

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SU GEÇİRİMSİZ BETON TASARIMI VE ÖRNEK UYGULAMALAR

İnş. Müh. Halil İbrahim YAVUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 05.07.2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

Trabzon 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Su Geçirimsiz Beton Tasarımı ve Örnek Uygulamalar” isimli bu çalışmayı bana önererek, diğer önemli görevlerine rağmen, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam sayın Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU'ya şükran ve saygılarımı sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim sırasında derslerimi aldığım, her konuda yardımlarını ve zamanını esirgemeyen, görüş ve önerilerinden yaralandığım hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETCİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında büyük yardımlarını gördüğüm DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol Laboratuvarı ile DSİ TAKK Dairesi Beton-Malzeme ve Kimya Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca bana olan inançlarını kaybetmeksizin maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, her zaman yanımda olan ailemin tüm bireylerine şükranlarımı sunarım.

Halil İbrahim YAVUZ

Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Su Geçirimsiz Beton Tasarımı ve Örnek Uygulamalar” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.20/05/2011

Halil İbrahim YAVUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beton ve Özellikleri.....	1
1.3. Betonun Su Emme ve Geçirimsizlik Özelliği.....	3
1.3.1. Giriş	3
1.3.2. Betonda Mevcut Boşluklar	4
1.3.3. Beton İçine Sızan Suların Etkileri	6
1.3.4. Betonun Geçirimsizliğine Etkiyen Faktörler	7
1.3.5. Geçirimsiz Beton Üretmek İçin Gerekenler	8
1.4. Agrega.....	9
1.4.1. Giriş	9
1.4.2. Agregaların Özellikleri	10
1.4.2.1. Genel Özellikler.....	10
1.4.2.2. Agreganın Fiziksel Özellikleri.....	10
1.4.3. Agregaların Sınıflandırılması	11
1.4.4. Agrega Granülometrisi	12
1.5. Çimento.....	12
1.5.1. Çimentonun Tanımı ve İlk Çimentolar.....	12
1.5.2. Portland Çimentosu	13
1.6. Su.....	15
1.7. Kimyasal Katkı Maddeleri.....	17

1.7.1.	Kimyasal Katkı Maddeleri Tanımı	17
1.7.2.	Kimyasal Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması	18
1.8.	Puzolanlar	20
1.8.1.	Tanımı ve Genel Özellikleri	20
1.8.2.	Sınıflandırılması	21
1.8.2.1.	Doğal Puzolanlar	22
1.8.2.1.1.	Tras	22
1.8.2.2.	Yapay Puzolanlar	23
1.8.2.2.1.	Uçucu Kül.....	23
1.9.	Barajlarda Su Geçirimsiz Beton Uygulamaları	26
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1.	Beton Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	28
2.1.1.	Agrega Özellikleri ve Yapılan Deneyler	28
2.1.1.1.	İnce ve İri Agregalarda Elek Analizi	28
2.1.1.2.	Küçük Boyutlu İri Agregaların Los Angeles Bilyeli Tambur Cihazında Aşınma Etkilerine Karşı Dayanıklılık Tayini.....	29
2.1.1.3.	Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini (İri Agregada)	30
2.1.1.4.	Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini (İnce Agregada)	31
2.1.1.5.	Mineral Agregada 75µm (#200) Elekten Geçen İnce Madde Oranı Tayini (Yıkama Yolu ile).....	32
2.1.1.6.	Beton Agregalarda Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Tayini (Sodyum Sülfat ile).....	33
2.1.2.	Çimento Özellikleri	38
2.1.3.	Tras ve Uçucu Kül Özellikleri.....	40
2.1.4.	Kimyasal Katkı Maddelerinin Özellikleri	41
2.1.5.	Beton Karma Suyu Deneylerinin Yapılması	42
2.2.	Çalışma Kapsamında Üretilen Betonların Bileşimi.....	43
2.2.1.	Akışkanlaştırıcı Tipine Göre Dökülen Betonlar	43
2.2.2.	Çimento Tipine Göre Dökülen Betonlar	44
2.2.3.	Uçucu Kül Kullanımına Göre Dökülen Betonlar	45
2.2.4.	Tras Kullanımına Göre Dökülen Betonlar.....	45
2.2.5.	Uygulanan Basınca Göre Dökülen Betonlar.....	46
2.3.	Beton Numunelerin Hazırlanması ve Kür Edilmesi	47
2.4.	Beton Numunelerin Hazırlanması ve Kür Edilmesi	49

2.4.1.	Basınç Altında Su İşleme Derinliği Tayini Deneyi	49
2.4.2.	Basınç Dayanımı Testi.....	51
3.	BULGULAR VE İRDELEME	52
3.1.	Değerlendirme Kriterleri ve Sonuçlar	52
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
5.	KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

SU GEÇİRİMSİZ BETON TASARIMI VE ÖRNEK UYGULAMALAR
Halil İbrahim YAVUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU
2011, 80 Sayfa

İnşaat mühendisliğinin ana görevi yaşamın tüm alanlarının gereksinimini sağlayacak yapılar inşa etmektir. Yapıların inşasında kullanılan en önemli argüman şüphesiz betondur. Betonda aranan en önemli özellik yüksek mekanik mukavemete sahip olması ve bu özelliğini zamanla kaybetmemesidir. Beton doğal bir malzeme olmayıp çoğu zaman arazi koşullarında üretilen yapay bir malzemedir. Bu nedenle betona istenilen özellikler, farklı mineral ve kimyasal maddeler kullanılarak verilebilir. Dayanıklı bir beton üretiminde göz önüne alınan önemli faktörlerden biri betonun geçirimsiz olmasıdır. Geçirimsizlik deyince akla ilk gelen akışkan yani su ve buhar geçirimsizliğidir. Çünkü boşluklu yapıda olan betonun fiziksel ve kimyasal olarak bozulmasının en önemli etkeni sudur. Sertleşmiş beton içindeki sürekli ağ biçimindeki kılcal boşluk sistemi su geçirimsizliğinin nedenidir. Bu boşlukların çap büyüklüğüne bağlı olarak yüksek veya düşük miktarda su geçirimsizliği problemi ile karşılaşırız. Geçirimsizlik üzerine pek çok faktör etki eder. Bu faktörlerin en önemlileri çimento miktarı ve su/çimento oranıdır. Betonun su işleme özelliği incelenirken farklı çimento tiplerinin etkisi, kimyasal katkı maddeleri ile uçucu kül ve trasın etkileri araştırılmıştır. Farklı basınçların betonun su işleme derinliğine etkisi de ölçülmüştür.

Bu çalışmada, birinci bölüm genel bilgiler bölümü olup beton ve bileşenleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir. İkinci bölümde kullanılan agrega, çimento, su, kimyasal ve mineral katkı maddelerinin özellikleri ile yapılan uygunluk deneylerinin metodları ve sonuçları hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde yapılan deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırılmalı olarak irdelenmesi yer almaktadır. Çalışmanın bütününden çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler dördüncü bölümde özetlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, su işleme derinliğinin azalması, su/çimento oranının azalması ile gerçekleşmektedir. Ayrıca çimentodaki puzolan miktarı ile uçucu kül ve tras miktarının artmasının da betonun basınç altında su işleme derinliğini azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mineral katkılar, permeabilite, su penetrasyonu, kimyasal katkılar, durabilite

Master Thesis

SUMMARY

IMPERMEABLE CONCRETE DESIGN AND CASE STUDIES

Halil İbrahim YAVUZ

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Civil Engineering Graduate Program

Supervisor: Prof. Şakir ERDOĞDU

2011, 80 Pages

The main task of civil engineering is to build structures that will ensure the need for all areas of life. Undoubtedly one of the most important materials used in the construction of structures is concrete. The most important feature sought for concrete is to have a high mechanical strength and not to lose it in time. Concrete is not a natural material an artificial material often used . Therefore, the required concrete properties can be given by using different mineral and chemical substances. One of the most important factors taken into consideration in producing a durable concrete is by imperviousness concrete. When you talk about imperviousness what comes in to the mind first is fluidly; that is water and steam imperviousness. Because the most important factor in the physical and chemical degradation of porous structured concrete is water. Constant network formed capillary gap system in the hardened concrete is the cause of water permeability. Depending on the diameter size of this gap we encounter the problem of high or low amounts of water permeability. Many factors will have an effect on permeability. The most important of these factors is the amount of cement, and water/cement ratio. Developments in concrete technology bring new solutions to maintaine tightness in water structures. Examining the concrete water processing, the effect of different types of cement, chemical additives, fly ash, and trass is investigated. The effect of different pressures on the depth of the water penetration in concrete were also measured.

In this study, the first chapter is the general information section which gives an overview of the concrete and its components. In the second section information is given on the properties of aggregate, cement, water, chemical and mineral additives used and methods and results of suitability tests. In the third section, the results of the experiments, are comparatively examined. The main conclusions and recommendations drawn from the whole of the study is summarized in the fourth chapter. According to the results, decreasing water processing depth is through water/cement ratio reduction. In addition it is seen that increasing the amount of pozzolan in cement and the amount of fly ash and trass reduce the depth of water treatment under pressure.

Key Words: Mineral additives, permeability, water penetration, chemical additives, durability

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Çatalağzı termik santrali uçucu kül depolama tesisi.....	26
Şekil 2.	Atasu barajı önyüz beton uygulaması	27
Şekil 3.	Elek sarsma makinası ve elek takımı	29
Şekil 4.	Los Angeles aşınma kaybı deneyinin yapılması	30
Şekil 5.	Yoğunluk, bağıl yoğunluk ve su emme deneyi seti (İri agregası).....	31
Şekil 6.	Yoğunluk, bağıl yoğunluk ve su emme deneyi için kullanılacak aparat ve düzenek (İnce agregası).....	32
Şekil 7.	İnce madde oranı tayini deneyinin yapılması.....	33
Şekil 8.	Sodyum sülfat don kaybı deneyinin yapılması	35
Şekil 9.	Her tane sınıfına ait tane dağılım eğrileri.....	36
Şekil 10.	Agregası maksimum tane büyüklüğü 31,5 mm olan beton için tuvanan içindeki ince-iri agregası ve tuvanana ait tane dağılım eğrileri	37
Şekil 11.	Beton tasarımı için agregası tane dağılım eğrisi.....	37
Şekil 12.	Su analizlerinin yapılması (iyon kromatografisi ile)	42
Şekil 13.	50 litre kapasiteli betoniyer.....	48
Şekil 14.	Taze betonda çökme deneyi.....	48
Şekil 15.	150x150x150 mm küp numuneler	49
Şekil 16.	Basınçlı geçirgenlik deneyi düzeneği	50
Şekil 17.	Su işleme derinliği	51
Şekil 18.	Basınç dayanımı testi	51
Şekil 19.	1 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	61
Şekil 20.	2 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	62
Şekil 21.	3 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	62
Şekil 22.	4 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	63
Şekil 23.	5 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	63
Şekil 24.	6 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	64
Şekil 25.	7 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği	64
Şekil 26.	8 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	65
Şekil 27.	9 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	65
Şekil 28.	10 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	66

Şekil 29. 11 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	66
Şekil 30. 12 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	67
Şekil 31. 13 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	67
Şekil 32. 14 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	68
Şekil 33. 15 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	68
Şekil 34. 16 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	69
Şekil 35. 17 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	69
Şekil 36. 18 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	70
Şekil 37. 19 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	70
Şekil 38. 20 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	71
Şekil 39. 21 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	71
Şekil 40. 22 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	72
Şekil 41. 23 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği.....	72

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Agrega fiziksel özellikleri.....	35
Tablo 2. Agrega fiziksel özellikleri.....	36
Tablo 3. CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	38
Tablo 4. CEM II/A-M 42,5R (P-LL) çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	39
Tablo 5. CEM II/B-M 42,5N (P-LL) çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	39
Tablo 6. CEM II/A-P 42,5N çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları	39
Tablo 7. Bayburt trası fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	40
Tablo 8. Zonguldak çatalağzı uçucu külü kimyasal analiz sonuçları.....	40
Tablo 9. F sınıfı uçucu küller için ASTM C 618 standardı limitleri.....	41
Tablo 10. Pozzolith MR 27 beton katkı maddesinin özellikleri.....	41
Tablo 11. Rheobuild 1000 beton katkı maddesinin özellikleri	41
Tablo 12. Rheomac 701 beton katkı maddesinin özellikleri.....	42
Tablo 13. Glenium 51 beton katkı maddesinin özellikleri	42
Tablo 14. Beton karma suyu test sonuçları	43
Tablo 15. Akışkanlaştırıcı tipine göre dökülen betonların özellikleri.....	44
Tablo 16. Çimento tipine göre dökülen betonların özellikleri	44
Tablo 17. Uçucu kül kullanımına göre dökülen betonların özellikleri.....	45
Tablo 18. Tras kullanımına göre dökülen betonların özellikleri.....	46
Tablo 19. Uygulanan basınca göre dökülen betonların özellikleri.....	46
Tablo 20. Betonda su işleme derinliğinin değerlendirmesi için kriterler	52
Tablo 21. Akışkanlaştırıcı tipine göre MSİD ve basınç dayanımı	53
Tablo 22. Çimento tipine göre MSİD ve basınç dayanımı.....	54
Tablo 23. Uçucu kül kullanımına göre MSİD ve basınç dayanımı	54
Tablo 24. Tras kullanımına göre MSİD ve basınç dayanımı	55
Tablo 25. Uygulanan basınca göre MSİD ve basınç dayanımı	55

SEMBOLLER DİZİNİ

Al_2O_3	: Alüminyum oksit
$BaCl_2$: Baryum klorür
$Ca(OH)_2$: Kalsiyum hidroksit
CaO	: Kalsiyum oksit
C_2S	: Dikalsiyum silikat
C_3S	: Trikalsiyum silikat
C_3A	: Trikalsiyum alüminat
C_4AF	: Tetrakalsiyum alümino ferrit
C-S-H	: Kalsiyum silika hidrat
Fe_2O_3	: Demir oksit
MgO	: Magnezyum oksit
SO_3	: Kükürt trioksit
SiO_2	: Silisyum dioksit
CEM I 42,5 R	: Yüksek erken dayanımlı portland çimento
CEM II/A-M 42,5 (P-LL)	: Yüksek erken dayanımlı portland kompoze çimento
CEM II/B-M 42,5 N (P-LL)	: Normal erken dayanımlı portland kompoze çimento
CEM II/A-P 42,5 N	: Normal erken dayanımlı portland puzolanlı çimento
ASTM	: Amerikan Standardı
C	: Beton
D_{max}	: Maksimum dane çapı
D-K-Y	: Doygun kuru yüzey
EN	: Avrupa Normu
K/Ç	: Katkı/çimento oranı
S/B	: Su/bağlayıcı oranı
S/Ç	: Su/çimento oranı
P	: Puzolan
pH	: Hidrojen iyonunun eksi logaritması
MSİD	: Maksimum su işleme derinliği
#	: Elek no
μ	: Mikron

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Barınmak için insanlar çeşitli yapılara ihtiyaç duyarlar. Tabiatıta var olan malzemelerin, işlenerek beton elde edilebilecek hale getirilmesi, yapıların planlanıp inşa edilmesi teknik sorumluluk gerektiren bir durumdur. Bu sorumluluğun tam olarak yerine getirebilmesi için yapıları başarı ile planlayıp inşa etmek kadar, kullanılacak bütün malzemelerin özelliklerinin bilinmesi de gerekmektedir. Malzemenin uygun ve nitelikli kullanılması yapının servis ömrünü artırır. Aksi takdirde iyi bir şekilde planlanan ve projelendirilen yapıda, en üstün işçilik de yapılmış olsa, malzemenin standartlarda istenen kriterleri sağlamaması durumunda, yapıdan istenen verim alınamaz.

Yapı sektörü, ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli yenilenme ve değişme sürecindedir. Kısıtlı kaynaklar ve hızla artan maliyetler karşısında gereksinimin karşılanabilmesi, yeni yöntem ve kaynakların araştırılmasını gerektirmektedir [1]. Önceki yıllarda sadece dayanım esaslı beton tasarımı yapmakla yetinilirken, artık günümüzde betonun uzun ömürlü performansı (durabilite) esaslı tasarımlar yapılmaktadır.

1.2. Beton ve Özellikleri

Beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir [2]. Beton başlangıçta plastik kıvamda olup daha sonra çimentonun hidratasyonu sebebi ile sertleşen bir yapıdadır. Bu tanımda agrega dolgu malzemesi, su ve çimento harcı ise agregalar arası boşlukları dolduran, agrega üzerini bir zarf gibi saran ve agrega taneciklerinin birbirini bağlayarak bir kütlenin meydana gelmesini sağlayan bir bağlayıcı malzemedir. Söz edilen malzemeler belli oranda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonu diğer yapı malzemelerinden üstün kılan önemli bir özelliği de istenilen şeklin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır [3].

Günümüzde başta konut yapımında olmak üzere, karayolu, demiryolu, liman, havaalanı, baraj, içme suyu tesisleri, sulama sistemleri, kanalizasyon sistemleri tesislerinde

beton yaygın şekilde kullanılmaktadır. Betonun bu denli yaygın kullanım alanı bulması çelikle büyük bir uyum göstermesi ve teknik özellikleri oldukça yüksek bir yapı malzemesi olan betonarmeyi meydana getirmesidir. Teknolojinin hızla ilerlemesi ve yeni yapı malzemelerinin keşfedilmesine rağmen beton vazgeçilmezliğini sürdürmekte ve önemi giderek daha da artmaktadır. Bunun birkaç nedeni olarak; mühendislik özellikleri ekonomi, ekoloji, enerji tasarrufu sayılabilir. Beton diğer rakip yapı malzemelerine kıyasla üretiminde az enerjiye ihtiyaç duyulan, dayanım ve dayanıklılığı yüksek, maliyeti düşük bileşen malzemeleri doğada bol miktarda bulunan bir yapı malzemesi olup, bu teknik ve ekonomik özelliklerinden dolayı bugün olduğu gibi gelecekte de inşaat sektörünün öncü malzemesi olacağını söylemek mümkündür. Betonun mühendislik özellikleri, kullanılan bileşen malzemelerinin kalitesi ile birlikte, onların daha çok karışım oranlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kullanılan bileşen malzemeleri yeterli özelliklere sahip olmasına rağmen ortaya çıkan betonun yeterli özellikte olmaması sıkça rastlanan bir sonuçtur. Bu sonuç, beton karışımı kurallarının bilinmeden veya önemsenmeden iyi bir betonun ortaya çıkmasını beklemenin büyük bir yanılgı olduğunu en açık şekilde gösterir [4].

Agrega, betonun iskeletini teşkil eder, aynı zamanda çimento hamurunda meydana gelebilecek sünme, büzülme, şişme gibi hacimsel hareketleri en aza indirerek, betonun dayanıklılığının artmasını sağlar [4].

Bu çalışmadaki amaç TS 802 standardına göre beton tasarımı yapılarak elde edilen numuneleri TS EN 12390-8 standardına göre basınç altında su işleme derinliği açısından değerlendirmektir. Bu açıdan kimyasal ve mineral katkı maddelerinin etkinliği gözlenecektir. Bu amaçla çalışma kapsamında TS 706 EN 12620 standardına uygun agregası, TS 3440 standardına göre zararlı etkinlik derecesi zayıf beton karma suyu ile farklı çimento tipi, farklı kimyasal katkı, uçucu kül ve tras kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Eşit miktarda çimento tipi ile modifiye lignin sülfonat esaslı, naftalin sülfonat esaslı ve polikarbosilik eter esaslı beton katkı maddeleri kullanılarak üretilen numuneler, akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesi üzerine etkisinin araştırılmasında kullanılmıştır. Aynı miktarda CEM I 42,5 R, CEM II/A-M 42,5R (P-LL), CEM II/B-M 42,5N (P-LL) , CEM II/A-P 42,5N çimentosu ile üretilen beton numuneleri çimento tipinin beton permeabilitesi üzerine etkisinin araştırılmasında kullanılmıştır. Uçucu kül ve trasın, çimento miktarının % 10, %20, %30'u oranında ikame edilerek kullanılması ile elde edilen beton sonuçları mineral katkı maddelerinin beton permeabilitesi üzerine etkisinin araştırılmasında kullanılmıştır.

Betonun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Taze betonun plastik özelliği nedeniyle, istenilen şekil ve boyutlardaki beton elemanlar kolayca üretilebilmektedir.
- Sertleşmiş beton elemanlar yapıda yerinde üretilebildiği gibi bir fabrikada da önceden üretilebilmekte ve yapıya sertleşmiş beton elemanları olarak getirilip kullanılabilir.
- Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır.
- Sertleşmiş beton oldukça yüksek basınç dayanımına sahiptir. Uygun malzemelerle ve uygun yöntemlerle üretilen betonların basınç dayanımları bazı doğal taşların basınç dayanımlarına yakın değerler gösterebilmektedir.
- Sertleşmiş beton, hizmet gördüğü süre boyunca, çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı diğer yapı malzemelerinin çoğundan daha dayanıklıdır. Bakım işlemleri ve masraf gerektirmemektedir. Ahşap gibi kolayca yanmamakta, çelik gibi kolayca korozyona uğramamaktadır.
- Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilecek kapasitede bir özelliğe sahiptir.
- Beton diğer yapı malzemelerine göre, daha ekonomiktir.
- Beton estetik amaçlarla kullanılmaya uygun özelliktedir.

Basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı, tekrarlı yükler altında yorulma dayanımı, gerilme-birim deformasyon ilişkisi, elastiklik modülü, poisson oranı, ısıl genişleme katsayısı, yoğunluk, betonun zamana bağlı olarak göstereceği büzülme, su ve zararlı maddelerin geçirimsizliği betondan beklenen performanslardır. İnşaat mühendislerinin, bilim adamlarının, iş adamlarının ve betonla ilgili herkesin betonun özelliklerini yeterince tanımaları, karşılaşılan sorunun neler olduğunu ve neden kaynaklandığını çok iyi bilmesi gerekmektedir [2].

1.3. Betonun Su Emme ve Geçirimsizlik Özelliği

1.3.1. Giriş

Agrega tanecikleri arasındaki bütün hacim çimento hamuru ile doldurulmuş ve beton karışımı içerisine gereğinden fazla su konulmamış olsaydı (ki bu uygulamada mümkün

değildir), sertleşmiş beton tamamen su geçirmez olabilirdi. Dolayısıyla, geçirimsiz beton yapmanın ilk şartı beton boşluklarının minimuma indirilmesidir. Oysa iyi bir işlenebilir beton karışımı ancak çimento hidratasyonu için gerekli olandan daha fazla su kullanmak suretiyle mümkün olabilmektedir. Bu fazla su, beton içinde agregalar arasında toplanarak boşluklar oluşturmaktadır. Beton, kalıplara konulduktan hemen sonra çimento tanecikleri ve diğer malzemeler dengede olmadıklarından aşağıya doğru hareket ederek yerleşmek isterler. Bu sırada boşluklar içinde bulunan su da yukarı doğru hareket eder. Plastik yapı içinde bulunan bir kısım su yüzeye kadar ulaşır. İri ve ağır olan agregalar, kararlı bir durum alıncaya kadar dibe çöker. Bu işlem sırasında beton içinde bulunan fazla su agrega parçacıklarının etrafındaki boşluklar içinde toplanır. Bir kısmı da yüzeye kadar çıkar. Sertleşme başladığında beton içinde bulunan fazla su artık katı fazdan ayrılmış ve boşluklar içinde toplanmıştır [5].

1.3.2. Betonda Mevcut Boşluklar

Sertleşmiş betonun su emme kabiliyeti, betonun hizmet süresi boyunca karşılaşılabileceği yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylara dayanıklılığını ve dayanımını etkilemektedir. Betonun su emmesi ve geçirimsizliği sertleşmiş betonun içerisinde yer alan boşlukların toplam miktarına ve bu boşlukların aralarında bağlantı bulunup bulunmamasına bağlıdır. Betonda yer alan boşluk tipleri şunlardır:

- Çimentonun hidratasyonu ile ilgili olarak sertleşmiş çimento hamurunun içerisinde yer alan jel boşlukları ve kapiler boşluklar: Çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum-silika-hidrat jellerinde (C-S-H) yapısal olarak yer alan 0,0000015-0,0000020 mm boyutlu çok küçük boşluklardır. Jel boşluklarında bulunan su -78°C 'de donma göstermektedir. Hidratasyon sonucunda ortaya çıkan jel yapısının %28'ini bu tür boşluklar oluşturur. Kapiler boşluklar ise, çimento hamurundaki çimento tanelerinin arasında yer alan suyun oluşturduğu küçük boşluklardır. İlk zamanlarda bu boşlukların neredeyse tümünün arasında bağlantı bulunmaktadır. Çimento hamurunun içerisinde gelişi güzel dağılım gösteren değişik şekillere ve boyutlara sahip olan kapiler boşlukların ortalama çapı 0,0005 mm kadardır [2]. 50 nm'den büyük kapiler boşlukların dayanım ve geçirimsizlik bakımından zararlı olabilecekleri ancak 50 nm'den küçük kapiler boşlukların sadece kuruma rötresi ve sünme açısından önem taşıdıkları düşünülmektedir [6].

1cm^3 çimentonun hidratasyonu sonucunda üretilen çimento jelinin hacmi $2,1-2,2\text{cm}^3$ kadardır. Ortaya çıkan jel kapiler boşlukların içerisine taşarak yer almaktadır. Bu nedenle hidratasyon ilerlemesi ve daha çok miktarda jel üretilmesi ile kapiler boşlukların hacminde azalma meydana gelmektedir. Böylece, kapiler boşlukların arasındaki bağlantı azalmaktadır.

- Hava sürüklenmiş betonlardaki sertleşmiş çimento hamurunun içerisinde yer alan sürüklenmiş hava kabarcıkları: Çimento hamurunun içerisinde yer alan sürüklenmiş hava kabarcıkları, hava sürükleyici katkı maddelerinin kullanılması sonucunda, istenerek oluşturulmuş olan hava boşluklarıdır. Çimento hamuru tazeyken oluşturulmuş olan bu boşluklar, kararlılık göstermekte ve sertleşmiş çimento hamurunda da yer almaktadır. Sürüklenmiş hava boşlukları küresel şekillidir ve $0,05-1,25\text{mm}$ boyutundadır. Düzenli dağılım gösteren bu boşlukların arasında bağlantı yoktur. Boşluklar arasındaki mesafe genellikle, $0,2\text{mm}$ 'den azdır.
- Taze betondaki terleme nedeniyle, betondaki suyun yüzeye çıkma eğilimi sonucu, sertleşmiş çimento hamurunun içerisinde yer alan boşluklar: Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki su yukarıya çıkma eğilimi göstermektedir. Suyun bu hareketi, çimento hamuru içerisinde çok küçük kanalların oluşmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra yukarıya doğru hareket eden su bazen iri agregatanelerinin ve betonarme demirlerinin altında birikmekte küçük cepler oluşturmaktadır. Terleme sonucunda oluşmuş olan küçük kanalların sertleşmiş çimento hamurunda da yer alması, betonun geçirimsizliğini belirli ölçüde artırabilmektedir.
- Agregatanelerinin yapısında bulunabilecek boşluklar: Betonda kullanılan normal ağırlıklı agregalarda, agrega katı hacminin %0 ile %20'si arasında değişen boşluklar bulunabilmektedir. Hafif agregalarda bu oran agrega katı hacminin %30-%50'si kadardır. Islak ortamda, agrega tanelerinin yüzeyindeki boşluklara veya yüzeyle bağlantılı boşluklara su girebilmektedir. Kuru ortamda ise su kaybedilmektedir. Genel olarak agregadaki boşlukların birbiriyle bağlantısı bulunmamaktadır. Agregadaki boşlukların boyutları ve miktarı, betonun dayanımını geçirimsizliğini ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

- Taze betonun karılması ve yerleştirilmesi işlemleri esnasında betonun içerisinde oluşan hapsolmuş hava: Bu tür boşluklar, betonun karılması ve yerleştirilmesi esnasında betonun içerisine kendiliğinden girmiş olan havanın yarattığı boşluklardır. Uygun tarzda sıkışma işlemi uygulanması sonucunda, bu boşlukların önemli bir bölümünü ortadan kaldırmak mümkündür. Beton içindeki hapsolmuş hava boşluklarının miktarı, beton üretiminde kullanılan malzemelerin oranları tarafından da etkilenmektedir. En büyük agrega boyutu arttıkça hapsolmuş hava boşluğu da artmaktadır.
- Çimento hamurunun kuruyarak büzülmesi nedeniyle, çimento hamuru ile agrega taneleri arasında oluşabilecek boşluklar: Kuruma etkisiyle içindeki suyun bir miktarını kaybeden çimento hamuru doğal olarak, büzülme göstermektedir. Ancak agrega taneleri çimento hamuru ile aynı oranda hacim değişikliği göstermemekte çimento hamurunun serbestçe büzülmesini kısıtlamaya çalışmaktadır. Bu durum çimento hamuru ile agrega taneleri arasında çok küçük çatlakların oluşmasına neden olmaktadır [2].

1.3.3. Beton İçine Sızan Suların Etkileri

Sertleşmiş betonun yüzeyi ile temas eden sıvılar ve gazlar, betonun içerisine girerek akış gösterebilmektedirler. Geçirimsizlik, sıvıların ve gazların betonun içerisinde akış gösterebilmelerine imkan tanıyan bir özelliktir. Geçirimli betonların içerisine sızan sular ve bu sulardaki yabancı maddeler betonda bazı kimyasal ve fiziksel olaylara yol açmaktadır. Bu etkiler:

- Kapiler boşlukları suyla dolu duruma gelen betonlarda, boşluklardaki suyun donması sonucunda çok büyük genleşmeler olmaktadır.
- Beton ortamına sızan su, oksijen ve klor beton içerisindeki donatıların korozyona uğramasına neden olmaktadır. Böylece donatı kesitleri daralmakta yapısal ve ekonomik kayıplar gözlenmektedir.
- Betonun içine sızan sularda bulunan sülfatlar ve asitler, betonun içerisinde genleşme yaratan ürünler oluşturmaktadır. Bu yüzden beton karma ve temas

sularında özellikle metaller ve ağır metal testleri yapılmalı, eğer betona zarar veren maddeler barındırıyorsa gerekli önlemler alınmalıdır.

- Çimento hidratasyonu sonucunda oluşmuş olan kalsiyum hidroksit, dışarıdan sızan suların etkisiyle çözünerek yüzeye çıkmakta ardından yüzeyde buharlaşarak beyaz lekeler oluşturmaktadır [2].

1.3.4. Betonun Geçirimsizliğine Etkiyen Faktörler

Betonun içerisindeki boşlukların hacmini etkileyen bütün faktörler, betonun geçirimsizliğini etkileyen faktörler olarak sıralanabilir. Bu faktörler:

- Su/çimento oranı: Beton yapımında kullanılan su/çimento oranı arttıkça, çimento hamurunun içerisinde daha çok miktarda kapiler boşluklar oluşmaktadır. Su/çimento oranı 0,5'den yukarı çıktıkça, boşluklar arasındaki bağlantı tamamen kapanmamakta böylece geçirimsizlik daha çok olmaktadır.
- Kullanılan su ve çimentonun özellikleri: Beton üretiminde kullanılan su, çimentonun hidratasyonunu olumsuz yönde etkileyebilecek kadar yabancı madde içermemelidir. Çok fazla miktarda serbest kalsiyum oksit, magnezyum oksit, alkali içeren çimentolar betonda çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir. Çimentoların inceliği yüksek ise hidratasyon bir an önce oluşmakta böylece kapiler boşlukların arasındaki boşluklar daha erken kapanmaktadır.
- Agregat özellikleri: Su geçirimsizliği düşük olan agregalar kullanıldığında, betonun içerisinde akış gösteren su, agreganın etrafına dolanarak hareket etmeye zorlanmaktadır. Böylece, betonun geçirimsizliği nispeten az olmaktadır. Agregat gradasyonu iyi olmayan betonlar daha geçirimsiz olabilmektedir. Agregat tanelerinin kil, silt gibi çok ince malzemelerle kaplı olması, agregat taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansı azaltmaktadır. Bu yüzden bu tip agregalarla yapılan betonların geçirimsizliği daha fazladır.
- Mineral katkı maddelerinin özellikleri: Beton üretiminde uygun oranlarda kullanılan çok ince taneli uçucu kül, tras ve benzeri mineral katkıları betonun geçirimsizliğini azaltmaktadır. İnce taneli mineral katkıların kullanılması durumunda taze betondaki terleme azalmaktadır. Terleme nedeniyle betonun

içerisinde oluşan boşluklar azalmaktadır. Puzolanik özelliklere sahip ince taneli mineral katkılarda yer alan silika ile çimentonun hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksit reaksiyona girerek kalsiyum-silika-hidrat jelleri oluşmakta olup, jel miktarı arttıkça kapiler boşluk azalır böylece betonun geçirimsizliğinde olumlu etki sağlamış olur. Su azaltıcı katkı maddeleriyle yapılan betonlarda, sabit çökme değeri elde etmek için, daha az suya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda betonun geçirimsizliği de azalmış olmaktadır. Mineral yağlar, baryum sülfat, kalsiyum silikat ve zift gibi bazı maddelerden oluşan katkılar su itici özelliğe sahiptir. Bu katkılar betonun gözeneklerine girecek su miktarını azaltmaktadır.

- Beton yaşının ve betona uygulanan kürün etkisi: Çimento ve suyun bir araya getirilmesi ile başlayan hidrasyon, uygun nem ve sıcaklık ortamı mevcut olduğu sürece, uzun süre devam etmektedir. Bu durum betonun dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir. Betonun yaşının ilerlemesiyle, gerçekleşen hidrasyon miktarı daha fazla olmaktadır. Boşlukların arasındaki bağlantı azalmakta olup geçirimsizlikte azalmaktadır.
- Karma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinin etkisi: Betonun segregasyon göstermeden yerleştirilmesi ve sıkıştırılması gerekmektedir. Yerine yerleştirilen taze beton büyük miktarda hava boşlukları içermektedir. Vibratör yardımı ile beton içerisindeki hava dışarıya çıkartılabilir. Vibrasyon yeterince yapılmadığında betonun içindeki büyük boşluklar yer almaya devam etmekte ve betonun geçirimsizliği artmaktadır [2].

1.3.5. Geçirimsiz Beton Üretmek İçin Gerekenler

Beton imalatlarında su sızmasını engellemek için, agrega, çimento, karma suyu mineral ve kimyasal katkı maddelerinin seçiminde, betonun yerleştirilmesi ve kür işlemleri sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bu hususlar:

- Betonda geçirimsizlik istendiğinde çimento tanelerinin ince olması tercih edilmelidir.
- Karma suyu betona zarar verebilecek maddeler içermemelidir.
- Agreganın gradasyonu iyi olmalı ve içinde ince tanelerin oranı düşük olmalıdır.

- Su/çimento oranı düşük olmalıdır.
- Uçucu kül, öğütölmüş tras gibi ince taneli mineral katkıları kullanılmalıdır.
- Betonda segregasyon olmamalı, beton uniform yapıda olmalıdır.
- Taze beton yerine yerleştirildikten hemen sonra kür işlemine başlanmalıdır. Kür işlemi mümkün olduğunca uzun tutulmalıdır [2]. DSİ projelerinde kür işlemi 28 gün sürmektedir [7].

1.4. Agregalar

1.4.1. Giriş

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm'yi (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi) geçmeyen büyüklüklerdeki tanelerin oluşturduğu bir yığındır. Agregalar, beton hacminin yaklaşık %70-%75'ini teşkil ederler. Agreganın maliyeti, çimento maliyetinin çok altındadır. Bu nedenle agreganın betonda kullanılan nispeten ucuz olan dolgu malzemesi olarak kabul edilebilir. Betonda agreganın kullanımının sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agreganın bulunan beton veya harç, sadece çimento hamurundan oluşan ve içerisinde agreganın bulunmayan bir sisteme göre daha az hacim değişikliğı gösterir. Çimento hamurunun zamanla yapacağı büzölme ve meydana gelebilecek çatlamlar agreganın tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş olur [8].

1.4.2. Agregaların Özellikleri

1.4.2.1. Genel Özellikler

Beton üretiminde kullanılacak agregalar **TS 706 EN 12620**'ye uygun olmalıdır. Agregalarda aranan özellikler şunlardır:

- Basınca ve aşınmaya karşı mukavemetli olmalıdır.
- Kil ve şist gibi malzemeler içermemelidir.
- Yassı ve uzun taneleri bünyesinde bulundurmamalıdır.
- Çimento bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı standartlara uygun olmalıdır.
- Sert, sağlam, dayanıklı ve boşluksuz olmalı, suyun etkisiyle yumuşamamalıdır [9].

1.4.2.2. Agreganın Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri denildiğinde başlıca şu özellikleri ortaya çıkar:

- Birim ağırlık: 1 m³ hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa gevşek birim ağırlık ve yine kuru iken hacmi belirli olan kaba 3 kademe dolurmak suretiyle ve her kademe 25 kez şişlenerek sıkıştırıldıktan sonra bulunan birim ağırlığa ise sıkı birim ağırlık denir. Birim ağırlıktan agrega içindeki boşluk miktarı hesaplanabilir [10].
- Özgül ağırlık: Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verip, beton bileşenlerinin hesabında kullanılır [10].
- Kompasite: Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Kompasite düşük ise üretilen betonun mukavemeti de düşüktür. Betonun dış etkenlere karşı dayanıklılığı azalır ve kullanılan çimento miktarının artırılması gerekir ki bu durumda maliyette artar.

Agreganın sıkıştırılması ile kompasite genelde 0,40-0,70 arasında bir değer alır [9].

- Agregadaki nem durumu: Rutubetin iki farklı etkisi önemlidir. Birincisi kumda kabarmaya sebep olacağından kumdaki kabarma dikkate alınmadan beton karışımına katılırsa gerçek hacminden fazla görüneceği için 1 m³ betona giren kum az olacak, dolayısıyla boşluklu bir beton üretilecektir. İkinci ise su miktarı göz önüne alınmadan agrega kurumuş gibi su katılırsa beton dayanımında fazla sudan dolayı düşüşler gözlenir [11].
- Agregaların hava tesirlerine karşı dayanıklılığı: Boşluklu agrega içerisine su alır ve donma sırasında su genişleyerek agregayı parçalar. Dere ve nehirlerden alınan agregalar genellikle dona karşı dayanıklıdır. Beton agregalarının içerisinde çapı 5 mm'den büyük ve sürekli boşluklar bulunmamalıdır. Su emmenin fazla olması agregaların donmaya karşı dayanıklılığını azaltmaktadır. Agregaya ile çimento hamuru arasındaki aderans mukavemetinin yüksek olması halinde betonlar donmaya karşı dayanıklıdır [9]. Agregalar, yüksek su emmeye sahipse, kolaylıkla çatlayabiliyorsa betonun servis süresi boyunca ağır hava koşullarında bozulmaya uğrarlar.

1.4.3. Agregaların Sınıflandırılması

Agreganın sınıflandırılması agregayı daha iyi tanımak, tarif etmek ve doğru kullanılmasını sağlamak için yapılır. Sınıflandırma işlemi belirli bir sınıf içerisinde yer alan agreganın beton için uygunluğunu göstermez. Herhangi bir agreganın beton yapımına uygunluğuna karar verebilmek için o agreganın deneysel olarak özelliklerinin saptanmasına ve standartlarda belirtilen değerlere uygun olup olmadığının araştırılmasına gerek vardır.

Agregalar birçok şekilde sınıflandırılabilir. Genel olarak yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir:

- Kaynağına göre: Doğal, yapay
- Özgül ağırlık veya birim ağırlığına göre: Normal, hafif, ağır
- Tane büyüklüğüne göre: İri, ince
- Tane şekline göre: Yuvarlak, köşeli, yassı, uzun

- Yüzey dokusuna göre: Düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli, petekli
- Üretimine göre: Doğal, yan ürün, ısıtma işlemine tabi tutulmuş
- Jeolojik özelliklerine göre: Volkanik, tortul, metamorfik
- Minerolojik yapılarına göre: Silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı
- Reaktif özelliklerine göre: Reaktif, reaktif olmayan [8].

1.4.4. Agreganın Granülometrisi

Agreganın yığılmasında bulunan tanelerin oranlarının belirlenmesine granülometri denir. Bunun için granülometrik bileşim bulunmalıdır. Bulunan değerlere göre en az boşluklu beton için hangi agregadan hangi oranda alınacağı belirlenir. Agreganın en büyük tane çapı D_{max} olarak gösterilir D 'yi mümkün oldukça büyük almamız gerekir. Böylece karışıma giren su ve çimento miktarı azalır ve mukavemet artar [11].

Agregayı oluşturan taneler farklı boyutludur. Boyutları ayırmak için eleme işlemi yapılır. Eleme işlemi belirli bir standarda bağlı kalınarak birden çok eleği büyük çaptan küçüğe doğru kullanarak taneleri gruplara ayırma işlemidir. Granülometrik bileşim agreganın numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin agreganın içinde ne miktarda bulunduğunu da ortaya koyar. Bu da elek analizi deneyi yapılarak bulunur. Agreganın granülometrik bileşimi, o agregayı kullanarak üretilen betonun davranışı (mekanik özellikleri) üzerinde büyük etkisi vardır [10].

1.5. Çimento

1.5.1. Çimentonun Tanımı ve İlk Çimentolar

Bir hidrolik bağlayıcı olan çimento, inşaat mühendisliğinde kullanılan önemli bir yapı malzemesidir. Çimento ile yalnız kum, çakıl ve su gibi ucuz malzemeler kullanılarak istenilen yerde ve istenilen biçimde, en az doğadaki taşlar kadar sağlam beton yapılar elde edilebilmektedir. Bu durum çimento kullanım alanlarının gün geçtikçe artmasına neden olmaktadır ve çimento üretimi de buna paralel olarak artmaktadır. Tras yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi puzolanik özellikte maddeler de klinkere katılarak farklı özellikler taşıyan çimento tipleri üretilmeye ve kullanılmaya başlamıştır [5].

Duvar bloklarını birleştirmekte kullanılan ilk bağlayıcı malzemeler olarak alçı ve kireçten bahsedilir. Eski Mısır piramitlerinde hangisinin daha fazla kullanıldığı zaman zaman tartışma konusu olsa da, alçıtaşının 190°C -200°C’de pişirilmesi ile adı alçı elde edilirken hava kirecinin kalkerden daha yüksek (900°C) sıcaklıklarda elde edilişi alçının daha önceleri kullanıldığını kanıtlar. Her iki bağlayıcının da suya karşı dirençsiz oluşu ve hava kirecinin su içinde sertleşmemesi kullanımlarını ve dayanıklılıklarını kısıtlayan faktörlerdir. Eski Romalılar hava kirecini Vezüv yanardağı eteklerindeki Pozzuoli kasabası civarındaki volkanik tüflerle birlikte ince öğüterek daha yüksek dayanımlı ve suya karşı dirençli bir bağlayıcı elde ettiler. Kendi başlarına bağlayıcılığı olmasalar da kireçle birleştiklerinde suda sertleşebilen ve suya dirençli yani hidrolik bir bağlayıcı bu tür malzemelere Pozzuoli’den gelen puzolan denilmiştir. O çağlarda kireç ve puzolan karışımından yapılan pek çok yapı günümüze kadar gelmiştir. 1750 yılında İngiltere’de Eddystone deniz feneri binasının yapımı sırasında çeşitli kalker, kil ve alçı bileşimleri kullanılarak elde edilen su kireçlerinin deniz suyuna karşı dirençleri puzolan da katılarak incelendikten sonra en uygun hammaddeleri belirleyip, su kirecinin özellikleri geliştirilmiştir. Killi kalkerlerin 1200°C sıcaklığa kadar pişirilmesi ile daha yüksek dayanımlı bir su kirecinin elde edilmesi ve mineral katkılarla priz sürelerinin ayarlanması mümkün oluyordu. Portland Çimentosunun 1824 yılında İngiltere’de bir duvar ustası olan Joseph Aspdin tarafından keşfedildiği kabul edilir. Aspdin 3 kısım kalker ve 1 kısım kili uygun bir bileşim elde etmek üzere karıştırıp yüksek sıcaklıkta pişirerek üstün dayanım ve dayanıklılığa sahip yeşilimsi gri renkte bir çimento elde etti. Rengi güney İngiltere’de Portland yarım adasındaki killi kalkerleri andırduğundan Portland çimentosu adı verildi. Ancak benzer ve daha gelişmiş çimentolarda tüm dünyada üreilmeye başlandı. Temelde ham madde ve üretim prensipleri aynı olan bütün çimentolar portland türü çimento olarak anılır [12].

1.5.2. Portland Çimentosu

Kireç, alümin, demiroksit ve silis bileşimli hammaddelerin uygun oranda karıştırılıp yüksek sıcaklıkta, 1350°C -1400°C’de pişirilmesi sonucunda elde edilen ürüne klinker adı verilmektedir. Klinker yaklaşık 1-25 mm çapında pürüzlü ve gözenekli yüzeye sahip, sert ve yuvarlak şekildedir. Karakteristik olarak, parlak ve yeşilimsi koyu-gri renktedir.

Portland çimentosu killi ve kalkerli hammaddelerin pişirilmesiyle elde edilen klinkerin az miktarda (%3-%6) alçıtaşı ile birlikte çok ince parçacıklar oluşturabilecek derecede öğütülmesi sonucunda elde edilen ve su ile birleştiğinde bağlayıcı özellik kazanan bir üründür. Alçıtaşı, çimentonun su ile birleştiğinde göstereceği sertleşme hızını kontrol etmek için katılır. Portland çimentosu, gerek kendi başına gerekse ayrıca katılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerle birlikte su ile birleştiğinde önce yumuşak, plastik bir karışım elde edilmekte ve zamanla yavaş yavaş sertleşerek katı, taş gibi duruma gelmektedir. Klinker üretimi için hammaddelerin pişirildiği yatay olarak yerleştirilmiş içi boş silindir şekline sahip uzun fırınlara döner fırın adı verilir. Çapı genellikle 2-6 m arasında değişen bu fırınlarda boy/çap oranı 15-30 arasındadır. Hammadde karışımının yaş sistemle beslendiği döner fırınlarda boy/çap oranı yaklaşık 30 civarındadır. Hammadde karışımının kuru sistemle hazırlanıp, önce ön ısıtıcılardan geçirildikten sonra beslenen fırınlarda boy/çap oranı yaklaşık 15'tir. Yaklaşık olarak %3-%4 eğime sahip olan bu fırınlar, kendi ekseninde saatte 60-180 devir yaptığından adı döner fırındır. Fırına girecek hammadde karışımı, fırının üst ucundan beslenmektedir. Fırındaki sıcaklık alt ucunda püskürtülen yakıtla sağlanmaktadır. Fırının alt ucu en sıcak kısmı (yaklaşık 1500°C), üst ucu ise an soğuk kısmıdır (800°C -900°C). Üst uçtan beslenen hammadde karışımı, fırının dönme işlemi ve eğimi nedeniyle aşağıya doğru yavaş yavaş hareket ederek gittikçe daha yüksek sıcaklıklara ulaşır ki bu durumda çimentonun bileşenleri oluşur [13].

Portland çimentosunun bileşenleri:

$2CaO.SiO_2$	Dikalsiyum Silikat (C_2S)
$3CaO.SiO_2$	Trikalsiyum Silikat (C_3S)
$3CaO.Al_2O_3$	Trikalsiyum Alüminat (C_3A)
$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	Tetrakalsiyum Alümino-Ferrit (C_4AF) [14].

Çimento bileşenleri, basit oksitler halinde bulunmamakla birlikte, kimyasal analiz sonuçları oksit miktarları olarak verilir. Bu oksit analizinden elde edilen değerler bir çimentodaki ana bileşen miktarları Bogue Denklemleri adı verilen formüller vasıtasıyla hesaplanmakta kullanılır. Tipik bir Portland çimentosunun ana bileşen miktarları C_3S (%54,1), C_2S (%16,6), C_3A (%10,8), C_4AF (%9,1) [14] dir.

Bu dört ana bileşen gerek su ile reaksiyon hızları ve çıkardıkları ısı miktarları gerekse çimentonun bağlayıcılık değerine katkıları yönlerinden birbirlerinden farklı karakter gösterirler.

Bu özellikler:

C_2S : Su ile reaksiyonu yavaştır, az miktarda ısı açığa çıkarır. Yüksek olan bağlayıcılık özelliği kendini ileri yaşlarda gösterir.

C_3S : Su ile reaksiyonu ve ortaya çıkan ısı orta değerlerdedir. Yüksek bağlayıcılık özelliği ilk yaşlardan itibaren etkilidir.

C_3A : Su ile çok hızlı reaksiyona girip çok fazla ısı açığa çıkarır, çimento hamurunun çok çabuk katılaşmasına neden olur. Etkisini yavaşlatmak için klinker alçıtışı ile birlikte öğütülür. Bağlayıcılık değeri azdır. Sülfatların yıpratıcı etkilerine karşı çimentonun direncini azaltır.

C_4AF : Su ile reaksiyonu hızlı olmayıp bağlayıcılık değeri düşüktür [12].

TS EN 197-1 standardı kapsamında beşi ana tipte olmak üzere, 27 farklı çimento sınıflandırılmıştır. Ana tipteki çimentolar:

CEM I: Portland Çimentosu

CEM II: Portland-Kompoze Çimento

CEM III: Cürüflu Çimento

CEM IV: Puzolanlı Çimento

CEM V: Kompoze Çimento

Çimento dayanım sınıfları ise 32,5-32,5R-42,5-42,5R-52,5 ve 52,5R olmak üzere altıya ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada, 28 günlük minimum basınç dayanımı değerinin yanında belirtilmiş olan "R" harfi erken dayanım koşulu getirmektedir [15].

1.6. Su

TS EN 1008'de "içilebilen sular, beton yapımında uygun kabul edilmektedir; bu tür sular için deney yapmaya gerek duyulmaz denilmektedir" [16].

Çok uzun yıllardan bu yana kazanılmış deneyimlere dayanarak, iyi su tanımı için, mühendisler tarafından benimsenmiş olan şöyle bir kural vardır. " Su içilebilir ise, beton karışımında kullanılmaya uygun su'dur". Beton karışımında kullanılmaya uygun su, betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve görünümüne olumsuz etki yapabilecek türde ve miktarda yabancı maddeler içermemelidir. Karışım suyunda aşırı miktarda yer almaması gereken yabancı maddeler betona olumsuz etkileri aşağıda verilmiştir.

- Kil ve silt: Karışım suyunun içerisinde bulunabilecek kil, silt ve taşunu gibi maddelerin oranı %0,2'den yüksek olması durumunda, taze betonun

işlenebilirliği azalmaktadır. Sabit bir kıvam elde etmek için beton karışımında daha çok miktarda su kullanılması gerekmektedir. Bu durumda, sertleşmiş betonun büzülmesi artmakta, dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Beton yüzeyinde lekeler oluşarak betonun görünümü bozulmaktadır.

- Organik maddeler, şeker, yosun: Karışım suyunda bir miktar humus veya nebat liflerinin bulunması durumunda, bu maddelerin içerdiği tannik asit, taze betonun priz süresini geciktirmekte ve sertleşmiş betonun basınç dayanımını azaltmaktadır. Karışımında şeker bulunması öncelikle çimentonun priz süresini etkilemektedir. Karışım suyundaki şeker miktarı %0,05'den bir miktar fazla olduğu durumda çimentonun priz süresi gecikmektedir. Şeker miktarı %0,15 ve bir miktar üzeri olduğunda dayanımlarda bir miktar artış görülmektedir. Şeker miktarı %0,25'in üzerinde olduğunda ise çimentonun prizi çok hızlı artmakta ancak dayanımında önemli ölçüde azalmalar görülmektedir. Karışım suyu olarak kullanılan yosunlu sular betonun içine çok büyük miktarda hava sürüklenmesine ve beton dayanımının düşmesine neden olmaktadır.
- Yağ: Endüstriyel atık sularda bazen az miktarda da olsa mineral yağlar yer alabilmektedir. Bu tür yağlar, hayvanlardan veya nebatlardan elde edilen yağlar kadar betona zararlı olmamakla birlikte yine de karışım suyunun içinde çok fazla bulunması istenmez. Mineral yağ miktarı arttıkça dayanım düşmektedir.
- Karbonatlar ve bikarbonatlar: Kalsiyum bikarbonat ve magnezyum bikarbonat içeren sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları su içerisinde çok kolayca erimemektedir. Sudaki bu iyonların %0,04'ün üzerinde olması durumunda basınç dayanımı azalır. Sodyum karbonatlar ani prize neden olmaktadır.
- Kalsiyum klorür, sodyum klorür, magnezyum klorür: Beton yapımında kullanılan suyun içerisinde klorür iyonlarının fazla miktarda bulunması durumunda, betonun nihai dayanımda düşmeler gözlenmektedir. Ayrıca klor iyonlarının donatıda korozyona neden olduğu da bilinmektedir.
- Sodyum sülfat, magnezyum sülfat: Karışım suyunun içerisinde fazla miktarda sülfat bulunması durumunda çimentonun C₃A ana bileşeni ile sülfat arasındaki reaksiyonlar sonucu çok büyük genişleme kapasitesi olan etrenjit oluşmakta ve sertleşmiş beton çatlayabilmektedir.
- Asitler: Karışım suyu içerisinde çok fazla miktarda organik asidin bulunması durumunda, bu asitler betonun içerisindeki çimentonun hidratasyonu sonucunda

oluşmuş kalsiyum hidroksitin çözünmesine yol açmaktadır. Betonun yüzeyine çıkan tuzlu suların buharlaşmasıyla beton yüzeyinde çiçeklenme adı verilen tuz tabakaları oluşur. Asitli sular çimento hamuruna dayanım sağlayan kalsiyum-silikat-hidrat ürünlerinin bir miktar çözünmesine yol açarak beton dayanımını düşürmektedir.

- Sodyum hidroksit, potasyum hidroksit: Fazla miktarda sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit içeren alkalimli sular betonda dayanım azalışına neden olur. Betonun içinde fazla miktarda alkali bulunması reaktif agrega içeren betonlarda alkali-agrega reaksiyonuna neden olabilir. Bu betonun servis ömrü boyunca dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler.
- Fosfat, arsenat, borat, demir tuzları: Suyun içinde fazla miktarda fosfat, arsenat borat gibi tuzların bulunması durumunda betonun prizi gecikmekte ve dayanımı azalmaktadır. Aynı şekilde suyun içinde %4'den fazla demir iyonunu bulunması durumunda betonun prizi gecikmekte ve beton dayanımı düşmektedir [2].

1.7. Kimyasal Katkı Maddeleri

1.7.1. Kimyasal Katkı Maddeleri Tanımı

Beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun) karılma işleminden hemen önce veya karma işlemi esnasında beton karışımının içersine katılan malzemeye beton katkı maddesi denilmektedir [17].

Kimyasal katkıları su-çimento sisteminde fiziksel ve fiziko-kimyasal yolla etkinlik oluştururlar. Hidratasyon sürecine girmiş çimento ile meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu katkı maddelerinin etkinliği ortaya çıkar. Beton katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını artırabilmek için kullanılmaktadır. Katkı maddesi kullanılarak gerek ilk yaşlarda, gerekse nihai olarak proje mukavemeti elde edilebilmektedir. Beton katkı maddeleri, betonun işlenebilme, kıvam, çökme, su ihtiyacı, priz alma ve priz süresi, terleme, beton dayanımı, dayanım kazanma hızı, dayanıklılık, ekonomiklik gibi özelliklerini etkilemektedir. Kimyasal katkı maddelerinin etkisi, betonun içerisinde yer alacak malzemelerin tipine ve miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Katkı maddesinin beton performansına yapacağı etki şu faktörlere bağlıdır:

- Çimentonun kompozisyonu
- Agregada gradasyonu ve agreganın zararlı madde içerip içermemesi
- Beton karışımındaki malzemelerin oranı
- Betonun karma süresi
- Betonun sıcaklığı ve kür koşulları [2].

1.7.2. Kimyasal Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması

Beton teknolojisinde kimyasal katkı maddeleri denildiğinde, su içerisinde çözünme gösteren katkı maddeleri anlaşılmaktadır. Katkı maddelerini çalışma mekanizmalarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür.

- Su-azaltıcı katkı maddeleri: Ana kimyasal yapıları linyosülfonatlar, hidroksikarboksilik asitler ve karbonhidratlardır. Sabit işlenebilmede su gereksinimi %6,5'ten fazla azalabilir ve her yaştaki basınç dayanımı %10'dan fazla artırılabilir. Daha dolu bir beton elde edilerek, donma-çözölmeye, agresif ortama dayanıklılık artar, geçirimsizlik sağlanır ve yüzey görünümü düzelir. Bununla birlikte, priz gecikebilir, rötre artabilir, çökme kaybı meydana gelebilir.
- Yüksek oranda su-azaltıcı katkı maddeleri: Ana kimyasal yapıları modifiye linyosülfonatlar, akrilik kopolimerler, amino aromatik sülfoneik asit, sülfone melamin formaldehit polikondansesi'dir. Su indirgeyici olarak kullanımında sabit işlemede %12-%16'dan fazla su azaltma, basınç dayanımında ise %15'den fazla artış olmaktadır. Dolu beton üretimi sayesinde donma-çözölme, agresif ortamlara direnç, geçirimsizlikte artış gözlenmektedir. Bununla birlikte belirtilen miktarda kullanılmaması durumunda, işlenebilme kaybı, özellikle hava sürükleyici katkılarla uyumsuzluk ve segregasyon gözlenebilir.
- Priz hızlandırıcı katkıları: Ana bileşiminde kalsiyum nitrat ve nitritler, tiosülfatlar formatlar bulunmaktadır. Priz süresinin kısaltılması, betonun ilk yaşlarında dayanım artışı, taze betonda donma riskini azaltmak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte işlenebilme kaybı, rötrede artış, nihai dayanımda azalış gibi olumsuz etkileri de görölebilir.
- Priz geciktirici katkıları: Ana bileşimlerinde glükonat, salisilik asit, kalsiyum linyosülfonatlar bulunmaktadır. Priz süresini uzatmak, nihai beton dayanımı az

miktarda da olsa artırmak ve su miktarını azaltmak olumlu özellikleri olmakla beraber, betonun ilk yaşlarında dayanımın düşük olması, hidrolik rötrenin artması olumsuz özellikleri kabul edilebilir.

- Hava sürükleyici katkıları: Ana bileşenlerinde, ağaç reçine tuzları, yağlı asit tuzları ve sülfone hidrokarbonik asit tuzları yer almaktadır. Donma-çözülme dayanımında artış, kılcal su emmede azalma, su geçirimsizliğini azaltma gibi olumlu etkiler gösteren bu tip katkıları nihai beton dayanımında düşüşler gösterebilir [18].

Beton kimyasal katkı maddelerinin temel sınıflandırılması yukarıda bahsedildiği gibidir. Ancak, havuz betonu, su deposu, sulama kanalı ve barajlarda önyüz beton çalışmaları gibi uygulamalarda alternatif olarak su geçirimsizlik katkıları da kullanılabilir. Bu katkıları beton bünyesinde oluşan kapiler boşlukların miktar ve boyutunu küçültürler.

Suyun ve diğer akışkanların beton içinde iletimi bu kapiler boşlukları sayesinde olur. Boşluklardan suyun iletimi üç temel mekanizma ile olur. Bunlar:

- Malzemenin boşluklarının tamamen suya doymuş olduğu ve mevcut su basıncı etkisi ile meydana gelen doymuş akım.
- Betonun boşluklarının kısmen suyla dolu olduğu, yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisiyle meydana gelen doymamış akım, yani kılcallık olayı.
- Betonun boşluklarında iki bölge arasındaki mevcut buhar basıncı akımı.

Gelişen beton kimyasal katkı teknolojisi ile betonda geçirimsizliği sağlayan katkıları üretilmeye başlanmıştır. Bu katkıları, kılcal su emme özelliğini düzelteren su itici katkıları ile basınçlı suya karşı geçirimsizlik sağlayan kütle hidrofüjleridir. Bu katkıların esas maddeleri, yağ asidi sabunları (stearat, oleat, ve loreatlar ve özellikle bunların çinko ve alüminyum sabunları) ve ince tozlardır (bentonit, yağlı kireç, öğütülmüş kalker unu mineral tozlar, asetat türü plastik madde emülsiyonları). Kılcallığı azaltmak için en çok uygulanan stearat grubu maddelerin su itici niteliği olanlarının yanında hava sürükleyici özelliği olanlar da vardır. İnce tozlar ise esas olarak tıkayıcı görev üstlenerek basınçlı su geçirimsizliğine karşı yarar sağlar. Bu arada betonda en iyi geçirimsizlik, su azaltıcı katkı maddeleri ile birlikte su itici katkı maddeleri kullanılarak elde edilir [19].

Kimyasal katkıları üzerinde bilinen ilk yayın 1924 yılında ASTM dergisinde yayınlanan Abrams'ın bir çalışma önerisidir. Günümüze kadar kimyasal katkı maddelerinin teknolojilerinde pek çok gelişme gözlenmiştir. Ancak, kimyasal beton katkıları ile beraber kullanılan çimentoların uyumunu standartlara bağlı kalarak çözümenin

yetersiz olacağını bilmek gerekir. Çimentonun bileşiminde standartlarda öngörülen sınırlar içinde kalan minör bileşenlerin ve sülfatların miktarlarındaki küçük değişiklikler bile taze ve sertleşmiş betonun performans özellikleri üzerinde önemli sakıncalara yol açabilir. Bu sakıncalar aynı amacı taşıyan farklı bileşimdeki kimyasal katkıların da işlevlerini yerine getirmelerini önler hatta zararlı sonuçlara sebep olur [20].

Bu nedenle kimyasal katkı maddelerinin betonun hangi performans özelliklerini etkilediği iyi irdelenmeli, ihtiyaca uygun kimyasal katkı maddesi kullanılmalı ve inşaat sektöründe çalışan yardımcı personelin düşündüğü gibi kimyasal katkı maddelerinin betonu her zaman iyileştiren bir ilaç olmadığı bilinmelidir.

1.8.Puzolanlar

1.8.1. Tanımı ve Genel Özellikleri

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince taneli durumdayken sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan silikatlı ve alüminatlı malzemelerdir. Gerek betonun birçok teknik özelliğini olumlu yönde değiştirmeleri, gerekse portland çimentosundan daha ekonomik olmaları ve beton karışımının içerisinde çimento ağırlığının %50'sine varan miktarlarda kullanılmaları nedeniyle puzolanik katkı maddelerinin beton endüstrisinde çok önemli yeri bulunmaktadır [21].

Puzolan terimi, genel bir ifade olmakla birlikte, puzolanlar buldukları ülkelere göre özel adlar almıştır. Almanya'da tras adıyla, Yunanistan'da ise Santorin toprağı olarak anılmıştır. Ülkemizde bu tip volkanik tüf karakterli puzolanlara tras denilmektedir. Türkiye yüz ölçümünün neredeyse % 20'sinde bu volkanik kayaç türüne rastlanmaktadır [22].

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılığı gösterebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamış olması gereklidir:

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır. Çimento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının en az %70 olması istenmektedir.
- Doğal haliyle çok ince taneli durumda, veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.
- Amorf bir yapıya sahip olmalıdır. Yani kristal olmayan yapıda bir katı olmalıdır.

Portland çimentosu ve puzolanik katkı maddesinin bağlayıcı malzeme olarak yer aldığı beton karışımlarında bu malzemeler suyla temas eder etmez önce portland çimentosu hidrasyona başlamaktadır. Puzolanik katkı malzemesi, portland çimentosunun hidrasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcılık özellikli yeni kalsiyum-silikat-hidrat ürünlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

İnce taneli puzolanik katkı maddelerinin beton özelliklerine olumlu etkileri vardır. Bu etkiler:

- İşlenebilmeyi artırmak.
- Terlemeyi ve segregasyonu azaltmak.
- Hidrasyon ısısının hızını ve miktarını azaltmak.
- Su geçirgenliğini azaltmak.
- Alkali-agrega reaksiyonunu azaltmak.
- Sülfat hücumlarına karşı dayanıklılığı arttırmak.
- Ekonomiklik sağlamak.
- Nihai basınç dayanımının yüksek olmasına neden olmak.

Puzolanik katkı maddelerinin betonun performans özellikleri üzerinde olumlu etkileri olmakla birlikte dikkat edilmesi gereken hususlar da vardır. Özellikle soğuk hava koşullarında priz gecikmesine ve ilk günlerde dayanımda azalmalara neden olur. Puzolan katkılı betonların daha uzun süre ile kür edilmesi gerekmektedir [21].

1.8.2. Sınıflandırılması

Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olarak ikiye ayrılırlar.

Doğal puzolanlara örnek; volkanik cam, volkanik tuf, kalsine kil ve şist, opalin ve silika

Yapay puzolanlara ise; uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü örnek olarak verilebilir [23,24,25].

1.8.2.1. Doğal Puzolanlar

Doğada bulunan ve bir ön işlem yapılarak veya doğrudan öğütülen puzolanlardır. TS EN 197’de P harfi olarak kısaltılmışlardır. Yurdumuzda genelde Kayseri ve Nevşehir yöresinde bulunmaktadır. Doğal puzolanlar, başlangıcından sonra az veya çok değişikliğe uğramış volkanik kökenli tortul kayaçlardan oluşu [26].

Doğal puzolanların çoğu piroklastik kayalardır. Piroklastik kayalar bir volkanik patlama sırasında volkan bacasından havaya fırlatılır. Havaya fırlatılan volkanik parçacıklar zamanla yatak oluştururlar [27].

Pozolanik aktivite kavramı bir puzolanın bağlayabileceği en fazla Ca(OH)_2 miktarını ve bağlanma işleminin hızını ifade etmektedir. Bahsedilen her iki değişken de puzolanın özelliklerine ve içerisinde bulunan aktif fazların kalite ve miktarına bağlıdır. Puzolanların aktivitesi açısından özgül yüzeyin kimyasal ve minerolojik yapının büyük etmen olduğu bilinmektedir [28].

Doğal puzolanların temelde dört kısma ayrıldığı daha önce belirtilmişti. Bu çalışmada volkanik tuf gurubuna giren tras kullanılmıştır.

1.8.2.1.1 Tras

Traslar kendi başlarına bağlayıcılık özelliğine sahip olmasalar da çok ince öğütüldüklerinde normal sıcaklıklarda sulu ortamlarda kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliği kazanabilen silis ve alümin oksit bakımından zengin volkanik tuf çeşidi malzemelerdir. Türkiye tras kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Ülkemizde üretilen çimentoların yaklaşık 1/3’ü traslı çimentolardan oluşmaktadır. Yapılan çalışmalar CaO , MgO ve SO_3 gibi bazı zararlı maddelerin hacim genişmesini tetikleyen etkenler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu zararlı maddelerin çimentoda belli sınırların altında tutulması gerekmektedir. CaO miktarı kütlece %3, MgO miktarı kütlece %4,5’ten fazla olmamalıdır. İşte bu noktada tras, inceliğine bağlı olarak bu zararlı maddelerle tepkimeye girmekte ve bunların çimento içerisindeki oranlarını düşürmektedir. İnce taneli olmaları sayesinde çimento harcı ve beton üzerinde kayganlaştırıcı bir etkide ortaya koymaktadır. Bu etki taze betonun kıvamını ve dolayısıyla işlenebilirliğini iyileştirmektedir. Ancak çimentonun toplam özgül yüzeyini artırdıkları için su ihtiyacını artırabilmektedir [29].

Tras beton yüzeyindeki çatlamayı önler. Traslı çimentolarla üretilen betonlar sülfatlı sulara karşı daha dirençli olurlar. Donatı korozyonu sadece portland çimentosu ile üretilen betonlardan daha azdır. Ancak traslı çimentonun priz alma süresi sadece portland çimentolu betondan daha uzundur. Bu yüzden kalıp sökme süresi uzamaktadır. Deniz sularına karşı daha az dirençlidirler. Genelde kütle betonları, köprü ayakları, barajlar gibi fazla yük alan beton yapılarında tras kullanılması tercih edilmez.

1.8.2.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar, endüstriyel bir üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan ve puzolanik özellik gösteren malzemelerdir. Uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu ve silis dumanı en çok bilinen yapay puzolanlardır. Bu çalışmada yapay puzolan olarak uçucu kül kullanılmıştır.

1.8.2.2.1. Uçucu Kül

Uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerde ortaya çıkan bir atık üründür. Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden üç farklı külün elde edilmesi mümkündür. Bunlardan ilki taban külü adı verilen göreceli olarak iri daneli olup baca gazları ile taşınmayan ve kazan tabanına düşen küllerdir. Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutulularak uzaklaştırılması ile elde edilen küle ham kül adı verilir. Elde edilen diğer kül tipi ise çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan uçucu küllerdir. Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0,5-150 mikron) olup baca gazlarıyla sürüklenirler. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ve CaO olup bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 ve alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu külde SiO_2 (%25-%60), Al_2O_3 (%10-%30), Fe_2O_3 (%1-%15) ve CaO (%1-%40) oranında bulunmaktadır [30].

Uçucu külleri kimyasal bileşimlerine göre değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür.

- Kireç ve SO_3 miktarına göre sınıflandırma:
 - a) Esas yapısı siliko alüminatlardan meydana gelen ve genellikle taş kömüründen elde edilen siliko alüminoz uçucu külleri.
 - b) Genellikle linyit kömüründen elde edilen ve diğerlerine oranla yüksek miktarda SO_3 ve CaO içeren sülfokalsik uçucu küller.
 - c) Genellikle linyit kömüründen elde edilen kireç ve silika miktarı yüksek silikokalsik uçucu küller [31].
- CaO miktarına göre sınıflandırma: Uçucu külün içerdiği analitik CaO miktarına dayanmaktadır. Buna göre CaO miktarı %10'un altında uçucu küller, düşük kireçli veya düşük kalsiyumlu, %10'un üstünde olanlar ise yüksek kireçli veya yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak adlandırılır [32].

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre;

- F sınıfı uçucu kül: Bitümlü kömürden üretilen ve toplam $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ yüzdesi % 70'den fazla olan uçucu küllerdir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılır. F sınıfı uçucu küller puzolanik özelliklere sahiptir.
- C Sınıfı uçucu kül: Linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam miktarı % 50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda C sınıfı uçucu küllerde CaO miktarı %10'dan fazla olduğu için, bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılır. Puzolanik özelliklerinin yanında bağlayıcı özellikleri de vardır [33,34].

TS EN 197-1'e göre;

- V sınıfı uçucu küller: Çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup, esas olarak reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan geri kalanı Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.
- W sınıfı uçucu küller: Hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan geri kalanı Fe_2O_3 ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde reaktif kireç oranının

%10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir. [33,15].

Uçucu külün çimento ile birlikte inşaat sektöründe en çok kullanıldığı alan beton üretimidir. Uçucu kül, hem normal ve hafif betonlarda hem de hazır beton uygulamalarında gerek katkı gerekse çimento ikamesi olarak kullanılmaktadır. Betonda uçucu kül kullanımının hem basınç hem de aşınma dayanımlarını artırdığı gözlenmiştir. Uçucu kül içeren betonlar kür koşullarına karşı daha çok hassasiyet göstermektedir. Uçucu küllü betonlar puzolanik reaksiyonlar sonucu zamanla geçirimsiz bir yapı kazanırlar. Uçucu kül, süper akışkanlaştırıcılarla beraber kullanıldığında çökme değerini azaltır ve basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımlarını artırır [35]. Ayrıca uçucu külün sabit su miktarında işlenebilirliği artırdığı, pompalanabilirliği iyileştirdiği, rötreyi azaltıp, alkali silika reaksiyonunu azalttığı, sülfata karşı dayanımı artırdığı ve ekonomiklik sağladığı bilinmektedir.

Bu çalışmada Zonguldak Çatalağzı termik santrali uçucu külü kullanılmıştır. DSİ'nin baraj betonlarında bu uçucu külün kullanıldığı bilinmektedir. Bunun nedeni her üretimden uniform özellikte kül üretilebilmesidir. Çatalağzı uçucu külü, reaktif kireç miktarının %10'un altında olması nedeniyle TS EN 197-1 standardına göre V sınıfına (silissi uçucu kül) girmektedir. Yine ASTM C 618 standardına göre $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ değerinin %70'in üzerinde olması ve CaO miktarının %10'dan az olması nedeniyle F sınıfına (düşük kireçli) dahil olmaktadır. Çatalağzı uçucu külüne minerolojik analiz yapıldığında camsı ve az oranda kristal fazlardan oluştuğu, camsı fazın silisyumca zengin alümino silikat bileşiminde olduğu görülmüştür. Yapılan morfolojik analiz sonucunda, külün çoğunlukla tam küresel tanecikli yapıda olmakla birlikte yarı köşeli tanecikleride içerdiği gözlenmiştir. Tam küresel yapıların alüminyum silikat bileşiminde, köşeli yapıların kuvars-biyotit bileşiminde olduğu görülmüştür [30].



Şekil 1. Çatalağzı termik santrali uçucu kül depolama tesisi

1.9. Barajlarda Su Geçirimsiz Beton Uygulamaları

New Exchequer (Mariposa-California, USA) Barajında, işletme esnasında su sızması problemleriyle karşılaşıldı. Bu sızma baraj emniyetini ve stabilitesini etkilememesine karşın sonradan sızmayı engellemek amacı ile yapılan yatırımlar ekonomik olarak kabul edilemez bir durum oluşturmuştur. Sızmanın genel anlamda oluş biçimi baraj rezervuarının yüklenmesi nedeniyledir. Modern barajların dizaynında sızma yolları genellikle sızma bölgesinin üzerine ince silt ve kum dökülerek tıkanmaktadır. Ayrıca beton imalatlarında da gerekli önlemler alınmaktadır. Günümüzdeki malzeme karakteristiğinin amacı segregasyonun oluşmaması için azami boyutta danesel bileşim sağlamak ve aynı zamanda kabul edilebilir düşük permeabilite için yeterli derecede ince danesel bileşimi ihtiva eden betonu üretebilmektir. Beton daha büyük büzülme çatlaklarının etkisi altında kaldığından dolayı yüksek beton dayanımı ve buna bağlı olarak betonun içerisine çok fazla çimento konulması istenmez. Esasen önyüz beton kaya dolgu barajlarda, geçirimsizlik dayanımdan çok daha fazla önemlidir. Puzolan kullanılmadan üretilen betonla imal edilmiş, pek çok önyüzü beton kaya dolgu baraj vardır. Bu barajlarda su/çimento oranı akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile düşürülerek su geçirimsizliği sağlanmaya çalışılmıştır. Oysa puzolan kullanılarak beton üretilse idi, hem betonun plastik kullanımı ve sağlamlığı daha uygun olacak hem de beton agregasından kaynaklanan reaksiyonlar azaltılmış olacaktı. İlk kez 1895'de California'da inşa edilen Chatword Barajı ile baraj tipleri arasına giren ön yüzü

beton kaplı kaya dolgu baraj teknolojisinde önyüz kısmı su geçirimsiz beton ile kaplanarak baraj yapılarında geçirimsizlik sağlanmıştır [36].

Ülkemizde ise bu tarz baraj uygulamaları su geçirimsizliğinin aşırı yağışlar nedeniyle kil dolguyla yapılmasının zor olduğu Doğu Karadeniz bölgesinde yoğunlaşmıştır. Bölgede yapılan Kürtün barajı, Torul barajı ve Trabzon İlinin içme suyu ihtiyacını karşılayacak olan Atasu barajı önyüz beton kaplı barajlardır. Bu barajlarda, su geçirimsiz beton elde edebilmek için, su/çimento oranının akışkanlaştırıcı katkılarla düşürülmesi (su/çimento oranı 0,47) yoluna gidilmiştir. Bu barajlarda puzolan kullanılmamasının nedenlerinden en önemlisi iklim koşullarının çok sıcak olmaması, gece ve gündüz sıcaklık farkının da çok yüksek olmamasıdır. Her üç barajda da, geçirimsizliği sağlayan önyüz beton miktarı çok fazla değildir. Mardin İlinde yapımına başlanan İlisu Barajı Türkiye'nin 4. büyük barajı olacaktır. İklim koşullarının; Doğu Karadeniz'deki koşullardan farklı olması ve geçirimsizliği sağlayacak olan beton miktarının çok fazla oluşu nedeniyle bu barajda puzolan kullanılarak önyüz beton dökülmesi düşünülmektedir.



Şekil 2. Atasu barajı önyüz beton uygulaması

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Beton Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.1.1. Agregada Özellikleri ve Yapılan Deneyler

Beton üretiminde kullanılan agregalar TS 706 EN 12620 standardında yer alan agrega uygunluk kriterlerini sağlamalıdır. Bu çalışmada, Galyan deresine ait doğal agregalar ve Galyan vadisi yamaçlarından elde edilen kırma agrega (toplam 4 sınıf) ile üretilen beton numuneleri kullanılmıştır. Agreganın uygunluğunun belirlenmesi için ince ve iri agregada elek analizi, Los Angeles aşınma kaybı tayini, yoğunluk-bağıl yoğunluk ve su emme oranı tayini, 200 no'lu elekten geçen madde miktarı, dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle tayini deneyleri yapılmıştır. Deney metotları ve test sonuçları Tablo1-2 ve Şekil 8-9-10'da verilmiştir.

2.1.1.1. İnce ve İri Agregalarda Elek Analizi

ASTM C 136 standardı ince ve iri agregada elek analizi yardımı ile agregaların tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesine yönelik deney standardıdır. Bu deneyde kütlesi bilinen kuru agrega numunesi büyük elek göz açıklığından küçüğe doğru bir seri elekten elenerek tane büyüklüğü dağılımı belirlenmiştir. Bu deney yöntemi temel olarak kullanılması tasarlanan agreganın tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi maksadıyla kullanılmaktadır. Deney sonuçları, agrega tane büyüklüğü dağılımının standartta verilen kriterlere uygunluğunun belirlenmesinde ve agrega karışımlarının kontrolü için gerekli verilerin elde edilmesi amacıyla kullanılmıştır [37].



Şekil 3. Elek sarsma makinası ve elek takımı

2.1.1.2. Küçük Boyutlu İri Agregaların Los Angeles Bilyeli Tambur Cihazında Aşınma Etkilerine Karşı Dayanıklılık Tayini

ASTM C 131-96 (Yöntem A) standardı 37,5 mm'den küçük iri agregaların Los Angeles cihazı ile inşaat mühendisliğinde kullanılacak doğal ve yapay agregaların parçalanma direncinin (aşınmaya karşı dayanıklılığın) belirlenmesi için Los Angeles deney yöntemini kapsayan standarttır. Bu yöntem, standart gradasyona haiz mineral agregaların agrega gradasyonuna bağlı olarak belirli sayıda çelik bilyeler içeren döner çelik tambur içerisinde aşınma, darbe ve öğütme etkileri kombinasyonu altında aşınmaya karşı dayanıklılığını tayin etmek için kullanılmaktadır. Tambur döndükçe, tambura bağlı raf agrega ve çelik bilyeleri yukarı doğru taşımakta ve belirli bir yükseklikten agrega ve çelik bilyeler düşerek tamburun karşı yüzünde aşındırma ve darbe etkisini oluşturmaktadır. Tambur üzerinde ki malzeme yuvarlanarak aşınma ve öğütme etkisine maruz kalmaktadır. Daha sonra malzemeler tekrar raf ile yukarı taşınmakta ve bu işlem belirli sayıda döngü elde edilinceye kadar devam etmektedir. Belirli döngü sayısına ulaşıncaya tambur içerisindeki malzemeler dışarı bir kap içerisine alınarak 1 ½ inç elekten eleme suretiyle aşınarak ufalanan malzemelerin oranını saptanmaktadır [38]. Bu çalışmada agregaların aşınma kaybını belirlemek için 100 ve 500 devirde test yapılmıştır.



Şekil 4. Los Angeles aşınma kaybı deneyinin yapılması

2.1.1.3. Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini (İri Agregat)

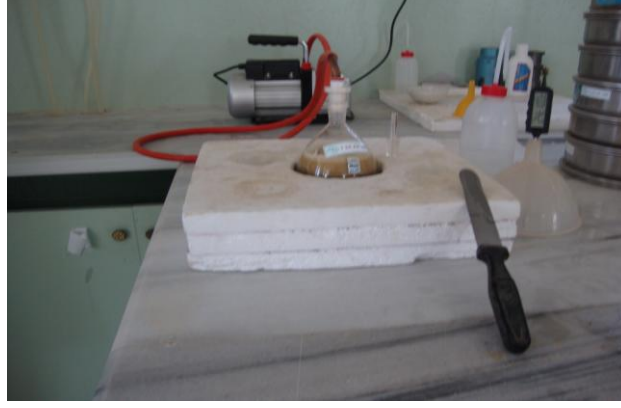
ASTM C 127 standardı iri agregada bağlı yoğunluk ve su emme oranının tayini deney yöntemini kapsayan standarttır. Bağlı yoğunluk uygulanan işleme bağlı olarak etüv kurusu bağlı yoğunluk, doygun-kuru-yüzey (DKY) bağlı yoğunluk veya görünür bağlı yoğunluk olarak ifade edilebilir. Etüv kurusu yoğunluk ve etüv kurusu bağlı yoğunluk agreganın kurutulmasından sonra belirlenir. Doygun-kuru-yüzey (DKY) yoğunluk, doygun-kuru-yüzey (DKY) bağlı yoğunluk ve su emme oranı agregat belirli bir süre su içerisinde bekletildikten sonra saptanır. Agregat deney numunesi boşlukların su ile dolması maksadı ile yaklaşık 24 saat süre ile su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra su içerisinden çıkartılarak agregat taneciklerinin üzerindeki serbest su kurutularak tartılmıştır. Bunu takiben agreganın hacmi su ile yer değiştirme yöntemi yardımıyla saptanmıştır. Son olarak deney numunesi etüvde kurutulup tartılmıştır. Tartım sonucu alınan kütle değerleri ve bu deney yönteminde verilen formüllerin kullanılması sureti ile yoğunluk, bağlı yoğunluk ve su emme oranı hesaplanmıştır [39].



Şekil 5.Yoğunluk, bağıl yoğunluk ve su emme deneyi seti (İri agregada)

2.1.1.4. Yoğunluk, Bağıl Yoğunluk ve Su Emme Oranı Tayini (İnce Agregada)

ASTM C 128 standardı ince agregada bağıl yoğunluk ve su emme oranının tayini standardıdır. Etüv kurusu bağıl yoğunluk, doymuş-kuru-yüzey (DKY), görünür bağıl yoğunluk olarak ifadeleri iri agregadaki test metodu ile aynıdır. Agregada deney numunesi boşlukların su ile dolması maksadı ile yaklaşık 24 saat süre ile su içerisinde bekletilir. Daha sonra su içerisinden çıkartılarak, agregada taneciklerinin üzerindeki serbest su kurutularak tartılmıştır. Bunu takriben agregada, hacmi belli olan dereceli bir kap içerisine konulup hacmi piknometre yöntemi yardımıyla saptanmıştır. Son olarak deney numunesi etüvde kurutularak tartılmıştır. Tartım sonucu alınan kütle değerleri ve bu deney yönteminde verilen formüllerin kullanılması sureti ile yoğunluk, bağıl yoğunluk ve su emme oranı hesaplanmıştır [40].



Şekil 6. Yoğunluk, bağıl yoğunluk ve su emme deneyi için kullanılan aparat ve düzenek (İnce agrega)

2.1.1.5. İnce Agregada 75µm (#200) Elekten Geçen İnce Madde Oranı Tayini (Yıkama Yolu İle)

ASTM C 117 standardı 75µm (#200) elekten geçen ince madde miktarının yıkama yolu ile saptanması deney standardıdır. Deney esnasında su içerisinde dağılabilen kil topları ve agrega tanecikleri ile suda çözülen maddeler de agregadan ayrılacaktır. Bu maksatla iki işlem uygulanmaktadır. Birincisi sadece su kullanarak yıkama işleminin gerçekleştirilmesi, diğeri ise ıslatıcı madde (sıvı bulaşık deterjanı vb.) kullanmak sureti ile iri tanelerden 75µm (#200)'den daha ince parçacıkların gevşemesinin temin edilmesi yöntemidir. Bu çalışmada sadece su kullanılarak deney yapılmıştır. Agregada deney numunesi sadece su ile yıkandıktan sonra askıda ve çözünmüş halde madde bulunduran yıkama suyu 75µm (#200) elekten geçirilmiştir. Yıkama işlemi sonucu oluşan kütle kaybı ilk kütle ile yüzde olarak hesaplanıp ve yıkama yolu ile 75µm (#200) elekten geçen ince madde oranı (yüzde olarak) rapor edilmiştir [41].



Şekil 7. İnce madde oranı tayini deneyinin yapılması

2.1.1.6. Beton Agregalarda Dona Dayanıklılığın Kimyasal Yöntemle Tayini (Sodyum Sülfat İle)

ASTM C 88 standardı gerçək iklim şartlarına dayanıklılık ile ilgili elde yeterli veri bulunmayan agregaların dayanıklılığının tespit edilmesine yönelik olarak tek tane sınıflarına kimyasal yöntemle uygulanan deneye ait standarttır.

İnce agrega için 300µm (#50) kare göz açıklıklı elek üzerinde malzeme tamamıyla yıkanıp ve 110±5°C sıcaklıkta sabit kütleye kadar kurutulmuştur. Daha sonra eleme işlemi yardımıyla tane sınıflarına ayrılmıştır. Sınıflandırılmış olan her bir agregatane sınıfından 100±0.1'er g (eleğe sıkışmış olan malzeme kullanılmaksızın) alınıp ve deney için ayrı ayrı kaplara konulmuştur.

İri agregatane için 4,75 mm (#4) kare göz açıklıklı elek üzerinde malzeme tamamıyla yıkanıp ve 110±5°C sıcaklıkta sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra eleme işlemi yardımıyla tane sınıflarına ayrılmıştır. Sınıflandırılmış olan her bir agregatane sınıfından yine standartta iri agregatane için verilmiş olan miktarlarda (eleğe sıkışmış olan malzeme kullanılmaksızın) deney numunesi alınıp kaplara konulmuştur. Her bir tane sınıfı ve tane sınıfını oluşturan alt sınıflara ait deney numunelerinin kütleleri kaydedilmiştir.

Numuneler hazırlanmış olan sodyum sülfat çözeltisi içerisine, üzeri en az 12,5mm (1/2") su yükü altında kalacak şekilde daldırılıp, bu şekilde 16 saatten az 18 saatten fazla olmamak kaydı ile çözeltide bekletilmiştir. Bu sırada, buharlaşmanın engellenmesi ve kirliliğin önlenmesi maksadıyla çözelti banyosu kapalı tutulmuştur. Daldırma süresi

boyunca, numunelerin sıcaklığının $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de olması maksadıyla çözelti $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta tutulmuştur. Daldırma işlemi sonunda agrega numuneleri çözülden alınıp 15 ± 5 dakika süreyle deney numuneleri üzerindeki çözeltinin süzülmesi için bekletilip deney numuneleri etüv içerisine yerleştirilmiştir. Bu işlem öncesi etüv sıcaklığının $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerine getirilmiş olması gereklidir. Bu şekilde deney numuneleri belirtilen sıcaklık değerinde sabit kütle değerine ulaşınca kadar kurutulabilir. 4 saatlik kurutma işlemi sonunda kütle kaybının % 0,1'den daha az olması durumunda sabit kütleye ulaşıldığı kabul edilir. Sabit kütle değeri elde edildikten sonra numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulup tekrar çözültiye daldırma işlemi için (şayet çözültide bekletme işlemi uygulanacak ise) hazır duruma getirilmiştir.

Dönüşümlü çözelti içerisine daldırma ve kurutma işlemi 5 kez tekrarlanmıştır. Son döngünün tamamlanması ve deney numunelerinin soğumasının ardından, deney numuneleri sodyum sülfat çözeltisinden tamamıyla arınıncaya kadar durulanmıştır. Numunenin sülfattan tamamen arınması, yıkama suyuna bir miktar BaCl_2 ilave edildiğinde beyaz çökelti oluşmaması ile anlaşılmıştır. Yıkama işlemi $43\pm 6^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki sirkülasyonlu su ile deney numuneleri tel sepet içerisinde iken yapılmıştır. Bu işlem tel sepet içerisindeki deney numunelerinin çözelti banyosu içerisine yerleştirilmesi ve çözelti banyosunun taban kısmına sıcak su verilmesi ve bu şekilde banyo üzerinden suyun taşması yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi süresi boyunca agregaların aşınma ve darbe etkisine maruz kalmamasına dikkat edilmiştir.

Deney numuneleri sodyum sülfattan arındırıldıktan sonra, her bir tane sınıfı sabit kütle değerine kadar $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kurutulmuştur. İnce agregada kütle kaybını belirlemek için her bir tane sınıfı daha önce deney numunesi hazırlanırken kullanılan tane sınıfına ait alt elekten elenir. Eleme işleminde, deney numunesi hazırlanırken uygulanan yöntem ve eleme süresi aynı olmalıdır. Deney sonu her bir tane sınıfı için elekte kalan numune kütlesi tartılmıştır. İlk numune kütlesi ile deney sonu kaybın belirlenmesinde kullanılan elekte kalan agrega kütlesi arasındaki fark yüzde kayıp olarak verilmiştir. İri agrega ise her bir tane sınıfı için verilen elekten elenir. Eleme işlemi, elle yapılarak ve eleme elekten geçebilecek tüm agregaların geçmesi temin edilecek şekilde tamamlanmıştır. Deney sonu her bir tane sınıfı için elekte kalan numune kütlesi olarak tartılmıştır. İlk numune kütlesi ile deney sonu kaybın belirlenmesinde kullanılan elekte kalan agrega kütlesi arasındaki fark yüzde kayıp olarak verilmiştir [42].



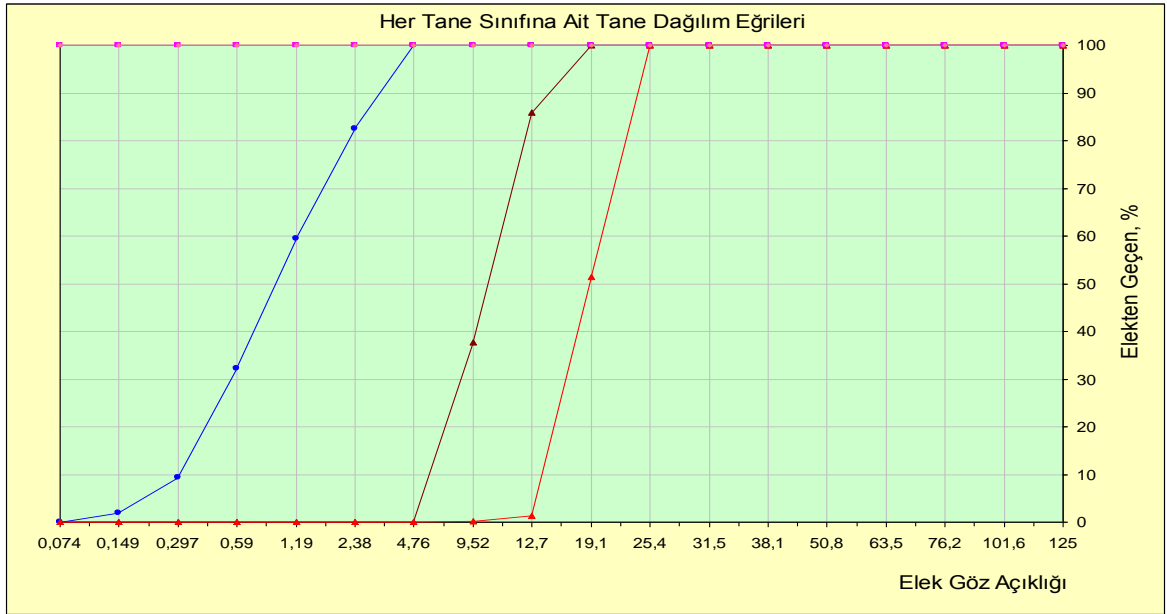
Şekil 8. Sodyum sülfat don kaybı deneyinin yapılması

Tablo 1. Agregat fiziksel özellikleri

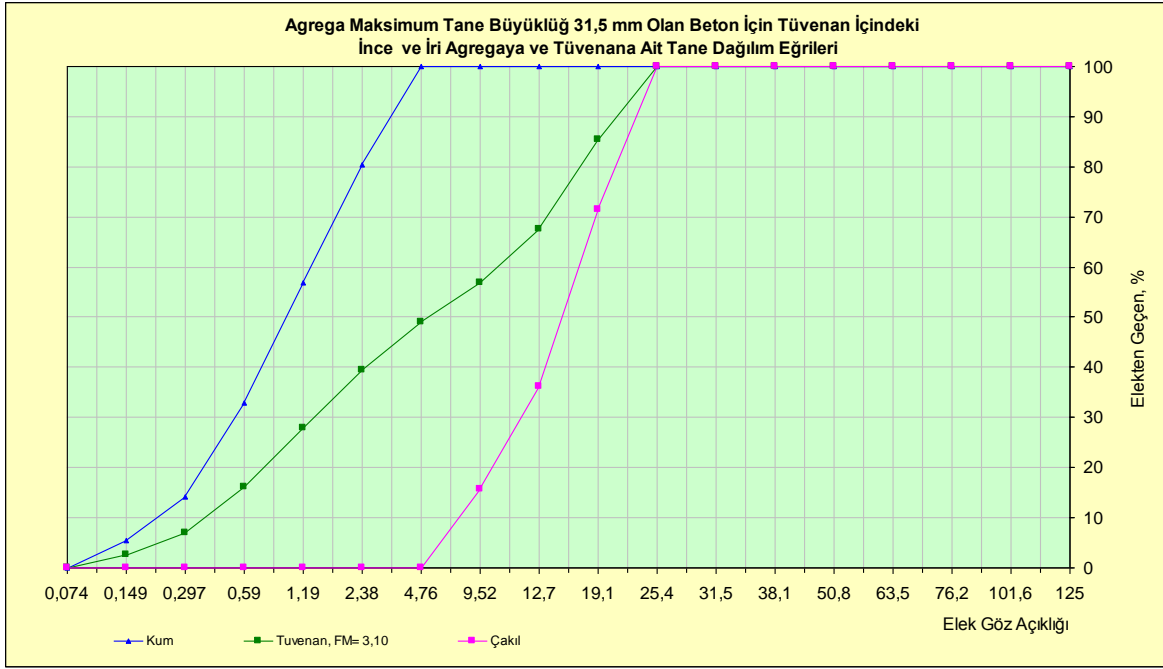
Numune Kodu		Bağıl Yoğunluk ve Su Emme Oranı				200 No'lu Elekten Geçen Miktar	
İri Agrega	İnce Agrega	İri Agregat		İnce Agregat		İri Agrega	İnce Agrega
		-	%	-	%	%	
	Dere Kum			2,67	2,74		2,30
	Kırma Kum			2,70	2,98		3,50
İnce Çakıl		2,83	1,60			0,50	
İri Çakıl		2,87	1,57			0,20	
Limitler		X		X		≤% 1,0	≤% 3,0 ^(A) ≤% 5,0 ^(B)
Deney Standardı		ASTM C 127		ASTM C 128		ASTM C 117 ^{A)} Aşınmaya maruz betonlarda ^{B)} Diğer betonlarda	

Tablo 2. Agrega fiziksel özellikleri

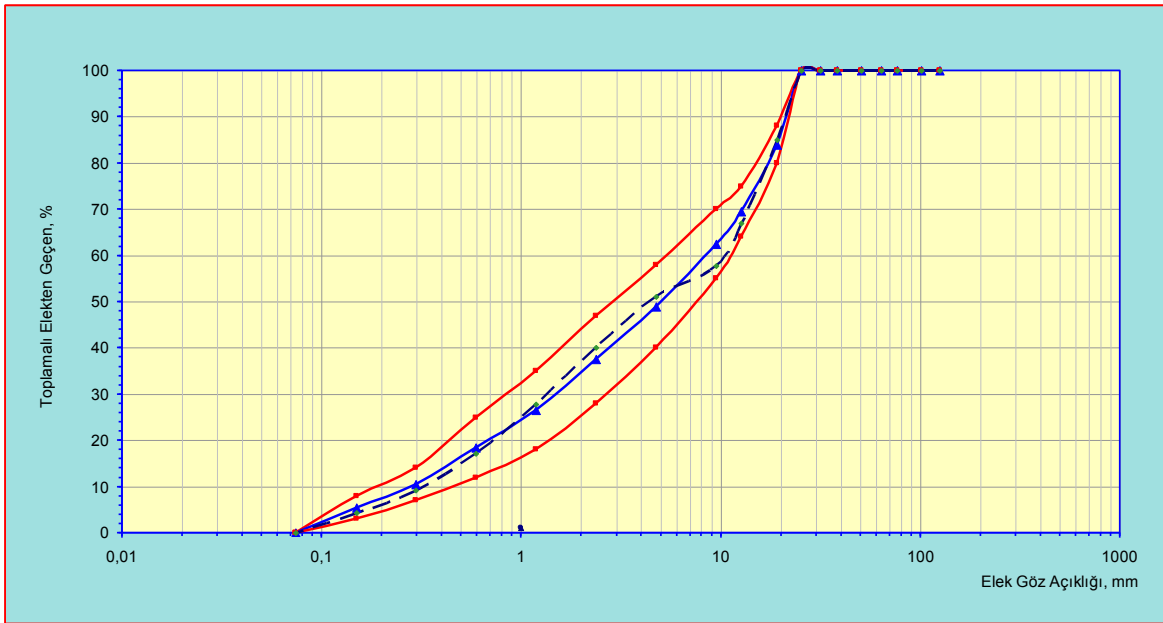
Numune Kodu		Dona Dayanıklılığın		Los Angeles	
		Kimyasal		Aşınma Kaybı	
		Yöntemle Tayini		100 Devir	500 Devir
		(Sodyum Sülfat ile)			
İri Agrega	İnce Agrega	İri Agrega	İnce Agrega	İri Agrega	
		%		%	
	Kırma Kum		5,48		
	Dere Kum		2,73		
İri Çakıl		0,10		7,30	27,50
İnce Çakıl		1,60		5,90	22,10
Limitler		≤% 12,0	≤% 10,0	≤% 10,0	≤% 50,0
Deneysel Standardı		ASTM C 88		ASTM C 131	



Şekil 9. Her tane sınıfına ait tane dağılım eğrileri



Şekil 10. Agregada maksimum tane büyüklüğü 31,5 mm olan beton için tüvenan içindeki ince- iri agregada ve tüvenana ait tane dağılım eğrileri



Şekil 11. Beton tasarımı için agregada tane dağılım eğrisi

2.1.2. Çimento Özellikleri

Beton yapımında, Trabzon Çimento Fabrikası üretimi CEM I 42,5 R, CEM II/A-M 42,5R (P-LL), CEM II/B-M 42,5N (P-LL) CEM II/A-P 42,5N tipi çimentolar kullanılmıştır. Çalışma boyunca özelliklerinin aynı kalması için çimento paketleri kapalı torbalar içinde saklanmıştır. TS EN 197-1 standardına göre kullanılan çimentoları tanımlarsak:

CEM I 42,5 R: Bünyesinde %95-%100 arası klinker ve %0-%5 arası minör ilave bileşen barındıran, 28 günlük basınç dayanımı en az 42,5 MPa olan yüksek erken dayanımlı portland çimentosudur.

CEM II/A-M 42,5R (P-LL): Bünyesinde %80-%94 arası klinker, %0-%5 arası minör ilave bileşen ve %6-%20 arası diğer çimento bileşenlerini barındıran, 28 günlük basınç dayanımı en az 42,5 MPa olan yüksek erken dayanımlı portland kompoze çimentosudur.

CEM II/B-M 42,5N (P-LL): Bünyesinde %65-%79 arası klinker, %0-%5 arası minör ilave bileşen ve %21-%35 arası diğer çimento bileşenlerini barındıran, 28 günlük basınç dayanımı en az 42,5 MPa olan normal erken dayanımlı portland kompoze çimentosudur

CEM II/A-P 42,5N: Bünyesinde %80-%94 arası klinker, %0-%5 arası minör ilave bileşen ve %6-%20 arası doğal puzolan barındıran, 28 günlük basınç dayanımı en az 42,5 MPa olan normal erken dayanımlı portland-puzolan çimentosudur [15].

Bu çalışmada kullanılan çimentolara ait testler DSİ TAKK Dairesi Laboratuvarlarında yapılmıştır [43-46].

Tablo 3. CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ		FİZİKSEL ANALİZ	
Silisyum dioksit, %	19,81	Özgül ağırlık, g/cm ³	3,13
Alüminyum oksit, %	4,87	Özgül yüzey, cm ² /g	4025
Demir oksit, %	3,88	0,090 mm elek kalıntısı, %	0,10
Kalsiyumoksit, %	62,72	Genleşme, mm	2,00
Magzezyum oksit, %	1,94	Priz başlangıç süresi, sa/dak	2,15
Kükürt trioksit, %	2,43	Priz bitiş süresi, sa/dak	3,30
Kızdırma kaybı, %	1,80	Basınç dayanımı (28 Gün), MPa	53,50

Tablo 4. CEM II/A-M 42,5R (P-LL) çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ		FİZİKSEL ANALİZ	
Silisyum dioksit, %	18,92	Özgül ağırlık, g/cm ³	2,99
Alüminyum oksit, %	4,50	Özgül yüzey, cm ² /g	4109
Demir oksit, %	3,28	0,090 mm elek kalıntısı	1,10
Kalsiyum oksit, %	60,15	Genleşme, mm	2,00
Magzezyum oksit, %	2,82	Priz başlangıç süresi, sa/dak	2,36
Kükürt trioksit, %	2,60	Priz bitiş süresi, sa/dak	3,31
Sodyum dioksit, %	0,21	Basınç dayanımı (28 gün) MPa	50,40
Potasyum dioksit, %	0,53		
Klor, %	0,0079		
Kızdırma kaybı, %	6,44		
Katkı, %	16,78		
Ölçülemeyen, %	0,55		

Tablo 5. CEM II/B-M 42,5N (P-LL) çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ		FİZİKSEL ANALİZ	
Silisyum dioksit, %	18,63	Özgül ağırlık, g/cm ³	2,94
Alüminyum oksit, %	4,48	Özgül yüzey, cm ² /g	4191
Demir oksit, %	3,41	0,090 mm elek kalıntısı	1,10
Kalsiyum oksit, %	59,00	Genleşme, mm	2,00
Magzezyum oksit, %	2,72	Priz başlangıç süresi, sa/dak	2,57
Kükürt trioksit, %	2,37	Priz bitiş süresi, sa/dak	3,53
Sodyum dioksit, %	0,18	Basınç dayanımı (28gün), MPa	45,90
Potasyum dioksit, %	0,52		
Klor, %	0,0088		
Kızdırma kaybı, %	8,11		
Katkı, %	21,88		
Ölçülemeyen, %	0,57		

Tablo 6. CEM II/A-P 42,5N çimentosunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ		FİZİKSEL ANALİZ	
Silisyum dioksit, %	20,49	Özgül ağırlık, g/cm ³	3,06
Alüminyum oksit, %	5,90	Özgül yüzey, cm ² /g	4014
Demir oksit, %	3,89	0,090 mm elek kalıntısı	1,40
Kalsiyum oksit, %	62,71	Genleşme, mm	1,00
Magzezyum oksit, %	1,45	Priz başlangıç süresi, sa/dak	2,20
Kükürt trioksit, %	2,36	Priz bitiş süresi, sa/dak	3,50
Kızdırma kaybı, %	1,80	Basınç dayanımı (28 gün) MPa	48,80
Katkı, %	6,21		

2.1.3. Tras ve Uçucu Kül Özellikleri

Beton yapımında Trabzon Çimento fabrikasından temin edilen Bayburt Trası ile Deriner Barajı şantiyesinden temin edilen Zonguldak Çatalağzı termik santrali uçucu külü kullanılmıştır. Uçucu külde, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamı % 84.19, CaO miktarı da % 3.47 olup ASTM C 618' e göre düşük kireçli F sınıfı uçucu kül sınıfına girmektedir. Tras ve uçucu küle ait testler DSİ TAKK Dairesi Laboratuvarlarında yapılmıştır [44].

Tablo 7. Bayburt trası fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ		FİZİKSEL ANALİZ	
Silisyum dioksit, %	57,81	Özgül ağırlık, g/cm^3	2,67
Alüminyum oksit, %	15,43	Özgül yüzey, cm^2/g	4970
Demir oksit, %	4,46	0,090 mm elek kalıntısı	3,10
Kalsiyum oksit, %	5,09	0,20 mm elek kalıntısı	0,10
Magzezyum oksit, %	2,32	Basınç dayanımı (7 gün) MPa	8,00
Kükürt trioksit, %	0,033		
Sodyum oksit, %	1,72		
Potasyum oksit, %	2,00		
Reaktif silis, %	29,12		
Kızdırma kaybı, %	5,84		

Tablo 8. Zonguldak çatalağzı uçucu külü kimyasal analiz sonuçları

KİMYASAL ANALİZ	
Silisyum dioksit, %	53,53
R_2O_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), %	30,66
S+A+F, %	84,19
Kalsiyum oksit, %	3,47
Magzezyum oksit, %	1,49
Kükürt trioksit, %	0,42
Klorür, %	0,0041
Çözünmeyen kalıntı, %	86,53
Kızdırma kaybı, %	1,28
Alkalinite sodyum oksit ve potasyum oksit, %	2,73

Tablo 9. F sınıfı uçucu küller için ASTM C 618 standardı limitleri

Limitler	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , %	En az 70,0
Magzezyum oksit, %	En çok 5,0
Potasyum oksit, %	En çok 5,0
Sodyum oksit, %	En çok 5,0
Kükürt trioksit, %	En çok 5,0
Kızdırma kaybı, %	En çok 12,0

2.1.4. Kimyasal Katkı Maddelerinin Özellikleri

Beton yapımında Pozzolith MR 27 (Modifiye Lignin Sülfonat Esaslı, Su Azaltıcı/ orta (mid-range) akışkanlaştırıcı), Rheobuild 1000 (Naftalin Sülfonat Esaslı, yüksek oranda su azaltıcı/ süper akışkalaştırıcı), Rheomac 701 (Modifiye Lignin Sülfonat Esaslı betonda su geçirimsizlik sağlayan, su azaltıcı/ akışkanlaştırıcı), Glenium 51 (polikarbosilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltıcı/yeni nesil süper akışkanlaştırıcı) beton katkı maddeleri kullanılmıştır. Deneyler DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı Laboratuvarlarında yapılmıştır [47-50].

Tablo 10. Pozzolith MR 27 beton katkı maddesinin özellikleri

Bağıl yoğunluk, g/ml	1,145
Katı madde, %	30,58
pH	5,52
Suda çözünen klorür, %	0,0186
Alkali miktarı, %	3,020

Tablo 11. Rheobuild 1000 beton katkı maddesinin özellikleri

Bağıl yoğunluk, g/ml	1,212
Katı madde, %	39,22
pH	6,52
Suda çözünen klorür, %	0,014
Alkali miktarı, %	1,619

Tablo 12. Rheomac 701 beton katkı maddesinin özellikleri

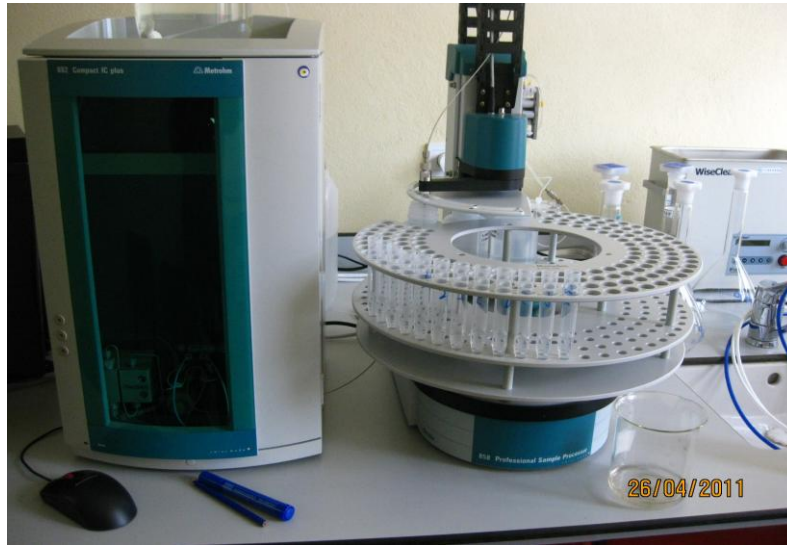
Bağıl yoğunluk, g/ml	1,07
Katı madde, %	17,70
pH	5,09
Suda çözünen klorür, %	0,0219
Alkali miktarı, %	2,212

Tablo 13. Glenium 51 beton katkı maddesinin özellikleri

Bağıl yoğunluk, g/ml	1,14
Katı madde, %	34,70
pH	7,10
Suda çözünen klorür, %	0,0298
Alkali miktarı, %	0,640

2.1.5. Beton Karma Suyu Deneylerinin Yapılması

Beton üretiminde kullanılan suyun testleri DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarında yapılmıştır. Bu testlerin yapılmasındaki amaç suda çimentonun hidrasyonunu ve priz almasını engelleyecek zararlı maddelerin testler için kullanılan suda var olup olmadığını gözlemlemektir [51-54].



Şekil 12. Su analizlerinin yapılması (iyon kromatograf ile)

Tablo 14. Beton karma suyu test sonuçları

No	Deneyler	SONUÇ	ZARARLI ETKİNLİK DERECESİ TS 3440		
			Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli
1	pH	6,20	6,5-5,5	3,5-4,5	En çok 4,5
2	Sülfat, mg/l	0,13	200-600	600-3000	En az 3000
3	Klorür, mg/l	9,75	-	-	-
4	Magnezyum, mg/l	0,54	100-300	300-1500	En az 1500
5	Amonyum, mg/l	0,04	15-30	30-60	En az 60
6	Toplam sertlik, mg/l	2,01			
7	Sodyum, mg/l	5,97			
8	Karbonat, mg/l	30,00			
9	Bikarbonat, mg/l	0,00			
10	Nitrat, mg/l	4,93			

2.2. Çalışma Kapsamında Üretilen Betonların Bileşimi

2.2.1. Akışkanlaştırıcı Tipine Göre Dökülen Betonlar

Farklı özellikteki kimyasal katkı maddelerinin betonun su işleme özelliğine etkisini araştırmak için aynı çimento tipi ve miktarı ile 7 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Tüm betonlar 350 kg/m^3 , CEM I 42,5 R çimentosu ile üretilmiştir. Modifiye lignin sülfonat esaslı (MR 27), naftalin sülfonat esaslı (Rheobuild 1000), polikarbosilik eter esaslı (Glenium 51) kimyasal katkı maddeleri $3,5 \text{ kg/m}^3$, modifiye lignin sülfonat esaslı (Rheomac 701) kimyasal katkı maddesi ise $1,75 \text{ kg/m}^3$ oranlarında kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,42-0,62 arasında olup, çökme 11-12 cm olarak belirlenmiştir. Hava içeriği %2,4-%3,4 arasında bulunmuştur.

Tablo 15. Akışkanlaştırıcı tipine göre dökülen betonların özellikleri

NO	ÇİMENTO		S / Ç	SU	KATKI MADDESİ-1			KATKI MADDESİ-2			BİRİM AĞIRLIK	HAVA İÇERİĞİ	ÇÖKME
	Tip	Miktar			Adı	K / Ç	Miktar	Adı	K / Ç	Miktar			
---	---	kg/m ³	---	kg/m ³	---	%	kg/m ³	---	%	kg/m ³	kg/m ³	%	cm
1	CEM I 42,5R	350	0,62	217,0							2334,00	3,4	12,0
2	CEM I 42,5R	350	0,57	201,1	MR 27	1,00	3,5				2370,60	3,2	12,0
3	CEM I 42,5R	350	0,56	196,5	MR 27	1,00	3,5	Rheomac 701	0,5	1,75	2374,75	3,4	11,0
4	CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5				2412,70	2,9	11,0
5	CEM I 42,5R	350	0,50	174,3	Rheobuild 1000	1,00	3,5	Rheomac 701	0,5	1,75	2424,55	3,1	11,0
6	CEM I 42,5R	350	0,44	155,2	Glenium 51	1,00	3,5				2474,70	2,4	11,0
7	CEM I 42,5R	350	0,42	148,1	Glenium 51	1,00	3,5	Rheomac 701	0,5	1,75	2483,35	2,6	11,0

2.2.2. Çimento Tipine Göre Dökülen Betonlar

Farklı tiplerdeki çimentoların betonun su işleme özelliğine etkisini araştırmak için aynı çimento miktarında ve akışkanlaştırıcı katkı maddesini kullanarak sabit su/çimento oranı ile birlikte üretilen 4 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Tüm numuneler 350 kg/m³, CEM I 42,5 R, CEM II/A-M 42,5R (P-LL), CEM II/B-M 42,5N (P-LL) ve CEM II/A-P 42,5N çimentosu ile üretilmiştir. Naftalin sülfonat esaslı (Rheobuild 1000) kimyasal katkı maddesi 3,5 kg/m³, oranında kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,52 olup, çökme miktarı 9-11 cm olarak belirlenmiştir. Hava içeriği %2,6-%2,9 olarak ölçülmüştür.

Tablo 16. Çimento tipine göre dökülen betonların özellikleri

NO	ÇİMENTO		S/Ç	SU	KATKI MADDESİ			BİRİM AĞIRLIK	HAVA İÇERİĞİ	ÇÖKME
	Tip	Miktar			Adı	K / Ç	Miktar			
---	---	kg/m ³	---	kg/m ³	---	%	kg/m ³	kg/m ³	%	cm
8	CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0
9	CEM II/B-M 42,5N (P-LL)	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2392,70	2,9	9,0
10	CEM II/A-M 42,5R (P-LL)	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2402,70	2,8	10,0
11	CEM II/A-P 42,5N	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2414,70	2,6	10,0

2.2.3. Uçucu Kül Kullanımına Göre Dökülen Betonlar

Uçucu külün, betonun su işleme özelliğine etkisini araştırmak için aynı çimento tipi ve akışkanlaştırıcı katkı maddesini kullanarak sabit su/çimento oranı ile birbirine %10 %20, %30 oranında uçucu kül ikame edilerek üretilen 4 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Tüm numuneler 245-350 kg/m³ arası CEM I 42,5 R çimentosu ile üretilmiştir. Uçucu kül miktarı 35-105 kg/m³ arasındadır. Naftalin sülfonat esaslı (Rheobuild 1000) kimyasal katkı maddesi 3,5 kg/m³, oranında kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,52 olup, çökme miktarı 11-13 cm arasında gözlenmiştir. Hava içeriği %2,7-%2,9 arasında bulunmuştur.

Tablo 17. Uçucu kül kullanımına göre dökülen betonların özellikleri

NO	UÇUCU KÜL		ÇİMENTO		S / B	SU	KATKI MADDESİ			BİRİM AĞIRLIK	HAVA İÇERİĞİ	ÇÖKME
	Oran	Miktar	Tip	Miktar			ADI	K / B	Miktar			
---	%	kg/m ³	---	kg/m ³	---	kg/m ³	---	%	kg/m ³	kg/m ³	%	cm
12			CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0
13	10	35	CEM I 42,5R	315	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2406,70	2,9	12,0
14	20	70	CEM I 42,5R	280	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2405,70	2,7	13,0
15	30	105	CEM I 42,5R	245	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2398,70	2,7	13,0

2.2.4. Tras Kullanımına Göre Dökülen Betonlar

Trasın betonun su işleme özelliğine etkisini araştırmak için aynı çimento tipi ve akışkanlaştırıcı katkı maddesini kullanarak, sabit su/çimento oranı ile birbirine %10, %20 %30 oranında tras ikame edilerek üretilen 4 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Tüm numuneler 245-350 kg/m³ arası CEM I 42,5 R çimentosu ile üretilmiştir. Tras miktarı 35-105 kg/m³ arasındadır. Naftalin sülfonat esaslı (Rheobuild 1000) kimyasal katkı maddesi 3,5 kg/m³, oranlarında kullanılmıştır. S/B oranı 0,52 olup, çökme 8-11 cm arasında ölçülmüştür. Hava içeriği %2,4-%2,9 olarak belirlenmiştir.

Tablo 18. Tras kullanımına göre dökülen betonların özellikleri

NO	TRAS		ÇİMENTO		S / B	SU	KATKI MADDESİ			BİRİM AĞIRLIK	HAVA İÇERİĞİ	ÇÖKME
	Oran	Miktar	Tip	Miktar			ADI	K / Ç	Miktar			
---	%	kg/m ³	---	kg/m ³	---	kg/m ³	---	%	kg/m ³	kg/m ³	%	cm
16			CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0
17	10	35	CEM I 42,5R	315	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2413,70	2,7	10,0
18	20	70	CEM I 42,5R	280	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2411,70	2,6	10,0
19	30	105	CEM I 42,5R	245	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,4	8,0

2.2.5. Uygulanan Basınca Göre Dökülen Betonlar

Beton yüzeyine uygulanan farklı değerlerdeki basınçların betonun su işleme miktarına etkisini araştırmak için aynı çimento tipi ve akışkanlaştırıcı katkı maddesini kullanarak, sabit su/çimento oranı ile 2,5-5,0-7,5-10,0 bar basınç değerlerinin uygulanacağı 4 adet beton karışımının üretilmiştir. Tüm betonlar 350 kg/m³ CEM I 42,5 R çimentosu ile üretilmiştir. Naftalin sülfonat esaslı (Rheobuild 1000) kimyasal katkı maddeleri 3,5 kg/m³, oranlarında kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, çökme 11 cm ölçülmüştür. Hava içeriği %2,9 olarak belirlenmiştir.

Tablo 19. Uygulanan basınca göre dökülen betonların özellikleri

NO	Uygulanan Basınç	ÇİMENTO		S/Ç	SU	KATKI MADDESİ			BİRİM AĞIRLIK	HAVA İÇERİĞİ	ÇÖKME
		Tip	Miktar			Adı	K/Ç	Miktar			
---	Bar	---	kg/m ³	---	kg/m ³	---	%	kg/m ³	kg/m ³	%	cm
20	2,5	CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0
21	5,0	CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0
22	7,5	CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0
23	10,0	CEM I 42,5R	350	0,52	182,2	Rheobuild 1000	1,00	3,5	2412,70	2,9	11,0

2.3. Beton Numunelerin Hazırlanması ve Kür Edilmesi

Betonların basınç dayanımı ve basınç altında su işleme derinliği tayini deney sonuçları üzerinde beton üretiminde kullanılan agrega, çimento tipi ve miktarı, su miktarı kullanılan mineral ve kimyasal katkıları ve bunların etkileşimleri rol oynar.

Beton numunelerinin basınç altında su işleme derinliği ve basınç dayanımı sonuçlarını elde etmek için 23 adet beton karışımı hazırlanmıştır. Bu karışımlar hazırlanmadan önce, agreganın beton için uygun olup olmadığı agrega uygunluk testleri ile incelenmiştir. Agregalar zararlı miktarda kil, silt, toz, organik madde içermemeli agregaların aşınma ve don kaybı düşük olmalıdır. Agregaların bu kriterleri sağlayamaması durumunda su geçirimsiz beton üretilmesi de zordur. Elek analizi sonucuna ile yapılan granülometri düzenlemesine göre, kırma kum (%40), dere kumu (%11), ince çakıl (%18), iri çakıl (%31) oranında kullanılmıştır. Beton karışım hesabı TS 802 standardına göre yapılmıştır [55].

Karma işlemi için 50 lt kapasiteli betoniyer kullanılmıştır. Beton numunelerinin basınç dayanımı ve basınç altında su işleme derinliği etkisinin incelenmesi amacıyla her üretimden 6 adet 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlu küp numuneler hazırlanmıştır. Bütün numuneler üretimlerinden bir gün sonra kalıplarından çıkarılmış ve 20±2°C olan suda 28 gün kür edilmiştir. Taze betonu kalıplara sıkıştırma işlemi şişleme ile yapılmıştır. Sıkıştırma çubuğu darbeleri numune kalıbının en kesit alanına düzgün şekilde dağıtılmıştır. İlk tabakanın sıkıştırılmasında çubuğun numune kalıbının tabanına sertçe çarpması, diğer tabakaların sıkıştırılması esnasında da bir önceki tabakaya fazla miktarda girmesi önlenmiştir. Her tabaka sıkıştırma çubuğu ile en az 25 kez şişlenmiştir. Her tabakanın sıkıştırılmasından sonra sıkışmış hava ceplerinin tahliyesi sağlanarak, sürüklenmiş hava kabarcıkları korunacak şekilde beton yüzeyine büyük hava kabarcıkları çıkışı duruncaya ve sıkıştırma çubuğu darbelerinden geri kalan boşlukların dolması sağlanıncaya kadar kalıbın dış kenarlarına tokmak ile hafifçe vurulmuştur [56].



Şekil 13. 50 litre kapasiteli betoniyer



Şekil 14. Taze betonda çökme deneyi



Şekil 15. 150x150x150 mm küp numuneler

2.4. Sertleşmiş Beton Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

2.4.1. Basıncı Altında Su İşleme Derinliği Tayini Deneyi

DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarında geçirimsizlik deneylerinde kullanılan her bir cihaz üzerinde birbirinden bağımsız 2 seri halinde deney yapılmasına olanak sağlayan ve her biri 3 adet numunede deney yapabilen toplam 6 adet deney ünitesi vardır. Her bir ünite beton numuneye giren su miktarının 1000 cc'lik derecelenmiş cam bir mezürdeki su azalmasının okunmasına mahsus kısım ve (araya numunenin konulması için tasarlanmış lastik contalı) 2 plakalı bir hücreden ibarettir. Deneyde kullanılan küp şekilli beton numuneler su geçecek kısımlar hariç diğer yerleri yalıtım malzemesi ile izole edildikten ve su basıncı uygulanacak olan kısım tel fırça ile pürüzlendirildikten sonra bahsi geçen hücreler içerisine yerleştirilmiştir. Kapaklar üniform bir şekilde sıkıştırma prensibine göre tasarlanmış hücre sisteminde iyice sıkıldıktan sonra su üzerindeki maksimum hava basıncı 10 bar değerini geçmeyecek şekilde deney basıncına ayarlanmıştır. Deney düzeneği zamana bağlı olarak beton numuneye giren su miktarı ölçülmesine ve/veya TS EN 12390-8 standardında da belirtildiği üzere belirli bir süre belirli su basıncı altında tutulan numunelerin yarılarak su işleme derinliğinin kuru yüzey ile ıslak yüzey temas hattının çizilmesi ve su basıncı uygulanan yüzeyden olan uzaklığının (su işleme derinliği) ölçülmesi prensibine göre deney yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Öncelikle 23 adet küp şekilli beton numune (150x150x150 mm) standardın istediği koşullar altında kür edilerek deney için istenilen en az yaş olan 28 güne getirilmiştir.

Daha sonra numuneler üst ve alt yüzeylerinden su geçecek/geçebilecek kısımlar dışında tamamen su yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Bu şekilde bir gün bekletildikten sonra numuneler geçirgenlik cihazına bağlanmıştır. Numunelere TS EN 12390-8'de belirtilen (500±50) kPa'lık havası alınmış basınçlı saf su tatbik edilmek üzere deneye toplam (72±2) saat süreyle devam edilmiştir.

Numuneler ile ilgili herhangi bir problemle karşılaşılmaşmamıştır ve betonda geçirgenlik deney düzeneğinden çıkartılarak yarmada çekme deney presi kullanılarak su basınç uygulama yönüne paralel bir şekilde ortadan ikiye ayrılmıştır. Yarılan yüzey bir miktar kuruduktan sonra yaş ve kuru bölge arasındaki hat ayrımı dikkatlice yapılarak markör kalem ile su işleme derinliği çizilmiştir. Daha sonra çizilmiş olan hattın su basıncı uygulanmış olan yüzeyden olan uzaklığı dikkatli bir şekilde ölçülerek su işleme derinliği boydan boya ölçülmüştür. Bir numunenin iki parçası üzerinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak her bir numuneyi temsil eden su işleme derinliği bilgisayar ortamında grafiksel olarak oluşturulmuştur [57-61].



Şekil 16. Basınçlı geçirgenlik deneyi düzeneği



Şekil 17. Su işleme derinliği

2.4.2. Basınç Dayanımı Testi

Bu çalışmada üretilen 150x150x150 mm boyutlu küp numuneler basınç dayanımlarının belirlenmesi için sırasıyla 2000 kN kapasiteli deney aleti kullanılmış olup, yüklemeler 0,6 MPa/sn'lik bir hızla gerçekleştirilmiştir. Deneyler TS EN 12390-3 standardına göre yapılmıştır [62].



Şekil 18. Basınç dayanımı testi

3. BULGULAR VE İRDELEME

Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesindeki baraj yapılarında geçirimsizliğin kil dolgu ile sağlanmasında, yağışlar sebebiyle sıkıntılar görülmektedir. İklimsel nedenlerden dolayı kil ile geçirimsizlik zonunun oluşturulması zorlaşmaktadır. Sertleşmiş betonun permeabilitesinin düşük olması betonun servis ömrü boyunca maruz kalacağı olumsuz etkilerden korunması için önemlidir. Betonun geçirimsizliği, çimento hamurunda bulunan boşluklara ve bu boşluklar arasındaki bağlantıya bağlıdır. Bu nedenle betonun iç yapısında bu boşlukları azaltıcı önlemler alınmalıdır. Bu çalışmada betonda su geçirimsizliğinin sağlanması ve permeabilitesinin iyileştirilmesi için farklı tipte çimento, beton katkı maddesi, uçucu kül ve tras kullanılarak basınç altında su işleme derinliği tayini deneyi ve basınç dayanımı deneyi sonuçları incelenmiştir.

3.1. Değerlendirme Kriterleri ve Sonuçlar

Basınç altında su işleme derinliği tayini testinden elde edilen maksimum su işleme derinliği (MSİD) ile ilgili kriterler, TS EN 12390-8 standardında verilmiştir. Bu kriterler:

Tablo 20. Betonda su işleme derinliğinin değerlendirmesi için kriterler

Su Geçirimsizliği Değerlendirmesi	Su İşleme Derinliği, mm
Geçirimsiz Beton	> 50
Geçirimsiz Beton	< 50
Zararlı Ortamlara Karşı Geçirimsiz Beton	< 30

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen basınç dayanımı ve basınç altında su işleme derinliği değerleri tablo ve şekillerde verilmiştir.

Tablo 21. Akışkanlaştırıcı tipine göre MSİD ve basınç dayanımı

NO	Katkı Maddesi-1	Katkı Maddesi-2	Basıç Altında Su İşleme Derinliği	Basınc Dayanımı
	Adı	Adı		
---	---	---	mm	MPa
1			52,00	34,20
2	MR 27		38,00	41,40
3	MR 27	Rheomac 701	31,00	41,10
4	Rheobuild 1000		27,00	48,40
5	Rheobuild 1000	Rheomac 701	24,00	47,20
6	Glenium 51		21,00	57,10
7	Glenium 51	Rheomac 701	17,00	54,70

Beton yapımında kullanılan su/çimento oranı büyüdükçe, çimento hamurunun içinde bulunan kapiler boşlukların toplam hacmi daha büyük olmaktadır. Kapiler boşlukların toplam hacmi arttıkça betonun dayanımı düşmekte, geçirimsizliği artmaktadır. Bu nedenle beton permeabilitesinde iyileşmenin su/çimento oranının düşürülmesiyle sağlanacağı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada modifiye lignin sülfonat esaslı orta düzey akışkanlaştırıcı, naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı, polikarbosilik eter esaslı hiper akışkanlaştırıcı ürünler ile yine modifiye lignin sülfonat esaslı kapiler su emmeye karşı betonun geçirimsizliğini artıran-su geçirimsizlik sağlayan kimyasal katkı maddeleri kullanılarak su/çimento oranı düşürülmeye çalışılmıştır. Çimento olarak CEM I 42,5R kullanılmıştır. Sabit çökme değerlerine göre ayarlanan beton karışımlarının sonuçları incelendiğinde; su/çimento oranı düştükçe basınç dayanımının arttığı betondaki hava miktarının azaldığı ve beton permeabilitesinde iyileşme olduğu gözlenmiştir. Betonun kapiler su emmeye karşı geçirimsizliğini artıran-su geçirimsizlik sağlayan katkı maddelerinin ise bir miktar hava sürüklediği, dayanımı düşürdüğü bununla birlikte beton permeabilitesinde iyileşme sağladığı görülmüştür.

Tüm sonuçlar incelendiğinde süper akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen numunelerde su geçirimsizlik şartının sağlandığı görülmüştür. En iyi sonuç ise hiper akışkanlaştırıcı ile beraber kullanılan, kapiler su emmeye karşı geçirimsizliğini artıran-su geçirimsizlik sağlayan katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Tablo 22. Çimento tipine göre MSİD ve basınç dayanımı

NO	Çimento	Basınç Altında Su İşleme Derinliği	Basınç Dayanımı
	Tipi		
---	---	mm	MPa
8	CEM I 42,5R	27,00	48,40
9	CEM II/B-M 42,5N (P-LL)	23,00	42,60
10	CEM II/A-M 42,5R (P-LL)	25,00	45,20
11	CEM II/A-P 42,5N	29,00	43,10

Çalışmalarda Trabzon çimento fabrikası üretimi 4 farklı tipte çimento kullanılmıştır. Bu çimentolar; CEM I 42,5R, CEM II/B-M 42,5N (P-LL), CEM II/A-M 42,5R (P-LL) ve CEM II/A-P 42,5N tipi çimentolardır. Deney numunelerinde sabit su/çimento oranı kullanılmıştır. Çimento içerisindeki puzolan miktarı arttıkça basınç dayanımında azalma, beton permeabilitesinde ise iyileşme görülmüştür. En iyi sonuç bünyesinde %21,88 oranında puzolan bulunduran CEM II/B-M 42,5N (P-LL) çimentosunda görülmüştür.

Tablo 23. Uçucu kül kullanımına göre MSİD ve basınç dayanımı

NO	Uçucu Kül	Basınç Altında Su İşleme Derinliği	Basınç Dayanımı
	Miktar		
---	%	mm	MPa
12		27,00	48,40
13	10	24,00	48,10
14	20	21,00	41,30
15	30	19,00	39,50

Tablo 24. Tras kullanımına göre MSİD ve basınç dayanımı

NO	Tras	Basınç Altında Su İşleme Derinliği	Basınç Dayanımı
	Miktar		
---	%	mm	MPa
16		27,00	48,40
17	10	26,00	44,30
18	20	22,00	41,90
19	30	21,00	40,30

Uçucu kül ve tras ince taneli mikrofiller malzemeler olup, agrega matris ara yüzeyinde ve çimento hamurunda bulunan boşlukları doldurduğundan, beton permeabilitesinde iyileşme sağlamaktadırlar. Sabit su/bağlayıcı oranında, Çatalağzı uçucu külü ve Bayburt trası %10-%20-%30 oranında CEM I 42,5R çimentosu ile ikame edilerek deney numuneleri hazırlanmış ve test sonuçları incelenmiştir. Uçucu kül ve tras yüzdesi arttıkça beton dayanımlarında azalma, beton permabilitesinde ise iyileşme gözlenmiştir. Permeabilite açısından en iyi sonuç % 30 uçucu kül kullanılarak elde edilmiştir. Tüm testlerde beton içinde sürüklenen hava miktarı yaklaşık aynı değer çıkmıştır. % 20 uçucu kül ikameli deney numuneleri ile % 30 tras ikameli deney numunelerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 25. Uygulanan basınca göre MSİD ve basınç dayanımı

NO	Uygulanan Basınç	Basınç Altında Su İşleme Derinliği	Basınç Dayanımı
---	Bar	mm	MPa
20	2,5	23,00	48,40
21	5.0	27,00	48,40
22	7,5	32,00	48,40
23	10.0	46,00	48,40

Bu çalışmada aynı karışımla oluşan (CEM I 42.5R çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi) test numunelerine 2,5-5-7,5-10 bar basınç uygulanmıştır. Basınç miktarı arttıkça beton permabilitesinin de arttığı gözlenmiştir.

Şekil 19'da 1 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, katkısız beton ile katkılı beton numunelerinin arasındaki farkı inceleyebilmek için beton katkı maddesi kullanılmamıştır. S/Ç oranı 0,62 olup, MSİD 52 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre geçirimli beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 20'de 2 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak MR 27 (%1 oranında) orta düzey akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,57 olup, MSİD 38 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 21'de 3 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak MR 27 (%1 oranında) orta düzey akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi ve Rheomac 701 (%0,5 oranında) su geçirimsizlik katkısı kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,56 olup, MSİD 31 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 22'de 4 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rheobuild 1000 (%1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 27 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 23'de 5 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rheobuild 1000 (%1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi ve Rheomac 701 (%0,5 oranında) su geçirimsizlik katkısı kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,50 olup, MSİD 24 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 24'de 6 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Glenium 51 (%1 oranında) hiper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,44 olup, MSİD 21 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 25'de 7 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede akışkanlaştırıcı tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Glenium 51(%1 oranında) hiper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi katkısı ve Rheomac 701 (%0,5 oranında) su geçirimsizlik katkısı kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,42 olup, MSİD 17 mm olarak ölçülmüştür. Akışkanlaştırıcı tipinin permeabilite üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada en iyi sonuç bu numunede elde edilmiştir. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 26'da 8 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede çimento tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 27 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 27'de 9 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede çimento tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM II/B-M 42,5 N (P-LL) çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 23 mm olarak ölçülmüştür. Çimento tipinin permeabilite üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada en iyi sonuç bu numunede elde edilmiştir. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 28'de 10 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede çimento tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM II/A-M 42,5 R (P-LL) çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 26 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune

TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 29'da 11 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede çimento tipinin beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM II/A-P 42,5 N çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebould 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 29 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 30'da 12 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uçucu kül kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebould 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Bu numunede uçucu kül kullanılan numuneler ile karşılaştırma yapabilmek amacı ile uçucu kül kullanılmamıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 27 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 31'de 13 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uçucu kül kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Uçucu kül çimento miktarının % 10'u oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numune üretilirken bağlayıcı madde olarak 315 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu ile 35 kg/m^3 uçucu kül kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebould 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 24 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 32'de 14 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uçucu kül kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Uçucu kül çimento miktarının % 20'si oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numune üretilirken bağlayıcı madde olarak 280 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu ile 70 kg/m^3 uçucu kül kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebould 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 21 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 33'de 15 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uçucu kül kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Uçucu kül çimento miktarının % 30'u oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numune üretilirken bağlayıcı madde olarak 245 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu ile 105 kg/m^3 uçucu kül kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 19 mm olarak ölçülmüştür. Uçucu kül kullanımının permeabilite üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada en iyi sonuç bu numunede elde edilmiştir. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 34'de 16 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede tras kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Bu numunede tras kullanılan diğer numuneler ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla tras kullanılmamıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 27 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 35'de 17 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede tras kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Tras çimento miktarının % 10'u oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numune üretilirken bağlayıcı madde olarak 315 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu ile 35 kg/m^3 tras kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 26 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 36'de 18 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede tras kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Tras çimento miktarının % 20'si oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numune üretilirken bağlayıcı madde olarak 280 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu ile 70 kg/m^3 tras kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 22 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

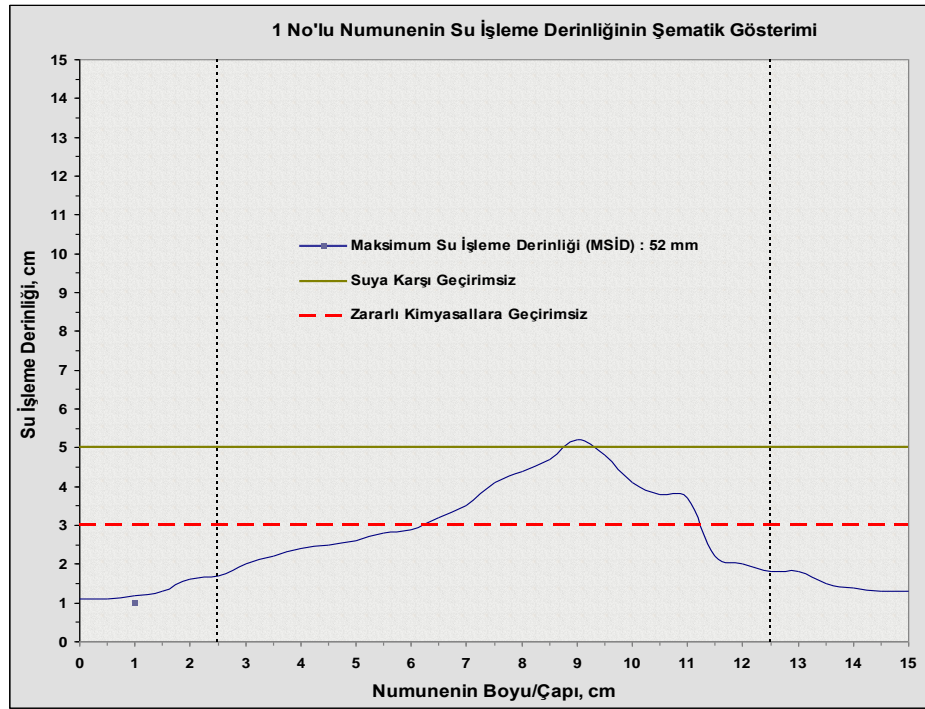
Şekil 37'de 19 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede tras kullanımının beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Tras çimento miktarının % 30'u oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Numune üretilirken bağlayıcı madde olarak 245 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu ile 105 kg/m^3 tras kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 21 mm olarak ölçülmüştür. Tras kullanımının beton permeabilitesi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada en iyi sonuç bu numunede elde edilmiştir. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 38'de 20 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uygulanan basıncın beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Beton numunesine 2,5 bar basınç uygulanmıştır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 23 mm olarak ölçülmüştür. Uygulanan basıncın beton permeabilitesine etkisinin araştırıldığı çalışmada en iyi sonuç bu numunede elde edilmiştir. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

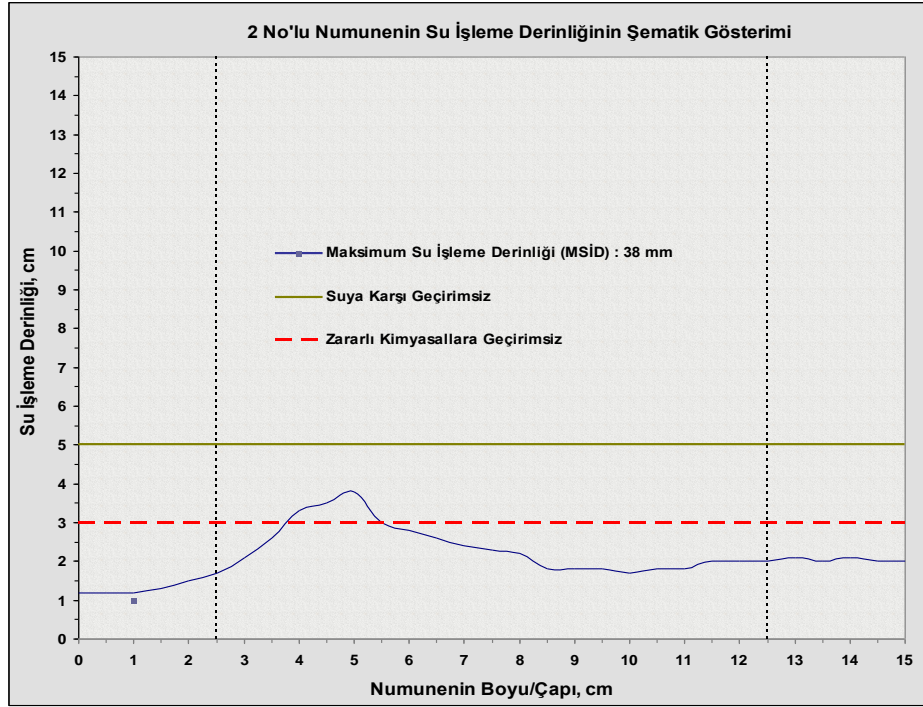
Şekil 39'da 21 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uygulanan basıncın beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Beton numunesine 5,0 bar basınç uygulanmıştır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 27 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre zararlı ortamlara karşı geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 40'da 22 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uygulanan basıncın beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Beton numunesine 7,5 bar basınç uygulanmıştır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 32 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir.

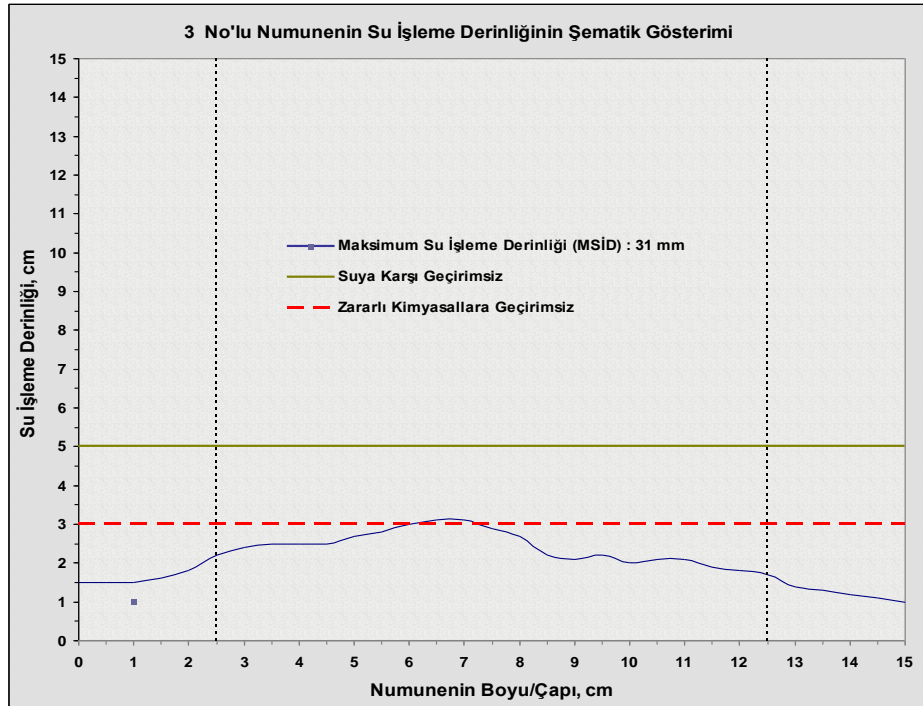
Şekil 41'de 23 no'lu numunenin su işleme derinliği şematik olarak gösterilmiştir. Bu numunede uygulanan basıncın beton permeabilitesine etkisi araştırılmaktadır. Beton numunesine 10,0 bar basınç uygulanmıştır. Numune üretilirken 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış olup, akışkanlaştırıcı olarak Rhebouild 1000 (% 1 oranında) süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. S/Ç oranı 0,52 olup, MSİD 46 mm olarak ölçülmüştür. Bu numune TS EN 12390-8 standardına göre geçirimsiz beton olarak değerlendirilmektedir. Beton yüzeyine uygulanan basınç miktarı arttıkça betonun daha geçirimli olduğu anlaşılmaktadır.



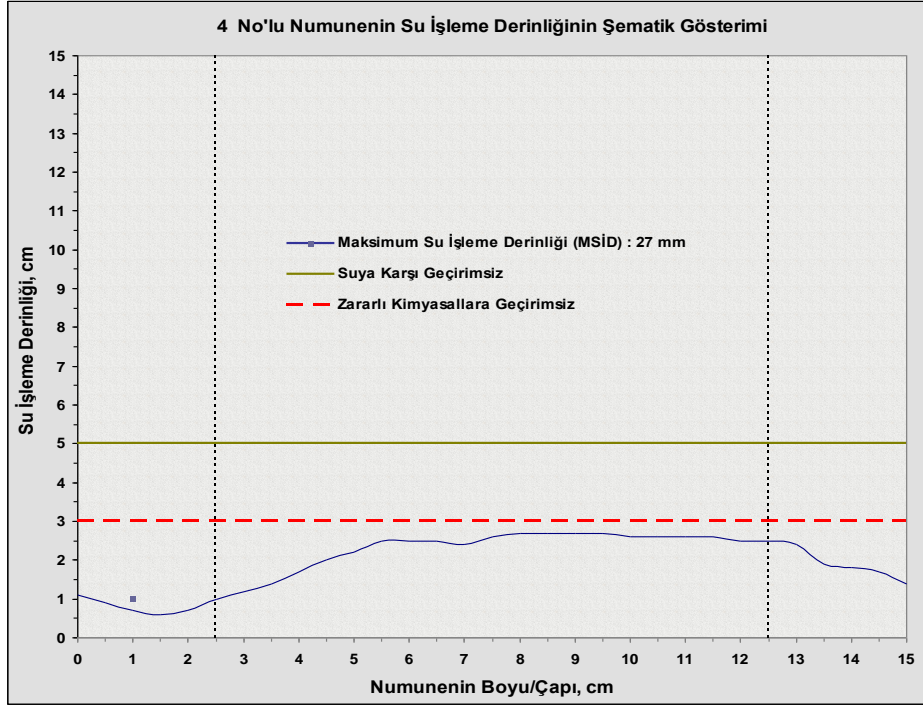
Şekil 19.1 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



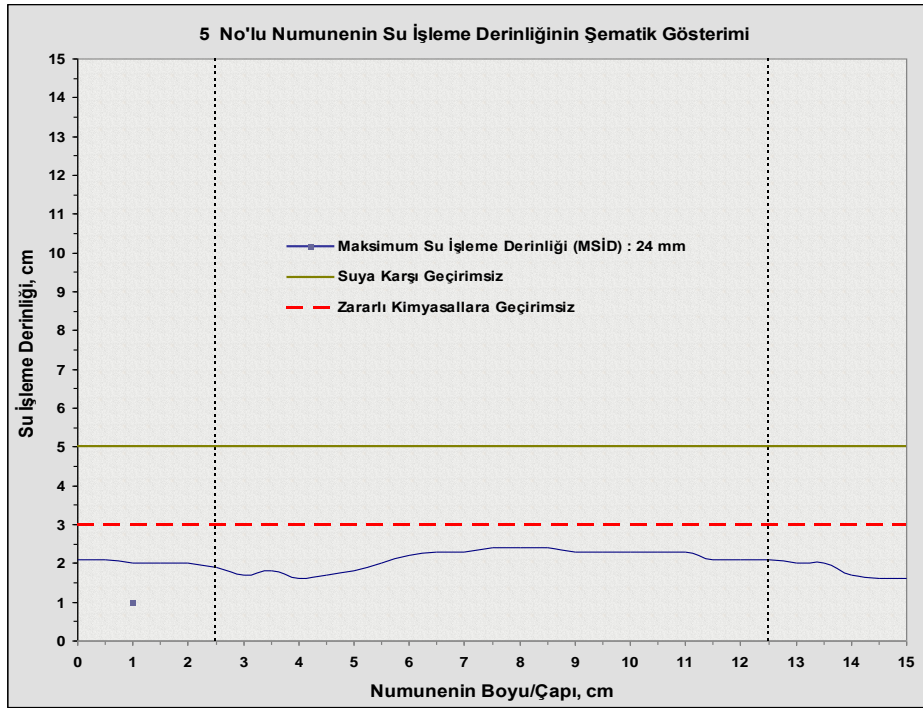
Şekil20. 2 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



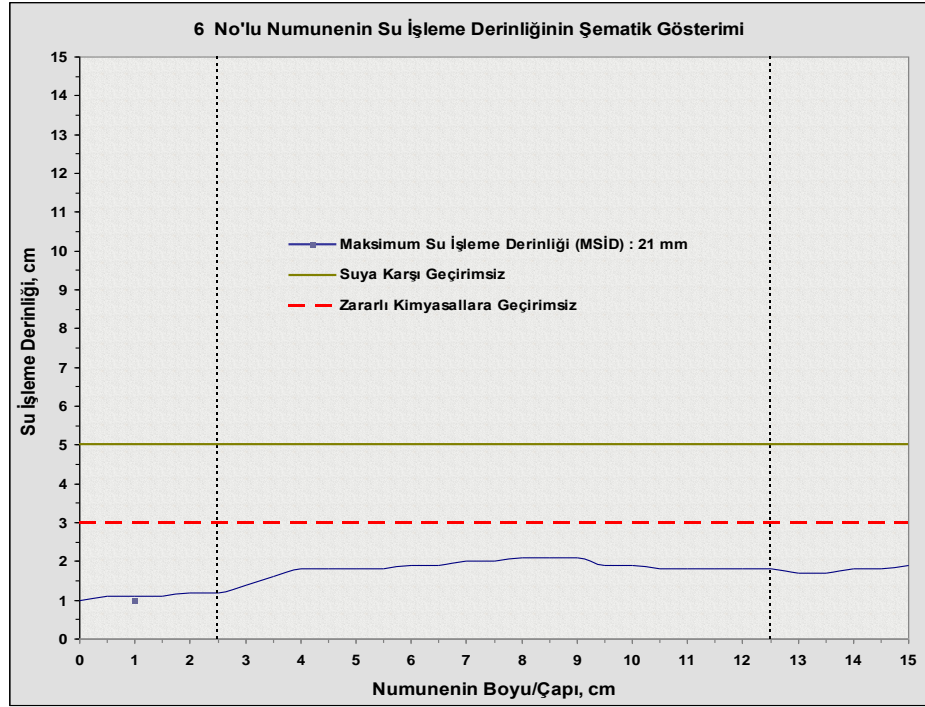
Şekil 21. 3 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



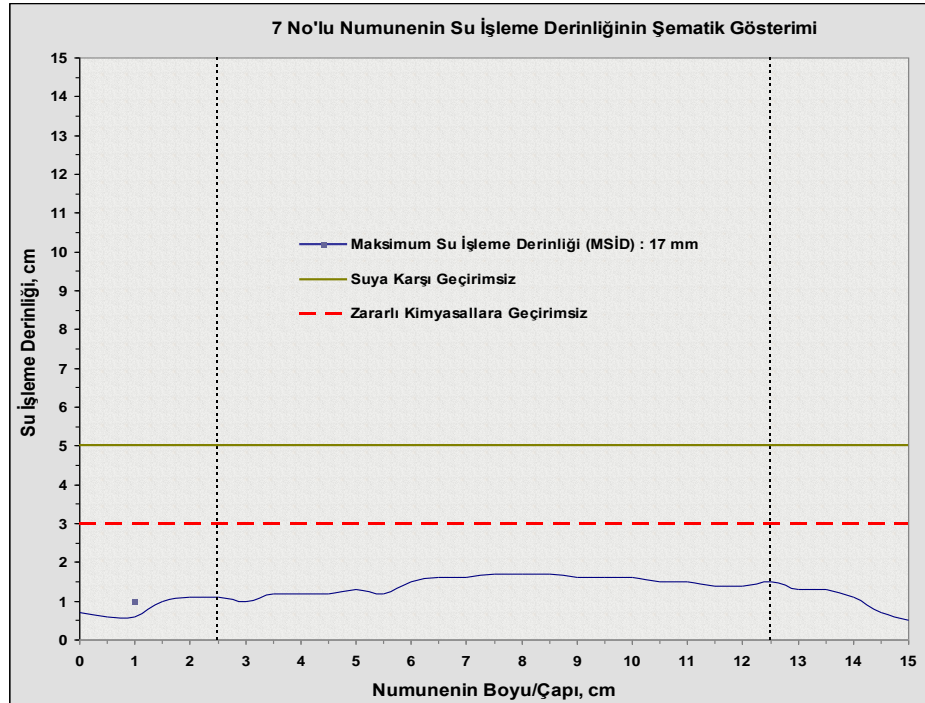
Şekil 22. 4 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



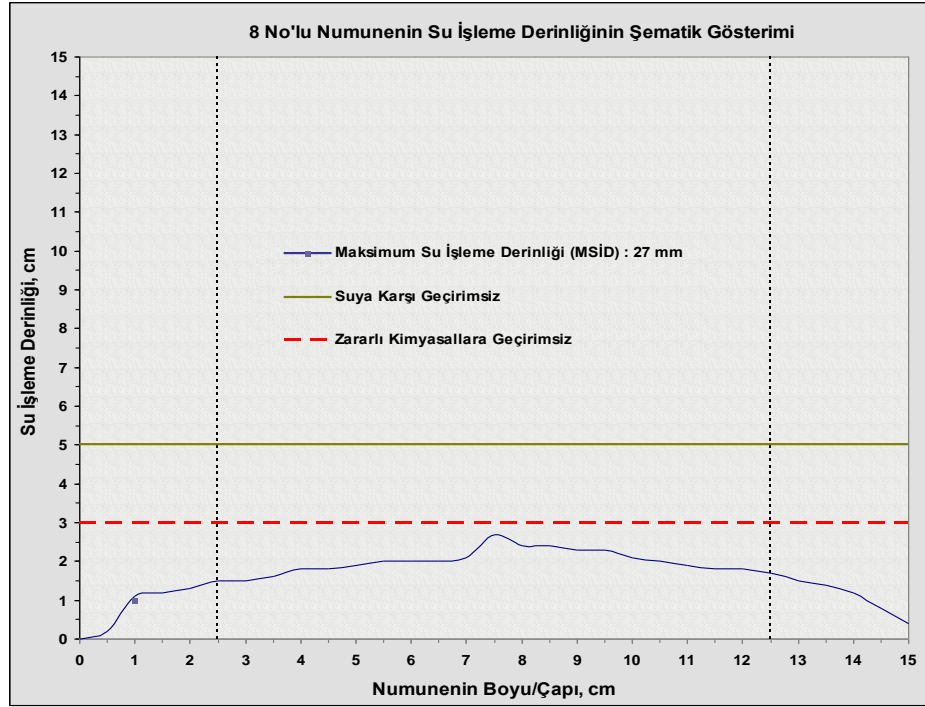
Şekil 23. 5 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



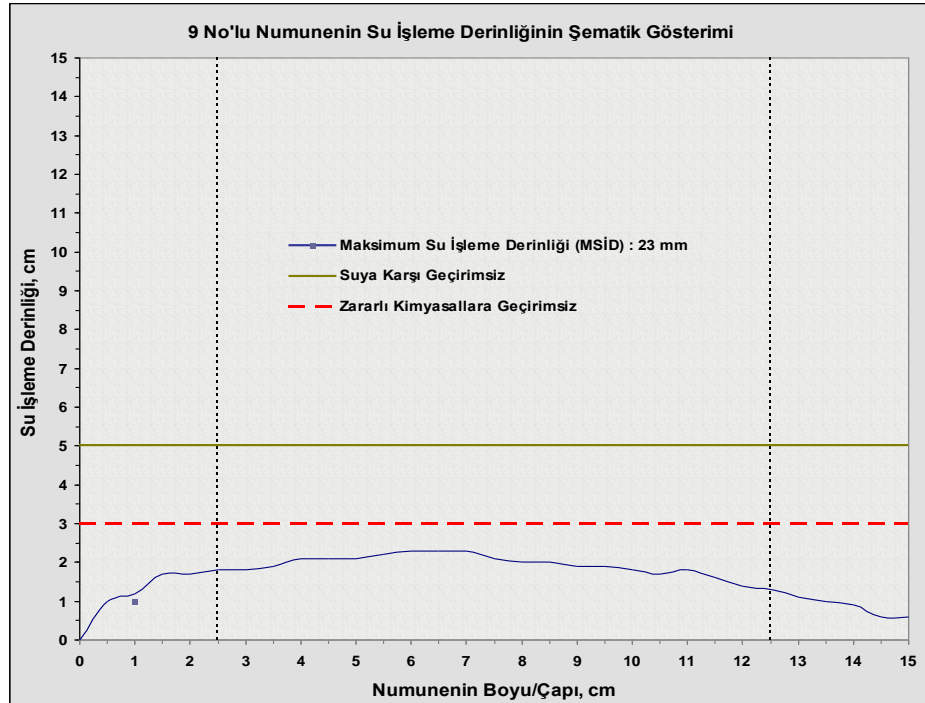
Şekil 24. 6 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



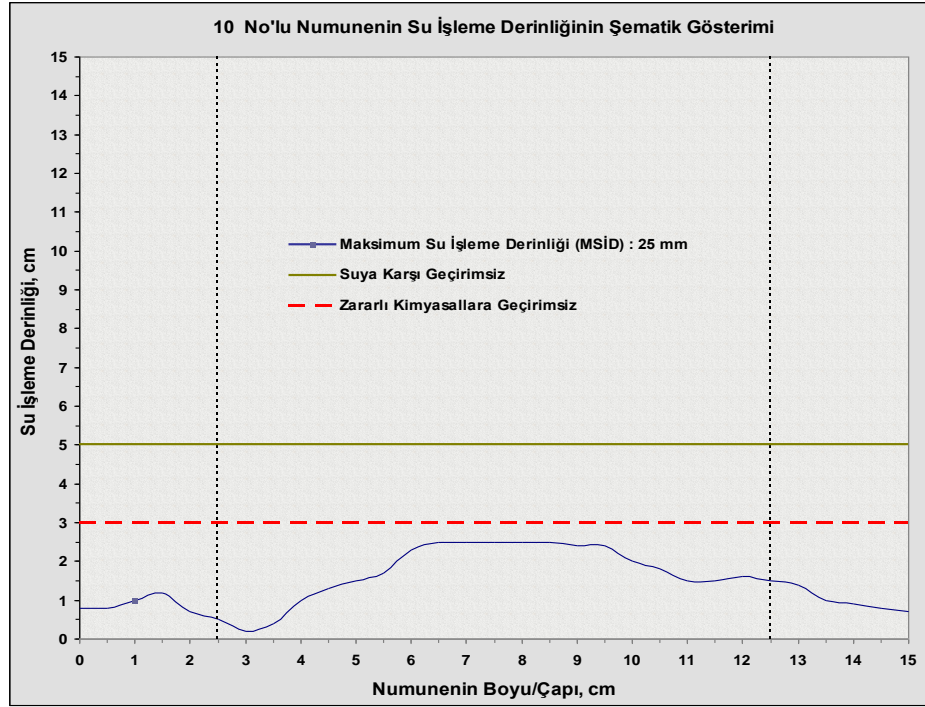
Şekil 25. 7 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



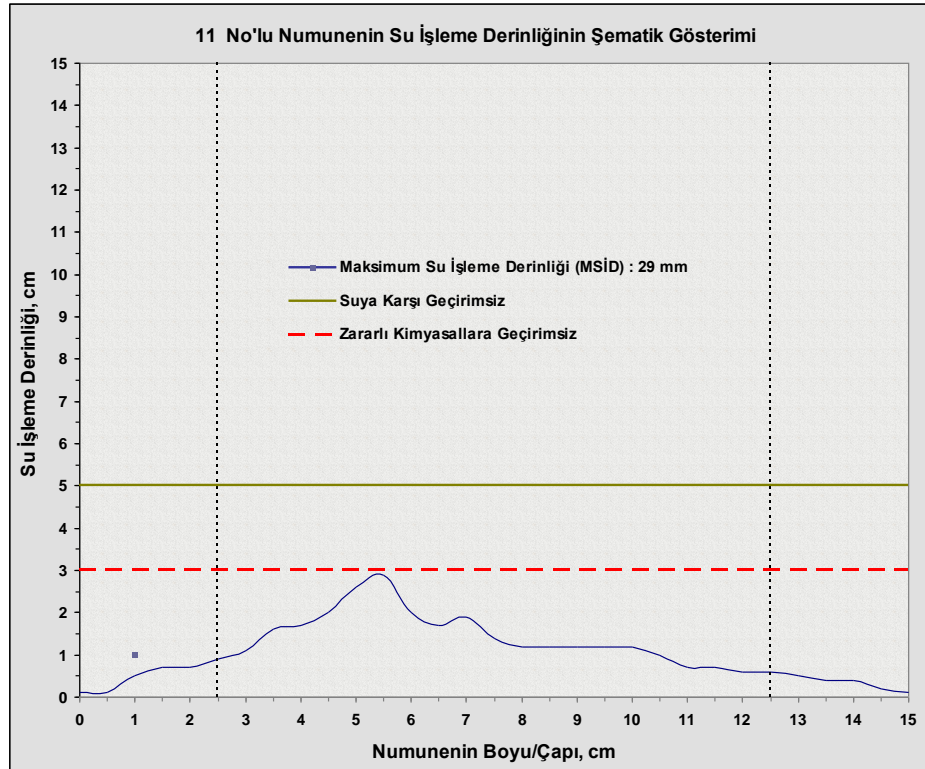
Şekil 26. 8 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



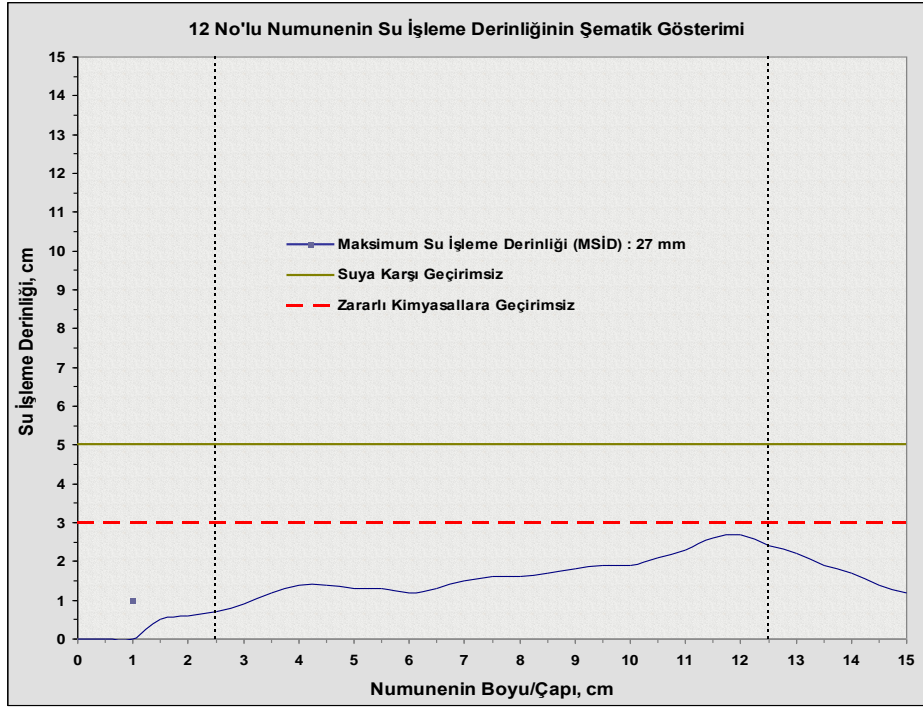
Şekil 27. 9 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



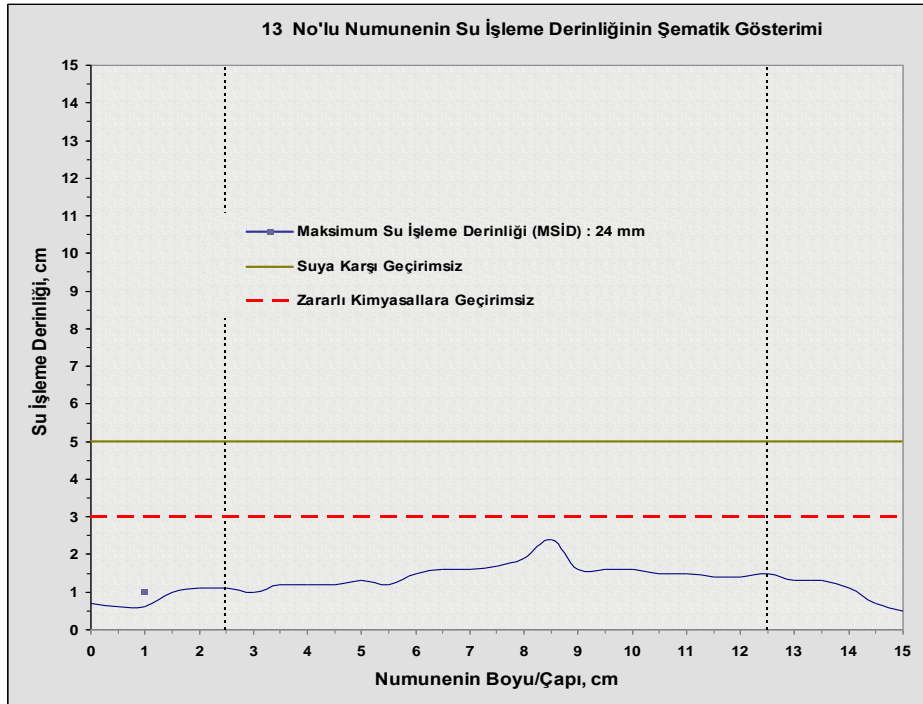
Şekil 28. 10 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



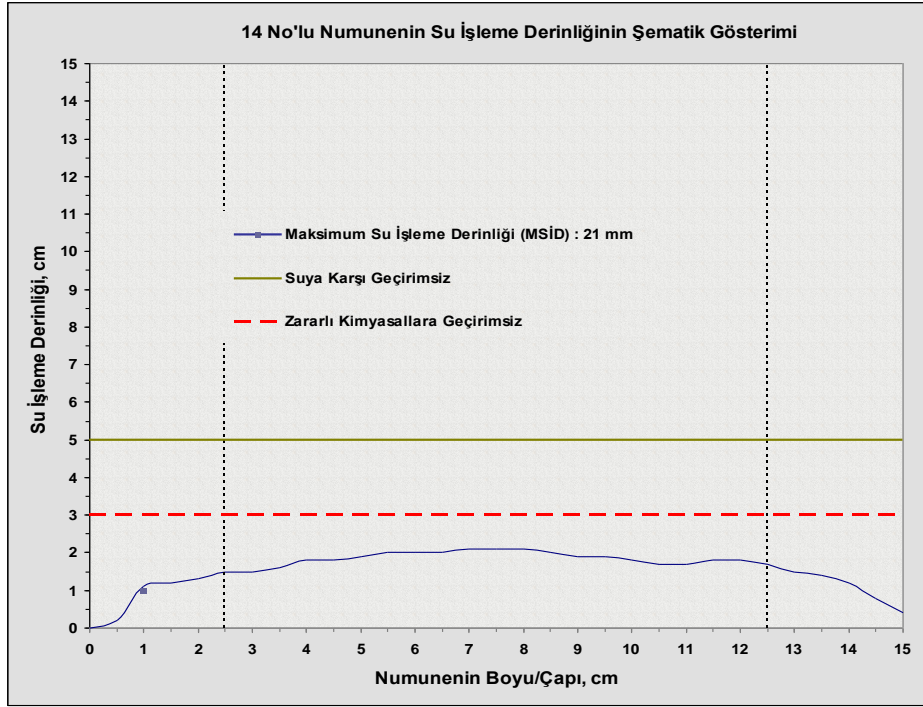
Şekil 29. 11 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



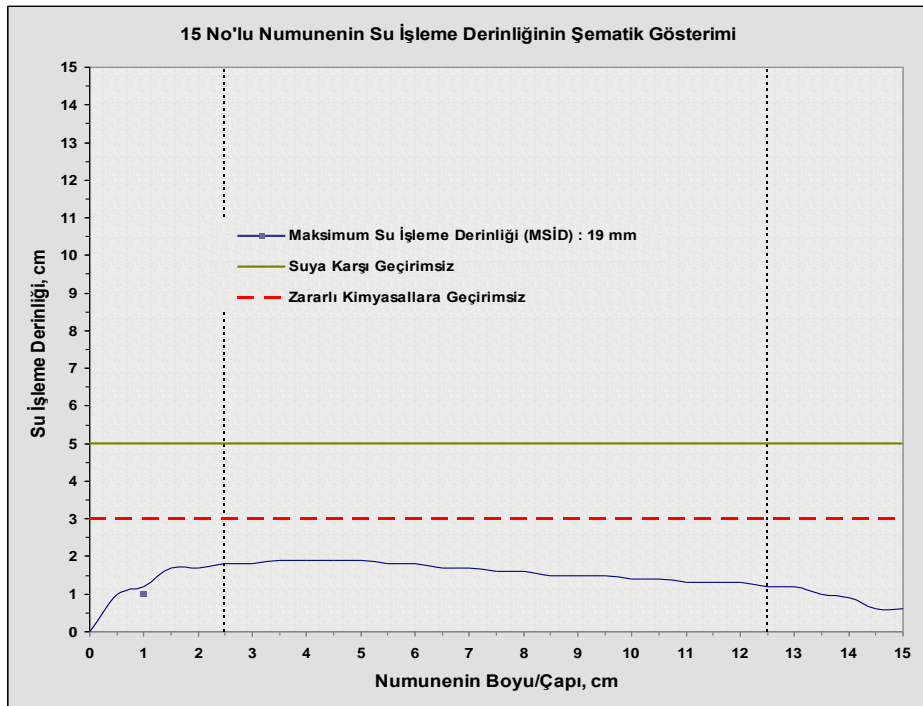
Şekil 30. 12 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



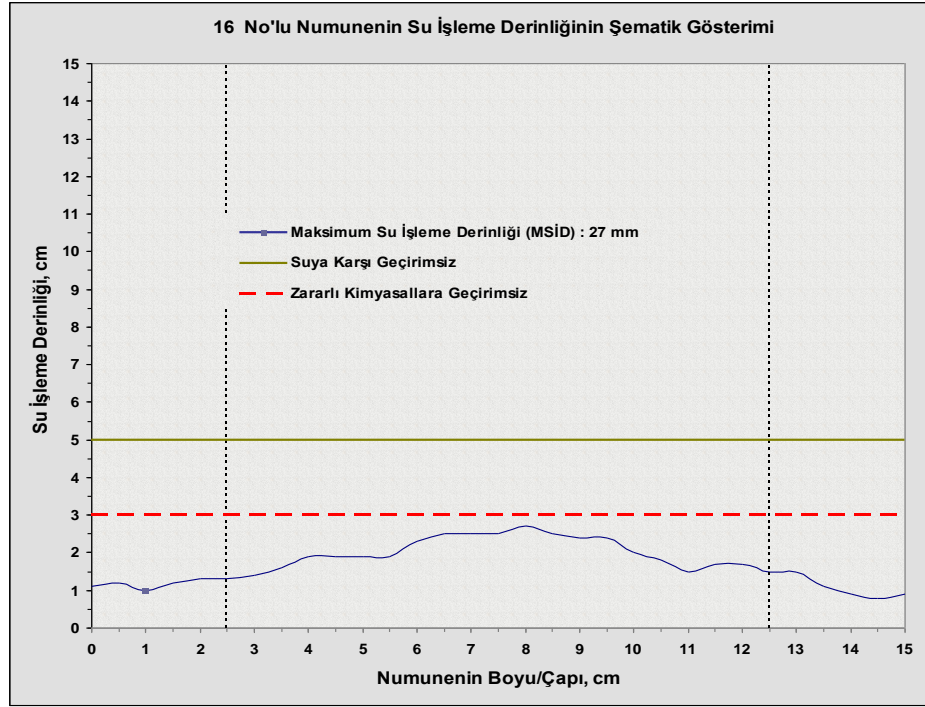
Şekil 31. 13 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



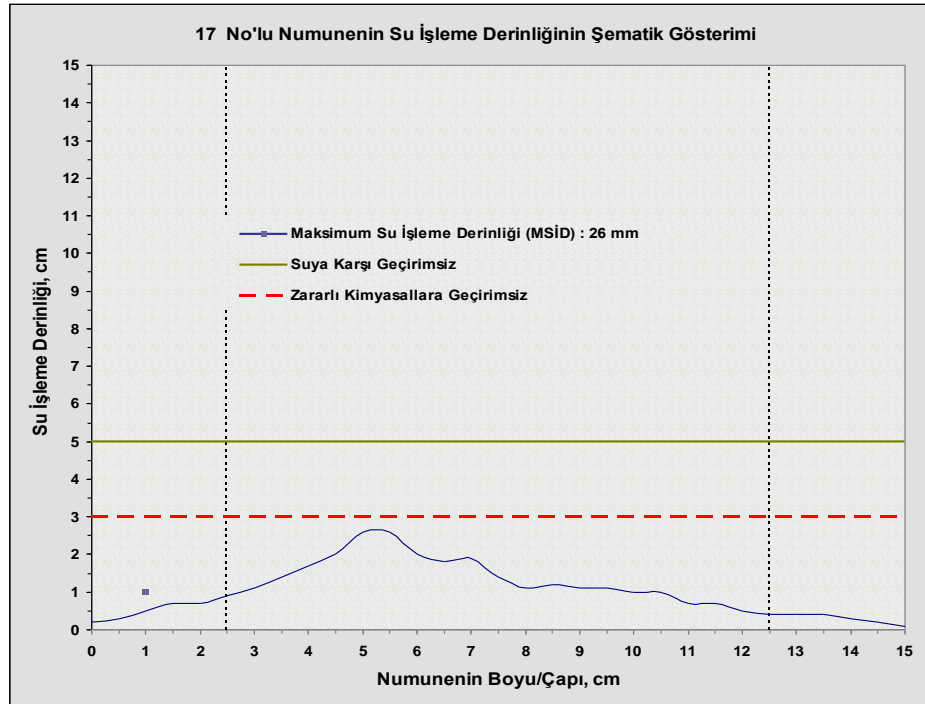
Şekil 32. 14 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



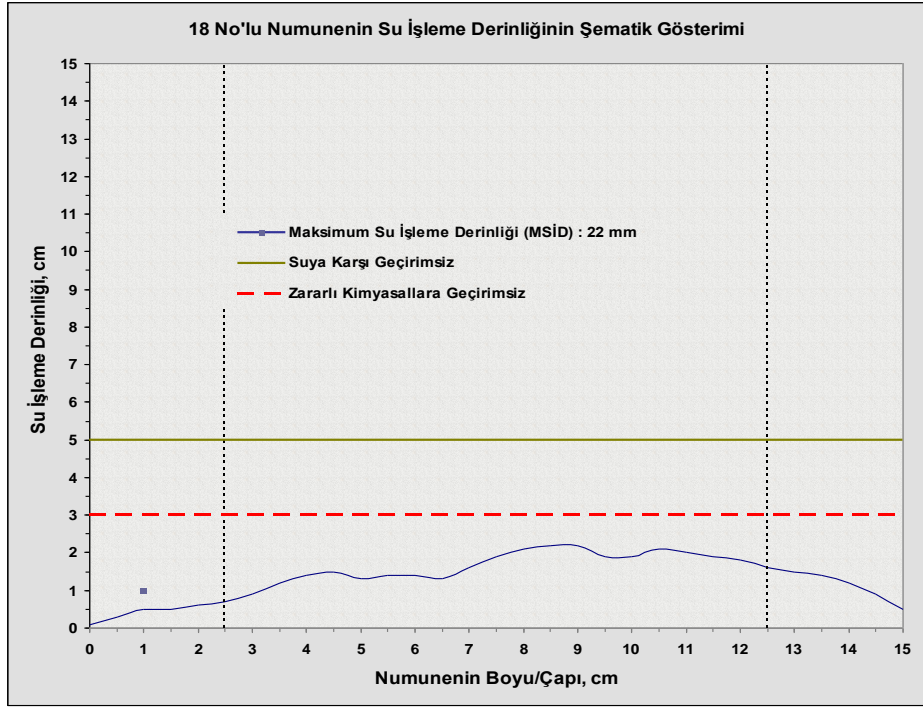
Şekil 33. 15 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



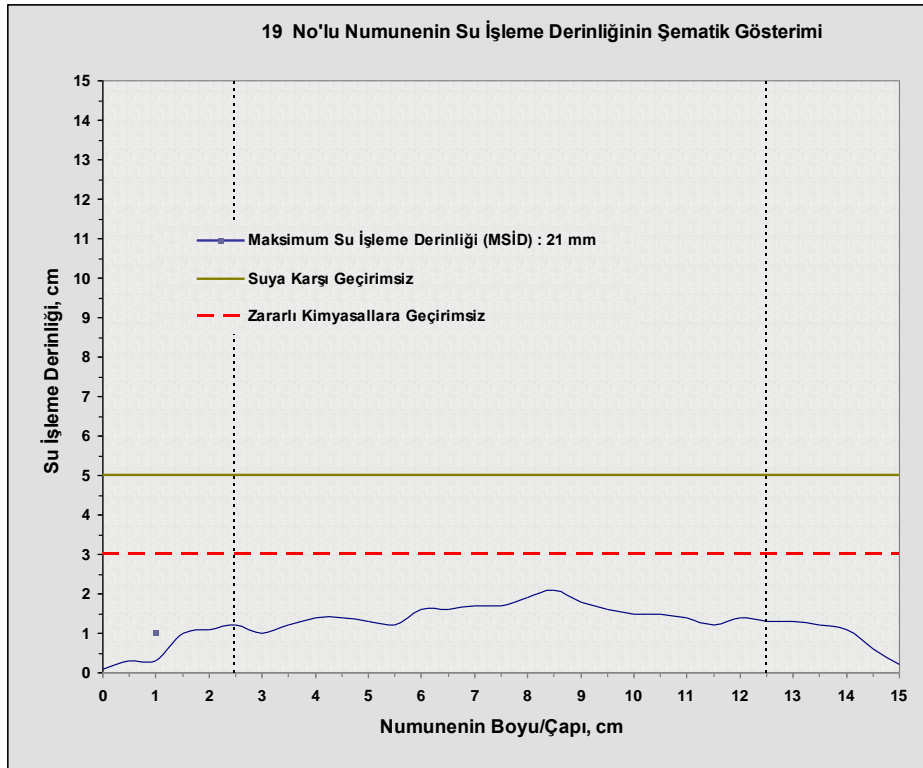
Şekil 34. 16 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



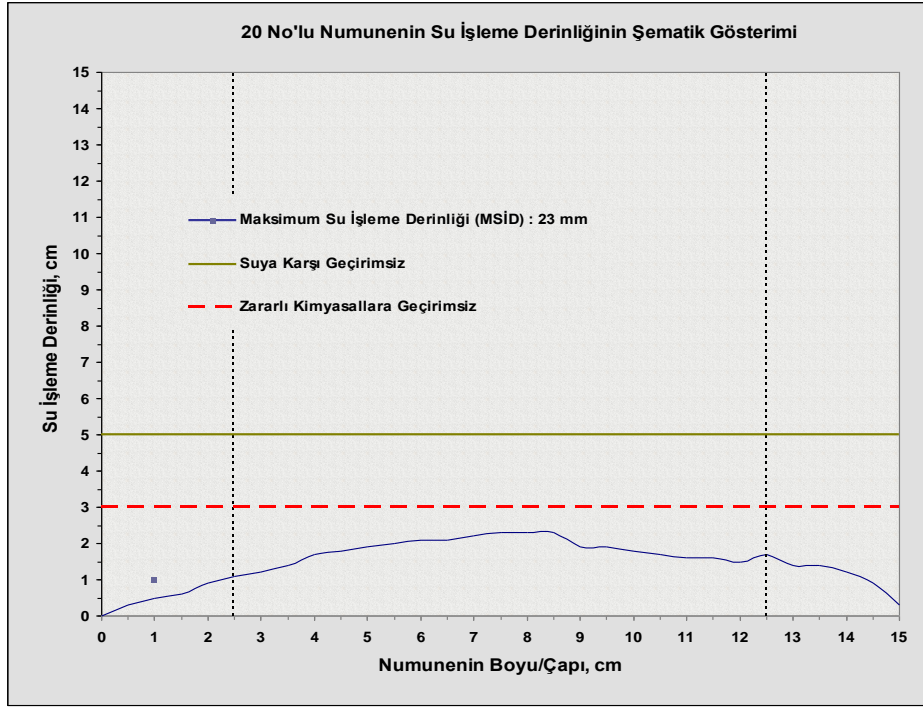
Şekil 35. 17 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



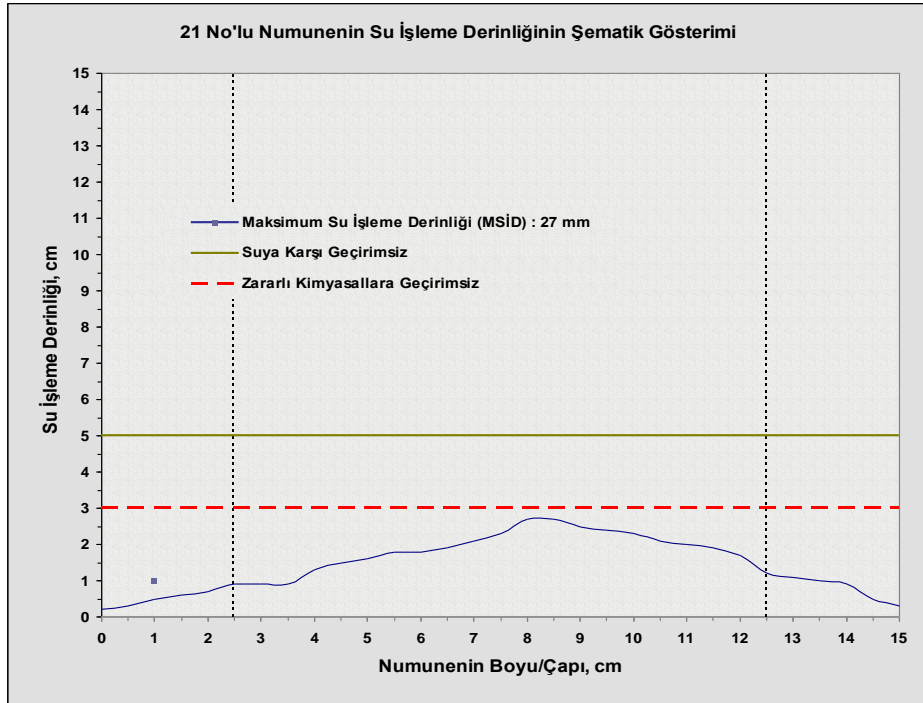
Şekil 36. 18 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



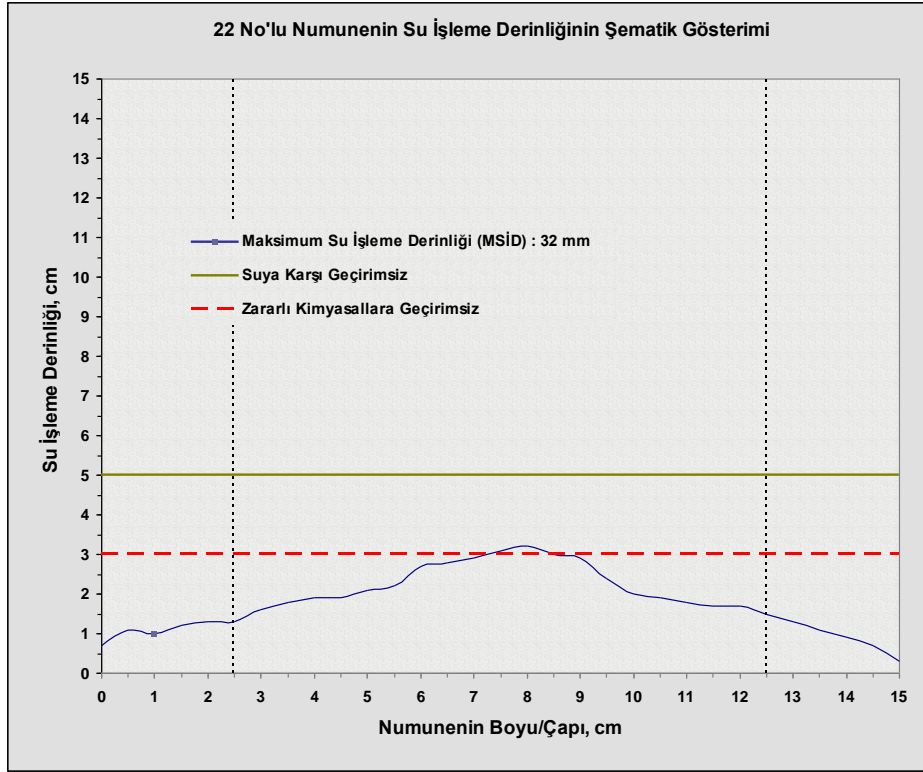
Şekil 37. 19 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



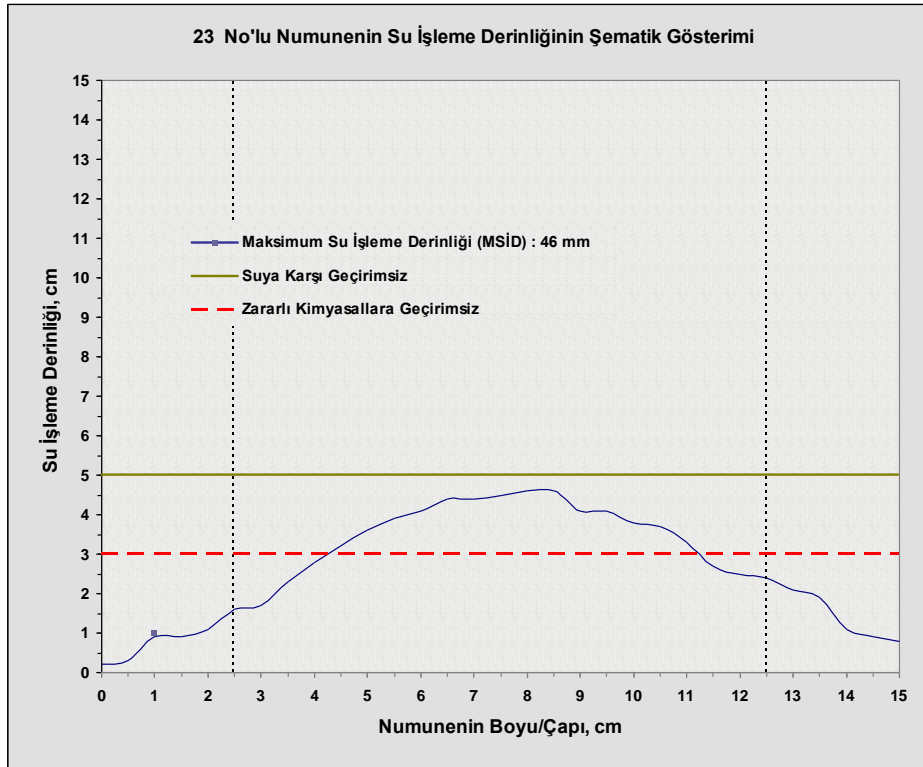
Şekil 38. 20 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



Şekil 39. 21 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği



Şekil 40. 22 No'lu Numunenin Maksimum Su İşleme Derinliği



Şekil 41. 23 no'lu numunenin maksimum su işleme derinliği

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, betonun hizmet süresi boyunca karşılaşılabileceği yıpratıcı fiziksel ve kimyasal olaylara karşı dayanıklılığını etkileyen önemli kriterlerden biri olan su emme kapasitesini iyileştirmek yani su geçirimsiz beton üretmektir. Sertleşmiş beton içindeki sürekli ağ biçimindeki kılcal boşluk sistemi su geçirimsizliğinin nedenidir. Kılcal boşlukların çapının büyüklüğüne bağlı olarak yüksek veya düşük basınçlı su geçirimsizliği problemleri ile karşılaşılır. Bu amaçla, öncelikle kullanılan agreganın uygunluk testleri yapılarak, beton üretimi için kullanılabilirliğine bakılmıştır. Farklı çimento tipleri, kimyasal katkı maddeleri, Çatalağzı uçucu külü ve Bayburt trası kullanılarak betonlar üretilmiştir. Çimento, kimyasal katkı maddesi, uçucu kül ve trasın fiziksel ve kimyasal deneyleri yapılarak standartlarda istenen kriterleri sağladığı görülmüştür. Yapılan literatür incelemesinden de yararlanılarak bu çalışma için farklı bileşenlerde 83 adet beton numunesi üretilmiş ve çalışma kapsamına bağlı olarak üretilen numunelerin basınç altında su işleme derinliği ve basınç dayanımı değerlerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan çimento, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ile basınç altında su işleme derinliği arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilmiş olan deneysel ve teorik çalışmaların tümünden çıkartılabilecek bazı sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

- 1) Su/çimento oranını düşürmek için 4 farklı özellikte kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan bütün katkı türleri betonun her tür su geçirimsizliğini azaltarak olumlu etki göstermiştir. Su/çimento oranını düşürmede en etkin olan durumun polikarbosilik eter esaslı katkı maddesi ile beraber kullanılan modifiye lignin sülfonat esaslı su geçirimsizlik katkısı ile elde edildiği gözlenmiştir. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılarak betonların basınç dayanımı artmıştır. Ancak su geçirimsizlik katkısı kullanılan betonların dayanımlarında bir miktar düşme gözlenmiştir. Bu bulgu söz konusu katkının su geçirimsizlik özelliğine ve betonda hava sürüklemesine bağlanabilir. Bu çalışmada kullanılan malzeme ile su/çimento oranını 0,56'ya düşürerek su geçirimsiz beton üretilabileceği görülmüştür. TS EN 12390-8 standardında yer alan her türlü zararlı ortama maruz geçirimsiz betonu üretmek için su/çimento oranı en az 0,52 olmalıdır.

- 2) Uçucu kül ve öğütülmüş tras çimento miktarına %10,%20,%30 oranında ikame edilerek kullanılmıştır. Uçucu kül ve tras ilavesi %10'luk ikameden itibaren su geçirimsizliğinde şahit betona göre azalmaya neden olmaktadır. En iyi sonuç %30 uçucu kül ve tras ikamesinde gözlenmiştir. %20 uçucu kül ve %30 tras ikameli betonlar benzer basınç altında su işleme derinliği sonuçlarını vermiştir. İkame oranı arttıkça ilk yaşlarda basınç dayanımında bir miktar düşme gözlenmiştir. Bu yüzden yüksek dayanımlı beton dökülürken su işleme derinliği ve basınç dayanımı deney sonuçları karşılaştırılarak karar verilmelidir. Mineral katkı betonların 28 günden sonra da dayanım kazandığı bilinmektedir. Basınç altında su işleme derinliği ve basınç dayanımı deneyleri ileri yaşlarda da yapılmalı ve betonun su geçirimsizliğindeki iyileşme gözlenmelidir. Tras ikame oranı arttıkça dökülen betonların su ihtiyacı artmaktadır. Sabit su/bağlayıcı oranı ile dökülen betonlardan %30 tras ikameli olanının çökme miktarı, diğerlerine oranla düşüktür. Bu yüzden yüksek tras oranı ile dökülen betonun çökme değerine dikkat edilmeli ve geçen zamanla kaybolan işlenebilme özelliği kontrol edilmelidir.
- 3) Genellikle puzolanlı çimentoların basınç altında su işleme derinliği deneyinde düşük sonuç verdiği bilinir. Bu çalışmada çimento içerisindeki puzolan miktarı arttıkça basınç dayanımında azalma, beton permeabilitesinde ise iyileşme görülmüştür. Kullanılan tüm çimento tipleri ile TS EN 12390-8 standardında belirtilen her türlü zararlı ortama maruz geçirimsiz beton üretilmiştir. Çimento tipinin beton permeabilitesine etkisinin değerlendirilmesinde en iyi sonuç bünyesinde %21,88 oranında puzolan bulunduran CEM II/B-M 42,5N (P-LL) çimentosu ile elde edilmiştir. Ancak bu çimento ile dökülen betonun çökme miktarı diğer betonlardan bir miktar düşük çıkmıştır. CEM II/B-M 42,5N (P-LL) çimentosu ile dökülecek olan betonların geçen zamanla kaybolan işlenebilme özelliği kontrol edilmelidir.
- 4) Su geçirimsiz beton üretilirken su emmesi düşük olan agregalar kullanılmalıdır. Bu çalışmada kullanılan agregaların su emmesi %1,57-%2,98 arasında çıkmıştır. Geçirimsizliği az beton üretmek için su emme miktarı %3,5'in altında olan agregalar kullanılmalıdır.
- 5) Kullanılan agreganın içindeki ince tanelerin oranı yüksek olmalıdır. Bu çalışmada üretilen betonlarda %31 oranında iri çakıl, %18 oranında ince çakıl, %40

oranında kırma kum ve %11 oranında dere kumu kullanılmıştır. Beton numunelerinde kum miktarı %51'dir. Su geçirimsiz beton üretebilmek için TS 802 standardında belirtilen agrega tane dağılım eğrisi içine giren agregalar kullanılmalıdır.

- 6) Betonun karma işlemi ve sıkıştırılması önemlidir. Bu çalışmada beton numunelerinin üretiminde sıkıştırma işleme şişleme yöntemi ile standardın istediği üç tabakada yapılmıştır. Su geçirimsizliği az beton üretmek için hem üretimde hem de yerinde (vibratör ile) gerekli sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Böylece betonun üretimi sırasında oluşan hava boşlukları azaltılmış olur.
- 7) Bütün numunelere kür işlemi yapılmıştır. Betonun hidratasyonu için önemli olan kür işlemi mutlaka yapılmalı, 28 günden sonrada dayanım kazanmaya devam eden özellikle mineral katkılu betonlarda kür işlemi uzatılmalıdır.
- 9) Özellikle baraj yapılarında tüm beton yüzeyine aynı basınç gelmemektedir. Bu nedenle her beton yüzeyi farklı basınç altında değişik deformasyonlara uğramaktadır. Bu çalışmada aynı karışımla oluşan test numunelerine 2,5-5-7,5-10 bar basınç uygulanmıştır. Basınç miktarı artıkça beton geçirimsizliğinin de arttığı gözlenmiştir. 10 bar basınç altında 46 mm su işleme derinliği elde edilerek su geçirimsiz beton için istenen maksimum 50 mm su işleme derinliği değerine yaklaşılmıştır. Bu yüzden su yapılarında projede yer alan hidrostatik basınç değerine göre basınç altında su işleme derinliği deneyi yapılmalı ve deney sonucu dikkate alınarak beton tasarlanmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Durmuş, G., Farklı Beton Sınıflarının Su İşleme Derinliğinin Değerlendirilmesi, Politeknik Dergisi, 11,4 (2008) 379-383.
2. Erdoğan, T.Y., Beton, Genişletilmiş 2. Baskı, O.D.T.Ü. Yayıncılık, Ankara, Mart 2007.
3. Binici, H., Çağatay, İ. ve Kaplan, H., Değişik Faktörlerin Beton Mukavemetine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8 (2000) 200-209.
4. Kocabeyler, M.F., Tunç, E. ve Sağlık, A., Yapı Malzemesi Olarak Beton ve Önemi, 1. Baskı, D.S.İ. Genel Müdürlüğü TAKK Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2010.
5. Şenöz, B.Ö. ve Yalçın, S., Çimento ve Beton Özellikler-Standartlar ve Terimler, 1. Baskı, Batı Anadolu Çimento, İzmir, 2010.
6. Erdoğan, Ş., Beton Teknolojisi Dersi Notları, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
7. Beton İşleri Teknik Şartnamesi, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı D.S.İ. Genel Müdürlüğü, 1.Baskı, Ankara, 2006.
8. Erdoğan, T.Y., Betonu Oluşturan Malzemeler-Agregalar, 1. Baskı, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 1995.
9. Şimşek, O., Yapı Malzemesi, Cilt 2. 1 Baskı, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 2000.
10. Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2004.
11. Güner, M.S., Malzeme Bilimi-Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, 1. baskı, Bakanlar Medya, İstanbul, 1999.
12. Yeğinobalı, A., Çimento Yeni Bir Çağın Malzemesi, 4. Baskı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 2007.
13. Erdoğan T.Y., Betonu Oluşturan Malzemeler-Çimentolar, 1. Baskı, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 1995.
14. Neville, A.M., Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, England, 1981.
15. TS 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, T.S.E., Ankara, 2002.

16. TS EN 1008, Beton-Karma Suyu- Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, T.S.E., Ankara, Nisan 2003.
17. ACI Committee 116 (116R-90), Cement and Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Practice, Part I, 1994.
18. Akman, M.S., Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması, 4. Ulusal Beton Kongresi, Ekim 1996, İstanbul, Bildiriler Kitabı I: 1-11.
19. Yıldırım, H., Gülseren, H., Uyan, M. ve Kemerli, M.K., Geçirimsizlik Sağlayan Katkı Türlerinin Betonun Geçirimsizlik Özelliklerine Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, Ekim 2003, İstanbul, Bildiriler Kitabı Cilt I: 123-131.
20. Akman, M.S. ve Akçay, B., Kimyasal Beton Katkılarının Gelişimi ve Çimentolarla Uyumu, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Mart 2005, Ankara, Bildiriler Kitabı, 15-32.
21. Erdoğan, S.T.ve Erdoğan, T.Y., Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Nisan 2007, Ankara, Bildiriler Kitabı, 263-275.
22. Okucu, A., Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 1998.
23. Mehta, P.K., Pozzolanic and Cementitious by-Products as Mineral Admixtures for Concrete: A Critical Review, The Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral by-Products in Concrete, ACI Special Publication SP-79, 1983, Detroit, 1-46.
24. Massaza, F., Pozzolans and Durability of Concrete, 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, Turkish Cement Manufacturers Association, 1997, İstanbul, 1-22.
25. Erdoğan, T.Y., Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, 1. Baskı, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 2004.
26. Yıldız, E., Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
27. Leckebush, R., Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı, Çimento Araştırma Merkezi, 1984, 1-10.
28. Erdoğan, K., Tokyay, M. ve Türker, P. Traslara ve Traslı Çimentolar, 3. Baskı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği AR-GE Enstitüsü, Ankara, 2001.
29. Yetgin, Ş. ve Çavdar, A., Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik-Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi, 17,4 (2005) 687-692.

30. Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F.ve Yeğınobalı, A., Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, 3. Baskı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği AR-GE Enstitüsü, Ankara, 2007.
31. Spellman, L.U., Granulated Blast Furnace Slag as a Material Admixture, Concrete International, MayMehta 1982, 66-71.
32. Erdoğan, T.Y., Atık Malzemelerin İnşaat Sektöründe Kullanımı, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, 1993, Ankara, Bildiriler Kitabı, 1-8.
33. Tokyay, M. ve Erdoğan, K., Türkiye'de Üretilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 1998.
34. ASTM C 618, Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete, ASTM, Philadelphia, 1991.
35. Demir, İ., Durgun, M.Y. ve Kurt, D., İki Farklı Puzolanik Katkının Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisinin Karşılaştırılması, 5. İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09) Mayıs 2009, Karabük, Bildiriler Kitabı,
36. Steele, I.C. and Cooke, J.B., Concrete Face Rockfill Dams, Çeviren Alp, Ö.K., Handbook of Applied Hydraulics, McGraw-Hill Company, Newyork, 1974.
37. ASTM C 136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM, Philadelphia, 2006.
38. ASTM C 131, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM Philadelphia, 2006.
39. ASTM C 127, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM, Philadelphia, 2008.
40. ASTM C 128, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM, Philadelphia, 2008.
41. ASTM C 117, Standard Test Method for Materials Finer than 75 µm (No.200) Sieve in Minerale Aggregates by Washing, ASTM, Philadelphia, 2004.
42. ASTM C 88, Standard Test Method for Soundness Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, ASTM, Philadelphia, 2005.
43. TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım Tayini, T.S.E., Ankara Mart 2009.
44. TS EN 196-2, Çimento Deney Yöntemleri- Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi, T.S.E., Ankara, Ocak 2010.

45. TS EN 196-3 + A1, Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini, T.S.E., Ankara, Ocak 2010.
46. TS EN 196-6, Çimento Deney Yöntemleri- Bölüm 6: İncelik Tayini, T.S.E., Ankara, Kasım 2010.
47. TS 6365 EN 1262, Yüzey Aktif Maddeler - Çözelti veya Dispersiyonların ph Değerlerinin Tayini, T.S.E., Ankara, Nisan 2005.
48. TS EN 480-8, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin - Deney Metotları Bölüm 8: Katı Madde Muhtevası Tayini, T.S.E., Ankara, Şubat 2001.
49. TS EN 480-12, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin - Deney Metotları Bölüm 12: Alkali Muhtevasının Tayini, T.S.E., Ankara, Mart 2008.
50. TS EN 480-10, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin - Deney Metotları Bölüm 10: Suda Çözülebilir Klorür Muhtevası Tayini, T.S.E., Ankara, Ocak 2010.
51. TS EN 3263 ISO 10523, Su Kalitesi - ph Tayini, T.S.E., Ankara, Nisan 1999.
52. TS EN ISO 14911, Su Kalitesi - Su ve Atık Sularda Çözünmüş, Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Sr^{+2} ve Ba^{+2} 'nin Tayini - İyon Kromatografisi Metodu, T.S.E., Ankara, Nisan 2000.
53. TS 3750 EN ISO 9963-1, Su Kalitesi - Alkalinitik Tayini Bölüm 1: Toplam ve Bileşik Alkalinitenin Tayini, T.S.E., Ankara, 1. Baskı, Nisan 1998.
54. TS 3440, Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar için Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, 1. Baskı, Mayıs 1982.
55. TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesapları, T.S.E., Ankara ,1. Baskı, Haziran 2009.
56. TS EN 12390-2, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, T.S.E. Ankara, Nisan 2010.
57. TS EN 12350-1, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 1: Numune Alma, T.S.E. Ankara, Temmuz 2010.
58. TS EN 12350-2, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, T.S.E. Ankara, Temmuz 2010.
59. TS EN 12350-7, Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 7: Hava Muhtevasının Tayini-Basınç Yöntemleri, T.S.E. Ankara, Temmuz 2010.
60. TS EN 12390-8, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliği Tayini, T.S.E. Ankara, Nisan 2010.

61. TS EN 12390-6, Beton - Sertleşmiş Beton Deneylei - Bölüm 6: Denei Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, T.S.E. Ankara, Haziran 2010.
62. TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş Beton Deneylei - Bölüm 3: Denei Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini, T.S.E. Ankara, Haziran 2010.

ÖZGEÇMİŞ

22.12.1976 yılında Trabzon'da doğdu. Trabzon Yomra Merkez İlkokulunu ve Kanuni Ortaokulunu bitirdikten sonra Trabzon Lisesinde Lise öğrenimine devam etti. 1999 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Temmuz 2000 tarihinde DSİ 26. Bölge Müdürlüğünün faaliyet alanında yer alan Deriner barajında çalışmaya başladı. Deriner barajında 7 yıl süren çalışma hayatından sonra Ağustos 2007'de DSİ Trabzon 22. Bölge Müdürlüğüne atandı. Halen aynı Bölge Müdürlüğünün Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğünde çalışmakta olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.