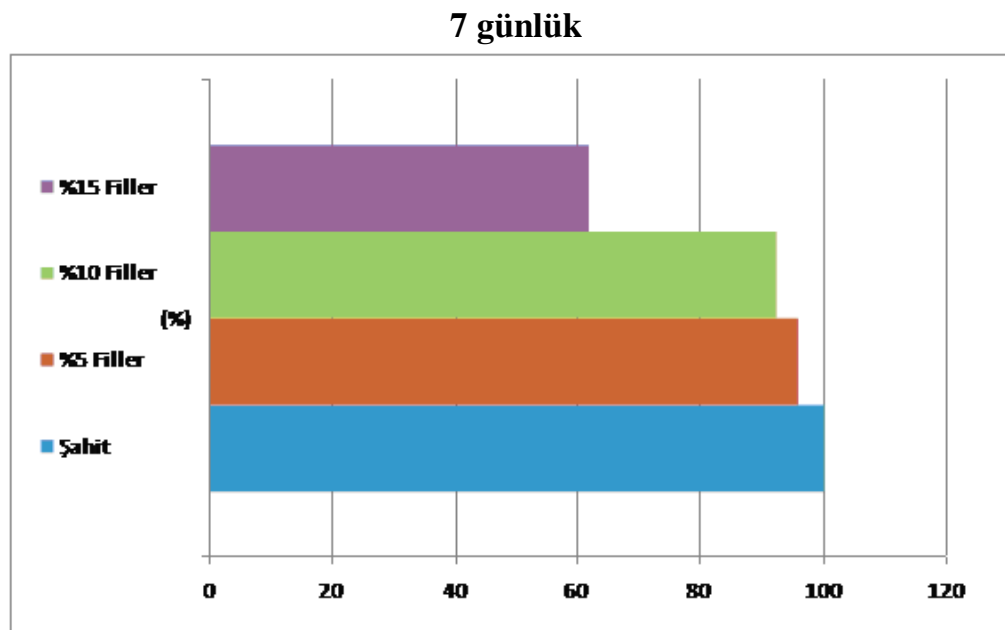
Şekil 3.14. Silis dumanlı betonların 90 günlük bağlı basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



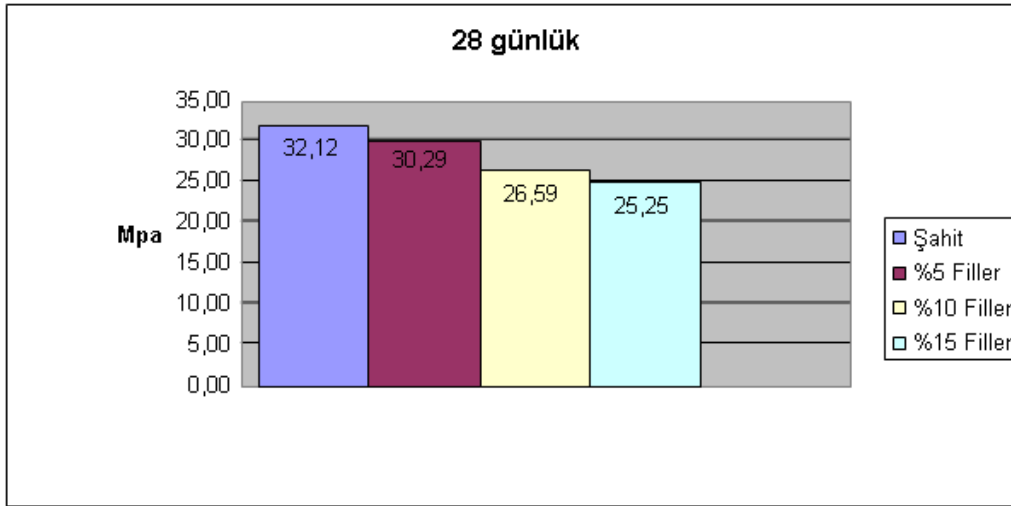
Şekil 3.15. Şahit ve Silis Dumani İkameli Betonların 90 Gün İçerisindeki Basınç Dayanımı Değişimi



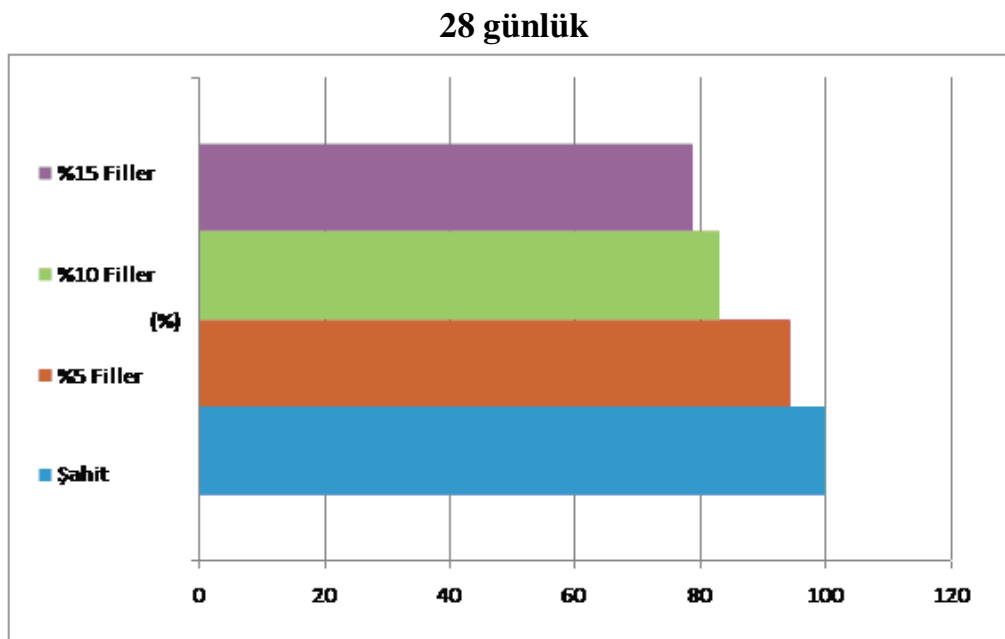
Şekil 3.16. Filler kullanılan betonların 7 günlük basınç dayanım sonuçları



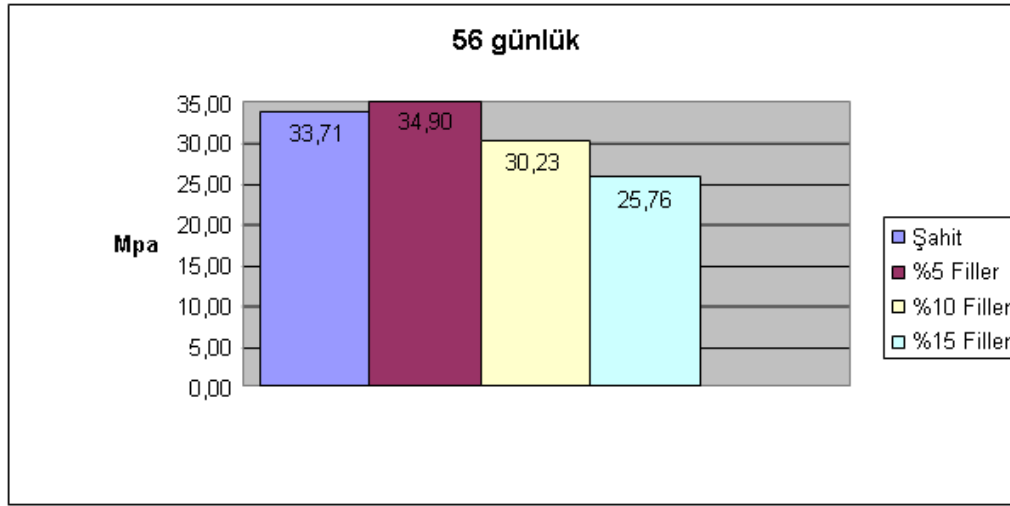
Şekil 3.17. Filler kullanılan betonların 7 günlük bağıl basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



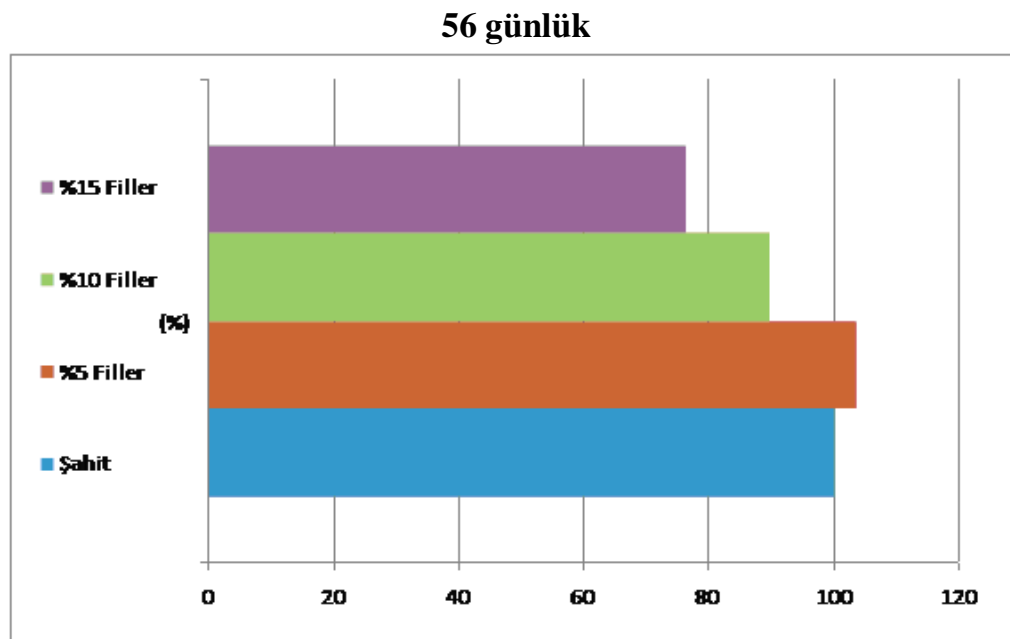
Şekil 3.18. Filler kullanılan betonların 28 günlük basınç dayanım sonuçları



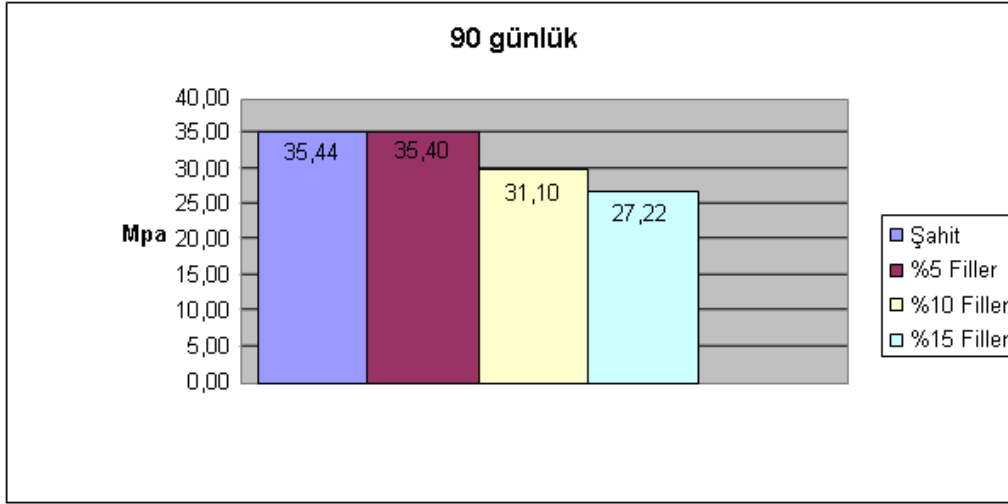
Şekil 3.19. Filler kullanılan betonların 28 günlük bağıl basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



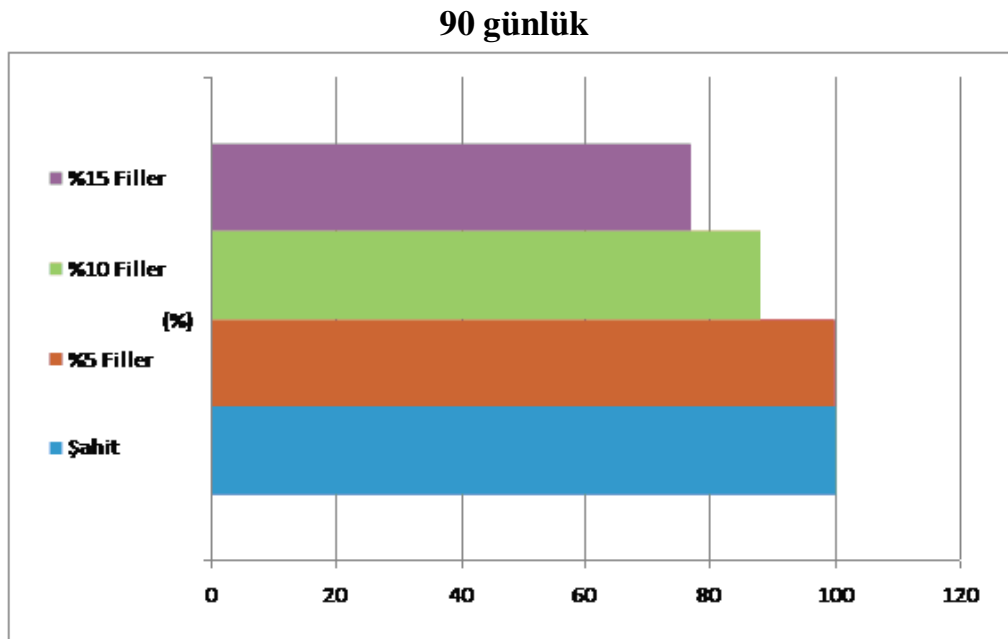
Şekil 3.20. Filler kullanılan betonların 56 günlük basınç dayanım sonuçları



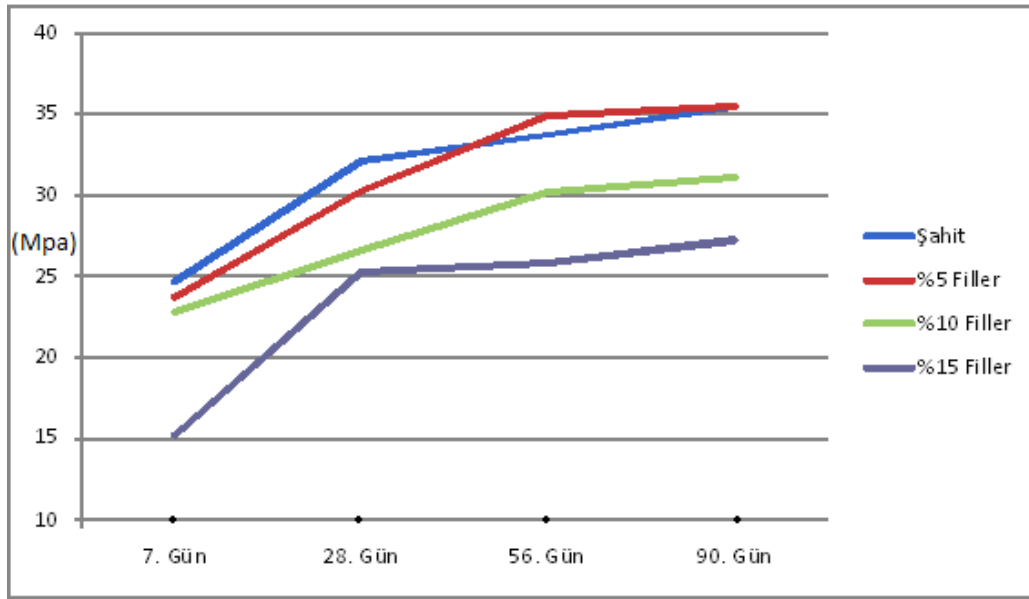
Şekil 3.21. Filler kullanılan betonların 56 günlük bağıl basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



Şekil 3.22. Filler kullanılan betonların 90 günlük basınç dayanım sonuçları



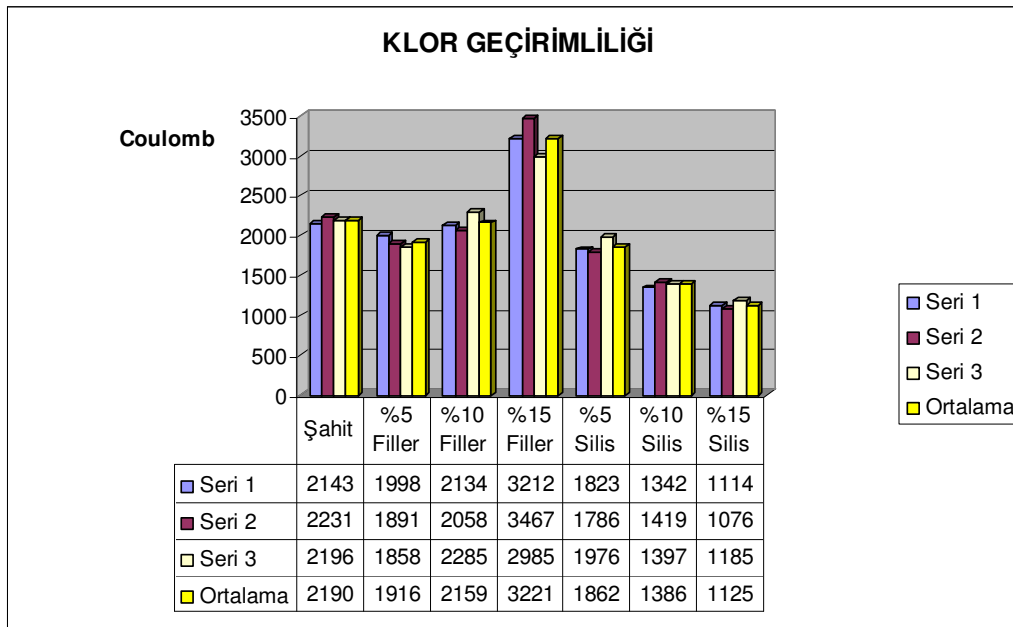
Şekil 3.23. Filler kullanılan betonların 90 günlük bağıl basınç dayanımı (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



Şekil 3.24. Şahit ve Filler İkameli Betonların 90 Gün İçerisindeki Basınç Dayanımı Değişimi

3.4.2. Klor geçirimliliği sonuçları

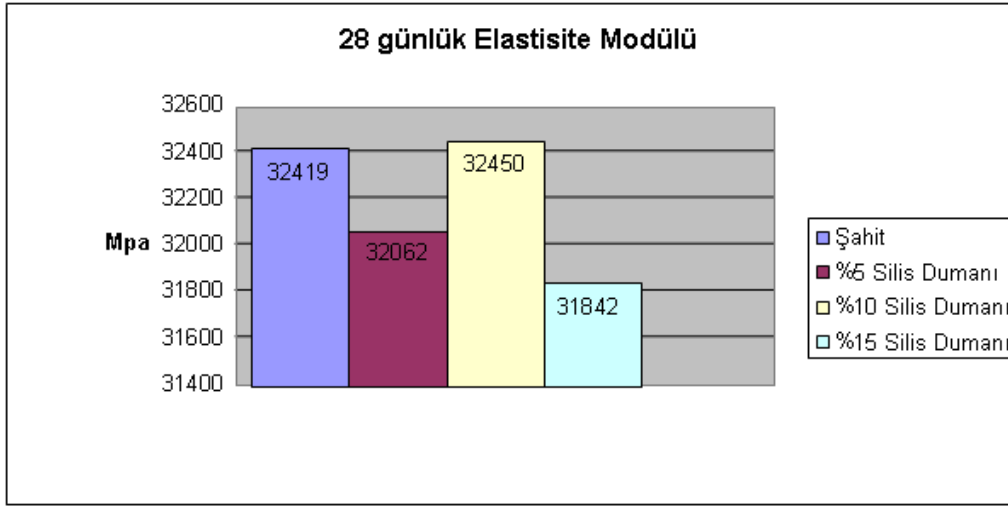
Bu deney için 100mm çapında 200mm yüksekliğinde 21 adet silindir beton numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler üçerli gruplar halinde her farklı ikame oranında (şahit, %5, %10, %15 oranlarında silis dumanı ve %5, %10, %15 oranlarında filler) 90. günde deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları aşağıda Şekil 3.25' de verilmiştir.



Şekil 3.25. Klor geçirimliliği deney sonuçları

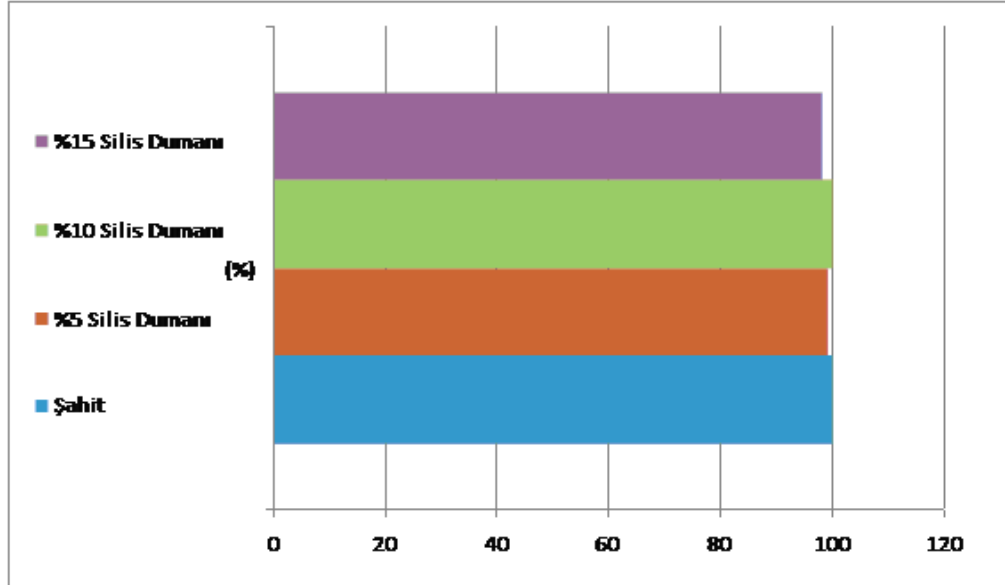
3.4.3. Elastisite modülü tayini sonuçları

Bu deney için 15x30 ebatlarında 21 adet silindir beton numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler üçerli gruplar halinde her farklı ikame oranında (şahit, %5, %10, %15 oranlarında silis dumanı ve %5, %10, %15 oranlarında filler) 28., 56. ve 90. günlerde deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçları aşağıda Şekil 3.26, Şekil 3.28, Şekil 3.30, Şekil 3.32, Şekil 3.34, Şekil 3.36' de verilmiştir.

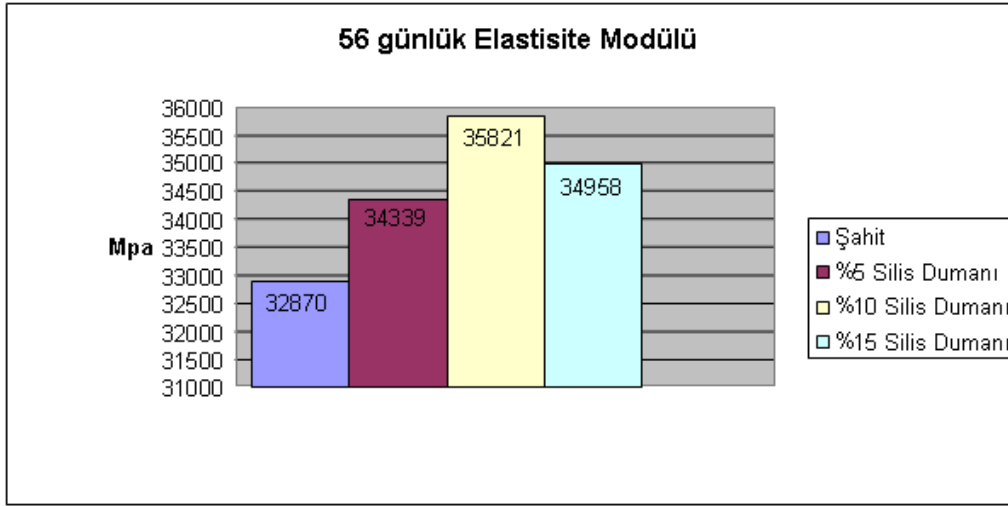


Şekil 3.26. Silis dumanlı betonların 28 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları

28 Günlük Bağlı Elastisite Modülü (%)

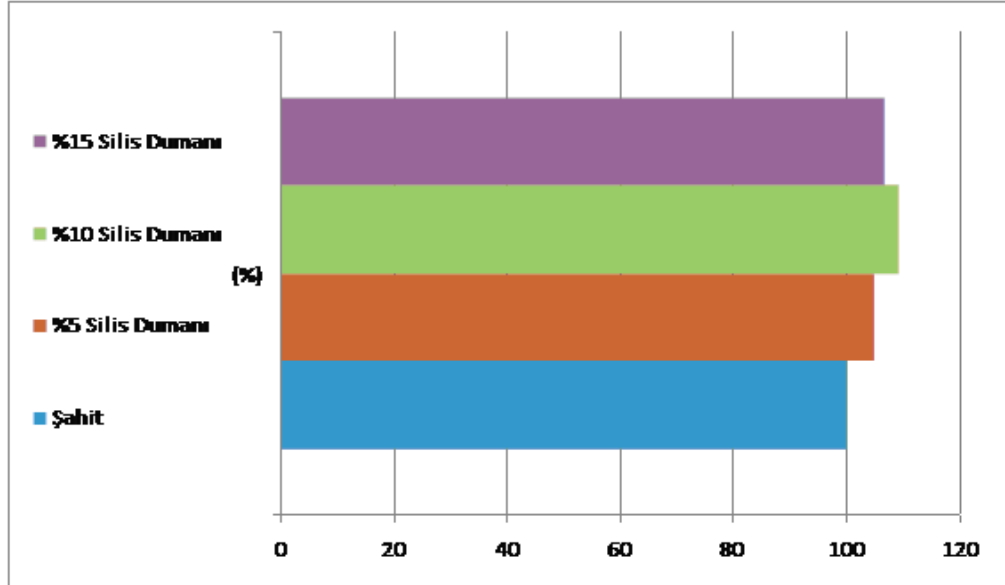


Şekil 3.27. Silis dumanlı betonların 28 günlük numunelerinde bağlı elastisite modülü (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir

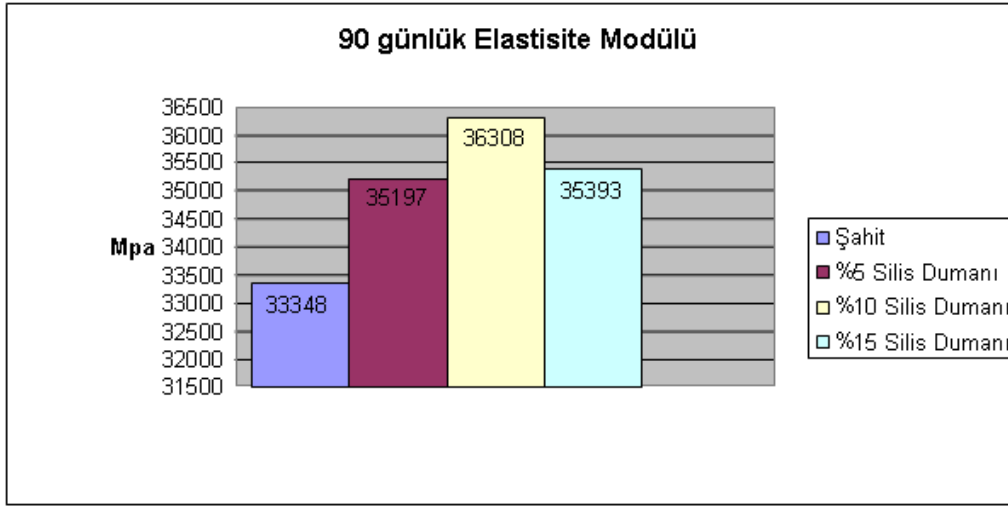


Şekil 3.28. Silis dumanlı betonların 56 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları

56 Günlük Bağlı Elastisite Modülü (%)

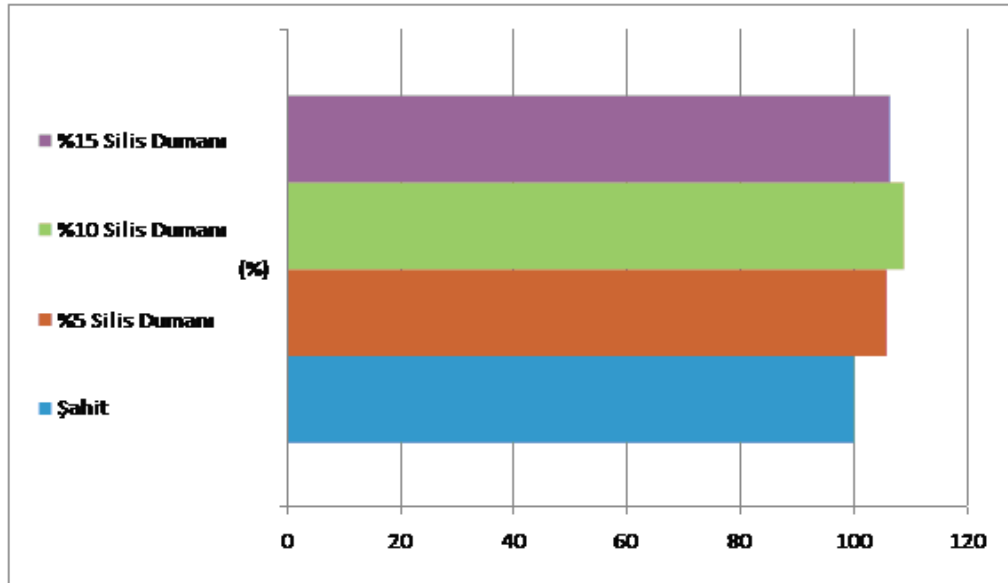


Şekil 3.29. Silis dumanlı betonların 56 günlük numunelerinde bağlı elastisite modülü (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir

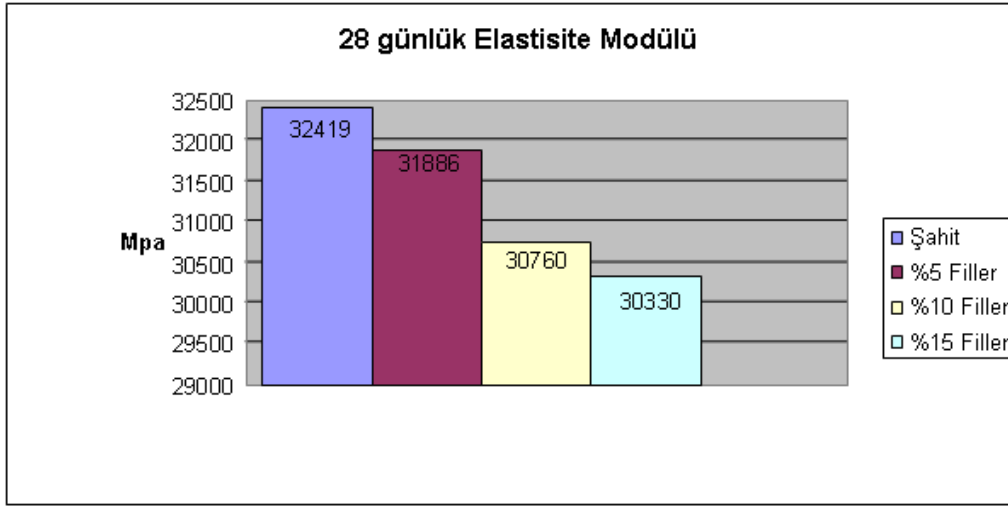


Şekil 3.30. Silis dumanlı betonların 90 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları

90 Günlük Bağlı Elastisite Modülü (%)

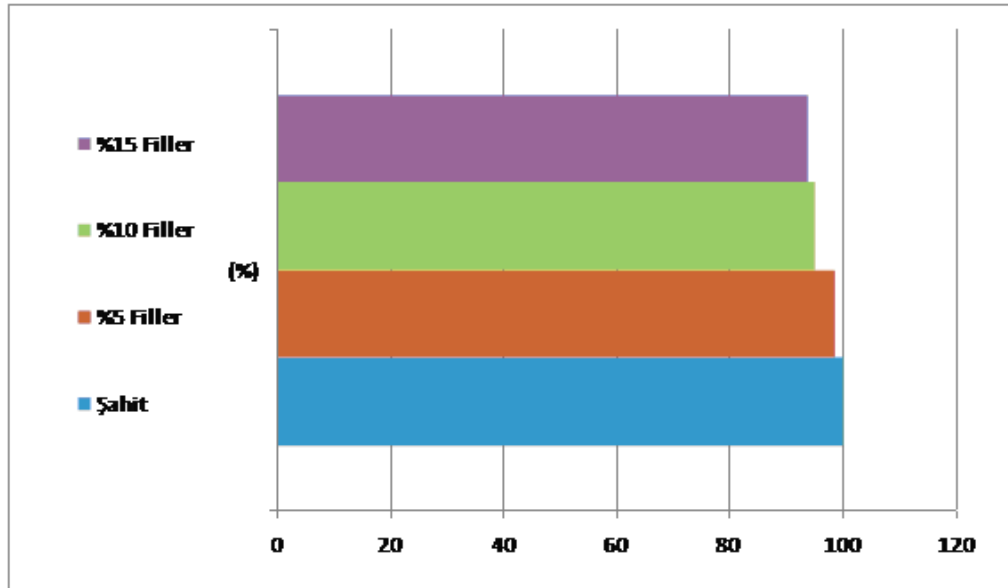


Şekil 3.31. Silis dumanlı betonların 90 günlük numunelerinde bağlı elastisite modülü (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir

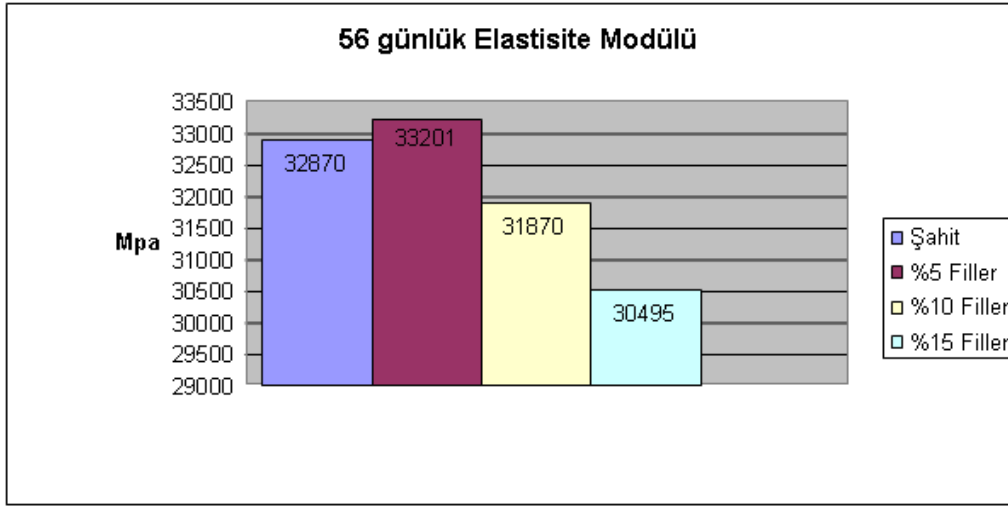


Şekil 3.32. Filler kullanılan betonların 28 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları

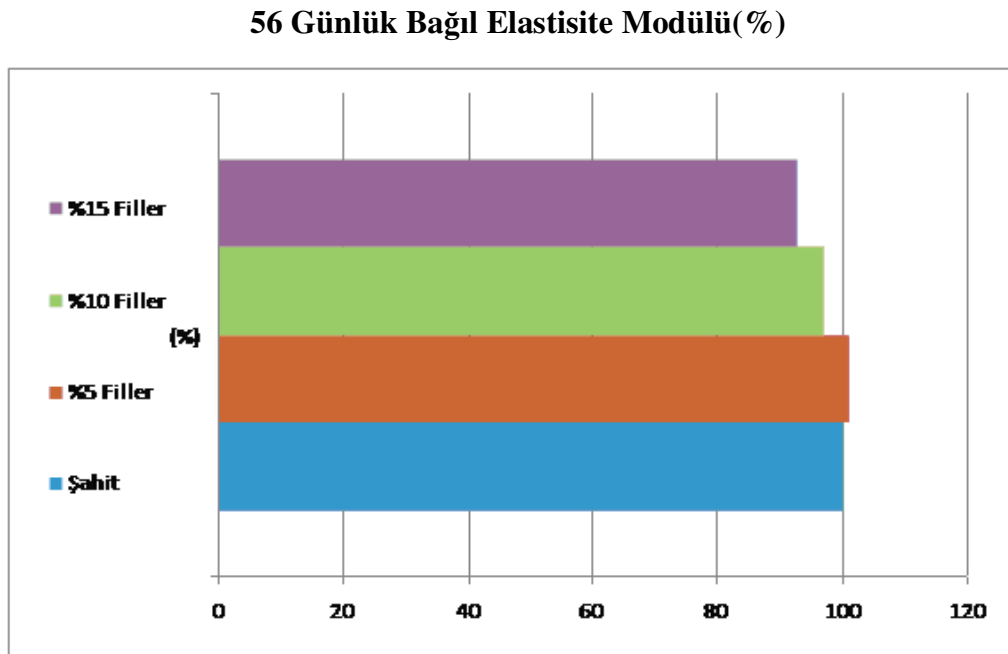
28 Günlük Bağlı Elastisite Modülü (%)



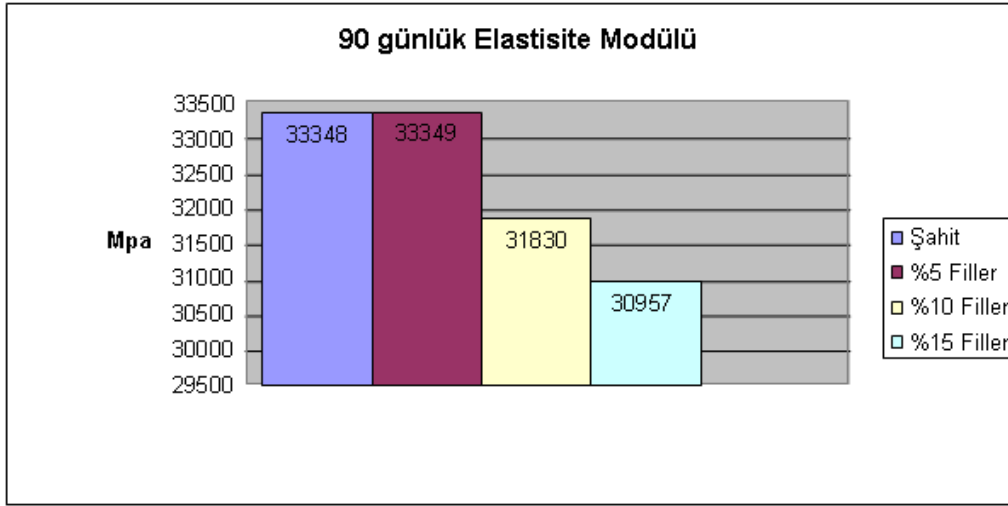
Şekil 3.33. Filler kullanılan betonların 28 günlük numunelerinde bağlı elastisite modülü (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



Şekil 3.34. Filler kullanılan betonların 56 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları

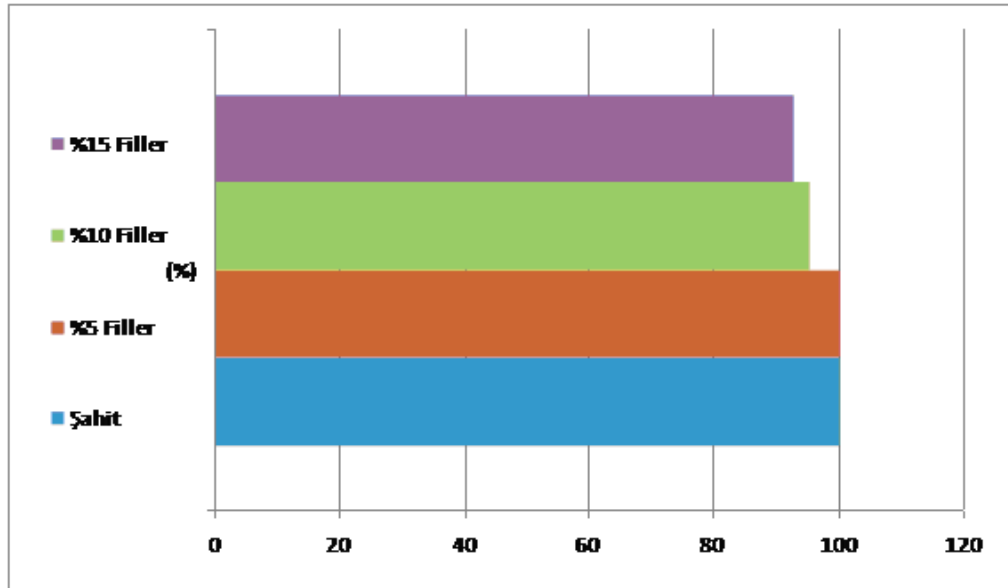


Şekil 3.35. Filler kullanılan betonların 56 günlük numunelerinde bağlı elastisite modülü (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir



Şekil 3.36. Filler kullanılan betonların 90 günlük numunelerinde elastisite modülü tayini sonuçları

90 Günlük Bağlı Elastisite Modülü (%)



Şekil 3.37. Filler kullanılan betonların 90 günlük numunelerinde bağlı elastisite modülü (%), şahit beton 100 kabul edilmiştir

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada çimento yerine çeşitli ikame oranlarında (%5, %10, %15) silis dumanı ve filler kullanılarak elde edilen betonların erken ve ileri yaşlardaki basınç dayanımları, elastisite modülü ve klor geçirgenliği gibi özellikleri incelenmiştir. Elde edilen betonların servis ömürleri ve performansları açısından değerlendirilerek uygun ikame oranlarında kullanılabilirlikleri araştırılmıştır.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen içerisinde puzolan bulunmayan şahit beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Şahit numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 24.71 Mpa, 28. günde 32.12 Mpa, 56. günde 33.71 Mpa 90. günde 35.44 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 32419 Mpa, 56.günde 32870 Mpa, 90. günde 33348 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 2143 coulomb, 2 no'lu numunede 2231 coulomb, 3 no'lu numunede 2196 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42,5 çimentosu kullanılarak üretilen, içerisinde çimento yerine %5 silis dumanı bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%5 silis dumanı kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 21.10 Mpa, 28. günde 30.89 Mpa, 56. günde 39.17 Mpa 90. günde 42.54 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 32062 Mpa, 56.günde 34339 Mpa, 90. günde 35197 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede

1823 coulomb, 2 no'lu numunede 1786 coulomb, 3 no'lu numunede 1976 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen, içerisinde çimento yerine %10 silis dumanı bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%10 silis dumanı kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 22.42 Mpa, 28. günde 32.23 Mpa, 56. günde 45.08 Mpa 90. günde 47.12 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 32450 Mpa, 56.günde 35821 Mpa, 90. günde 36308 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 1342 coulomb, 2 no'lu numunede 1419 coulomb, 3 no'lu numunede 1397 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen, içerisinde çimento yerine %15 silis dumanı bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%15 silis dumanı kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 21.37 Mpa, 28. günde 30.14 Mpa, 56. günde 41.59 Mpa 90. günde 43.33 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 31842 Mpa, 56.günde 34958 Mpa, 90. günde 35393 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 1114 coulomb, 2 no'lu numunede 1076 coulomb, 3 no'lu numunede 1185 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen, içerisinde çimento yerine %5 filler bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%5 filler kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 23.69 Mpa, 28. günde 30.29 Mpa, 56. günde 34.90 Mpa 90.

günde 35.40 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 31886 Mpa, 56.günde 33201 Mpa, 90. günde 33349 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 1998 coulomb, 2 no'lu numunede 1891 coulomb, 3 no'lu numunede 1858 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen, içerisinde çimento yerine %10 filler bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%10 filler kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 22.84 Mpa, 28. günde 26.59 Mpa, 56. günde 30.23 Mpa 90. günde 31.10 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 30760 Mpa, 56.günde 31870 Mpa, 90. günde 31830 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 2134 coulomb, 2 no'lu numunede 2058 coulomb, 3 no'lu numunede 2285 coulomb olarak elde edilmiştir.

PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak üretilen, içerisinde çimento yerine %15 filler bulunan beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, elastisite modülü, klor geçirgenliği deneyleri nihayetinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

%15 filler kullanılarak üretilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları 7. günde 15.25 Mpa, 28. günde 25.25 Mpa, 56. günde 25.76 Mpa 90. günde 27.22 Mpa olarak elde edilmiştir. Elastisite modülü tayini 28. günde 30330 Mpa, 56.günde 30495 Mpa, 90. günde 30957 Mpa olarak elde edilmiştir. Hızlı klor geçirimliliği deney sonucu ise 90. günde 1 no'lu numunede 3212 coulomb, 2 no'lu numunede 3467 coulomb, 3 no'lu numunede 2985 coulomb olarak elde edilmiştir.

Farklı ikame oranlarında çimento yerine silis dumanı veya filler kullanılarak elde edilen betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında silis dumanı veya fillerin belli bir katkı sağlamadığı görülmüştür.

Çimento miktarının düşmesine rağmen 56. ve 90. günlerde silis dumanı kullanılarak elde edilen betonlarda basınç dayanımının artmasının sebebi silis dumanının

puzolanik özelliğinin olmasıdır. Zamanla Portland Çimentosu'ndaki C_3S ve C_2S minerallerinin hidratasyonu ile ortama $Ca(OH)_2$ birikir ve puzolanik tepkimelerinin sonucunda C-S-H jelleri vermeye başlar.

Sonuçlar incelendiğinde silis dumanı kullanılan betonlarda 7. günde en yüksek basınç değeri şahit numunede elde edilmiştir. 28. günde yapılan deney sonucunda %10 ikame oranında elde edilen numunenin değeri şahit numunesini geçmiştir. 56. ve 90. günlerde %10 ikame oranı maksimum basınç değerini vermiştir.

Elastisite modülü tayini deney sonuçları incelendiğinde silis dumanının %10 oranında kullanılmasıyla elde edilen karışımın maksimum elastisite modülü değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak betonun elastisite modülünün basınç dayanımı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

Klor geçirimsizliği deneyi sonuçları incelendiğinde şahit numunelerin ortalaması 2190 coulomb, %5 filler kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1916 coulomb, %10 filler kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 2159 coulomb, %15 filler kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 3221 coulomb, %5 silis dumanı kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1862 coulomb, %10 silis dumanı kullanılarak elde edilen numunelerin ortalaması 1386 coulomb, %15 silis dumanı kullanılarak elde edilen numunelerin ortalamasının 1125 coulomb olduğu görülmüştür.

Şahit betonda klorür iyonu geçirimsizliği orta düzeyde, %5 oranında filler kullanıldığında düşük düzeyde, %10 oranında filler kullanıldığında orta düzeyde %15 oranında filler kullanıldığında orta düzeyde olduğu görülmüştür. %5, %10 ve %15 ikame oranlarında silis dumanı kullanıldığında geçirimsizliğin düşük düzeyde olduğu saptanmıştır. Görüldüğü gibi silis dumanı kullanımı betonun klorür geçirimsizliğini önemli ölçüde azaltmıştır. Silis dumanı oranı arttıkça betonun klorür geçirimsizliği azalmaktadır. Bunun sebebi ince taneli silis dumanının betonun boşluklu yapısını azaltıp daha geçirimsiz bir beton elde edilmesini sağlamasıdır.

Sonuç olarak basınç dayanımında imento yerine %5 filler ve %10 silis dumanı kullanılarak üretilen betonların daha iyi performans verdikleri görülmüştür. Elastisite modülleri de yaklaşık olarak basınç dayanımına benzer bir şekilde değişmiştir. Klor geçirgenliğinde %5 filler oranında ve %10 oranında silis dumanı kullanıldığında en düşük oranlar sağlanmıştır. Dolayısıyla beton üretiminde bu oranlarda silis dumanı ve filler kullanımı yapıların hem dayanım hem durabilitesini artıracaktır. Böylece yapıların daha uzun ömürlü ve daha sağlam olmaları da mümkün olur.

KAYNAKLAR

AĞAR, E. ve ÖZTAŞ, G. ve SÜTAŞ, İ. Beton Yollar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1998.

ASLAN, A. “ Termik santral ve Biyokütle Atıkları İle Tras Katkılarının Çimentonun Mekanik ve Hidratasyon Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması” K.T.Ü. Doktora Tezi, Trabzon, 1998.

ASTM C 1202 Standart Test Method for Electrical Indication of Concrete’s ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM, U.S.A., 1997.

BARADAN, B. Yapı Malzemesi-II Ders Notu, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Yayınları, No: 207, İzmir, 1994.

CELEB, Z. ve KUMBASAR, N. Betonarme Yapılar, İhlas Matbaacılık, İstanbul, 2001.

CRİPWELL, B. “ Pulvarize Uçucu Kül Nedir ?” , Cement and Concrete Research 18, 1-8, 1992.

D.P.T. “ Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri “ Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı , Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu, 1986.

ERDAL, M. Beton Dayanımının Bazı Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.

ERDOĞAN, T.Y. “ Türkiye’de Üretilen Çimentolar , Özellikleri ve Kullanımları “, Çimento Sempozyumu, TMMOB İnşaat ve Kimya Mühendisleri Odası , 67-80, Ankara, 1995.

ERDOĞAN, T.Y. “ Beton), ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.Yayımları, Ankara, 2003.

ERDOĞDU, K., TOKYAY, M., TÜRKER, P. “ Traslara ve Traslı Çimentolar” TÇMB, Ar-Ge / Y 99-2, Haziran 1999.

ERSOY, U. ve ÖZCEBE, G. Betonarme, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 2001.

GÖKÇE, A. “ Farklı İncelikteki Uçucu Küllerin Betondaki Performanslarının Karşılaştırılması” , İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1995.

GÜVERCİN, T. “ Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu’nun Bağlayıcı Olarak Çimento Üzerindeki Etkisi” , Atatürk Üniversitesi ,Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 2002.

HEWLET, P.C. Editör, Lea’s Chemistry of Cement and Concrete” John Wiley and Sons Inc, Fourth Edition, New York, 1998.

KARAKULE, F., AKALIN, T., UÇAR, S. “ Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü”, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 10- 12 Haziran 2004.

KAPLAN, H., BİNİCİ, H. “ Pozzolan and Cements With Pozzolan “, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, TÇMB, (1) , 23-30, Ankara 1996.

KAPLAN, H., BİNİCİ, H. “ Traslı Çimento ile Üretilen Betonların Mukavemeti”, Nuh Dünyası Dergisi, 28-32, Nisan 1999.

LILKOV, V., STOITCHLOV, V. “ Pozzolit Aktif Mineral Katkısının Çimento Harçları ve Betonların Özellikleri Üzerine Etkisi “ , Cement and Research, Vol. 26, 7: 1-8, 1996.

MASSAZZA, F. “ Puzzolans and Durability of Concrete “ Cement and Concrete World, Journal of TMMMA Vol: 3, No : 21, Ankara, Ekim 1999.

NAKAMURA, G., AIZAWA,T., NAKESE, K. “Optimization of Cement Manufacturing Process “ , IFAC Automatuon in Mining , Mineral and Metal Processing , 103-110, Tokyo, Japan, 1986.

ONAT, O.B. “ Türkiye’ de Üretilen Yüksek Fırın Cürufalarının Çimento Özelliklerine Etkisi”, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1998.

ÖZMAL, F. “ Bor Endüstri Atıkları , Uçucu Kül, Taban Külü ve Alünit Mineralinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi “ , D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 2005.

ÖZDEMİR, B. “Tunçbilek Termik Santrali Uçucu Külleri’nin Karakterizasyonu ve Yan Ürünlerinin Eldesi “, İ.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2001.

POSTACIOĞLU, B. “ Beton (Bağlayıcı maddeler), Cilt I, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1986.

RAMACHANDRAN, V.S. “ Concrete Admixtures Handbook” , Noyes Publication, New Jersey, U.S.A., 1995.

ROMAİN, J.C. and SARKAR, S.L. “ Cements of the 21th Century “ Second International Symposium on Cement and Concrete Technology in the 2000 , 1: 29-40, İstanbul, 2000.

SAYGILI, H. “ Puzolan İçeren Çimentolar “ Elazığ Çimento Dergisi Aralık sayısı, 8: 23-27, 2000.

ŞENGÜL, Ö., TAŞDEMİR, M.A., SÖNMEZ, R. “ Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimsizliği” , I.Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi, 9-13 Ekim , 75-85, 2002.

ŞENSÖZ, B.Ö., YALÇIN, S. “ Çimento ve Beton” , Batıçim Yayını , s. 125, İzmir, 2000.

TARGAN, Ş. “Kula Cürufu ve Bentonit ile Termik Santral ve Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi “, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Doktora Tezi, 2001.

TARGAN, Ş., OLGUN, A., ERDOĞAN, Y., SEVİNÇ, V. “ Effect of Supplementary Cementing Material on the Properties of Cement of Concrete” Cement and Concrete Research, 2006, pp.1-8, 2002.

Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş. Yayını ve T.C. Başbakanlık D.P.T Müsteşarlığı Yayını, 1973.

TÇMB, “ Boyut Küçültme Teknolojisi” , Rapor No: 1, Proje No: UNİPR , 96 / 09, Mayıs, Ankara, 1999.

TOSUN, K. Uçucu Kül ve Silika Tozunun Alkali-Silika –Reaksiyonu’na Etkisi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2001.

TÜRKER, P. ve Diğerleri. “ Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, TÇMB, Ar-Ge Enstitüsü, Y03.03 , Ankara, 2004.

TOKYAY, M., ERDOĞDU, K. “ Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar”, TÇMB Ar-Ge / Y 97-2, Ekim, 2003.

TS EN 3502 Ankara, 1 mart 1981.

WITOLD, Gutt Dsc, (Çeviren KATNAŞ, F). “ Yüksek Granüle Cürufunun Portland Çimentosu ile Kullanımı için BS 6699 Standardı “, Cement Concrete World, 41-47, Ocak- Şubat 1992.

YENİBOĞALI, A., ERDOĞDU, K. “ Çimento ve Betonda Mineral Katkılar “ , Nuh Dünyası Dergisi, 40-59, Şubat- Haziran, 2001.

YENİBOĞALI, A., (), “ Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı”, TÇMB Ar-Ge / Y01.01, Ocak 2002.

YENİBOĞALI, A., ERTÜN, T. “ Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar” , TÇMB, Ar-Ge Enstitüsü ,Y04 -01, Şubat, Ankara, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Reşit Duman, 01.02.1973 de Osmaniye’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Osmaniye’de tamamladı. Lisans eğitimine 1993-1994 eğitim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 1997-1998 eğitim yılında bu bölümden mezun oldu. 2003-2004 eğitim yılında Marmara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Ortaöğretim Matematik Öğretmenliği tezsiz yüksek lisans programını bitirdi. 2007-2008 eğitim yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı.