



**T.C.
KAHRAMANMARAS SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNSAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**UÇUCU KÜL VE VOLKANİK CÜRUF KATKILI BETONLARIN BAZI
DÜRABİLİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İRFAN COSKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAS
Mayıs – 2009**

KAHRAMANMARAS SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNSAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

UÇUCU KÜL VE VOLKANİK CÜRUF KATKILI BETONLARIN BAZI DÜRABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İRFAN COSKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kod No:.....

Bu Tez 27 / 05 / 2009 Tarihinde Asagidaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

.....
Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin TEMİZ

.....
Yrd. Doç. Dr.
Hanifi BINICI

.....
Yrd. Doç. Dr.
Abdullah SİSMAN

Danisman

Üye

Üye

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman TOLUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma K.S.Ü araştırma fonu tarafından desteklenmiştir. Proje No:2008/3-13.

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

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA

İÇİNDEKİLER	I
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
SEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1.GİRİS.....	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Puzolan Katkili Betonlarda Fiziko-Mekanik Özellikler.....	3
2.2. Puzolanların İnceliklerinin Önemi.....	8
2.3. Puzolan Katkili Betonlarda İslenebilirlik Özelliği.....	9
2.4. Puzolan Katkili Betonlarda Permabilite Özellikleri	9
2.5. Puzolan Katkili Betonlarda Rötire	10
2.6. Puzolan Katkili Betonlarda Kimyasal Kompozisyon.....	10
2.7. Puzolan Katkili Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonları	11
2.8. Puzolan Katkili Betonlarda Donma Çözülme Etkisi.....	11
2.9. Puzolan Katkili Betonlarda Sülfat Etkisi	12
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Çimento	15
3.1.1.1. Portland Çimentosunun Üretimi	15
3.1.1.2. Portland Çimentosunun Hidratasyonu ve Hidratasyon Ürünlerinin Özellikleri	20
3.1.2. Uçucu Küller	22
3.1.2.1. Uçucu Kül Sınıfları	23
3.1.2.2. Uçucu Küllerin Beton Özelliklerine Etkileri	23
3.1.3. Agregası.....	24
3.1.4. Kimyasal Beton Katkıları	26
3.1.4.1. Su Azaltıcı (Akışkanlaştırıcı) Katkı Betonları	26
3.1.4.2. Su Azaltıcı Katkı Maddelerinin Kompozisyonları	26
3.1.4.3. Priz Geciktirici Katkı Maddeleri	26
3.1.4.4. Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri	26
3.1.4.5. Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri	28
3.1.5. Kimyasallar.....	30
3.1.6. Karışım Suyu.....	30
3.1.7. Volkanik Cüruf (Tüf).....	31
3.1.7.1. Tüflerin Olusumu	31
3.1.7.2. Tüflerin Bazı Özellikleri.....	31
3.1.7.3. Tüflerin Kimyasal Yapısı	31

3.1.7.4. Tüflerin Hidrolik Sertleşme Nedenleri	32
3.1.7.5. Tüflerin Arazideki Özellikleri	32
3.1.7.6. Tüflerin Çesitleri ve Gruplandırılması.....	33
3.1.7.7. Türkiye’de Tüflerin Dağılımı	34
3.1.7.8. Hatay’ın Hassa İlçesine Bağlı Akbez Yöresinin Saha ve Çevresinin Jeolojisi.....	34
3.2. Metot	36
3.2.1. Agreganın Asınma Oranı	36
3.2.2. Agregaların Özgül Ağırlıkları	37
3.2.2.1. Doğal Kum ve Kirma Kum	37
3.2.2.2. Kaba Agrega.....	38
3.2.3. Agregaların Granülometrik Analizi	38
3.2.4. Beton Karışım Hesapları.....	39
3.2.5. Normal Kivam Su Oranları, Priz Başlama ve Sona Erme Süreleri Tayini.....	39
3.2.6. Hacim Genleşmesi Tayini.....	40
3.2.7. Beton Basınç Dayanımı	41
3.2.8. Betonda Eğilmede Çekme Dayanımı	41
3.2.9. Betonun Su Geçirimsizliğinin Tayini (Permabilite).....	42
3.2.10. Betonun Donma Çözülme Dayanımı	43
3.2.11. Betonun Yüzey Asınmalarının Tayini	43
3.2.12. Betonun Kimyasal Ortamlardaki Dayanıklılığı.....	44
3.2.13. Beton Numunelerinde Boyca Değişim	45
3.2.14. Alkali-Silika Reaksiyonu.....	46
3.2.14.1. Çözünmüş Silisin Tayini (Gravimetrik Metot).....	46
3.2.14.2. Alkali Azalmasının Tayini	47
3.2.15. Yüzey Çatlaklarının İncelenmesi	47
3.2.16. Mikroyapı Analizi	48
4. BULGULAR VE TARTISMA.....	50
4.1. Kullanılan Agreganın Asınma Oranları	50
4.2. Kullanılan Agreganın Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Değerleri	50
4.3. Granülometrik Analiz ve Beton Karışım Hesapları	51
4.4. Normal Kivam Su Oranları, Priz Başlama ve Sona Erme Süreleri	60
4.5. Hacim Genleşmesi.....	60
4.6. Beton Basınç Dayanımı	61
4.7. Beton Numunelerinin Eğilmede Çekme Basınç Dayanımı	62
4.8. Betonun Su Geçirimsizliği.....	63
4.9. Donma Çözölmeye Karşı Betonun Dayanımı	64
4.10. Beton Numunelerinin Yüzey Asınma Oranları	66
4.11. Kimyasal Ortamlarda Betonun Davranışları	68
4.12. Beton Numuneleri nde Boyca Değişim	76
4.13. Alkali-Silika Reaksiyonları	77
4.14. Yüzey Çatlaklarının İncelenmesi	77
4.15. Çimento Pastalarının Taramalı Elektron Mikroskopunda Mikroyapı İncelenmesi.....	77
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
6. KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ.....	92

KAHRAMANMARAS SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNSAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

**UÇUCU KÜL VE VOLKANİK CÜRUF KATKILI BETONLARIN BAZI DÜRABİLİTE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İRFAN COSKUN

DANISMAN: Yrd. Doç. Dr. HÜSEYİN TEMİZ

Yıl: 2009 Sayfa: 92

Jüri: Yrd. Doç. Dr. HÜSEYİN TEMİZ
Doç. Dr. Metin KÖSE
Yrd. Doç. Dr. Abdullah SİSMAN

Bu çalışmada amaç Çimko Çimento Narlı Subesinde üretilen CEM1 42,5 tipi çimento ile Afsin Elbistan Termik Santrali uçucu külü ve Hatay-Akbaz yöresi volkanik cürufu mineral katkılarınin değişik oranlarda karıştırılarak farklı kombinasyonlarda üretilen beton ve çimento harçlarının dayanım ve durabilitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çimento yerine %40' a varan oranlarda mineral katkıların ikame edilmesiyle elde edilen esit çökme değerlerine sahip numunelerin priz süresi, hacim genleşmesi, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, permabilite, donma-çözülme dayanımı, yüzey asınmasına karşı direnç, kimyasal ortamlara karşı dayanıklılık, boyca değişim miktarı, alkali agrega reaksiyonları ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Artan mineral katkı miktarının priz süresini uzattığı; yine artan mineral katkı sayesinde ileri yaşlarda numunelerin yüksek dayanım kazanmaları nedeniyle, %100 CEM1 42,5 çimentosu ile üretilen numunelerin dayanım değerlerini yakaladığı görülmüştür. Ayrıca artan mineral katkı yardımıyla meydana gelen bu dayanım gelişimi numunelerin kimyasal ortamlara karşı ileri yaşlarda gösterdiği dirençleri de artırdığı ve mikro yapısal özelliklerini iyileştirerek etrenjit oluşumlarını engellediği, oluşmuş etrenjitlerin de bozunmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül, Volkanik Cüruf, Dayanım, Dayanıklılık, Mikroyapı

**UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAS SÜTÇÜ İMAM
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

MSc THESIS

ABSTRACT

TO INVESTIGATE SOME DURABILITY CHARACTERISTIC OF CONCRETE WITH FLY ASH AND VOLCANIC SLAG

IRFAN COSKUN

Supervisor: Assistant Prof. Dr. HÜSEYİN TEMİZ

Year: 2009, Page: 92

**Jury : Assistant Prof. Dr. HÜSEYİN TEMİZ
Associate Prof. Dr. Metin KÖSE
Assistant Prof. Dr. Abdullah SİSMAN**

This study aims at the improvement in strength and durability of concrete and cement mortars obtained in different combinations by mixing the cement of type CEM1 42.5 produced at Cimko Cimento's Narli Branch with the mineral additives contained in the fly ash from Afsin Elbistan Thermal Power Plant and volcanic slag from Hatay-Akbaz region at various ratios. Samples with equal slump values obtained by replacing cement with mineral additives of different rates up to 40% with equal slump values have been examined with respect to their set periods, volume expansions, pressure strengths, flexural strengths, permeability, freezing-dissolution strengths, resistance against surface wear, durability against chemical environments, longitudinal change quantities, alkali aggregate reactions and microstructure characteristics. It has been detected that increased mineral additive quantities result in set periods while strength values of our samples have reached the strength values of samples produced with 100% CEM1 42.5 cement products due to the high strengths gained at further ages thanks to again the increased mineral additives. On the other hand, it has also been observed that this strength improvement obtained with the help of mineral additives increase the strengths shown against chemical environments in further ages and prevents ettringite formations by developing their microstructure properties while having the formed ettringites dissolved at the same time.

Key Words: Fly Ash, Volcanic Slag, Strength, Durability, Microstructure

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme laboratuvarı, Çimko Çimento Narlı Subesi, Çimko Beton K.Maras Subesi ve Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği laboratuvarlarında Uçucu Kül ve Volkanik Cürufu, betonun bağlayıcı maddesi olan çimentonun belli bir kısmı yerine ikame ederek daha düşük maliyetle yeterli dayanımlı ve daha iyi dayanıklılıkta beton üretilme imkanları deneysel çalışmalar yapılarak araştırılmıştır.

Yüksek Lisans tezimi yöneten ve tez çalışmam boyunca destek gördüğüm danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ' e şükranlarımı sunuyorum.

Yine yardımlarından dolayı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, hocalarımdan Doç. Dr. M. Metin KÖSE ve Yrd.Doç. Dr. Hanifi BINICI ve Laboratuvar Teknikeri Abdülcelim AKDAG'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Çimko Çimento ve Beton San. Tic. A.Ş. ailesinden araştırma sırasında desteklerini esirgemeyen yönetim kurulu üyesi İnşaat Müh. Sayın M. Tansu TUĞLU' ya, Sanko Holding yönetim kurulu üyesi Sayın Osman ASILTÜRK' e, Proje ve Yatırım Müdürümüz Makine Yük. Müh. Sayın Ali BOŞO' ya, YTONG A.Ş. Satış Pazarlama Grup Müdürümüz Jeoloji Müh. Sayın Ayhan APAYDIN' a, Çimko Beton K.Maras Subesinden mesai arkadaşlarım İnşaat Müh. Turan SEN' e ve İnşaat Teknikeri Mehmet Doğan' a teşekkürlerimi borç bilirim.

Mayıs 2009
KAHRAMANMARAS

IRFAN COSKUN

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler	18
Çizelge 3.2. Bazi Yörelerdeki Volkanik Tüflerin Kimyasal Analiz Sonuçları (Ören, 1996)	32
Çizelge 3.3. Çözünen Silislerin Limit Değerleri	47
Çizelge 4.1. Kaba Agreganın Asınma Oranları (%).....	50
Çizelge 4.2. İri Agregalarda Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı Tayini (Tel Sepet Metodu).....	50
Çizelge 4.3. İnce Agregalarda Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı Tayini (Cam Ölçü Kabi Metodu)	51
Çizelge 4.4. Tüvenan Granülometrik Karışım.....	53
Çizelge 4.5. Beton Karışımında Kullanılacak Malzemelerinin Kimyasal Analizleri	54
Çizelge 4.6. Referans Beton Karışımı (%100 CEM1 Çimento ile Üretilen Beton)	55
Çizelge 4.7. %5 V.C.+%5 U.K.+%90 CEM1 Beton Karışımı	56
Çizelge 4.8. %10 V.C.+%10 U.K.+%80 CEM1 Beton Karışımı	57
Çizelge 4.9. %15 V.C.+%15 U.K.+%70 CEM1 Beton Karışımı	58
Çizelge 4.10. %20 V.C.+%20 U.K.+%60 CEM1 Beton Karışımı	59
Çizelge 4.11. Bağlayıcı Oranlarına Göre Numunelerinin Sınıflandırılması	60
Çizelge 4.12. Hamurların Normal Kivam Su Oranları ve Priz Süreleri	60
Çizelge 4.13. Hacimsel Genleşme Değerleri	61
Çizelge 4.14. Basınç Dayanım Deneyi Toplu Sonuçları.....	62
Çizelge 4.15. 15x15x60 cm'lik Numunelerin Eğilme Basınç Dayanımları Sonuçları.....	63
Çizelge 4.16. Beton Numunelerinin Su Geçirimsizlik Deneyleri Sonuçları.....	64
Çizelge 4.17. 28 Günlük Numunelerin Donma Çözülme Değerleri.....	65
Çizelge 4.18. Betonun Sürtünme ile Asınma Dayanıklılık Tayini Deney Sonuçları	67
Çizelge 4.19. NaSO ₄ (%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık..... Değişimleri	69
Çizelge 4.20. MgSO ₄ (%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık..... Değişimleri	71
Çizelge 4.21. NaSO ₄ (%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basınç..... Dayanımları	73
Çizelge 4.22. MgSO ₄ (%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basınç..... Dayanımları	74
Çizelge 4.23. Numunelerin Boyca Değişim Deney Sonuçları	76
Çizelge 4.24. Agregaların Üzerinde Yapılan Alkali-Silika Deney Sonuçları	77

SEKILLER DIZINI

SAYFA

Sekil 1.1. Kuruma Süresine Bağlı Rötire Değişimi	10
Sekil 3.1. Çimento Döner Fırından Kesitler.....	17
Sekil 3.2. Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar.....	25
Sekil 3.3. Hatay İli Hassa İlçesinin Akbez Yöresine Ulaşım Haritası.....	35
Sekil 3.4. Los Angeles Asındırma Deneyi Aleti	37
Sekil 3.5. Tel Sepet Özgül Ağırlık Ölçme Düzeneginden Görüntüler.....	38
Sekil 3.6. Elek Takımı ve Sarsma Tablası	39
Sekil 3.7. Vicat Aleti.....	40
Sekil 3.8. Le Chatelier Aleti	40
Sekil 3.9. Beton Panmikseri ve Basınç Presinden Birer Görüntü.....	41
Sekil 3.10. Egilmede Çekme Dayanımı Deney Cihazından Görüntüler.....	42
Sekil 3.11. Permabilite Deney Cihazı	42
Sekil 3.12. Donma Çözülme Deney Cihazından Görüntüler	43
Sekil 3.13. Asındırma Cihazı (Böhme).....	44
Sekil 3.14. Boyca Değişim Tespit Aleti	45
Sekil 3.15. SEM (Scanning Electron Microscope) Cihazı	49
Sekil 4.1. Tüvenan Granülometrik Karışım Eğrisi	53
Sekil 4.2 28 Günlük Numunelerin Donma-Çözülme Deneyi Sonrası Dayanım Değerleri.....	65
Sekil 4.3 Betonun Sürtünme ile Asınma Dayanıklılık Tayini (Böhme) Deney Sonuçları.....	68
Sekil 4.4 Na ₂ SO ₄ (%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık Değişimleri.....	70
Sekil 4.5 MgSO ₄ (%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık Değişimleri.....	72
Sekil 4.6 Na ₂ SO ₄ (%5) Çözeltisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basınç Dayanımları.....	73
Sekil 4.7 MgSO ₄ (%5) Çözeltisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basınç Dayanımları.....	74
Sekil 4.8. %100 CEM1 42.5 Hamurunun 28. Gün Mikroyapısı.....	78
Sekil 4.9. %90 CEM1 42.5+%5 AEUK+%5 V.C. Hamurunun 28.Gün Mikroyapısı.....	79
Sekil 4.10. %80 CEM1 42.5+%10 AEUK+%10 V.C. Hamurunun 28.Gün Mikroyapısı.....	80
Sekil 4.11. %70 CEM1 42.5+%15 AEUK+%15 V.C. Hamurunun 28.Gün Mikroyapısı.....	81
Sekil 4.12. %60 CEM1 42.5+%20 AEUK+%20 V.C. Hamurunun 28.Gün Mikroyapısı.....	82

SIMGELER VE KISALTMALAR

N/mm²	: Basınç Dayanım Birimi
Atm	: Atmosfer Basınç
GBP	: Granüle Bazaltik Pomza
YFC	: Yüksek Firin Cürufu
CSH	: Kalsiyum Silika Hidrat
XRD	: X-Ray Diffraction
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
PKÇ	: Portland Kompoze Çimento
ASTM	: Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu
CAH	: Kalsiyum Alümina Hidrat
Ca(OH)₂	: Portlandit (Serbest Kireç)
HCl	: Hidrolik Asit
CaO	: Kalsiyum Oksit
SiO₂	: Silis
Al₂O₃	: Alümin
SD	: Silis Dumani
UK	: Uçucu Kül
DYK	: Doygun Yüzey Kuru
NaSO₄	: Sodyum Sülfat
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
Mg₂SO₄	: Magnezyum Sülfat

1. GIRIS

Bu çalışmada, Afsin-Elbistan termik santralinde atık halde bulunan uçucu küllerin ve Hatay-Akbaz yöresinde bulunan volkanik cürufun betonda kullanılmasıyla, betonun bazı dayanım ve dayanıklılık (durabilite) özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda ülke ekonomisine katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Beton; agrega, kum, çimento, su, mevsimine ve döküm şartlarına göre tercih edilen çeşitli mineral ve kimyasal katkıların harmanlanmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir. Bu yapı malzemesinde kum veya çimento yerine çeşitli doğal veya yapay puzolanların ilave edilmesiyle fiziksel ve kimyasal bazı özelliklerin iyileştirilmesi neticesinde dayanım ve dayanıklılık pozitif yönde düzeltilebilmekte ve aynı zamanda çimentoya göre çok daha ucuz olan bu puzolanların kullanılmasıyla beton maliyetleri aşağıya çekilmekte bunun neticesinde ekonomiklik sağlanmaktadır.

Uçucu küller kömürle çalışan termik elektrik santrallerde ince öğütülmüş (pulverised) kömürün yakılması sonucunda oluşan ve bacalardan elektrostatik yöntemlerle toplanan çok ince taneli bir yan ürün olarak elde edilen küldür .

ASTM C 618’de verilen sınıflandırmaya göre, uçucu küller iki sınıfa ayrılırlar. C sınıfı uçucu küller; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ koşulunu sağlayan küllerdir. F sınıfı uçucu küller; bitümlü kömürden elde edilen ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ koşulunu sağlayan küllerdir (ASTM C618,2).

Türkiye’ de ise TS 639’a göre UK ler tek sınıftır ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ koşulu verilmiştir (TS 639, 1975). Genel olarak, içerisinde %10 dan fazla CaO bulunan küller yüksek kireçli uçucu küller (YKUK) ve %10 dan düşük CaO oranına sahip uçucu küller ise düşük kireçli küller (DKUK) olarak tanımlanmaktadır.

Uçucu küller genel olarak gri renktedirler, içlerinde yanmamış karbon (yanmamış kömür tozu) miktarı fazla olduğu takdirde renkleri daha koyudur. Uçucu kül taneleri küresel şekle sahip olup, çapları 1-150 μm arasında değişiklikler göstermektedir. Uçucu küllerin yoğunluğu 2-2,7 g/cm^3 arasında değerler alabilmektedir.

Volkanik cüruf agrega, çeşitli volkanik aktivitelere bağlı olarak bazaltik karaktere sahip lavların, patlamanın oluşturduğu basıncın etkisiyle, çatlaklar boyunca sızması sonucu oluşan bazaltik kompozisyona sahip, gözenekli, camsi volkanik bir kayadır.

Volkan bacalarından çıkan lavların oluşturduğu kayalar ve yine volkandan çıkan gazların dışında diğer bir volkanik malzeme çeşidi ise değişik büyüklüklerde magma parçalarından oluşmuştur. Bu malzemelere proklastik malzemeler denilmektedir. Proklastik malzemeler büyük kütlelerden küle kadar değişik büyüklüklerde olmaktadır. Proklastik malzemelerin volkan bacasından ayrıldığı andaki sıcaklığı ve soguma hızı oluşan malzemenin büyüklüğü bakımından ana etkindir. Yüksek bir sıcaklıkta iken aniden soguyan malzemelerden ince taneler oluşmaktadır. Soguma hızına ve içindeki gaz miktarına bağlı olarak oluşan tanelerin kendi bünyelerinde değişik oranlarda boşluklar meydana gelmektedir.

Ülkemizde olduğu gibi dünyanın çeşitli bölgelerinde de tüfler bulunmaktadır. Kimyasal yapı yönünden tüfler hemen hemen aynı maddelerden meydana gelmiştir. Ancak maddelerin tüf içerisindeki bulunma oranları değişik olmaktadır. Diğer puzolanlar içerisinde olduğu gibi, tüflerin kimyasal içeriği de SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CaO, MgO, K_2O , Na_2O ve H_2O dan oluşur. Bu maddeler içinde tüflerde en fazla rastlanılan SiO_2 dir. SiO_2 oranı %46-80 arasında değişmektedir. CaO ve MgO oranları % 10’un altındadır (Doruk, 1974).

Bu çalışmada Afsin-Elbistan uçucu külü ve Hatay Akbaz yöresi volkanik cürufu puzolan olarak, Çimko Çimento Narli subesinde üretilen CEM1 42.5 çimento ana bağlayıcı olarak kullanılmıştır.

Afsin-Elbistan uçucu külü yukarıda bahsedilen yüksek CaO oranına sahip küller sınıfına girmektedir. Dolayısıyla ASTM ve TSE standartlarına göre beton yapımında kullanımı uygun değildir. Diğer yandan Hatay Akbaz yöresi volkanik cürufu ise SiO₂ bakımından zengin bir puzolandır. Bu çalışmadaki amaç, Afsin-Elbistan uçucu külünün kalsiyum oksitleri (CaO) ile Hatay Akbaz yöresi volkanik cürufunda bol miktarda bulunan silisyum oksitlerin (SiO₂) kimyasal tepkimeleri neticesinde betonda ana bağlayıcı jel olan C-S-H jelinin oluşması ve betonun bazı özelliklerinin iyileştirilmesidir. Ayrıca beton yapımında kullanımı standartlara göre uygun olmayan Afsin-Elbistan uçucu külünün kimyasal yapısını, Hatay-Akbaz yöresi volkanik cürufu kullanımı ile uygun hale getirmektir.

Bu düşünce doğrultusunda yapılan mekanik ve kimyasal deneylerde alınan sonuçların düşünceyi desteklediği gözlemlenmiştir.

Basınç, çekme ve eğilme deneylerinde %100 çimento ile yapılan referans numunelerin sonuçlarıyla kıyaslandığında, %10, %20, %30 puzolan katkili numunelerin yakın değerler verdiği %40 puzolan katkili numunelerin ise biraz geride kaldığı gözlemlenmiştir. Erken mukavemet değerleri açısından %100 çimento ile üretilen beton numunelerinin sonuçları puzolanlı betonlara göre yüksek olsa da, puzolanlı betonların kimyasal özelliklerinden kaynaklanan yüksek dayanım gelişimleri sebebiyle nihai dayanımlara bakıldığında, %100 çimento ile üretilmiş beton numunelerine çok yaklaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca boyca değişim, sülfat ortamlarına dayanıklılık gibi kimyasal deneylerin sonuçlarında ve mikro yapı incelemelerinde de puzolan katkili betonların daha durabil oldukları gözlemlenmiştir.

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Puzolan Katkili Betonlarda Fiziko-Mekanik Özellikler

Ekinci (1995)'nin aynı cins agrega üzerinde yaptığı asınma kaybı araştırmasında, su/bağlayıcı oranı 0.45 olan kontrol betonu 72 saatlik asınma uygulaması sonunda %6,9 asınma kaybı göstermiştir. Aynı şartlarda olmak üzere, çimentonun %17,6 hacmi oranında silis dumanı ve su/bağlayıcı oranı 0.53 olan betonlarda %5 asınma kaybı ve çimentonun %42,9 hacmi oranında silis dumanı ve su/bağlayıcı oranı 0.21 olan betonlarda da %2,2'lik asınma kaybı saptanmıştır.

Silis dumanı katkıli betonların dinamik yüklere karşı direncini belirlemek için yapılan bir çalışmada %25'e kadar silis dumanı katkisi içeren beton numuneler belirli yükseklikten düşen bir kütlelerin ardisik darbelerine maruz bırakılmışlar, ağırlık kayıpları ve ultrasonik puls geçiş hızları ölçülerek katkısız beton değerleri ile karşılaştırılmışlardır. Sonuçlara göre özellikle %10~15 arasındaki katkı oranları betonun darbeye karşı direncini artırmaktadır (Ekinci ve Yeginobalı, 1996).

Yüksek mukavemetli betonların mekanik özellikleri üzerine silis dumanı ve cüruf katkisinin etkileri ile ilgili bir çalışma yapan Jianyong ve Pei (1997), çimentonun ağırlıkça %25'i oranlarında silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu kullanılması, betonun basınç, kırılma ve yarmada çekme mukavemetlerini artırdığını, ancak bu artışların es zamanlı olmayıp, basınç mukavemeti gelişiminin diğer ikisine göre daha hızlı olduğunu rapor etmişlerdir.

Temiz (1997), uçucu kül (U.K) ve silis dumanının birlikte katıldığı harcın özelliklerini araştırmış, yüksek kireçli Soma-B uçucu külü (YKUK), düşük kireçli Tunç bilek uçucu külü (DKUK) ve ferrosilisyum baca tozunun (FeSi=SD) değişik oranlardaki karışımlarının çimento hamuru, harcı ve beton özelliklerine etkilerini, fiziksel ve kimyasal analizler uygulayarak, bulunan değerleri literatürde verilen bilgilerle karşılaştırarak su sonuçla belirtilmiştir. UK ve (silis dumanı) SD'nin oran ve inceliğinin artmasının su ihtiyacını da artırdığını fakat bunu önlemenin süper akışkanlaştırıcılar kullanılarak mümkün olduğunu, %40 dolaylarında kullanılan uçucu külün priz süresini artırdığı, ancak %8 oranında kullanılan silisin 25-30 dakika azalttığını, uçucu külle yapılan betonlarda ilk zamanlarda dayanımın düşük çıktığını ancak ileriki yaşlarda referans numunelerinin dayanımlarını yakaladığını, hatta bu dayanımları geçtiğini, süper akışkanlaştırıcı kullanılan %32 Soma-B + %8 silis dumanı katkıli numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının referans numunelerden %14 daha fazla çıktığı belirtilmiştir. UK ve SD nin katkı olarak kullanılması üretilen betonların dayanımına önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir.

Araştırmacılar, ayrıca %10 uçucu kül ve %10 granüle yüksek fırın cürufunun birlikte kullanılması, tüm yaşlar için basınç mukavemetini artırdığını ve bu artışın, sadece uçucu kül ya da granüle yüksek fırın cürufu içeren betonununkinden daha fazla olduğunu, bu nedenle uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufunun birlikte kombinasyonunun, betonda silis dumanı gibi mukavemet artırıcı katkı olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Haq, Kayali, araştırmasında F tipi uçucu küllerin beton üzerindeki etkilerini incelemiş ve su sonuçlar elde edilmiştir.

- 7 Çimentonun %10'un FFA (ince uçucu kül) ile yer değiştirmesi sonucu, 500 kg/m³ dozlu betonda karışım suyunu %35 azaltmanın mümkün olduğu; ancak 400 kg/m³ dozlu beton için karışım suyunun sadece %6 azaltıldığı belirtilmiştir.,

- ? %10 FFA li betonların ilk yaşlarında bile tam anlamıyla mükemmel bir dayanım gelişmesi göstererek yüksek performans sergilediği vurgulanmıştır. 400 dozlu (%10 UK katkili) ve 500 dozlu (%10 UK katkili) betonların 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 94 ve 111 MPa çıktığını belirtmiştir. Bu değerlerin FFA içermeyen benzer betonlarla kıyaslandığında dayanımda %20 oranında artış olduğu rapor edilmiştir.. FFA' nin eklenmesi aynı zamanda elastisite modülünün değerlerinde de artışlara neden olduğu açıklanmıştır.

UK katkisinin betonun geçirgenlik değerini düşürmüştür. Bu sonuçların uygun oranda FFA kullanımıyla daha yüksek güce sahip ve daha yüksek performanslı betonların üretilbileceğini göstermekte olduğunu belirtmiştir.

Kilinçkale (1999), yapmış olduğu çalışmada, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu, tras gibi puzolanların beton üzerindeki bazı özelliklerini ve puzolanik aktivitelerini incelemiştir. Portland çimentosuna ağırlıkça % 20 oranında puzolan ikame ederek puzolanlı harç numuneler üretmiştir. Bu numunelerin eğilme ve basınç dayanımları, kürlleme işleminin 7 ve 28. günlerinde saptanmıştır. Sonuç olarak tüm puzolanların yeterli puzolanik aktiviteye sahip olduğu ancak silis dumanı ve pirinç kabuğu külünün en yüksek puzolanik değerler verdiğini belirtmiştir.

Atis (2000), yüksek oranda uçucu kül katkisi ile üretilen betonun asınmaya karşı direncini incelemiştir. Beton basınç dayanımı arttıkça asınma direncinin de arttığı belirtilmiştir. Çok yüksek beton basınç dayanımlarında, yüksek oranda uçucu kül kullanımı (çimento ağırlığının %30' u ile yer değişim) ile üretilen betonun asınma direncinin sahit betonun asınma direncinden daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir.

Aldea ve ark. (2000), dört farklı cüruf katkisi ile (%0, %25, %50 ve %75) üretilen betonların özellikleri üzerinde, otoklav kürü (175°C, 0.5 MPa), buhar kürü (80°C) ve normal (20°C, %100RH) kür şartlarının etkilerini incelemek amacıyla çalışma yapmışlardır. Durabilitenin iyileştirilmesi için oda sıcaklığında uygulanan kürün en iyisi olduğunu, erken mukavemet gelişiminin istenmesi durumunda ise otoklav kürü yerine buhar kürünün tercih edilebileceğini ve son olarak, cüruf oranlarındaki artış ile birlikte klorür geçirgenliğinde de bir azalma meydana geldiği, uygulamaya bağlı olarak, mukavemeti artırmak ve klorür geçirgenliğini azaltmak için değişik cüruf yüzdelerinin kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

Uçucu kül ve cüruf katkili çimentoların özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, farklı oranlardaki cüruf, uçucu kül ve klinker içeren karışımların %5 gibi çok az miktarda alçıyla öğütülmesi ile üretilen çimentolar kullanılmıştır. 40x40x160 mm ebatlarında harç prizmaları hazırlayan Dongxu ve ark. (2000), bu karışımlarından elde ettikleri sonuçlara göre, ağırlıkça %30 cüruf ve %20 uçucu kül ile %45 klinker içeren karışımların, mukavemet ve boşluk yapısı açısından oldukça iyi sonuçlar verdiğini, bunun da uçucu kül ve cüruf katkılarının çimento hamuruna sağladıkları dolgu etkisinden ileri geldiğini bildirmişlerdir.

Yeginobalı (2001a), silis dumanı ve yüksek fırın cürufu katkı maddelerinin betonda kullanımı ile islenebilirliğinin arttığını, terlemenin, hidratasyonun, isinin, sünme ve hacim değişiminin, alkali-agrega reaksiyonunun azaldığını; su geçirmezlik, sülfat direnci ve ileri yaşlarda dayanımın arttığını; ekonomik yarar sağladığını ifade etmiştir. Bu özelliklerin süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile önemli ölçüde geliştirilebildiği, bu avantajların ne kadar sağlanabileceği katkı karışımlarının oranlarının uygun bir şekilde belirlenmesine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Persson (2001) kendiliğinden yerleşen yüksek mukavemetli betonlar ile geleneksel betonlar arasındaki mekanik özellikleri karşılaştırdığı çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonlar ile normal betonların elastisite modülü, sünme ve rötre özellikleri arasında önemli bir fark olmadığını, erken yaşlarda yükleme yapılan kendiliğinden yerleşen betonların sünme

katsayısının arttığını daha sonra ise normal betonlarla aynı davranışı sergilediğini ifade etmiştir.

Yajun ve Cahyadi (2003), silis dumani ilave edilmiş çimento pastalarının mikro yapısını ve mukavemetlerini araştırdıkları çalışmalarında silis dumani ikamesi ile sertleşmiş çimento hamurlarının hem mikro yapılarının iyileştiğini hem mukavemetlerinin arttığını, silis dumani partiküllerinin topaklanmasının 28 güne kadar olan basınç mukavemetlerinde etkili olmadığını bildirmişlerdir.

Bhanja ve Sengupta (2003), değişik S/Ç oranlarında toplam 32 farklı karışım ile hazırladıkları betonlarda optimum silis dumani miktarının bütün S/Ç oranlarında farklı olduğunu, mineral katkili betonların basınç mukavemeti tahminlerinde geleneksel betonlarda kullanılan sarfnamelerin doğrudan uygulanamayacağını bunların modifiye edilmesinin gerektiğini belirtmişlerdir.

Sevim (2003), çalışmasında Afsin-Elbistan termik santralinden elde edilen uçucu külün çimento ve beton katkisi olarak kullanılabilirliği harç ve çimento hamuru numuneleri üzerinde yürütülen deneylerle araştırmıştır. %10 ve %20 Afsin Elbistan termik santrali uçucu külü içeren harç numunelerin büyük bir kısmı sahit harç numunelerine esdeğer ya da yakın değerlerde basınç, çekme, asınma dayanımı, karbonatlaşma, boşluk oranı ve kapiler su emme katsayısı gerçekleştirdiğini belirtmiştir. Afsin-Elbistan küllerinin %10-%20 oranında çimento ve beton katkisi olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır.

Uygun ve yeterli kür uygulanması şartıyla, betonda yüksek fırın cürufu kullanılması asınma dayanıklılığında bir miktar avantaj sağlamaktadır. Ancak, cüruf katkili betonlar yeterli kürün yapılamadığı durumlardan portland çimentolu betonlara göre daha fazla etkilenmiş olsa bile tüm betonların asınma dayanıklılığı önemli bir şekilde azalmaktadır (Newman ve Choo, 2003).

Gülşen (2004), yapmış olduğu çalışmada, Toprakkale (Osmaniye) bazaltik pomzasının hafif beton yapımında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu açıdan Toprakkale bazaltik pomzasının genel mühendislik karakteristiği, jeokimyasal özellikleri ile fizyomekanik değerleri laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Agregası olarak bazaltik pomza kullanılarak elde edilen hafif beton numunelerinin basınç dayanımları ve çekme dayanımları tespit edilmiş, bu özellikler ile inşaat sektörünün istekleri arasında ilişkiler kurulmuştur. Laboratuvar test sonuçları bazaltik pomzanın kullanılması ile 28 günde 30 MPa'lık bir dayanıma sahip olan hafif beton üretildiğini göstermiştir.

Siddique (2004a), çalışmasında F sınıfı uçucu külü %35, %45 ve %55 oranlarında botanik adı Crotalaria Juncea, uzunluğu 25 mm'lik bir bitki olan san liflerle birlikte %0.25, %0.50 ve %0.75 oranlarında kullanılarak betonlar üretilmiştir. Su/bağlayıcı oranı 0.47, akışkanlaştırıcı/bağlayıcı oranı ise %1,5 seçmiştir. Deneylerde işlenebilirlik, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dirençlerini araştırmıştır. Deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

- Çimentonun yerine üç farklı oranda uçucu kül ile üretilen numunelerin işlenebilirliğinin sahada göre arttığı, san liflerin artması ile ise slumpın düştüğü görülmüştür. San lifli ve uçucu küllü betonlarda ve-be zamanının artan lif oranı ile artmakta, artan kül oranı ile azalmakta olduğunu görülmüştür.
- 28. günlük basınç dayanımları yüksek katkı oranlarında (%32, %43 ve %48) düşmüştür. Bu etkinin külden kaynaklandığı san liflerin dayanıma bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir.
- Yarmada çekme dayanımlarının uçucu kül ile birlikte azaldığı, ancak san liflerinin yarmada çekme dayanımını arttırdığı belirtilmiştir.

- Egilme dayanımları ise uçucu kül oranı ile ters orantılıdır. Yani uçucu kül oranı artarken eğilme dayanımı azalmakta ancak san liflerin eğilme dayanımlarını da arttırmakta olduğunu vurgulanmıştır.
- Her üç kül oranında da san lifi katkısının betonların darbe direncini %35 kül oranında 2-3 kat, %45 ve %55 de ise 1-1,5 kat arttırdığını ileri sürülmüştür.

Dinçer (2004), çimentonun yerine ağırlıkça Çatalagzi termik santralinden elde edilen uçucu külü %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında kullanmıştır. Çimentonun yerine uçucu kül kullanıldığında, betonun mekanik özelliklerine etkisinin %20 uçucu kül ikamesine kadar çok iyi olduğu, hatta sahit betondan bile iyi davranış gösterdiği, ancak uçucu külün basınç dayanımına etkisinin %20 oranından sonra düşüş eğilimi gösterdiği ileri sürülmüştür. Uçucu kül oranı %20'ye kadar olan betonların basınç dayanımlarının 90 günde sahit beton dayanımlarına esit, 180 günden sonra sahit beton dayanımının da üzerine çıktığı görülmüştür. %30 oranında ise sahit betona göre %10-15 düşüş gösterdiğini, yinede kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir. Çekme dayanımlarının da basınç dayanımına paralel bir seyir izlediğini, diğer taraftan bu karışımların elastisite modülü değerleri basınç dayanımında olduğu gibi gözle görünür bir azalma göstermediği vurgulanmıştır. Uçucu kül ile hacimce ince malzeme miktarı arttığı için, kül katkısı beton kompozitesini de artırmış, bundan dolayı basınç dayanımında gözle görülür bir azalma olmasına rağmen, elastisite modülünde bir azalmanın görülmeyeceği belirtilmiştir.

Chindaprasit ve ark. (2004), UK inceliğinin harçların su ihtiyacına ve bazı özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmış ince UK içeren harç çubuklarının genleşme miktarında azalma olduğu ve harçların su/bağlayıcı oranlarının azaldığı, dolayısıyla harçların daha sıkı ve daha dayanımlı olmalarına neden olduğu ifade edilmiştir. Daha iri taneli UK'lerin kullanılmasıyla ve harçların su/bağlayıcı oranlarının yüksek tutulmasıyla genleşmede artma meydana geldiği ileri sürülmüştür. İnce ve kaba UK katkılı numunelerin sülfürik asit direnci yüksek bulunmuştur.

Koçu (2005), yaptığı çalışmada Konya çevresinden elde edilen puzolanik özelliğe sahip volkanik tüfler kullanmıştır. Volkanik malzeme katkılı örneklerin fiziksel, mekanik, kimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için deneyler yapılmıştır. Çalışmada TS 25'e göre olması gereken Ca(OH)_2 miktarı sabit tutulup puzolan miktarının azaltılıp yükselmesi durumunda mukavemetin nasıl değişeceği incelenmiştir. TS 25'e göre yapılan deneylerde eğilme deneyleri ortalamasının 4.873 N/mm^2 , maksimum basınç mukavemetinin $30,02 \text{ N/mm}^2$, ortalama basınç mukavemetinin $24,60 \text{ N/mm}^2$ bulunması çalışmada olumlu bir gelişme olarak nitelendirilmiştir. Üretilen mamul malzemelerde mukavemet artışına kalsiyum silikat hidratların oluşmasının neden olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemelerle inşaat sektöründe kullanılmak üzere dekoratif özellikli asma tavanlar, ses absorbe edebilecek ve akustik amaçlı panolar, bölücü duvar elemanları, preslenmiş duvar tuğlası, isi yalıtım ve gaz beton özelliklerine sahip yapı malzemelerinin üretilebileceği belirtilmiş ve yapılarda kullanılabileceği açıklanarak önerilerde bulunulmuştur.

Song ve ark. (2005), naylon ve polipropilen liflerle güçlendirilmiş betonların basınç dayanım, yarma, darbe dayanımları ile rötre çatlaklarını araştırmışlardır. Polipropilen lifler hacimce $0,6 \text{ kg/m}^3$ miktarında alınmıştır. Polipropilen liflerin basınç dayanımını %5,8, yarma dayanımını %9,7, darbe dayanımında ise ilk çatlağı %11,9, kırılmayı %17,0 oranlarında lıfsız betonlara göre arttırdığı bulunmuştur. Erken plastik rötre çatlaklarını ve slump değerini de azalttığını belirtilmiştir.

Semiz ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, Denizli' de yer alan, bazaltik trakiandezit bileşimli volkanik kayaların (Denizli Volkanitleri) mineralojik, petrografik ve kimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Araziden aldıkları örnekler üzerinde yaptıkları fiziksel ve

mekanik testlerle volkanik kayaçların, yapı sektöründe yapı taşı olarak ve kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İncelenen örnekler üzerinde yapılan mekanik testler sonucunda, birim hacim ağırlığı 2250-2960 kg/m³ arasında, su emme oranları % 0,06-0,4 arasında, görünür porozite % 0,15-10,22 arasında, tek eksenli basınç dayanımlarının ise 52,4-170,2 MPa arasında olduklarını tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile mineralojik ve petrografik çalışmaların uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Deprem açısından 1. derecede riskli olan bölgelerimizdeki inşaat sektörüne kazandırılması, yüksek dayanimli beton üretimi için önemli bir kazanç olacağı saptamasına varmışlardır.

Yazıcıoğlu ve Demirel (2005), yaptıkları araştırmada, Elazığ yöresi pomzasının betonda katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Pomza çimento inceliğinde öğütüldükten sonra, deneyde kullanılacak olan CEM I 42,5 çimento yerine ağırlıkça % 5, 10 ve 20 oranlarında kullanılarak yeni karışımlar oluşturulmuştur. Silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkıyı gözleyebilmek için kontrol betonu hariç tüm serilere, 40 kg çimento yerine aynı oranda silis dumanı ilave edilerek ikinci bir seri daha hazırlanmıştır. Her yaş için 3' er tane olmak üzere her bir seriden 9 adet 10X10X10 cm' lik numuneler hazırlanmış ve bunların 3-7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca 28 günlük betonlar porozite ve ultrasonik test deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen veriler, hem her seri kendi içinde, hem de birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sadece pomza katkısı basınç dayanımını özellikle 3 ve 7 günlük yaşlarda düşürürken, ağırlıkça % 5 ve % 10 pomza katkılı betonlara % 10 silis dumanı ilavesi ile kontrol betonunkinden daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Ağırlıkça % 15 ve % 20 pomza katkılı betonlara % 10 silis dumanı ilavesi ile de kontrol betonunun basınç dayanımı değerlerine yaklaşılmıştır. Ultrasonik test ve porozite deneyleri de bu sonucu desteklemiştir.

McCarthy ve Dhiri (2005), yaptıkları çalışmada günümüzde üretilen uçucu kül katkılı çimentoların beton yapılarda kullanılabilme imkânlarını araştırmışlardır. Araştırmanın bulguları arasında:

- ? Yüksek içerikli UK ile pratikte ihtiyaç duyulan hedeflenmiş dayanıma sahip betonu üretmek mümkündür.
- ? Hızlı sertleşen portland çimentosunun hidrasyon ısısı düşürülebilmiştir.
- ? Az orandaki UK katkısı ile betonun ısılenebilme yeteneği artırılmıştır.
- ? Karbonatlaşma oranlarında PÇ ile üretilen betonun performansına benzer bir performans görülmüştür.
- ? Emicilik, geçirgenlik ve klorat difüzyonu özellikleri bakımından yüksek dayanıklılık saptanmıştır.
- ? Çalışmanın verilerine dayanılarak PÇ veya diğer katkılı çimentolarda uçucu küllerin kullanılması önerilmiştir.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2005), mineral katkı olarak silis dumanı ve agrega olarak pomza taşı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri 3-7-14 ve 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Basınç mukavemeti deneyleri için 150X150X150 mm ölçülerindeki küp numuneler, yarmada çekme dayanımı deneyi içinde 150X300 mm ölçülerindeki silindirik numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında ince agrega olarak nehir kumu, kaba agrega olarak ise pomza taşı kullanılmıştır. Silis dumanı CEM I 42,5 N çimentosu ile ağırlıkça % 10 oranında yer değiştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre silis dumanı katkılı beton numunelerin her yaşta kontrol betonuna göre daha iyi dayanım özellikleri sergilediği görülmüştür. Katkisiz olarak hazırlanan numuneler kontrol betonu ilk yaşlarda SDB numuneleri ile benzer özellikler sergilerken özellikle 7 günlük kür süresinden sonra SDB numunelerinde belirgin bir dayanım artışı gözlenmiştir.

Yigiter ve ark. (2005), C tipi uçucu kül katkılı betonların bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerinin araştırılması konulu çalışmaların ardından şu sonuçları çıkarmışlardır.

*Standart kür yapılan örneklerinin 1 günlük basınç dayanımı, uçucu kül oranının artması ile önemli oranda azalmaktadır. Ancak, sonraki yaşlarda (3. günden sonra) bu fark kaybolmakta ve uçucu kül oranının artması ile basınç dayanımı da artmaktadır.

*Havada kür yapılan örneklerin basınç dayanımı ve elastisite modülü su içerisinde standart kür yapılan numunelere kıyasla önemli oranda düşük çıkmıştır. Dayanım ve elastisite modülleri arasındaki fark uçucu kül oranı arttıkça artmaktadır. Bu durum uçucu kül içeren karışımların kür hassasiyetinin daha fazla olduğunun bir göstergesidir.

*Uçucu kül oranının artması ile harç çubuklarının genleşme miktarı artmaktadır. Bu artış ilerleyen yaşlarda daha belirgindir. Ancak, elde edilen genleşme mertebeleri oldukça düşüktür. Örneklerin havada bekletilmeleri halinde oluşacak büzülme ile bu genleşmelerin dengelenmesi beklenmektedir. Dolayısıyla, betonda C sınıfı uçucu kül kullanımı hacimsel kararlılıkta önemli bir olumsuz etkiye yol açmamaktadır.

*Baglayıcı hamurlarının priz süreleri uçucu kül oranının artması ile artmaktadır. Ancak, priz hızlandırma özelliği olan süper akiskanlaştırıcı katkıların kullanımı ile priz süreleri oldukça kısalmaktadır.

*Uçucu kül kullanımı, betonun asit etkisine karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkilemiştir. Ancak, betonun diğer fiziksel ve kimyasal etkiler altındaki uzun dönemli performansının gözlenmesi yararlı olacaktır.

*Aynı santralden elde edilen uçucu külün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin günden güne değişebileceği dikkate alınmalı, kullanımdan önce fiziksel ve kimyasal özellikleri mutlaka belirlenmeli ve bu konuda düzenli ve güvenilir bir kalite kontrol sistemi kullanılmalıdır.

Yüksek fırın cürufu içeren karışımların erken yaşlardaki mukavemet gelişimleri büyük ölçüde kür sıcaklığına bağlıdır. Standard kür şartları altında, yüksek fırın cürufu harçlar, portland çimentolu harçlara göre daha düşük hızda mukavemet kazanır. Ancak, yüksek sıcaklıklardaki mukavemet kazanımı çok daha hızlıdır ve erken yastaki mukavemet gelişimi yüksek ikame oranlarındaki cüruf katkılı karışımlar için daha önemli olmaktadır (Barnett ve ark., 2006).

2.2 Puzolanların İnceliklerinin Önemi

Nakamura ve ark. (1992), inceliğin mukavemet üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, 453, 786 ve 1160 m²/kg' lik üç farklı inceliğe sahip cüruf, çimentonun belli bir kısmı yerine kullanılarak su/baglayıcı oranı 0,30 ve 0,40 olan 160–200 mm çökmeye sahip numuneler üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre, artan cüruf inceliği ile birlikte yüksek basınç mukavemetinin elde edildiğini bildiren araştırmacılar, %50 yer değişim seviyesinde 453 m²/kg özgül yüzey alanına sahip cüruf içeren betonların 3 ve 7 gün gibi erken yaşlarda normal Portland çimentolu betona göre daha düşük dayanım göstermesine rağmen 28.günde normal Portland çimentolu betona eşit mukavemet sergilediğini bildirmişlerdir.

Araştırmalar, çok ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile yapılan harçların basınç dayanımlarının, normal incelikteki yüksek fırın cürufu ile yapılanlara göre daha yüksek olduğunu ve çok ince öğütmenin erken yaşlardaki dayanım üzerinde olumlu etkiler yaptığını göstermektedir. Dogulu (1998), granüle yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı özellikleri üzerine cüruf inceliğinin etkisi ile ilgili olarak yaptığı çalışmada, granül yüksek fırın cüruflarının inceliğinin artması durumunda, hem harçların basınç mukavemetinde hem de cüruf aktive indeksinde bir artış olduğunu bildirmiştir.

Tan ve Pu (1998), Blaine incelikleri sırasıyla 6021 cm²/g ve 5923 cm²/g olan ince öğütülmüş uçucu kül ile granüle yüksek fırın cürufunun ve bunların birleşimlerinin mukavemet üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, beton içerisinde %20 oranında ince öğütülmüş uçucu kül ya da granüle yüksek fırın cürufu kullanımının basınç mukavemetini 3 günden sonra arttırdığını, ancak ikisi arasında mukavemet açısından çok büyük bir farklılığın bulunmadığını bildirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2004), 3460 cm²/g özgül yüzey alanına sahip normal incelikte öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ile 8380 cm²/g yüzey alanına sahip çok ince öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunu Portland çimentosuyla %50 oranında yer değişime uğratmak suretiyle ürettikleri iki farklı karışımdan 80x20x20 mm ebadında numuneler hazırlamışlardır. Araştırmacılar, prizmatik numunelerden elde ettikleri karbonatlaşma değerlerine göre, çok ince öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu betonun, normal incelikte öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren diğer betona göre karbonatlaşma dayanıklılığı açısından üstün özellikler gösterdiğini, cürufu çok ince öğütmenin, sertleşmiş çimento hamurunda daha yoğun bir yapı meydana getirmesinden dolayı, hamur içerisine karbondioksit (CO₂) girişini engellediğini bildirmişlerdir.

2.3 Puzolan Katkili Betonlarda Islenebilirlik Özellikleri

Duval ve Kadri (1998), silis dumanının betonun ıslenebilirliğine ve basınç mukavemetine etkisini iki değişik çimento kullanarak incelemişlerdir. Su/bağlayıcı oranını 0.25~0.45 arasında değiştirdikleri çalışmalarında, %10 ve daha düşük oranlarda silis dumanı kullanımının ıslenebilirliğe olumlu etkisinin olduğunu, su/bağlayıcı oranının düşmesiyle silis dumanının ıslenebilirlik üzerindeki bu etkisinin daha da belirgin hale geldiğini bildirmişlerdir. Karışımlarda kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarının ise çimentonun C₃A ve alkali-sülfat içeriğine bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Binici (2002), beton üretiminde YFC + pomza kullanılması durumunda süper akışkanlaştırıcı kullanılması gerektiği, aksi takdirde pomza ve YFC katkıli betonların su ihtiyacının arttığını belirtmiştir.

2.4 Puzolan Katkili Betonların Permabilite Özellikleri

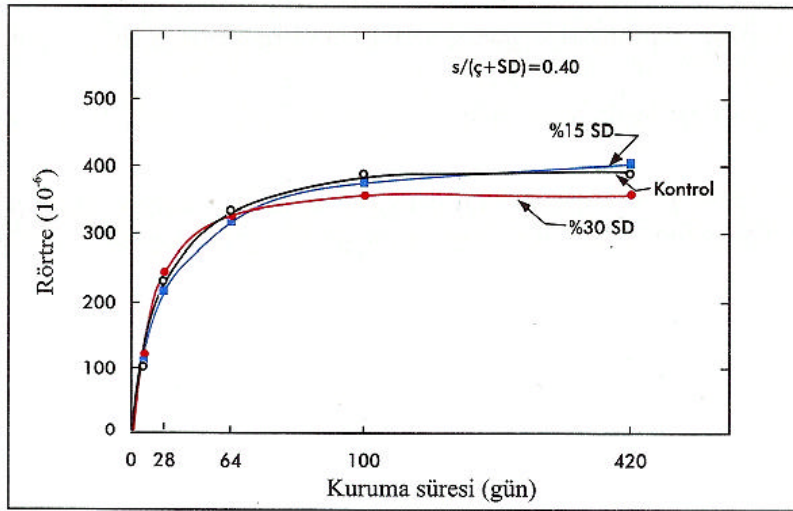
Toutanji ve Bayasi (1999), değişik kür durumlarında silis dumanı katkıli betonların mukavemet ve permabilite özelliklerini incelemişler ve buhar kuru ile birlikte su içerisinde kür edilen numunelerde permabilitenin azaldığını, havada kür edilen numunelerde ise arttığını bildirmişlerdir. Permabilitedeki değişikliğinin silis dumanı miktarıyla güçlü bir bağlantısı olduğunu bildiren araştırmacılar, %30 silis dumanı kullanılan ve havada kür edilen numunelerin permabilitesinde önemli bir artış olduğunu vurgulamışlardır.

Aksogan ve ark. (2005), yilinda yaptıkları araştırmada, pomza ve yüksek fırın cürufu katkıli betonların durabilitesinin kontrol numunesinden yüksek olduğunu ve kontrol örneğinin permabilite değerinin bütün örneklerden büyük olduğunu tespit etmişlerdir. %40 pomza + %40 yüksek fırın cürufu katkıli örneğin basınç dayanımı yüksek bulunurken permabilite değeri az bulunmuştur. Araştırmanın en önemli sonucu, pomza ve yüksek fırın cürufunun eşit oranda katılarak az geçirimli beton üretilebileceğinin ortaya konmasıdır.

2.5 Puzolan Katkili Betonlarda Rötire

Kutti ve ark. (1992), ağırlıkça %70 gibi fazla miktarda yüksek fırın cürufu içeren çimentoların rötresi üzerine yaptıkları çalışmalarında, fazla miktarda cüruf ihtiva eden yüksek fırın cürufu çimentoların kuruma rötrelерinin, ortamdaki relatif nemden oldukça etkilendiğini, nemin %60'tan az olduğu kuru iklimlerde cürufu çimentoların rötrelерinin daha fazla iken, nemin yüksek olduğu ($RH > \%70$) ortam şartlarında, cürufu çimentoların kuruma rötresinin yaklaşık olarak normal Portland çimentosunununkiyle aynı ya da ondan da az olduğunu bildirmişlerdir.

Yeginobalı'nın (2002) bildirdiğine göre, Bentur ve Goldman (1989) s/b orantısı 0.33 olan, çimentonun %13'ü yerine silis dumanı katılmış ve 28 gün suda kür edilmiş betonlarda rötrenin katkısız betona göre büyük ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Ancak araştırmacılara göre eşit buharlaşan su miktarı bazında kıyaslandığında daha küçük gözeneklerden su kaybının silis dumanlı betonlarda daha büyük rötre gerilmesine ve deformasyonlarına yol açması beklenebilir.



Sekil 1.1 Kuruma Süresine Bağlı Rötре Degisimi

2.6 Puzolan Katkili Betonlarda Kimyasal Kompozisyon

Kazuyuki ve Kawamura (1994), harçlar üzerinde yapmış oldukları araştırmada, silis dumanının $Ca(OH)_2$ miktarını önemli ölçüde düşürerek ilave dayanım kazandığını gözlemlemişlerdir. Bu araştırmaya göre, kontrol karışımı 28. gün sonunda $Ca(OH)_2$ miktarı %4,1 iken, %5 silis dumanı kullanılması durumunda $Ca(OH)_2$ miktarının %3,1'e, %10 silis dumanının kullanımında %2,3'e, %20 silis dumanı kullanımında %1,3'e ve %30 silis dumanı kullanımında %0,8'e düşmüştür.

Portland çimentosunun puzolanik malzemelerle kısmi olarak yer degismesi, alkali-agrega reaksiyonu sonucu meydana gelen zararlı hacim genleşmelerini kontrol etmede etkili olmaktadır. Bu malzemeler, boşluk çözeltisinin pH seviyesini düşürmek suretiyle, çimento hamurundaki kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerler. Aynı zamanda, betonun geçirgenliğini ve boşluk miktarını etkili bir şekilde azaltmak suretiyle, reaktif silis içeren agregayı, kimyasal olarak reaksiyona girip birbirlerini etkilememesi için, çimento hamurundaki alkalilere karşı izole ederler (Nawy, 2001).

Çok ince taneleri ve yüksek amorf silis içeriği nedeni ile silis dumanı çimento hamurundaki CH ile reaksiyona girerek puzolanik C-S-H jelini oluşturur. Bu konuda yapılan basitleştirilmiş bir çalışmada SD/CH oranı 2 olan bir çözeltide silis dumanı bütün kalsiyum hidroksiti 7 günde bağlayarak C-S-H jeli oluşturmış, SD/CH oranı 1 olan çözeltide ise bu reaksiyon 28 günde tamamlanmıştır.(Yeginobalı, 2002).

Hiçyılmaz ve Altun (2005), yılında yapmış oldukları çalışmalarda, pomzanın alternatif yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili olanaklar, son yıllarda yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ışığında değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada pomzanın değişik alanlarda kullanıma uygun olup olmadığını belirlemeye yönelik çalışmalar, alternatif yapı malzemesi olarak sunduğu avantajlar ile beraberinde getirdiği olumsuz etkilere de değinilmiştir. Yapılan çalışmaların pomzanın, gerek yüksek silis içeriği ve puzolan özelliği, gerekse düşük yoğunluğu sebebi ile alternatif çimento dolgu maddesi veya hafif beton agregası olarak büyük bir potansiyel teşkil ettiğini, sahip olduğu karakteristik yalıtım özellikleri ve ekonomikliği ile de hem kısa hem de uzun vadede en önemli alternatif yapı malzemelerinden birisi olacağı vurgulanmıştır.

2.7 Puzolan Katkili Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonları

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun, çimentonun bir bölümü ile yer değiştirilerek kullanılması, alkali miktarını azaltabilir. Alkali-silika reaksiyonundan ileri gelen hasar riskini azaltmak için önerilen çok sayıda alternatif çözüm vardır. Bunlar, i) betonun alkali içeriğinin sınırlandırılması, ii) öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu kül kullanılması, iii) düşük alkalili çimento seçilmesi, iv) reaktif olmayan agreganın tercih edilmesi gibi durumları içerir (RMC, 1991 : Tasdemir ve ark., 2000).

SD, kalsiyum silikat hidratları oluşturmak için serbest kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girer ve bu indirgeme pH' in düşmesine ve yüksek alkalilerle reaksiyon riskini azaltmaktadır. SD' nin puzolanik reaktivitesi, betonun gözenek yapısını azaltmakta ve permabiliteyi düşürmektedir. %10 oranında SD' nin ağırlıkça çimento yerine kullanılması, alkali-agrega reaksiyonuna neden olan temel faktörleri engelleyebilmektedir (Newman and Choo, 2003).

UK katkisi betonda meydana gelen alkali-agrega reaksiyonunu düşürmektedir. Bunun nedeni UK' lü betonlarda daha az miktarda çimento kullanılmasından kaynaklanır. Katkisiz betondakine göre daha az PÇ bulunması, betonun içerisinde daha az miktarda C₃A' nin ve alkalilerin yer almasını sağlamaktadır (Erdogan, 2003).

Kwon (2005), çimento dozajı yaklaşık 500 kg/m³ civarında olan yüksek dayanimli betonlar üzerinde bir araştırma yapmıştır. Yüksek dayanimli beton üretiminde kullanılan çimentoda bulunan fazla orandaki alkali muhtevasi alkali-agrega reaksiyonu için bir dezavantajdır. Reaktif olmayan agregaların kullanılmasıyla elde edilen numunelerde, kimyasal yöntemlerle, zararlı hacim genleşmelerinin gözlenmediği bildirilmiştir. Öte yandan, betonda düşük alkalili çimento kullanılması ya da %30 oranında öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun çimentoya ilave edilmesiyle alkali-agrega reaksiyonunun neden olduğu sismelerin önlenmesini, %30 ikame oranına göre betonun alkali içeriğinde yaklaşık olarak 1,0 ila 1,7 kg/m³ civarında bir azalma gözlemlendiği ve son olarak artan cüruf inceliğinin alkali-agrega reaksiyonunu önlemede etkili olduğunu rapor edilmiştir.

2.8 Puzolan Katkili Betonlarda Donma-Çözülme Etkisi

Dursun (2002), Yeniköy cürufu ve Ergani trasi, portland çimentosuyla birlikte kullanılarak elde edilen betonun donma dayanıklılığını incelemiştir. Deneylerde her bir puzolan için 5 seri beton numunesi dökülmüş olup, her beton numunesinde puzolan miktarı %2 den %10 kadar değişen oranlarda artmıştır. Çimento ile birlikte %6 cüruf ve %8 tras kullanıldığında, hem dayanım hem de donma dayanıklılık açısından en uygun sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca silindire sıkıştırılmış beton barajlarda, yüksek oranda puzolan kullanılması betonun düşük maliyetle olmasını sağlamaktadır.

Yüksek fırın cüruflarının, betonların donma-çözülme dirençleri üzerine etkileri, Portland çimentolarına göre, dayanım ve betonun hava miktarı sabit olması durumunda pek farklı değildir. Ancak, yüksek miktarlardaki cüruf ikame oranlarında, bu dirençte az bir miktar düşüş görüldüğü vurgulanmıştır. Öte yandan, yüksek fırın cürufu kullanılmasıyla betonda oluşan küçülmeye, hidrasyon hızının azalmasına neden olması sonucu, betonun donma çözülme direncinin yükseldiği öne sürülmektedir. Yapılan tüm araştırmalarda hem fikir olunan bir sonuç, cüruf katkılı betonların sabit bir hava miktarı sağlamak için, Portland çimentolarına göre daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç duydukları hususudur (Virtanen, 1989; Pigeon ve Regourd, 1989; Malhotra, 1989; Tokyay, 2003).

Yüksek fırın cürüflü çimento içeren betonların buz çözücü tuzlara ve donma etkisine karşı dayanıklılığı ile ilgili bir çalışma yapan Deja (2003), %57 oranında yüksek fırın cürufu içeren çimento ile ürettiği dört farklı grup beton için hazırlanan 15 cm' lik küp numuneler üzerinde 50 devirlik donma-çözülme testi uygulamıştır. Numunelerin bu devir sonundaki ağırlık kaybı sonuçlarına göre, hava sürükleyici katkı içermeyen beton erken yaşlarda ciddi bir şekilde zarar gördüğü için 14 devir sonunda deney sonlandırılırken, hava sürükleyici katkısının kullanılmasıyla betonun donma- çözülme karsı dayanıklılığı da artmıştır. Hava sürükleyici katkı içermeyen cüruf çimentolu betonlar, normal Portland çimentolu betona göre önemli bir miktarda daha düşük hava miktarına sahiptir. Taze beton içerisindeki hava sürükleyici katkının etkinliği, cüruf çimentolu betonlarda, portland çimentolu betona göre çok daha azdır. Bu nedenle, aynı hava miktarı için, cüruf çimentolu betonlar, normal Portland çimentolu betona göre, iki kat daha fazla hava sürükleyici katkıya gereksinim duymaktadır.

Toutanji ve ark. (2004), %20, %25 ve %30 UK içeren beton kırımları 14 gün ıslak olarak kür ettikten sonra donma-çözülme maruz bırakılmışlar ve UK miktarının artmasıyla donma-çözülme dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. SD içeren betonların donma-çözülme dayanımı, katılan SD miktarı ile ters orantılıdır. %8 SD içeren betonun donma çözülme dayanımı, %10 SD içeren betonun 2 katı ve %15 SD içeren betonun yaklaşık 13 katı kadardır (Toutanji ve ark., 2004).

2.9 Puzolan Katkılı Betonlarda Sülfat Etkisi

Mehta (1986), sülfatlarla ilgili olarak meydana gelen genleşmelerle etrenjitin neden olduğu konusunda bir görüş birliği olmasıyla birlikte, sertleşmiş çimento hamurunun alçı tarafından bozulduğu, sertliğin ve mukavemetin azaldığı genleşmenin ve kırılmanın birbirini takip ettiğini belirtmiştir.

Akman (1994), inceliği yüksek olan puzolanların beton katkısı olarak kullanılmasıyla sülfatlara karşı iyi direnç kazandırırken, aynı etkiyi nitratlara karşı göstermediği ifade edilmiştir.

Yeginobalı (2001), betonu yıpratıcı önemli hususların, sülfat eriyikleri ile bazı çimento hamuru bileşenleri arasındaki karmaşık reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan hacim genleşmeleri ve çatlaklar olduğunu bildirmiştir. Bu zararlı etkileri önlemek için uygun puzolan katkıların kullanılmasının önerildiği ifade edilmiş, kısmen çimento yerine puzolan katıldığında dolaylı

olarak ortamdaki trikalsiyum alüminat miktarının azalacağı ve kireç ile birleşerek gözenekleri dolduran yeni bağlayıcı bileşenlerin oluşacağı belirtilmiştir

Canbaz (2001)' in bildirdiğine göre, Cohen ve ark (1988), portland çimentosu ve silis dumanı katkılı karışımların magnezyum sülfat ve sodyum sülfat dayanıklılığını incelemişlerdir. Silis dumanı ilavesinin geçirgenliği azaltması ve puzolanik aktivitesinin yüksek olması nedeniyle sertleşmiş çimento hamurunun sodyum sülfat tesirine dayanıklılığını artırdığı, magnezyum sülfat tesirine karşı ise bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir.

Bakharev ve ark. (2002), alkalilerle aktive edilmiş cüruf içeren betonların sülfat dayanıklılığını tayin etmek amacıyla yaptıkları çalışmada, %5 sodyum sülfat ve %5 magnezyum sülfat çözeltilerine daldırılan cüruf lu ve salt portland çimentolu numunelerin bir yıl sonundaki mikro yapısal değişikliklerini ve basınç mukavemeti gelişimlerini incelemişlerdir. Sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen numuneler üzerinde yapılan testler, numunelerde meydana gelen mukavemet kayıplarının, alkalilerle aktifleştirilmiş cüruf içeren betonlar için %17, normal portland çimentolu betonlar için ise %25 olduğunu ortaya koymuştur. Magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde meydana gelen mukavemet kaybı ise daha büyük olup, alkalilerle aktive edilmiş cüruf katkılı betonlarda %23, normal Portland çimentolu betonlarda ise %37'dir. Sülfat atagı neticesinde meydana gelen bozulmanın ana ürünleri, portland çimentolu sistemlerde etrenjit ve alçı olurken, alkalilerle aktive edilmiş cüruf lu betonlarda bu yalnızca alçı olmaktadır.

Sertleşmiş betonun içerisine sızan sularda Na_2SO_4 veya MgSO_4 gibi sülfatlar bulunduğu takdirde, kalsiyum hidroksit ile sülfatlar arasındaki reaksiyonlar sonucu alçıtasi meydana gelir. Daha sonra, sertleşmiş çimentonun bünyesinde bulunan yarı kararlı yapıdaki kalsiyum alümino mono sülfhidrat ($\text{C}_4\text{ASH}_{12}$) ile sülfat etkisiyle meydana gelen alçıtasi arasındaki reaksiyonlar, kalsiyum alümino tri sülfhidrat veya diğer adıyla etrenjit ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$) oluşmasına yol açarlar. Sertleşmiş betonun içerisinde bu etrenjit kristallerinin oluşması, çok büyük genleşmeler yaratmakta, betonun çatlayıp parçalanmasına yol açmaktadır (Erdogan, 2003).

Silis dumanı ve yüksek fırın cüruf u katkılı betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine farklı kür şartlarının etkisini araştırarak Türkmen (2003), değişik ikame oranlarında silis dumanı ve yüksek fırın cüruf u içeren beton numunelerin magnezyum sülfat çözeltisinde, sodyum klorür ve sodyum sülfat çözeltilerindekilere göre daha fazla bozulma gösterdiklerini, yüksek fırın cüruf lu numunelerin korozyon etkilerine karşı durabilitesinin, silis dumanı ve portland çimentolu numunelerinkinden daha yüksek olduğunu rapor etmiştir.

Sülfat etkisini azaltan önlemlerin tümü, deniz suyunun etkisini azaltmak için de geçerlidir. Deniz suyunun beton yapılara esas zararı bu tür sularda bulunan kloridlerden kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki klorür, betonarme donatıların korozyonunu hızlandırmakta ve betonun parçalanmasına yol açabilmektedir (Erdogan, 2003).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruf u ve uçucu kül içeren betonların özelliklerini araştırarak ve bu amaçla %40 uçucu kül içeren beton ve portland çimentolu kontrol betonları hazırlayan Li ve Zhao (2003), bu betonların kısa ve uzun dönemdeki performanslarını incelemişlerdir. Arastırma, 100x100x300 mm boyutlarındaki test numuneleri, 3 günlük ıslak kürün ardından, 4 gün oda sıcaklığında bekletilen 8, 16 ve 50 haftalık süreyle %2 H_2SO_4 çözeltisinin içine tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçlarına göre, %15 yüksek fırın cüruf u ve %25 uçucu kül içeren betonların asit ataklarına karşı, hem portland çimentolu hem de %40 uçucu küllü betonlardan daha üstün olduğunu, 50 haftanın sonunda meydana gelen ağırlık değişimlerinin de yaklaşık %8 civarında çıktığı ileri sürülmüştür. Portland çimentolu betonların H_2SO_4 atagina karşı gösterdikleri zayıf dayanıklılık, beton içerisindeki serbest kirecin ve büyük boşlukların varlığından ileri gelmekte olup, asit atagina karşı %40 uçucu kül

içeren betonlarda erken yaşlarda görülen zayıf dayanıklılık ise, hidrate olmamış çok sayıdaki uçucu kül tanelerin bulunmasından ve çimento hamurunun boşluklu olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca bu betonlarda, hidratasyon sonucu meydana gelen C-S-H jeli miktarı, portland çimentolu veya uçucu kül ve cüruf katkıli betonlardaki C-S-H miktarından daha az olduğu belirtilmiştir.

Nehdi ve Hayek (2005), %8 SD, %25 UK ve %25 GYFC katkıli ve 0,30, 0,45, 0,60 su/baglayıcı oranına sahip harç numunelerinin %10 Na₂SO₄ ve %10 MgSO₄ çözeltilerindeki dayanıklılıklarını incelemişlerdir. 9 ay boyunca bu çözeltilerde bekletilen numunelerin mikro yapıları optik ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Su/baglayıcı oranı arttıkça genleşmenin de o arttığı ve %8 SD katkıli harçların en az genleşme gösterdiği, ikinci olarak GYFC ve en fazla genleşmeyi de UK katkıli harçların gösterdiği açıklanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT**3.1. Materyal**

Arastirmada CEM I 42,5 (Çimko Çimento Narli Subesi), agrega (K.Maras-Aksu), uçucu kül (Afsin-Elbistan), volkanik cüruf (Hatay-Akbaz) ve süper akiskanlastirici kimyasal katkı kullanilmistir.

3.1.1. Çimento

Portland çimentosu, kalker ve kilin pisirilmeleri ile elde edilen ve “klinker” olarak adlandırılan malzemenin az bir miktar alçitasi ile birlikte öğütülmesiyle üretilen bir malzemedir. Çimentoya su ilave edildiginde sertleserek yapay tas özelliği gösterir. Çimento hidrolik bağlayıcı malzemedir. Su altında sertleşebilen ve su altında erimeyen bağlayıcılara hidrolik bağlayıcı denir. Alçı ve kireç hidrolik bağlayıcılık göstermezler. Yani su içinde sertleşme göstermezler.

Portland çimentosu genelde gri renktedir. Bunun sebebi hammaddelerde özellikle kilde bulunan demir oksit muhtevsidir. Pisirilmek üzere seçilen hammaddede demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde çimento beyaz veya beyaza yakın bir renkte olur. Demir oksit ve mangan oksit kil ve kalkerde bulunan Fe_2O_3 ve Mg_2O_3 in firinda kalsinasyona ugramasi sonucu oluşur.

Portland çimentosunun tanecikleri 1-200 μm arasında ortalama 24 μm dir. Özgül ağırlığı 3,1-3,15 arasında değişmektedir. Torbalanmış çimentonun birim ağırlığı 1,5 ton/ m^3 tür.

Çimentonun görevi betonda agregaların yüzeyini kaplayarak, aradaki boşlukları doldurup bu kompozit malzemenin tek bir parça malzemeymiş gibi davranmasını sağlamaktır.

Portland çimentosu ilk olarak bulunduğu 1824 yılından beri aynı isimle anılmaktadır. 1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli duvarcı ustasının ince taneli kalker ve kil karışımını pisirerek öğütmesi, su ve kum katmasıyla elde edilen malzemenin sertleştiği görülmüştür. Bu yapı Portland isimli küçük bir adadaki hammaddelerden elde edildiği için ismi Portland çimentosu olmuştur. Gerçek anlamda çimento üretimini ilk kez 1945'de Isaac Johnson isimli İngiliz yapmıştır (Erdogan, 2003).

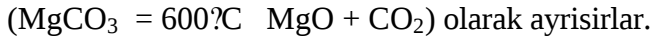
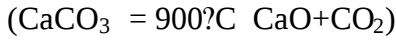
3.1.1.1 Portland Çimentosunun Üretimi

Portland çimentosu üretebilmek için, önce kalkerli ve killi malzemelerden oluşan hammadde karışımı yüksek sıcaklıklarda (1350-1450°C) pisirilerek klinker elde edilir. Ardından bu ürün çevre sıcaklığına kadar soğutulur. Daha sonra %3-%6 oranında alçı tasi ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) katılarak bu iki malzeme birlikte öğütülür.

Özetle = Klinker+%3-6Alçitasi+öğütme=çimento.

Not:Eğer Klinker soğutulmadan alçitasi ilave edilirse, alçitasi sıcaklığın etkisiyle dehidratasyona uğrar ve suyunun bir kısmını ya da tamamını kaybeder. Bu çimentoyla üretilen betonda alçitasi suyu görünce çok hızlı katılaşır ve yalancı priz olayı oluşur. Fakat yalancı priz ani priz gibi kalıcı değildir. Karışma süresi uzatılırsa durum düzelir.

Klinker Üretiminde Kullanılan Hammaddeler ve Hammadde Karışımının Hazırlanması:
Klinker üretiminde kullanılan baslıca hammaddeler kalkerli ve killi malzemelerdir. Saf kalkerin yapısında $CaCO_3$, bir miktar $MgCO_3$, silika, alüminyum, demir oksit, kükürt ve alkaliler bulunur. $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ firinda;



Killi malzemeler silika ve alüminumdan oluşur. Örneğin en basit kil türlerinden kaolinit $\text{Al}(\text{OH})_4 \text{Si}_2\text{O}_5$ olarak gösterilir ve yaklaşık $500\text{-}600^\circ\text{C}$ de SiO_2 (silika) ve Al_2O_3 (alümin) gibi oksitlerle ayrışır. Çok küçük miktarda demir oksit ve başka yabancı maddelerde bulunur. Çimento üretiminde kullanılan kalker ve kilde yeterli miktarda demir yoksa ekstra demir oksit ilavesi yapılır.

Pisirme işlemi sırasında uygun oranlarda CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi oksitlerin oluşması gerekir. Oksit oranlarının hesaplanmasında şu faktörlerinden yararlanılır.

$$\text{Kireç doy. faktörü} = \frac{\text{CaO}}{(2,80 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3)} = (0,85\text{-}0,90 \text{ aralığındadır}) (1)$$

$$\text{Silika modülü} = \frac{\text{SiO}_2}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)} = (2\text{-}2,5 \text{ aralığındadır}) (2)$$

$$\text{Demir modülü} = (\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3) = (1\text{-}3 \text{ aralığındadır}) (3)$$

Not: Beyaz çimentoda bulunması gereken demir oksit çok küçük olduğu için demir modülü daha yüksek çıkmaktadır.

Bu oranların verilen aralıklarda olmaması durumunda oluşacak karma oksitlerin miktarlarında meydana gelecek uygunsuzluklar nedeniyle hammaddelerin miktarlarında uygun düzenlemeler yapılmalıdır.

Pisirme işlemine tabii tutulacak hammaddelerin karışımı, çok ince boyuta getirilmiş kalkerli ve killi maddelerin kuru veya su ile karıştırılarak kuru sistem veya yarı sistem olarak veya yarı kuru sistem olarak fırına beslenir. Yarı sistemde %35 oranında su ilave edilen karışımın pisirilmesi uzun sürer, enerji maliyeti artar, yarı kuru sistemde %12 su vardır. Bu sistemlerde toz kontrolü iyi olduğu için ekolojik düzeni etkilemez fakat genelde kuru sistem üretim tercih edilir. Çünkü fırın daha kısa ve daha az enerji maliyeti gerektirir.

Klinker Üretimi İçin Hammaddelerin Pisirilme İşlemi: Hammadde karışımı döner fırın olarak adlandırılan fırınlarda pisirilmektedir. Döner fırının bas kısmı yani hammaddenin beslendiği kısmı bitis kısmına yani klinkerin döküldüğü kısma göre yukardadır. Yaklaşık %3-4 oranında eğim vardır. Çelikten yapılmış silindirik şeklindeki yatay uzun fırının iç kısmı atese dayanıklı tuğlalardan yapılmıştır. Çapı 2-6 metre arasındadır. Boy/çap oranı kuru sistem fırınlarda 15, yarı sistemlerde 30 kadardır. Kuru sistem karışımlarında hammadde ön ısıtıcı denilen kulelerde 900°C ye kadar ısındığı için boy/çap oranı yarı sisteme göre küçüktür. Fırın kendi ekseninde

saatte 60-180 devir dönebilmektedir. Bu yüzden döner fırın denir. Kuru sistemde fırının üst ucu 900°C alt ucu 1500°C iken, yas sistemde üst ucu 100°C alt ucu 1500°C dir. Çünkü kuru sistemde ön ısıtma mevcuttur ve fırının bas kısmı 900°C dir. Burada yakıt tasarrufu vardır. Ön ısıtıcının sıcak havası fırının ısı devir daimlerinden masrafsız elde edilmektedir. Fırında yakıt olarak fuel oil, doğal gaz veya kömür tozu kullanılır. Öğütülmüş kömür tozu en ekonomik olanıdır. Döner fırın üzerinden beslenen karışım 500-600 °C de iken Kil? SiO_2 ve Al_2O_3 gibi oksitlere dönüşür. 900°C kalker, yani CaCO_3 ? $\text{CaO} + \text{CO}_2$ şeklinde ayrılarak kalsiyum okside dönüşür. Buralarda kalsinasyon sonucu oluşan CO_2 ler fırındaki bacalardan dışarı atılır.

Sıcak etkisiyle hammadde karışımında açığa çıkan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi oksitler sıcaklık arttıkça (yaklaşık 1200°C de) kendi aralarında kimyasal reaksiyonlara baslatmaktadır. 1250-1300 °C de hammadde karışımının %20-30 sivilasma göstermekte ve klinker irili ufaklı taneciklere dönüşmektedir. Oksitlerin 1300-1450°C arasında birbirlerinden farklı özellikte ana bileşenleri oluşturduğu gözlemlenmektedir ve bu ana bileşenler klinkerlerin yapısını oluşturur.



Sekil 3.1 Çimento Döner Fırınından Kesitler

Döner fırında atesleme bölgesini geçen karışım daha alt bölgeye geçmekte, birazcık soğuyarak fakat halen yüksek sıcaklıkta dışarı çıkarak soguma ünitesine geçmektedir. Klinker gri, siyah renkte oldukça sert, 1-25 mm arasında boyutları değişen parçacıklardan oluşur.

Hammaddeler yukarıda kısaca bahsedilen asamalardan geçtikten sonra artık istenilen bileşimlere dönüşürler. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve ana bileşenler Çizelge 3.1 de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler

Genel ismi	Oksit	Çimento Kimya Sembolü	Miktarı (%)
KIREÇ	CaO	C	60-67 kalkerden gelir
SILIS	SiO ₂	S	17-25 kilden gelir
ALÜMIN	Al ₂ O ₃	A	3-8 kilden gelir
DEMİR	Fe ₂ O ₃	F	0,5-6 Kalker ve Kilden Gelir
MAGNEZYUM	MgO	M	0,1-4 Kalkerden gelir
ALKALILER	Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0,2-1,3 Kalkerden gelir
KÜKÜRT ANHDRIDI	SO ₃	S	1-3 Klinker de bulunur alçitasından gelir

Çimentolarla ilgili formüllerde yer alan H₂O, Ca(OH)₂, CaSO₄·2H₂O, CO₂, CaCO₃ çimento kimyasına uygun olarak gösterilisleri su sekildedir.

Su? H₂O? H

Kalsiyum hidroksit? Ca(OH)₂? CH

Alçitasi ? CaSO₄·2H₂O? CSH₂

Karbon di oksit ? CO₂? C

Kalker? CaCO₃? CC

Portland Çimentosunu Oluşturan Anabilesenler: Hammadde karışımının döner fırında piserilmesi sonucunda ortaya çıkan klinkerin yapısını oluşturan ana bilesenler aynı zamanda çimentonun da ana bilesenidir.

Ana bilesenler

Çimento Kimyasına Göre Sembolü

Di Kalsiyum silikat, 2CaO SiO₂

C₂S

Tri Kalsiyum Silikat, 3CaO SiO₂

C₃S

Tri Kalsiyum Alüminat, 3CaO Al₂O₃

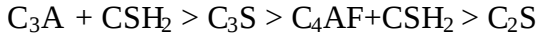
C₃A

Tetra Kalsiyum Alüminoferrit, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃

C₄AF

Portland Çimentosunun Ana Bilesenlerinin Özellikleri: Çimento hamurunun kazanabileceği nihai dayanım C₃S ve C₂S kalsiyum silikatlı bilesenlerinin hidrasyonu ile olur. C₂S nin erken dayanıma etkisi C₃S ye göre daha azdır. C₃A nin dayanıma olan etkisi ilk bir-iki saat içinde yüksektir. Onun dışında nihai dayanımın üzerine çok etkisi yoktur. C₃A ve C₄AF nin su ile birleşmelerindeki reaksiyonda alçitası görev alır. Alçitasi bu iki birleşenin reaksiyonunu

yavaslatır. Alçıtasi olmasa C_3A ve su hızlı bir şekilde reaksiyon vermekte ve dayanıma herhangi bir katkısı da bulunmamaktadır. Alçıtasinin etkisi de göz önünde bulundurulursa ana bileşenlerin reaksiyon hızları şöyle sıralanabilir.



Çimento ve su reaksiyona girdikleri ilk anda reaksiyon hızlı şekilde devam eder. Hidratasyon ısı veren bir reaksiyondur. Hidratasyon ısı kalori/gram, joule/gram birimleri ile ifade edilir. 1 kalori/gram = 4,19 joule/gramdır. Ana bileşenlerin her biri farklı hidratasyon ısıları açığa çıkarırlar.

Ana bileşen	Hidratasyon Isısı (kal/gr)
C_3S	120
C_2S	60
C_3A	207
C_4AF	100

Portland çimentosunun tipik kimyasal analizine göre muhteva ettiği bileşenlerinin oranları şu şekildedir (Erdogan, 2003);

	%
CaO	63,6
SiO ₂	20,7
Al ₂ O ₃	6
Fe ₂ O ₃	2,4
SO ₃	2,1
MgO	2,6
NaO ₂	0,1
K ₂ O	0,9
Çözünmeyen kalıntı	0,2
Kızdırma kaybı	1,4
Serbest CaO ₂	1,4
Cl ⁻	max 0,1

SO₃ miktarını önemi: SO₃ çimentoya öğütme sırasında ilave edilen alçıtasından gelir. CaSO₄.2H₂O şeklindeki alçıtasi CaO+SO₃ şeklinde ayrışır. CaO, toplam CaO' nin bir parçası olarak kullanılır. Alçıtasi içerisindeki SO₃ sayesinde priz süresini ayarlar yani uzatır. Gereğinden az alçıtasi çok erken hatta ani priz, gereğinden çok alçıtasi da etrenjit oluşumu ve genleşmeye neden olur. Ca, S, O nun atom ağırlıkları sırasıyla 40, 32 ve 16 dir. O halde CaSO₄ / SO₃ =1,7 dir. O halde kimyasal analizle bulunan SO₃ miktarı 1,7 ile çarpıldığında CaSO₄ miktarı bulunmuş olur. TS EN 197-1 e göre max SO₃ =%3 olmalıdır.

MgO nun önemi: MgO kalkerdeki MgCO₃ ün ayrışması ile meydana gelir. Firında MgO ya dönüşerek çimentoya girmiş olsa da önce su ile birleşip Mg(OH)₂ sonra havada CO₂ ile

birlesip $MgCO_3$ olusturur. MgO nun su ile reaksiyonu ile açığa çıkan isi, betonun iç yapısında genlesmeye ve çatlamaya meydan verir. MgO miktarı %5 den fazla olmamalıdır.

Na_2O ve K_2O nun önemi: Çimentodan gelen bu alkaliler, agregalardan gelen aktif silislerle birlesince alkali-silika jeli oluşur. Bu jel büyük kapasitede su emdiginden betonda içsel gerilmelere yol açar. TS EN 197-1 e göre $Na_2+0,66 K_2O=$ Max %0,6 olmalıdır.

Çözünmeyen kalıntı miktarının önemi: Hidroklorik asit içerisinde konulan çimento numunesinin asit içerisinde çözünme göstermeyen kısmına, çözünmeyen kalıntı denir. Numune ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Kalıntı miktarı arttıkça, döner firında işlemler sırasında malzemelerin bir kısmının tamamen reaksiyonlarda yer almadığı anlaşılar. Bu kalıntının büyük kısmını silisler olusturur. TS EN 197-1 e göre çözünmeyen kalıntı oranı %0,75 i geçmemelidir.

Kızdırma Kaybının Tanımı ve Önemi: Ağırlığı önceden bilinen bir çimento numunesinin çok yüksek sıcaklıkta ($975 \pm 25^\circ$) kızdırılması sonucu, su ve CO_2 çimentoyu terk eder. Çimentonun bünyesindeki nem, genellikle çimentonun yanlış stoklanması yüzünden oluşur. Buda bir başka deyişle çimentonun havadaki H_2O ile birlesip “prehidratasyon” yapması demektir. Böylece çimento tezeklesir ve bağlayıcılık özelliği azalır. Çimentonun içerisindeki alçıtasında da bir miktar nem bulunur. Buda öğütme sırasında meydana çıkar. Ayrıca çimentodaki serbest CaO ve MgO ’ ler önce çimentoda bulunan nemle ardından da CO_2 ile birleserek $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ olusturlar. Kızdırma kaybı deneyi yapılırken nem ve CO_2 uçar ve çimento hafifler normal bir portland çimentonun stok koşulları uygun değilse ve havadaki nem ve CO_2 ile tepkime halindeyse kızdırma kaybı yüksek çıkar. TS EN 197-1 e göre max %3 ü geçmez.

Serbest CaO miktarının önemi: Hammaddede bulunan CaO ; C_2S , C_3S , C_4AF ve C_3A ana bileşenlerinin oluşmasında görev alsada bir miktar CaO çimentoda serbest olarak bulunur. Aynı şekilde serbest CaO önce havadaki nem (H_2O) ile birlesip $Ca(OH)_2$ sonra havadaki CO_2 ile birlesip $CaCO_3$ oluşur. $Ca(OH)_2$ nin oluşması sırasında açığa çıkan ısı betonda içsel gerilmeye neden olur.

Cl^- Klor miktarının önemi: Çimento, su ve agregadan oluşan betonun çekme dayanımını arttırmak için betona donatı ilave edilir. Çelik çubukların korozyona uğraması ile birlikte çelik çubuklarda kesit daralması ve çatlamalara neden olur. Klor çelik çubukların korozyonunu artırır. Klor iyonu miktarı TS EN 197-1 e göre %0,1 den az olmalıdır.

3.1.1.2 Portland Çimentosunun Hidratasyonu ve Hidratasyon Ürünlerinin Özellikleri

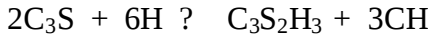
C_3S ve C_2S Ana bileşenlerinin (kalsiyum silikatların) hidratasyonu ve hidratasyon ürün özellikleri:

Trikalsiyumsilikat (C_3S) ve su (H) arasında ki tepkime ? $2C_3S+6H \rightarrow C_3S_2H_3+3CH$

Dikalsiyumsilikat (C_2S) ve su (H) arasındaki tepkime $C_2S+4H \rightarrow C_3S_2H_3+CH$

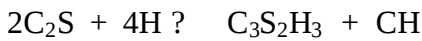
Gerek C_3S gerekse C_2S in hidratasyon ürünleri aynıdır. $C_3S_2H_3$ ve CH kalsiyum hidroksittir. $(CaO.H_2O)=Ca(OH)_2$

$C_3S_2H_2$ yani $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ Tobermorit olarak adlandırılır. İsmi doğada benzeri olan bir maddeden alır. C_3S ve C_2S ana bileşenlerinin hidratasyonları sonucu oluşan $C_3S_2H_3$ ve CH miktarları farklıdır. Sırasıyla atom ağırlıkları Ca, O, Si, H için 40,16, 28, 1 ise ürün miktarı şöyle açıklanabilir.



456 108 342 222 ? atom ağırlıkları

(100) (24) (75) (49)? 100 kısım C_3S ini oluşturduğu ürünler.



344 72 342 74 ? Atom ağırlıkları

(100) (21) (99) (22)? 100 kısım C_2S nin oluşturduğu ürünler.

Burada görüldüğü gibi C_3S ve C_2S nin hidratasyonu için gereken su miktarı yaklaşık olarak aynıdır fakat C_3S nin hidratasyonu sırasında oluşan $Ca(OH)_2$ daha fazladır ve $Ca(OH)_2$ in dayanımına etkisi azdır. O halde özellikle ileri yaşlardaki çimento dayanımına C_2S nin önemli katkısı vardır. Çünkü C_2S hidratasyonu sonucunda daha fazla C-S-H jeli daha az $Ca(OH)_2$ oluşmaktadır. Fakat C_3S nin hidratasyonu daha hızlı olduğu için, ilk yaşlardaki dayanımı C_3S etkiler. C-S-H jelleri mikroskopla incelendiğinde üzerinde dikenleri olan bir kese görünümündedir.

C_3A Ana bileşenlerinin hidratasyonu ile Ortaya çıkan Hidratasyon Ürünleri Özellikleri:

C_3A ve su arasında çok hızlı reaksiyonlar olmakta ve kalsiyum-alümina-hidratların oluşmasına yol açmaktadır.

$2C_3A + 21H \rightarrow C_4AH_{13} + C_2AH_8$? Buradaki kalsiyum-alümino-hidratlar kararlı değildir ve kısa sürede kararlı formdaki kübik-hidrognat (C_3AH_6) durumuna dönüşmektedir.

C_3A ve su arasındaki reaksiyonlar çok hızlı seyreder ve çok yüksek ısı açığa çıkarır. Ani priz meydana gelir. Çimento hamuru ani prizde çabucak katılaşır. Dayanım kazanamadan reaksiyonu tamamlar. Yukarıda ifade edildiği gibi ani priz olayını engellemek için klinkere alçı tasi ilave edilerek (%3-6) öğütülür, böylece reaksiyon yavaşlar.

C_3A , su ve alçıtasinin gerçekleştirdiği hidratasyon reaksiyonları aşağıdaki şekildedir:

- ? $C_3A + CSH_{12} + 10H \rightarrow C_4ASH_{12}$? (kalsiyumaliminosülfhidrat) yari kararlı
? $C_3A + 3CSH_{12} + 26H \rightarrow C_6AS_3H_{32}$? (kalsiyumalüminotrisülfhidrat) kararlı

Yari kararlı haldeki C_4ASH_{12} ortamda sülfat bulursa ? $C_4ASH_{12} + 2CSH_2 + 16H \rightarrow C_6AS_3H_{32}$ oluşturur (Erdogan, 2003).

Yari kararlı haldeki C_4ASH_{12} kararlı halde $C_6AS_3H_{32}$ ye döner, yani etrenjit adı verilen $C_6AS_3H_{32}$ oluşur. Bünyesinde 32 molekül su bulunduran etrenjit çimento hamurunda çok büyük bir genlemeye neden olur. İşte bu şekilde betona veya çimento hamuruna dışarıdan sülfat girmesiyle yari kararlı haldeki C_4ASH_{12} lar $C_6AS_3H_{32}$ lara dönüşür. Bu olaya sülfat hücumu denir. Çimento üretimi için klinkerle birlikte gereğinden çok SO_3 Çimento hamurunda etrenjit oluşmasına ve hasara yol açar. Sülfata dayanıklı çimento üretebilmek için C_3A yüzdesi %5 den düşük olmalıdır (TS EN 197-1).

C_4AF Ana bileşenlerinin Hidratasyonu:

C_4AF anabilesenin hidratasyonunun C_3A anabilesenin gösterdiği hidratasyona benzer olduğu bilinmektedir. Klinkere alçıtasi katılmazsa, aynı C_3A nin hidratasyonunda olduğu gibi, C_4AF nin hidratasyonunda da yüksek ısı açığa çıkar ve ani priz oluşur. C_4AF nin hidratasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum-alimino-sülfhidrat ürünleri $C_4(AF)SH_{12}$ ve $C_6(AF)S_3H_{32}$ kompozisyonuna sahip olmaktadır. Bu ürünlerin yani sıra bir miktar $(AF)H_3$ meydana gelir ortamdaki demir oksidin fazlalasma reaksiyonunun yavaş yer almasına neden olur. C_3A oranı düşük fakat C_4AF oranı yüksek olan çimentolarla yapılan betonların sülfat hücumuna karşı oldukça dayanıklı oldukları görülmüştür. Bunun sebebi tam olarak bilinmese de demir iyonu içeren kalsiyum-alimino-mono sülfat ürünleri, sülfatlı ortamda etrenjit haline dönüşmemekte veya $(AF)H_3$ ürününün oluşması, etrenjit oluşmasını önlemektedir.

3.1.2 Uçucu Kül

Uçucu kül kömürle çalışan termik elektrik santrallerde ince öğütülmüş (Pulverised) kömürün yakılması sonucunda oluşan ve bacalardan elektrostatik yöntemlerle toplanan çok ince taneli bir yan ürün olarak elde edilen bir küldür (Temiz, 1997).

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretebilmek için yakıt olarak pulvarize kömür yandığı zaman yaklaşık %75-80 i çok ince taneli hale gelir ve gazlarla beraber bacadan çıkarak uzaklaşma eğilimine girer.

İri taneli uçucu kül dibe çöker, uçan ince taneli kül ise baca çıkışında elektrostatik ve elektro mekanik yöntemlerle tutulur ve atık alanına depolanır.

Uçucu külün tane boyutları 1-150 μm , özgül ağırlıkları 2,1-2,7 arası, renkleri eğer çok miktarda karbon içeriyorsa koyu gri, daha çok demir içeriyorsa açık gridir (Zülkadiroğlu, 2006).

Yapısında SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ün yani sıra CaO , MgO , C ve Na_2O da bulunur. İnce taneli ve yaklaşık %60-90 i amorfür. Bu yüzden çimento ve betona katkı maddesi olarak ilave edilir.

3.1.2.1 Uçucu Kül Sınıfları

F Sinifi Uçucu Kül; $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = \%70$ Antrasit ve bitümlü kömürlerden elde edilmekte ve puzolanik özelliğe sahiptirler (TS EN 450-1).

C Sinifi Uçucu Kül; $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 50$ Linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilir ve puzolanik bir malzemedir. Ayrıca kendi basına bir miktar da bağlayıcı özelliğe vardır (TS EN 450-1).

Uçucu küller içerdiği CaO oranına bağlı olarak da sınıflandırılmaktadır. CaO oranı % 10' dan fazla ise yüksek kireçli uçucu kül, az ise düşük kireçli uçucu kül olarak ifade edilmektedir (Türker, P., 2004).

F tipi uçucu küllerde CaO oranı %10 dan düşüktür bu yüzden bunlar sadece puzolan özellik gösterir. Fakat C tipi küllerde CaO miktarı %10 dan fazladır. Bu yüzden bir miktarda bağlayıcılık özelliği vardır. Örnek olarak aşağıda 2 farklı külün kimyasal analizleri verilmiştir.

	F sinifi CaO < %10	C sinifi kül CaO > %10
	Puzolan	Puzolan+Bağlayıcı
SiO ₂	43-64	23-50
Al ₂ O ₃	19-30	13-21
Fe ₂ O ₃	3-23	4-22
CaO	0,7-6,7	11,5-29
MgO	0,9-1,7	1,5-7,5
Na ₂ O	0-2,8	0,4-1,9
C(kız.kaybı)	0,4-7,2	0,3-1,9

Uçucu külde bulunan MgO genlemeye sebep olmasından, SO₃ etrenjit oluşumuna neden olduğundan, alkali ise alkali-agrega reaksiyonlarına meydan verecekleri için fazla miktarda bulunmaları istenmez.

3.1.2.2 Uçucu Küllerin Beton Özelliklerine Etkileri

-Taze beton karışımının su ihtiyacı azalır. Karışımında bulunan çimentonun %20-30 u yerine uçucu kül ilave edildiğinde, uçucu küllerin küresel şekilli ve daha az sürtünmeye yol açtıkları için su ihtiyacı %7 azalmaktadır. Fakat çimentolardan 1 birim kesilip de, 2 birim kül ilave edilirse bu durum değişebilir ve su ihtiyacı artar zaten pratikteki uygulamada 2. şekilde yapılır ve su ihtiyacı artar (Erdogan, 2003).

-Betonda terleme azalır, hidrasyon isisi azalır, geçirimsizlik azalır, durabilite artar.

-Ekonomiklik ön plana çıkar.

-Uçucu küller özellikle soğuk havalarda prize geciktirmesinden dolayı sıkıntı yaratabilir.

-İlk dayanımı düşük ve daha uzun süre kür işlemi gerektirir, belli bir islenebilme için çok fazla miktarda hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasını gerektiren bir yapısı olması negatif bir özelliktir.

-Uçucu küle yapılan beton daha iyi islenir. Çünkü uçucu külün yoğunluğu azdır ve belli bir ağırlıktaki çimentoya karşılık gelen külün hacmi daha fazladır. Bu yüzden bağlayıcı madde daha hacim kaplar ve beton çok daha iyi islenir.

-Uçucu küle betonların terlemesi azdır. Daha komposittir ve çevresel etkilere karşı daha dayanıklıdır.

TS EN 450'ye göre uçucu kül özellikleri;

	F sınıfı % min 70	C sınıfı % min 50
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$		
SO_3 max %	5	5
Nem max%	3	3
Kızdırma Kaybı max%	6	6
MgO	-	-
Na_2O	1,5	1,5
Cl	-	-
-45mm elek üstü kalan max %	34	34
-Özgöl yüzey cm^2/gr	3000	3000
-Dayanım aktivite	75	75
-Su ihtiyacı kontrol numunesine kıyasla max %	105	105

3.1.3 Agregası

Agregası betonun iskeletini oluşturan ve yaklaşık olarak %60-80 arasında bulunan doğal veya yapay malzemedir.

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm' yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm' yi geçmeyen) büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır.

Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: Kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pismis kil, bims, genleştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen uçucu kül agregası.

Betonda agregası kullanılması sağladığı teknik özelliklerin yanında, sertleşen betonun 'hacim değişikliği' önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun 'aşınmaya karşı dayanımını' arttırması, çevre etkilerine karşı 'dayanıklılığını' arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun tasımda olduğu yüklere karşı 'dayanımı' sağlayabilmesi gelir (Postacıoğlu, 1987).

Betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, tane dağılımı, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir.

Agregası üretim merkezlerinde, beton santrallerinde ve sahiyelerde agregası yığınlarının depolanmasında ve taşınmasında su hususlarına dikkat etmek gerekmektedir;

- ? Agregası tanelerinin kirlenmemesi için önlem alınmalıdır. Agreganın kirlenmemesi veya dikkatsizlik sonucu agregası içerisinde zararlı maddelerin girmemesi için gerekli önlem gösterilmelidir. Agregası yığınları oluşturulurken, mümkünse sert ve temiz bir zemin seçilmeli veya beton döşeme hazırlanarak agregalar bu döşeme üzerine yığılmalıdır. Tabana önceden kum, çakıl veya kaya parçaları da serilerek agregası yığını böyle bir zemin üzerine oturtulabilir. Agregadaki suyun yığından dışarıya kolayca drenajını sağlayabilecek önlemler alınmalıdır. Çevredeki gevsek toprak tanelerinin rüzgar etkisiyle agregası danelerinin arasına karışmamasına dikkat edilmelidir.

- ? Ayrismaya neden olunmamalıdır. Agregaların bir yere yerleştirilmesi, depolanması veya taşınması esnasında iri agregaların ve ince agregaların bir yığın içerisinde adeta ayrı ayrı kümeler oluşturarak 'ayrısma' (segregasyon) yapmasını önleyecek önlemler alınmalıdır.

Agreganın Sınıflandırılması

- A. Elde Edilis Sekline Göre
- B. Tane Boyutlarına Göre

A) Elde Edilis Sekline Göre

- a) Doğal Agregat (Doğal taş agregası)
- b) Yapay Agregat (Sanayi ürünü agregat)



Sekil 3.2 Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar

B. Tane Boyutlarına Göre Sınıflama

- a) İnce Agregat (4mm altı)

Kum

Kırma kum

Yapay kum

- b) İri Agregat (4mm üstü)

Çakıl

Kırmatas (micir)

Yapay taş

- c) Tasunu (Filler) (0,25mm altı)

3.1.4 Kimyasal Beton Katkıları

Kimyasal katkıları su içinde çözünme gösteren katkılarıdır. Su azaltıcı katkı maddeleri, priz geciktirici katkıları su içerisinde çözülebilen katkılarıdır. Fakat hava sürükleyici katkıların tamamı su içerisinde çözülemeyebilirler. Bu yüzden kimyasal katkı maddelerinin dışında bir grup olarak ayrılırlar.

3.1.4.1 Su Azaltıcı (Akışkanlaştırıcı) Katkı Maddeleri

% 12 ye kadar su azaltan katkıları normal su azaltıcılar, % 12 den fazla su azaltanlar ise yüksek oranda su azaltıcılarıdır. Aynı zamanda bunlar hem su azaltıp hem priz süresini değıstirebilirler.

3.1.4.2 Su Azaltıcı Katkı Maddelerinin Kompozisyonları

-Lignosülfanatlı tuzlar ve linyosülfanat türevleri: Bir miktar priz geciktirir. Normal oranda su azaltır. Linyosülfanik asit ve tuzların modifikasyonu ile yüksek oranda su keser.

-Hidroksil-karboksil asitler ve türevler: Normal oranda su azaltırlar.

-Polimerik malzemeler: Yüksek miktarda su azaltır.

Su azaltıcı katkıları; hedef su/çimento oranını düşürerek dayanım arttırmak, beton reçetesine hiç dokunmadan akışkanlaştırıcılığı yani islenebilmeyi arttırmak, su/çimento oranı sabit kalmak kaydıyla su miktarını düşürmek, dolayısıyla çimento miktarını da düşürerek ekonomik beton üretmek amaçları ile kullanılırlar.

Normal miktarda su azaltan katkıları, betona yüksek dozajda eklenirse, yüksek oranda su azaltan katkıları haline gelirler. Fakat bu durumda betonun priz süresinde değısime olur ve priz çok gecikir, hatta hiç priz almayabilir.

3.1.4.3 Priz Geciktirici Katkı Maddeleri

Yazın sıcak havalarda, rutubeti düşük ve rüzgarlı havalarda tercih edilir. Ayrıca islenmesi zor ve uzun süren betonlarda tercih edilir. Priz geciktirici katkı maddeleri, linyosülfanik asitler ve tuzlardan, hidroksil-karboksil asitlerden, tuzlardan, sekerli maddelerden, fosfat, borat, çinko gibi organik olmayan maddelerden elde edilirler. Priz geciktirici kimyasal katkıların görevi sıcak, nemi düşük ve rüzgarı fazla olan havalarda betonun priz alma süresini uzatarak islenebilme için gereken zamanı arttırmaktır. Ayrıca büzülme çatlama gibi etkileri de azaltmaktadır. Fakat priz uzadığı için betonda terleme miktarı artabilmektedir.

Bilindiğı gibi kalıplara beton yerleştirilmesi ile kalıplar küçük bir miktar deformasyon gösterir ve deformasyon etkisiyle, kalıp içerisinde katılaşmış olan betonda küçük bir miktar çatlama olur. Fakat priz geciktirici kullanılırsa, beton plastikliğini uzun süre korur ve kalıba iyi yerleşerek çatlama olayı azalır. Priz geciktiriciler 1-3,5 saat arasında priz geciktirir. En fazla 3,5 saat sonra priz sona erer.

3.1.4.4 Priz Hızlandırıcı Katkı Maddeleri

Betonda katılaşmayı hızlandırır. Kışın, yağmurlu, soğuk havalarda ve erken katılaşma gereken betonlarda tercih edilir.

Priz hızlandırıcılar suda çözülebilen organik veya inorganik tuzlardan elde edilir. Suda çözülebilen organik tuzlar arasında priz hızlandırıcı olarak en çok kullanılanları trietanolamine kalsiyum formattır. Bunlar ayrıca bir miktar su da azaltır. Kalsiyum asetat,

kalsiyum propianat, laktik asit, formaldehit gibi maddeler de priz hizlandirir. Priz hizlandirmada en etkili tuzlar kalsiyum tuzlaridir. Örneğin kalsiyum klorür çok iyi bir priz hizlandiricidir. Fakat betonda korozyona neden olduğu düşünülmektedir. Mesela ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) kalsiyum klorürü betondaki çimento agiliginin % 0,15 olması gerektiğini söylüyor. Hatta öngerilimli betonlarda % 0,06, nemli betonarme yapılarda % 0,1 kadar kullanılması gerektiğini söylüyor. Çok iyi bir priz hizlandirici olmasına rağmen korozyon etkisinden dolayı uygun bulunmamaktadır. Bazı araştırmalar ise % 1-2 arasında kalsiyum klorürün betona hiçbir olumsuz etkisinin olmayacağını söylemektedir. Priz hizlandirici olarak kalsiyum nitritli katkı maddelerinin kullanımı tercih edilmektedir.

Priz hizlandirici katkılar ilk günlerdeki dayanımı artırır, kalıplar çeken sökülür, kür süresi azalır, soğuk havadaki yavaş hidratasyonun olusturacağı noksanlıkları ortadan kaldırır. Priz hizlandirici kullanılacağı zaman beton dökümü seri ve kısa sürede yapılacak şekilde programlanmalıdır.

Priz hizlandirici kullanılmış betonda priz baslama süresi 1 - 3,5 saat arasından daha erken hale getirilebilir. Prizin sona ermesi de en çok 1 saat daha önce biter. Dayanım % 25 kadar artabilir.

Katkı Maddelerinin Referans Katkisiz Betona Göre Karsilastirmasi:

	Su azaltıcı Priz geciktiren	Su azaltıcı priz hizlandirici	Yüksek miktarda su azaltıcı ve priz geciktirici
Su mik. %	95	95	88
Priz baslama			
En az	1 saat	1 saat	1 saat
En çok	3,5 saat	3,5 saat	3,5 saat
Priz sona erme			
En az	-	1 saat önce	-
En çok	3,5 saat sonra	-	3,5 saat sonra
Dayanım			
3 gün	110	125	125
7 gün	110	110	115
28 gün	110	110	110

NOT: Yukarıda bahsi geçen katkıların istenilen kalitede olup olmadığını anlamak için aynı çimento ve çökme değerinde olan katkisiz ve katkılı betonların özellikleri (su/çim, dayanım, birim ağırlık v.s.) karşılaştırılır (Erdogan, 2003).

3.1.4.5 Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri

Kapiler bosluklari su ile dolu olan bir betonda, soguk hava kosullarinda kapiler bosluklardaki bu suyun donmasiyla (su donunca % 9 hacmi genisler) meydana gelen içsel hacim genislemesi beraberinde içsel gerilmeyi de getirir ve çok küçük kilcal bosluklar, çatlaklar oluşur. Hava isininca genlesme sona erer. Bir süre sonra tekrar donma olursa bu sefer biraz daha etkisi artmış şekilde kilcal çatlaklar oluşur. Bu donma-çözülme devirleri devam ettikçe beton durabilitesini yitirir ve kırılmalar başlar. Betonun donma-çözülme devirlerinden en az şekilde etkilenmesini sağlamak için hava sürükleyici katkıları kullanılır.

Hava sürükleyici katkı kullanılmış betonda, birbirinden bağımsız, birbirine çok yakın ve düzenli aralıklarla dizilmiş dağılım gösteren çok sayıda ve çok küçük hava kabarcıkları bulunur. Çimento hamuru içerisinde bulunan bu hava kabarcıkları 0,05-1,25 mm mertebesindedir.

Hava sürüklenmiş beton donma çözölmeye karşı dirençli, az segregasyon gösteren ve daha az terleme yapan özelliklere sahiptir.

Hapsolmuş Hava Boslugu ve Sürüklenmiş Hava Boslugu Arasındaki Fark: Hapsolmuş hava bosluklari betonda, bilesimi olusturan ham maddelerinin karisimi neticesinde kendiliginden olusmus, sürüklenmiş hava bosluklarına göre daha büyük, aralarında bağlantı olabilen ve böylece gittikçe daha da büyüeyebilen bosluklardır. Oysa sürüklenmiş hava bosluklari, arasında bağlantı olmayan, çok küçük boyutlu, beton sertlestikten sonra da yerini muhafaza edebilen bosluklardır.

Sürüklenmiş Hava Boslukların Dona Karşı Dayanıklılık Sağlamalarının Sebepleri: Çimento hamurunun içerisindeki su, jel bosluklarında, kapiler bosluklarda ve bir ölçüye kadar da daha büyük boslukların içerisinde bulunabilmektedir. Jel bosluklari çok küçük olduğu için buradaki su ancak -78°C de donabilmektedir. Dolayısıyla jel boslugundaki suyun donma-çözölmeye etkisi çok azdır. Kapiler bosluklardaki su ise 0°C nin altında donmaya başlar. -Sürüklenmiş havanın donma-çözölmeyi önlemesiyle ilgili hipotezlerden birisi 1945-1956 da Powers tarafından şöyle açıklanmıştır;

Çimento kapiler bosluklarındaki su donduğu zaman % 9 oranında hacim genlesmesi olur ve donan su, hacim genlesmesiyle beraber henüz donmamış olan suya bir itme kuvveti uygular. Donmamış olan su da bu itme kuvvetiyle gidecek yer bulamaz ve etrafındaki çeperlere hidrostatik bir basınç uygular. Böylece betonda çok büyük içsel gerilmelere neden olur. Donma çözölmeye devirleri devam ettikçe bu içsel gerilmede artarak devam eder. Hava sürüklenmiş betonda ise çeperlerine hidrostatik basınç uygulayan su, çeperlere basınç uygulayacağına etrafında bulunan sürüklenmiş havanın içine doğru yönelir ve böylece içsel gerilme önlenmiş olur. Burada önemli olan sürüklenmiş hava bosluklarının arasındaki mesafenin kısıtlıdır (Erdogan, 2003).

-İkinci bir hipotez ise Helmuth tarafından açıklanmıştır.

Çimento hamuru içerisindeki su zayıf alkali eriyiği durumundadır. Betonun sıcaklığı bosluklar içerisindeki suda donma yaratacağı zaman, çimento hamuru içerisindeki su süper soguma göstermekte ve nispeten büyük kapiler boslukların içerisinde buz kristalleri oluşmaya başlamaktadır. Bu durum henüz donmamış olan suyun alkali miktarını arttırmakta ve ortaya çıkan osmotik basınçla donmamış suyun, donmuş kısımlara doğru difüzyonuna neden olmaktadır. Burada osmotik basınç, mevcut bölgesel yoğunluk farkı nedeniyle, hücrenin su emme istegi olarak açıklanabilir. Böylece buzlanmaya başlayan kapiler bosluktaki suyun hacmi gittikçe artmakta ve çok büyük içsel gerilmelere neden olmaktadır (Erdogan, 2003).

Birinci hipotezde suyun boşluk dışına doğru itilmesi ve hidrostatik bir gerilme basıncı söz konusu iken, ikinci hipotezde suyun boşluk içine çekilmesi yani difüzyonu ve osmotik bir basınç söz konusudur.

Hava sürükleyici katkı maddeleri, ağaç reçinelerinin tuzları (çam kütükleri), sentetik deterjanlar (petrol fraksiyonundan), linyosülfanatlar (kağıt endüstrisinden), petrol asitleri-tuzları (petrol arıtmadan), proteinli malzemelerin tuzları (hayvan derisinden), sülfanatlaştırılmış hidrokarbonların organik tuzlarından (petrol arıtmadan) elde edilirler.

Bunların içinde en çok kullanılanlar çam kütüğü (vinsol reçinesi) - ağaç reçine tuzları ve sentetik deterjanlardır.

Betonun İçerisine Hava Sürüklenme Yöntemleri:

-Birinci yöntem hava sürüklenmiş çimento ile beton üretmektir. Fakat Türkiye’de hava sürüklenmiş çimento üretilmemektedir.

(klinker+alçı taşı+hava sürükleyici katkı? öğütme? hava sürüklenmiş çimento)

-İkinci yöntem direk beton karışımına hava sürükleyici katkı ilavesi. Yani agrega+su+çimento ve hava sürükleyici katkının beraber karıştırılması, ya da su ve hava sürükleyici katkının beraber karıştırılıp, sonradan agrega ve çimentoya eklenmesi şeklindedir.

Sürüklenmiş Havanın Betona Etkileri

-Sertleşmiş betonun donmaya ve sodyum klorür, kalsiyum klorür gibi buz çözücü tuzlara karşı dayanımını artırır.

-Milyonlarca hava kabarcığı betonun daha rahat, esnek şekilde hareketini yani işlenebilirliğini artırır.

-Yine çok sayıdaki hava kabarcıkları suyun yüzeye doğru hareketini engelleyip terlemeyi azaltmaktadır.

NOT: Hava kabarcığı arttıkça boşluk artmakta, dolayısıyla betonda basınç dayanımı bir miktar azalmaktadır. Fakat işlenebilmeyi arttırdığı için, sabit bir işlenebilme değer için daha az su ihtiyacı olduğundan su/çim. oranı hava sürüklenmemiş betona göre daha düşük olur ve bu basınç kaybı su/çim. oranının düşmesiyle telafi edilebilir. Bu beton basınç dayanım azalması dozaja göre % 10-25 e kadar olabilmektedir. Fakat su/çim oranı düşürülürse bu basınç kaybı telafi edilmektedir.

Betonda Bulunan Hapsolmüş Hava Miktarları ve Donma Çözülmeden Etkilenmemek İçin Olması Gereken Minimum Hava Miktarı:

Betonda don olayından etkilenmemek için % 4-8 oranında hava bulunması gerekir. Amerikan Beton Enstitüsüne göre şöyle açıklanmıştır.

D (max)	Olması gereken hava miktarı (%)	
	Orta siddetli Hava kosulu	Siddetli hava kosulu
9,5	6	7,5
12,5	5,5	7
19	5	6
25	4,5	6
38	4,5	5,5
50	4	4,5

Betonda zaten d_{max} a bagli olarak degisen bir miktar hapsolmus hava vardır. Mesela d_{max} 9,5 mm için % 3, d_{max} 12,5 mm için % 2,5, d_{max} 19 mm için % 2, d_{max} 25 mm için % 1,5, d_{max} 38 mm için % 1 ve d_{max} 50 mm için % 0,5 oranında hapsolmus hava vardır. O halde don dayanıklılığı için olması gereken hava yüzdesi de yukarıdaki tablodan belirlenerek, gerekli miktardaki havanın geri kalan kısmı sürüklenmiş hava olarak kimyasal katkılarla betona verilir (Erdogan, 2003).

NOT: Sürüklenmiş hava miktarı; çimento arttıkça azalır, çimento inceliği arttıkça azalır, çimentodaki alkali arttıkça artar, d_{max} arttıkça artar, ince kum arttıkça azalır, ince mineral malzeme arttıkça azalır, su/çim oranı arttıkça artar, sıcaklık arttıkça azalır, vibrasyon arttıkça azalır.

Hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmış betonlarla ilgili TS 3456 standardına göre;

- Hava sürükleyici katkılarla üretilmiş betonun terlemesi, katkısız betona göre % 2 den fazla olamaz.
- Hava sürüklenmiş betonlardaki priz alma baslama ve bitis süreleri arasında en fazla 75 dakika fark olmalıdır.
- Hava sürüklenmiş betonun basınç ve eğilme dayanımı, katkısız betonlarıninkinin en az % 90 i olmalıdır.
- Hava sürüklenmiş betondaki hacim genleşmesi, katkısız betonlara göre en çok % 120 e kadar olmalıdır.
- Relatif durabilite faktörü de en az 80 olmalıdır (ASTM 260).

3.1.5 Kimyasallar

Deney esnasında beton numunelerinin uzun dönemde kimyasal ortamlarda gösterebilecekleri dirençlerin ölçülebilmesi amacıyla yapılan deneylerde Na_2SO_4 (Sodyum Sülfat) ve MgSO_4 (Magnezyum Sülfat) kimyasalları kullanılmıştır

3.1.6 Karışım Suyu

Betonda kullanılan suyun iki işlevi vardır.

- Hidratasyon adı verilen kimyasal reaksiyonu başlatıp sürdürmek,
- İslenebilirliği sağlamak.

Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton

karma suyu asit niteliginde olmamalıdır. Sülfat, degisik tuz vb. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir.

Arastirmadaki tüm beton karisimlerinde TS EN 1008 e uygunluk sartlarini saglayan su kullanilmistir.

3.1.7 Volkanik Cüruf (Tüf)

Volkanik cüruf, çesitli volkanik aktivitelere bagli olarak bazaltik karaktere sahip lavların, patlamanin olusturdugu basincin etkisiyle, çatlaklar boyunca sizmasi sonucu olusan bazaltik-andezitik kompozisyona sahip, gözenekli, camsi volkanik bir kaya ç türüdür.

3.1.7.1 Tüflerin Olusumu

Volkan bacalarından çikan lavların olusturdugu kayalar ve yine volkandan çikan gazların disinda diger bir volkanik malzeme çesidi ise degisik büyüklüklerde magma parçalarından olusmustur. Bu malzemelere proklastik malzemeler denilmektedir. Proklastik malzemeler büyük kütlelerden küle kadar degisik büyüklüklerde olmaktadır. Proklastik malzemelerin volkan bacasından ayrildigi andaki sicakligi ve soguma hizi olusan malzemenin büyüklüğü bakımından ana etkindir. Yüksek bir sicaklikta iken aniden soguyan malzemelerden ince taneler olusmaktadır. Soguma sekline ve içindeki gaz miktarına bagli olarak olusan tanelerin kendi bünyelerinde degisik oranlarda bosluklar meydana gelmektedir.

Baslangıçta tüf yataklarının volkanik malzemeleri tasiyan çamur akmaları ile meydana geldiği saniliyordu. Daha sonra ise tüflerin; çöken çok kizgin magma parçaları ve volkanik gazlardan meydana gelen bulutlardan olustugu öne sürülmüştür. Kisaca tüfü; ince ve ufak taneli volkanik maddelerden meydana gelen parçalar olarak tarif edebiliriz (Arici, 1997).

3.1.7.2 Tüflerin Bazi Özellikleri

İçerisinde silis ve alüminyum bileşikleri bulunan tüfler çok gevsek yapili ve kırılgandırlar. Tabiatıta toz halinde kum ve çakilla karisik olarak bulundukları gibi sikismis kütleler halinde, çok gözenekli iri çakıl büyüklüğünde de olurlar. Bulundukları sekle göre çesitli isimler alırlar. Kolayca asinip toz haline gelirler ve birim ağırlıkları küçük olması sebebi ile bazen su yüzünde dahi yüzebilirler. Genel bir kural olarak bir tüf ocagındaki malzemenin sertligi yüzeye dogru artmaktadır. Tüfün priz yapma özelligi, içerisindeki ince tanelerin çokluguna ve kimyasal yapısına bagli olarak degisir (Arici, 1997).

3.1.7.3 Tüflerin Kimyasal Yapisi

Ülkemizde olduğu gibi dünyanın çesitli bölgelerinde de tüfler bulunmaktadır. Kimyasal yapı yönünden tüfler hemen hemen aynı maddelerden meydana gelmiştir. Ancak maddelerin tüf içerisindeki bulunma oranları degisik olmaktadır. Tüfler kimyasal yapisi genel olarak SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O ve H_2O dan oluşur. Bu maddeler içinde tüflerde en fazla rastlanılan SiO_2 dir. SiO_2 oranı %46-80 arasında degismektedir. CaO ve MgO oranları % 10' un altındadır (Doruk, 1974).

Çizelge 3.2 Bazı Yörelerdeki Volkanik Tüflerin Kimyasal Analiz Sonuçları (Ören, 1996)

	Gölcük Yöresi	Nevşehir Yöresi	Van-Bitlis Yöresi (Ahlat Dagi)	Hatay Akbaz Yöresi	Dünyanın 80 değişik Yöresinin Ortalaması
SiO ₂	61.55	68.50	69.00	61,82	70.38
AlO ₃	15.50	14.00	14.65	10,17	15.82
Fe ₂ O ₃	6,05	3.00	2,50	10,4	1,50
CaO	2,24	1,50	1,10	9,95	1,56
MgO	2,40	1,40	0,53	5,34	0,48
Na ₂ O	3,30	3,25	3,50		3,70
K ₂ O	3,43	3,501	3,50	1,45	4,10
TiO ₂	0.40	0.25	0.38		-
SO ₃	0.94	0.002	0.40		-
Kızdırma Kaybı	1,40	3,90	4,63	0,37	3,62

3.1.7.4 Tüflerin Hidrolik Serlesme Nedenleri

Tüflerin hepsinde hidrolik sertleşme özelliği yoktur. Hidrolik sertleşme özelliği taşıyan tüflerde vardır. Bir tüf deposundaki kül tabakasının zemin suyu ile binlerce seneden beri temas halinde olan en alt kısmını bugün inşaat tekniğinde ayrılmaz bir parçası olan trass taş oluşturur.

Tüflerde hidrolik sertleşme nedeni olarak değişik teoriler öne sürülmüştür. İlk önceleri tüflerdeki hidrolik sertleşmenin nedeninin; zeolitler ve sodalit grubu minerallerden dolayı olduğu kabul edilmiştir. Yalnız burada tüfteki camsi kısmın hidrolik sertleşmeye tesir ettiğini ancak sadece sodalitlerin reaksiyonda rol aldıkları ileri sürülmektedir.

Harç ve betona ilave edilen trass hidrolik sertleşmeye etki etmez. Ancak trass boşluk azaltıcı bir rol oynadığından mukavemeti artırır. Mukavemetin sağlanması için bir kristalleşme değişikliği şarttır. Sodalit ve bazı değişiminde ise böyle bir durum yoktur. Bundan dolayı zeolitlerin ve sodalit grubu minerallerin hidrolik sertleşmesinde esas unsur olarak kabul edilmeyebilir (Arici, 1997).

3.1.7.5 Tüflerin Arazideki Özellikleri

Volkanizma, belli zamanlarda devam eden düzenli bir volkanik malzeme akımı ve hareketi olduğundan belirli bir püskürtmeye ait olan volkanik malzeme depoları, kendi bünyelerinde fosil halinde tabakalar veya eski erozyon yüzeyleri ile sınırlanmış bulunabilir. Belirli bir süre için devam eden volkanizma da, volkanik tüflerin oluşumunu sağlayacak proklastik malzeme özellikle düşük planda değişik olarak sınırlanmış olabilir. Proklastik malzeme topografik yüzeye lav şeklinde yayılan kıvamlı akıntılardan daha çok birtakım zor şartlar altında meydana gelen patlamaların eseridir. Proklastik malzemenin kül boyutunda olan kısmı volkanik tüfün oluşumunu sağlar. Kül boyutundaki malzeme arasında her türlü

magmatik tas veya tas parçacıkları karışabilir. Bu magmatik tas ve parçacıkların miktarı bazen çok fazla olur ve volkanik tüf şeklini alabilir.

Topografik yüzeyde şekillenen erozyonlar başlar. Bir taraftan ileri derecede parçalanma sonucunda sütunlar, peri bacaları ve rüzgâr oyukları gibi karakteristik şekiller meydana gelir. Diğer taraftan erozyon sonucu oluşan tüf kökenli malzeme sedimantasyon havzalarında sürüklenerek oralarda birikir.

Püsküren külün hacmi ile, tüfün yayıldığı alanın yüzey şekilleri volkanik tüf sahasının büyüklüğünü belirler. Araştırmalar tüf sahalarının volkan merkezinden 100 km. uzaklara yayılabildiğini göstermektedir. Volkanik malzemenin gruplaşma gösterdiği sahalarda bir tüf deposunun değişik menseli proklastik malzemeden meydana geldiği ve tüf depolarının kalınlığının püsküren proklastik malzemenin hacmine ve araziye bağlı olduğu görülmüştür. Az eğimli topografya üzerinde genel olarak ince, derin vadili bir topografya üzerinde ise kalın depolar yerleşmektedir. 3000 m. derinliğe kadar uzanabilen depolara rastlanmıştır. Tüf depolarında her zaman tabakalaşma olmaz. Ancak su altında oluşan tüfte tabakalaşma açık olarak görülebilmektedir. Tabakalaşma sadece renk (dis görünüşü) özelliğine göre değil mineralojik kompozisyona, dokuya, erozyon şekline göre tespit edilmektedir. Genel bir kural olarak tabakalaşma göstermemekle beraber tüf depolarının yüzeyi az eğimlidir ve çökme açıları çok küçüktür. Eski engebeler ve drenaj kanallarına doğru çökme açıları biraz fazlasıdır.

Birçok tüf tabakasının yüzeyinde sertleşmiş bir tabakaya rastlanır. Bu tabaka buharlaşma artığı olarak silisyum birikmesiyle oluşmaktadır. Bu tabakanın dağılımı düzensizdir ve özellikle kaynamamış tüflerde farklı erozyonla rastlanır. Volkanik tüfün ocak yeri belirlenirken bu tabakaya dânilmilmalı ve gerekli incelemeler yapıldıktan sonra volkanik tüf ocağının yeri kesin olarak belirlenmelidir (Doruk, 1974).

3.1.7.6 Tüflerin Çesitleri ve Gruplandırılması

Proklastik malzemelerde büyüklüğü toz halinden blok haline kadar değişmektedir. Tüf depolarını oluşturan malzeme çakıl büyüklüğüne kadar olan malzemelerdir. Süphesiz tüfün tabiatında bulunus şekli daima tek boyutlu taneler halinde değildir.

Portland çimentosu gibi hidrolik bir bağlayıcı ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcının özelliklerini artıran tüfe tras veya traslı tüf adı verilmektedir. Traslı tüfler; ince parçaları kızgın halde iken su veya su buharı vasıtasıyla ani olarak sogumus proklastik malzemelerdir. Ani soguma nedeni ile bu çeşit tüflerde camsi kısımlar diğerinden fazladır. Bu tüfler ince olarak öğütüldüklerinde aktiviteleri artar, harç ve betonun işlenebilirliği artar, kireç veya çimento ile karıştırıldığında su ve hava tesiri ile çözülmez bileşikler meydana getirirler. Traslı tüfler arazide genellikle yer altı su seviyesinin altındaki kısımlarda bulunurlar. Taneli veya bloklaşmış bir malzeme halinde de bulunabilirler.

Sig deniz veya göl tabanlarında proklastik malzeme çökerken normal olarak araya volkanik olmayan diğer parçalar karışmaktadır. Böylece tüfit adı verilen ve tabakalaşma gösteren yeni tas yatakları oluşur. Bugün topografik yüzeyde görülen tüfitler daha çok düşey doğrultudaki yer kabuğu hareketleri sonunda su yüzüne çıkmışlardır. Oluşum şeklinin doğal bir sonucu olarak tüfitlerin içinde değişik oranlarda kil, karbonat v.b. gibi bileşikler bulunmaktadır. Proklastik malzemenin doğal yoldan birbirine bağlanıp çimentolashmasında bazen bu maddeler silisten daha önemli bir rol oynayabilir.

Ayrıca pomza taşı veya sünger taşı da bir tüf çeşididir. Pomza taşları magmatik parçaların çok çabuk sogumasi ile meydana gelirler. Erimis kütleinin emdiği gazların ani soguma ile kütleiyi terk etmesi sonucunda bu tüfler süngerimsi bol boşluklu bir yapıya sahip

olurlar. İçerilerindeki silikat miktarları çok fazladır ve yoğunlukları genellikle 1 kg/dm^3 ten daha azdır (Arici, 1997).

3.1.7.7 Türkiye'de Tüflerin Dağılımı

Anadolu arazisi, jeolojinin üçüncü ve dördüncü zaman baslarında siddetli bir volkanik faaliyete sahne olmuştur. Bu volkanik faaliyetten dolayı arazide toptan yükselmelerle birlikte derin ve sürekli kırılmalar meydana gelmiştir.

Kuzey Anadolu'da, özellikle Samsun-Çorum arasındaki dağ kitleleri içinde volkanik malzeme çok yaygındır. Bunlar daha çok anglomera (volkan küllerinin birleşmesiyle oluşan kayaç)-volkanik bres görüntüsünde, özellikle bazaltik veya andezitik lavlardan oluşmuşlardır.

Daha batıda başlayıp Orta Toroslar üzerinden geçen büyük tabaka Malatya yöresinde ikiye ayrılır. Bunlardan biri Bitlis-Hakkari doğrultusunda diğeri Tunceli-Ağrı yönünde uzanır. Bu tabakaların Güneydoğu ve Kuzey kenarlarında kısmen tahrip olmuş büyük volkan konileri yükselir. Nemrut, Süphan, Tendürek ve Ağrı volkanları dizisi buradadır. Kabaca Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda olan bu diziliş, aynı yönde uzanan büyük bir fay hattı ile ilgili görülmüştür. Bu büyük volkan konilerinden başka fay hatları boyunca lav oluşumları yüksek yaylalar boyunca uzayıp giderler. Bu yeni volkan arazisinin bazı yerlerinde yöreler halinde bazı yerlerinde ise lavlarla sınırlı değişik kalınlıkta, ara tabakalar şeklinde tüf tabakalarına rastlanır.

Malatya-Bitlis-Hakkari doğrultusunda uzanan Doğu Toros yayının güney tarafında volkanların çıkarmış olduğu bazaltik lavlar Diyarbakır platformu üzerine uzanırlar. Pek az miktarda tüf kütlelerinin dışında Güneydoğu Bölgesi volkanik arazi genellikle bazalt cinsinden volkanik taslarla temsil edilir.

Toroslardan, Anadolu'nun tabanında kalan eski masif sahasına doğru olan geçiş bölgeleri üzerinde geniş bir volkanik arazi seridi uzanır. Erciyes, Melendiz, Hasandagi ve Karacadağ ile bunların etrafında meydana gelmiş bulunan küçük volkanik koniler burada yer alır. Bu küçük konilerin pek çoğu tüf ve cüruftan oluşmuşlardır. Tüf bu arazide çok önemli bir yer tutar. Göreme, Kayseri, Ihlara, Afyon ve Isparta tüf alanları bu yörededir.

Batı Anadolu'da biri Kula yöresinde diğeri Asağı Gediz Vadisinde olmak üzere iki volkanik saha vardır. Burada sekiz küçük koni ile 53 volkan merkezi tespit edilmiştir. Ayrıca asağı Gediz Vadisi kesiminde İzmir-Bergama-Akhisar arasındaki bölgede Dumanlı Dağ Krateri içinde dışı doğru meyilli lav, tüf ve cüruflar ara tabakalı bir vaziyette bulunurlar. Foça-Eskifoça arasındaki Saphane Dağı dışı doğru meyilli lav ve tüf tabakalarından oluşmuşlardır.

Marmara bölgesindeki volkanik bölgenin özellikle Kütahya, Balıkesir, Çanakkale hattı üzerinde ve bu hattın güneyinde önemli bir yer kaplar. Daha çok andezit ve andezit tüflerinden oluşan zemin oldukça yüksek volkan şekillerinden ibarettir. Marmara bölgesinde bundan başka yukarıda adı geçen hat ile Marmara Denizi arasında en geniş kısım Biga-Lapseki arasına rastlayan bazı önemli volkanik tüf oluşumları ile Trakya'da da Enez'e ait olmak üzere bir volkanik tüf sahası mevcuttur (Arici, 1997).

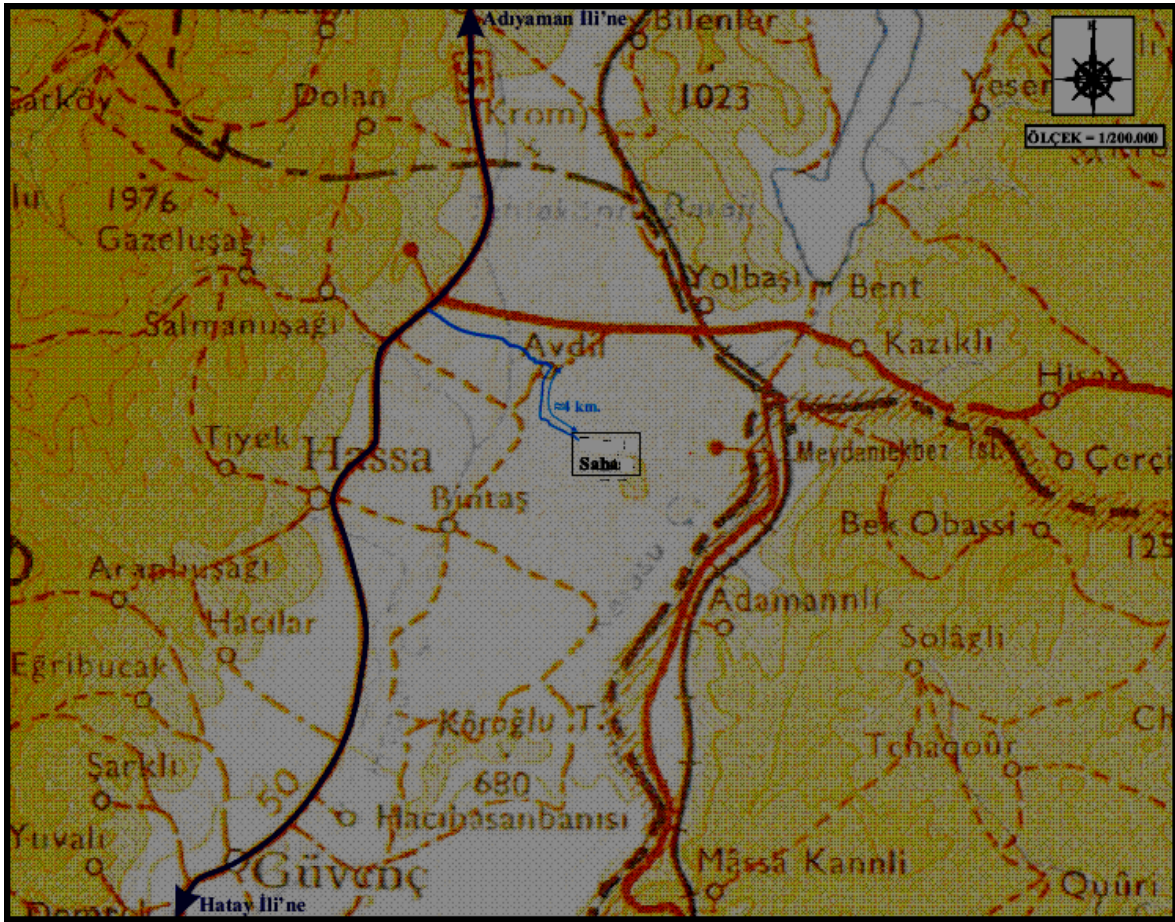
3.1.7.8 Hatay'ın Hassa İlçesi'ne Bağlı Akbaz Yöresinin Saha ve Çevresinin Jeolojisi

Bölgede gözlenen magmatik olaylar daha ziyade Alpin orojenez safhalarına aittirler. Bunlardan ultra bazik olanlar, efizif lav, tüf spilit ve pillow lavların, Mesozoyik sonu ve Tersiyer baskı "précurseur" Alpin hareketlerle, bazik bazalt lavlarının da Miyosen çöküntüleri

ile başlayan ve Kuvaternere devam ede gelen hareketlerle ve bunun sonucu vücut bulan büyük lineer fay sistemlerinin dogusu ile siki sikiya ilgileri vardır.

Daima üst Kretase-Paleosen flis tabakaları ile girift bir tektonik durumda bulunan ultrabazik kayalar, büyük bir tektonik arıza üzerinde sıralanmış olarak gözükürler. Hatay bölgesinde yeşil kayaları Eosen transgresyonu (denizlerin kara içlerine ilerlemesi durumu) transgresif olarak temel konglomeraları (çakıl taslarının bir çimento ile birleşmesi neticesinde oluşan sedimanter kayaç) ile örter.

Bölgedeki efüzif lavlar, ofiyolitik zonlarda meydana çıkarlar; ancak geliş yaşları yeşil kayalardan daha sonra olup, andezit ve andezit spilitleri şeklinde kısmen Eosen flisi (denizel bölge çökeli) içinde bulunurlar. Bunlara, Osmaniye-Cebeli Bereket, Bahçe Ahırdagi batı ucunda ve bilhassa Besni kuzeyinde, Koçali bucagi etrafında rastlanır. Bölgede, Miyosen sonu oluşan büyük çöküntülerle ilgili olan faylarda en son magmatizma etkileri, bazalt lavlarının çökmesi olmuştur.



Sekil 3.3 Hatay Ili Hassa İlçesi' nin Akbraz Yöresine Ulaşım Haritası

Hatay' da litolojik sıralanma en alt kısımda piroksenli peridotitler ve peridotlu piroksenitler bulunur. Bunların üstüne olivinli ve olivinsiz gabrolar ve doleritler (magmatik kayaç türleri) gelir ve nihayet üst yüzeyin doğrudan doğruya altında, ince taneli ve kısmen camsi ve pillow lavli veya volkanik bresli (konglomeranın daha yuvarlak olanı) kayalar

bulunur. Üst kısımlarda bulunan pillov lavlara veya volkanik breslere karışmış olarak kırmızı renkli radyolarit lambolara bulunur.

Özetle alt yüzünden üst yüzüne kadar, piroksenli (mineral çeşidi) peridotitlerden (kayaç türü) başlayarak lavlarla sonuçlanan bir kor kayaçlar serisi yani derinlik, yarı derinlik ve camsi lavlar ile pillov lavlar serisi birbirini izler.

Sahada bulunan pomza yatağı volkano-sedimanter olarak oluşmuş bir yataktır. Türkiye'nin tektonik birliklerinden Anadolu-Arap platosu içinde kalan yatak Toros kusagının en güneydoğu ucunda yer alan Amanoslar içerisinde yer almaktadır. Kambriyen'den başlayıp Kuvaterner'e kadar tüm devirlere ait değişik jeolojik birimleri kesen Kuvaterner yaşlı bazaltları oluşturan volkanizmanın faaliyeti sonucu oluşan bu pomza yatağının yan kayacı bazalttır. Bazaltik volkanizmanın muhtemelen son dönemlerinde yoğunluğu fazla olan gazların zenginleşmesiyle volkan bacasında sıkışıp kalan volkan küllerinin daha sonra özellikle rüzgârla yakın bir yerde bulunan sulu ve durgun bir ortamda çökmesiyle pomza yatağı oluşmuştur.

Diyajenez belirtilerinin az da olsa belirgin olduğu pomza yatağında eğimi çok az belirgin olan çapraz tabakalanma vardır. Daha ziyade yığın şeklinde bir birikimle oluşmuştur.

3.2. Metot

Arastırmada uygulanan tüm deneyler Türk standartlarına ve gelişmiş bazı ülkelerin standartlarına uyularak yapılmıştır. Deney çalışmaları Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarı, KSÜ Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölüm Laboratuvarı, Çimko Çimento Narlı Subesi, Çimko Beton K.Maras Subesi ve Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği laboratuvarlarında yürütülmüştür.

3.2.1 Agreganın Asınma Oranı

İri agreganın asınmaya karşı dayanıklılığı TS EN 1097-2'de öngörülen yöntemle değerlendirilmiştir. Bu standartta öngörülen kurala göre hazırlanan 5000 g numune, Los Angeles asınma cihazına yerleştirilmiş, 100 ve 500 devirler sonundaki asınmalar tayin edilmiştir. Deney üç kez tekrarlanmıştır. Ağırlıkları toplamı 5000 gr olan 12 adet çelik bilye ile numune cihazı içerisine yerleştirilmiş, daha sonra cihazın kapakları sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Hizi dakikada 30-33 dönüş olan asındırma aleti, 100 dönüş yaptırdıktan sonra durdurulmuştur. Deney numunesi disariya alınarak 1.4 mm' lik elekten elenmiştir. Elek üstünde kalan agrega 0.1 g duyarlılıktaki tartıda tartılarak kaydedilmiştir (M_2). Elek üstünde kalan agregalar ve bilyeler tekrar cihaza konularak ilk 100 dönüş ek olarak 400 dönüş daha yaptırılmıştır. Asınmış deney numunesi disariya alınarak 1.4 mm' lik elekten tekrar elenmiştir. Elek üstünde kalan agrega 0.1 g duyarlılıktaki tartıda tekrar tartılarak kaydedilmiştir (M_3). Asınma yüzdeleri aşağıdaki formüllerle bulunmuştur.

$$A_1 = ((M_1 - M_2) / M_1) \times 100 (\%)$$

$$A_2 = ((M_1 - M_3) / M_1) \times 100 (\%)$$

Bu esitlikte,

M_1 = Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

M_2 = Numunenin 100 devir sonu asınmayan kısmının ağırlığı (g)

M_3 = Numunenin 400 devir sonu asınmayan kısmının ağırlığı (g)



Sekil 3.4 Los Angeles Asindirma Deney Aleti

3.2.2 Agregaların Özgül Ağırlıkları

3.2.2.1 Doğal Kum ve Kirma Kum

Kumlardan alınan 1000' er g numune su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek alınmış ve bir tava içine yayılmıştır. 0.1 g hassasiyetle tartılarak bulunan tava ile ıslak numunenin ağırlığından tavanın ağırlığı çıkarılarak agreganın ıslak ağırlığı bulunarak kaydedilmiştir (M_0). Tava, tablalı ısıtıcı üzerine konarak ve numune sürekli karıştırılarak (doğru yüzey kuru) DYK haline çabuk gelmesi sağlanmıştır. Agreganın DYK durumu TS 3526' ya göre tayin edilmiştir (M_2).

DYK durumundaki agrega etüv kurusu durumuna getirilmiş ve soğutulmuştur. Soğutulmuş numune 0.1 gr hassasiyetli tartıda tartılmış, kap ağırlığı bu ağırlıktan çıkarılmış ve kuru numune ağırlığı bulunmuştur (M_1). Milimetrik ölçü kabi içerisine 1000 ml çizgisine kadar su doldurulmuş ve su dolu ölçü kabinin ağırlığı hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir (M_4). Ardından ölçü kabi boşaltılıp içerisine numune boşaltılmış ve numune üzerine bir miktar su konulduktan sonra suyun numune içerisine tam islemesini sağlayabilmek için kap tabanı düz bir zemine vurulmuş ve yeterince sallanmıştır. Numune içerisindeki hava kabarcıkları ince bir telle sisleme yaparak çıkarılmaya çalışılmıştır. İstenilen durum sağlanınca ölçü kabi 1000 ml işaretine kadar su ile doldurulmuştur ve ölçüm alınmıştır (M_3). Tüm bu işlemler TS EN 1097-6 esas alınarak yapılmıştır.

$$\text{DYK su oranı} = ((M_2 - M_1) / M_2) \times 100$$

Kumun Kuru Özgül Ağırlığı;

$$k = M_1 / (M_2 + M_4 - M_3)$$

Kumun Görünen Özgül Ağırlığı;

$$g = M_2 / (M_1 + M_4 - M_3)$$

Kumun D.Y.K. Özgül Ağırlığı;

$$d = M_2 / (M_2 + M_4 - M_3)$$

3.2.2.2 Kaba Agrega

Numune, içinde su bulunan bir kaba yerleştirilmiş, daha sonra su süzülerek 0.1 g hassasiyetli terazide tartılmış ve agreganın ıslak ağırlığı hesaplanmıştır (M_0). Numune tanelerinin üzerinde gözle görünebilen su tabakası kalmayınca kadar kurutulmuştur. İri taneler bir kez bez üzerine serilerek tek tek kurutulmuştur. Hızlı bir şekilde bu işlemten sonra numunenin daha fazla su kaybetmesini önlemek için 0.1 g hassasiyetli tartıda tartılarak doygun yüzey kuru ağırlığı kaydedilmiştir (M_2). DYK halindeki numune tel sepete konarak içi su dolu kovanın içine yüzeyden en az 5 cm mesafe kalacak şekilde yerleşmiştir. Taneler arasında hava kabarcıkları kalmayacak şekilde tel sepet sallanmış ve tartılmıştır (M_3). Numune etüvde kurutularak kuru numune ağırlığı kaydedilmiştir (M_1).

$$\text{DYK su oranı} = ((M_2 - M_1) / M_2) \times 100$$

Kaba Agreganın Kuru Özgöl Ağırlığı;

$$k = M_1 / (M_2 - M_3)$$

Kaba Agreganın Görünen Özgöl Ağırlığı;

$$g = M_1 / (M_1 - M_3)$$

Kaba Agreganın D.Y.K Özgöl Ağırlığı;

$$D = M_2 / (M_2 - M_3)$$



Sekil 3.5 Tel Sepet Özgöl Ağırlık Ölçme Düzeneginden Görüntüler

3.2.3 Agregaların Granülometrik Analizi

Granülometrik analiz TS 3530 EN 933-1 e göre yapılmıştır. Bunun için kırma 0-5 mm agregadan, 0-8 mm doğal kumdan, 4-11,2 mm agregadan ve 11,2-22,4 mm agregadan 5000' er g alınarak homojen olacak şekilde karıştırılıp elek sarsma makinesinde elenmiştir. Elek takımı büyükten küçüğe doğru sıralanmış en alta toplama kabı konulmuş ve en üste de kapak takılarak işleme başlanmıştır. Elek sarsma makinesi her 10 saniyede 1/6 tur yapacak şekilde dönme özelliğine sahiptir. Elemanın tamamlanmasından sonra her elek üzerinde kalan

numuneler tek tek 0.1 g hassasiyette olan tarti ile tartilmis ve her elekten geçen malzemenin yüzdesi hesaplanıp granülo metrik grafigi çizilmiştir.



Sekil 3.6 Elek Takimi ve Sarsma Tablası

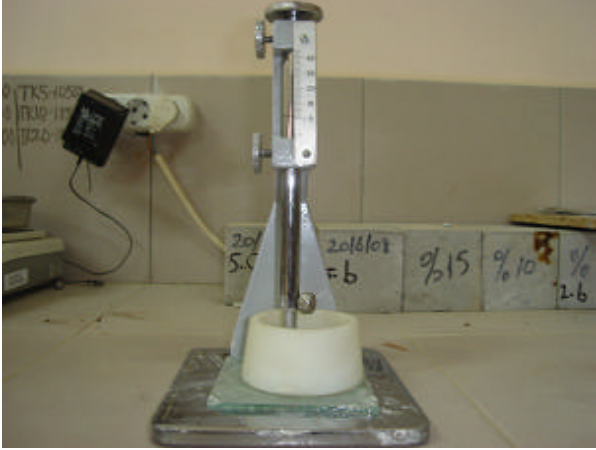
3.2.4 Beton Karisim Hesaplari

Betonda kullanılan malzemelerin özgül ağırlıkları, su emme miktarları ve granülo metrik analiz sonuçlarının kullanılmasıyla oluşturulan beton karisim hesaplarında TS 802 esas alınmıştır.

3.2.5 Normal Kivam Su Oranlari, Priz Baslama ve Sona Erme Süreleri Tayini

Normal kivam su oranı bulunan hamur numuneleri üzerinde, priz süreleri bulunmuştur (TS-EN 196-3, 2002). Normal kivam su oranı; çimento hamuru üzerinde vicat aleti (Sekil 3.7) kullanılarak normal oda sıcaklığında ($20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$) yapılmıştır. Deneyde 400 gr çimento ile çimentonun ağırlıkça %25 inden başlayıp belli oranlarda artırılan su kullanılmıştır. Harç mikserinde olabildigince homojen olacak şekilde karıştırılan numune iç yüzeyi hafifçe yağlanmış kalıba yerleştirilmiştir. Vicat sondası hamur yüzeyinde serbest bırakılmış, taban levhası ile sonda ucu arasında 5-7 mm kaldığı su oranı, normal kivam su oranı olarak alınmıştır.

Normal kivam su oranı bulunan hamur numuneler üzerinde priz süreleri tayin edilmiştir. Bunun için vicat aletinin uç tarafına iğne, üst kısmına ise sonda takılmıştır. Aletin göstergesi, iğne cam levhaya değdiği anda, sıfırı gösterecek şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra vicat iğnesi hamurun içine serbest olarak bırakılmıştır. Priz başlangıç süresinin tespiti için her 5 dakikada bir ölçüm yapılmıştır. Ölçüm yapılırken vicat iğnesinin hamura batırıldığı yere tekrar batırılmamasına dikkat edilmiştir. İğnenin cam levhaya 4 ± 1 mm uzaklıkta kaldığı an ile hamurun hazırlandığı an arasında geçen süre priz başlama süresi olarak saptanmıştır. Priz başlangıcından sonra her 15 dakikada bir ölçüm yapılmış ve iğnenin hamurun yüzeyine de en fazla 0.5 mm girebildiği an ise priz sonu olarak saptanmıştır. Çimento ile suyun birleşme anı ile bu ana kadar geçen süre priz sona erme süresi olarak alınmıştır.



Sekil 3.7 Vicat Aleti

3.2.6 Hacim Genlesmesi Tayini

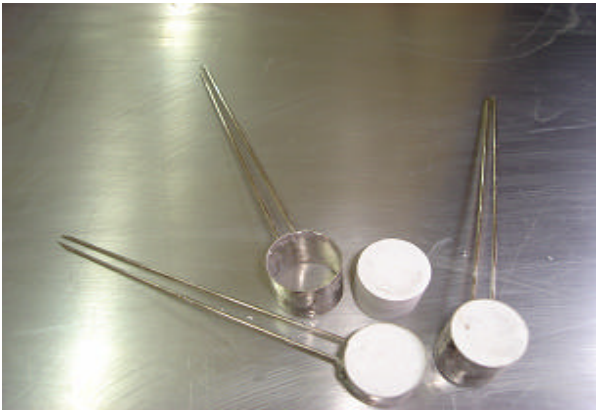
Çimentonun hacim değişim tayininde pirinçten yapılmış Le Chatelier aleti kullanılmıştır. TS EN 196-3 standardına uygun olarak yapılan deneyde kullanılan Le Chatelier aleti, bir tarafından boyuna yarılmış ve bu yarıklarına 150 mm uzunluğunda çubuklar lehimlenmiş bir silindirdir. Normal kıvamda hazırlanmış olan çimento hamuru, yarık açılmayacak şekilde lehim yerlerinden birbirine tutturulmuş olan ve altına hafifçe yağlanmış bir cam plaka yerleştirilen silindirin içerisine yerleştirilmiştir. Yerleştirme sırasında numune içinde hava kalmamasına özen gösterilmiştir.

A) Daha sonra numuneler, sıcaklığı $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan su havuzuna 24 saat süreyle bekletilmeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda çubuk 0,5 mm hassasiyetle ölçülmüştür (a).

B) Kalıpların üstündeki cam levhalar itina ile kaldırılarak çubuklar üste gelecek şekilde içi su dolu ısıtıcının içerisine yerleştirilerek, ısıtıcı 30 ± 5 dakikada kaynayacak şekilde ayarlanıp ve numune kaynayan suyun içerisinde 3 saat ± 5 dakika bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda numunelerin çubuk aralıkları ölçülmüştür (b).

C) Kalıp numuneler laboratuvar ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) sıcaklığına kadar soğutulur ve iğne çubuk uçlarının açıklığı tekrar 0,5 mm hassasiyetle ölçülmüştür (c).

(b-a), (c-b), (c-a) mm cinsinden ayrı ayrı hesap edilmiştir. (c-a) mm cinsinden toplam hacim genleşmesini vermektedir.



Sekil 3.8 Le Chatelier Aleti

3.2.7 Beton Basınç Dayanımı

Laboratuar tipi mikserde (Sekil 3.9) karıştırılan numuneler betonun basınç dayanımını belirlemek amacıyla hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesinde TS 3068 esas alınmıştır. Buna göre iç tarafı hafif bir yağ tabakası ile kaplanacak şekilde yağlanarak, 15 x 15 x 15 cm ebatlarındaki küp kalıplara el kürekleri ile ayırmaya neden olmayacak şekilde iki tabakada yerleştirilmiş ve vibratörle sıkıştırılmıştır. Kalıplar tam olarak beton ile doldurulduktan sonra yüzeyi mala ile düzeltilmiş ve numunelerin kür ortamına aktarılmasına kadar geçen sürede nem kayıplarını önlemek için numune üzerine ıslak bir örtü örtülmüştür. Bu şekilde numune bir gün bekletilmiştir. 24 saat sonra numuneler kalıplardan çıkarılmış ve üzerleri etiketlenerek test tarihine kadar bekletilmek için kür tankına yerleştirilmişlerdir. Kür tankı, sahip olduğu termostat sayesinde, içinde bulunan suyu devamlı olarak oda sıcaklığına esdeğerde tutmuştur. Süre tamamlandıktan sonra kırılacak olan numune kür tankından çıkarılmış ve bir müddet oda sıcaklığında kurumaya bırakılıp suyun çekmesi beklenmiştir.

Beton numunelerin basınç dayanımları TS EN 12390-3' de belirtilen kurallar dikkate alınarak bulunmuştur.

Basınç dayanımı testleri, 7, 28 ve 56 günlük numunelere uygulanmıştır. Basınç pres (Sekil 3.9) TS 12390-4'e uygun olarak ayarlanmış ve otomatik olarak kırılarak kırılma yükleri ve basınç gerilmeleri (basınç dayanımları) saptanmıştır. Her beton grubundan 3'er adet numune alınmış ve ortalama basınç dayanımları hesaplanmıştır.



Sekil 3.9 Laboratuar Tipi Beton Mikseri ve Basınç Presinden Birer Görüntü

3.2.8 Betonda Egilme de Çekme Dayanımı

Laboratuar tipi mikserde, miktarları belirlenmiş malzemeler karıştırılarak numuneler üretilmiş, 15 x 15 x 60 cm ebatlarındaki dikdörtgen kalıplara el kürekleri ile ayırmaya neden olmayacak şekilde yerleştirilmiş ve vibratörle sıkıştırılmıştır. Kalıplar tam olarak beton ile doldurulduktan sonra yüzeyi mala ile düzeltilmiş ve numunelerin kür ortamına aktarılmasına kadar geçen sürede nem kayıplarını önlemek için numune üzerine ıslak bir örtü örtülmüştür. Bu şekilde numune bir gün bekletilmiştir. 24 saat sonra numuneler kalıplardan çıkarılmış, numunelerin karışmaması için üzerleri asetat kalem ile yazılmış ve test uygulanacağı zamana kadar bekletilmek için kür tankına yerleştirilmişlerdir.

Betonun karıştırılması, kalıplara yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve kür edilmesi işlemlerinde TS-3068' de öngörülen kurallara uyulmuştur. Egilme basınç deneyi yapılırken TS-EN 12390-5 deki öngörülen kurallara dikkat edilmiştir.

Egilme basınç dayanımı testleri 28 ve 56 günlük numunelere uygulanmıştır. Egilme basınç deneyi için pres (Sekil 3.10) TS-3114'e uygun olarak ayarlanmış ve otomatik olarak kırılarak kırılma yükleri ve basınç gerilmeleri (egilme basınç dayanımları) saptanmıştır. Her beton grubundan 3'er adet numune alınmış ve ortalama egilme basınç dayanımları hesaplanmıştır.



Sekil 3.10 Egilme de Çekme Dayanımı Deney Cihazından Görüntüler

3.2.9 Betonun Su Geçirirliğinin Tayini (Permabilite)

Betonun su geçirirliğini ölçmek için geçirirlik (Permabilite) cihazı (Sekil 3.11) kullanılmıştır.



Sekil 3.11 Permabilite Deney Cihazı

Amaç betonun geçirirli özellik gösterip göstermediğinin kontrolüdür. Deney yönteminde TS EN 12390-8 esas alınmıştır. Bu yöntem “Su içerisinde kür uygulanmış

sertleşmiş beton numunesi üzerinde, basınç altında suyun işleme derinliğinin (nüfuz etme) yada suyun akma miktarının belirlenmesidir.

Deney numuneleri; 12 cm çapında, 20 cm yüksekliğinde olup ortasında 20 mm çapında delik bulunmaktadır. Her karışım için 3'er adet numune hazırlanmıştır. Alt ve üst yüzeyleri deney sırasında parafinle kaplanarak suya karşı geçirimsiz hale getirilen numuneler cihazdaki yerlerine yerleştirilmiştir. Geçirimsizlik değeri bulunacak numunelere, basınç artışı dakikada 1 kgf/cm² (0.1 N/mm²) olacak şekilde artırılarak erisilen 10 atmosfer basıncı uygulanmıştır. Bu basınç altındaki numunelerden günde min. 2 kez tespitle 7 gün sürdürülmüş ve bu süre sonunda deney tamamlanmıştır. Sonuçlar geçen su miktarlarına göre yorumlanmıştır.

3.2.10 Betonun Donma-Çözülme Dayanımı

Bu deney için TS 3655 e uygun olarak derin dondurucu (Şekil 3.12) kullanılmıştır. Donma çözülme deneyi için her karışım için üç numune üretilmiştir. Bu deneyde 10 cm' lik küp numuneler kullanılmıştır. Üretilen her numune için donma çözülme deneyi haricinde referans numuneler üretilip, bu numunelerin basınç dayanımları saptanmıştır. Daha sonra donma çözülme deneyi yapılacak 28 günlük numuneler kür havuzundan çıkartılıp kurutulduktan sonra ağırlıkları belirlenmiştir. Numunelere uygulanacak sıcaklıklar, donma için -18°C ± 3°C, çözülme için ise 5 ± 2°C olacak şekilde ayarlanmıştır. 35 periyotluk deneye tabi tutulan numuneler donma sıcaklığına 90 dakikada erisebilecek şekilde cihaz ayarlanmıştır. Çözülme sıcaklığına ise 30 dakikada erisebilmesi için uygun ortam sağlanmıştır. Çözülme süresi donma süresinin 1/3'ü alınmıştır.



Sekil 3.12 Donma Çözülme Deney Cihazından Görüntüler

3.2.11 Betonun Yüzey Asınmalarının Tayini

Yüzey asınması için 10 x 10 x 10 cm boyutlarında numuneler üretilmiş ve numuneler 90 gün kür tankında bekletildikten sonra kesilerek boyutları 71 x 71 x 71 mm boyutlarında yeni numuneler elde edilmiştir. Boyutlandırığımız bu numunelerin eğrilik ve paralellik kontrolleri yapılmıştır. Daha sonra bu numuneler etüv de kurutularak asındırılacak yüzeyler 1'den 4'e kadar numaralandırılarak ve her noktadan hassasiyeti 0.01 mm olan mikrometre ile ölçümleri yapılmıştır. Asındırılacak yüzey aşağı gelecek şekilde yüzey asındırma cihazına (Şekil 3.13) yerleştirilmiştir. Numunenin merkezi ile döner diskin merkezi 22 cm olacak şekilde ayar yapılmış daha sonra baskı pistonu yüksekliği yükleme kolu yatay olacak şekilde ayarlanmıştır. Yükleme kolu 6 kg yük ile yüklenerek (5 kg ağırlık kondu +1 kg askı düzeni)

agirliğı olarak kabul edildi) cihaz sayacı sıfırlanıp sürtünme yüzeyine 20 gr standart zımpara tozu homojen şekilde yayılarak cihaz çalıştırılmıştır. Döner diskin 22 devri 1 periyot olarak kabul edilerek ve 16 periyotluk asındırma uygulanmıştır. Bu işlem uygulandıktan sonra yüzey temizlenerek tekrar 20 gr standart zımpara tozu yüzeye homojen olarak tekrar yüzeye yayılmış ve bu işlem isaretlenen 4 yüzeye tek tek uygulanmıştır. Toplam her bir numuneye 352 devir asındırma uygulanmıştır. İşlem tamamlandıktan sonra her bir noktadan ayrı ayrı 0.01 duyarlıktaki mikrometre ile ölçümleri yapılmıştır. Kalınlıktaki azalmanın ölçülmesi ile asınma kaybı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (TS 2824 EN 1338).

$$A = I_{0m} - I_{16m}$$

$$A = \text{Ortalama kalınlık kaybı, (mm)}$$

I_{0m} = Deney başlangıcında numunenin belirtilen noktalarından ölçülen kalınlığının aritmetik ortalaması.

I_{16m} = Deney sonunda numunenin belirtilen noktalardan ölçülen kalınlığının aritmetik ortalaması



Sekil 3.13 Asındırma Cihazı (Böhme)

3.2.12 Betonun Kimyasal Ortamlardaki Dayanıklılığı

Betonun kimyasal ortamlara karşı gösterdiği direncin saptanması önemlidir. Çünkü beton veya beton yapı elemanları bazen değişik kimyasal ortamların etkilerine maruz kalabilmektedir. Bu bakımdan kimyasal etkinin beton ve bileşiklerine yaptığı etki göz önüne alınacak yapılar inşa edilmelidir. Belirtilen problemin çözümü için her karışımın aynı oranlarda 3'er adet 10 x 10 x 10 cm ebatlarında küp numuneler üretilmiş ve bu numuneler 28 gün kür tankında bekletilmiştir. 28 gün sonunda numuneler alınarak değişik çözeltilerdeki kimyasallar içerisinde konulmuştur. Bu çözeltiler %5 Na_2SO_4 ve %5 MgSO_4 'tir. Bu numunelerin 1, 3, 5, 7, 9, 11 ve 13 aylık yaşlarında herhangi bir tahribat olup olmadığı kontrol edilmiş ve ağırlık değişimleri kayıtlı edilmiştir.

3.2.13 Beton Numunelerinde Boyca Degisim

Baglayici, su ve standart kum kullanilarak hazirlanan çimento ve çimento+mineral katkı harci numuneleri 28 gün kür tankında bekletilmiş ve bu süre neticesinde dis yükler, sıcaklık değişimleri, hidrasyon, ıslanma-kuruma, bileşenlerin kimyasal reaksiyonları ve benzeri nedenlerle oluşabilecek muhtemel boyca değişimleri TS 3322 ye göre test edilmiştir. Hazirlanan çimento harçları:

%100 Cem 1 için= 315 g Cem1+157,5 g Su+ 945 gr Standart kum

% 90Cem1+%5 U.K+%5V.C.için= 283,5 gr Cem1+15,75 gr U.K+ 15,75 gr V.C+ 157,5 gr Su+ 945 gr Standart kum

% 80Cem1+%10 U.K+%10V.C.için= 252 gr Cem1+31,5 gr U.K+ 31,5 gr V.C+ 157,5 gr Su+ 945 gr Standart kum

% 70Cem1+%15 U.K+%15V.C.için= 220,5 g Cem1+47,25 g U.K+ 47,25 g V.C+ 157,5 g Su+ 945 g Standart kum

% 60Cem1+%20 U.K+%20V.C.için= 189 g Cem1+63 g U.K+ 63 g V.C+ 157,5 g Su+ 945 g Standart kum

Numuneler 25*25*285 mm boyutlarında hazırlanmış ve bas kısımlarına korozyona uğramayan özel metal vidalar yerleştirilmiştir. Kalıplamada, kalıpların muhafazasında 20-27,5 °C ve %50 rutubetli ortam ile, karışım suyunun 23 °C den farklı olmaması gibi unsurlar sağlanmıştır. Kalıplanan numuneler %95 bağıl nem ve 20±2 °C de havada 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak her bir karışımından 3 er adet numunenin 1. gün boyları elektronik komprator ile ölçülerek kaydedilmiştir. Bu numuneler 28 gün boyunca kür işlemine tabii tutulmuş ve aynı şekilde 28. gün boyları çok hassas olarak ölçülmüştür.



Sekil 3.14 Boyca Degisim Tespit Aleti

3.2.14 Alkali Silika Reaksiyonu

TS 2517 Mart 1977' ye uygun olarak hazırlanan deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda alkali azalması ve çözünen silis değerleri tayin edilmiştir.

Kullanılan çimentonun ve ince agreganın karıştırılmasıyla hazırlanmış ve kurutulmuş numuneden 25,00±0,05 g lik üç numune tartılmıştır.. Her biri üç ayrı reaksiyon kabına konmuş ve üzerine pipet veya bütelle 25 nü 1,000 N sodyum hidroksit çözeltisi ilave edilmiştir.

Dördüncü reaksiyon kabına yalnız 25 ml sodyum hidroksit çözeltisi konularak tanık numune olarak hazırlanmış, reaksiyon kaplarının ağzı kapatılmıştır. Derhal 80 ± 1,0 °C lik termostatik su banyosu içine konulmuştur.

24 ± ¼ saat su banyosunda tutulduktan sonra banyodan çıkarılmış, akar su altına tutularak 15 ± 2 dakika kadar oda sıcaklığında soğutulmuştur. Soğuduktan sonra reaksiyon kaplarının ağzı açılmış, içine çubuk süzen bir filtre yerleştirilmiş bir porselen Gooch krozesinden kuru bir kap içerisine vakum ile süzülerek, önce reaksiyon kabı içerisinde bulunan çözelti karıştırılmaksızın huniye aktarılmıştır. Çözeltinin tamamı geçince vakum kesilmiştir. Reaksiyon kabı içinde kalan agrega paslanmaz çelikten yapılmış bir spatula ile süzgeç kagidi üzerine alınarak, tekrar vakum yapılmıştır. Süzme işlemine 10 saniyede bir damla düşünceye kadar devam edilmiştir (filtre kagidi yıkanmaz). Süzüntü saklanıp, süzme için geçen süre kaydedilmiştir. Bütün deneylerde süzme süresi aynı tutulur. Sahit denemede, üç numune ayrı ayrı tespit edilmiş olan süzme sürelerinin ortalamasına esit bir süre vakum tatbik edilmiştir.

Süzme işlemi biter bitmez, süzüntü çalkalanarak homojen hale getirilmiştir. Süzüntüden kuru bir pipetle 10 ml çekilerek 200 ml lik bir balon joje ye alınmıştır. Damıtık su ile 200 ml ye tamamlanmıştır. Bu çözelti çözölmüş silisin ve alkali azalmasının tayini için saklanmıştır.

3.2.14.1 Çözönmüş Silisin Tayini (Gravimetrik Metot)

Yukarıda anlatıldığı gibi hazırlanmış 200 ml çözöltiden bir pipete 100 ml çekilmiştir. 400 ml lik bir behere konulup, üzerine 5-10 ml lik değişik hidroklorik asit katılmış ve su banyosu üzerinde kuruluga kadar buharlaştırılmıştır. Su banyosundan alınıp, soğuduktan sonra 5-10 ml lik derisik hidroklorik asit ve 5-10 ml damıtık su ilave edilmiştir. Beherin ağzı kapatılmış, 10 dakika su banyosunda veya elektrik ocagi üzerinde bekletilmiştir. Çözölti üzerinde kendi hacmine esit miktarda sıcak damıtık su ilave edilmiş ve hemen süzölmüştür. Ayrisan silisyum dioksit çözöltisi önce sıcak 1/99 seyredik hidroklorik asit çözöltisi ile sonra sıcak su ile yıkanmıştır.

Süzöntü kuruluga kadar yeniden buharlaşmış, 105 ± 5°C sıcaklıkta bir saat bekletilmiştir. Kalinti üzerinde 10-151 ml seyreklik hidroklorik asit katılıp, su banyosunda veya elektrik ocagında isitilmiştir. Çözölti kendi hacmi kadar sıcak su ile seyreltilip, çökelti süzölmüş ve daha önce yapıldığı şekilde yıkanmıştır. Her iki silis çözöltisi birleştirilerek platin kroze ye konarak ve kurutulmuş ve alev almamasına dikkat edilerek yakılmıştır. 1100-1200°C sıcaklıkta degişmez ağırlığa kadar kızdırılıp, soğutulup ve tartılmıştır.

Platin kroze içinde bulunan silis üzerinde birkaç damla su, 10 ml hidroflorik asit ve bir damla derisik sülfürik asit konmuştur. Bir çeker ocak içinde kuruluga kadar dikkatle buharlaştırılmıştır. Kalinti 1100-1200°C derece sıcaklıkta bir fırın 1-2 dakika kızdırılıp, soğutulup ve tartılmıştır. Bu tartım ile ilk tartım arasındaki fark silis miktarını vermektedir (Mj).

Aynı çözöltüler kullanılarak sahit numune üzerinde de aynı işlemler uygulanmıştır. Çözölmüş silis su formülle hesaplanmıştır.

$$Sc=(M_1-M_2)*3330$$

Burada,

S_c =Orijinal süzöntü içindeki çözünmüş silis konsantrasyonu m mol/1

M_1 = 100 ml seyreltik çözelti içindeki silis miktarı,g

M_2 = Tanık numunede bulunan silis miktarı,g dir

3.2.14.2 Alkali Azalmasının Tayini

Yine aynı şekilde hazırlanan 200 nü lik çözeltiden 20 ml numune çekilmiş, 100 ml lik bir erlenmayere konup, 2-3 damla fenolftalein çözeltisi damlatılmıştır. 0,05 N hidroklorik asit çözeltisi ile dönüm noktasına dek titre edilmiştir.

Alkali azalması su formülle tayin edilmiştir.

$$R_c = 20N / V_1 (V_3 - V_2) * 1000$$

Burada,

R= Alkali azalması, mmol/1

N= Hidrolik asidin normalitesi

V_1 = 200 ml lik çözeltiden çekilen numune hacmi,ml

V_2 =Numune için sarf edilen hidroklorik asit hacmi, ml

V_3 =Tanık numune için sarf edilen hidroklorik asit hacmi, ml dir.

Çizelge 3.3 Çözünen Silislerin Limit Değerleri

Duyarlık dereceleri için sınır Değerleri, Ağırlıkça %			
	Sakıncasız	Sartlı kullanılabilir	Sakıncalı
Opal Kumtasi (1 mm üzeri)	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Aktif Çakmak tasi (4 mm üzeri)	< 3,0	3,0-10,0	> 10,0
Opalli Kumtasi+ Aktif Çakmak tasi	< 4,0	4,0-15,0	> 15,0

3.2.15 Yüzey Çatlaklarının İncelenmesi

Beton yapılarda görülebilecek çatlakların hemen düzeltilmesi ve bunda hiçbir gerekçeyle geç kalınmaması zorunludur. Aksi takdirde küçük çatlaklar büyük çatlaklara, onlarda özellikle yol yapılarında çukurlara dönüşebilmektedir. Bunları onarmak ise büyük pahalı işler yapılması gerekliliği anlamına gelmektedir. Bu nedenle beton kaplama yüzeyi, yılda en az bir kez iyice incelenmeli ve bütün çatlaklar onarılmalı, böylece düşük maliyetli onarım ile de ekonomi sağlanmalıdır .

Yüzey çatlaklarının incelenmesi için her karışımından 3'er adet numune hazırlanmıştır. Kalıplara numuneler yerleştirilirken numunelerde hava kabarcıkları kalmamasına özen gösterilmiştir ve üretilen bu numuneler doğal ortam sağlanması için kür tanki yerine doğal ortamda kür edilmiş ve 7, 28 ve 56. günlerde numune yüzeylerinde yüzey incelemesi

yapılmıştır. İnceleme büyüteç ve çatlak ölçer (crek meter) yardımıyla hassas bir şekilde yapılmıştır.

3.2.16 Mikroyapı Analizi

X-isini difraksiyonu (XRD) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemelerine esas olmak üzere katkısız %100 CEM1 42.5, %90 CEM1 42.5 + %5 A.E.U.K+ %5 V.C., %80 CEM1 42.5 + %10 A.E.U.K + %10 V.C, %70 CEM1 42.5 + %15 A.E.U.K + %15 V.C, %60 CEM1 42.5 + %20 A.E.U.K + %20 V.C katkılı karışımlarla hamurlar yapılmıştır. Hazırlanan hamur numuneler yaklaşık 300 g' lik plastik tüplere konulduktan ve içlerine hava ve su girmeyecek şekilde kapatılmış başka bir cam kap içerisine konulduktan sonra, tamamen su içinde kalacak şekilde, kür tankında deney yasına (28. ve 56. günler) kadar bekletilmiştir.

Yasi dolan numuneler sudan çıkarılıp, orta kesiminden 25 galınarak yaklaşık 5 mm büyüklükte kırılan malzeme üzerine, hidratasyonu durdurmak için saf aseton konularak yaklaşık 24 saat bekletilmiştir. Asetonlu numuneler etüvde 40 - 50 °C' de yaklaşık 24 saat kurutulduktan sonra, desikatör içinde Ankara' da bulunan Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği laboratuvarına gönderilmiştir. Burada yaklaşık 5 mm boyutlu örneklerin POLARAN 100 cihazında altın kaplaması yapılarak Taramalı Elektron Mikroskopunda yüzeylerin mikro yapısı incelenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot isinleri tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Mikroskopta bir seferde 10 mm yüksekliğinde 9 mm çapında 4 adet örnek numune incelenebilmektedir.

Metal olmayan yalıtkan örneklerin yüzeyleri en fazla 20 mm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbonla kaplaması gerekmektedir.

Taramalı elektron mikroskobu, değişen basınç koşulları altında çalışan, bilgisayar kontrollü bir cihazdır. Bu cihazda çimento, beton, çimento klinkeri, çimento hammaddelerinin ve bunun yanı sıra polimer ve biyolojik nitelikli numunelerin morfolojik ve mikro yapısal özellikleri incelenmektedir.

Taramalı elektron mikroskobunun çimento ve beton endüstrisindeki uygulama alanları aşağıda özetlenmiştir.

- Çimento ve beton basta olmak üzere, kireç, alçıtasi, uçucu kül, cüruf ve agregası gibi yapı malzemelerinin mikro yapısal özelliklerinin belirlenmesi,
- Çimento klinkeri fazlarının dağılımı, şekli ve boyutlarını belirleyerek çimento klinkeri üretim süreci ve klinkeri hakkında değerlendirme yapılması,
- Katki maddelerinin çimento ve betonun mikro yapısına ve özelliklerine etkilerinin belirlenmesidir.



Sekil 3.15 SEM (Scanning Electron Microscope) Cihazı

4. BULGULAR VE TARTISMA

4.1. Kullanılan Agreganın Asınma Oranları

Kaba agreganın asınma oranı tayininde, Los Angeles asınma deneyi yöntemi uygulanmıştır.

Bu yöntemle kaba agregada bulunan asınma değişimi Çizelge 4.1’ de verilmiştir. Buna göre 100 devir sonunda %3,3 iken 500 devir sonunda % 12,9 asınma değerleri bulunmuştur. Bu değerler TS 706’da 100 devir sonunda asınmasına müsaade edilen maksimum %10, 500 devir sonunda asınmasına müsaade edilen maksimum değer olan %50 nin çok altında kalmıştır (TS 706, 1980). Bu bağlamda, çalışmada kullanılan agreganın asınma dayanımının yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1 Kaba Agreganın Asınma Oranı (%)

Deney Sayısı	Numune Miktarı	100 Devir sonunda 1,4 mm elek altında kalan			500 Devir sonunda 1,4mm elek altında kalan		
		g	%	Ort. (%)	g	%	Ort. (%)
1	5000	150	3,0	3,3	690	13,8	12,9
2	5000	165	3,3		635	12,7	
3	5000	180	3,6		610	12,2	

4.1. Kullanılan Agreganın Birim Hacim Ağırlıkları ve Su Emme Değerleri

Doğal kum, kırma kum ve kaba agregaların deney sonunda bulunan doygun yüzey kuru özgül ağırlığı aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.2 İri Agregalarda Birim Hacim Ağırlığı ve Su Emme Oranı Tayini (Tel Sepet Metodu)

Malzemenin Cinsi	4 - 11,2 mm İri Kırma Agrega	11,2 - 22,4 mm İri Kırma Agrega
Numunenin DYK Ağırlığı (gr) M2	3082	3118
Sepet + Numunenin Sudaki Ağırlığı (gr) M3	1945,2	1977,3
Numunenin Etüv Kuru Ağırlığı (gr) M1	3045,5	3098
Kuru Birim Hacim Ağırlığı M1/ (M2-M3)	2,68	2,72
DYK Birim Hacim Ağırlığı M2/ (M2-M3)	2,71	2,73
Görünür Birim Hacim Ağırlığı M1/ (M1-M3)	2,77	2,76
Su Emme Oranı { (M2-M1)/M1}*100	1,20	0,65

Çizelge 4.3 Ince Agregalarda Birim Hacim Ağırlığı, Su Emme Oranı Tayini

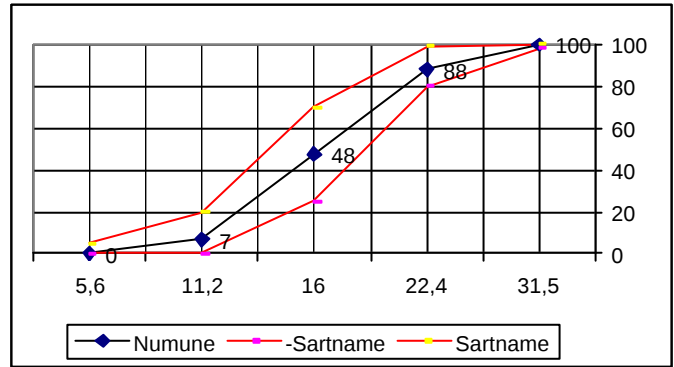
Malzemenin Cinsi	0 - 4 mm Ince Kirma Agregası	0 - 8 mm Ince Doğal Agregası
Numunenin DYK Ağırlığı (gr) M2	500	500
Bos ölçü kabi 500 ml ye kadar su ile dolu (gr) M4	1281,5	1281,5
Aynı malzemenin Etüv kuru ağırlığı (gr) M1	485	487
500 ml ye kadar su dolu kap+numune (gr) M3	1586	1589,5
Kuru Birim Hacim Ağırlığı $M1/(M2+M4-M3)$	2,48	2,54
DYK Birim Hacim Ağırlığı $M2/(M2+M4-M3)$	2,56	2,60
Görünür Birim Hacim Ağırlığı $M1/(M1+M4-M3)$	2,69	2,72
Su Emme Oranı $\{(M2-M1)/M1\} \cdot 100$	3,09	2,67

Bayazit (1988)'a göre, genel olarak düşük özgül ağırlık boşluklu, sağlam olmayan agregayı, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli agregayı tanımlar. Postacıoğlu (1987) beton agregalarının özgül ağırlığına göre 2.2-2.7 kg/dm³ arasında olmasını önermektedir. Arastirmada kullanılan agreganın özgül ağırlık ve su emme yüzdesi bakımından referanslarda verilen değerlere uygun olduğu görülmüştür.

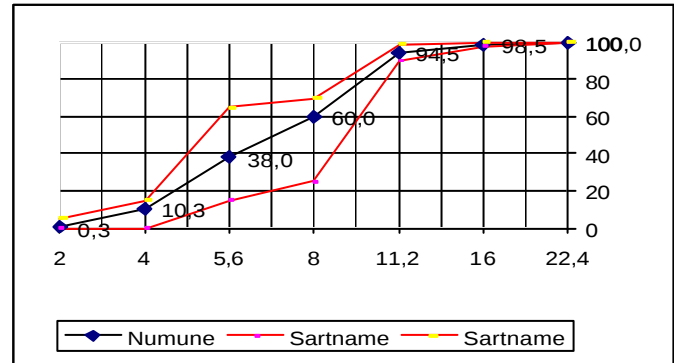
4.3. Granülometrik Analiz ve Beton Karışım Hesapları

TS EN 706' ya uygun olarak sırasıyla 11,2-22,4 mm, 4-11,2 mm, 0-5 mm kirma kum ve 0-8 mm doğal kum elek analizleri yapılmış, bulunan sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak TS 802 nin esas alınmasıyla hazırlanan beton karışım hesapları aşağıda verilmiştir.

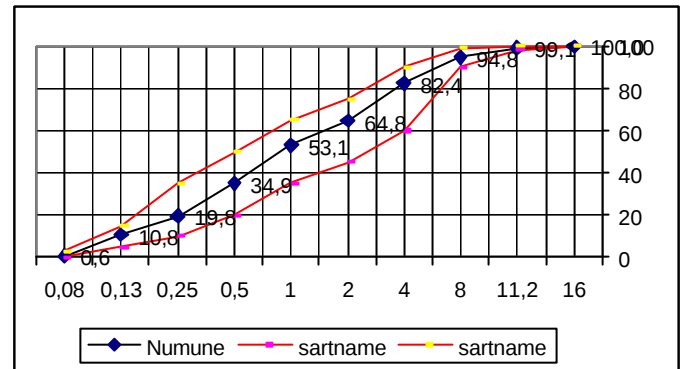
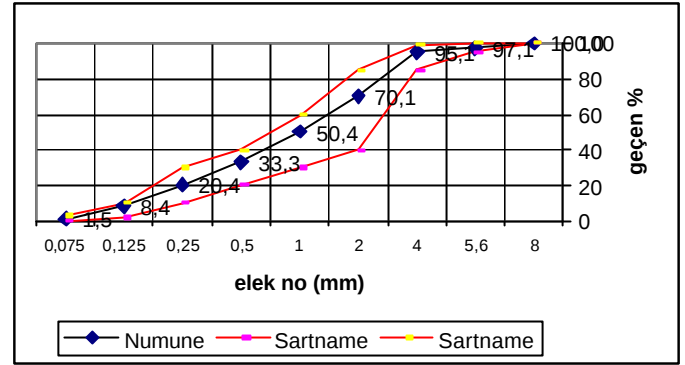
11,2-22,4 AGREGA ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		5000	Sartname	
(mm)	E.Kal.(g)	Kal. %	Geç. %	Min. %	Max. %
31,5	0	0,0	100,0	98	100
22,4	600	12,0	88,0	80	99
16	2618	52,4	47,6	25	70
11,2	4665	93,3	6,7	0	20
5,6	5000	100,0	0,0	0	5
İNCELİK MODÜLÜ :			2,58		



4-11,2 AGREGA ELEK ANALİZİ					
ELEK	MALZEME		5000	Sartname	
(mm)	E.Kal.(g)	Kal. %	Geç. %	Min. %	Max. %
22,4	0	0,0	100,0	100	100
16	76	1,5	98,5	98	100
11,2	276	5,5	94,5	90	99
8	2000	40,0	60,0	25	70
5,6	3100	62,0	38,0	15	65
4	4486	89,7	10,3	0	15
2	4986	99,7	0,3	0	5
İNCELİK MODÜLÜ :			2,98		



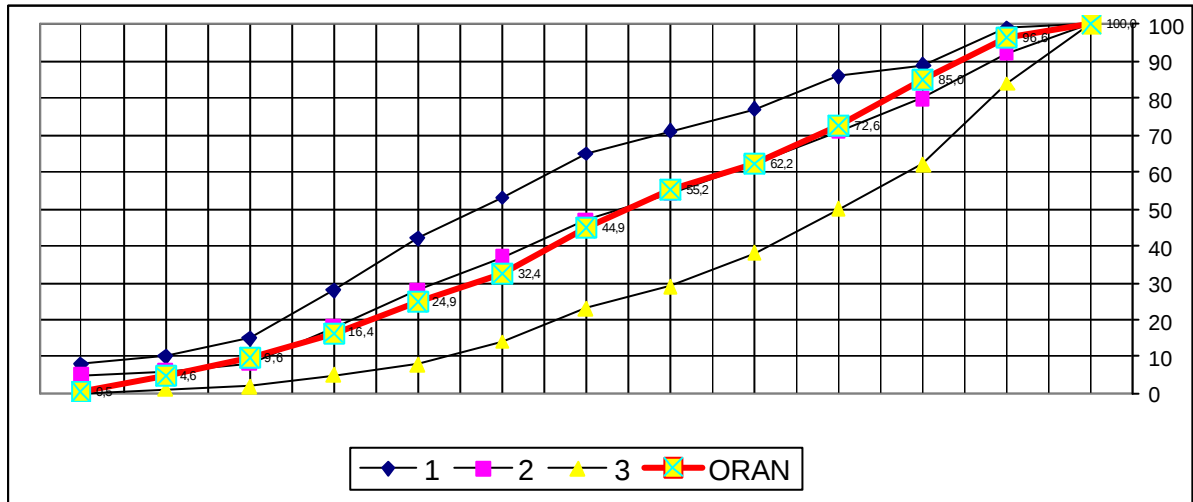
0-4 KIRMA KUM ELEK ANALIZI					
ELEK	MALZEME		5000	Sartname	
(mm)	E.Kal. (g)	Kal: %	Geç. %	Min.%	Max. %
8	0	0,0	100,0	100	100
5,6	143	2,9	97,1	95	100
4	247	4,9	95,1	85	99
2	1495	29,9	70,1	40	85
1	2479	49,6	50,4	30	60
0,5	3337	66,7	33,3	20	40
0,25	3981	79,6	20,4	10	30
0,125	4580	91,6	8,4	2	10
0,075	4927	98,5	1,5	0	3
INCELİK MODÜLÜ :			4,24		
0-8 DOĞAL KUM ELEK ANALIZI					
ELEK	MALZEME		5000	Sartname	
(mm)	E.Kal. (g)	Kal: %	Geç. %	Min.%	Max. %
16	0	0,0	100,0	100	100
11,2	45	0,9	99,1	98	100
8	259	5,2	94,8	90	99
4	880	17,6	82,4	60	90
2	1758	35,2	64,8	45	75
1	2347	46,9	53,1	35	65
0,5	3254	65,1	34,9	20	50
0,25	4011	80,2	19,8	10	35
0,125	4458	89,2	10,8	5	15
0,075	4971	99,4	0,6	0	3
INCELİK MODÜLÜ :			4,40		



Kullanılan agrega granülometrisinin TS EN 706'da verilen uygun referans eğriler arasında kalması gerekmektedir. Beton dizaynı yukarıda ayrı ayrı elek analiz sonuçları verilen, %23 oranında kırma kumdan, %25 oranında doğal kumdan, %24 oranında 4-11,2 mm lik agregadan ve %28 oranında 11,2-22,4 mm lik agregadan alınarak oluşturulmuş ve bu karışımın granülometrik sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.4'de ve grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilde karışımın alt limit ve üst limit değerler arasında kaldığı görülmektedir. Standartların belirttiği gibi beton için en uygun aralık bu iki limit arası olduğu TS 706'da belirtilmektedir. Buna dayanılarak seçilen karışımın uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4 Tüvenan Granülometrik Karisim

ELEK NO	11,2*22,4 Agrega	4*11,2 Agrega	0*4 Kirma	0*8 Dogal	1	2	3	4	TOPLAM	ELEK NO	1	2	3	ORAN
22,4	88	100	100	100	24,6	24,0	23,0	25,0	96,6	25.4 mm	100	100	100	100,0
16	48	98	100	100	13,3	23,6	23,0	25,0	85,0	22.4 mm	99	92	84	96,6
11,2	7	94	100	100	1,9	22,7	23,0	25,0	72,6	16 mm	89	80	62	85,0
8	0	60	100	99	0,0	14,4	23,0	24,8	62,2	11.2 mm	86	71	50	72,6
5,6		38	97	95	0,0	9,1	22,3	23,7	55,2	8 mm	77	62	38	62,2
4		10	95	82	0,0	2,5	21,9	20,6	44,9	5.6 mm	71	54	29	55,2
2		0	70	65	0,0	0,1	16,1	16,2	32,4	4 mm	65	47	23	44,9
1			50	53	0,0	0,0	11,6	13,3	24,9	2 mm	53	37	14	32,4
0,5			33	35	0,0	0,0	7,6	8,7	16,4	1 mm	42	28	8	24,9
0,25			20	20	0,0	0,0	4,7	4,9	9,6	0.5 mm	28	18	5	16,4
0,125			8	11	0,0	0,0	1,9	2,7	4,6	0.25 mm	15	8	2	9,6
0,063			1	1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,5	0.125mm	10	6	1	4,6
% ORAN	0,28	0,24	0,23	0,25						0.063 mm	8	5	0	0,5
				1										



Sekil 4.1 Tüvenan Granülometrik Karisim Egrisi

Bulunan özgül ağırlık, su emme, rutubet ve granülometrik analizler neticesinde yapılan beton dizaynının 1 m³ için miktarları Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 da belirtilmiştir. Ayrıca referans betondaki çimentonun belli oranlarda kesilerek yerine aşağıda (Çizelge 4.5) kimyasal analizleri verilen uçucu kül ve volkanik cürüflarla yapılan beton dizaynları da yine aynı beton karisim tablolarında belirtilmiştir. Kimyasal analizler Çimko Çimento Fabrikası Narlı Subesi Kimya laboratuvarında yaptırılmıştır.

Çimento, volkanik cüruf, Afsin-Elbistan uçucu külü ve 3' lü karisimin kimyasal analizleri Çizelge 4.5' de verilmiştir. Kimyasal analizlerde görüldüğü gibi volkanik cürufun SiO₂ oranı yüksektir. AEUK ise CaO ve SO₃ oranları yüksek çıkmıştır. Üç malzemenin % 20 V.C+%20 AEUK ve % 60 CEM1 karisiminin analizi incelendiğinde ise, SO₃ azaldığı, SiO₂ arttığı, CaO miktarının dengelendiği görülmüştür. Bu değerlerle AEUK beton yapımında kullanılabilir hale getirilmiştir.

Çizelge 4.5 Beton Karisiminda Kullanilacak Malzemelerin Kimyasal Analizleri

	Volkanik Cüruf	Afsin Elbistan U.Külü	CEM I 42,5 R	%20 V.C+%20 AEUK. +%60 CEM1 Karisimi
SiO ₂	61,82	15,82	20,96	23,72
Al ₂ O ₃	10,17	7,97	3,82	6,07
Fe ₂ O ₃	10,4	3,48	3,71	6,13
CaO	9,95	44,4	63,37	51,39
MgO	5,34	3,64	3,67	4,02
SO ₃		19,22	2,91	5,56
K.K.	0,37	4,55	0,8	2,44
K ₂ O	1,45	0,4	0,4	0,46
Ç.K.	0,5	7,47	0,43	0,21
S.CaO			0,89	
Toplam Rutubet	13			
ÖZ.AGR.(g/ml)	2,5	2,85	3,12	
BLAIN (cm ² /g)	3414		3466	
P.BASI (dk.)			140	
P. SONU (dk.)			210	
2 GÜN (N/mm ²)			31,3	
7 GÜN (N/mm ²)	5,52		44,9	
28 GÜN (N/mm ²)			55,5	

TS 802 nin esas alınmasiyla hazirlanmis olan beton karisim hesapleri asagidaki gibidir:

Çizelge 4.6 Referans Beton Karisimi (%100 CEM1 Çimento İle Üretilen Beton)

MALZEME MATERIAL	HESAPLAR-CALCULATIONS					Hacim Volume (dm³)	Özgül Ag..	Agirlik Weight (kg)
Çimento-Cement	Su-Water =		126,0	380	kg	121,8	3,12	380
	S/C Orani W/C Ratio		0,33					
Mineral Katkı 1 (U.Kül)						0,0	2,85	0
Mineral Katkı 2 (V.Cüruf)						0,0	2,50	0
Su-Water						126,0	1,00	126,0
Hava-Air						15		
Kismi hacim toplami-Sum of partial volume						262,8		
Agregalar Aggregates	Agrega hacmi =1000-Kismi hacim toplami Volume of aggregate Sum of prtial volume				V _A =	737,2		
İnce Ag. FA1 Fine Agg. FA2	FA1 Hacmi-Va X FA1 % =DERE KUM(0-5) Volume AKSU				0,25	184,3	2,60	479,2
	FA2 Hacmi-Va X FA2 % =K.KUM (0-4) Volume AKSU				0,23	169,6	2,56	434,1
Kaba Ag. CA1 Coarse CA2	CA1 Hacmi-Va X CA1 % = O. KIRMA (4-11,2) Volume AKSU				0,24	176,9	2,71	479,5
	CA2 Hacmi-Va X CA2 % =I.KIRMA.(11,2-22.4) Volume AKSU				0,28	206,4	2,73	563,5
	CA3 Hacmi-Va X CA3 % = Volume				0	0,0	0	0,0
Katki - Admixture = E/m3			Toplam - Total			1000,0		2462,2
Slump: 10 cm	0-5 DERE	0-4 K.KUM	4-11,2	11,2-22.4	CA3	Hava Sic.(C°)		24
Rutubet -Moisture%	0	0	0	0	0	Beton sıcaklığı(C°)		18,5
Su emme- Absorbtion %	2,67	3,09	1,2	0,65	0	Ölçülen Hava %		1,8
TOPLAM%	-2,67	-3,09	-1,2	-0,65	0	Birim Agirlik		2462,2
TOPLAM SU(LT)	-12,8	-13,4	-5,8	-3,7	0,0	Toplam Su		-35,6

Karisimin Düzeltilmis Tartilari

Malzeme Material	KG	0,006
Çimento Cement	380,0	2,28
Mineral Katki 1	0,0	0
Mineral Katki 2	0,0	0
Su Water	161,6	1
FA1 'Agrega' D.KUM	466,4	2,8
FA2 'Agrega 0-4 K.KUM	420,7	2,5
NO2 'Agrega 4-11,2	473,7	2,8
NO3 'Agrega 11,2-22.4	559,9	3,4
Toplam-Total	2462,2	14,8
Katki-Admixture %1 (kg)	3,80	0,023

Çizelge 4.7 %5 V.C+%5U.K. +%90 CEM1 Beton Karisimi

MALZEM MATERIAL	HESAPLAR-CALCULATIONS					Hacim Volume (dm³)	Özgül Ag..	Agirlik Weight (kg)
Çimento-Cement	Su-Water =		126,0	380	kg	109,6	3,12	342
	S/C Orani W/C Ratio		0,33					
Mineral Katki 1 (U.Kül)						6,0	3,15	19,0
Mineral Katki 2 (V.Cüruf)						7,6	2,50	19,0
Su-Water						126,0	1,00	126,0
Hava-Air						15		
Kismi hacim toplami-Sum of partial volume						264,2		
Agregalar Aggregates	Agrega hacmi =1000-Kismi hacim toplami Volume of aggregate Sum of prtial volume				V _A =	735,8		
Ince Ag. FA1 Fine Agg. FA2	FA1 Hacmi-Va X FA1 % =DERE KUM(0-5) Volume AKSU				0,25	183,8	2,60	478,2
	FA2 Hacmi-Va X FA2 % =K.KUM (0-4) Volume AKSU				0,23	169,1	2,56	433,2
Kaba Ag. CA1 Coarse CA2	CA1 Hacmi-Va X CA1 % = O. KIRMA (4-11,2) Volume AKSU				0,24	176,4	2,71	478,5
	CA2 Hacmi-Va X CA2 % =I.KIRMA.(11,2-22.4) Volume AKSU				0,28	205,8	2,73	562,4
	CA3 Hacmi-Va X CA3 % = Volume				0	0,0	0	0
Katki - Admixture = E/m3			Toplam - Total			1000,0		2458,4

Slump: 10 cm	0-5 DERE	0-4 K.KUM	4-11,2	11,2-22.4	CA3	HAVA SICAKLIĞI(C°)	24
Rutubet -Moisture%	0	0	0	0	0	BETON SICAKLIĞI(C°)	18,5
Su emme- Absorbtion %	2,67	3,09	1,2	0,65	0	ÖLÇÜLEN HAVA %	1,8
TOPLAM%	-2,67	-3,09	-1,2	-0,65	0	BİRİM AĞIRLIK (kg/m3)	2458,4
TOPLAM SU(LT)	-12,8	-13,4	-5,7	-3,7	0,0	Toplam Su	-35,6

Karisimin Düzeltimis Tartilari

Malzeme Material	KG	0,006
Çimento Cement	342	2,05
Mineral Katki 1	19	0,11
Mineral Katki 2	19	0,11
Su Water	161,6	1
FA1 'Agrega' D.KUM	465,5	2,8
FA2 'Agrega 0-4 K.KUM	419,6	2,5
NO2 'Agrega 4-11,2	472,8	2,8
NO3 'Agrega 11,2-22.4	558,8	3,4
Toplam-Total	2458,4	14,8
Katki-Admixture %1 (kg)	3,42	0,021

Çizelge 4.8 %10 V.C+%10U.K.+%80 CEM1 Beton Karisimi

MALZEM MATERIAL	HESAPLAR-CALCULATIONS					Hacim Volume (dm³)	Özgül Ag..	Agirlik Weight (kg)
Çimento-Cement	Su-Water =		126,0	380	kg	85,3	3,12	304
	S/C Orani W/C Ratio		0,33					
Mineral Katki 1 (U.Kül)						20,0	2,85	38
Mineral Katki 2 (V.Cüruf)						22,8	2,50	38
Su-Water						126,0	1,00	126,0
Hava-Air						15		
Kismi hacim toplami-Sum of partial volume						265,7		
Agregalar Aggregates	Agrega hacmi =1000-Kismi hacim toplami Volume of aggregate Sum of prtial volume				V _A =	730,9		
Ince Ag. FA1 Fine Agg. FA2	FA1 Hacmi-Va X FA1 % =DERE KUM(0-5) Volume AKSU				0,25	182,7	2,60	477,3
	FA2 Hacmi-Va X FA2 % =K.KUM (0-4) Volume AKSU				0,23	168,1	2,56	432,4
Kaba Ag. CA1 Coarse CA2	CA1 Hacmi-Va X CA1 % = O. KIRMA (4-11,2) Volume AKSU				0,24	175,4	2,71	477,6
	CA2 Hacmi-Va X CA2 % =I.KIRMA.(11,2-22.4) Volume AKSU				0,28	204,7	2,73	561,3
	CA3 Hacmi-Va X CA3 % = Volume				0	0,0	0	0,0
Katki - Admixture = E/m3			Toplam - Total			1000,0		2454,5

Slump: 10 cm	0-5 DERE	0-4 K.KUM	4-11,2	11,2-22.4	CA3	HAVA SICAKLIĞI(C°)	24
Rutubet -Moisture%	0	0	0	0	0	BETON SICAKLIĞI(C°)	18,5
Su emme- Absorbtion %	2,67	3,09	1,2	0,65	0	ÖLÇÜLEN HAVA %	1,8
TOPLAM%	-2,67	-3,09	-1,2	-0,65	0	BİRİM AĞIRLIK (kg/m3)	2454,5
TOPLAM SU(LT)	-12,7	-13,4	-5,7	-3,6	0,0	Toplam Su	-35,5

Karisimin Düzeltilmis Tartilari

Malzeme Material	KG	0,006
Çimento Cement	304	1,82
Mineral Katki 1	38	0,23
Mineral Katki 2	38	0,23
Su Water	161,5	1
FA1 'Agrega' D.KUM	464,6	2,8
FA2 'Agrega 0-4 K.KUM	419,0	2,5
NO2 'Agrega 4-11,2	471,9	2,8
NO3 'Agrega 11,2-22.4	557,7	3,3
Toplam-Total	2454,5	14,7
Katki-Admixture %1 (kg)	3,04	0,018

Çizelge 4.9 %15 V.C+%15 U.K.+%70 CEM1 Beton Karisimi

MALZEM MATERIAL	HESAPLAR-CALCULATIONS					Hacim Volume (dm ³)	Özgül Ag.	Agirlik Weight (kg)
Çimento-Cement	Su-Water =		126,0	380	kg	85,3	3,12	266
	S/C Orani W/C Ratio		0,33					
Mineral Katki 1 (U.Kül)						18,1	3,15	57,0
Mineral Katki 2 (V.Cüruf)						22,8	2,50	57,0
Su-Water						126,0	1,00	126,0
Hava-Air						15		
Kismi hacim toplami-Sum of partial volume						267,2		
Agregalar Aggregates	Agrega hacmi =1000-Kismi hacim toplami Volume of aggregate Sum of prtial volume				V _A =	732,8		
Ince Ag. FA1 Fine Agg. FA2	FA1 Hacmi-Va X FA1 % =DERE KUM(0-5) Volume AKSU				0,25	183,2	2,6	476,4
	FA2 Hacmi-Va X FA2 % =K.KUM (0-4) Volume AKSU				0,23	168,6	2,56	431,5
Kaba Ag. CA1 Coarse CA2	CA1 Hacmi-Va X CA1 % = O. KIRMA (4-11,2) Volume AKSU				0,24	175,9	2,71	476,6
	CA2 Hacmi-Va X CA2 % =I.KIRMA.(11,2-22.4) Volume AKSU				0,28	205,2	2,73	560,2
	CA3 Hacmi-Va X CA3 % = Volume				0	0,0	0	0,0
Katki - Admixture = E/m3			Toplam - Total			1000,0		2450,7

Slump: 10 cm	0-5 DERE	0-4 K.KUM	4-11,2	11,2-22.4	CA3	Hava Sic.(C°)	24
Rutubet -Moisture%	0	0	0	0	0	Beton sicakligi(C°)	18,5
Su emme- Absorbtion %	2,67	3,09	1,2	0,65	0	Ölçülen Hava %	1,8
TOPLAM%	-2,67	-3,09	-1,2	-0,65	0	Birim Agirlik	2450,7
TOPLAM SU(LT)	-12,7	-13,3	-5,7	-3,6	0,0	Karisim Top. Su	-35,4

Karisimin Düzeltilmis Tartilari

Malzeme Material	KG	0,006
Çimento Cement	266,0	1,60
Mineral Katki 1	57,0	0,34
Mineral Katki 2	57,0	0,34
Su Water	161,4	1,0
FA1 'Agrega' D.KUM	463,6	2,8
FA2 'Agrega 0-4 K.KUM	418,2	2,5
NO2 'Agrega 4-11,2	470,9	2,8
NO3 'Agrega 11,2-22.4	556,5	3,3
Toplam-Total	2450,7	14,7
Katki-Admixture %1 (kg)	2,66	0,016

Çizelge 4.10 %20 V.C+%20 U.K. +%60 CEM1 Beton Karisimi

MALZEM MATERIAL	HESAPLAR-CALCULATIONS					Hacim Volume (dm ³)	Özgöl Ag.	Agirlik Weight (kg)
Çimento-Cement	Su-Water =		126,0	380	kg	73,1	3,12	228
	S/C Orani W/C Ratio		0,33					
Mineral Katki 1 (U.Kül)						26,7	2,85	76,0
Mineral Katki 2 (V.Cüruf)						30,4	2,50	76,0
Su-Water						126,0	1,00	126,0
Hava-Air						15		
Kismi hacim toplami-Sum of partial volume						268,6		
Agregalar Aggregates	Agrega hacmi =1000-Kismi hacim toplami Volume of aggregate Sum of prtial volume				V _A =	728,9		
Ince Ag. FA1 Fine Agg. FA2	FA1 Hacmi-Va X FA1 % =DERE KUM(0-5) Volume AKSU				0,25	182,8	2,6	475,4
	FA2 Hacmi-Va X FA2 % =K.KUM (0-4) Volume AKSU				0,23	167,6	2,56	430,6
Kaba Ag. CA1 Coarse CA2	CA1 Hacmi-Va X CA1 % = O. KIRMA (4-11,2) Volume AKSU				0,24	174,9	2,71	475,7
	CA2 Hacmi-Va X CA2 % =I.KIRMA.(11,2-22.4) Volume AKSU				0,28	204,1	2,73	559,1
	CA3 Hacmi-Va X CA3 % = Volume				0	0,0	0	0,0
Katki - Admixture = E/m3			Toplam - Total			1000,0		2446,8

Slump: 10 cm	0-5 DERE	0-4 K.KUM	4-11,2	11,2-22.4	CA3	Hava Sic.(C°)	24
Rutubet -Moisture%	0	0	0	0	0	Beton sicakligi(C°)	18,5
Su emme- Absorbtion %	2,67	3,09	1,2	0,65	0	Ölçülen Hava %	1,8
TOPLAM%	-2,67	-3,09	-1,2	-0,65	0	Birim Agirlik	2446,8
TOPLAM SU(LT)					0,0	Karisim Top. Su	-35,3

Karisimin Düzeltilmis Tartilari

Malzeme Material	KG	0,006
Çimento Cement	228	1,37
Mineral Katki 1	76	0,46
Mineral Katki 2	76	0,46
Su Water	161,3	1
FA1 'Agrega' D.KUM	462,7	2,8
FA2 'Agrega 0-4 K.KUM	417,3	2,5
NO2 'Agrega 4-11,2	470,0	2,8
NO3 'Agrega 11,2-22.4	555,4	3,3
Toplam-Total	2446,8	14,7
Katki-Admixture %1 (kg)	2,28	0,014

Çizelgelerde hesaplanarak bulunmuş olan beton karisimlerine göre hazirlanmis numuneler, ihtiva ettikleri baglayici madde oranlarına göre siniflandirilmis ve Çizelge 4.11' de verilmistir.

Çizelge 4.11 Baglayici Oranlarına Göre Numunelerin Siniflandirilmesi

Numune No	Uçucu Kül %	Volkanik Cüruf %	CEM1 42,5 %
1	0	0	100
2	5	5	90
3	10	10	80
4	15	15	70
5	20	20	60

4.4. Normal Kivam Su oranlari, Priz Baslama ve Sona Erme Süreleri

Priz toz halindeki çimentonun suyla karistirilmasiyla olusturulan hamurun katilasma-sini tanimlamak için kullanilir. Katilasma çimento hamurunun sivi halden kati hale geçisini ifade eder. Çimento hamurunun sivi halden kati hale geçisi priz deneyi ile tayin edilir (Özkul, 2004). Çimento pastalarinin ve karisim pastalarin normal kivam su oranlari ve priz süreleri Çizelge 4.12'de verilmistir.

Çizelge 4.12 Hamurlarin Normal Kivam Su Oranlari ve Priz Süreleri

Numune No	Normal Kivam Su Orani (%)	Priz Süreleri (Dak.)	
		Baslama	Bitis
1	29	160	200
2	29	185	230
3	29	185	235
4	29	190	240
5	29	200	250

Numunelerimiz kendi aralarında degerlendirildiginde katkı miktarinin arttikça priz baslama ve bitis sürelerinin bir miktar arttigi gözlemlenmistir.

TS EN 196-3 standardi verilerine bakildiginda CEM1 42,5 türü çimentolarda priz baslama süresi 60 dakika ve üstü seklinde belirtildigi için çıkan sonuçların uygun olduğu saptanmistir.

4.5. Hacim Genlesmesi

Le Chatelier aleti ile çimentolarin hacim degisim tayinleri yapilmis ve sonuçlari asagidaki Çizelge 4.13' de verilmistir. Bu uygulamada kullanılan malzemelerin genlesme miktarlari (c-a) TS EN 196-3'de öngörülen (10mm = c-a) ve (4mm = b-a) olma kosullarini saglamislardir.

Çimento hamurlarinin asiri genlesmesine neden olan ana etkenler periklas (kristal MgO) ve kalsiyum sülfattir. Numunelerimiz kendi aralarında karsilastirildigi zaman, toplam %20 katkili olan karisimin hacimsel genlesme degerinin en alt seviyede olduğu gözlemlenmistir.

Bu sonuca bagli olarak genlesmeye neden olabilecek kimyasal bileşenlerin en az olusum gösterdigi karisimin %20 katkili olan numunenin oldugunu söyleyebiliriz.

TS EN 196-3' e göre belirlenen hacim genlesmesi degerleri, TS EN 197-1' e göre maksimum 10 mm olmalidir. Çikan sonuçlar karsilastirildiginda sonuçların standart açısından uygun oldugu görülmektedir.

Çizelge 4.13 Hacimsel Genlesme Degerleri

%100 CEM1		
	Hacimce Degisme (c-a) (mm)	(10mm = c-a) ve (4mm = b-a)
a	4,4	uygun
b	5,5	
c	7,0	
%5 V.C+%5U.K.+%90 CEM1		
Deney Sayisi	Hacimce Degisme (c-a) (mm)	(10mm = c-a) ve (4mm = b-a)
a	6,1	uygun
b	6,4	
c	7,0	
%10 V.C+%10U.K.+%80 CEM1		
Deney Sayisi	Hacimce Degisme (c-a) (mm)	(10mm = c-a) ve (4mm = b-a)
a	3,0	uygun
b	3,3	
c	4,1	
%15 V.C+%15U.K.+%70 CEM1		
Deney Sayisi	Hacimce Degisme (c-a) (mm)	(10mm = c-a) ve (4mm = b-a)
a	5,4	uygun
b	6,0	
c	6,5	
%20 V.C+%20U.K.+%60 CEM1		
Deney Sayisi	Hacimce Degisme (c-a) (mm)	(10mm = c-a) ve (4mm = b-a)
a	4,3	uygun
b	4,9	
c	5,6	

4.6. Beton Basınç Dayanımı

Bu deneyde basınç dayanımı bulunurken TS EN 12390-3 'de belirtilen betonda basınç dayanımı kurallari dikkate alınarak dayanımlar saptanmıştır. Basınç dayanımı testleri, 7, 28 ve 56 günlük numunelere uygulanmıştır. Basınç presi TS-3114'e uygun olarak ayarlanmış ve otomatik olarak kırılarak kırılma yükleri ve basınç gerilmeleri (basınç dayanımlari) saptanmıştır. Toplu deney sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.14 de özetlenmiştir.

Çizelge 4.14 Basınç Dayanım Deneyi Toplu Sonuçları

Numune No	7 Günlük MPa	28 Günlük MPa	56 Günlük MPa	Dayanım Gelisimi 7.Gün-28.Gün	Dayanım Gelisimi 28.Gün-56.Gün
1	35,06	48,15	54,9	1,373	1,140
	34,06	46,15	49,3	1,355	1,068
	34,45	45,44	48,8	1,319	1,074
1. Grup Ortalama	34,52	46,58	51,0	1,349	1,095
2	32,95	45,67	51,1	1,386	1,119
	33,05	44,95	47,3	1,360	1,052
	33,4	45,43	51,57	1,360	1,135
2. Grup Ortalama	32,13	45,35	49,99	1,411	1,102
3	30,95	45,08	49,91	1,457	1,107
	32,48	44,87	47,57	1,381	1,060
	29,72	42,62	48,89	1,434	1,147
3. Grup Ortalama	31,05	44,19	48,79	1,423	1,104
4	26,59	41,78	46,47	1,571	1,112
	27,89	41,34	47,38	1,482	1,146
	28,14	40,12	44,66	1,426	1,113
4. grup Ortalama	27,54	41,08	46,17	1,492	1,124
5	22,69	38,43	43,15	1,694	1,123
	23,43	37,65	42,95	1,607	1,141
	23,99	36,99	42,51	1,542	1,149
5. Grup Ortalama	23,37	37,69	42,87	1,613	1,137

Beton basınç dayanımlarına bakıldığında, katkı miktarı arttıkça özellikle ilk günlerdeki dayanımlarda düşüş olduğu görülmektedir. Fakat nihai dayanıma yaklaştıkça katkili betonların dayanım gelişimindeki artışlardan dolayı, referans betona yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Burada dayanım gelişiminin artma sebebi olarak, AEUK' de bulunan CaO' ler ile volkanik cürufda bulunan SiO₂' lerin, ortamdaki hidratları da alarak tepkime vermeleri ve uzun dönemde, ana bağlayıcı görevi üstlenen tobermorit (C-S-H) jeline benzer yapıdaki jeli oluşturmalarıdır.

4.7. Beton Numunelerin Egilmede Çekme Basınç Dayanımları

Hazırlanan numuneler 28 gün kür tankında bekletildikten sonra Egilme Basınç Deneyine tabi tutulmuş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. Deney esnasında TS EN 12390-5 esas alınmıştır.

Çizelge 4.15 15X15X60 cm' lik Numunelerin Egilme Basınç Dayanımları Sonuçları

Numune No	28 Günlük MPa	56 Günlük MPa	Dayanım Gelisimi 28-56.Gün
1	4,79	5,95	1,24
	4,82	5,86	1,22
	4,87	6,21	1,28
1. Grup Ortalama	4,83	6,01	1,24
2	4,61	5,66	1,23
	4,55	5,75	1,26
	4,77	5,97	1,25
2. Grup Ortalama	4,64	5,79	1,25
3	4,51	5,89	1,31
	4,62	5,78	1,25
	4,49	5,58	1,24
3. Grup Ortalama	4,54	5,75	1,27
4	4,22	5,55	1,32
	4,25	5,29	1,24
	4,14	5,45	1,32
4. Grup Ortalama	4,20	5,43	1,29
5	3,98	5,36	1,35
	3,90	5,09	1,31
	3,86	5,30	1,37
5. Grup Ortalama	3,91	5,25	1,34

Sonuçlar incelendiğinde eğilme basınç dayanımları katkili ve katkisiz numunelerin hepsinde dayanımların birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Betona katılan uçucu külün ve volkanik cürufun eğilme basınç dayanımı için olumlu veya olumsuz çok büyük bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Basınç dayanımına paralel olarak katkı miktarı arttıkça eğilme basınç dayanımlarında da düşüşler olduğu fakat bu düşüşlerin dayanım gelişimine bağlı olarak nihai dayanıma yaklaştıkça düştüğü görülmüştür. Özellikle % 10 ve % 20 katkili numunelerin nihai dayanımları referans numuneye çok yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

4.8. Betonun Su Geçirirliiliği

Yapılan 20 cm boyunda ve 12 cm çapındaki numuneler 7 gün boyunca 10 atm basınçlı su altında tutulmuş ve su akısına rastlanmamıştır. Suyun betona işleme derinliği (suyun betonu nemlendirdiği kısım), beton ortadan ikiye ayrılarak milimetrik olarak ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Beton Numunelerin Su Geçirirmlilik Deneyi Sonuçlari

Numune No	Su Geçirirmliligi	Ortalama Geçirirmlilik (mm)
1	0,5	0,5
	0,5	
	0,5	
2	0,8	0,9
	0,9	
	1,2	
3	3,8	3,6
	3,9	
	3,2	
4	3,9	4,1
	4,1	
	4,3	
5	4,7	5,1
	5,2	
	5,4	

TS EN 12390-8'e göre bu degerlere bakildiginda gözlemlenen su geçirirmliligi, numune orta kismindan ikiye bölünerek incelenmis, sonuç maksimum 5,4 mm, minimum 0,5 mm olduğu görülmüştür. Beton numunelerinin su geçirirmliliginin az olması, granülometrinin uygun olması, beton yerlestirme isleminin uygun şekilde yapılması ve buna bagli olarak beton boslugunun az olması, baglayıcı maddelerin uygun kimyasal yapıda olmalarına baglanabilir.

Mineral katkı oranı arttikça betonlarda su geçirirmliliginin arttigi gözlemlenmektedir. Buna sebep olarak katkili betonlarda reaksiyonların daha yavaş gerçekleşmesi ve buna bagli olarak ana baglayıcı unsur olan tobermorit (C-S-H) jelin daha az miktarda olması gösterilebilir. Fakat ilerleyen yaşlarda, hidratasyon ürünü olan Ca(OH)_2 ler, mineral katkılarda yüksek oranda bulunan SiO_2 lerle reaksiyon vererek yeniden tobermorit jel olusturacaklar ve dolayısıyla permabiliteleri daha düşük seviyelere ulaşacaktır.

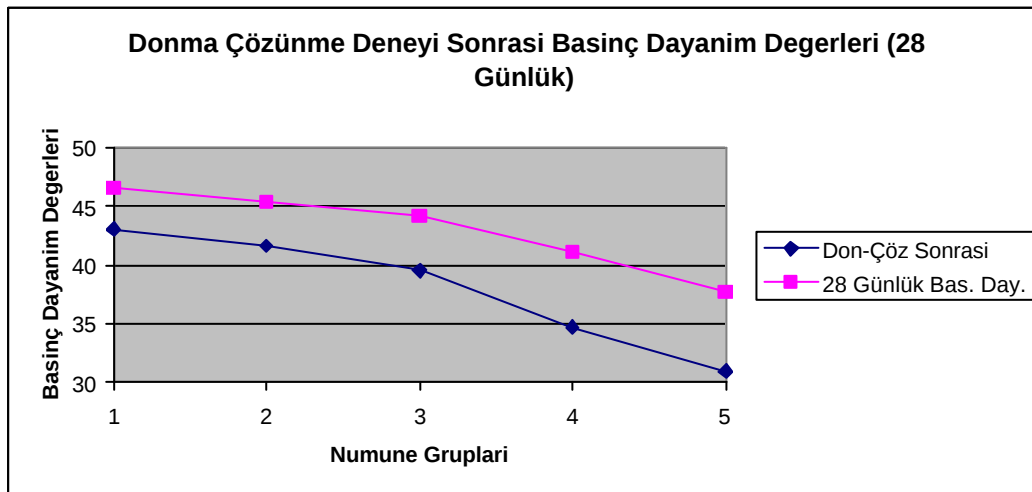
Üretilen 5 farklı numunede katkı miktarı arttikça geçirgenliklerin bir miktar daha arttigi gözlemlenmisse de yine de bu degerlerin yok denilecek kadar az olmasından dolayı tüm numunelerin su geçirgenlik degerlerinin uygun olduklarını söyleyebiliriz (TS EN 12390-8 standardi herhangi bir limit deger vermemektedir).

4.9. Donma-Çözölmeye Karsi Betonun Dayanımı

TS-3449 da belirtildiği gibi donma sıcaklığı $-18^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında ve çözölme sıcaklığı $5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde düzenek hazırlanıp her bir numune için 35 periyot (Her bir periyot -18°C de 2 saat, $+5^{\circ}\text{C}$ de 0.5 saat olmak üzere 1 periyottur) uygulanarak tamamlanmış ve sonuçlar Çizelge 4.17' de verilmistir.

Çizelge 4.17 28 Günlük Numunelerin Donma-Çözülme Degerleri

Numune	Ilk Agirlik (g)	Son Agirlik (g)	Agirlik Kaybi (g)	Agirlik Kaybi (%)	Donma Çözülme Sonrasi Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Normal Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanım Kaybi (%)
1	2376,83	2370,29	6,54	0,28	43,77	48,15	
	2361,94	2352,51	9,43	0,4	42,97	46,15	
	2362,9	2353,42	9,48	0,4	42,39	45,44	
1. Grup Ortalama			8,48		43,04	46,58	-7,59
2	2460,08	2451,32	8,76	0,36	41,90	45,67	
	2477,5	2467,17	10,33	0,42	41,43	44,95	
	2455,4	2445,06	10,34	0,42	41,53	45,43	
2. Grup Ortalama			9,81		41,62	45,35	-8,23
3	2466,28	2455,18	11,1	0,45	40,72	45,08	
	2455,44	2444,47	10,97	0,45	40,06	44,87	
	2451,12	2440,64	10,48	0,43	37,72	42,62	
3. Grup Ortalama			10,85		39,50	44,19	-10,61
4	2385,85	2373,17	12,68	0,53	35,74	41,78	
	2408,69	2396,38	12,31	0,51	35,03	41,34	
	2385,16	2374,4	10,76	0,45	33,43	40,12	
4. Grup Ortalama			11,92		34,74	41,08	-15,44
5	2413,11	2399,89	13,22	0,55	31,76	38,43	
	2424,66	2412,27	12,39	0,51	30,86	37,65	
	2453,83	2441,11	12,72	0,52	30,32	36,99	
5. Grup Ortalama			12,78		30,98	37,69	-17,80



Sekil 4.2 28 Günlük Numunelerin Donma-Çözülme Deneyi Sonrasi Dayanım Degerleri

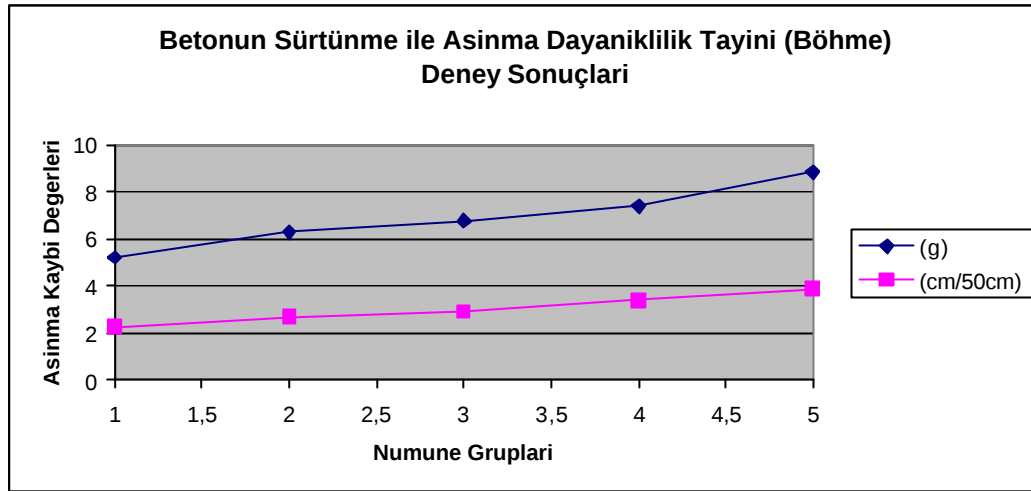
Deneyi yapılan ve sonuçları Çizelge 4.17' de verilen numune yüzeylerinde herhangi bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Beton dayanımları normal suda bekletilen numunelerin basınç dayanımları ile karşılaştırıldığında da belli oranlarda düşme olmuştur. Özellikle katkı miktarı arttıkça dayanımlardaki düşme miktarı da artmıştır. Katkı miktarının artması hidratasyon reaksiyonlarını yavaşlatmakta böylece bağlayıcı unsur olarak oluşan tobermorit jel miktarı azalmaktadır. Bu olay neticesinde porozitesi fazla (bosluk oranı fazla) bir beton oluşmaktadır. Böylece permabilite deneyi sonuçlarına paralel olarak numunelerin mineral katkı oranı arttıkça, ilk yıllarda donma-çözülme olaylarından daha fazla ağırlık kaybına uğradığı gözlemlenmiştir.

4.10. Beton Numunelerin Yüzey Asınma Oranları

Her karışım için üçer adet, 71 x 71 x 71 mm ebatlarındaki numuneler 90 günlük kürünü tamamladıktan sonra böhme deneyine (TS 2824 EN 1338) tabi tutulmuşlar, sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.18 Betonun Sürtünme ile Asınma Dayanıklılık Tayini (Böhme) Deney Sonuçları

Numune No	Boyutlar (mm)			Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)		Birim Ağırlık	Asınma Kaybı	
	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)		Deney Başlangıcı Ağırlık (g)	352 Devir Sonrası Ağırlık (g)		g	cm\50cm
1	74,22	75,08	74,49	415,09	954,38	948,72	2,30	5,66	2,46
	73,98	75,1	74,33	412,47	948,95	943,58	2,30	5,37	2,33
	74,54	74,98	75,2	420,29	951,6	946,95	2,26	4,65	2,05
1. Grup Ortalama					951,6	946,4		5,23	2,28
2	73,49	73,33	73,13	394,10	940,96	934,23	2,39	6,73	2,82
	74,15	74,58	74,23	410,50	938,56	932,44	2,29	6,12	2,68
	73,99	73,83	73,68	402,49	941,58	935,5	2,34	6,08	2,60
2. Grup Ortalama					940,37	934,06		6,31	2,70
3	72,74	73,06	73,38	389,97	921,18	914,31	2,36	6,87	2,91
	72,58	74,06	74,44	400,14	925,69	918,4	2,31	7,29	3,15
	74,5	73,65	73,9	405,48	924,87	918,65	2,28	6,22	2,73
3. Grup Ortalama					923,91	917,12		6,79	2,93
4	76,37	76,19	75,77	440,88	948,77	943,23	2,15	5,54	2,57
	75,45	75,62	74,95	427,63	938,75	930,65	2,20	8,1	3,69
	74,89	75,05	75,85	426,31	943,58	934,95	2,21	8,63	3,90
4. Grup Ortalama					943,7	936,28		7,42	3,39
5	74,94	75,02	75,03	421,82	929,85	921,56	2,20	8,29	3,76
	73,98	74,56	75,24	415,02	935,68	926,35	2,25	9,33	4,14
	73,96	73,43	72,75	395,10	931,74	922,75	2,36	8,99	3,81
5. Grup Ortalama					932,42	923,55		8,87	3,90



Sekil 4.3 Betonun Sürtünme ile Asınma Dayanıklılık Tayini (Böhme) Deney Sonuçları

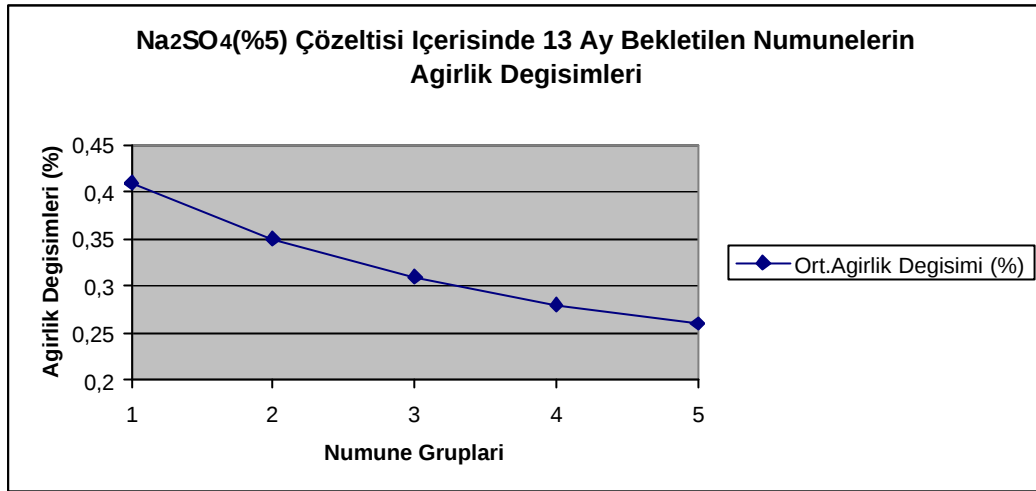
Deney sonuçlarına bakıldığında çıkan sonuçlarda sadece CEM1 42.5 çimento ile yapılan numuneye göre, katkıli olan diğer numunelerin asınma miktarlarının nispeten daha fazla olduğu ve katkı miktarlarının arttıkça asınma miktarlarının da belli seviyelerde arttığı tespit edilmiştir. Fakat bu artışın çok düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Bu deney yapılmadan önce numunelerimiz 90 gün kür tankında bekletilmiştir. Bu süre hidratasyon reaksiyonları sonucunda oluşan Ca(OH)_2 lerin, mineral katkılardan gelen SiO_2 lerle tepkime vermeye başlamış olmasına yetecek bir süredir. Dolayısıyla bu reaksiyonlar sonucunda katkıli betonlarda da tobermorit jel miktarı artmış, numunelerin geçirimsizliği azalmış, dayanımı artmış buna paralel olarak yüzey asınma miktarları da düşerek, % 100 CEM1 42,5 çimentosu ile üretilmiş numunelerin yüzey asınmalarına yakın değerlere ulaşmıştır.

4.11. Kimyasal Ortamlarda Betonun Davranışları

Standartlar dahilinde (TS 3068) üretilen 10 x 10 x 10 cm ebatlarındaki küp numuneler üretilip 28 gün kür ortamında bekletildikten sonra asidik konsantrasyonları belirlenen (%5 Na_2SO_4 , %5 MgSO_4) kür ortamını içerisine konulmuş ve her numunenin 1, 3, 5, 7, 9, 11 ve 13. aylarda tartımları hassas şekilde yapılmış sonuçlar aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Çizelge 4.19 Na₂SO₄(%5) Çözeltili İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık Değişimleri

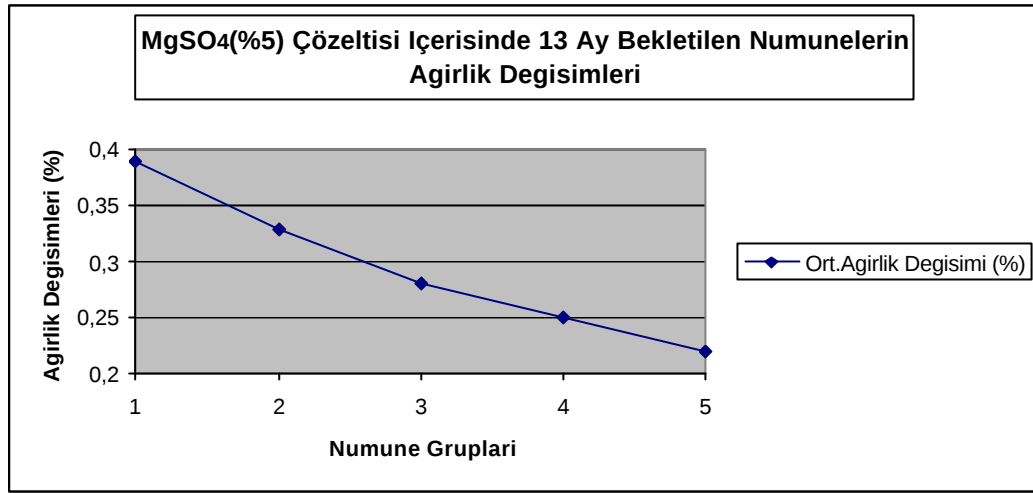
Numune No	1. Ay	3 .Ay	5. Ay	7. Ay	9. Ay	11. Ay	13. Ay	Ağırlık Değişimi (g)	Ağırlık Değişimi (%)	Ort.Ağırlık Değişimi (%)
1	2389,6	2389,6	2389,4	2388	2386,5	2385	2380,1	-9,5	0,40	0,41
	2378,6	2378,6	2378,3	2377,9	2374,5	2372,5	2369,6	-9	0,38	
	2398,4	2398,3	2397,1	2395,7	2392	2389,5	2387,4	-11	0,46	
2	2385	2385	2384,8	2383,5	2382	2380,5	2376,3	-8,7	0,36	0,35
	2469	2469	2469	2467,4	2466	2464,5	2461	-8	0,32	
	2446,5	2446,5	2446	2444	2443	2441,5	2438	-8,5	0,35	
3	2433,5	2433,5	2433,5	2432,9	2431	2428,5	2425,5	-8	0,33	0,31
	2460,2	2460,2	2460,2	2459,5	2456,5	2455	2452,7	-7,5	0,30	
	2466,3	2466,3	2465,8	2464,9	2463	2461,5	2459,3	-7	0,28	
4	2452,5	2452,5	2452,5	2452	2450,5	2448	2446	-6,5	0,27	0,28
	2420,5	2420,5	2420,5	2419,5	2417,5	2416	2413,3	-7,2	0,30	
	2462,5	2462,5	2462,5	2462	2459,5	2457,5	2455,5	-7	0,28	
5	2342,3	2342,3	2342,3	2342,3	2342	2339,5	2335,8	-6,5	0,28	0,26
	2417,8	2417,8	2417,8	2417,8	2417,5	2415	2411,8	-6	0,25	
	2405	2405	2405	2405	2404	2402,5	2399	-6	0,25	



Sekil 4.4 Na₂SO₄(%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık Değişimleri

Çizelge 4.20 MgSO₄(%5) Çözeltili İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Agirlik Degisimleri

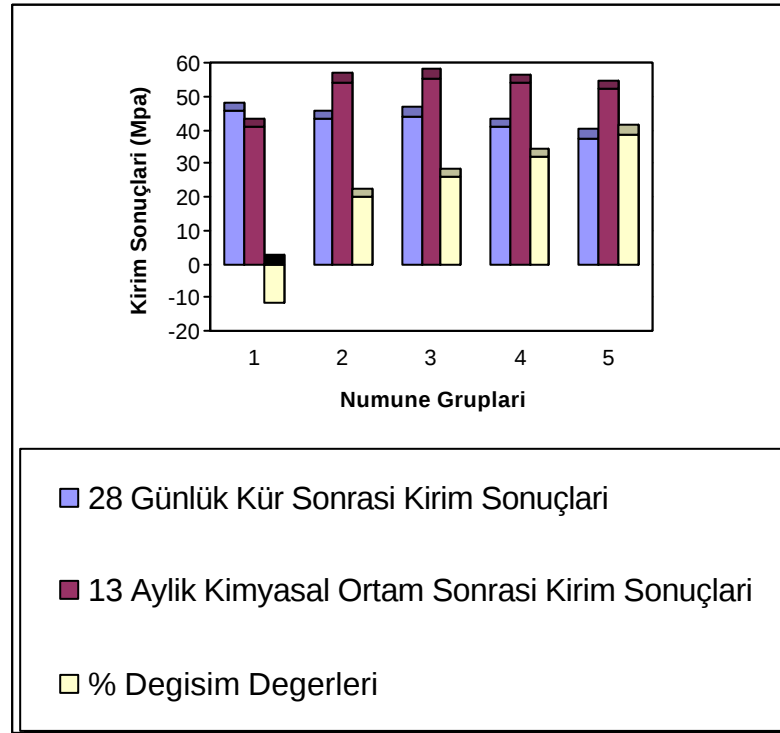
Numune No	1. Ay	3 .Ay	5. Ay	7. Ay	9. Ay	11. Ay	13. Ay	Agirlik Degisimi (g)	Agirlik Degisimi (%)	Ort.Agirlik Degisimi (%)
1	2403,5	2403,5	2403,5	2402,5	2398	2396,5	2394,7	-8,8	0,37	0,39
	2407	2407	2406,9	2405,7	2402	2400	2397,5	-9,5	0,39	
	2479,4	2479,4	2478,9	2476,6	2474	2471,5	2468,9	-10,5	0,42	
2	2456,5	2456,5	2456	2455	2453	2451,6	2448,1	-8,4	0,34	0,33
	2369,5	2369,5	2369,5	2368,8	2366,5	2364,5	2362	-7,5	0,32	
	2456,5	2456,5	2455,5	2453,9	2452	2350,5	2448,7	-7,8	0,32	
3	2465	2465	2465	2464,9	2462,5	2461	2458,2	-6,8	0,28	0,28
	2501,8	2501,8	2501,8	2499,9	2498	2497,2	2495,3	-6,5	0,26	
	2431,8	2431,8	2431,8	2429,4	2427,5	2426	2424,5	-7,3	0,30	
4	2383,4	2383,4	2383,4	2382,6	2381,5	2380	2377,9	-5,5	0,23	0,25
	2464	2464	2464	2463,4	2461,5	2460	2457,1	-6,9	0,28	
	2471	2471	2471	2470,5	2469	2467,5	2465,4	-5,6	0,23	
5	2417,5	2417,5	2417,5	2417,5	2416,5	2414	2412,5	-5	0,21	0,22
	2426,3	2426,3	2426,3	2426,3	2424	2423	2421,5	-4,8	0,20	
	2414,7	2414,7	2414,7	2414,7	2413,5	2411	2408,4	-6,3	0,26	



Sekil 4.5 MgSO₄(%5) Çözeltisi İçerisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Ağırlık Değişimleri

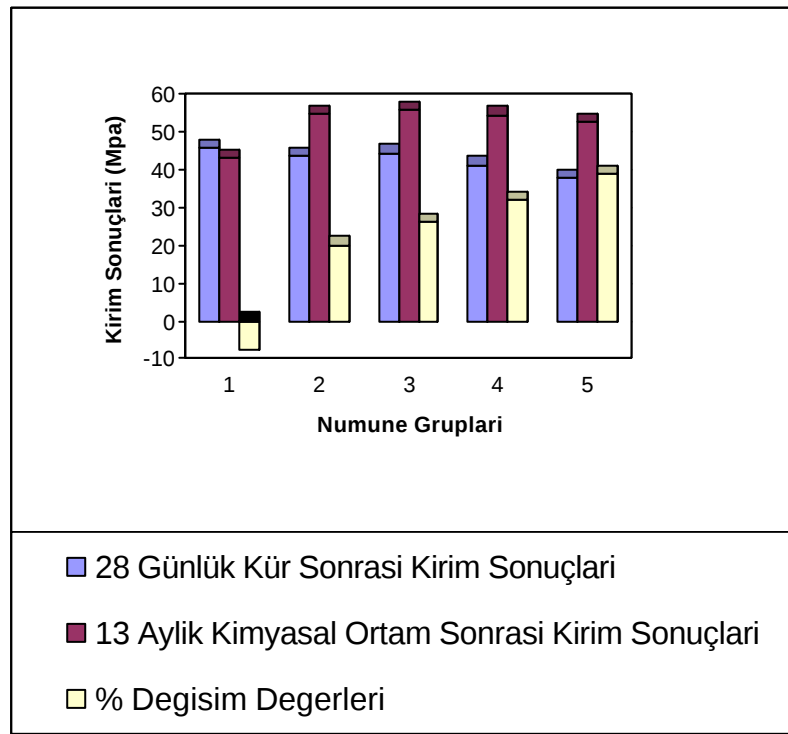
Çizelge 4.21 Na₂SO₄(%5) Çözeltisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basiñ Dayanımları

Numune No	28. Gün Basiñ Day. MPa	13. Ay Basiñ Day. Mpa	Basiñ Day. % Degisim
1		41,14	
		41,37	
		40,98	
1.Grup Ortalama	46,58	41,15	-11,65
2		53,50	
		52,05	
		49,81	
2.Grup Ortalama	45,35	51,78	+14,17
3		52,20	
		53,48	
		52,38	
3.Grup Ortalama	44,19	52,68	+19,21
4		52,33	
		52,79	
		50,66	
4.Grup Ortalama	41,08	51,92	+26,38
5		49,50	
		49,77	
		47,63	
5.Grup Ortalama	37,69	48,96	+29,90

**Sekil 4.6** Na₂SO₄ (%5) Çözeltisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basiñ Dayanımları

Çizelge 4.22 MgSO₄(%5) Çözeltisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basiñ Dayanımları

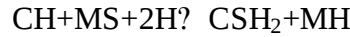
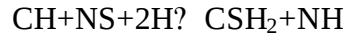
Numune No	28. Gün Basiñ Day. MPa	13. Ay Basiñ Day. Mpa	Basiñ Day. % Degisim
1		43,15	
		42,67	
		43,05	
1.Grup Ortalama	46,58	42,95	-7,79
2		55,10	
		53,94	
		54,15	
2.Grup Ortalama	45,35	54,39	+19,93
3		56,56	
		55,27	
		55,10	
3.Grup Ortalama	44,19	55,64	+25,91
4		54,87	
		54,74	
		53,13	
4.Grup Ortalama	41,08	54,24	+32,03
5		52,40	
		52,73	
		51,92	
5.Grup Ortalama	37,69	52,35	+38,89

**Sekil 4.7** MgSO₄(%5) Çözeltisinde 13 Ay Bekletilen Numunelerin Basiñ Dayanımları

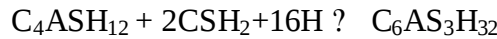
Yer altı sularında, bazı killi topraklarda yüksek miktarda Na_2SO_4 , CaSO_4 , MgSO_4 , KSO_4 gibi tuzlar bulunmaktadır. Sertleşmiş betonda dışarıdan sızan sularla gelen sülfatlar betonda genleşmeye ve zamanla yüzey köselerinden başlayıp iç kesimlere doğru devam eden parçalanmalara neden olur. Sülfatların betonda oluşturduğu bu yıpratıcı etkiye “Sülfat Etkisi” denir (Görür, 2007)

Portland çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ile öğütülmesi neticesinde C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF gibi ana bileşenler oluşmakta ve bu ana bileşenlerin su ile reaksiyonu neticesinde değişik hidratasyon ürünleri ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşmaktadır. C_2S ve C_3S nin hidratasyonları neticesinde C-S-H jeli ve $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşur. C_3A ve C_4AF nin hidratasyonu neticesinde tepkimeye alçının da katılması ile etrenjit ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$) ve kalsiyum alimino mono sülfat ($\text{C}_4\text{ASH}_{12}$) ürünleri ortaya çıkar (Erdogan, 2003).

Burada hem $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$ hem de $\text{C}_4\text{ASH}_{12}$ çimento hamurunun genleşmesine yol açar. Özellikle ($\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$) nemli ortamda yüksek oranda genleşmeye neden olur. Bu noktadan sonra beton içerisine sızan Na_2SO_4 ve MgSO_4 gibi sülfatlar su tepkimeleri gerçekleştirirler. Not: Aşağıdaki denklemlerde $\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CH}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{NS}$, $\text{MgSO}_4 = \text{MS}$, $\text{H}_2\text{O} = \text{H}$ olarak formülize edilmiştir.



Hidratasyon neticesinde oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile sülfatlar arasındaki tepkimeler neticesindeki alçıtasi oluşur. Sertleşmiş çimentonun yapısında bulunan yarı kararlı yapıdaki $\text{C}_4\text{ASH}_{12}$ ile sülfat etkisi ile oluşan alçı taşı arasındaki reaksiyonlar neticesinde $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$ oluşur. $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$ etrenjit mineraldir. Betonda yüksek oranda genleşme ve parçalanmaya neden olur.



etrenjit+nem $\rightarrow$ içsel genleşme = çatılma

Hem MgSO_4 hem de Na_2SO_4 betonda yarı kararlı haldeki $\text{C}_4\text{ASH}_{12}$ leri etrenjite dönüştürerek genleşmelere neden olur. MgSO_4 ayrıca C-S-H jelleri ile tepkime verip, çimento hamuruna bağlayıcılık kazandıran bu jellerin bir miktarının çözülmesine neden olur.



Bu reaksiyon sonucu oluşan SH_x (silis jeli), MH ile yavaş bir reaksiyona girerek bağlayıcılık değeri olmayan kristal magnezyum silikat oluşumuna yol açmaktadır.

Öte yandan MgSO_4 ’ün neden olduğu reaksiyonlar neticesindeki genleşme Na_2SO_4 ’e göre daha fazladır. Fakat MgSO_4 ’ün $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C-S-H jelleri ile tepkimesi sonucunda oluşan MH beton içerisindeki boşluklara yerleşmekte, bu boşlukları kapatmakta ve betona daha fazla sülfatın girmesini engellemektedir. Bu bakımdan MS nin NS ye göre yıpratıcı etkisi daha azdır (Erdogan, 2003).

13 ay sonunda numuneler incelendiğinde saf su, %5 sodyum sülfat ve %5 magnezyum sülfat da bekletilen numune yüzeyinde her hangi deformasyon olmadığı görülmüştür. İncelemeden sonra yapılan basınç dayanım deneylerinde, 28 günlük saf suda bekleyen numunelerin basınç dayanımları ile karşılaştırma yapıldığında, katkısız numuneler dışındaki numunelerin dayanım gelişimlerinde belli oranlarda artışlar saptanmıştır. Numuneler içerisindeki mineral katkı miktarları arttıkça sodyum sülfat ve magnezyum sülfatlı ortamlardan etkilenme oranının düştüğü ve buna bağlı olarak dayanım artış yüzdelерinin mineral katkı miktarı arttıkça fazlalastığı gözlemlenmiştir. Dayanım artış yüzdelерinin magnezyum sülfatlı ortamlarda, sodyum sülfatlı ortamlara göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Buna göre numunelerin magnezyum sülfatlı ortamlarda, sodyum sülfatlı ortamlara göre daha az hasar gördüğü söylenebilir. Ayrıca kimyasal ortamlarda bekletilen numunelerin yüzey asinmalarına karşı direnci düştüğü ve ağırlıklarında belli miktar düşüşler olduğu saptanmıştır. Bu ağırlık kayıplarının dayanıma etkisinin olmadığı, ileri yaslarda

yüzeyde oluşan bu asinmaların beton içerisine de ilerleyerek dayanıma da olumsuz etkilerinin başlaması söz konusu olacaktır.

4.12. Beton Numunelerde Boyca Degisim

Baglayıcı, su ve standart kum kullanılarak hazırlanan çimento harci numuneleri 28 gün kür tankında bekletilmiş ve bu süre neticesinde dis yükler, sıcaklık değişimleri, hidrasyon, ıslanma-kuruma, bileşenlerin kimyasal reaksiyonları ve benzeri nedenlerle oluşabilecek muhtemel boyca değişimleri TS 3322 ye göre test edilmiştir ve boyca değişim değerleri Çizelge 4.23’ de verilmiştir.

Çizelge 4.23 Numunelerin Boyca Değişim Deney Sonuçları

Numune	Referans Çubuk değeri (mm)	1. Gün Numune Boy (L28) (mm)	28.Gün Numune Boy (L28) (mm)	Boyca Değişim (L1-L28) mm	Boyca Değişim (L1-L28) (%)
1	7,643	4,503	4,438	0,065	0,015
	7,643	2,587	2,579	0,008	0,003
	7,643	4,593	4,384	0,209	0,048
1.Grup Ortalama				0,094	0,022
2	7,643	4,268	4,2	0,068	0,016
	7,643	3,506	3,438	0,068	0,020
	7,643	4,199	4,122	0,077	0,019
2.Grup Ortalama				0,07	0,018
3	7,643	3,938	3,874	0,019	0,005
	7,643	3,925	3,882	0,094	0,024
	7,643	4,274	4,227	0,064	0,015
3.Grup Ortalama				0,059	0,015
4	7,643	4,315	4,296	0,064	0,015
	7,643	5,332	5,238	0,043	0,008
	7,643	4,532	4,468	0,047	0,011
4.Grup Ortalama				0,05	0,011
5	7,643	4,172	4,103	0,069	0,017
	7,643	3,886	3,882	0,004	0,001
	7,643	4,173	4,115	0,058	0,014
5.Grup Ortalama				0,04	0,011

Çizelge 4.23’ deki değerlere bakıldığında mineral katkı miktarı arttıkça boyca değişim miktarının azaldığı gözlemlenmektedir. %100 CEM1 42,5 çimentosu ile üretilen betonlarda, C₃S karma oksit oranı mineral katkılı betonlarınkine göre daha fazladır. Dolayısıyla bu karma oksitlerin hidrasyonu neticesinde oluşan Ca(OH)₂ miktarları da daha fazladır. C₂S hidrasyonu yavaş gerçekleşip daha çok nihai dayanımı etkilediği için özellikle C₃S hidrasyonu neticesinde oluşan (hidrasyon ürünlerinin yaklaşık %22 si kadar) Ca(OH)₂’ ler

betonda içsel genlesmelere neden olmakta ve dolayısıyla boyca değişim oranları mineral katkılı betonlara göre daha fazla olmaktadır (Ramachandran ve Feldman, 1995).

4.13. Alkali Silika Reaksiyonu

TS 2517 Mart 1977' ya uygun olarak hazırlanan deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen deney sonucunda bulunan alkali azalması ve çözünen silis değerleri aşağıdaki Çizelge 4.24' de verilmistir.

Çizelge 4.24 Agrega Numuneleri üzerinde Yapılan Alkali-Agrega Deney Sonuçları

Elek Açıklığı (µm)	Alkali Azalması	Çözünen Silis
125µm - 250µm	Yok	3,1 mmol/Lt

Numune agregası üzerinde yapılan deney sonucunda bulunan alkali azalması ve çözünen silis değerleri bakımından “zararsız agregalar” grubuna girmektedir.

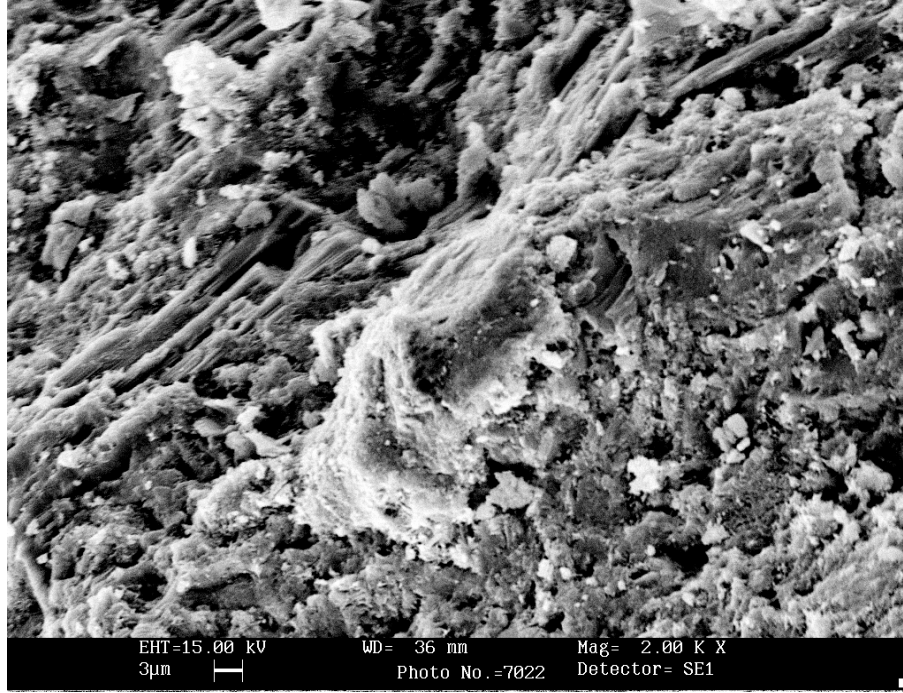
4.14. Yüzey Çatlakları İncelenmesi

Üretilen numuneler doğal ortamda sulanarak santiye ortamı sağlanmış ve 28 gün sonunda yüzeyde oluşan çatlaklar büyüteç yardımıyla incelenmiş ve numune yüzeylerinde herhangi bir çatlaga rastlanamamıştır.

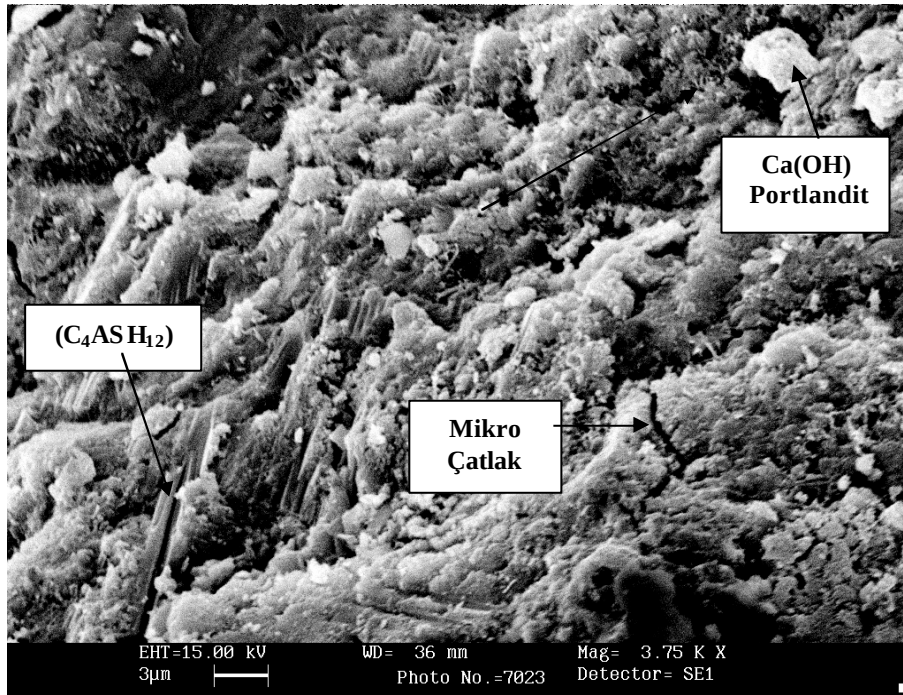
4.15. Çimento Pastalarının Taramalı Elektron Mikroskopunda Mikroyapı İncelenmesi

Çimento ve çimento-uçucu kül-volkanik cüruf karışım numunelerinin mikro yapıları, Taramalı Elektron Mikroskopunda, ikincil elektron görüntüsü yöntemiyle incelenmiş; numunelerin mikro analizleri mikroskoba bağlı Enerji Dağılım Sisteminde yapılmıştır.

Bu deney Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği laboratuvarlarında yapılmıştır. Mikroyapısı incelenip fotoğraflanan hamurların resimleri aşağıda görülmektedir.

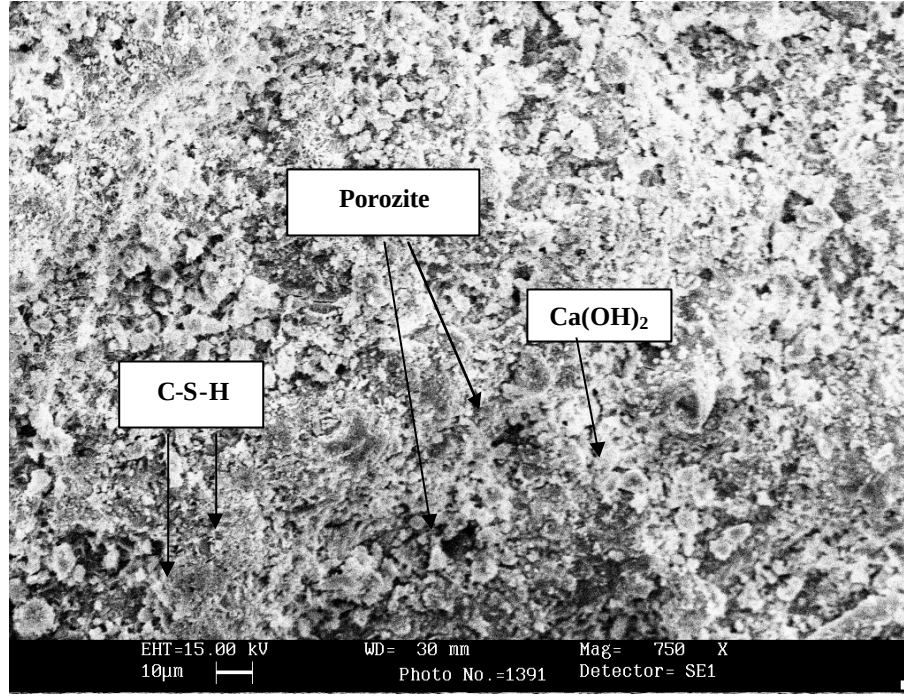


(a)

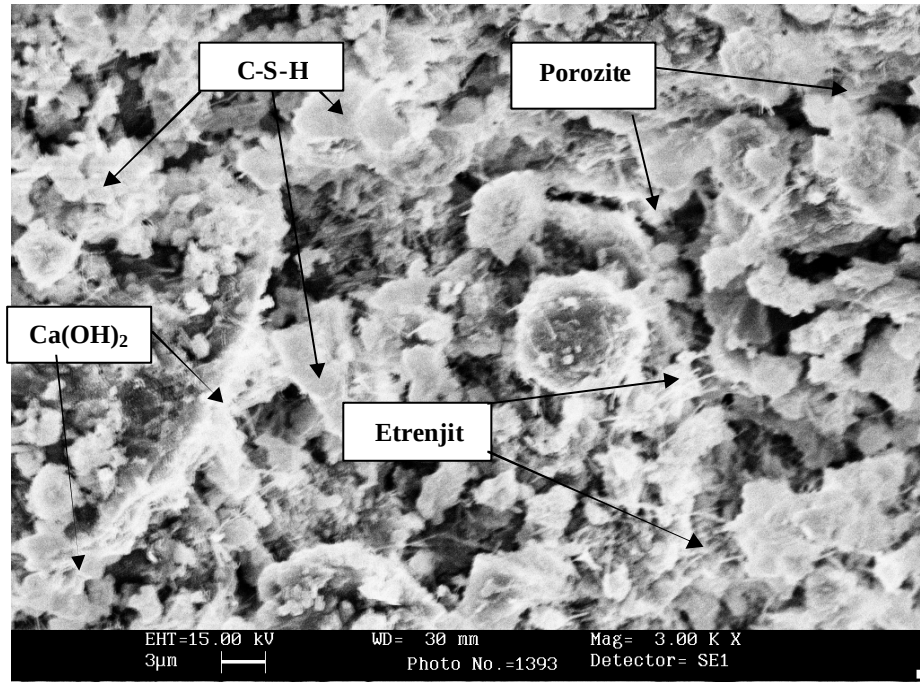


(b)

Sekil 4.8 % 100 CEM1 42.5 Hamurunun 28. Gün Mikroyapısı

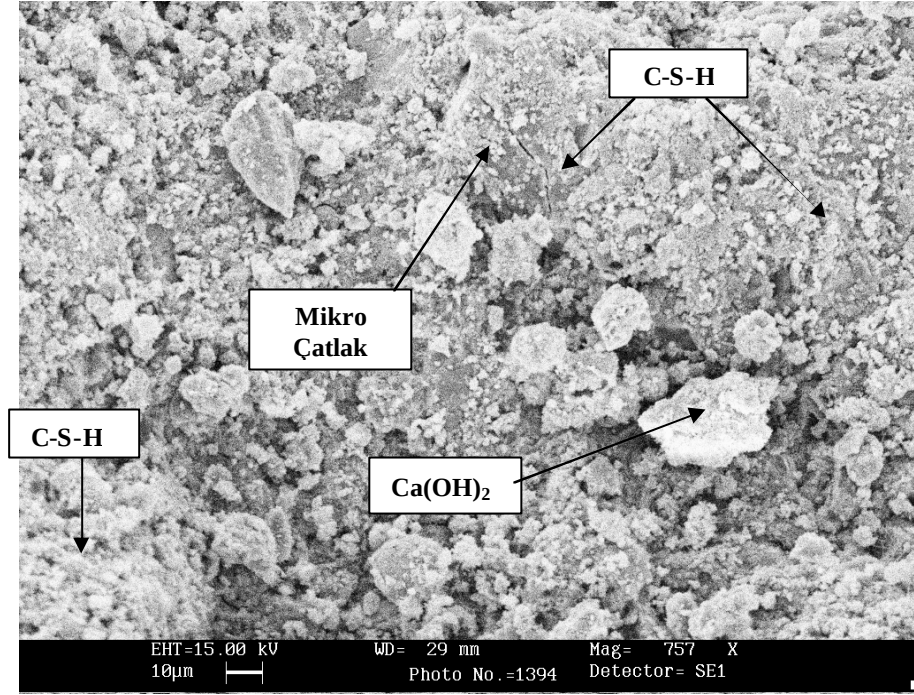


(a)

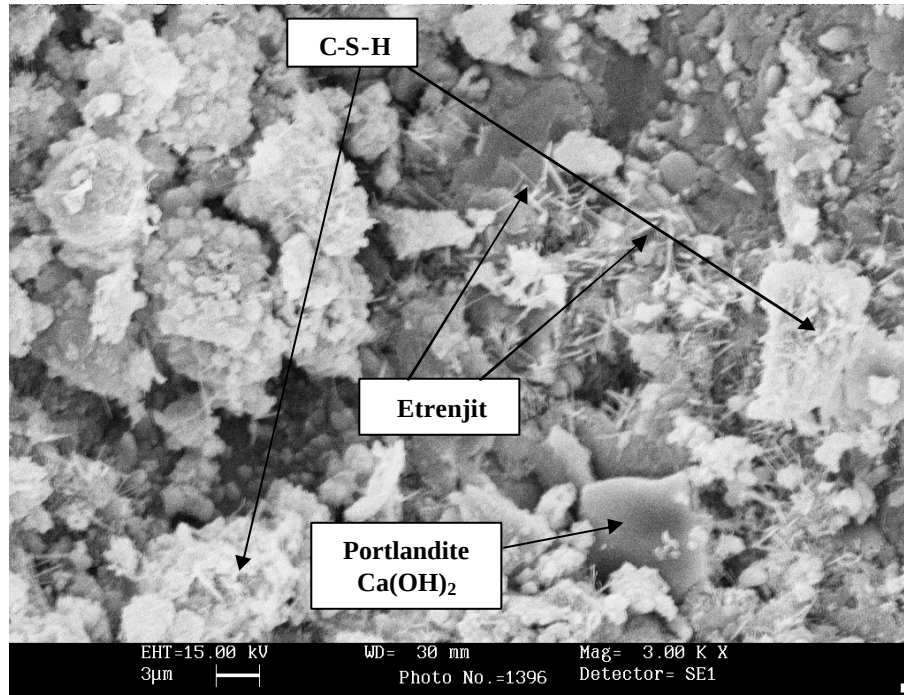


(b)

Sekil 4.9 % 90 CEM1 42.5 + % 5 AEUK + % 5 V.C. Hamurunun 28. Gün Mikroyapisi

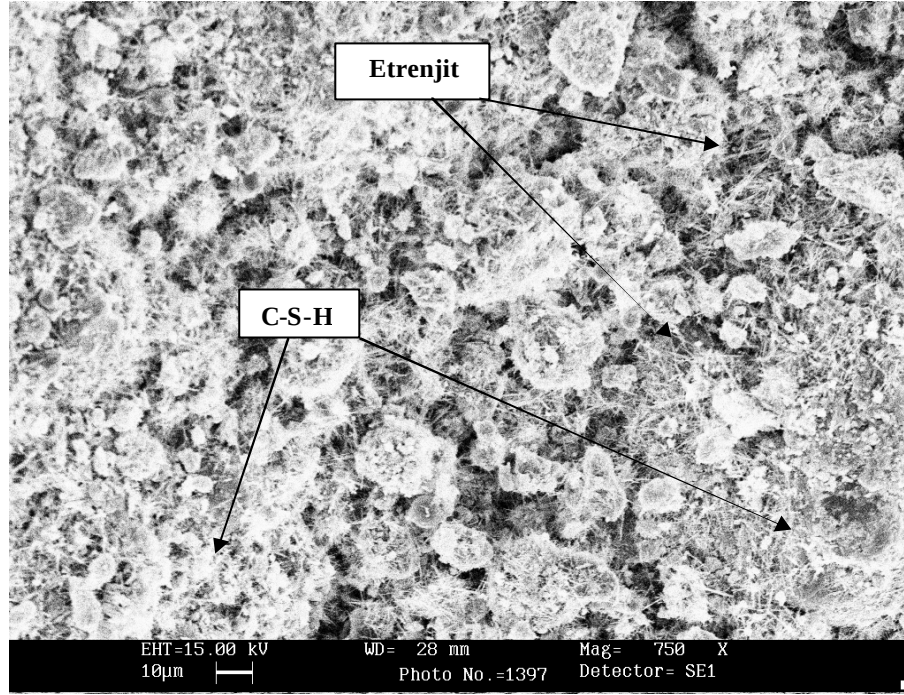


(a)

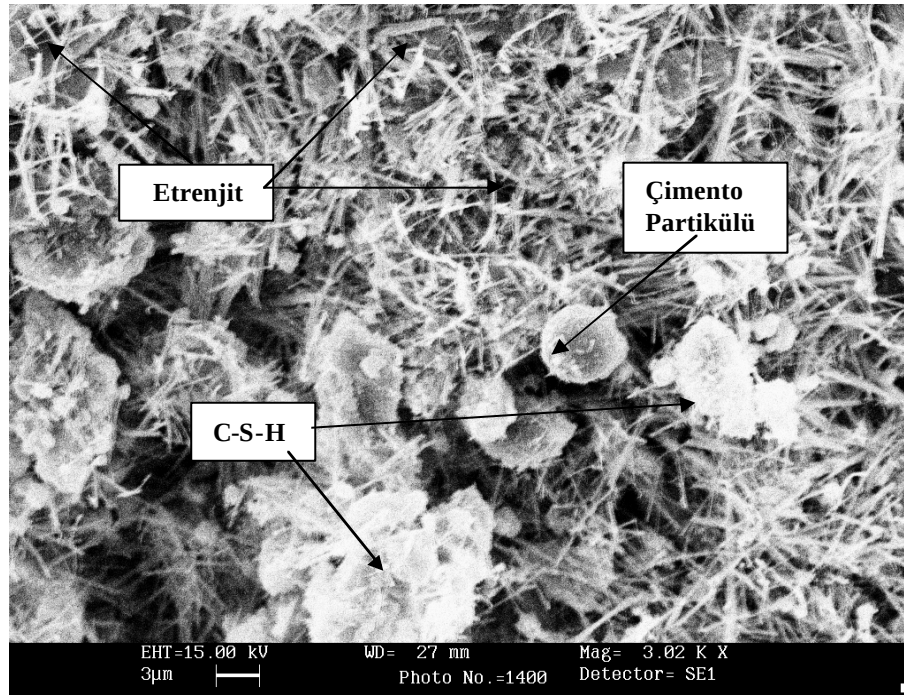


(b)

Sekil 4.10 % 80 CEM1 42.5 + % 10 AEUK + % 10 V.C. Hamurunun 28. Gün Mikroyapisi

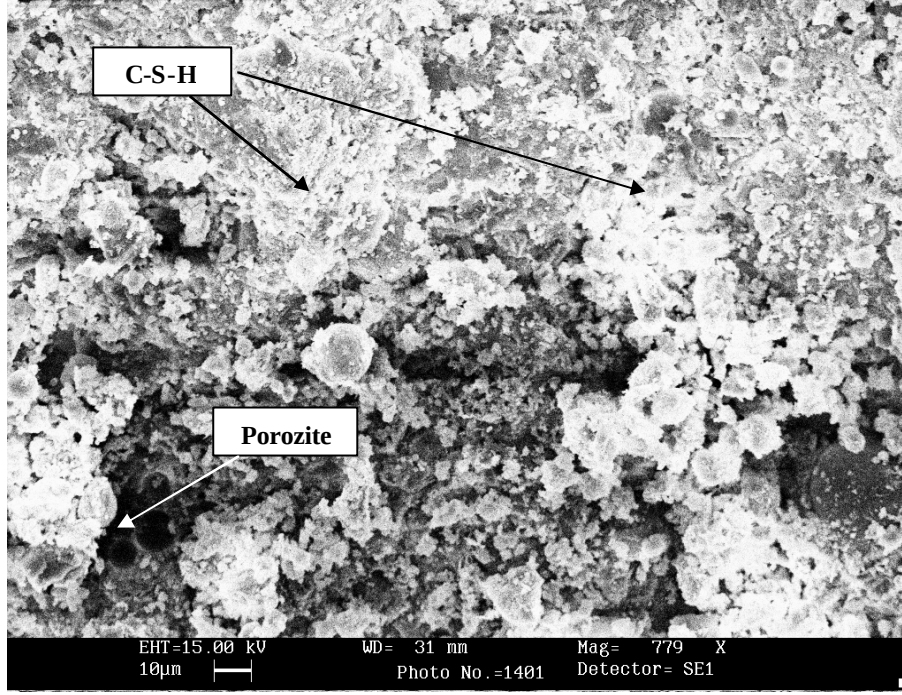


(a)

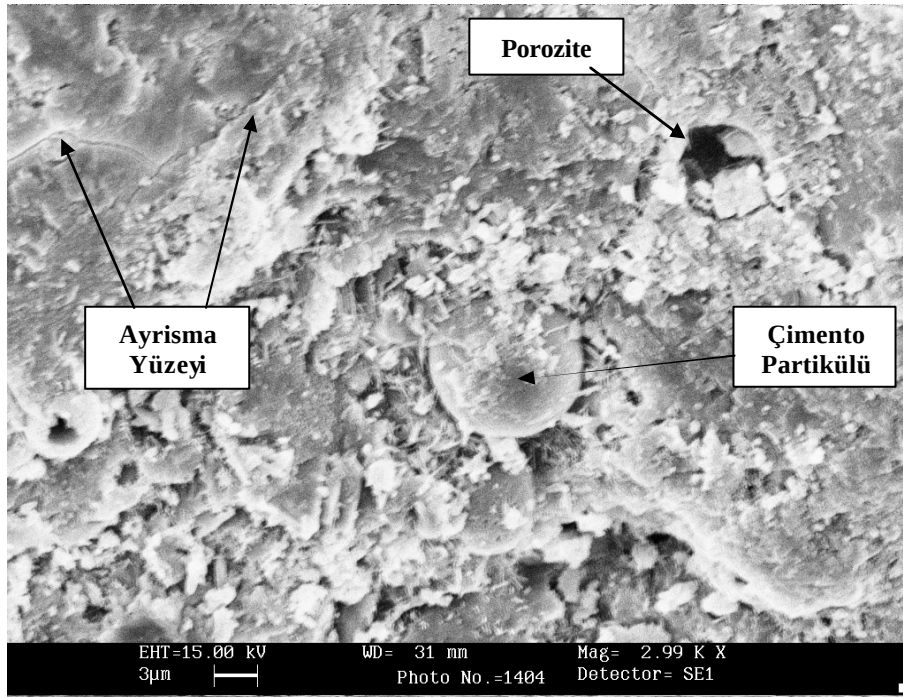


(b)

Sekil 4.11 % 60 CEM1 42.5 + % 20 AEUK + % 20 V.C. Hamurunun 28. Gün Mikroyapisi



(a)



(b)

Sekil 4.12 % 60 CEM1 42.5 + % 20 AEUK + % 20 V.C. Hamurunun 56. Gün Mikroyapisi

SEM resimleri incelenen beton numunelerinde ilk yaslarda mineral katkı miktarinin artmasiyla dogru orantili olarak etrenjit miktarinin da arttigi gözlemlenmistir. %100 CEM1 42,5 çimentosuyla üretilmis numunenin SEM resmi incelediginde görülen etrenjit miktarı yok denecek kadar azdır. Toplam mineral katkı miktarı %40 olan numune, %100 CEM1 42,5 çimentosuyla üretilmiş numuneye göre Al_2O_3 miktarı bakımından %65, SO_3 miktarı bakımından ise %90' lara varan oranda artış göstermektedir (Çizelge 4.5). Dolayisiyla artan mineral katkı miktarıyla dogru orantili olarak etrenjit miktarinin arttigi görülmüştür. Karma oksitlerin hidratasyonları neticesinde oluşan $Ca(OH)_2$ ' ler ortamda fazlaca bulunan Al_2O_3 ve SO_3 lerle hızlı şekilde tepkimeye girerek etrenjit oluşumuna neden olmuştur. İlerleyen yaslarda mineral katkılardan gelen serbest silisler aktif hale geçmiş, yumusak bir dokusu olan etrenjit içerisindeki $Ca(OH)_2$ ' lerle reaksiyona girmiş ve G-S-H jeline benzer yapıdaki jeli oluşturmuştur. Genellikle igne kristalli etrenjit formları erken hidratasyon sırasında boşluk içerisinde oluşurlar. Bu formların daha sonra bozulmaya neden oldukları bilinir; belirli bir boşluk içerisindeki bu kristal formları çöker (bozulur) su alır ve siserler (Sarkar S.L., Xu Aimin, Jang D., 2001).

Sonuç olarak, hem ilk yaslarda mevcut olan etrenjit mineralleri çözülmüş hemde numunenin dayanım gelişimi ve dolayisiyla mukavemetinin arttigi gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Beton maliyeti agrega, su ve çimento dışında, çimentonun belli bir miktarı yerine bağlayıcı olarak uçucu kül ve volkanik cüruf gibi mineral katkıları ilave edilerek önemli oranlarda düşürülebilmektedir. Uçucu kül, volkanik cüruf gibi suni ve doğal mineral katkıların ilave miktarları karışım miktarlarına göre değişiklik göstermektedir.

Asınma:

Beton karışımında kullanılan agregalar üzerinde yapılan Los Angeles asınma dayanımı sonucunda 100 devirde asınma oranı ortalama olarak %3,3, 500 devirde ise ortalama %12,9 olarak bulunmuştur. TS 706'da 100 devir sonucunda müsaade edilen max. sınır ise %50' dir. Numuneler asınma oranları müsaade edilen bu sınırların çok altında olduğu için beton yapımında kullanmaya uygundur.

Basınç Dayanımı:

Slumları birbirlerine yakın değerlerde üretilen betonlarda 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları mineral katkı miktarları %10 ve %20 olan numunelerde katkısız betonla hemen hemen aynı değerlerde bulunmuştur. Toplam mineral katkı oranı %30 olduğu zaman ilk dayanımı düşük çıkan numunelerde, ihtiva ettiği mineral katkıların kimyasal yapısında bulunan SiO_2 sayesinde, ileri yaşlarda katkısız betonlara veya daha az katkılı betonlara göre daha hızlı dayanım gelişimi elde edilmiştir. Örneğin. 28. ve 56. günlerde aradaki farkı kapatarak makul düzeydeki basınç dayanıma ulaşmıştır. Toplam mineral katkı oranı %40 olduğunda ise (%20 AEUK + %20 VC) ilk dayanım düşük çıkmış fakat yüksek dayanım gelişimi sebebiyle ileri yaşlarda (28. ve özellikle 56. günlerde) numuneler basınç dayanımı bakımından iyi bir artış sağlamıştır. Basınç dayanım gelişiminin bir süre daha devam edeceği düşünülse de toplam mineral katkı %40 olduğunda elde edilen basınç dayanımlarının diğer karışımlara oranla düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Katkısız referans betonun 56 günlük dayanımı 51 MPa iken; %10 mineral katkıyla üretilen betonun 56 günlük basınç dayanımı 49,99 MPa, %20 mineral katkı ile üretilen betonun 56 günlük dayanımı 48,79 MPa, %30 mineral katkı ile üretilen betonun 56 günlük basınç dayanımı 46,71 MPa' dir. Bütün bu değerlere karşılık %40 mineral katkı kullanılarak betonun 56 günlük basınç dayanımı ise yüksek dayanım gelişimine rağmen 42,87 MPa'da kalmıştır.

Egilmede Çekme Dayanımı:

Egilmede çekme testine tabii tutulan numunelerde dayanım bakımından aynı sıralama bozulmamıştır. 56 günlük eğilmede çekme dayanımları göz önüne alındığında katkısız betonla üretilen numune 6,01 MPa, %10 mineral katkı ilavesi yapıldığı zaman 5,79 MPa, %20 mineral katkı ilavesi yapıldığı zaman 5,75 MPa, %30 mineral katkı ilavesi yapıldığı zaman 5,43 MPa bulunmuştur. %40 mineral katkı ilavesiyle üretilen betonlarda ise ortalama 5,25 MPa'da kalmıştır. Sonuç olarak tüm karışımların eğilmede çekme dayanımı sonuçları özellikle mineral katkılı betonların yüksek dayanım gelişimi göstermesinden dolayı birbirine yakın çıkmıştır.

Geçirimsizlik (Permabilite):

Katkısız beton numuneleri ortalama 0,5 mm su geçirgenliği göstermiştir. TS EN 12390-8 standardına uygun şekilde yapılan deneylerde %10 mineral katkılı betonlarda 0,9 mm, %20 mineral katkılı betonlarda 3,6 mm, %30 mineral katkı ilaveli betonlarda 4,1 mm, %40 mineral katkı ilaveli betonlarda ise 5,1 mm su geçirimsizliği değerleri bulunmuştur. Değerlerde

görüldüğü gibi katkı miktarı arttıkça, düşük miktarlarda da olsa su geçirim değeri fazlalamaktadır.

Donma Çözülme Dayanımı:

Arastırmanın donma-çözülme testi bölümünde, donma-çözülme etkisi altında numunelerin ağırlık ve basınç dayanımlarında düşmeler saptanmıştır. Donma-çözülme etkisiyle beraber mineral katkıların toplam miktarı arttıkça ağırlık kaybı ve basınç dayanımındaki düşüş artmaktadır. CEM 1 42,5 çimentosu kullanılarak hazırlanmış referans betonların donma-çözülme karsi gösterdiği direnç, katkıli betonlara göre daha yüksektir. CEM 1 42,5 ile yapılan numunelerin dayanımındaki azalma %7,59, %10 katkıli betonda %8,23, %20 katkıli betonda %10,61, %30 katkıli betonda %15,44, %40 katkıli betonda %17,80 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler standardin öngördüğü donma-çözülme neticesinde oluşacak max. %20 basınç kaybı değerinin altında olduğu görülmüştür. Bu sonuca bağlı olarak donma-çözülmenin fazlaca görüldüğü karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde katkı miktarı fazla olan beton karışımları tavsiye edilmemektedir.

Yüzey Asınması Dayanımı:

Zemin döşemesi için beton kaplama blokları-gerekli şartlar ve deney metotları standardına göre yapılan yüzey asınmalarına karsi beton numunelerinin gösterdiği direnç deneyine göre katkısız çimento ile yapılan numuneler ortalama olarak 50 cm' de 2,28 cm³, toplam %10 mineral katkı ile üretilen numunelerin ortalama 50 cm' de 2,70 cm³, toplam %20 mineral katkı ile üretilen numunelerin 50 cm' de 2,93 cm³, toplam %30 mineral katkı ile üretilen numunelerin 50 cm' de 3,39 cm³ ve toplam %40 mineral katkı ile üretilen numunelerin ortalama 50 cm' de 3,90 cm³ asınma kaybı gösterdiği bulunmuştur. Buna bağlı olarak katkı miktarı arttıkça belli oranlarda asınma kaybının da arttığı gözlemlenmiştir. Fakat TS 2824 EN 1338' de max. asınma kaybı 18 cm³ olarak belirtildiği için tüm numuneler yüzey asınması bakımından uygun niteliklere sahiptir.

Kimyasal Ortamlara Karsi Dayanıklılık:

Mineral katkıli betonların kimyasal ortamlarda dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. 13 ay %5 Na₂SO₄ ortamında bekletilen, %100 CEM I çimentosu ile üretilen numunede ortalama dayanım değişimi % -11,65, toplam %10 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %14,17, %20 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %19,21, %30 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %26,38, toplam %40 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %29,90 bulunmuştur. 13 ay %5 MgSO₄ ortamında bekletilen, %100 CEM I çimentosu ile üretilen numunede ortalama dayanım artışı %-7,79, toplam %10 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %19,93, %20 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %25,91, %30 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %32,03, toplam %40 mineral katkıli üretilen numunede dayanım artışı %38,89 bulunmuştur.

Bu sonuçlar mineral katkılar kullanılarak üretilen numunelerin yüzey bölgelerinde oluşan bir miktar asınma kaybına rağmen kimyasal ortamlara karsi, katkısız olarak üretilen beton numunelerine göre daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Boyca Değişim:

Boyca değişim değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneyde katkı miktarları arttıkça boyca değişim miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. %100 CEM 1 42,5 kullanılarak hazırlanan numunelerin boyca değişimi 0,094 mm, %10 mineral katkı kullanılarak hazırlanan numunenin boyca değişimi 0,07 mm, %20 mineral katkı kullanılarak hazırlanan numunenin

boyca değişimi 0,059 mm, %30 mineral katkı kullanılarak hazırlanan numunenin boyca değişimi 0,05 mm ve %40 mineral katkı kullanılarak hazırlanan numunenin boyca değişimi 0,04 mm olarak tespit edilmiştir. Aynı numunelerin sırasıyla boyca değişim yüzdeleri 0,022, 0,018, 0,15, 0,011 ve 0,011 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler standartta verilen max. %0,1 boy değişiminden daha az olduğu için deney numuneleri boyca değişim değerleri bakımından uygun sonuçlar vermiştir.

Alkali-Agrega Reaksiyonu:

Kullanılan agregalardan gelmesi muhtemel aktif silislerin ve çimentodan gelebilecek alkali bileşiklerin vereceği alkali silika reaksiyonu neticesinde oluşabilecek alkali-agrega reaksiyonu ihtimaline karşılık, TS 2517 ye uygun olarak yapılan alkali agrega reaktivitesi deneyi neticesinde alkali azalmasının olmadığı, çözülen silis değerinin de 3,1 mmol/lit olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla agregamız TS 2517 de verilen limit değerlere uygun silis içermekte ve zararsız agregalar grubuna girmektedir.

Mikroyapi Analizi:

Elektron mikroskop taramalarından, uçucu kül ve volkanik cüruf mineral katkılı betonların katkısız olarak %100 CEM1 42,5 çimentosu ile üretilenlere göre çok daha durabil olduğu, özellikle ileri yaşlarda mineral katkılardan gelen silislerin ortamda bulunan Ca(OH)_2 lerle tepkimeye girerek C-S-H jellerinin miktarını artırarak süreklilik göstermesini ve etrenjit oluşumlarını engellendiği ve hatta oluşan etrenjitlerinde çözünerek ortamı terk etmesini sağladığı gözlemlenmiştir.

Bu deneyler neticesinde, kimyasal içerik olarak beton yapımında kullanılmaya uygun olmayan Afsin-Elbistan uçucu külünün, Hatay-Akbaz yöresi volkanik cürufuyla birlikte kullanılmasıyla, betonda kullanıma uygun hale geldiği ve atık haldeki bu külün ülke ekonomisine kazandırılabilceği görülmüştür.

Sonuç olarak, araştırmada yapılan deneyler neticesinde, donma-çözülme döngüsünün çok sık olduğu özellikle karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgeler haricindeki her türlü ortam koşullarında beton üretiminde mineral katkı kullanımının, dayanım ve dayanıklılık ve aynı zamanda ülke ekonomisine fayda bakımından uygun olduğu gözlemlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- AKMAN, M.S, 1994, Trasli Çimento Nedir? Ne Degildir? TMMOB Insaat Mühendisleri Odasi Yayini. Panel, s:55, Ankara.
- AKSOGAN, O., BINICI, H., GÖRÜR, E.B., 2005. Yüksek Firin Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkili Betonların Deniz Yapılarında Kullanilmasinin Beton Durabilitesi Açısından Avantajlari. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt:20, sayi:2, sf:59-65. Adana.
- ALDEA, M., 2000. Permability of Cracked Steel Fiber-Reinforced Concrete, Technical Report Number 115. Natronal Institue of Statistical Sciences, USA.
- ARICI, E., 1997. Van Yöresindeki Volkanik Tüfün Beton Mukavemetine Etkisi ve Tasiyici Hafif Beton Agregasi Olarak Kullanilabilirliĝinin Arastirilmesi. Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapi Egitimi Ana Bilim Dalı. Elazig. sf:17-23
- ATIS, C., 2000. Afsin-Elbistan Termik Santralinden Elde Edilen Uçucu Külün Beton İçinde Kullanilabilirliĝi, Münferit Proje, Çukurova Üniversitesi Arastirma Fonu Saymanliĝi, Proje No: M.M.F. 2000. 21.
- BINICI, H., 2002. PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karisimlerinin Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Insaat Mühendisliĝi Ana Bilim Dalı. Adana.
- DİNÇER, R., ÇAGATAY, I., 2004. Uçucu Kül, Çelik Lif ve Pomza İçeren Betonların Mekanik Özellikleri. Ç.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi, Sayı: 19 (2). S. 261-279, Adana.
- DORUK, M., 1974. Volkanik Tüflerin Karayolu Yapiminda Kullanilmasi Ile Ilgili Bir Çalışma. Karayollari Genel Müdürlüğü Arastirma Fen Heyeti Müdürlüğü.
- DURSUN, Ö.F., 2002. Degisik Cins Puzolan Katki İçeren Çimentolarla Üretilen Betonlarda Dona Dayaniklilik Degisiminin Incelenmesi. Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Insaat Mühendisliĝi Ana Bilim Dalı.
- DUVAL, R., KADRI, E.H., 1998. "Influence Of Silica Fume On The Workability and Compressive Strength Of High Performance Concretes" Cement and Concrete. 533-547.
- EKINCI, C.E. ve YEGINOBALI, A., 1995. Silis Dumanli Betonlarda Sürtünme Yolu Ile Asinma Kaybi. Insaat Mühendisliginde Gelismeler; Ikinci Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, Istanbul.
- ERDOGAN, T.Y., 2003. Beton. METU Press, Ankara.
- ERDOGAN, T.Y., 2004. Sorular ve Yanitlariyla Beton Malzemeleri. Türkiye Hazir Beton Birliĝi Yayinlari, Istanbul.

- GÖRÜR, E. B., 2007. Yüksek Firin Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkili Betonların Durabilite Özellikleri. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş. sf: 4-7.
- GÜLSEN, H., 2004. Bazaltik Pomzanın Hafif Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- HAQUE, M.N., KAYALI, O., 1998. Properties of High-Strength Concrete Using a Fine Fly Ash. *Cements and Concretes Research*, p. 1445-1452.
- HIÇYILMAZ, C., ALTUN, N.E., 2005. Pomzanın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılma Olanaklarındaki Son Gelişmelerin ve Kosullarının Değerlendirilmesi. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, sf:159, Denizli.
- KILINÇKALE, F.M., 1999. Çeşitli Puzolanların Puzolanik Aktivitesi ve Bu Puzolanlarla Üretilen Harçların Dayanımı. *IMO Teknik Dergi*, cilt:10, sayı:2
- KOÇU, N., 2005. İnşaat Sektöründe Puzolanik Aktiviteye Sahip Tüflerin Kullanılması ve Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi. Sf:95, Denizli.
- MCCARTHY, M. J., DHIR, R.K. 2005. Development of High Volume Fly Ash Cements For Use In Concrete Construction. *Fuel* 84. p:1423-1432
- MEHTA, P.K., 1986. *Concrete, Structure, Properties and Materials*, Prentice Hall Inc. 145s.
- NEHDI, M., HAYEK, M., 2005. Behavior of Blended Cement Mortars Exposed to Sulfate Solutions Cycling in Relative Humidity. *Cement and Concrete Research*, 35, p: 731-742.
- ÖZKUL, H., TASDEMİR, M. A., TOKYAY, M., UYAN, M., 2004. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- POSTACIOĞLU, B. 1987. Beton (Agregalar, Beton) Cilt II. Teknik Kitaplar Yayınevi. İstanbul.
- RAMACHANDRAN, V. S., FELDMAN, R. F., 1995. *Concrete Handbook*. William Andrew Publishing, Noyes. p: 4-10
- SARKAR, S. L., XU A., JANG, D., 2001. Scanning Electron Microscopy, X-Ray Microanalysis of Concretes. William Andrew Publishing, Noyes From.
- SEMİZ, B., ÖZPINAR, Y., DÖNMEZ, H., 2005. Denizli Volkanitlerinin Özellikleri ve Beton Üretiminde Kullanılabilirliği. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimler Dergisi, cilt:11, sayı:1, sf:63-70. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

- SEVİM, U.K., 2003. Afsin-Elbistan Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkisi Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçlarının Üzerinde Yapılan Deneylerle Arastırılması, Doktora Tez Projesi, Proje No: FBE 2002 D 179, 2003.
- SIDDIQUE, R. 2004. Performance Characteristics Of High-Volume Class F Fly Ash Concrete. s.487-493
- TEMİZ, H., 1997. Uçucu Kül ve Silis Dumanının Birlikte Katıldığı Harcin Özellikleri. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı. Doktora Tezi, Elazığ.
- TOUTANJI, H.A., BAYASI Z., 1995. Effect of Curing Procedures on Properties of Silica Fume Concrete. Cement Concrete Research, 29, 497-501.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento-Bölüm1: Genel Çimentolar-Bilesim, Özellikler ve Uygunluk Kriteri, TSE, Ankara.
- TS EN 450-1, 2006. Uçucu Kül Betonda Kullanım İçin-Bölüm1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriteri, TSE, Ankara.
- TS 3456, 1984. Betonda Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri, TSE, Ankara.
- TS EN 1008, 2003. Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2000. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TSE, Ankara.
- TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara
- TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm6: Tane Yönelimi ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, TSE, Ankara.
- TS EN 196-3, 2002. Çimento Deney Metotları-Bölüm3: Priz Süresi ve Hacim Genleşme Tayini, TSE, Ankara.
- TS 12390-3, 2003. Beton. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-4, 2002. Beton. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm4: Basınç Dayanımı- Deney Makinelerinin Özellikleri, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2002. Beton. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımlarının Tayini, TSE, Ankara.

- TS EN 12390-8, 2002. Beton. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS 639, 1975. Uçucu Küller-Çimentoda Kullanılan, TSE, Ankara.
- TS 3068, 1978. Laboratuvarlarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, TSE, Ankara.
- TS 3114, 1990. Beton Basınç Mukavemeti Tayini, TSE, Ankara.
- TS 3655, 1981. Beton Numunelerinde Donatı Dayanıklılık Tayini, TSE, Ankara.
- TS 3322, 1979. Çimento Harcı ve Beton Numunelerinde Boy Değişim Tayini, TSE, Ankara.
- TS 2517, 1979. Alkali Agregat Reaktivitesinin Kimyasal Yolla Tayini, TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-1, 2002. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm1: Numune Alma, TSE, Ankara.
- TS 2824 EN 1338, 2005. Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, TSE, Ankara.
- TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAS F., YEGINOBALI, A., 2004. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. TÇMB/ AR-GE/ Y03.03. sf:1-17. Ankara.
- YAZICIOĞLU, S., BOZKURT, N., 2005. Pomza Tasi İle Elde Edilen Tasiyici Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, sf:153, Denizli.
- YAZICIOĞLU, S., DEMİREL, B., 2005. Elazığ Yöresi Pomzasının Katkı Maddesi Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, sf:245, Denizli.
- YEGINOBALI, A. 2001a. Silis Dumanı ve Çimento İle Betonda Kullanımı. TÇMB/AR-GE/Y01.01. 48s. Ankara.
- YEGINOBALI, A. 2002. Ulusal Beton Yollar Kongresi Konuşma Metinleri. T.M.Ç.B. Ankara. s.7-63.
- ZÜLKADİROĞLU, Ö.F., 2006. C ve F Sınıfı Uçucu Kül Katkili Betonların Yol Kaplama Betonu Olarak Kullanılabilirlik İmkanlarının Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Kahramanmaraş.

ÖZGEÇMİS

1977 yılında Adana’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adana ve İstanbul’ da, lise öğrenimini ise İçel Sabancı Süper Lisesi’ nde tamamladı. 1996 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlayıp 2000 yılında mezun oldu. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’ nde başladığı yüksek lisans eğitimini 2003 yılında tamamladı. 2003-2006 yılları arasında Çimsa Çimento ve Beton San. Tic. A.S.’ ye bağlı, Kayseri Çimsa Hazır Beton Tesisinde İşletme Mühendisi olarak görev yaptı. 2007 Subat ayında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda başladığı yüksek lisans eğitimine ve 2006 yılında Sube Sefi olarak başladığı Çimko Çimento ve Beton San. Tic. A.S.’ ye bağlı olarak faaliyet gösteren, Çimko Beton Kahramanmaraş Subesindeki görevine devam etmektedir.