

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**FARKLI SICAKLIKLARDA AKTİFLEŞTİRİLMİŞ İÇME SUYU ARITMA
ÇAMURUNUN ÇİMENTODA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Nurcan HACİSALİHOĞLU

**TEMMUZ 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**FARKLI SICAKLIKLARDA AKTİFLEŞTİRİLMİŞ İÇME SUYU ARITMA
ÇAMURUNUN ÇİMENTODA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Çevre Müh. Nurcan HACISALİHOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Yüksek Lisans (Çevre Bilimleri)”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11/06/2008
Tezin Savunma Tarihi : 03/07/2008**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU**

Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

“Farklı Sıcaklıklarda Aktifleştirilmiş İçme Suyu Arıtma Çamurunun Çimentoda Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı bu çalışmayı bana önererek yoğun çalışma programına rağmen tezimin her aşamasında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ing. Sayın Osman ÜÇÜNCÜ'ye minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında, sürekli dayanışma içinde olduğum arkadaşlarım Sayın Emel TÜRKER, Ümit ÇALIK, Ayşegül DURMUŞ ve Emel ABDİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Burada, öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anarken, çalışmam süresince beni destekleyen nişanlım Hasan Tahsin ÖZTÜRK'e teşekkür eder, ömrünü benim yetişmeme adayan, fedakârlıklarını asla unutamayacağım anne ve babama müteşekkir olduğumu belirtir çalışmamın ülkemize yararlı olmasını gönülden dilerim.

Nurcan HACISALİHOĞLU
Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Su Kaynakları.....	4
1.3. İçme ve Kullanma Suları.....	5
1.4. İçme Sularının Özellikleri.....	7
1.5. Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisi (ATASU).....	14
1.6. Trabzon Kenti İçme Suyu Arıtımı.....	15
1.6.1. Su Alma Yapıları (Regülatörler).....	17
1.6.2. Ham Su İletim Hatları.....	18
1.6.3. Su Dağıtım Yapısı ve Bypass Hattı.....	19
1.6.4. Debimetre.....	20
1.6.5. Kimyasal Dozlama.....	20
1.6.6. Karıştırma Yapısı.....	21
1.6.7. Durultucular.....	22
1.6.8. Filtreler.....	23
1.6.9. Kontak Tankı.....	24
1.6.10. İçme Suyu Deposu.....	25
1.6.11. İçme Suyu İsale Hattı.....	25
1.7. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurları.....	25
1.7.1. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurlarının Oluşumu.....	26

1.7.2.	Kolloidal Sistem	26
1.7.3.	Kolloidlerin Stabilitesi.....	27
1.7.4.	Kolloidlerin Destabilizasyonu (Koagülasyon)	30
1.7.5.	Yumaklaştırma (Flokülasyon)	30
1.8.	Çimento	31
1.8.1.	Portland Çimentosunun Tarihteki İlk Üretimi ve Portland İsminin Alınması...	32
1.8.2.	Portland Çimentosunun Üretimi	33
1.8.3.	Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Anabileşenler.....	35
1.8.3.1.	Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler.....	35
1.8.3.2.	Portland Çimentosunu Oluşturan Anabileşenler	36
1.8.4.	Türkiye’deki Çimento Tipleri	37
1.8.5.	Türkiye’deki Çimentoların Dayanım Sınıfları ve Priz Süreleri.....	38
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER.....	39
2.1.	Deneysel Çalışmalar	39
2.1.1.	Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	39
2.1.2.	Deneysel Çalışmada Kullanılan Araç ve Gereçler.....	41
2.1.2.1.	Piknometre Şişesi	41
2.1.2.2.	Casagrande Aleti.....	41
2.1.2.3.	Elekler.....	42
2.1.2.4.	Hidrometre Aleti.....	42
2.1.2.5.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	43
2.1.2.6.	XRD (X- Işınları Difraksiyon) Aleti	43
2.1.2.7.	Elektrikli Mikser.....	44
2.1.2.8.	Örnek Kapları	44
2.1.2.9.	Etüv (Fırın)	44
2.1.2.10.	Desikatör.....	44
2.1.2.11.	Elektronik Terazı	44
2.1.3.	AÇ ve AAÇ’larının Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	44
2.1.3.1.	Tane Özgül Yoğunluğunun Belirlenmesi	44
2.1.3.2.	Kıvam (Atterberg) Limitlerinin Belirlenmesi.....	45
2.1.3.2.1.	Likit Limitin Belirlenmesi	45

2.1.3.2.2.	Plastik Limitin Belirlenmesi	46
2.1.3.3.	Granülometri Eğrisi ve Sınıflandırılması	47
2.1.3.4.	AÇ ve AAC'larının SEM İle Morfolojik Yapısının İncelenmesi.....	50
2.1.3.5.	AÇ'nun XRD Metodu İle İncelenmesi.....	52
2.1.3.5.1.	XRD Metodu İle Belirlenen Minerallerin Özellikleri	53
2.1.3.5.1.1.	Kaolinit $[Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8]$ Mineralinin Özellikleri	53
2.1.3.5.1.2.	Kuvars (SiO_2) Minerallerinin Özellikleri	54
2.1.3.5.1.3.	Kalsit ($CaCO_3$) Minerallerinin Özellikleri	54
2.1.3.5.1.4.	Muskovit $[KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2]$ Minerallerinin Özellikleri	55
2.1.3.6.	AÇ ve AAC'larının Kimyasal Analizleri	55
2.1.4.	AÇ, AAC ₁ , AAC ₂ ve AAC ₃ İçeren Çimento Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	61
2.1.4.1.	Toz Çimento Üzerinde Yapılan Deneyler	61
2.1.4.1.1.	Özgül Ağırlık.....	61
2.1.4.1.2.	İncelik	62
2.1.4.2.	Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan Deneyler	64
2.1.4.2.1.	Çimento Hamurunun Standart Kıvama Getirilmesi ve Priz Sürelerinin Tayini	64
2.1.4.2.2.	Çimento Hamurunun Hacim Sabitliği (Çimento Dayanıklılığı) Tayini	66
2.1.4.3.	Çimento Harcı Üzerinde Yapılan Deneyler.....	68
2.1.4.3.1.	Eğilmede Çekme ve Basınç Mukavemetleri Deneyleri.....	70
3.	SONUÇLAR.....	89
4.	ÖNERİLER	91
5.	KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Nüfus artışı, endüstriyel aktivite ve yaşam standardındaki artış, beraberinde daha fazla içme ve kullanma suyu temini zorunluluğu getirmiştir. Bu zorunluluğa bağlı olarak oluşan ve arıtım aşamalarının kaçınılmaz bir yan ürünü olan içme suyu arıtma çamurlarının (AÇ) işlenmesi ve bertaraf edilmesi gittikçe büyüyen bir problem haline gelmiştir. Bu atıkların doğrudan çevreye verilmesi halinde havayı, toprağı ve suyu kirleterek doğayı ve canlıların yaşamını olumsuz etkilediğı bilinmektedir.

Atıkların yeniden değerlendirilmesi gerektiğı fikrinden yola çıkarak bu çalışmada AÇ ve AÇ'nun farklı sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen aktifleştirilmiş arıtma çamurlarının (AAÇ) çimentoda kullanılabilirliğı araştırılmıştır. Bu çalışmada, Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisinde (TİAT) suyun arıtılması sonucu elde edilen jelimsi içme suyu arıtma çamurunun öncelikle fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenerek daha sonra bu atığın farklı sıcaklıklarda (500, 600 ve 700°C) pişirilmesiyle elde edilen AAÇ'larının değışen madde bileşimi ve özellikleri incelenmiştir. Farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20) AÇ ve AAÇ ihtiva eden çimento harçları üretilerek 1, 2, 7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımı, priz alma ve hacim genleşmesi değıerleri ölçülmüştür.

Elde edilen bulgular AÇ ve AAÇ içermeyen kontrol örnekleriyle, birbirleriyle ve Türk Standartlarıyla karşılaştırılarak irdelenmiştir. Sonuç olarak, belli oranlarda (%5-10) AÇ ve AAÇ'nun katkı malzemesi olarak kullanılması halinde çimento özelliklerini bozmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İçme Suyu Arıtma Çamurları, Kimyasal Analiz, Katkı Maddeleri, Basınç Dayanımı, Portland Çimentosu

SUMMARY

Investigation on The Utilization of Activated Drinking Water Treatment Sludge at Various Temperatures in Cement

Increase in population, life standards and industrial activities has caused much more necessity of obtaining drinking water. Processing and eliminating the drinking water treatment sludge, occurring by depending on this obligation and the inevitable secondary product of treatment stages, are becoming very important problems day by day. It is known that this waste negatively affects nature and living being by polluting air, soil and water when it directly discharges environment.

Utilization from activated drinking water treatment sludge, obtained drinking water treatment sludge by burning at different temperatures, and drinking water treatment sludge in cement was investigated because waste must be recycled. In this study, firstly, physical, chemical and mineralogical characteristics of drinking water treatment sludge, gained from Trabzon drinking water treatment plant, was determined. Then, this waste was burnt at different temperatures (500, 600 and 700 °C) and changing composition and characteristics of it were found out. And then, cement mortar, including drinking water treatment sludge and activated drinking water treatment sludge at different percentage (%5, 10, 15 and 20), was produced and compressive strengths, setting, volume expansion of them were measured 1,2,7, and 28 days later.

Obtained findings were compared with both samples, blended cements at various addition levels, and checking samples according to Turkish standards. In conclusion, drinking water treatment sludge and activated drinking water treatment sludge seemed to be suitable to produce blended cements at 5-10 % addition levels.

Key Words: Drinking Water Treatment Sludge, Chemical Analysis, Addition Substance, Compressive Strength, Portland Cement

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Trabzon içme suyu arıtma tesisi (ATASU)	14
Şekil 1.2.	Trabzon kenti içme suyu arıtma tesisi su akış şeması	16
Şekil 1.3.	Galyan deresindeki Galyan regülatörü	17
Şekil 1.4.	Değirmendere-Esiroğlu regülatörü	18
Şekil 1.5.	Ham su iletim hatları	19
Şekil 1.6.	Durultucu	23
Şekil 1.7.	Elektriksel çift tabaka	28
Şekil 1.8.	Negatif yüklü keresel bir koloidin etrafındaki benzer ve zıt iyonların dağılımı	29
Şekil 2.1.	AÇ (a), AAÇ ₁ (b), AAÇ ₂ (c) ve AAÇ ₃ (d) malzemelerinin görünüşleri	39
Şekil 2.2.	Piknometre şişesi	42
Şekil 2.3.	Casagrande aleti	42
Şekil 2.4.	Mezur (dereceli)	42
Şekil 2.5.	AÇ'nun likit limit değeri için su içeriği-vuruş sayısı grafiği	46
Şekil 2.6.	AÇ'nun granülometri eğrisi	49
Şekil 2.7.	AÇ'nun 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları	50
Şekil 2.8.	AAÇ ₁ 'in 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları	51
Şekil 2.9.	AAÇ ₂ 'nin 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları	51
Şekil 2.10.	AAÇ ₃ 'ün 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları	51
Şekil 2.11.	Kaolinit (a), kuvars (b), kalsit (c), muskovit (d) minerallerinin resimleri	52
Şekil 2.12.	AÇ'nun X-Ray difraktogramı	53
Şekil 2.13.	Analiz sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi	58
Şekil 2.14.	Yakma sıcaklığı- CaO miktarı grafiği	58
Şekil 2.15.	Le Chatelier balonu	62
Şekil 2.16.	Blaine aleti	63
Şekil 2.17.	Vicat aleti	65
Şekil 2.18.	Le Chatelier Aleti	67
Şekil 2.19.	Harç karıştırıcısı	69
Şekil 2.20.	Harç kalıpları	70
Şekil 2.21.	Eğilmede çekme mukavemeti aletinin yükleme düzeni	71

Şekil 2.22. Basınç mukavemeti aleti.....	72
Şekil 2.23. AÇ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi ..	74
Şekil 2.24. AÇ katkılı harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi	74
Şekil 2.25. Priz süresinin AÇ içeriğine göre değişimi	76
Şekil 2.26. AAC ₁ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi.....	78
Şekil 2.27. AAC ₁ katkılı harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi	78
Şekil 2.28. Priz süresinin AAC ₁ içeriğine göre değişimi.....	79
Şekil 2.29. AAC ₂ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi.....	82
Şekil 2.30. AAC ₂ katkılı harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi	82
Şekil 2.31. Priz süresinin AAC ₂ içeriğine göre değişimi.....	83
Şekil 2.32. AAC ₃ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi.....	86
Şekil 2.33. AAC ₃ katkılı harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi	86
Şekil 2.34. Priz süresinin AAC ₃ içeriğine göre değişimi.....	87
Şekil 2.35. AÇ, AAC ₁ , AAC ₂ ve AAC ₃ katkı oranı- basınç dayanımı değişimi	89

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Dünya su rezervlerinin dağılımı	4
Tablo 1.2. Evsel ihtiyaçlar için kullanılan su miktarları	6
Tablo 1.3. İşyeri ve kamu kuruluşlarının içme ve kullanma suyu ihtiyacı	7
Tablo 1.4. İnsani tüketim amaçlı suların mikrobiyolojik özellikleri.....	9
Tablo 1.5. İnsani tüketim amaçlı suların kimyasal özellikleri	9
Tablo 1.6. Bu standartların izlenmesinde dikkate alınacak gösterge özellikleri.....	10
Tablo 1.7. Su kalite parametreleri ve su kalite sınıfları	11
Tablo 1.8. Avrupa birliği içme suları standartları	13
Tablo 1.9. Filtre yatağı.....	24
Tablo 1.10. Suda bulunan partiküller ve kolloidal maddelerin boyutları	27
Tablo 1.11. Koagülant olarak kullanılan maddeler.....	30
Tablo 1.12. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları.....	35
Tablo 1.13. Çimentonun anabilesenleri	36
Tablo 1.14. ASTM'ye göre ABD'de üretilen portland çimentolarındaki anabilesenlerin yaklaşık oranları.....	37
Tablo 1.15. Çimentoların dayanım ve priz başlama süresi özellikleri.....	38
Tablo 2.1. Çimentonun (CEMII/A-P 42,5 N) fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	40
Tablo 2.2. CEN standart kumu özellikleri	41
Tablo 2.3. Numunelerin tane özgül yoğunluk değerleri	45
Tablo 2.4. Numunenin fiziksel özellikleri	47
Tablo 2.5. AÇ'nin hidrometre analizi (ıslak analizi) deneyi ölçümleri ve hesaplamaları	48
Tablo 2.6. AÇ'nin kimyasal analiz sonuçları.....	56
Tablo 2.7. 500°C sıcaklıkta pişirilerek elde edilen AAÇ ₁ ' in kimyasal analiz sonuçları ..	56
Tablo 2.8. 600°C sıcaklıkta pişirilerek elde edilen AAÇ ₂ ' nin kimyasal analiz sonuçları	56
Tablo 2.9. 700°C sıcaklıkta pişirilerek elde edilen AAÇ ₃ ' ün kimyasal analiz sonuçları..	57
Tablo 2.10. CEM II/A-P 42,5 N ve içme suyu arıtma tesisi çamuruna (AÇ), AAÇ ₁ , AAÇ ₂ ve AAÇ ₃ 'ye ait kimyasal özellikler	57

Tablo 2.11. Malzemelerdeki SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ yüzdeleri ve toplamı.....	59
Tablo 2.12. AÇ' nun çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları.....	73
Tablo 2.13. AÇ'nin priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları	75
Tablo 2.14. AAÇ ₁ ' in çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları.....	77
Tablo 2.15. AAÇ ₁ 'in priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları	79
Tablo 2.16. AAÇ ₂ ' nin çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları.....	81
Tablo 2.17. AAÇ ₂ 'nin priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları	83
Tablo 2.18. AAÇ ₃ ' ün çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları.....	85
Tablo 2.19. AAÇ ₃ 'ün priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları	87

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Kesit alanı
AAÇ	: Aktifleştirilmiş arıtma çamuru
AAÇ ₁	: 500°C’de aktifleştirilmiş arıtma çamuru
AAÇ ₂	: 600°C’de aktifleştirilmiş arıtma çamuru
AAÇ ₃	: 700°C’de aktifleştirilmiş arıtma çamuru
AÇ	: Arıtma çamuru
AÇK	: Arıtma çamuru külü
AKM	: Askıda katı madde
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
d	: Çimento numunesinin yoğunluğu
e	: Gözeneklilik
I _p	: Plastisite Indisi
K	: Alet sabiti
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
L	: Destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık
m	: Çimentonun kütlesi
P	: Uygulanan kuvvet, prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet
S	: Çimento numunesinin özgül yüzeyi
SEM	: Taramalı elektron mikrokobu
TİAT	: Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisi
XRD	: X-Işını Difraksiyonu
w	: Su muhtevası
w _L	: Likit lmit değeri

- w_p : Plastik limit değeri
 V_1 : İlk okunan hacim
 V_2 : Son okunan hacim
 δ : Çimentonun zgl ağırlığı
 ρ_s : Tane zgl yoğunluğu
 η : Deney sıcaklığında hava viskozitesi,
 σ : Eğilmede ekme gerilmesi, basınç dayanımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlunun yüzyıllar boyunca çevresindeki doğal kaynakları düzensiz ve kötü kullanımı, endüstriyelleşme adına çevreye önem vermemesi sonucu doğa kendini yenileyemez ve dengesini koruyamaz hale gelmiştir. Nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşmenin sonucu olarak canlı ve cansız çevrenin olumsuz yönde etkilenmesi, ekosistemdeki madde ve enerji döngülerinin bozulması sonucu ortaya çıkan çevre sorunları su, hava, toprak ve gürültü kirliliği şeklinde sınıflandırılır.

Dünya çevre sorunlarının ağırlaştığı günümüzde gerek bilimsel araştırmalarda gerekse mühendislik araştırmalarında çevre sorunlarına daha çok önem verilmesi gerektiğini artık bilmeyen kalmamıştır. Yaklaşık 30 yıl önce sorun olmaktan uzak görünen bir takım endüstriyel atıklar son 10 yıldır insanlığın başına çevre sorunu olup çıkmıştır. Artan dünya nüfusu ve insanların gereksinimleri üretimin yıldan yıla fazla olmasını birlikte getirmektedir. Artan üretim, atık maddelerin de artmasını ortaya çıkarmaktadır ve tüm atıklar için zamanında önlem alınmalıdır (Uçar, 1997).

Yer altı veya yüzey suyu kaynaklarından alınan ham suyun insan sağlığına zarar vermeyecek düzeyde arıtıldığı ve içilebilir kıvama getirildiği içme suyu arıtma tesislerinde kaçınılmaz bir yan ürün olarak elde edilen arıtma çamurları (AÇ) arıtma tesisleri için bertarafı zor ve pahalı bir atık maddedir.

İçme suyu arıtım aşamalarının kaçınılmaz bir yan ürünü olan arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertaraf edilmesi gittikçe büyüyen bir problem haline gelmiştir. Bu atıkların sadece küçük bir kısmı katı madde, önemli kısmı su içeriğine sahip olduğundan büyük hacimler işgal ederler ve dolayısıyla depo edilmeleri güçtür. Uygun koşullarda depo edilmediklerinde havayı, toprağı ve suyu kirleterek doğayı olumsuz yönde etkilemektedirler.

Türk ekonomisinin gereksinimi olan malzemelerin üretilmesinde AÇ gibi atık maddelerden yararlanmaya (geri dönüşüm) yönelik araştırmalarda yeterli düzeye erişilmemiştir. Japonya'da 62.000 ton Arıtma Çamuru Külü (AÇK) ve 28.000 ton endüstriyel atık kullanılarak yılda 110.000 ton çimento üretecek bir tesisin Taiheiyo

Cement ve Mitsu&Co kuruluşlarının ortaklıklarıyla 2001 yılında üretime başladığı bilinmektedir (Çelik ve Öner, 2003).

İnşaat endüstrisi; maliyeti düşürecek, etkinliği geliştirecek, yapısal bütünlüğü garanti edecek ve mekanik özellikleri geliştirecek malzeme seçeneklerini araştırmaya yoğunlaşmıştır. Araştırmalar geri dönüştürülebilir atık malzemelerin elimine edilmesi ile yapı endüstrisi için alternatif malzemelerin gelişimine yönelik fikirleri ortaya çıkarmıştır (Aslan, 2007). Günümüz teknolojisinin gelişmesine paralel olarak çimento teknolojisi de gelişmektedir. Bu gelişmeler özellikle, standart dışı yeni çimento karışımları araştırma geliştirme ve bunların standardizasyonu alanlarında olmaktadır. Bir taraftan basınç dayanımı yüksek, korozyona dayanıklı, kimyasal etkilere dayanıklı, yoğunluğu düşük standart üstü çimentolar üretilmeye çalışılırken diğer yönden, çevreyi kirleten birçok sanayi atığının katkı maddesi olarak kullanılmasını amaçlayan, fakat daha ucuza mal olan standart altı çimentoların üretilmesi üzerinde durulmaktadır (Ergi vd., 2007).

Uçucu kül, talaş ve fırın atıkları ve bazı kimyasallar gibi bir çok atık maddenin yapı işlerinde katkı malzemeleri olarak kullanılabilirdiği fikrinden yola çıkarak içme suyu arıtma çamurunun ve bu çamurun farklı sıcaklıklarda yakılması sonucu elde edilen aktiveleştirilmiş arıtma çamurunun (AAÇ) da yapı malzemeleri olarak kullanılmasının atık problemine çözüm olacağı düşünülmektedir.

Bu temel düşüncelerden hareketle bu çalışma kapsamında; Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisinde (TİAT) suyun arıtılması sonucu oluşan AÇ'nin ve AÇ'nin pişirilmesi sonucu elde edilen AAÇ'nin yapı malzemelerinde kullanılan katkı maddeleri gibi çimentoda kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

İçme suyu arıtma çamurunun (AÇ) farklı kullanım şekilleri üzerine yapılmış bazı çalışmalar;

Yapılan bir çalışmada Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisinde (TİAT) suyun arıtılması sonucunda atık olarak oluşan AÇ, katkı maddesi olarak kullanılarak killerin geoteknik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Katkı maddesinin seçimindeki en önemli etken, bu maddenin bir atık malzeme olması ve günümüzde atık maddenin tekrar kullanımının çevresel ve ekonomik açıdan çok büyük önem taşımasıdır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre zemine değişik oranlarda (%7.5, %10, %12.5, %15) katılan atık çamur, şişen killerin plastisite, geçirimsizlik ve şişme basıncı özelliklerinde azalmaya neden olmuştur. AÇ ile gerçekleştirilen iyileştirme, günümüzde sıkça uygulanan diğer katkı

maddeleri kadar yüksek iyileştirme sonuçları vermese de maliyetinin çok az olmasından dolayı kullanımı tercih edilebilecek bir malzemedir (Angın ve Angın, 2005).

Gülay (2002) ise TİAT'dan elde edilen AÇ'yi etüvde kuruttuktan sonra, Portland çimentosuna değişik oranlarda katarak basınç, priz süresi, %su, özgül ağırlık, hacim genleşmesi vb. özelliklerine bakmıştır. AÇ + Çimento katkılı çimento örneklerinde AÇ katkı miktarları arttıkça çimento yoğunluğunda fazla bir değişim olmadığı görmüştür. AÇ%5 + Çimento örneklerinin basınç dayanım değerlerinin (1, 2, 7 ve 28 günlük) PÇ 42,5 değerlerinden daha büyük olduğunu belirlemiştir. AÇ katkılı çimento örnekleri içerisinde en uygun katkı oranının ise %10-%15 arasında olduğunu belirlemiştir. Ayrıca petri kaplarında mısır ve fasulye tohumlarını saf su ve AÇ suyu ile ayrı ayrı beslemiş, çim ve kök boylarını ölçerek AÇ suyu ile beslenen tohumların saf suya göre çim ve kök kısımlarının daha fazla uzadığını görmüştür. Bu atığın tarımsal açıdan mahsurunun ve çevreye zararlı etkisinin olmadığını tespit etmiştir (Gülay, 2002).

Kayranlı (2001), içme suyu atık çamurunu boyar maddelerden kaynaklanan rengin giderilmesinde koagülant olarak kullanım potansiyeli ve adsorbsiyon özelliğini incelemiştir. Çamuru, koagülant olarak tekstil atıksularına uygulamıştır. 2000-4000 mg/L çamur dozu KOİ giderim verimi açısından demir üç klorür ve alum kadar etkili olduğunu görmüştür. Çamurun bazik, dispers ve direkt boyar maddelerin koagülasyonunda çok iyi sonuçlar verdiğini görmüş ve optimum şartları pH 5 ve 2000 mg/L çamur dozu olarak bulmuştur (Kayranlı, 2001).

Kalat (2002), Adana organize Sanayi Tesislerine içme ve kullanma suyu sağlayan arıtma tesisinde koagülanat olarak demir üç klorürün kullanımı sonucu oluşan atık çamuru bitkisel yağ endüstrisinden kaynaklanan atıksuların arıtımında koagülant olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu amaçla atık çamurun optimum dozu ve pH değeri, KOİ, yağ ve gres ve AKM giderimi açısından incelemiştir. Buna göre çamurun koagülant gibi davrandığını gözlemlemiş, yüksek KOİ ve AKM giderimi sağladığını belirlemiştir. 1900 mg/L çamur dozunda ve pH 8,5'te % 74 KOİ, % 99 yağ-gres, % 84 AKM giderimi sağlanmıştır (Kalat, 2002).

Ünlü (2003), içme suyu arıtımında koagülasyon ve flokülasyon proseslerinin kullanımı sonucu oluşan içme suyu atık çamurunu koagülasyon işleminde kullanılan koagülanta göre demir çamuru, alüm çamuru vs. olarak adlandırmıştır. Yaptığı çalışmada iki farklı demir çamurunun Hurda Kağıttan kağıt üreten bir tesisin atıksularından AKM ve KOİ giderilmesinde koagülant olarak kullanım potansiyelini incelemiştir. Çamuru,

koagülant olarak kağıt sanayi atıksularına uygulamıştır. 2000-4000 mg/L çamur dozu KOİ giderim verimi açısından demir üç klorür ve alüm kadar etkili olduğunu görmüş ve optimum pH 6 ve çamur dozu 500 mg/L bulunmuştur (Ünlü, 2003).

1.2.Su Kaynakları

Önemli bir çevre sorunu olan su kirliliği bilindiği gibi insanların içme, kullanma, endüstri ve tarımsal sulama gibi ihtiyaçlarını karşıladıktan sonra suyun kirletilerek değişik oranlarda doğaya yeniden verilmesiyle oluşmaktadır. Yeryüzünde bulunan suyun tüm insanlığın ihtiyaçlarını karşılayacak kadar çok olduğu ve dolayısıyla hiçbir zaman tükenmez bir kaynak oluşturacağını düşünmek yanlıştır. Dünyadaki temiz su kaynakları gittikçe azalmaktadır. Diğer taraftan nüfus artışı, kentleşme ve endüstriyelleşme sonucu temiz su tüketiminde hızlı bir artış olmaktadır. Temiz su kaynakları yeterli olsa bile, bunların yeryüzündeki dağılımı üniform değildir.

Geçtiğimiz yüzyılın sonlarına doğru yeryüzü ikliminde hissedilir değişimler ortaya çıkmış ve temiz su kaynaklarının zamanla azalacağına dair kuşkular ortaya atılmıştır. Diğer taraftan su kaynaklarındaki önlenemeyen kirlenmeler de, yakın zamanda bütün dünyada bir su sorununun ortaya çıkacağına işaretleri olarak görülmektedir.

Dünya yüzeyinin dörtte üçü sularla kaplıdır. Ancak bu suyun büyük bir kısmı tuzlu su halinde denizlerde bulunur. Dünya su rezervlerinin ancak %2,6'sı tatlı sulara oluşur. Bunun çok büyük bir kısmı da kutup bölgelerinde buzullar halindedir. Tatlı suların az bir bölümü ise, atmosferde buhar yerkabuğunda yüzey ve yeraltı suyu şeklindedir. Dünyamızda mevcut suların yaklaşık miktarı ve dağılımı Tablo 1.1'de verilmektedir (Yalçın ve Gürü, 2002).

Tablo 1.1. Dünya su rezervlerinin dağılımı (Yalçın ve Gürü, 2002)

Su kaynağı		Miktar, km ³	%
Denizler		1.384.000.000	97,39
Tatlı sular	Kutuplardaki buzullar	27.820.000	2,01
	Yeraltı suları	8.062.000	0,58
	Göller ve nehirler	225.000	0,02
Atmosferdeki buhar		13.000	0,0001
Toplam		1.384.120.000	100

Su yeryüzünde sürekli hareket halindedir. Su kullanılır fakat tüketilemez. Kullanılmış olan su genellikle aynı miktarda, kirlenmiş olarak yeniden çevreye verilir. Suların ana deposu denizdir. Denizlerden buharlaşarak atmosfere karışan su, yağışlarla yeryüzüne taşınır. Yeryüzüne düşen yağışın bir kısmı yeraltına süzülürken, bir kısmı da akış halinde yeniden denizlere döner. Yer kabuğu tarafından tutulan su da buharlaşma ve bitkilerin transpirasyonu yoluyla atmosfere taşınır. Hidrolojik çevrim olarak adlandırılan bu olaylar zinciri milyonlarca yılda kurulmuş olup, yaşamın temelini oluşturur (Yalçın ve Gürü, 2002).

Sular orijinlerine göre dört kısma ayrılır.

1. Meteorolojik sular (yağmur ve kar suları) : Mevcut sular içinde en saf olanıdır. Havada bulunan bütün gazları ihtiva ettiği gibi, bazı inorganik ve organik maddeler de bulunabilir.

2. Yer altı ve kaynak suları: Bulunduğu ve geçtiği toprak tabakalarını çözmesi sonucunda, tabakaların cinsine göre, çözülmüş maddeleri ihtiva ederler.

3. Yeryüzü suları (nehir, göl, baraj ve deniz suları) : Yüzeylerinin açık olması nedeni ile, organik yapıda olan yabancı maddeleri almaya yatkındır. Buna karşılık, hava ile temas ettiklerinden karbonat setliği azdır.

4. Maden (mineral) suları: Tabi sulara oranla çözülmüş madde miktarı belirli bir sınırı aşmış veya sıcaklığı ve radyoaktivitesi tabi sınırı geçmiş olan sulardır.

Yeryüzünde sular çok çeşitlidir, ancak içme suyu azdır. Mevcut içme suyu kaynakları artan nüfus, hızla gelişen endüstri ve yok olan ormanlar nedeniyle günden güne ihtiyacı karşılayamaz hale gelecektir. İçme suları yeraltı ve yerüstü kaynakları olmak üzere ikiye ayrılır. Yeraltı suları doğrudan içilebilen sulardır. Yerüstü suları ise nehir, dere, çay ve baraj sularıdır ve genellikle kirlidirler. Kirlilik derecesi geçtikleri ve buldukları topraklara, yakınlarında bulunan fabrika ve yerleşim birimlerine bağlıdır. Kullanılabilmesi ve içilebilmeleri için arıtılmaları gerekir (Uçar, 1997).

1.3.İçme ve Kullanma Suları

Kaynağına bakılmaksızın orijinal haliyle veya arıtıldıktan sonra bu standartta belirtilen özellikleri sağlayan, genel olarak içme, yemek yapma, gıda maddelerinin hazırlanması (gıda maddelerinin hazırlanmasında gıda maddesi ile doğrudan temas eden sular) vb. amaçlar ile temizlik amacıyla kullanılan sulardır (TS 266, 2005).

Su insanlar ve hayvanlar için temel gıda maddesi olarak kullanılır. Yiyecek ve içeceklerdeki su bir gıda hammaddesi olarak kabul edilebilir. İnsan vücudunun günde 5 litre suya ihtiyacı vardır. Genellikle bir kişi günde 1-1,5 litre su içer ve vücudun geri kalan su ihtiyacı da yiyeceklerin içeriği su ile karşılanır. Bunun dışında insanların temizlik ve diğer evsel kullanımları için de temiz suya ihtiyaç vardır.

Kullanım suları terimi genellikle banyo, bulaşık ve temizlik gibi evsel ihtiyaçlar için gerekli olan suları kapsar. Genelde bu suların da içme sularında aranan özelliklere sahip olmaları istenir. Özellikle bu suların insan sağlığına zararlı etkileri olan mikroorganizmalar ve bakterilerin kesinlikle içermemesi gerekir. Bu amaçla içme ve kullanma suları dezenfekte edilir. Bu suların fiziksel ve kimyasal özellikleri için de belirli standart değerler belirlenmiştir.

Şehirlerde yaşayan bir insan, değişik ülkelerde farklı olmakla beraber, günde ortalama 190 litre suyu kişisel ve ev işlerinde kullanır. İçme, çamaşır yıkama, yemek hazırlama, bulaşık yıkama bu miktara dahildir. Şehirlerde büyük miktarlardaki su, çimen ve bahçelerin sulamasında, ev, dükkan ve ofislerin temizliğinde ve havalandırma ve ısıtma sistemlerinde kullanılır. Ayrıca yangın söndürme amacıyla yeterli miktarda suyun depolanarak hazır miktarda bekletilmesi gerekir.

Çeşitli günlük gereksinimler için kullanılan su miktarları Tablo 1.2 ve çeşitli kamu kuruluşlarında bir günde kişi başına harcanan su miktarları Tablo 1.3'te verilmiştir. Kişi başına su kullanım miktarları, toplumların gelişme düzeyleri ve geleneklerine bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir (Yalçın ve Gürü, 2002).

Tablo 1.2. Evsel ihtiyaçlar için kullanılan su miktarları (Yalçın ve Gürü, 2002)

Su kullanım alanı	Su miktarı, Litre/gün.kişi
İçme ve yemek suyu	3-6
Ev temizliği, çiçekler	5-15
Bulaşık yıkama	10-15
El-yüz temizliği	10-15
Çamaşır yıkama	20-40
WC	20-40
Duş-banyo	30-50
Toplam	98-181

Tablo 1.3. İşyeri ve kamu kuruluşlarının içme ve kullanma suyu ihtiyacı (Yalçın ve Gürü, 2002)

Kuruluş	Su miktarı, Litre/gün.kişi
Okullar	10-20
Askeri tesisler	250-300
Hastaneler	250-600
Yüzme havuzları	300-380

1.4.İçme Sularının Özellikleri

İçme ve kullanma sularında istenilen ve istenmeyen vasıfları beş ana grupta toplamak mümkündür.

1. Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi hoş olmalıdır. Sularda fenoller, yağlar gibi suya kötü koku veren maddeler olmamalıdır.

2. Suda hastalık yapan mikroorganizmalar olmamalıdır. Suda bulunan bazı mikroorganizmalar tifo, kolera, sarılık gibi hastalıklara sebep olurlar. Sudaki zararlı mikroorganizmaları yok etmek için en uygun yol dezenfeksiyondur.

3. Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler olmamalıdır. Bazı kimyasal maddeler zehirli tesir gösterir. Arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, cıva, selenyum zehirli maddelerdir. Florür sularda bir miktar bulunursa diş çürümelerine karşı koruyucu bir tesir göstermektedir. Ancak florür'ün fazla miktarda alınması zehirli etki yapar. Klorür Cl^- , suda umumiyetle sodyum klorür ($NaCl$) şeklinde bulunur. Suda fazla miktarda $NaCl$ bulunması halinde suya insan ve hayvan idrarının karışmış olduğu düşünülebilir. Suda amonyum (NH_4^+)'un bulunması, suyun kullanılmış sularla kirlendiğini ve kirlenmenin süre bakımından uzak olmadığını gösterir. Netice olarak, sağlığa zararlı maddelerin içme sularındaki konsantrasyonları belli bir değerden fazla olmamalıdır. Bu değerler çeşitli standartlarla belirtilmiştir.

4. Su, kullanma maksatlarına elverişli olmalıdır. Sular içme suyu ve sanayide kullanma suları olarak ikiye ayrılırlar. İçme suyu olarak kullanılması halinde sudaki demir ve manganez muhtevaları düşük olmalıdır. Demir, bilhassa yer altı sularında (2) değerlikli Fe^{++} olarak genellikle demir bikarbonat $Fe(HCO_3)_2$ şeklinde olur. Suda bulunan demir, borularda demir bakterilerinin çoğalmasına ve boruların tıkanmasına sebep olur.

5. İçme suları agresif olmamalıdır. Suların agresifliği, Serbest karbondioksit (CO_2) ile bikarbonat HCO_3^- iyonunun dengede olmasından ileri gelir. Suların agresifliği, boruların korozyonuna (aşınmasına) sebep olur, onların kısa zamanda harap olmalarına, dolayısıyla ilave masraflara yol açar. Ayrıca boruların aşınması halinde borulardan ayrılan elementler suyun niteliğinin bozulmasına sebep olur.

6. Suyun sertliği kullanma maksadına uygun olmalıdır. Genel olarak, herhangi bir suyun sertliği denildiğinde o suyun sabunu çöktürme özelliği anlaşılır. Sabun başlıca Ca^{++} ve Mg^{++} iyonları tarafından çökeltir (Gülay, 2002). Su sertliği, suda kalsiyum ve magnezyum muhtevasını tarif etmek için kullanılan eski bir kavramdır. Su içinde bulunan Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının CaCO_3 olarak eşdeğeri toplam sertlik olarak tanımlanır (Yalçın ve Gürü, 2002). Sularda sertliğe yol açan iyonların genellikle mg/L CaCO_3 olarak gösterilmesinin nedeni, CaCO_3 'ün standart olarak kolaylıkla bulunabilmesi ve hesaplamalardaki kolaylık yönünden mol ağırlığı 100 olmasıdır (Gülay,2002). Bikarbonat halinde olan sertlik geçici sertlik, kalsiyum ve magnezyumun diğer tuzları kalıcı sertlik olarak adlandırılır.

Sudaki sertliği oluşturan en önemli bileşen kalsiyumdur. Doğal sular içinde genellikle 2-200 mg/L arasında kalsiyum bulunur. Suyu kalsiyum iyonu topraktaki alçı ve kalkerin yağmur suları ile çözülmesi yoluyla girer. Endüstride kullanılan suların çoğunda sertliğin giderilmesi gerekir. Özellikle kazan besleme suları ve soğuma sularında geçici sertlik bulunması istenilmez.

İçme suyunda aranan iki temel özellik, sağlığa zararlı olmaması ve içiminin hoş olmasıdır. Bunu sağlamak üzere, içme ve kullanma sularının fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özellikleri çeşitli uluslararası kuruluşlarca standardize edilmiştir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsünün Nisan 2005 yılında hazırlamış olduğu “ TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı ” su kalitesi saptanmasında ölçü olmaktadır. Bu standartla sular sınıflandırılmış ve suların özellikleri verilmiştir (Yalçın ve Gürü, 2002).

Bu standart kapsamına giren sular;

Sınıf 1- Kaynak (memba) suları,

Sınıf 2- Kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular, olmak üzere iki sınıftır

Sınıf 1 sular bir tiptir.

Sınıf 2 sular;

Tip 1- İşlem görmüş kaynak (memba) suları,

Tip 2- İçme ve kullanma suları, olmak üzere iki tiptir (TS266, 2005).

Tablo 1.4. İnsani tüketim amaçlı suların mikrobiyolojik özellikleri (TS266, 2005).

ÖZELLİK	DEĞER, EN ÇOK	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1 (ml)	Sınıf 2 Tip 2 (ml)
Escherichia coli	0/250	0/100
Enterococci	0/250	0/100
Pseudomonas aeruginosa	0/250	-
Koloni sayısı, 22°C	100/	-

Tablo 1.5. İnsani tüketim amaçlı suların kimyasal özellikleri (TS266, 2005).

ÖZELLİK	DEĞER, EN ÇOK	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
Antimon ($\mu\text{g/L}$)	5,0	5,0
Arsenik ($\mu\text{g/L}$)	10	10
Benzen ($\mu\text{g/L}$)	1,0	1,0
Bor ($\mu\text{g/L}$)	1,0	1,0
Bromat ($\mu\text{g/L}$)	10	10
Kadmiyum ($\mu\text{g/L}$)	5,0	5,0
Krom ($\mu\text{g/L}$)	50	50
Bakır ($\mu\text{g/L}$)	100	2000
Siyanür ($\mu\text{g/L}$)	50	50
Florür ($\mu\text{g/L}$)	1,0	1,5
Kurşun ($\mu\text{g/L}$)	10	10
Cıva ($\mu\text{g/L}$)	1,0	1,0
Nikel (mg/L)	20	20
Nitrat (mg/L)	25	50
Nitrit ($\mu\text{g/L}$)	0,10	0,50
Pestisitler ($\mu\text{g/L}$)	0,10	0,10
Toplam Pestisit ($\mu\text{g/L}$)	0,50	0,50
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ($\mu\text{g/L}$)	0,10	0,10
Selenyum ($\mu\text{g/L}$)	10	10

Tablo 1.6. Bu standartların izlenmesinde dikkate alınacak gösterge özellikleri (TS266, 2005).

ÖZELLİK	DEĞER, EN ÇOK	
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2
Alüminyum, en çok ($\mu\text{g/L}$)	200	200
Amonyum, en çok (mg/L)	0,05	0,50
Klorür, en çok (mg/L)	30	250
Clostridium perfringens-sporlular dahil- (sayı/100 ml)	0	0
Renk, en çok (mg/l Pt-Co skalası)	1	20
İletkenlik, 20°C 'ta, en çok ($\mu\text{S/cm}$)	650	2500
pH	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$
Demir, en çok ($\mu\text{g/L}$)	50	200
Mangan, en çok ($\mu\text{g/L}$)	20	50
Koku	Suyun kendine has kokusunda fark edilebilir bir değişiklik gözlenmemelidir.	
Sülfat, en çok (mg/L)	25	250
Sodyum, en çok (mg/L)	100	200
Tat	Suyun kendine has tadında fark edilebilir bir değişiklik gözlenmemelidir.	
Koloni Sayımı, 22°C 'ta	Fark edilebilir bir değişiklik olmamalıdır.	
Koliform bakteri (Sayı/100 ml)	0	0
Toplam organik karbon	Fark edilebilir bir değişiklik olmamalıdır.	
Bulanıklık, en çok (NTU)	5	5
Radyoaktivite, en çok		
- Tritiyum	100	100
- Toplam gösterge tozu (mSv/Yıl)	0,10	0,10
- Alfa aktivitesi (Bq/L)	0,1	0,1
- Beta aktivitesi (Bq/L)	1	1

Ülkenin yer altı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için su kirlenmesinin önlenmesi sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere Çevre ve Orman bakanlığı tarafından 31.12.2004 Tarih ve 25687 sayılı Resmi gazetede “Su kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” yayımlanmıştır (Uzun, 2006).

Bu yönetmelik kapsamında kıta içi yüzeysel sular kalitelerine göre;

Sınıf I: Yüksek kaliteli su

Sınıf II: Az kirlenmiş su

Sınıf III: Kirli su

Sınıf IV: Çok kirlenmiş su, olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır.

Gerekli arıtım işlemleri uygulanarak içme suyu temin edilen Sınıf I (Yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini) ve Sınıf II (ileri ve uygun arıtma ile içme suyu temini) için geçerli su kalite parametreleri ve buna ait sınır değerler Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Su kalite parametreleri ve su kalite sınıfları (T.C. Resmi Gazete, 1988)

Su Kalite Parametreleri	Sınıf I	Sınıf II
Fiziksel ve İnorganik-Kimyasal Parametreler		
1. Sıcaklık (°C)	25	25
2. pH	6,5-8,5	6,5-8,5
3. Çözünmüş Oksijen mg O ₂ /L ^a	8	6
4. Oksijen Doymunluğu % ^a	90	70
5. Klorür İyonu mg Cl ⁻ /L	25	200
6. Sülfat iyonu mg SO ₄ ⁻ /L	200	200
7. Amonyum azotu mg NH ₄ ⁺ -N/L	0,2 ^c	1 ^c
8. Nitrit azotu mg NO ₂ ⁻ -N/L	0,002	0,01
9. Nitrat azotu mg NO ₃ ⁻ -N/L	5	10
10. Toplam Fosfor mg PO ₄ ³⁻ -P/L	0,02	0,16
11. Toplam çözünmüş madde mg/L	500	1500
12. Renk Pt-Co birimi	5	50
13. Sodyum mg Na ⁺ /L	125	125
B) Organik Parametreler		
1. KOİ mg/L	25	50
2. BOİ mg/L	4	8
3. Organik karbon mg/L	5	8
4. Toplam Kjeldahl azotu mg/L	0,5	1,5
5. Emulsifiye yağ ve gres mg/L	0,02	0,3
6. Metilen mavisi aktif maddeleri (MBAS) mg/L	0,05	0,2
7. Fenolik maddeler(uçucu) mg/L	0,002	0,01
8. Mineral yağlar ve türevleri mg/L	0,2	0,1
9. Toplam pestisit mg/L	0,001	0,01
C) İnorganik Kirlenme Parametreleri ^d		
1. Cıva µg Hg/L	0,1	0,5
2. Cadmiyum µg Cd/L	3	5

Tablo 1.7'nin devamı

Su Kalite Parametreleri	Sınıf I	Sınıf II
3. Arsenik $\mu\text{g As/L}$	20	50
4. Kurşun $\mu\text{g Pb/L}$	10	20
5. Bakır $\mu\text{g Cu/L}$	20	50
6. Krom (toplam) $\mu\text{g Cr/L}$	20	50
7. Krom $\mu\text{g Cr}^{+6}/\text{L}$	Ö. kadar az ^f	20
8. Kobalt $\mu\text{g Co/L}$	10	20
9. Nikel $\mu\text{g Ni/L}$	20	50
10. Çinko $\mu\text{g Zn/L}$	200	500
11. Siyanür (toplam) $\mu\text{g CN/L}$	10	50
12. Florür $\mu\text{g F}^{-}/\text{L}$	1000	1500
13. Serbest klor $\mu\text{g Cl}_2/\text{L}$	10	10
14. Sülfür $\mu\text{g S}^{-}/\text{L}$	2	2
15. Demir $\mu\text{g Fe/L}$	300	1000
16. Mangan $\mu\text{g Mn/L}$	100	500
17. Bor $\mu\text{g B/L}$	1000e	1000
18. Selenyum $\mu\text{g Se/L}$	10	10
19. Baryum $\mu\text{g Ba/L}$	1000	2000
20. Alüminyum mg Al/L	0,3	0,3
21. Radyoaktivite pCi/L		
alfa-aktivitesi	1	10
beta-aktivitesi	10	100
D) Bakteriyolojik Parametreler		
1. Fekal koliform EMS/100 ml	10	200
2. Toplam koliform EMS/100 ml	100	20000
(a) Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.		
(b) Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limitini düşürmek gerekebilir.		
(c) pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu $0,02 \text{ mg NH}_3\text{-N/L}$		
(d) Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.		
(e) Bor'a karşı hassas bitkilerin sulanmasında kriteri $300\mu\text{g/L}$ 'ye kadar düşürmek gerekebilir.		
(f) ölçülmeyecek kadar az		

Her ülke kendi ulusal içme suyu kriterlerini kendisi belirlemektedir. Ancak Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) içme ve kullanma suları için temel kriterler belirlemiştir. Diğer taraftan Avrupa birliğince, birliğe dahil ülkeler için ortak bir içme suyu kriteri önerilmiştir. Avrupa birliği içme suyu standartları Tablo 1.8’de verilmiştir (Yalçın ve Gürü, 2002).

Tablo 1.8. Avrupa birliği içme suları standartları (Yalçın ve Gürü, 2002)

Özellikler	Önerilen değer (GL)	Maksimum değer (MAC)
Sıcaklık, °C	12	25
pH	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
Renk, (Pt-Co skalası)	1	20
Bulanıklık, (mg/L SiO ₂)	1	10
İletkenlik, µS/cm	400	-
Klorürler, mg/L	25	-
Serbest klor,mg/L	0,1	0,5
Sülfatlar, mg/L	25	250
Kalsiyum, mg/L	100	-
Magnezyum, mg/L	30	50
Sodyum, mg/L	20	175
Toplam çözülmüş tuz, mg/L	-	1500
Nitrat, mg/L	25	50
Amonyum, mg/L	0,05	0,5
Fenoller, µg/L	-	0,5
Bor, µg/L	1000	-
Demir, µg/L	50	200
Mangan, µg/L	20	50
Fosfor, P ₂ O ₅ olarak, µg/L	400	5000
Flor, µg/L	-	700
Arsenik, µg/L	-	50
Kadmiyum, µg/L	-	5
Siyanür, µg/L	-	50
Cıva, µg/L	-	1

Tablo 1.8'in devamı

Özellikler	Önerilen değer (GL)	Maksimum değer (MAC)
Kurşun, µg/L	-	50
Pestisitler, µg/L	-	0,5
PAH, µg/L	-	0,2
Toplam koliform, MPN/100 ml	-	< 1
Fekal koliform, MPN/ 100 ml	-	< 1
Toplam koloniler /ml, 37°C	10	-
Toplam koloniler /ml, 22°C	100	-

1.5. Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisi (ATASU)

Trabzon şehri; Arıtma Tesisleri hizmete girinceye kadar içme suyu ihtiyacını, şehrin Değirmendere mevkiinde bulunan keson kuyulardan, terfili sistemle karşılıyordu. Şehrin artan nüfusu, mevcut kuyuların ömrünün dolması ve daha kaliteli içme suyu ihtiyacı yeni su kaynaklarının araştırılmasını gerekli kılmıştır. Bu sebeple 1981 yılı başlarında harekete geçen yetkililer çalışmalara başlamış ve 1984 yılında Arıtma tesisi proje ihalesini gerçekleştirmişlerdir. 1987 yılında inşaatına başlanan Arıtma tesisleri 1992 yılında tamamlanarak hizmete alınmıştır.



Şekil 1.1. Trabzon içme suyu arıtma tesisi (ATASU)

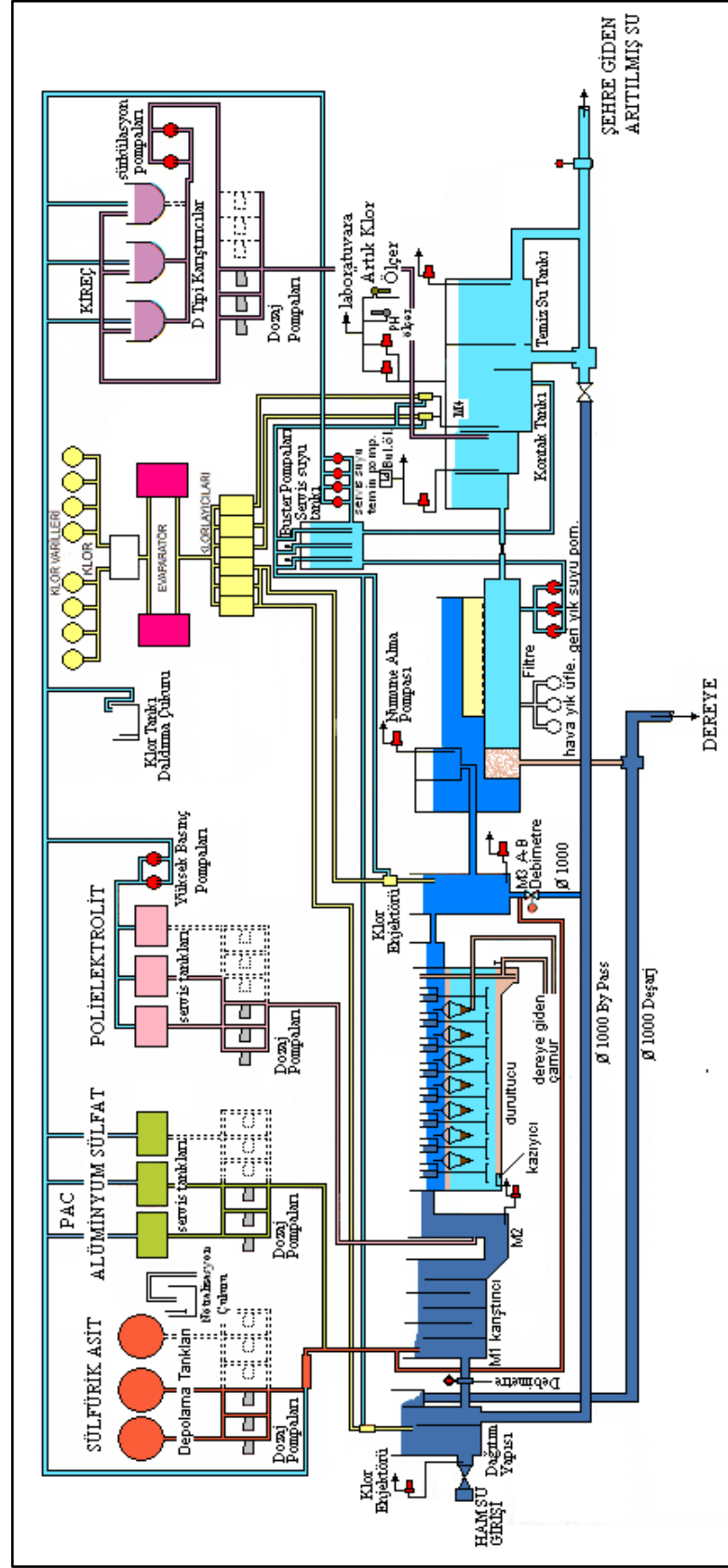
04.05.1992 tarihinden itibaren Trabzon şehri ve çevresinin su ihtiyacını karşılayan tesisin suyu, Esiroğlu beldesi Değirmendere regülatöründen sağlanıyordu. Değirmendere deresinin Maçka ilçesi şehir merkezi üzerinde bulunması ve Trabzon-Erzurum karayoluna

çok yakın mesafede olması riski ve şehrin artan su ihtiyacı yeni arayışları gerekli kılarak, Atasu barajının yapımını gündeme getirmiş ve 10.03.1998 tarihinde söz konusu barajın temeli atılarak çalışmalara başlanmıştır. Ancak, baraj inşaatının zaman alacağı düşüncesi ile geçici tedbir olarak, baraj mansabında bir regülatör yapılarak, 2700 metrelik bir iletim hattıyla Galyan deresi suyu Mart 2001'de arıtma tesislerine bağlanmıştır. Arıtma tesislerinin hizmete alındığı 1992 yılından beri şehrin su ihtiyacı olan kaliteli içme ve kullanma suyu, içme suyu standartlarına (TS 266) uygun olarak üretilmekte ve halka sunulmaktadır. Tesis, Arsin'den Mersin'e kadar olan yerleşimlerin su ihtiyacını karşılayacak şekilde planlanmış olup, halen doğuda Yomra, batıda Darıca, güneyde ise Esiroğlu beldesine kadar su verilmektedir (Karagüzel vd., 2003).

1.6.Trabzon Kenti İçme Suyu Arıtımı

Kentin içme suyu Değirmendere deresi üzerimde bulunan Esiroğlu ve Galyan deresi üzerinde bulunan Galyan regülatörlerinden temin edilir. Regülatörlerden temin edilen ham su, tesis dağıtım yapısından girdikten sonra, sırasıyla aşağıdaki ünite ve işlemlerden geçerek arıtılıp şehre gönderilmektedir.

1. Su alam yapıları (Regülatörler)
2. Ham su iletim hatları
3. Su dağıtım yapısı ve bypass hattı
4. Debimetre
5. Kimyasal dozlama
6. Karıştırma yapısı
7. Durultucular (4 adet)
8. Filtreler (7adet)
9. Kontak tankı
10. Temiz su deposu
11. Temiz su isale hattı (Karagüzel vd., 2003)



Şekil 1.2. Trabzon kenti içme suyu arıtma tesisi (Karagüzel vd., 2003)

1.6.1. Su Alma Yapıları (Regülatörler)

Tesise ham su temininde kullanılan, biri Esiroğlu beldesi Değirmendere üzerinde, diğeri Atasu barajı mansabında Galyan deresi üzerinde olmak üzere iki adet su alma yapısı mevcuttur. Regülatörlerle deredeki yüzeysel su, kapaklarla kontrollü bir şekilde ızgaralarla katı atıklardan arındırılarak tesise alınır. Regülatör üzerinde bu işlevi gören kapaklar, çelik ızgaralar ve otomatik döner elekler mevcuttur. Birbiri ardına sıralanmış çelik ızgaralarla katı atıklardan arındırılarak alınan ham su, son olarak döner eleklerle, 0,5 mm büyüklüğüne kadar olan atıklardan da temizlenerek tesise gönderilir. (Karagüzel vd., 2003).



Şekil 1.3. Galyan deresindeki Galyan regülatörü



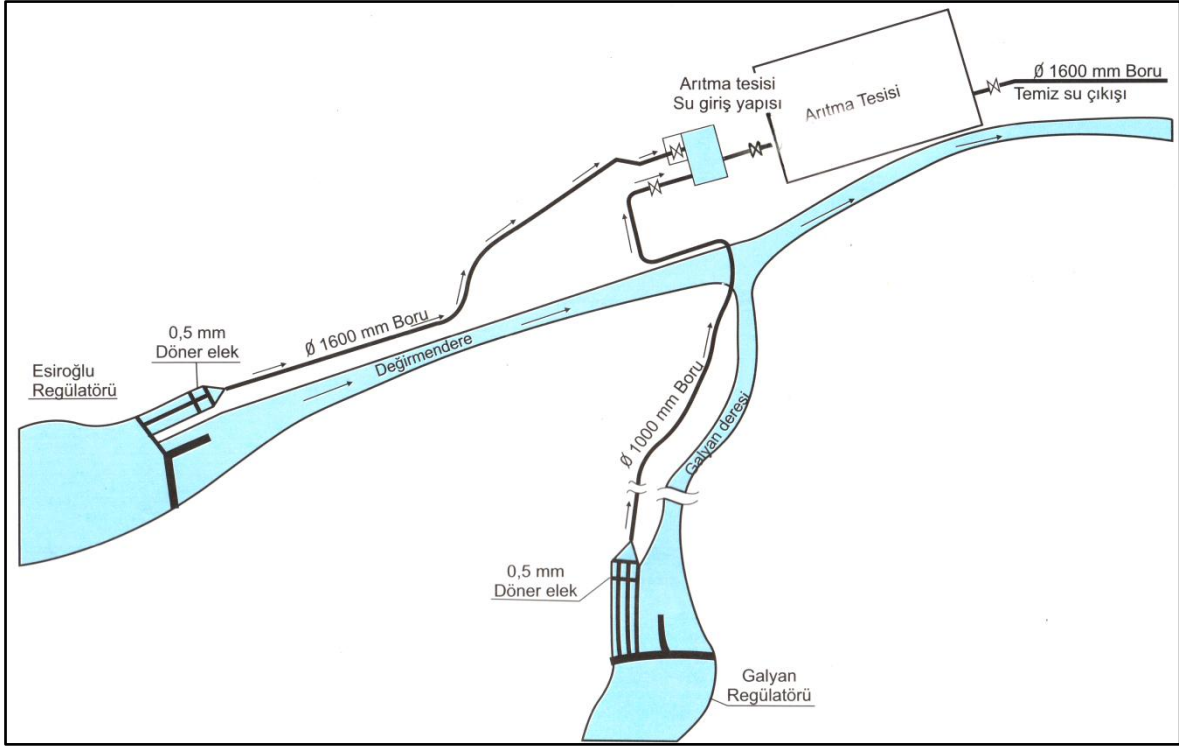
Şekil 1.4. Değirmendere-Esroğlu regölatörü

Esroğlu regölatörü 1986 yılında, Galyan regölatörü ise 2001 yılında yapılmıştır (Karagözel vd., 2003).

1.6.2. Ham Su İletim Hatları

a) Esroğlu hattı: 1600 mm'lik çelik borulardan oluşan bu hat 675 m uzunluğunda olup Esroğlu regölatöründen alınan ham suyu arıtma tesisine ulaştırır.

b) Galyan hattı: 1000 mm'lik çelik borulardan oluşan bu hat 2700 m uzunluğunda olup Galyan regölatöründen alınan ham suyu arıtma tesisine ulaştırır (Karagözel vd., 2003).



Şekil 1.5. Ham su iletim hatları (Karagüzel vd., 2003)

1.6.3. Su Dağıtım Yapısı ve Bypass Hattı

Regülatörlerden alınan ham su, dağıtım yapısı girişinde, 1600 mm'lik elektrik kumandalı kelebek vana ile kontrollü olarak istenilen miktarda su tesise alınmaktadır. Bypass hattı ile bütün tesisin, durultucuların, filtrelerin kontrolü sağlanmaktadır. Dağıtım yapısına gelen ihtiyaç fazlası su, deşarj hattından dereye tahliye edilebilmektedir. Regülatörlerdeki 0,5 mm aralıklı otomatik döner eleklerden geçerken bazı fiziksel kirliliklerden arınmış olarak gelen suya; bilhassa yaz aylarında sıcaklığın artmasından (10°C 'nin üstünde) doğan mikroorganizmaların, bakterilerin ve alglerin tesiste ürememesi için, dağıtım yapısındaki klorlama enjektörü ile ön klorlama yapılır. Dağıtım yapısı; tesis giriş suyunun hassas debi ayarı için 1200 mm'lik sürgülü vana, biri tahliye, biri de bypass hattı için 1600 mm'lik duvar vanası olmak üzere üç adet vana ile bir adet ham sudan numune alma pompası ile donatılmıştır.

Dağıtım yapısından sonra suyun işletme içindeki seyri;

a) Normal hat: Dağıtım yapısına alınan suyun bulanıklık derecesi 5 NTU'dan ($400 \text{ NTU} = 1000 \text{ SiO}_2$) fazla olması halinde, tesisin bütün ünitelerinin işletmeye alınacak

şekilde çalışmasıdır. Yani, ham suyun kimyasal dozlama, karıştırıcı, durultucu, filtre, son klorlama ile kontak tankı ve temiz su deposu güzergahını takip ederek şehre verilmesidir.

b) Tüm tesisin bypass edilmesi: Ham suyun bulanıklık derecesi 1NTU'nun altında olduğu hallerde, ön klorlama yapılarak "a" şikkındaki işlemler yapılmadan suyun direkt şehre verilmesidir.

c) yalnız durultucuların bypass edilmesi: Ham suyun bulanıklık derecesi 1-5 NTU arasında olduğu hallerde Şekil 2'de görülen M3A girişinde suyun debisi ölçülüp, kimyasal dozlama yapıldıktan sonra durultucular devre dışı bırakılarak (bypass edilerek) filtrasyon ve diğer işlemlerin yapılmasıdır.

d) Yalnız temiz su deposunun bypass edilmesi: "a" şikkındaki işletme şeklinde, temiz su deposuna girmeden, bypass hattıyla şehre verilmesidir.

e) Durultucu ve temiz su deposunun birlikte bypass edilmesi: "c" şikkında olduğu gibi (bulanıklığın 1-5 NTU olması halinde) durultucuların ve temiz su deposunun devre dışı bırakılıp, kontak tankı çıkışından bypass hattıyla suyun şehre verilmesidir (Karagüzel vd., 2003).

1.6.4. Debimetre

Su dağıtım yapısı dışında ve bypass hattı bağlantısında yer alan debimetreler, gerekli kimyasal dozlamaya yönelik olarak suyun hassas ölçümünde kullanılır (Karagüzel vd., 2003).

1.6.5. Kimyasal Dozlama

Su arıtımında koloidal maddeler ve askıda askıdaki katı maddelerin çökmesini kolaylaştırmak için suya ilave edilen kimyasal maddelere koagülant (pıhtılaştırıcı) denir. Koagülasyon (Pıhtılaştırma) ise koagülantların suya ilave edilişi ve etkili hale sokulmalarından ibaret olup, bir seri kimyasal ve mekanik işlemlerin sonucunda olmaktadır. Bu işlemler genellikle iki aşamadan meydana gelmektedir. Birincisi, hızlı karıştırma mikserinde (Şekil 2'de M1) yapılır ki, bu işlemle kimyasallar suya hızlı bir şekilde karışır. İkincisi ise, Yumaklaştırma (Flok oluşturma)'dır. Bu işlemle de su yavaş ve uygun bir şekilde karıştırılarak (Şekil 2'de M2) küçük tane pıhtılarının büyümesi ve

birbiriyle birleşmesi, yumaklaşması ve kolayca çökebilecek bir yumak topağı (flok) meydana gelmesidir.

Bulanıklığın; 1-5 NTU arasında olduğu hallerde Şekil 2’de görülen M3A girişinde, 5 NTU’dan fazla olması halinde ise karıştırıcı girişinde su içerisindeki koloidal ve askıda katı maddelerin çökeltilmesi için kimyasal dozlama yapılır.

Kimyasal dozlamada PAC (Poli Alüminyum Klorür), alüminyum sülfat, sülfürik asit, polielektrolit, kireç ve klor kullanılmaktadır. Ayrıca, suyun dezenfeksiyonu için; dağıtım yapısında ön klorlama, Şekli 2’de görülen M3A ve M3B’de ara klorlama, kontak tankı girişinde (Şekil 2’de M4) ise son klorlama yapılır.

Alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$): Ham suya verilen alüminyum sülfat suda bulunan koloidal ve askıda katı maddelerin çökmesini kolaylaştırmak için suya ilave edilen koagülant (pıhtılaştırıcı) maddedir.

PAC (Poli Alüminyum Klorür): Alüminyum sülfat gibi pıhtılaştırıcı olarak kullanılan alternatif bir maddedir.

Polielektrolit: Ham suda, alüminyum sülfat tarafından oluşturulan flokların (yumakların) büyütülüp daha kolay çökmesini sağlayan, yumaklaştırmayı hızlandıran kimyasal maddedir.

Sülfürik asit (H_2SO_4): Bulanık sularda, hatta renk yoğunluğu fazla olan suların pH değeri 5,7-6,0 iken koagüle olmaktadır. Bundan dolayı tesiste ham suyun pH değerinin yüksek olduğu zamanlarda pH ayarlayıcı olarak kullanılır.

Kireç ($Ca(OH)_2$): Düşük pH’larda, yani suyun asidik özellik gösterdiği durumlarda nötrleştirmek için gerekli kireç ilavesi yapılır (Şekil 2’de M4’de).

Klor (Cl_2): Suyu dezenfekte etmek amacı ile klor dozlaması yapılır. Ayrıca koku giderici, uygun tat, mangan ve demir oksidasyonu için de kullanılabilir (Şekil 2’de görüldüğü gibi tesiste dağıtım yapısı, M3A, M3B, M4) (Karagüzel vd., 2003).

1.6.6. Karıştırma Yapısı

Dağıtım yapısı ve debimetreden sonra yer alan karıştırma yapısı 4 adet şaşırtma perdesiyle donatılmış olup, ham suya savaklanma noktasında verilen kimyasal dozlamamın homojen bir şekilde su ile karışımını sağlamaktadır (Karagüzel vd., 2003).

1.6.7. Durultucular

Sudaki bulanıklığı meydana getiren ve içerisindeki askıdaki katı maddelerin çökmesi için kullanılan, her biri yaklaşık 1950 m³ hacminde ve 432 m² taban genişliğinde dikdörtgen kesitli dört adet havuzdan ibarettir. Dört durultucu havuz ortasında dikdörtgen kesitli şaft (Şekil 2’de M2) yer almaktadır. Ham su karıştırıcı yapısının altından şaft alt giriş noktasına ulaştığında yardımcı pıhtılaştırıcı olarak polielektrolit verilir. Ayrıca aynı noktada, gerekli görüldüğü hallerde (demir ve mangani gidermek için aktif karbon) kimyasal dozlama yeri mevcuttur. Şaft altından giren su şaft üst noktasına (durultucu yüzey seviyesine) ulaştıktan sonra, kapaklarla kontrol edilebilen dozlanmış su kanallarından üçlü dağıtım boruları yardımı ile tabana yakın yerden istenen durultucu havuzlarına iletilir.

Karıştırıcılardan itibaren PAC veya alüminyum sülfat , gerektiğinde sülfürik asit ile su içerisindeki taneciklerin birleşmesi sağlanır. Polielektrolit ile birleşme hızlandırılır ve büyük yumakların (flok) oluşması sağlanır. Floklaşmış halde üçlü borularla durultucu havuz tabanına ulaşan su, yukarı doğru hareketi esnasında (kaldırma kuvveti ile) floklar bir noktada dengede kalarak, çamur battaniyesi denilen çamur tabakası oluşur. Her durultucu havuzunda 10 adet ters koni biçiminde çamur konisi bulunmaktadır. Bu koniler sayesinde çamur battaniyesi istenilen seviyede tutulur ve biriken çamurlar periyodik aralıklarla deşarj edilir (Şekil 6). Durultucu tabanında biriken kum ve koyu çamur ise tabanda bulunan kazıyıcı vasıtasıyla havuz başlarındaki çamur kuyularına toplanır. Toplanan içme suyu arıtma çamuru basınçlı hava kumandalı bir vana sistemiyle Değirmendere’ye deşarj edilmek suretiyle uzaklaştırılır. Çamur battaniyesinden büyük ölçüde süzülerek geçen su, durutulmuş su kanallarıyla toplanıp orta kanal alınarak M3A ve M3B şaftlarından filtre ünitesine iletilir. Bu noktalarda durultucu üzerindeki enjektörle ihtiyaç duyulduğunda ara klorlama yapılır (Karagüzel vd., 2003).



Şekil 1.6. Durultucu

1.6.8. Filtreler

M3A ve M3B (Şekil 2) kanallarından gelen durutulmuş su, filtre ana besleme kanalında toplanarak, her biri 134 m² olan dikdörtgen kesitli 7 adet filtre havuzuna alınır. Ara besleme kanalı üzerinde bulunan biri asıl biri yedek seviye nakledicileri kanaldaki suyun seviyesini ölçüp pinomatik-hidrolik panoya ileterek filtre giriş suyu ile süzülen suyun dengesini sağlamaktadır. Filtre havuzlarının tabanına yerleştirilmiş olan 100 mm çapında PVC lateral boruların üzerlerine bağlanan nozullar üzerinde muhtelif iriliklerde kalından inceye doğru (tabandan yukarı) toplam 105 cm, 4 kat silisli kum ve çakıl tabakası ile durutulmuş suyun süzülmesi ve filtrelerin geri yıkama işlemleri sağlanır. Filtre havuzlarının tabanındaki çakıl-kum tabakası Tablo 1.9'da görüldüğü gibidir (Karagüzel vd., 2003).

Tablo 1.9. Filtre yatağı

Cinsi	Dane apı (mm)	Tabaka kalınlığı (mm)
Silisli akıl	13,20 - 6,70	150
Silisli akıl	4,75 - 2,35	100
Silisli Kum	2,36 - 1,18	100
Silisli Kum	1,18 - 0,60	700

Filtre işlemi sırasında filtre yatağında biriken katı maddeler, filtre yatağının, içinden geçen su akımına karşı gösterdiği direncin gittikçe yükselmesine neden olur. Bu direnç nedeniyle akımda azalmalar olur, buna yük kaybı denmektedir. Bu yük kaybını azaltmak için geri yıkama yapılır ve basınçlı hava gönderilir. Hava, yatak içerisinde kendisine yol atıkka, karıştırılan ortam daneleri birbirine srtnrken üzerlerine yapışmış bulunan pislikler de gevşemektedir. Geri yıkama suyu ile bu atıksu tahliye edilir (Gülay, 2002).

akıl ve kum tabakasından süzülen su, nozullardan girer, tabana döşenmiş ve nozullara bağlı olan borularla filtre altındaki kanal yoluyla debimetre ile debisi lldkten sonra 450 mm'lik vanadan geçerek filtrelenmiş su toplama kanalına, oradan da savaklanarak kontak tankına ulaşır (Karagzel vd., 2003).

1.6.9. Kontak Tankı

Filtrelenmiş su, toplama kanalından savaklanarak kontak tankı girişinde pH ayarlaması için kireç dozlaması yapılır. Aynı noktada debimetre ile debisi llen filtrelenmiş suya dezenfekte için mevcut iki adet enjektör vasıtasıyla son klorlama yapılır. Kontak tankı numune pompasının aldığı su numunelerinin değerlendirilmeleri neticesinde, bakiye klor ve pH ölümü yapılır. Kontak tankında 25 dakikalık kontak sresinden sonra su, ulaştığı tevzi yerinden, gereğine göre bypass hattına veya temiz su deposuna 1600 mm'lik duvar vanaları yardımı ile yönlendirilerek alınır (Karagzel vd., 2003).

1.6.10. İçme Suyu Deposu

Tevzi yerinden, filtre havuzları bloğunun atında mevcut olan yaklaşık 12000 m³'lük temiz su deposuna alınan su depodaki şaşırtma perdelerinden geçerek depo sonundaki 1600 mm çapındaki çelik boruyla, 1600'lük duvar vanası ile kumanda edilerek temiz su isale hattına verilir (Karagüzel vd., 2003).

1.6.11. İçme Suyu İsale Hattı

Temiz su tankından 1600 mm'lik duvar vanası ile kumanda edilen temiz su, şehre gönderilmek üzere 1600 mm çapındaki temiz su isale hattına bağlanır. İsale hattı kent girişine kadar 14 km olup bu noktada 1000 mm'lik çelik boru bağlantıları ile şehrin muhtelif yerlerindeki ana besleme depolarına oradan da terfili sistemlerle üst kottaki depolara ulaştırılarak kent yaşayanlarının kullanımına sunulur (Karagüzel vd., 2003).

1.7. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurları

İçme sularının arıtılmasında ham sudan çöktürülerek giderilen kimyasal ve diğer maddeler çamur olarak adlandırılır. Su arıtma tesislerinde bu çamurların bertarafı oldukça zor ve pahalıdır. Su ve atıksu arıtım süreçleri sonucu oluşan, kullanılan işleme bağlı olarak ağırlıkça %0,25-12 oranında katı madde içeren ve genellikle sıvı veya yarı katı-sıvı haldeki atıklar "Arıtma Çamuru" olarak tanımlanır (Metcalf & Eddy, 2003).

İçme suyu arıtımında, özellikle yüzeysel su kaynaklarından temin edilen suların arıtımında koagülasyon temel bir prosestir. İçme suyu arıtımında kolloid, renk, bakteri, alg ve çözülmüş organik maddeler gibi istenmeyen çeşitli safsızlıkların gideriminde koagülant ve polimer maddeler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tesislerden çıkan çamurlar çok yüksek miktarda su içermektedir. Çamurun yaklaşık %98'i sudan oluşmakta ve 20 kg katı kimyasal çökeltiye 980 kg su eşlik etmektedir. En kötü yaklaşımla suyun ve çökeltinin yoğunluklarının eşdeğer olduğunu varsayalım, bu durumda suya eklenen her 20 kg kimyasal için yaklaşık olarak 1m³ çamur üretilcektir. Bu rakam en küçük bir su arıtma tesisi (yaklaşık 0.05m³/s) için bile yılda 800 m³ çamur üretimi anlamına gelmektedir. Bu rakamların büyüklüğü söz konusu çamurun

hammadde değeri göz önüne alındığında daha da büyük önem kazanmaktadır (Kayranlı, 2001).

Avrupa'da içme suyu arıtma tesislerinde yılda 4 milyon ton çamur üretildiği ve bu miktarın önümüzdeki yıllarda ikiye katlanması beklenmektedir (Albertin ve ark, 1990). İçme suyu arıtma tesislerinden çıkan atık çamurlar bu tesisler açısından bir atık olarak değerlendirilip atılmaktadır.

1.7.1. İçme Suyu Arıtma Tesisi amurlarının Oluşumu

İçme suyu arıtımında koagülasyon- flokülasyon proseslerinin kullanımı içme suyu atık çamurunu oluşturur. Tüm yüzey suları, evsel, endüstriyel atıksular kendiliğinden ökemeyen ve stabil halde olan bu taneciklerin fiziksel ve kimyasal etkilerle stabilliğinin bozulması işlemi pıhtılaştırma (koagülasyon) olarak tanımlanır. Yumaklaştırma (flokülasyon) işlemi ise, pıhtılaşmış taneciklerin yumaklar teşkil ederek çökelebilir büyüklüğe ulaşmasıdır.

Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemi, su ve atıksu arıtımında anyonik ve organik bileşiklerin, renk, bulanıklık ve askıda katı maddelerin, zararlı bakterilerin ve proteinlerin, tad ve koku oluşturan maddelerin, alg ve planktonların giderilmesinde kullanılır (şengül ve Küçükgül, 1995).

1.7.2. Kolloidal Sistem

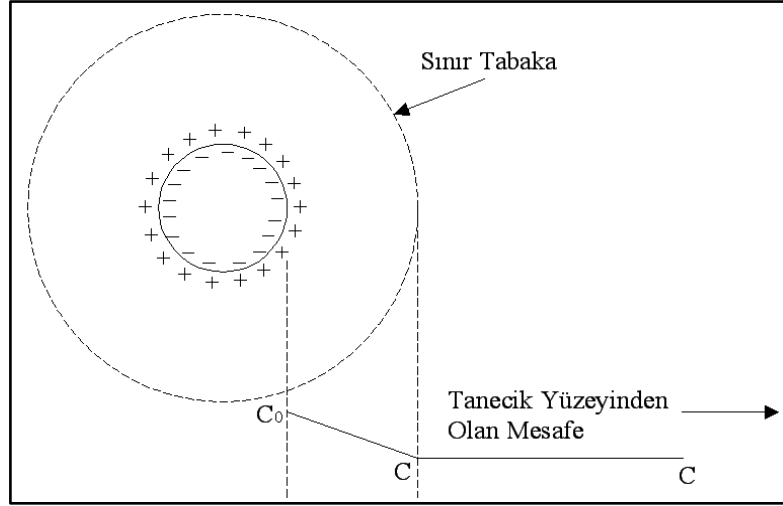
Çözünmeyen bir maddenin çok küçük tanecikler halinde homojen bir ortamda dağılmasıyla oluşan sisteme kolloidal sistem denir. Suda bulunan partiküller ve kolloidal maddelerin boyutları Tablo 1.10'da gösterilmiştir.

Tablo 1.10. Suda bulunan partiküller ve kolloidal maddelerin boyutları (Faust ve Ally,1983)

Partikül	Çap (mm)	Toplam Yüzey Alanı (m ²)	Çökme Süresi (saat)
Çakıllı kum	10	3.14x10 ⁻⁴	8.3x10 ⁻⁵
Kaba kum	1	3.14x10 ⁻³	8.3x10 ⁻⁴
İnce kum	10 ⁻¹	3.14x10 ⁻²	8.3x10 ⁻³
Silt	10 ⁻²	0.314	0.55
Bakteri	10 ⁻³	3.14	55
Kolloidler	10 ⁻⁴	3.17	5520
Kolloidler	10 ⁻⁵	2835	55188
Kolloidler	10 ⁻⁶	28350	551880

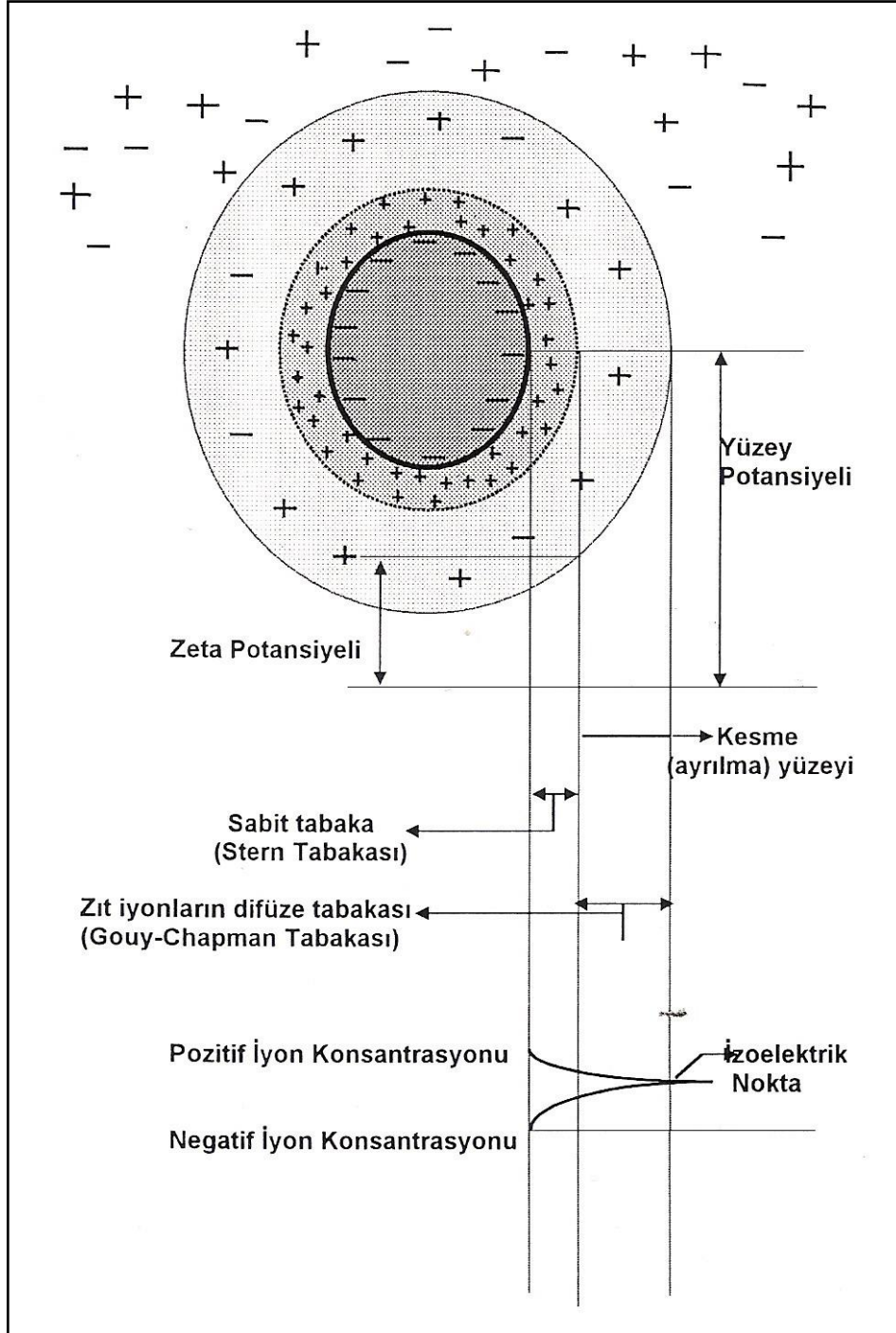
1.7.3. Kolloidlerin Stabilitesi

Sıvı ortamda bulunan katı kolloid tanecikler bir elektriksel alanda hareket ederler. Bu durum kolloidlerin elektrik yükü taşıdığını gösterir. Kolloidler (+) veya (-) yüklü olabilirler. Genellikle su ve atıksu arıtımındaki kolloidlerin birincil yükleri negatiftir. Ancak birincil yükün işareti ve büyüklüğü ortamın pH'ı ve iyon miktarı ile ilgilidir. Kolloid sistemin tamamı göz önüne alındığında bu sistemin net bir elektrik yüküne sahip olmadığı görülür. Bu da kolloidin birincil yükünün sıvı fazdaki ile ters olduğunu gösterir. Bir hidrofilik kolloid suya atılınca yüzeyi ıslanır ve yüzeyde ince bir film tabaka oluşur. Bu film tabaka kalınlığı; sıcaklık, fizikokimyasal vb. özelliklere göre değişir. Kolloid negatif yüklü ise içinde bulunduğu pozitif iyonları yüzeyine çeker. Böylece kolloid üzerinde pozitif iyon konsantrasyonu artar. Kolloidden uzaklaştıkça pozitif yüklü iyon derişimi azalır. Bu olay sınır tabakaya kadar devam eder. Yüklü kolloid ile onun yüzeyine yakın olan ters yüklü iyonların bulunması sonucu çift tabaka oluşur.



Şekil 1.7. Elektriksel çift tabaka (Faust ve Ally, 1983)

Şekil 1.8’de negatif bir kolloid partikül görülmektedir. Kolloid partikülü üzerindeki birincil yük, çözeltideki ters yüklü iyonları çeker. Eğer birincil yük yeterince fazla ise, partikülü çevreleyen yüklü iyonların bir karşıt yüklü tabaka oluşturması ile kısmen denge şartı oluşur. Bu kararlı tabaka sabit veya Stern tabakası olarak bilinir. Bu tabakayı çeviren tabaka ise difüze veya Gouy tabakası adını alır. Her iki tabaka da (+) ve (-) yüklü iyonlar içerir. Ancak (+) yüklü iyon sayısı (-) yüklü iyon sayısından çok daha fazladır. Bu iki tabakada bir elektriksel potansiyel mevcuttur. Örneğin partikül yüzeyinde zıt iyonların konsantrasyonu en büyüktür. Yüzeyden uzaklaştıkça zıt iyon derişimi azalır. Bu yüzden tanecik yüzeyi ile sıvı çözelti arasında bir elektriksel potansiyel oluşur. Şekilde de görüldüğü gibi küresel yüzeydeki potansiyele Zeta Potansiyeli denir. Bu potansiyel kolloid süspansiyonun kararlılığı ile ilgili bir potansiyeldir. Kolloidlerin uzun süre yapılarını korumaları, dengeli olduklarını gösterir. Bu dengeli hal kolloidlerin çöktürülmesi açısından kötü bir durumdur. Dengeli halde itme ve çekme kuvvetleri birbirine eşittir. Kolloidin itme kuvveti hidrofobik kolloidlerde zeta potansiyelinden kaynaklanırken, hidrofilik kolloidlerde zeta potansiyeli ve bağlı su yüzünden meydana çıkar. Bağlı su yalıtkan gibi davranır ve parçacıkların birleşmesine engel olur. Kolloidin stabilitesi tanecikler arası kuvvetin büyüklüğüne bağlıdır. Bu kuvvetlerden birisi Van Der Walls kuvvetleri diğeri de elektrostatik çekim kuvvetleridir (Kayranlı, 2001).



Şekil 1.8. Negatif yüklü karesel bir koloidin etrafındaki benzer ve zıt iyonların dağılımı (Faust ve Aly, 1983)

1.7.4. Kolloidlerin Destabilizasyonu (Koagülasyon)

Bir su veya atıksuya bir koagülant ilave edilmesi koloidin stabilitesini bozar. Bu oldukça karmaşık bir kimyasal olaydır. Koagülantlar kolloidlerin stabilitelelerini farklı şekillerde bozarlar. Koloidal maddelerin taşıdıkları elektriksel yükün ortadan kaldırılarak kolloidin kararlılığının bozulmasına destabilizasyon denir. 4 farklı destabilizasyon mekanizması vardır. Bunlar çift tabakanın sıkıştırılması, adsorbsiyonla yük nötralizasyonu, çökelek içinde tutma ve adsorbsiyonla tanecikler arası köprü oluşturma olarak sıralanır (Faust, 1983).

Doğal suların içerdiği askıda ve kolloidal katı maddeler negatif yüklü kil ve silt türünden mineral parçacıklardır. Bunlar hidrofobik yapıda olup, floklaşmayı sağlamak üzere suya pozitif yüklü, yüksek değerlikli Al^{3+} veya Fe^{3+} tuzları eklenir. Bunlar suyun alkalinitesi ile birleşerek metal hidroksitleri oluşturur. Koagülasyonda en fazla Al^{3+} ve Fe^{3+} tuzları kullanılmaktadır. Genellikle $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve $Fe_2(SO_4)_3$ kullanılır.

Tablo 1.11. Koagülant olarak kullanılan maddeler (Göknil ve Ark. , 1984)

Bileşik Adı	Formülü	Molekül Ağırlığı	Özelliği
Alüminyum Sülfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	666	Asidik
Sodyum Alüminat	$NaAlO_2$	82	Alkali
Demir III Klorür	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	270	Asidik
Demir III Sülfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	562	Asidik
Demir II Sülfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	278	Asidik
Sönmemiş Kireç	CaO	56	Alkali
Sönmüş Kireç	$Ca(OH)_2$	74	Alkali

1.7.5. Yumaklaştırma (Flokülasyon)

Flokülasyon, koagülasyondan sonra yapılan yavaş karıştırma işlemidir. Bu yavaş karıştırma sayesinde destabilize olmuş tanecikler çarpışarak daha büyük ve çökelebilir floklar haline gelir. Suyun pH değerinin yumaklaştırma işleminde önemi büyüktür. Negatif kolloidleri gidermede optimum pH aralığı suyun yapısına bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Fakat genelde pH 5 ile 6,5 arasında olmaktadır.

1.8.Çimento

Kalker ve kil karışımı hammaddelerinin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve “klinker” olarak adlandırılan malzemelerin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen bir ürün olan portland çimentosu, su ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır.(Su altında sertleşebilen ve suda erimeyen bağlayıcıya “hidrolik bağlayıcı” denilmektedir. Alçı ve kireç gibi bağlayıcılar hidrolik bağlayıcı özellik gösterememektedirler.)

Portland çimentosu olarak elde edilen ürün genellikle gri renktedir. Bu gri renk, çimento üretiminde kullanılan hammaddelerde çok küçük miktarda yer alan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Pişirilmek üzere seçilen hammaddede demir oksit ve mangan oksit bulunmadığı takdirde, üretilen portland çimentosunun rengi beyaz veya beyaza yakın renkte olmaktadır.

Portland çimentosu toz gibi ince tanelidir; tanelerin boyutları 1-200 µm arasında değişmektedir. Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3,10-3,15 kadardır. Torbalanmış durumdaki çimentonun birim ağırlığı 1,5 t/m³ civarındadır.

Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında “hidratasyon” olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Önceleri, yumuşak plastik durumda olan çimento hamuru, zaman ilerledikçe daha az plastik duruma gelmekte ve katılaşp, sertleşmektedir. Çimento hamurunun katılaşma göstererek şekil verilmez bir duruma gelmesine “priz alma” denilmektedir.

Çimento hamurunun katılaşma olayından sonraki safhadaki durumu “setleşmiş çimento hamuru olarak” olarak adlandırılmaktadır.

Çimento hamurunun içerisindeki su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonlar uygun sıcaklık ve nemlilik ortamı mevcut olduğu sürece devam etmekte, kazanılan dayanım miktarında artma olmaktadır.

Çimento hamurunun ne hızda katılaşacağı ve ne hızda dayanım kazanabileceği, çimentonun anabileşenleri ile su arasındaki kimyasal reaksiyonların hangi hızla ve ne ölçüde gerçekleşmiş olmasına bağlıdır. Böyle bir durum ise, çimentoyu oluşturan anabileşenlerin oranlarına, çimento tanelerinin inceliğine, reaksiyonların devam edebilmesi için yeterli nemlilik ve sıcaklık ortamının mevcut olup olmamasına bağlı olmaktadır.

Beton, çimento hamuru ve agregalardan oluşmaktadır. Çimento hamuru, beton karışımının içerisinde yer alan agrega tanelerinin yüzeyini kaplamakta, aralarındaki

boşlukları doldurmakta ve taneleri bağlayarak bu kompozit malzemenin tek bir malzeme gibi davranmasını sağlamaktadır.

Çimento, su ve agregaların birlikte karılmasıyla elde edilen beton ilk zamanlarda plastik bir yapıdadır ve birkaç saat içerisinde katılaşmakta, sertleşmektedir. Sertleşmeye başlayan beton, zaman ilerledikçe daha büyük dayanım kazanmaktadır. Betonun bu özellikleri, hidrasyon nedeniyle çimento hamurunun yapısında yer alan değişikliklerden ileri gelmektedir. Ayrıca sertleşmiş betonda zamana bağlı olarak yer alabilecek büzülme veya sünme deformasyonları aslında çimento hamurunda yer alan hacim değişiklikleridir. Dolayısıyla, çimentonun özellikleri ve betonun içerisinde ne miktarda çimento kullanıldığı, sadece taze betonun özelliklerini ve sertleşmiş betonun dayanımını değil, aynı zamanda betonun dayanıklılığını da önemli ölçüde etkilemektedir (Erdoğan, 2007).

1.8.1. Portland Çimentosunun Tarihteki İlk Üretimi ve Portland İsminin Alınması

1824 yılında, İngiltere'nin Leeds kentinde Joseph Aspdin isimli bir duvar ustası, hazırladığı ince taneli kalker ve kil karışımını pişirerek ve daha sonra pişirilmiş durumdaki malzemeyi öğütürük bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum kattığında ve zamanla sertleştiğinde elde edilen malzemenin renk ve diğer özellikler bakımından İngiltere'nin güneyinde yapı taşları ile ünlü olan Portland isimli küçük bir adadan getirilen taşları andırdığını görmüştür. Bunun üzerine elde etmiş olduğu ürün için "portland çimentosu" ismini taşıyan bir patent almıştır. Aslında, J. Aspdin tarafından üretilen çimento, üretim esnasında malzemelerin yeterince yüksek sıcaklıkta pişirilmediği ve öğütme işleminin çok iyi yapılmadığı için, bugün kullanılmakta olan portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Kil ve kalker karışımı hammaddele rin yüksek sıcaklıklara kadar yeterince pişirilip öğütülmesi sonucu çimento elde edilebilmesi, ilk olarak 1845 yılında Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir.

1824 yılında Joseph Aspdin'in "portland çimentosu" adı altında aldığı hidrolik bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler göstermiş olmakla birlikte "portland" ismini aynen korumuştur ve Türkiye dahil bütün ülkelerde bu isim kullanılmaktadır (Erdoğan, 2007).

1.8.2. Portland Çimentosunun Üretimi

Portland çimentosu üretebilmek için, önce kalkerli ve killi malzemelerden oluşan hammadde karışımı yüksek sıcaklıklarda (1350-1450 °C) kadar pişirilir. Pişirilerek elde edilen bu ürüne “klinker” adı verilmektedir. Daha sonra sıcaklığı çevre sıcaklığına düşerek azalmış olan klinkere %3 - %6 oranında alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) katılarak bu iki malzeme birlikte öğütülmektedir.

Klinker Üretiminde Kullanılan Hammaddeler ve Hammadde Karışımının Hazırlanması: Portland çimentosu klinkerin küçük bir miktar alçıtaşı ile öğütülmüş şekli olduğundan klinker üretiminde kullanılan hammaddeler, portland çimentosu üretiminde kullanılan hammaddelerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Klinker üretiminde kullanılan başlıca hammaddeler kalkerli ve killi malzemelerdir.

Saf kalkerin yapısının tümünde CaCO_3 (kalsiyum karbonat) bulunmaktadır. Ancak, çoğu zaman kalkerli malzemeleri saf haliyle bulabilmek olamamaktadır. Çok büyük miktarı CaCO_3 'den oluşan kalkerlerin içerisinde bir miktar MgCO_3 (magnezyum karbonat) ve çok az miktarlarda silika, demir oksit, alümin, kükürt ve alkaliler yer almaktadır.

CaCO_3 , 900 °C sıcaklıkta pişirildiği takdirde, kalsiyum oksit (sönmemiş kireç) ve karbon dioksit olarak ayrışmaktadır. Şayet kalkerin içerisinde bir miktar MgCO_3 var ise, pişirme esnasında magnezyum oksit ve karbon dioksit olarak ayrışmaktadır.

Killi malzemeler esas olarak silika (SiO_2) ve alümin'den (Al_2O_3) oluşmaktadır. Değişik kil tipleri mevcuttur ve bunlar oldukça karmaşık yapıya sahiptir. Örneğin, en basit kil tiplerinden kaolinit, $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$ olarak gösterilmektedir. Kil yaklaşık 500 – 600 °C sıcaklığa kadar pişirildiği takdirde, SiO_2 ve Al_2O_3 gibi oksitlere ayrışmaktadır. Killerde çok küçük miktarlarda demir oksit (Fe_2O_3) ve başka yabancı maddeler de bulunabilmektedir.

Çimento üretimi için gereken oksitlerin kompozisyonu kullanılan kalkerli ve killi malzemelerden tam olarak sağlanamadığı durumlarda, bazen kum ve demir oksit içeren malzemeler de hammadde olarak kullanılmaktadır.

Pişirme işlemine tabi tutulacak hammadde karışımında uygun oranlarda CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi oksitlerin yer almış olması gerekmektedir.

Pişirme işlemine tabi tutulacak hammaddelerin karışımı, çok ince boyutlara getirilmiş kalkerli ve killi maddelerin kuru veya su ile birlikte çamur gibi bir duruma getirilmesi şeklinde hazırlanmaktadır. Hammadde karışımının hazırlandığı yöneme göre

bu uygulamalara “kuru sistem” veya “yaş sistem” denilmektedir. Bazen malzeme karışımının çok az su ile birleştirilerek yürütüldüğü “yarı-kuru sistem” de uygulanmaktadır. Yaş sistemde, hammadde karışımının içerisinde yaklaşık %35 kadar su bulunduğu için, bu tür karışımların pişirilmesi daha çok enerji gerektirmekte, daha pahalı olmaktadır. Ancak yaş sistem toz kontrolünün daha kolay olması nedeniyle ekolojik yönden tercih gören bir sistemdir. Yarı-kuru sistemde, malzeme karışımının içerisinde %12 - %14 su bulunmaktadır. Son yıllarda, çimento üretimi için, genellikle kuru sistem kullanılmaktadır.

Klinker Üretimi İçin Hammaddelerin Pişirilmesi İşlemi: Hammadde karışımı “döner fırın” olarak adlandırılan fırınlarda pişirilmektedir. Döner fırın, içi boş bir silindir şeklinde uzun bir fırındır. Fırın bir ucu diğer ucundan daha yüksekte kalacak tarzda, yaklaşık olarak %3 - %4 eğimle, yerleştirilmiştir. Çelikten yapılmış olan bu fırının iç yüzü ateşe dayanıklı tuğlalarla astarlanmıştır. Döner fırının çapı 2 – 6 m arasında boy/çap oranı 15 – 30 kadardır. Döner fırınlar çalışır durumda iken, kendi eksenini etrafında saatte 60 – 180 devir yapabilmektedir. Klinker üretimi için hammaddelerin pişirilmesi işleminde kullanılan bu fırına kendi eksenini etrafında döndüğü için “döner fırın” denilmiştir.

Hammadde karışımının içerisinde bulunan kil, 500 – 600 °C sıcaklıkta ayrışarak SiO_2 ve Al_2O_3 gibi oksitlere dönüşmektedir. Kalker, 900 °C sıcaklık civarında CaO ve CO_2 haline dönüşmektedir. (CO_2 diğer gazlarla birlikte bacadan dışarıya çıkmaktadır.)

Sıcaklık etkisiyle hammadde karışımından açığa çıkan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 gibi oksitler sıcaklık arttıkça (yaklaşık 1200 °C’de) kendi aralarında kimyasal reaksiyonlara başlamaktadır. 1250 – 1300 °C sıcaklıkta hammadde karışımının %20 - %30’u sınılaşma göstermekte ve daha sonra klinker denilen irili ufaklı katı tanecikler haline dönüşmektedir. Oksitlerin 1200 – 1400 °C civarındaki kimyasal reaksiyonları sonucunda ortaya birbirinden farklı özelliklerdeki anabileşenler çıkmaktadır. Klinkerin yapısı, artık bu anabileşenlerden oluşmaktadır. Döner fırından klinker olarak çıkan malzeme gri-siyah renkte, oldukça sert ve boyutları susam tanesi ile fındık veya ceviz taneleri arasında (1-25 mm çapında) değişen parçacıklardan oluşmaktadır (Erdoğan, 2007).

1.8.3. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Anabileşenler

1.8.3.1. Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler

Portland çimentosunun içerisinde yer alan oksitler ve yaklaşık miktarları Tablo 1.12'deki gibidir.

Tablo 1.12. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları (Erdoğan, 2007)

Genel İsmi	Oksit	Miktarı (%)
Kireç	CaO	60 – 67
Silis	SiO ₂	17 – 25
Alümin	Al ₂ O ₃	3 – 8
Demir	Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnezi	MgO	0,1 – 4
Alkaliler	Na ₂ O + K ₂ O	0,2 – 1,3
Kükürt Anhidriti	SO ₃	1 – 3

Tablo 1.12'de yer alan SO₃ dışındaki bütün oksitler çimento klinkerini de oluşturan oksitlerdir. Klinkerin içerisinde SO₃ bulunmamaktadır. Çimentonun içerisinde yer alan SO₃, çimento üretimi için klinkerin yanı sıra kullanılan alçıdan (CaSO₄ = CaO.SO₃) gelmektedir.

Klinkerde yer alan oksitlerden CaO, hammadde karışımındaki kalkerden, SiO₂ ve Al₂O₃ ise kilden elde edilmektedir. Hammaddelerin içerisinde bir miktar Fe₂O₃ bulunmaktadır. Bu dört oksit çimentonun ana bileşenlerini oluşturan ana oksitlerdir.

Çimentonun yapısında yer alan ve Tablo 1.12'de gösterilmiş olan MgO ve alkalilerin yararlı bir fonksiyonu yoktur. Bu oksitler kullanılan hammaddelerde yer alan oksitlerdir; fazla miktarlarda yer aldıkları takdirde çimento hamurunda ve betonda genişlemeye neden olarak zararlı etkileri olmaktadır (Erdoğan, 2007).

1.8.3.2. Portland Çimentosunu Oluşturan Anabileşenler

Hammadde karışımının döner fırında pişirilmesi sonucunda ortaya çıkan ve klinkerin yapısını oluşturan anabileşenler klinkerdekinin aynıdır.

Tablo 1.13. Çimentonun anabileşenleri (Erdoğan, 2007)

Anabileşenler	Çimento Kimyasına Göre Sembolü
Dikalsiyum silikat, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Trikalsiyum silikat, $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Trikalsiyum aluminat, $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetrakalsiyum aluminoferrit, $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Çimento hamuru veya beton elde edebilmek için, çimento ve su bir araya getirilir getirilmez, her anabileşen ile su ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve her anabileşenin reaksiyon hızı reaksiyon esnasında açığa çıkan ısı ve reaksiyon sonucunda oluşan ürünün çimento hamurunun bağlayıcı özelliğine (dayanımına) katkısı farklı olmaktadır.

Çimentoyu oluşturan anabileşenlerin su ile birleşerek başlattıkları kimyasal reaksiyonlar, ısı açığa çıkaran türdendir. Kimyasal reaksiyonlar devam ettikçe (hidratasyon devam ettikçe) ısının açığa çıkması da devam etmektedir. Hidratasyon, ilk zamanlarda hızlı tempoda yer almakta ve zaman ilerledikçe, hidratasyonun hızı yavaşlamaktadır. Çimentonun hidratasyon ısı, hidratasyon sonuna kadar açığa çıkan ısı miktarıdır.

Çimentolardaki hidratasyon ısısının açığa çıkma hızı ve miktarı betonun kullanılacağı yapı için çok önemli olabilmektedir. Özellikle barajlarda olduğu gibi, yapılarda kullanılan kütle betonlarda açığa çıkan ısının kolayca kaybolabilme olasılığı azdır. Hidratasyon ısısının etkisiyle betonun sıcaklığı artmakta ve genleşme meydana gelmektedir. Dışarıdaki ortamla temasta olan betonun dış kısmı zamanla soğuyarak büzülmemektedir. Ancak, sıcaklığını henüz kaybetmeyen iç kısım aynı şekilde hareket edememekte ve dış kısmın büzülmesini önlemeye çalışmaktadır. Böylece, sıcaklık farklarının yol açtığı değişik miktardaki gerilmeler nedeniyle, beton çatlamakta, su geçirgen bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, soğuk havalarda dökülen betonlar için kullanılan çimentoların hidratasyon ısı hızlarının ve miktarlarının yüksek olması

yararlı sonuçlar yaratmaktadır. Soğuk havanın hidratasyonu yavaşlatma etkisi bir ölçüde telafi edilmiş olmaktadır.

Portland çimentolarının hangi hızda hidratasyon yapacağı, hangi hızla ve ne kadar hidratasyon ısıyı açığa çıkaracağı ve hangi hızla dayanım kazanabileceği, çimento kompozisyonundaki anabileşenlerin ne miktarda yer almış olduklarına bağlıdır. Bir başka deyişle çimentonun ana bileşenlerinin miktarlarının değişiklik göstermesi, değişik tipte portland çimentosu üretilmesine yol açmaktadır. Örneğin ASTM standartlarına uygun olarak üretilmiş olan çimento tiplerinin sahip oldukları anabileşen miktarları Tablo 1.14'te gösterilmiştir (Erdoğan, 2007).

Tablo 1.14. ASTM'ye göre ABD'de üretilen portland çimentolarındaki anabileşenlerin yaklaşık oranları (Erdoğan, 2007)

Çimento Tipi ve Genel Açıklama	Anabileşenlerin Miktarları (%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
(I) Normal portland çimentosu (Genel amaçlar için kullanılmakta)	49	25	12	8
(II) Değiştirilmiş portland çimentosu (I'e göre daha az hidratasyon ısısına ve daha çok sülfat dayanıklılığına sahip)	46	29	6	12
(III) İlk dayanımı yüksek portland çimentosu	56	15	12	8
(IV) Düşük ısıli portland çimentosu (Barajlarda olduğu gibi kütle betonlar için kullanılmakta; hidratasyon ısısı az)	30	46	5	13
(V) Sülfata dayanıklı portland çimentosu	43	36	4	12

1.8.4. Türkiye'deki Çimento Tipleri

2002 yılında yürürlüğe giren TS EN 197 – 1'de yeni genel çimentolar "CEM çimentosu olarak adlandırılır. CEM çimentosu hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi potland çimentosu klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardan oluşabilir.

TS EN 197 – 1 standardı genel amaçlı çimentoları (CEM çimentoları) 5 ana tip içerisinde toplamaktadır (Yeğinobalı ve Ertün, 2007).

CEM I Portland Çimentosu

CEM II Portland Kompoze Çimento

CEM III Portland Yüksek Fırın Cürüflü Çimento

CEM IV Puzolanik Çimento

CEM V Kompoze Çimento

1.8.6. Türkiye'deki Çimentoların Dayanım Sınıfları ve Priz Süreleri

TS EN 197 – 1 numaralı standartta dayanım sınıfı için üç sınıf belirtilmektedir: 32,5 sınıfı, 42,5 sınıfı ve 52,5 sınıfı. Bu sayılar çimentonun 28 günlük basınç dayanımının en az ne kadar olması gerektiğini MPa birimi ile belirtmektedir. Çimentoların dayanım ve priz başlama süresine dair özellikler Tablo 1.15'teki gibidir (Erdoğan, 2007)

Tablo 1.15. Çimentoların dayanım ve priz başlama süresi özellikleri (Erdoğan, 2007)

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)			Priz Başlama Süresi (dakika)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım	
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5 - \leq 52,5$	≥ 75
32,5 R	$\geq 10,0$	-	$\geq 32,5 - \leq 52,5$	≥ 75
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5 - \leq 62,5$	≥ 60
42,5 R	$\geq 20,0$	-	$\geq 42,5 - \leq 62,5$	≥ 60
52,5 N	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5 - \dots$	≥ 45
52,5 R	$\geq 30,0$	-	$\geq 52,5 - \dots$	≥ 45

N = Normal erken dayanım
R = yüksek erken dayanım
Bütün çimentolar için genleşme miktarı ≤ 10 mm olmalıdır

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

2.1. Deneysel Çalışmalar

2.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan arıtma çamuru (AÇ); 2006 yılının Kasım, Aralık, Ocak ayları süresince hergün Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesislerinden (TİAT) alınmıştır. Alınan arıtma çamuru harmanlanarak biriktirilmiştir. Çalışma öncesinde AÇ laboratuvar ortamında 2 ay bekletilerek kurutulmuş ve daha sonra öğütülmüştür. Öğütülen malzeme 0,074 mm (200 no.lu) elekten elenerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Elenen malzeme laboratuvar tipi kül fırınında 500, 600 ve 700 °C’de 1 saat pişirilerek pişirme sıcaklığına göre sırayla AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃ olarak adlandırılan farklı özellikte malzemeler elde edilmiştir. Çalışmalarda AÇ AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃ malzemeleri ayrı ayrı kullanılmıştır. AÇ Şekil 2.1a’da da görüldüğü gibi gri ve yeşil arası bir renge, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃ ise kiremit rengine benzer bir renge sahiptir (Şekil 2.1b,c ve d).



Şekil 2.1. AÇ (a), AAÇ₁ (b), AAÇ₂ (c) ve AAÇ₃ (d) malzemelerinin görünüşleri

Hazırlanan harç örneklerde kullanılan çimento Trabzon Aşkale Çimento AŞ. tarafından üretilmiş olup, toplam olarak kütlece % 6-20 arasında tras (doğal puzolan) içeren, dayanım sınıfı 42,5 olan, normal erken dayanımlı portland puzolanlı çimento CEMII/A-P 42,5 N'dir (Yeğinobalı ve Ertün, 2007). Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.1'deki gibidir.

Tablo 2.1. Çimentonun (CEMII/A-P 42,5 N) fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler	
Bileşenler	Bileşen Miktarları(%), Ağırlıkça
Silisyum dioksit(SiO ₂)	22,6
Alüminyum oksit(Al ₂ O ₃)	6,0
Demir oksit(Fe ₂ O ₃)	3,68
Kalsiyum Oksit(CaO)	59,09
Mağnezyum oksit(MgO)	1,98
Kükürt trioksit(SO ₃)	2,49
Klorür(Cl)	0,041
Toplam katkı(Tras+Kalker)	11,64
Çözünmeyen Kalıntı	7,73
Kızdırma Kaybı(K.K)	3,37
Tayin Edilemeyen(T.E.)	-
Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık,(g/cm ³)	3,06
Özgül Yüzey, (cm ² /g. Blaine)	4018
Hacim genişmesi, (mm)	2
Priz başlama süresi, (h/dk)	2,15
Priz sonu,(h/dk)	3,30
Mekanik özellikler	
1.Gün basınç mukavemet, (N/mm ²)	10,6
2. Gün basınç mukavemet, (N/mm ²)	24,3
7. Gün basınç mukavemet, (N/mm ²)	42,0
28. Gün basınç mukavemet, (N/mm ²)	56,8

Tablo 2.2. CEN standart kumu özellikleri

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (%)
0,08	99 ± 1
0,16	87 ± 5
0,50	67 ± 5
1,00	33 ± 5
1,60	7 ± 5
2,00	0
Standart kumun özgül ağırlığı	3,30 – 3,15 g/cm ³

2.1.2. Deneylerde Kullanılan Araç ve Gereçler

Tane yoğunluğu, likit limit, plastik limit, granülometri eğrisi, mineralojik yapı, kimyasal yapı ve mikro yapısını belirlemek için yapılan hidrometre analiz, kimyasal analiz, elektro mikroskop (SEM), X-Işını Difraksiyonu (XRD) deneylerinin yapıldığı çalışmada kullanılan araç ve gereçler aşağıda özellikleri ile kısaca açıklanmıştır.

2.1.2.1. Piknometre Şişesi

Dane yoğunluğunu belirlemede kullanılan 250 ml–500 ml hacimli kalibrasyonu yapılmış ve ısıya dayanıklı kapaklı cam şişelerdir (Şekil 2.2).

2.1.2.2. Casagrande Aleti

Kolu döndürüldüğünde, sert bir lastik blok üzerine, 1 cm yükseklikten düşen yarım küre biçiminde metal (pirinç) tas kaptan oluşan bir alettir. Likit limitin belirlenmesinde kullanılır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Piknometre şişesi



Şekil 2.3. Casagrande aleti

2.1.2.3. Elekler

Granülometri eğrisini belirlemek için çalışmalarda, ASTM: E 11–1961 standartlarına uygun 4, 10, 25, 40, 60, 100 ve 200 No.lu elekler kullanılmıştır.

2.1.2.4. Hidrometre Aleti

Sıvı ve süspansiyonların yoğunluklarını ölçmede kullanılan, bir gövde ve bir ince uzun boyun kısmından oluşan kalibrasyonu yapılmış cam bir alettir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Mezur (dereceli)

2.1.2.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Mikroskopta yapılacak incelemelerde numuneler genellikle inorganik ve organik olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca inorganik numuneler de metal ve metal-olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Metal numuneler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmadan incelenebilir. Ancak metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyleri en fazla 20 nm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanması gerekmektedir. Karbon kaplama genellikle X-ışınları ile yapılacak analizlerde uygulanır. Mevcut sistemimizde her iki kaplama ünitesi de bulunmaktadır. Yüksek çözünürlüğe ve kontrasta sahip numune görüntüsü elde etmek için, incelenecek numuneler metal olsa bile yüzeylerine altın kaplama işlemi uygulanmaktadır (Birdi, K.S., 2003).

2.1.2.6. XRD (X- Işınları Difraksiyon) Aleti

X-ışınları, yüksek hızla hareket eden elektronlar bir metalik engelin atomları (numune tozları veya kristal yüzeyine) çarptığı zaman doğar. X-ışını tüpü bu çarpışmayı sağlar. Filamentten çıkan elektronları hızlandırmak için tüp boyunca yüksek voltaj verilir. X-ışınları anotta elektronların çarptığı noktada meydana gelir ve her yönde ışınlar. Büyük bir kısmı pencereden dışarı çıkar. Çıkan enerjinin ancak %1'i X-ışınına dönüşür. Gerisi ısı olarak tüpün soğutulması ile kaybolur (Akıncı, Ö.T., 1999).

X-ışınları, ışık gibi elektromanyetik dalgalar olup dalga boyları 0,02-100 Å arasında değişir. Elektromanyetik spektrumun diğer üyeleri gibi ikili bir tabiata sahiptir. Yani bazı şartlarda dalga gibi davranır ve X-ışınları difraksiyon yöntemleri de bu özellik üzerine kurulmuştur (Aslaner, M., 1995). Numunenin içerisinde bulunması muhtemel minerallerin kesin bilgi ve sonuçlarını elde etmek için kullanılır.

2.1.2.7. Elektrikli Mikser

Hidrometre analizinde, tanelerinin birbirinden tamamen ayrılmasını sağlamak için kullanılan elektrikli bir karıştırıcıdır.

2.1.2.8. Örnek Kapları

Numunelerin etüvde (fırında) kurutulması için kullanılan ısıya dayanıklı cam kaplardır.

2.1.2.9. Etüv (Fırın)

Numuneleri çeşitli sıcaklıklarda kurutmaya yarayan fırına denir.

2.1.2.10. Desikatör

Hazırlanan numunelerin belirlenen su içeriklerinde uzun süre saklanması imkanı veren hava geçirmeyen vakumlu cam kaplara denir.

2.1.2.11. Elektronik Terazı

Ağırlık belirlemede kullanılan 0,001 g duyarlıklı bir terazidir.

2.1.3. AÇ ve AAC'larının Fiziksel, Kimyasal ve Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi

2.1.3.1. Tane Özgül Yoğunluğunun Belirlenmesi

AÇ ve AAC'larının tane özgül yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde piknometre şişesi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda belirlenen tane özgül yoğunluk değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.3. Numunelerin tane özgül yoğunluk değerleri

Numune	ρ_s , Tane Özgül Yoğunluk (Mg/m ³)
AÇ	2,46
AAÇ ₁ (500°C'de pişirilmiş)	2,59
AAÇ ₂ (600°C'de pişirilmiş)	2,40
AAÇ ₃ (700°C'de pişirilmiş)	2,75

2.1.3.2. Kıvam (Atterberg) Limitlerinin Belirlenmesi

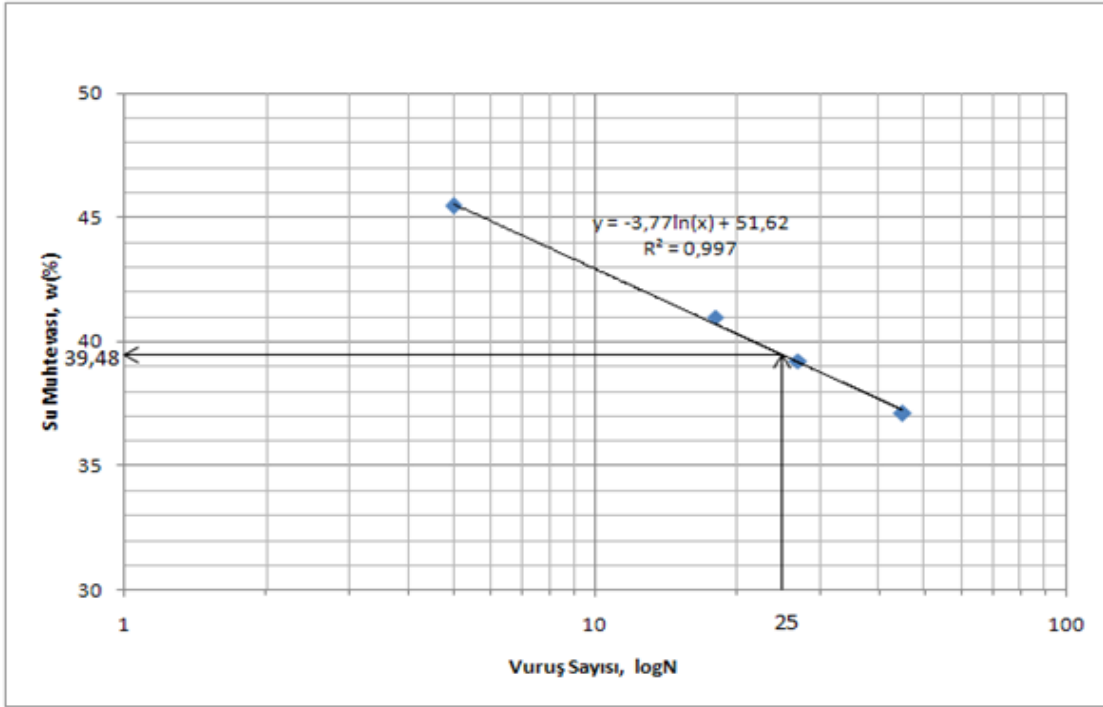
AÇ'nun, kıvam (Atterberg) limitleri olarak bilinen likit limit ve plastik limit değerleri laboratuarda deneysel olarak belirlenmiştir. Likit limit değeri Casagrande Yöntemi ile, plastik limit değeri ise standart plastik limit deneyi ile tespit edilmiştir.

2.1.3.2.1. Likit Limitin Belirlenmesi

AÇ'nun likit limit değeri Casagrande Yöntemi ile belirlenmiştir. Deney sonucundan elde edilen AÇ örneğine ait su içeriği ve vuruş sayısı değerleri ile eksen takımı üzerinde grafik çizilmiştir. Grafik üzerinde yatay eksendeki 25 vuruş sayısına karşılık gelen doğru üzerindeki noktanın dikey eksendeki izdüşümü olan su içeriği değeri zeminin likit limit değeri olarak alınmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre AÇ'nun likit limit değeri $w_L = \%39,48$ olarak bulunmuştur.

Su içeriği-vuruş sayısı ilişkisini yani 25 vuruşa karşılık gelen su içeriği için hazırlanan grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. AÇ'nun likit limit değeri için su içeriği-vuruş sayısı grafiği

2.1.3.2.2. Plastik Limitin Belirlenmesi

Yoğrulmuş numunenin elle yuvarlatılarak yaklaşık 3 mm çapına ulaşıldığında üzerinde kopmaların başladığı andaki su içeriği numunenin plastik limit değeri olarak alınmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda numunenin plastik limit değeri $w_p = \%32,96$ olarak bulunmuştur.

AÇ'nun plastisite indisi, hesaplanan likit limit ve plastik limit değerlerinden belirlenmiştir.

$$I_p = w_L - w_p \quad (2.1)$$

Burada;

I_p : Plastisite indisi olarak ifade edilir.

(2.1) numaralı bağıntıya göre numunenin plastisite indisi $I_p = \%6,52$ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre numunenin fiziksel özellikleri tablo halinde Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Numunenin fiziksel özellikleri

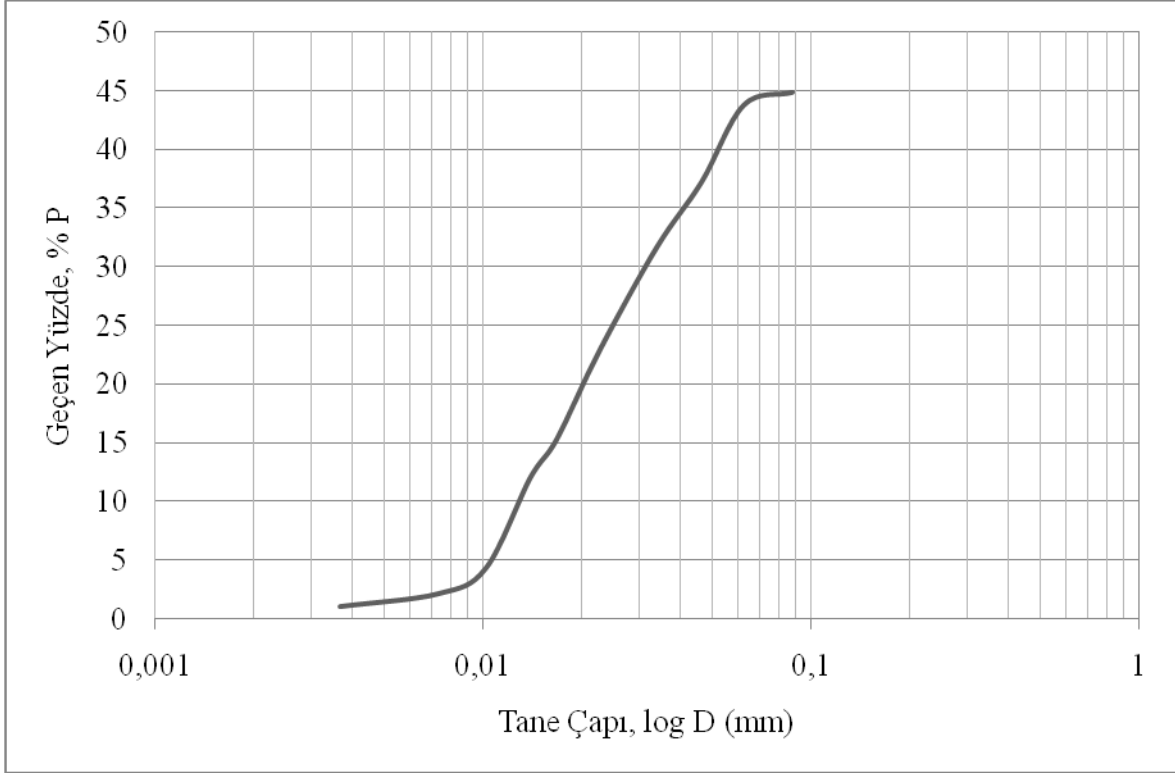
Tane Özgül Yoğunluğu (ρ_s , Mg/m ³)	2,46
Likit Limit (w_L , %)	39,48
Plastik Limit (w_p , %)	32,96
Plastisite İndisi (I_p , %)	6,52

2.1.3.3. Granülometri Eğrisi ve Sınıflandırılması

Numunenin granülometri eğrisini çizmek ve elde edilen bu eğriye göre sınıflandırma yapmak amacıyla, yıkamalı elek analizi yapılmıştır. Bunun için AÇ'den bir miktar alınarak ve de içerisine sodyumhexametafosfat (tanelerin birbirinden ayrışmasını sağlamak için) koyularak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra numune, eleklerden geçirilmiştir. Numunenin tümü 200 No.lu elekten geçtiği için hidrometre analizi (ıslak analiz) yapılmıştır. 200 No.lu elekten geçen miktar ve tane çapı arasında bir grafik çizilerek numunenin granülometri eğrisi elde edilmiştir (Tablo 2.5, Şekil 2.6).

Tablo 2.5. AÇ'nin hidrometre analizi (ıslak analizi) deneyi ölçümleri ve hesaplamaları

Süre (t, dakika)	Hidrometre Okuması	Su Sıcaklığı (T, °C)	T °C de Suyun Özgül Ağırlığı (G _w)	T °C de Suyun Viskozitesi (N)	Efektif Derinlik (L, cm)	Dane Çapı (D, mm)	Geçen Yüzde %P
¼	41	22	0,99777	0,00961	9,6	0,08789	44,85078
½	40	22	0,99777	0,00961	9,7	0,06247	43,75686
1	34	22	0,99777	0,00961	10,7	0,04639	37,19333
2	29	22	0,99777	0,00961	11,5	0,03401	31,72372
5	21	22	0,99777	0,00961	12,9	0,02278	22,97235
10	14	22	0,99777	0,00961	14,0	0,01678	15,31490
15	11	22	0,99777	0,00961	14,5	0,01394	12,03313
30	4	22	0,99777	0,00961	15,6	0,01022	4,37568
60	2	22	0,99777	0,00961	16,0	0,00732	2,18784
240	1	22	0,99777	0,00961	16,1	0,00367	1,09392



Şekil 2.6. AÇ'nin Granülometri Eğrisi

Islak analiz sonucunda çıkan değerlere göre, AÇ örneği 200 No.lu elekten tamamıyla geçtiği için, diğer bir deyişle AÇ örneğinin %50'den fazlası elek altında olduğu için ince daneli zemin olarak tespit edilmiştir. Daha sonra likit limit $w_L=39,48<50$ ve plastisite indisi $I_p=6,52>4$ ve de plastisite grafiğinde A doğrusu altında olduğu için birleştirilmiş sınıflandırma sistemine (USCS) göre numunenin cinsi ML (Silt) olarak belirlenmiştir.

Bir zemin cinsi olan silt, çapları 0,06-0,002 mm arasında olan tanelere verilen isimdir. Daha geniş anlamda silt denilince akla, akarsularla taşınan, liman ve körfezlerde toplanan ince çamursu tortular gelmektedir. Tane çapı olarak ziraatçılar, mühendisler, jeologlar başka başka limitler kullanmaktadır. Fakat bariz karakteri çimentolanmamış ve ufak çaplı olması ve elde parmaklar arasında pürüzlü hisler vermesidir. Bugün mühendisler, ufak taneli, siltli zeminleri fiziksel özelliklerine, içlerinde bulunan plastik kil minerallerinin miktarına göre isimlendirmektedirler. Bu tür zeminlerin oluşmasında, mekanik olduğu kadar kimyasal ayrışmanın da rolü vardır (Erguvanlı, 1978).

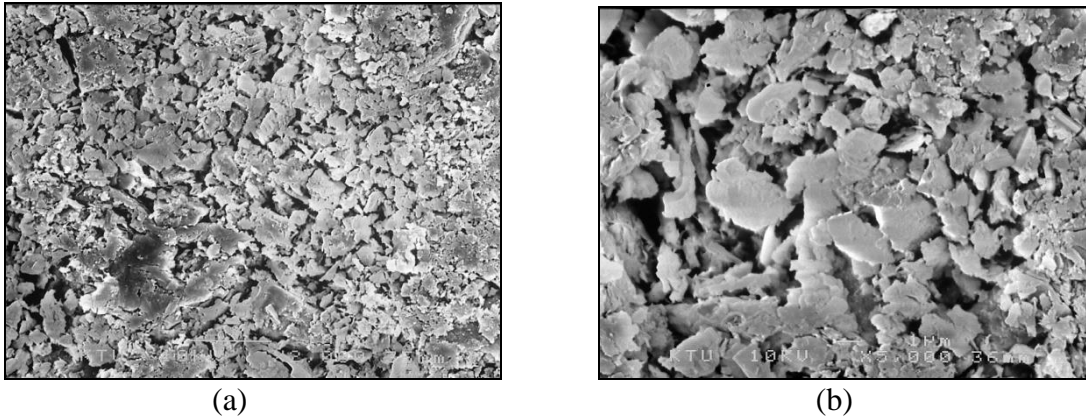
İnorganik silt, plastisitesi olmayan veya çok az olan ince taneli bir zemindir. Düşük plastisiteli cinsler, genellikle, eşit boyutta az veya çok kuvars tanecikleri veya bazen kaya unu denilen malzeme ihtiva ederler. Halbuki, ekseri plastik cinsleri, önemli miktarda pul

biçimi tanecik ihtiva eder ve plastik silt olarak tanınır. Düzgün yapısı sebebiyle, inorganik silt, kil ile karıştırılır. Fakat laboratuvar deneyi yapılmadan kilden kolaylıkla ayrılabilir. Doygun bir inorganik silt avuç içinde sarsılırsa, içindeki su, zeminin yüzeyini parlak yapacak derecede üste çıkar. Zemin parmaklar arasında bükülürse, yüzey tekrar mat bir hale gelir. Bu olay sarsma deneyi olarak bilinir. Zemin numunesi kuruduktan sonra gevrekleşir ve parmaklar ile ovulduğunda toz hale gelir. Silt nispeten geçirimsizdir, fakat gevşek bir durumda ise sondaj deliğinde kalın viskoz bir sıvı gibi yükselebilir.

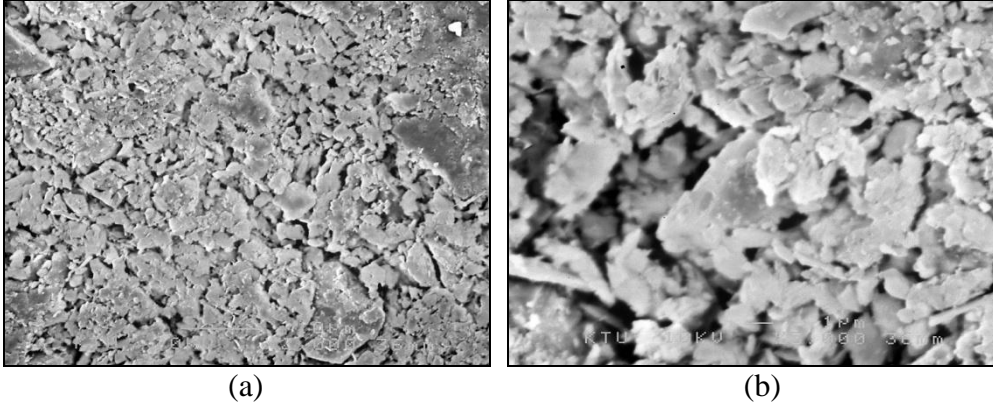
Organik silt, az veya çok plastisiteye sahip ince taneli bir zemindir. Bünyesinde ince parçalara bölünmüş organik maddeler mevcuttur. Gözle görülebilen kısmen çürümüş bitki artıkları da bulunur. Zeminin rengi açık griden çok koyu griye kadar değişir ve önemli miktarda H_2S , CO_2 ile zemine karakteristik koku veren organik maddenin çürümesinden ileri gelen çeşitli diğer gazları ihtiva eder. Organik siltin permeabilitesi çok düşük olup sıkışabilme özelliği çok büyüktür (Terzaghi ve Peck, 1969).

2.1.3.4. AÇ ve AAC'larının SEM ile Morfolojik Yapısının İncelenmesi

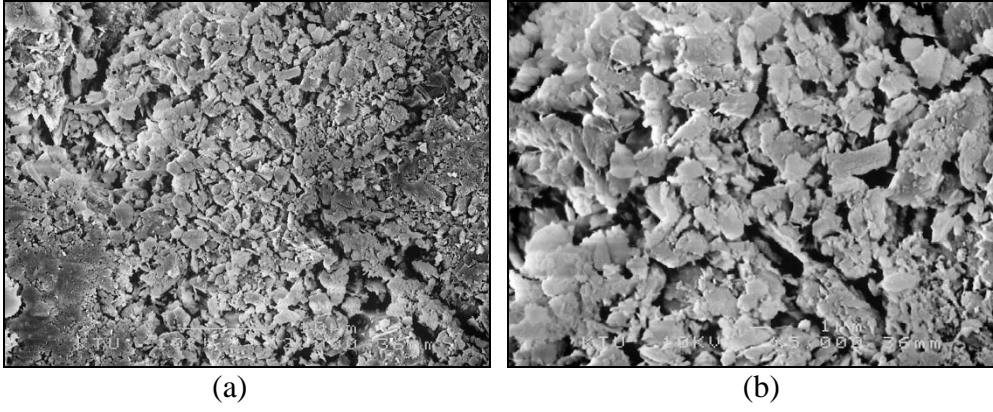
AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃ örneklerindeki mineral fazların tane büyüklüklerini ve yüzey morfolojisini belirlemek için Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) analiz yöntemi kullanılmış, her bir örneğin 2000 ve 5000 kat büyütülmüş fotoğrafları Jeol Marka cihaz yardımıyla çekilerek Şekil 2.7, 2.8, 2.9 ve 2.10'da verilmiştir.



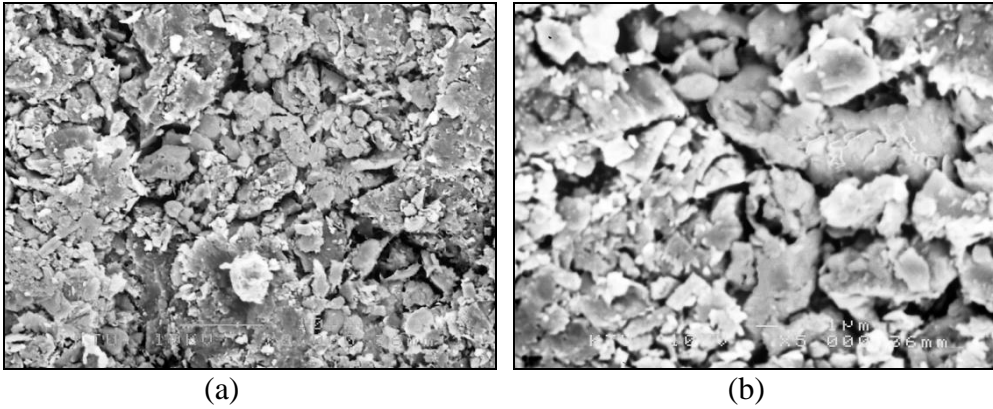
Şekil 2.7. AÇ'nun 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları



Şekil 2.8. AAC₁'in 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları



Şekil 2.9. AAC₂'nin 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları



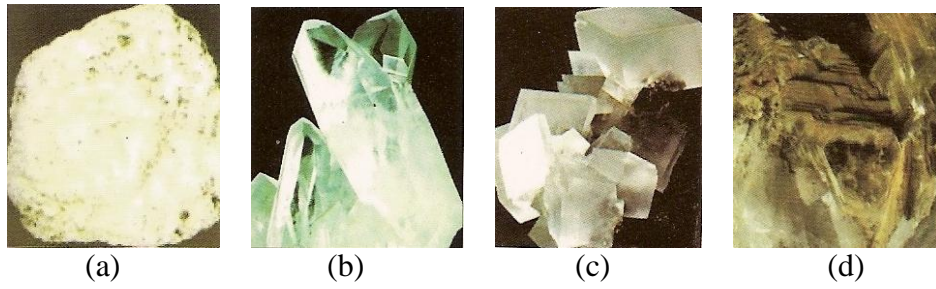
Şekil 2.10. AAC₃'ün 2000 (a) ve 5000 (b) kat büyütülmüş SEM analiz fotoğrafları

AÇ ve AAC'larının mikroyapı incelemesi sonucunda değişen büyüklüklerde köşeli kuvars tanecikleri içerdiği gözlenmiştir. SEM analiz yöntemiyle elde edilen AÇ ve farklı sıcaklıklarda pişirilen AAC'larının fotoğraflarında gözeneklilik açısından çok fazla bir

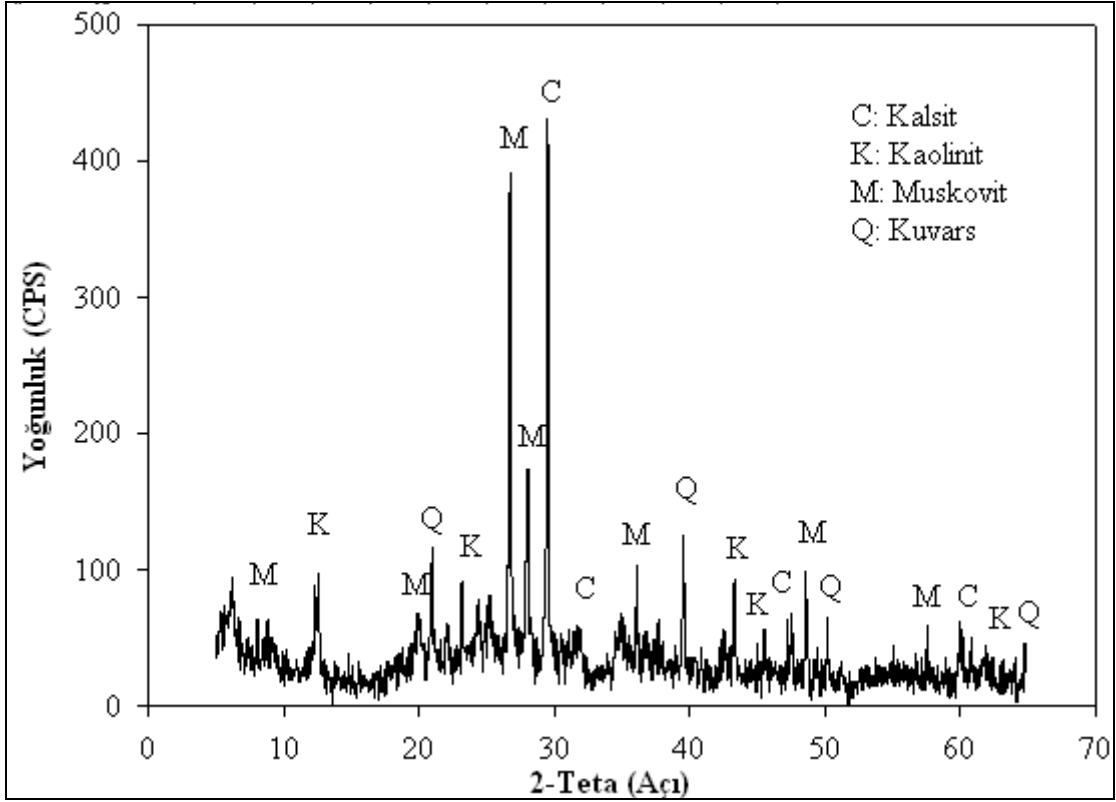
değişim gözlenmemiştir. Bu da AÇ'nun organik içeriğinin çok az olduğunun bir kanıtıdır. Şayet AÇ'nun organik içeriği yüksek olsaydı 700 °C'de Aktifleştirilmiş Arıtma Çamuru (AAÇ₃), ısıl işlem görmeyen Arıtma Çamuruna göre çok daha fazla gözenekli bir yapıya sahip olurdu.

2.1.3.5. AÇ'nun XRD Metodu ile İncelenmesi

XRD metodu ile AÇ'nin mineralojik yapısı Rigaku D/MAX-3C model cihaz yardımıyla incelenerek elde edilen veriler Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Bu verilere göre numune tipik kaolinit, kuvars, muskovit ve kalsit minerallerine ait pikler verdiği için dolayı AÇ'nin kaolinit, kuvars, muskovit ve kalsit minerallerini yoğun olarak içerdiği kabul edilmiştir. Bu minerallerin resimleri Şekil 2.11 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Kaolinit (a), kuvars (b), kalsit (c), muskovit (d) minerallerinin resimleri (Kurt ve Arık, 2003).



Şekil 2.12. AÇ'nun X-Ray Difraktogramı

2.1.3.5.1. XRD Metodu ile Belirlenen Minerallerin Özellikleri

2.1.3.5.1.1. Kaolinit $[Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8]$ Mineralinin Özellikleri

Dört önemli kil mineral grubundan biri olan kaolinit kil mineralleri içerisinde en yaygın ve önemli olanlarındandır. Kimyasal bileşimi, %41,2 Al_2O_3 , %48 SiO_2 ve %10,8 H_2O 'dur. Kaolinit, saf halde beyaz, kirli sarı renkli, plastik özellikte, toprağımsı kitleler halinde bir görünüme sahiptir ve asitlerle erimeyen bir mineraldir. Küçük pulcuklar halinde bulunur. Sertliği 2, yoğunluğu 2,6-2,7'dir. 390-450 °C'ta suyunu kaybeder. 800 °C'ta sertleşir, 1000 °C'a kadar ısıtıldığında mullite dönüşür, 1850 °C sıcaklıkta erir. Toprakların şeyllerin içinde yaygın olarak bulunurlar. Kaolinite ayrılan ayrışan kayaçlar daha çok granit, kuvars diyorit gibi asit tipli olanlarıdır. Ayrıca saf olmayan karbonatlardan, porfirik püskürük kayaçlardan türeyebilir ve bazen de kuvars damarlarındaki boşluklarda rastlanır.

2.1.3.5.1.2. Kuvars (SiO_2) Minerallerinin Özellikleri

Kimyasal bileşimi; % 46,75 Si, % 53, 25 O. Sertliği 7, yoğunluğu 2,5-2,8 ve mor ötesi ışınları geçirir. Rengi çoğunlukla beyazdır. Mekanik etkenler altında elektriklenme gösterir. Eriyiğinin 715 °C'ta soğutulmasıyla kuvars camı oluşur.

Doğal kuvars içinde katı eriyik halinde bulunan başlıca elementler; Li, Na, Al, Ti, Mg, (OH)'dir. Kimyasal bileşimindeki değişimler çok azdır, fakat önemlidir. Tanınması; kristal şekilleri, sertliği, konkoidal kırıklığı ve dilinim bulunmaması karakteristiktir (Kurt ve Arık, 2003).

2.1.3.5.1.3. Kalsit (CaCO_3) Minerallerinin Özellikleri

Kimyasal bileşimi % 56 CaO ve % 44 CO_2 'dir. Renksiz, beyaz ve renkli olabilir. Sertliği 3, yoğunluğu 2,6-2,8'dir. Cam parlaklığı gösterip saydam ve mattırlar. Birçok kalsit kristalleri kapsadıkları eser elementler nedeniyle kuvvetli flüoresans özellik gösterirler. Ca yerine az da olsa Mg, Fe, Mn, Zn, Ba, Sr ve Pb geçebilir. Öte yandan, içine karışan limonit, hematit, kömür, kumtaşı nedeniyle kirlenebilir. Üfleçte ergimez 900 °C'ta kirece dönüşür. Kalsit çok kolaylıkla tanınabilir. Soğuk HCl ile köpürmesi tanınması için önemli bir kriterdir.

Düzgün ve güzel kristalleri magmatitlerin ve cevher flonlarının çatlak ve boşluklarında büyür. Sıcak suların kenarında traverten oluşukları olarak birikebilir (Pamukkale). Kongresyonlar biçiminde türeyebilir. Kalksilikat kayaçlarının ayrışmasıyla da kalsit oluşur. Bölgesel ve termal metamorfizma geçirmiş saf olmayan kireçtaşlarında kalsit, tremolit, diyopsit, vezüvyanit veya grossular gibi diğer kalk silikat minerallerle birlikte bulunabilirler.

Kimya endüstrisinde, çimento yapımında, kireç üretiminde ve inşaat sektöründe kullanılır. Bir çok yerde yaygın olmakla birlikte İvrindi, Altınoluk (Balıkesir) ve Nifdağ (Bornova-İzmir)'de işletilmektedir (Kurt ve Arık, 2003).

2.1.3.5.1.4. Muskovit [$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$] Minerallerinin Özellikleri

Mika minerallerinin alkali mikalar grubunda yer alır. Potasyumlu mika olarak da bilinir. Kimyasal bileşimi; % 11,8 K_2O , % 38,5 Al_2O_3 , % 45,2 SiO_2 , % 4,5 H_2O . Az miktarda Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mg, Ca, Na, Li, F, Ti içerebilir. % 4,8'e kadar Cr_2O_3 içeren muskovite fuksit, % 17'e kadar V_2O_5 içeren muskovite roscoelit, % 10'a kadar BaO içeren muskovite oellaherit adı verilir. Fuksit, kromlu olivin kayaların ayrışmasından oluşur. Muskovit beyaz mika olarak bilinir. Genellikle renksiz olup, sarı, yeşil ve kırmızı olabilir. Sertliği 2,5-3, yoğunluğu 2,76-2,88'dir. Asitlerden etkilenmezler. Muskovit yaygın bir kayaç yapıcı mineraldir. Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunurken volkanik kayalarda muskovit görülmez. Muskovit hava etkisine dayanıklı bir mineraldir. Kırıntılı yataklarda pullar halinde görülür.

Elektronik sanayiinde özellikle uçak, oto, radyo, elektrik sanayiinde, soba, lamba yapımında, otomobillerde cam yerine kullanılır. Pudra haline getirilmiş mika duvar kağıdı yapımında, plastikve kauçuk sanayiinde, boyada, çimento, sondaj çamurunda, yangın söndürücülerde, dolgu malzemesi, katkı malzemesi olarak porselen üretiminde, optikte, yüksek basınç buhar kazanlarında kullanılır (Kurt ve Arık, 2003).

2.1.3.6. AÇ ve AAC'larının Kimyasal Analizleri

AÇ ve 500, 600 ve 700 °C'de kül fırınında pişirilerek elde edilen numunelere Kanada'daki ACME Analytical Laboratories Ltd.'de ICP Atomik Emisyon Spektroskopisi yöntemiyle yapılan analizlerde bulunan değerler tablolar halinde (Tablo 2.6, 2.7, 2.8, 2.9) gösterilmiştir. Ayrıca bu değerlerin yüzde miktarları ve bu miktarların değişimleri grafik halinde (Şekil 2.13) gösterilmiştir.

Tablo 2.6. AÇ'nin kimyasal analiz sonuçları

Element	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Miktarı	53,46	16,54	6,48	4,70	2,80	2,04	1,87	0,63	0,186

Element	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ba ppm	Ni ppm	Sr ppm	Zr ppm	Y ppm	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
Miktarı	0,15	0,005	426	<20	182	131	25	2,10	100,3

Tablo 2.7. 500°C sıcaklıkta pişirilerek elde edilen AAÇ₁' in kimyasal analiz sonuçları

Element	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Miktarı	50,56	18,58	6,64	7,96	2,87	1,56	2,25	0,63	0,209

Element	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ba ppm	Ni ppm	Sr ppm	Zr ppm	Y ppm	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
Miktarı	0,18	<0,002	486	<20	184	124	27	1,45	99,26

Tablo 2.8. 600°C sıcaklıkta pişirilerek elde edilen AAÇ₂' nin kimyasal analiz sonuçları

Element	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Miktarı	50,72	18,68	6,65	8,00	2,87	1,56	2,25	0,62	0,227

Element	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ba ppm	Ni ppm	Sr ppm	Zr ppm	Y ppm	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
Miktarı	0,18	0,005	474	<20	184	129	28	1,32	99,34

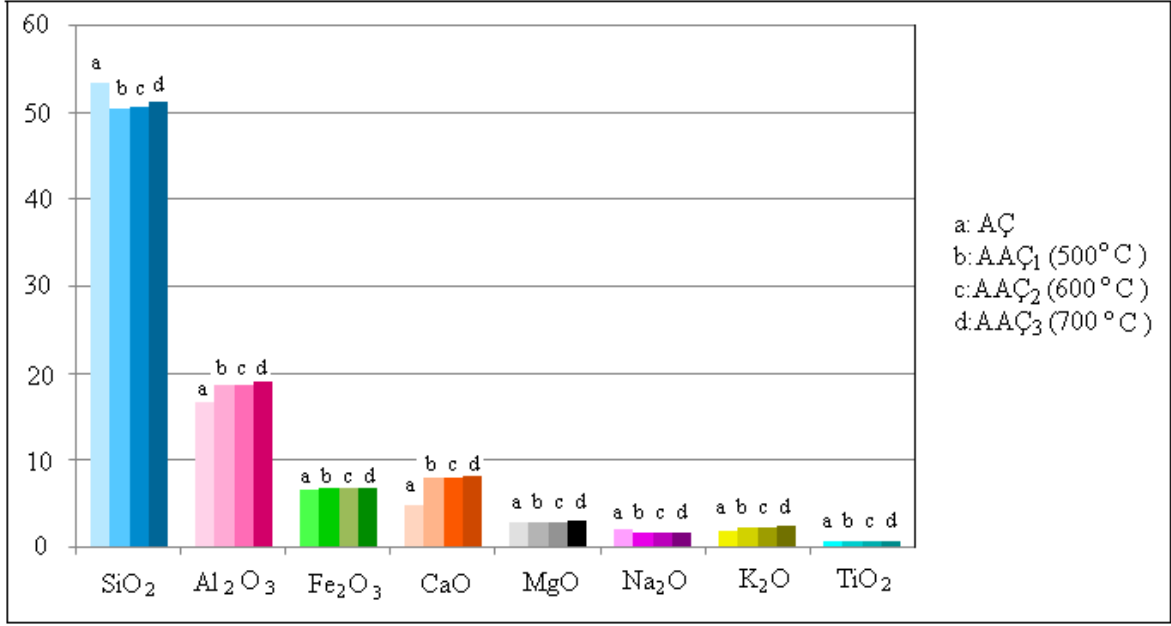
Tablo 2.9. 700°C sıcaklıkta pişirilerek elde edilen AAC₃' ün kimyasal analiz sonuçları

Element	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Miktarı	51,30	18,95	6,75	8,19	2,91	1,58	2,28	0,63	0,220

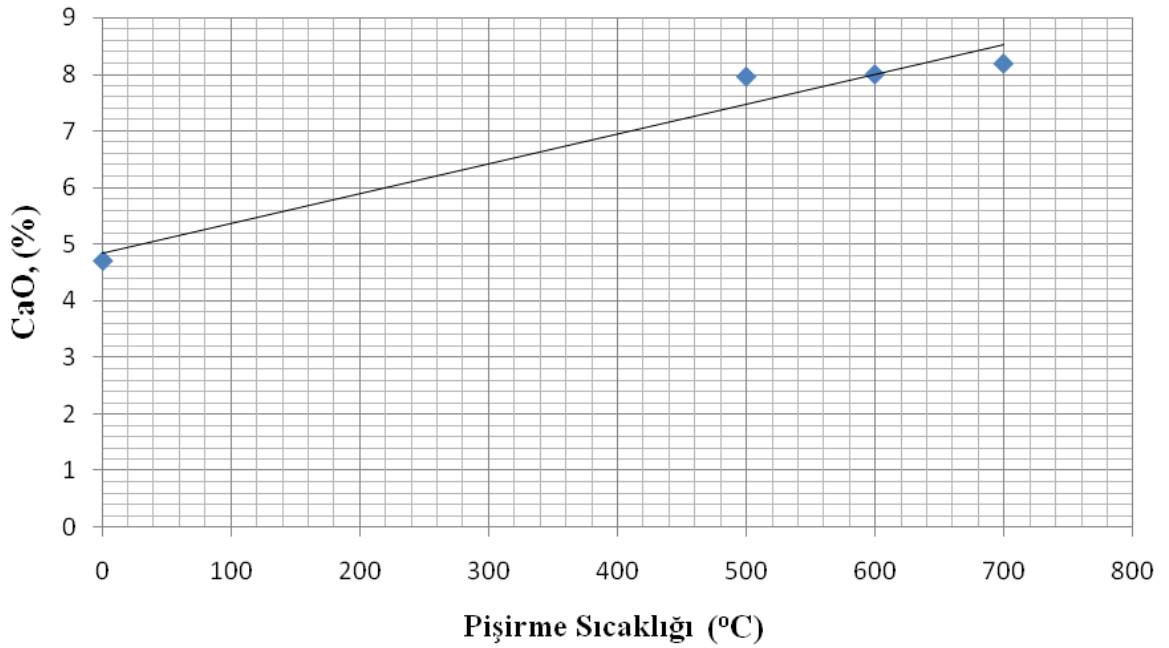
Element	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Ba ppm	Ni ppm	Sr ppm	Zr ppm	Y ppm	Kızdırma Kaybı (%)	Toplam (%)
Miktarı	0,18	0,009	476	30	185	127	27	1,12	99,36

Tablo 2.10. CEM II/A-P 42,5 N ve içme suyu arıtma tesisi çamuruna (AÇ), AAC₁, AAC₂ ve AAC₃' e ait kimyasal özellikler

(%)	CEM II/A-P 42,5 N	AÇ	AAC ₁	AAC ₂	AAC ₃
SiO ₂	22,56	53,46	50,56	50,72	51,30
Al ₂ O ₃	6,0	16,54	18,58	18,68	18,95
Fe ₂ O ₃	3,68	6,48	6,64	6,65	6,75
CaO	59,09	4,70	7,96	8,00	8,19
MgO	1,98	2,80	2,87	2,87	2,91
SO ₃	2,49	-	-	-	-
Na ₂ O	-	2,04	1,56	1,56	1,58
K ₂ O	-	1,87	2,25	2,25	2,28
P ₂ O ₅	-	0,186	0,209	0,227	0,220
MnO	-	0,15	0,18	0,18	0,18
Cl ⁻	0,041	-	-	-	-
Kızdırma Kaybı	3,47	2,10	1,45	1,32	1,12



Şekil 2.13. Analiz sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi



Şekil 2.14. Pişirme sıcaklığı- CaO miktarı grafiği

Tablolar ve şekilden de görüldüğü gibi, numunelerde miktar olarak SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO'in fazla olduğu görülmektedir. AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃ olarak tanımlanan malzemelerin içerisinde çimentolu hidrolik bağlayıcılar için önemli sayılan silis (SiO₂), alümina (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) gibi bileşenler mevcuttur. ASTM C 618'e göre bir

malzemenin puzolanik aktivitesi için bu üç bileşenin malzeme içerisinde en az %70 olması gerekir koşulunu her bir malzeme sağlamaktadır. Bu bileşenlerin toplam yüzdesinden malzemelerin puzolanik özellik taşıdığı açıktır (ASTM C 618, 2005).

Tablo 2.11. Malzemelerdeki SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ yüzdeleri ve toplamı

Bileşen	AÇ (%)	AAÇ ₁ (%)	AAÇ ₂ (%)	AAÇ ₃ (%)
SiO ₂	53,46	50,56	50,72	51,30
Al ₂ O ₃	16,54	18,58	18,68	18,95
Fe ₂ O ₃	6,48	6,64	6,65	6,75
Toplam	76,48	75,78	76,05	77

Çimentoda bağlayıcılık kazanma hızı, hidrasyon hızı, hidrasyon ısı gibi özellikleri çimentodaki C₃S, C₂S, C₃A ve C₄AF anabileşenlerinin ne miktarda yer almış olduğuna bağlıdır. SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O ve CaO çimento anabileşenlerini oluşturan temel oksitlerdir. O nedenle, bu oksitlerin ne miktarda yer almış oldukları, çimentonun içerisindeki anabileşenlerin miktarını etkilemektedir (Erdoğan, 2007).

Çimentonun çok erken priz yapmasını önlemek amacıyla çimento üretiminde kullanılan alçıtaşı (CaSO₄·2H₂O)'nın yapısında bulunan SO₃ (CaSO₄ = CaO·SO₃)'ün çimento yapısında belli bir değerden fazla olması istenmemektedir. Yeterli miktarda alçıtaşı kullanılmadığı takdirde, çimentonun priz süresi çok kısa olmaktadır. Öte yandan gereğinden fazla alçıtaşı kullanılırsa çimento hamurunun genişip hasar görmesine yol açar. ASTM standartlarına göre, normal portland çimentosundaki maksimum SO₃ miktarı % 3,0 olmalıdır. AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'ün kimyasal analiz sonuçlarından da görüleceği üzere kimyasal içeriklerinde SO₃ yoktur.

Çimentonun içerisindeki MgO, serbest CaO ve alkaliler çimento hamurunun ve betonun özelliklerinde olumsuz etkiler yaratabilecek oksitlerdir. MgO, hammadde olarak kullanılan kalkerde bulunabilecek MgCO₃'den kaynaklanmaktadır ve döner fırındaki pişirme işlemiyle açığa çıkmaktadır. Çimentonun yapısında yer alan MgO, hidrasyon yaparak sertleşmiş olan çimento hamurunda önce su ile reaksiyona girerek Mg(OH)₂ haline ve daha sonra havadan alınan karbon dioksitle MgCO₃ haline dönüşmektedir. MgO'nun su ile reaksiyonu sonucunda hem açığa ısı çıkmakta, hem de hacim genişmesi meydana gelmektedir. Çimentonun içerisindeki MgO, döner fırındaki işlemler esnasında normalin

üzerindeki sıcaklıklara tabi tutulmuş olduğundan, MgO ile su arasındaki reaksiyonlar çimento hamurunun sertleşmesinden sonraki zaman içerisinde oluşmaktadır. Sertleşmiş durumdaki çimento hamurunun içerisinde genleşmeye yol açan reaksiyonların oluşması, çimento hamurunun (ve betonun) çatlamasına yol açabilmektedir. Bu nedenle, çimentolarda bulunabilecek MgO miktarının belirli bir yüzdeden (% 5'ten) fazla olmaması istenmektedir (Erdoğan, 2007). AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'ün MgO içerikleri sırasıyla % 2,80, 2,87, 2,87, 2,91'dir ve % 5'ten azdır. Ayrıca malzemenin MgO değeri pişirme sıcaklığı arttıkça artmaktadır.

Çimento üretiminde kullanılan hammadelerde bulunabilen Na₂O ve K₂O (alkaliler) üretilen çimentonun yapısında da yer almaktadırlar. Beton yapımında kullanılan agregalar reaktif silis veya reaktif karbonat içerdiği takdirde alkalilerle agregalar arasında “alkali-agrega reaksiyonu” olarak adlandırılan kimyasal olaylar gelişmektedir. Sonuç olarak çok büyük su emme kapasitesine sahip olan alkali-agrega jelleri meydana gelmekte, betonda çok büyük genleşmelere yol açmaktadır. Alkali-agrega reaksiyonları beton yapımından sonraki sürede (birkaç ay hatta birkaç yıl sonra) yer aldığı için sertleşmiş betonun içerisinde böyle büyük genleşmelerin oluşması, betonun çatlayıp kırılmasına neden olmaktadır. Çimentonun yapısında yer alan alkalilerin miktarının belirli bir değerden fazla olmaması istenmektedir. Örneğin ASTM standartlarına göre, “Na₂O + 0,66K₂O” miktarının %0,6'dan fazla olmaması tavsiye edilmektedir (Erdoğan, 2007). AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'te bu miktar % 0,6'dan fazladır.

Ağırlığı önceden bilinen (1 ± 0,05 g) bir çimento numunesinin çok yüksek sıcaklıkta (975 ± 25 °C) kızdırılması sonucunda meydana gelen ağırlık kaybına “ kızdırma kaybı” denilmektedir ve bu değer % olarak ifade edilmektedir. Yüksek sıcaklıkta kızdırılma sonucunda çimentoyu terk edecek maddeler, çimentoda bulunabilecek nem ve karbon dioksittir. Çimentonun bünyesinde bulunan nemin önemli bir miktarı havadaki nemdir. Çimentonun üretimi esnasında klinkerle birlikte öğütülen alçıtaşının yapısında bulunan sudan da bir miktar nem oluşmaktadır. Çimentonun içerisindeki serbest CaO ve MgO, havadaki nem ile birleşerek Ca(OH)₂ ve Mg(OH)₂ oluşmakta ve daha sonra da havadaki CO₂ ile birleştikleri takdirde ise CaCO₃ ve MgCO₃ bulunduran çimento numunesi yüksek sıcaklıklara kadar kızdırıldığı takdirde, nem ve CO₂ kaybolarak çimentonun ağırlığında azalma olmaktadır. Kızdırma kaybı çimentonun uygun koşullarda saklanmadığını veya çok uzun süre bekletilmiş olduğunu işaret etmektedir. Portland çimentosunun kızdırma kaybının belirli bir değerden daha fazla olmaması istenmektedir. Örneğin, ASTM

standartlarına göre normal portland çimentosundaki kızdırma kaybı % 3, 0'ü geçmemelidir (Erdoğan, 2007). AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃'ün kızdırma kaybı sırasıyla % 2,10, 1,45, 1,32, 1,12'dir.

2.1.4. AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃ İçeren Çimento Örneklerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

2.1.4.1. Toz Çimento Üzerinde Yapılan Deneyler

2.1.4.1.1. Özgül Ağırlık

Deneyde 100 – 150 cm³ hacminde özel bir piknometre (Le Chatelier balonu, Şekil2.15) kullanılır. Piknometrenin 1/10 cm³ aralıklı bir boyun kısmı vardır. Piknometre 0 (sıfır) çizgisine kadar çimento ile priz yapmayan benzin ile doldurulur. 100 °C sıcaklığındaki etüvde kurutulmuş ve soğutulmuş olan çimentodan 64 g, 0,1 g hassasiyetle tartılıp alınır ve kuru bir cam huniden yavaş yavaş ve dikkatle piknometre içine boşaltılır. Numune doldurulurken balon hafifçe çalkalanarak çimentonun balonun boynuna yapışması önlenir. Balon eksenini etrafında döndürülerek havanın sıvı yüzeyine çıkması sağlanır. Piknometrede benzinin seviyesi yükselir. İlk ve son okumalar arasındaki fark çimentonun hacmidir. Çimentonun özgül ağırlığı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (URL – 1, 2008).

$$\delta = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (2.2)$$

Burada;

δ : Çimentonun özgül ağırlığı, (g/cm³)

m: Çimentonun kütlesi, (g)

V₁: İlk okunan hacim, (cm³)

V₂: Son okunan hacim, (cm³)



Şekil 2.15. Le Chatelier balonu (URL – 2, 2008)

2.1.4.1.2. İncelik

Su ile hızlı bir şekilde reaksiyona girebilmesi için çimento çok ince toz halinde öğütülmüş olmalıdır.

Tane Büyüklüğü Tayini:

105 °C ± 5 °C'lık etüvde kurutulmuş çimentodan 0,1 g hassasiyetli bir terazide 100 g tartılır. Tartılan numune 200 µm göz açıklığı olan elek üstte, 90 µm göz açıklığı olan elek onun altında ve toplama tavası en altta olmak üzere sıralanmış elek dizisinin üzerine konur ve elek dizisinin üstü kapakla kapatılır. Çimentonun içinde topaklar varsa bunlar eleğe konulmadan önce el ile ufalanmalıdır. Taneler eleğin içindeki parmak ile ezilmemelidir. Elek dizisi içindeki çimento 15 dakika elek sarsma makinesinde elenir. Bu süre sonunda 200 µm göz açıklığı olan elek üstü kalıntısı tartılır ve gram olarak kaydedilir (m_2). 90 µm göz açıklığı olan elek üstü kalıntısı tartılır (m). Burada 90 µm göz açıklığı olan elek üstü toplam kalıntısı (m_1), $m_1 = m + m_2$ olarak hesaplanır.

Özgül Yüzey Tayini:

Özgül yüzey, 1 g çimentonun içindeki tanelerin cm^2 olarak toplam yüzey alanını ifade eder. Blaine aleti ile, hava geçirgenliği prensibine dayanarak çimentoların özgül yüzeyi tayin edilir. Alet numune hücresi, delikli disk, piston ve manometreden meydana gelir (Şekil 2.16) (URL – 1, 2008).



Şekil 2.16. Blaine aleti (URL – 3, 2008)

Çimentonun özgül yüzeyi aşağıdaki bağıntı ile yuvarlatılarak hesap edilir.

$$S = K \frac{\sqrt{e^3} \sqrt{t}}{d (1-e) \sqrt{\eta}} \quad (2.3)$$

Burada;

S: Çimento numunesinin özgül yüzeyi, (cm²/g)

K: Alet sabiti

e: Gözeneklilik, (0,5 kabul edilir)

d: Çimento numunesinin yoğunluğu, (g/cm³)

η: Deney sıcaklığında hava viskozitesi, (poise)

2.1.4.2. Çimento Hamuru Üzerinde Yapılan Deneyler

2.1.4.2.1. Çimento Hamurunun Standart Kıvamda Getirilmesi ve Priz Sürelerinin Tayini

Çimentonun priz alma sürelerinin tanımı;

Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru plastik (şekil verilebilir) bir durumdadır. Ancak, çimento ve suyun bir araya getirilmesiyle başlayan kimyasal reaksiyonların etkisiyle, zaman ilerledikçe çimento hamuru daha az plastik duruma gelmekte, katılaşp sertleşmeye başlamaktadır.

Çimentonun su ile birleştiği an ile çimento hamurunun katılaşarak plastik özelliğini kaybettiği an arasındaki süre, “priz alma süresi” olarak tanımlanmaktadır.

Priz alma süresi, “priz başlama süresi” ve “priz sona erme süresi” olarak ayrı ayrı ifade edilmektedir.

Priz başlama süresi, çimentoyla suyun birleştiği an ile çimento hamurunun fiziksel değişiklik göstererek katılaşmaya başladığı an arasında geçen süredir.

Priz sona erme süresi ise, çimento ve suyun birleştirildiği an ile çimento hamurunun katılaşığı (sertleşmenin başladığı) an arasındaki süredir.

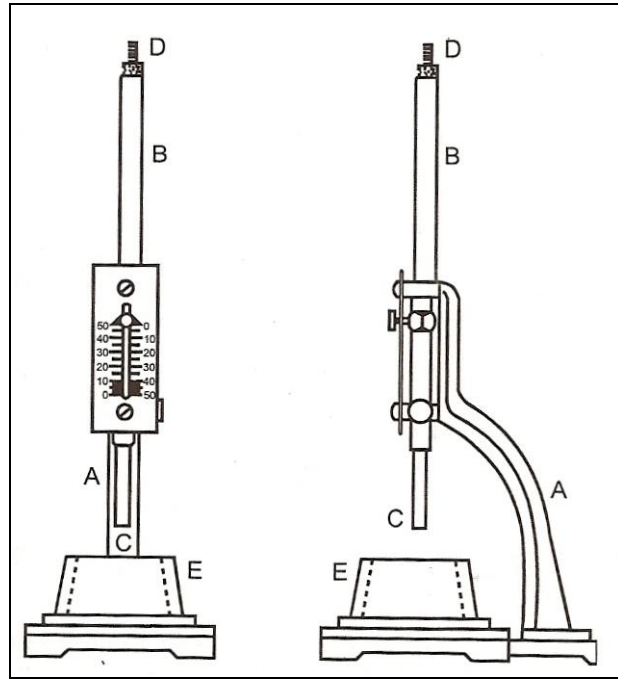
Çimentoların priz başlama sürelerinin çok kısa olmaması, priz sona erme süresinin ise çok uzun olmaması istenmektedir. Türkiye’de üretilen portland çimentoları için priz başlama ve sona erme süreleri sırasıyla en az 1 saat, en çok 10 saat’tir. ASTM standartlarına göre priz başlama süresi en az 45 dakika, priz sona erme süresi ise en çok 375 dakika olarak belirtilmektedir.

Çimentonun priz sürelerinin tayininde çimento hamurunun içerisindeki su miktarı, elde edilecek sonuçları önemli ölçüde etkiler. Priz sürelerinin tayininde, deneylerin standart koşullarda yapılabilmesi için, çimento hamuru “standart kıvam” adı verilen bir kıvamda hazırlanmaktadır. Çimento hamuru standart kıvamda olduğunda çimento ağırlığının yaklaşık % 25 - % 30’u kadar su içermektedir. Ancak, çimento hamurunun normal kıvamda olabilmesi için tam olarak ne miktarda su gerektiği deney yöntemiyle tayin edilmektedir.

Çimento hamurunun standart kıvamda getirilme işlemi;

Çimento hamurunun standart kıvamda olabilmesi için ne kadar su içerdiği Şekil 2.17’de gösterilen Vicat aleti yardımıyla TS EN 196 – 3’de ve ASTM C 187’de anlatılan

yöntemlerle tayin edilebilmektedir. Vicat aleti Şekil 2.16’da A olarak gösterilen taşıyıcı bir çerçeve, B olarak gösterilen hareketli bir çubuktan oluşmaktadır. Çubuğun alttaki C ucu 10 mm çapında bir sondadır. (Üst tarafındaki D ucu ise çubuğun içerisine gömülü durumda olan 1 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda bir iğne içermektedir. İstendiğinde, iğne uç sökülüp iğne kısmı dışarıya gelecek tarzda çubuk üzerine tekrar takılabilmektedir. Ancak, normal kıvam tayininde bu iğne uç kullanılmamaktadır.) Aletin üzerinde çubuğun hareketini ölçecek bir gösterge bulunmaktadır.



Şekil 2.17. Vicat aleti (Erdoğan, 2007)

Standart kıvam tayini için öncelikle, çimento ağırlığının yaklaşık % 25 - % 30’u kadar su kullanarak bir çimento hamuru yoğrulmaktadır. Daha sonra, bu hamur cam bir levha üzerine oturtulmuş ve E olarak gösterilmiş olan Vicat halkasının içerisine doldurulmaktadır. Halkanın üst iç çapı 6 cm, alt iç çapı 7 cm, yüksekliği 4 cm’dir. Vicat halkasının içerisine çimento doldurulduktan sonra, hamurun yüzeyi halkanın üst kenarı ile aynı seviyede olacak tarzda düzeltilmektedir.

TS EN 196 – 3’e göre öncelikle Vicat aletinin sonda ucu camın üzerine kadar indirilerek aletin göstergesi sıfıra getirilmektedir. Daha sonra sondanın ucu Vicat halkasının ortasında hamur üst yüzeyine dokunacak kadar indirilerek serbest bırakılmalıdır. Sonda kendi ağırlığı ile hamurun içine girmektedir.

Standart kıvamlı hamur için kullanılan su yeterli ise, sonda cam levhaya 6 ± 1 mm kalıncaya kadar inmektedir. Bu işlem değişik miktarlarda su ile tekrar edilerek çimento için gereken su miktarı tayin edilmektedir. ASTM C 187'ye göre standart kıvam için kullanılan su miktarı yeterli ise sonda, hamurun içerisine üstten 10 ± 1 mm girmelidir.

Priz Başlama ve Sona Erme Sürelerinin Tayini:

Priz sürelerinin tayininde de Vicat aleti kullanılmaktadır. Ancak, bu deneyler için 10 mm çapındaki sonda ucu değil de, 1 mm çapındaki iğneli uç kullanılmaktadır. Bunun için önce aletin D ucunda gömülü durumdaki iğne uç sökülerek, iğne kısmı dışarıya gelecek şekilde tekrar takılmakta ve bu D ucu aletin alt kısmına, C ucu ise üst kısmına gelecek şekilde ayarlanmaktadır.

Standart kıvamda hazırlanan çimento hamuru Vicat halkasının içine yerleştirildikten sonra aletin iğnesi halka içindeki hamurun üst yüzeyine indirilmekte ve ayarlanmaktadır. Daha sonra da hareket edebilir çubuk serbest bırakılarak kendi ağırlığının etkisiyle iğnenin çimento hamurunun içerisine dalması sağlanmaktadır.

TS EN 196 – 3'e göre önce Vicat iğnesinin ucu camın üzerine kadar indirilerek aletin göstergesi sıfıra getirilmektedir. Daha sonra, iğnenin ucu çimento hamurunun üst yüzeyine dokunacak kadar indirilerek serbest bırakılmaktadır.

Çimento hamuruna batan iğne, cam levhaya 4 ± 1 mm uzaklıkta kaldığı an priz başlamış sayılmaktadır. Priz süresinin tespiti için iğne her 5 dakikada bir hamura batırılmaktadır. İğnenin ucu çimento hamurunun içerisine giremediği veya en çok 0, 05 mm girebildiği takdirde priz sona ermiş sayılmaktadır. ASTM C 191'e göre priz başlama süresinin tespiti için iğne ucunun çimento hamuru içerisine üstten 25 mm girmesi gerekmektedir. İğne ucunun çimento hamurunun içerisine giremediği veya en çok 1 mm girebildiği takdirde priz sona ermiş sayılmaktadır (Erdoğan, 2007).

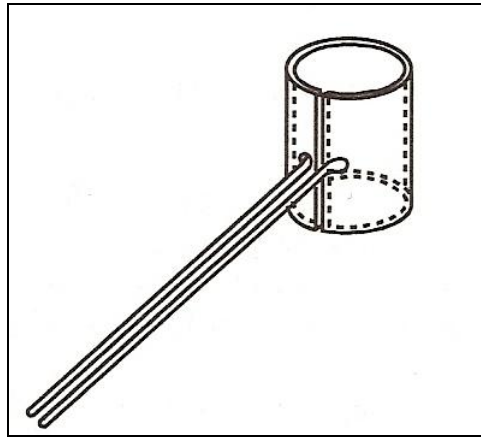
2.1.4.2.2. Çimento Hamurunun Hacim Sabitliği (Çimento Dayanıklılığı) Tayini

Çimento kompozisyonunda fazla miktarda serbest kireç (CaO) veya magnezyum oksit (MgO) bulunduğu takdirde, çimento hamurunun genişmesine (hacim değişikliği göstermesine) yol açmaktadırlar. Bu maddeler, döner fırının içerisindeki oluşumları sırasında yeterli sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklara tabi tutuldukları için çok yavaş bir şekilde hidrasyon yapmaktadırlar. O nedenle çimentonun içerisindeki serbest CaO ve MgO'nun su ile reaksiyonları, çimento hamuru veya beton sertleştikten aylar sonra

meydana gelmektedir. Bu oksitlerin hidratasyonu sonunda sertleşmiş çimento hamurunda genişleme olduğundan, beton yapılarda iç gerilmeler ve çatlamlar meydana gelebilmektedir. Priz aldıktan sonra büyük miktarda hacim genişlemesine yol açmayan çimentolara “dayanıklı” çimento denilmektedir.

Bu deney için standart kıvamda çimento hamuru hazırlanmaktadır. Çimento hamurunun “dayanıklı” kabul edilebilmesi için, hamurun fazla miktarda genişleme göstermemesi gerekmektedir. Çimento hamurunun genişmesi, TS EN 196 – 3’te yer alan yöntemle tayin edilmektedir.

Deneyde Le Chatelier aleti olarak adlandırılan ve Şekil 2.18’de gösterilen bir alet kullanılmaktadır. Aletin silindirik halkasının kalınlığı 0,5 mm, iç çapı 30 mm ve yüksekliği 30 mm’dir. Silindirik halka, eksenine doğrultusunda yarıktır. Yarığın her iki tarafına ve silindirin tam ortasına gelmek üzere 150 mm uzunluğunda iki çubuk lehimlenmiştir. Deneye başlamadan önce aletin silindirik halkasının yarık kenarları birbirine değmemiş durumda olmalıdır. Silindirik halkaya çimento hamuru doldurulurken çubukların arasının açılmaması için çubuklar lehim yanından ipe bağlanmalıdır.



Şekil 2.18. Le Chatelier Aleti

Deney şu şekilde yapılmaktadır;

Le Chatelier aleti, bir cam levha üzerine yerleştirilmekte ve silindirik halkanın içi standart kıvamdaki çimento hamuru ile doldurulmaktadır. Halkanın üst yüzeyi kenar seviyesinde düzeltilerek bir cam levha ile kapatılmaktadır. Daha sonra, çubuklara bağlanmış ipler çözülür. İpler çözüldükten hemen sonra çimento hamuru dolu halka, sıcaklığı 20 °C olan su içerisine daldırılmakta ve 24 saat su içerisinde tutulmaktadır. Bu

süre sonunda halka sudan çıkarılmakta, çubuk uçlarının açıklığı ölçülmektedir. Daha sonra, kalıbın üzerindeki cam levha kaldırılarak, çubuklar yukarı gelecek şekilde bir beher içindeki suya daldırılmakta ve su dolu beher 30 – 45 dakika içinde kaynamaya başlayacak şekilde ısıtılmaktadır. Kaynamaya 4 saat devam edilmektedir. 4 saat kaynama sonunda numuneler laboratuvar sıcaklığına kadar soğutulmakta ve çubuk uçlarının açıklığı tekrar ölçülmektedir.

Çimento hamurunun kaynar su içerisine yerleştirilmesinden önce Le Chatelier halkasının çubuk uçları arasındaki mesafe ile kaynar su işlemine tabi tutulduktan sonra çubuk uçları arasındaki mesafe farkı, çimento hamurunun ne ölçüde hacim genişmesi gösterdiğini belirtmektedir. “Dayanıklı” olarak kabul edilebilecek çimentolarda bu fark en çok 10 mm olmalıdır (Erdoğan, 2008).

2.1.4.3. Çimento Harcı Üzerinde Yapılan Deneyler

Çimento Harcının Hazırlanması;

Çimento harcı “çimento + standart kum + su” karışımından oluşur ve çimento standartlarında tanımlanan (TS EN 196 – 1) yöntemine göre hazırlanır.

TS EN 196 – 1’deki yöntemine göre ağırlıkça “1 kısım çimento (450 g) + 3 kısım standart kum (1350 g) + ½ kısım su (225 g)’dan oluşan bir harç hazırlanmaktadır. Su olarak içme suyu kullanılır. Harcın karıştırılmasında ise ilgili standartta belirtilen özel bir karıştırıcı (mikser) kullanılır (Şekil 2.19) (Erdoğan, 2007; URL-1, 2008)

Harcın karıştırılması;

Karıştırma kabına 225 g su konur. Üzerine 450 g çimento ilave edilir. Karıştırıcı düşük hızda 30 saniye çalıştırılır. 30 saniye sonunda 1350 g kum, karıştırma devam ederken, yavaş yavaş katılır. Kumun katılması 1 dakika sonunda bitmiş olmalıdır. 1 dakika sonunda karıştırıcı yüksek hızda ayar edilerek 30 saniye daha karıştırılır. Bu 90 saniyelik karıştırmadan sonra karıştırıcı durdurulur. Karıştırıcı durduktan sonra 15 saniye içinde karıştırıcı kabının cidarlarına ve karıştırıcıya bulaşmış olan harç kauçuk başlı bir çubuk ile kanın içine kazınır. Kabın üzeri örtülerek 75 saniye beklenir. Bu süre sonunda karıştırıcı yüksek hızla yeniden bir dakika daha çalıştırılır. Böylece toplam 4 dakika sonra harç kalıplarına konulmak üzere hazır hale getirilir (Gülay, 2002).

Kalıplar; çelikten imal edilmiş olmalı ve kalıplarda üç numune prizmasını aynı anda hazırlayabilmek için üç ayrı bölme bulunmalıdır (Şekil 2.20). Kalıp boyutları aşağıda verilen değerlere uygun olmalıdır.

Uzunluk = 160 mm \pm 0,4 mm

Genişlik = 40 mm \pm 0,1 mm

Yükseklik = 40 mm \pm 0,1 mm

Et kalınlığı = En az 10 mm

Açılar = 90 °C \pm 0,5 °C

Numunelerin Muhafazası;

Suyun buharlaşmasını önlemek için kalıp üzerleri çelik veya lastik bir plaka ile örtülür. Dökümden itibaren 20-24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler 2, 7 ve 28. günün sonuna kadar 20 \pm 1 °C sıcaklığındaki su içerisinde muhafaza edilir. Prizmalar deneyden 15 dakika kadar önce sudan çıkarılıp bir bezle kurulandıktan sonra eğilmede çekme mukavemetlerini ölçmek üzere kırma aletine yerleştirilir (URL-1, 2008).



Şekil 2.19. Harç karıştırıcısı (URL-4, 2008)



Şekil 2.20. Harç kalıpları (URL-5, 2008)

2.1.4.3.1. Eğilmede Çekme ve Basınç Mukavemetleri Deneyleri

Eğilmede çekme ve basınç mukavemeti deneyleri kgf/cm^2 (N/mm^2) olarak verilmelidir. Her bir numune yaşı için en az 3 prizma kırılmalıdır.

Eğilmede Çekme Mukavemet Deneyi:

Eğilmede çekme aletinin yükleme düzeni birbirinden $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ uzaklıkta olan 100 mm çaplı iki destek silindirden ibarettir (Şekil 2.21). Bu iki silindirin tam orta yerinde aynı çapta üçüncü bir yükleme silindiri vardır. Bu üç silindirin eksenlerinden geçen düşey düzlemler birbirine paralel olmalı ve deney süresince paralel kalmalıdır. Harç prizmaları kalıptan çıkmış yan yüzeylerinden biri üzerine ve uzunluğuna eksenine destek silindirler eksenine dik gelecek şekilde destek silindirler üzerine konur. Yükleme hızı saniyede $50 \text{ N} \pm 10 \text{ N}$ olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bulunan kırılma yükünden eğilme gerilmesi hesaplanabilmektedir. Eğilme deneylerinde kullanılan prizmanın alt kısmı çekme gerilmelerine maruz kaldığı için, eğilme yükü uygulayarak bulunan gerilmeler “eğilmede çekme” dayanımı olarak ifade edilmektedir. Eğilmede çekme gerilmesi (σ) (2.4) bağıntı ile tam sayıya yuvarlatılarak hesaplanır.

$$\sigma = 1,5 \frac{PL}{b^3} \quad (2.4)$$

Burada;

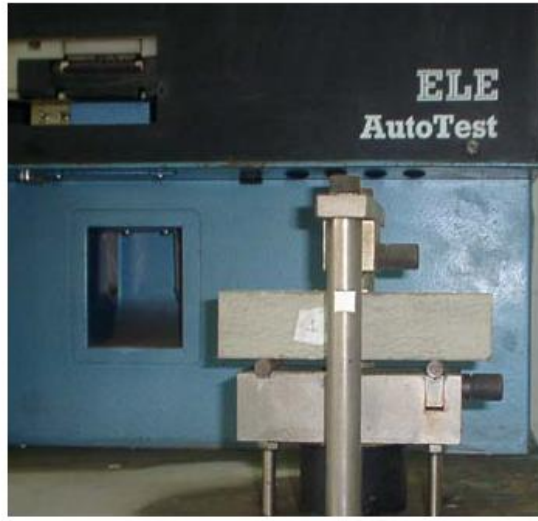
σ = Eğilmede çekme gerilmesi, (N/ mm²)

P = Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, (N)

L = Destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık, (cm), (10cm)

L = 10 cm, b = 4 cm olduğundan $\sigma = 0,243 P$ 'dir.

Türk standartlarında daha önceleri aranan çimentoların eğilmede çekme değerleri standartların en son baskılarında aranmamaktadır (URL-1, 2008; Erdoğan, 2007).



Şekil 2.21. Eğilmede çekme mukavemeti aletinin yükleme düzeni (URL-1, 2008)

Basınç Mukavemeti Deneyi:

4 x 4 x 16 cm boyutlu en az 3 adet harç prizması eğilmeye tabi tutulduklarında, numunelerin ortadan kırılmalarıyla 6 adet yaklaşık 4 x 4 x 8 cm boyutlu, yine prizma şekilli yarım numune ortaya çıkmaktadır.

Her yarım numunenin alt ve üst yüzeylerine 4 cm x 4 cm'lik metal kırma başlığı yerleştirilmekte ve numuneler deney presinde kırılmaya tabi tutulmaktadır. Kırma başlıkları arasındaki yarım prizma 4 x 4 x 4 cm'lik bir küp numune etkisini görmektedir. Basınç dayanımı (2.5) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.5)$$

Burada;

σ = Basınç dayanımı

P = Uygulanan kuvvet

A = Kesit alanı

Altı adet prizmatik yarım numune üzerinde (4 cm'lik küpler gibi) yapılan deneylerde ayrı ayrı bulunan sonuçların ortalaması hesaplanmakta ve basınç dayanımı olarak kullanılmaktadır.

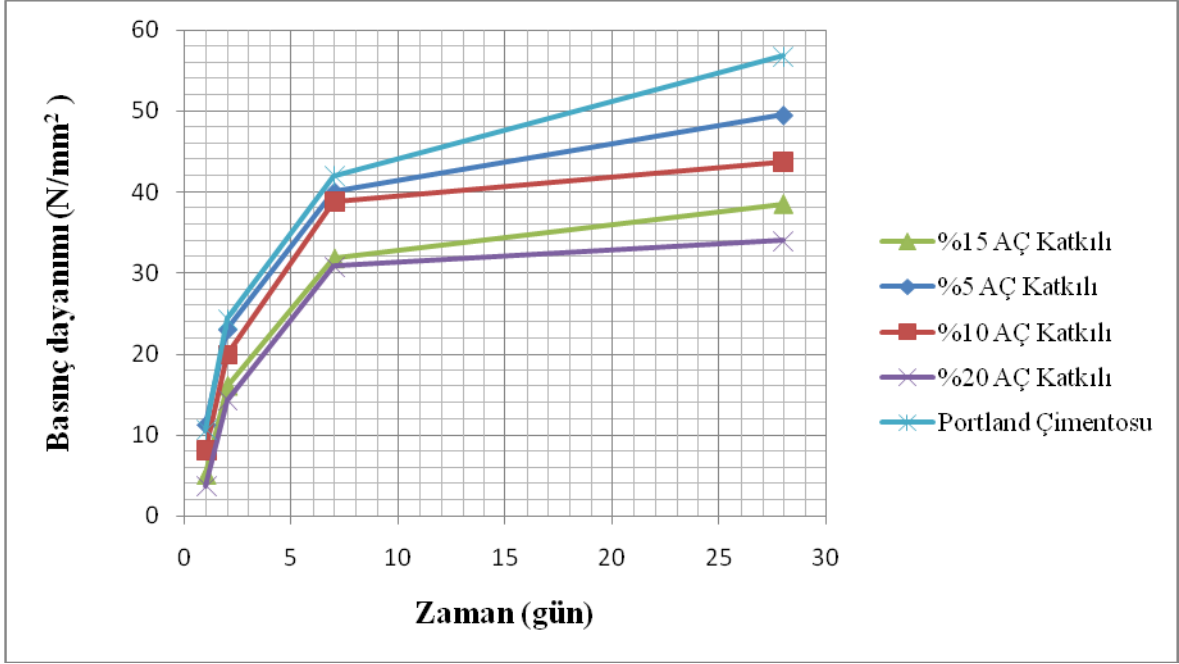
Numunelerin kırılmaya tabi tutulacağı yaş ne ise (1 günlük, 2 günlük, 3 günlük, 7 günlük, 28 günlük gibi) elde edilen basınç dayanımı değerleri o yaştaki basınç dayanımı olarak belirtilmelidir (Erdoğan, 2007).



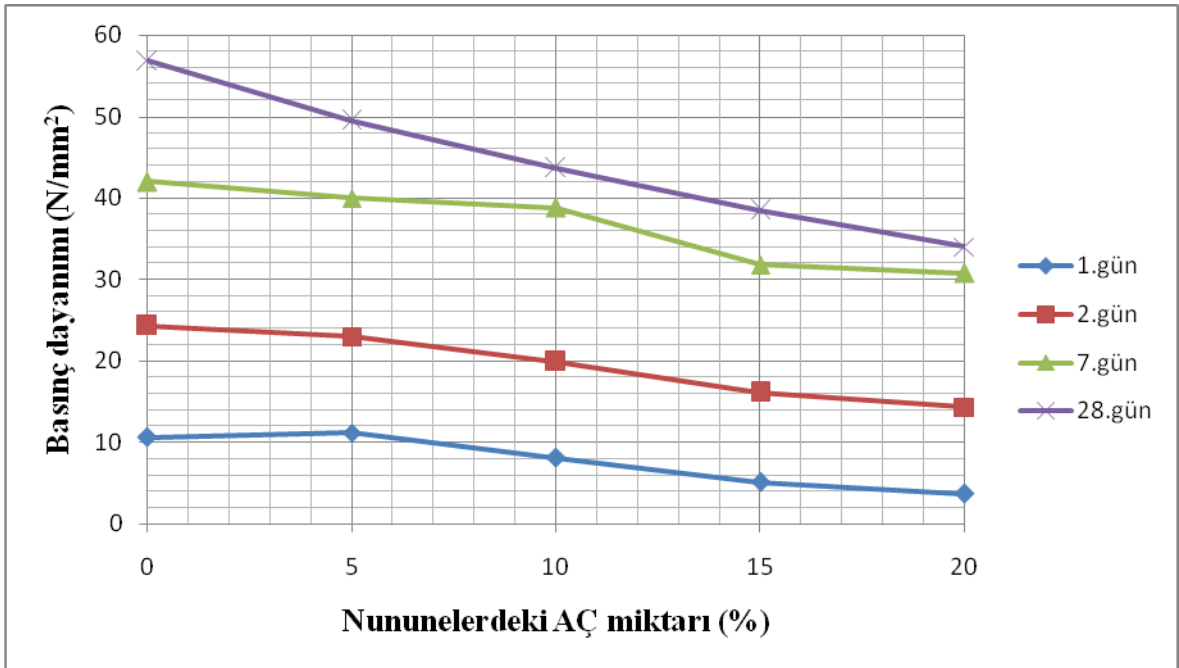
Şekil 2.22. Basınç mukavemeti aleti (URL-6, 2008)

Tablo 2.12. AÇ' nun çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları

Numune	AÇ miktarı (%)	Süre (Gün)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Tane büyüklüğü 200/90/45 µm	Priz süresi başlangıcı (Saat)	Su (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Hacim genleşmesi (mm)	Özgül yüzey (cm ² /g)
AÇ (%5)	5	1	11,2	% 0,9-200 µm	3,00	32,00	2,75	1	3959
		2	23,0	% 2,5-90 µm					
		7	40,0	% 5,7-45 µm					
		28	49,5						
AÇ (%10)	10	1	8,1	% 1,2-200 µm	2,55	34,50	2,75	1	4058
		2	19,9	% 4,8-90 µm					
		7	38,8	% 8,6-45 µm					
		28	43,7						
AÇ (%15)	15	1	5,1	% 1,5-200 µm	2,40	35,50	2,75	1	4158
		2	16,1	% 7,1-90 µm					
		7	31,8	% 12,2-45 µm					
		28	38,5						
AÇ (%20)	20	1	3,7	% 2,2-200 µm	2,35	35,75	2,75	1	3858
		2	14,3	% 9,4-90 µm					
		7	30,8	% 15,2-45 µm					
		28	34,0						
CEM II/A-P 42,5 N (Kontrol numunesi)	-	1	10,6	% 0,3-200 µm	2,15	32,13	3,06	2	4018
		2	24,3						
		7	42,0						
		28	56,8						



Şekil 2.23. AÇ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi



Şekil 2.24. AÇ katkıli harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi

Basınç dayanımları için, Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'deki grafiklerden de görüldüğü gibi AÇ'nun karışım içindeki oranı arttıkça 1, 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin CEM II/A-P 42,5 N ile üretilen kontrol numunesi

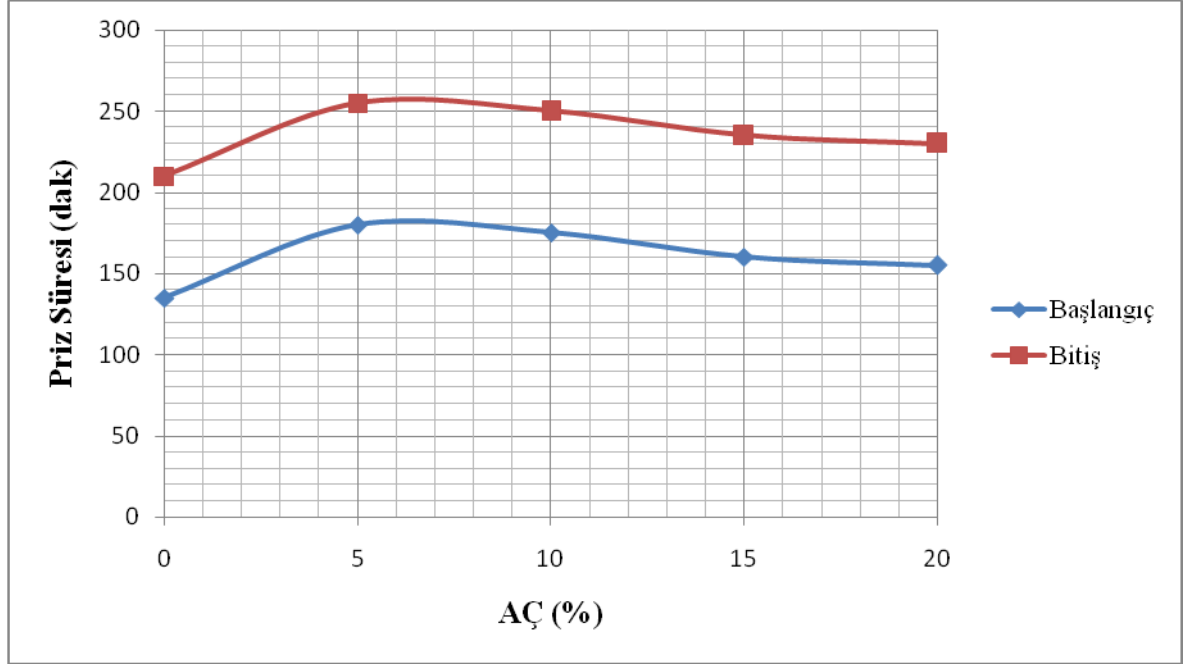
değerlerinden düşük olduğu da bir gerçektir. Ancak burada AÇ'nun %5 oranında katılmasıyla elde edilen harç numunelerin 1 günlük basınç dayanımı kontrol numunesinden daha yüksek olduğu da belirtilmelidir.

AÇ'nun harç numunesi içindeki oranı arttıkça 200 μ m, 90 μ m ve 45 μ m eleklerde kalan miktarların arttığı görülmektedir. Bu da AÇ'nun çimentoya göre daha büyük tane büyüklüğüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Harç numunesi içerisindeki AÇ oranı arttıkça gerekli olan kıvam suyunun arttığı görülmektedir. Gerekli su miktarının artışının da yukarıda ifade edilen dayanım azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Numune içindeki alkalilerin reaktif silis ile reaksiyona girmesi ile su emme kapasitesi yüksek bir jel oluşmakta (alkali-agrega reaksiyonu), bu da harç numunesine katılan kıvam suyunun, artan katkı oranıyla, artmasının gerekçesi olarak görülmektedir.

Tablo 2.13. AÇ'nin priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları

Katkı (%)	Priz süresi (saat)		Hacim genişmesi (mm)
	Başlangıç	Bitiş	
0	2,15	3,30	2
5	3.00	4.15	1
10	2.55	4.10	1
15	2.40	3.55	1
20	2.35	3.50	1



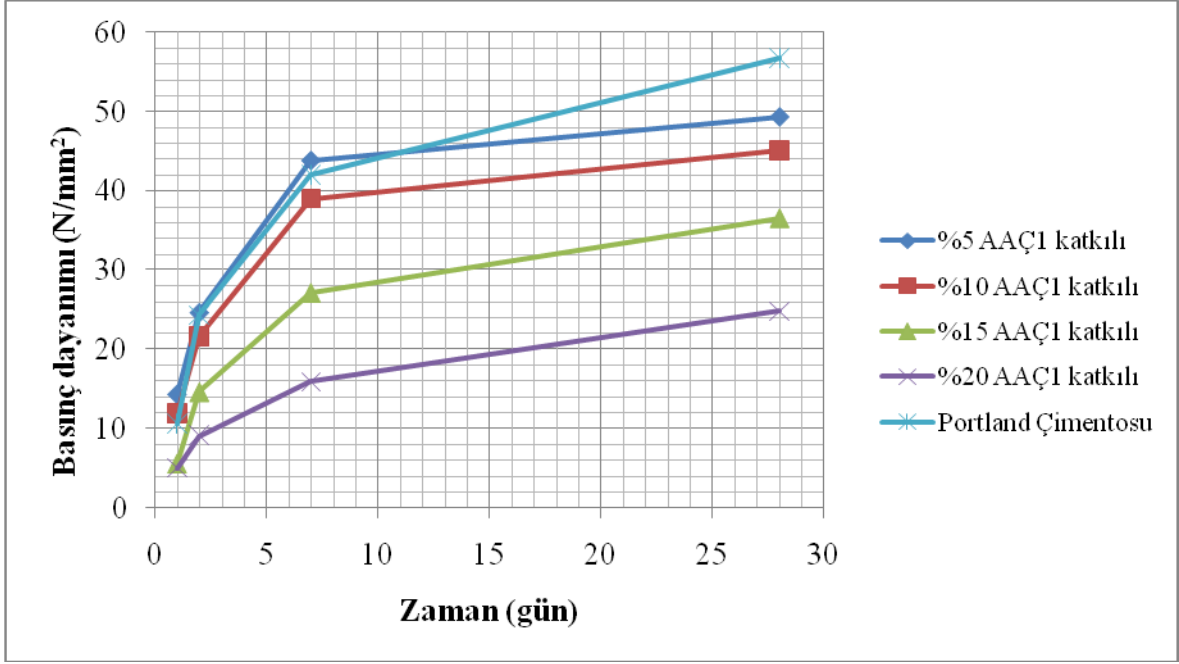
Şekil 2.25. Priz süresinin AÇ içeriğine göre değişimi

Şekil 2.25 ve Tablo 2.13'ten de görüldüğü gibi AÇ'nun kullanıldığı numunelerin priz süreleri, kontrol numunesine göre artmaktadır. Bu da hidrasyon ısının azaldığını göstermektedir.

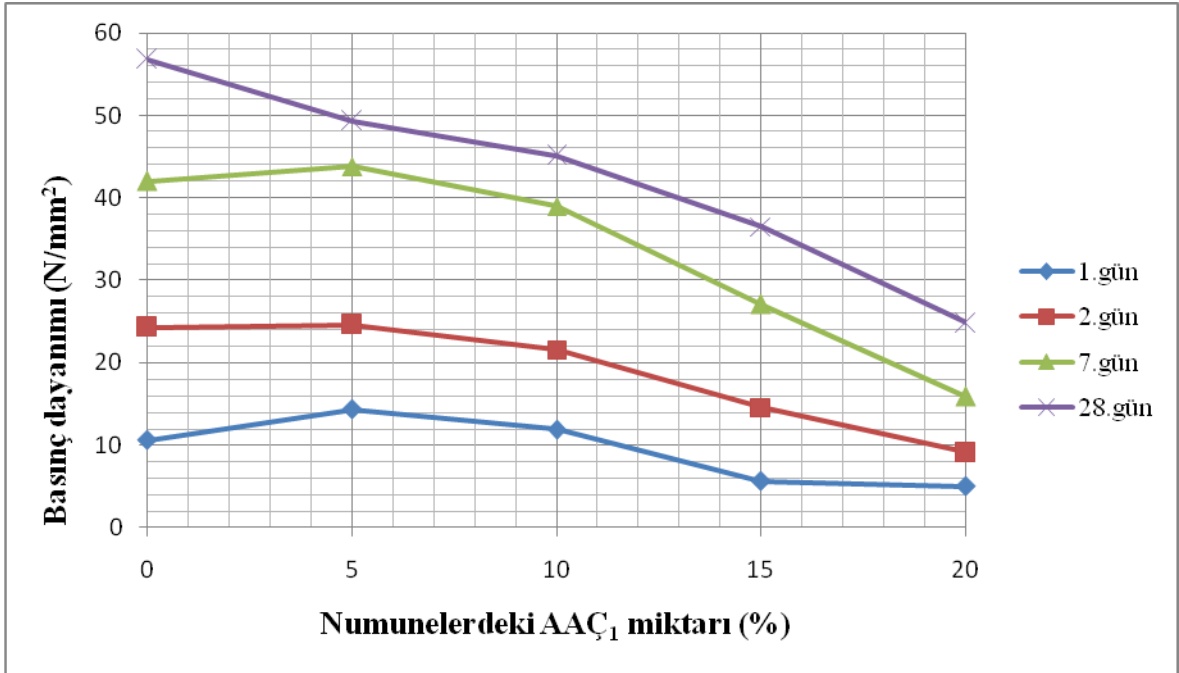
Harç numunesi içerisindeki AÇ oranı arttıkça özgül yüzeyin genelde artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özgül yüzeyin artması su ile temas yüzeyinin arttığı, dolayısıyla buna paralel olarak su ihtiyacının da arttığı bilinmektedir. Deneylerden elde edilen kıvam suyu miktarlarının da bu bilgiyi desteklediği görülmektedir.

Tablo 2.14. AAÇ₁ ' in çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları

Numune	AAÇ ₁ miktarı (%)	Süre (Gün)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Tane büyüklüğü 200/90/45 µm	Priz süresi başlangıcı (Saat)	Su (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Hacim genleşmesi (mm)	Özgül yüzey (cm ² /g)
AAÇ ₁ (%5)	5	1	14,3	% 0,5-200 µm	3.00	32,13	2,75	1	4016
		2	24,6	% 2,3-90 µm					
		7	43,8	% 6,1-45 µm					
		28	49,3						
AAÇ ₁ (%10)	10	1	11,9	% 0,9-200 µm	3.00	34,13	2,75	1	3962
		2	21,6	% 5,6-90 µm					
		7	39,0	% 11,2-45 µm					
		28	45,1						
AAÇ ₁ (%15)	15	1	5,6	% 3,9-200 µm	2.50	34,88	2,75	1	4115
		2	14,6	% 6,8-90 µm					
		7	27,1	% 12,6-45 µm					
		28	36,5						
AAÇ ₁ (%20)	20	1	5,0	% 5,1-200 µm	3.00	35,75	2,75	1	4154
		2	9,1	% 8,9-90 µm					
		7	15,9	% 14,6- 45µm					
		28	24,8						
CEM II/A-P 42,5 N (Kontrol numunesi)	-	1	10,6	% 0,3-200 µm	2,15	32,13	3,06	2	4018
		2	24,3						
		7	42,0						
		28	56,8						



Şekil 2.26. AAC₁ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi



Şekil 2.27. AAC₁ katkıli harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi

Basınç dayanımları için, Şekil 2.26 ve Şekil 2.27'deki grafiklerden de görüldüğü gibi AAC₁'in karışım içindeki oranı arttıkça 1, 2, 7 ve 28 günlük dayanımların azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin CEM II/A-P 42,5 N ile üretilen kontrol numunesi

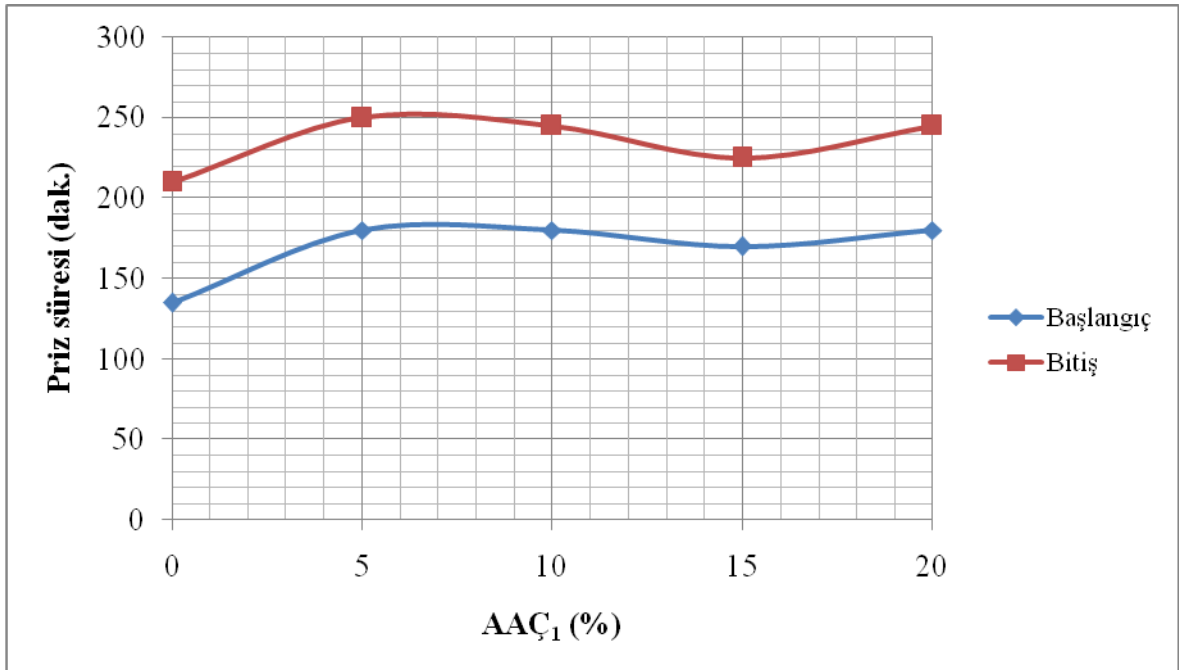
değerlerinden düşük olduğu da bir gerçektir. Ancak burada AAC₁'in %5 oranlarında katılmasıyla elde edilen harç numunelerinin 1 ve 2 günlük, % 10 oranında katılmasıyla elde edilenlerin ise 1 günlük basınç dayanımları kontrol numunesinden daha yüksek olduğu da belirtilmelidir.

AÇ gibi AAC₁'in de harç numunesi içindeki oranı arttıkça 200 μ m, 90 μ m ve 45 μ m eleklerde kalan miktarların arttığı görülmektedir. Bu da AAC₁'in çimentoya göre daha büyük tane büyüklüğüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Harç numunesi içerisindeki AAC₁ oranı arttıkça gerekli olan kıvam suyunun arttığı görülmektedir. Gerekli su miktarının artışının da yukarıda ifade edilen dayanım azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2.15. AAC₁'in priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları

Katkı (%)	Priz süresi (saat)		Hacim genişmesi (mm)
	Başlangıç	Bitiş	
0	2.15	3.30	2
5	3.00	4.10	1
10	3.00	4.05	1
15	2.50	3.45	1
20	3.00	4.05	1



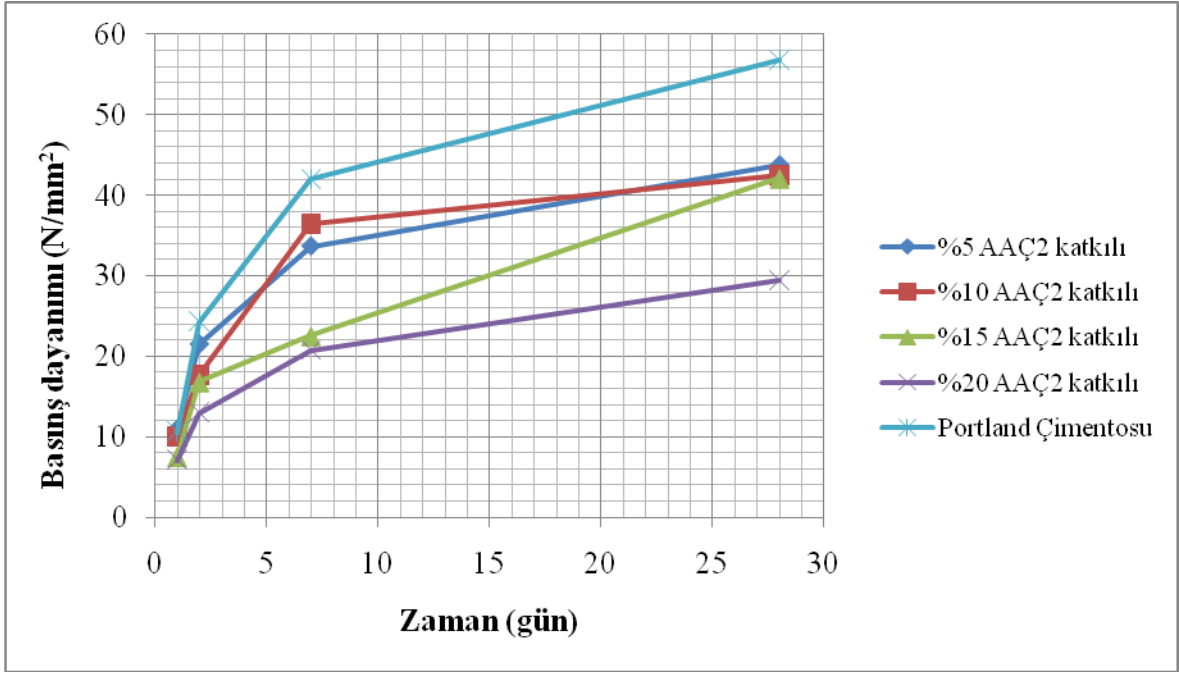
Şekil 2.28. Priz süresinin AAC₁ içeriğine göre değişimi

Şekil 2.28 ve Tablo 2.15'ten de görüldüğü gibi AAÇ₁'in kullanıldığı harç numunelerinin priz süresi, kontrol numunesine göre artmaktadır. Bu da hidrasyon ısının azaldığını göstermektedir.

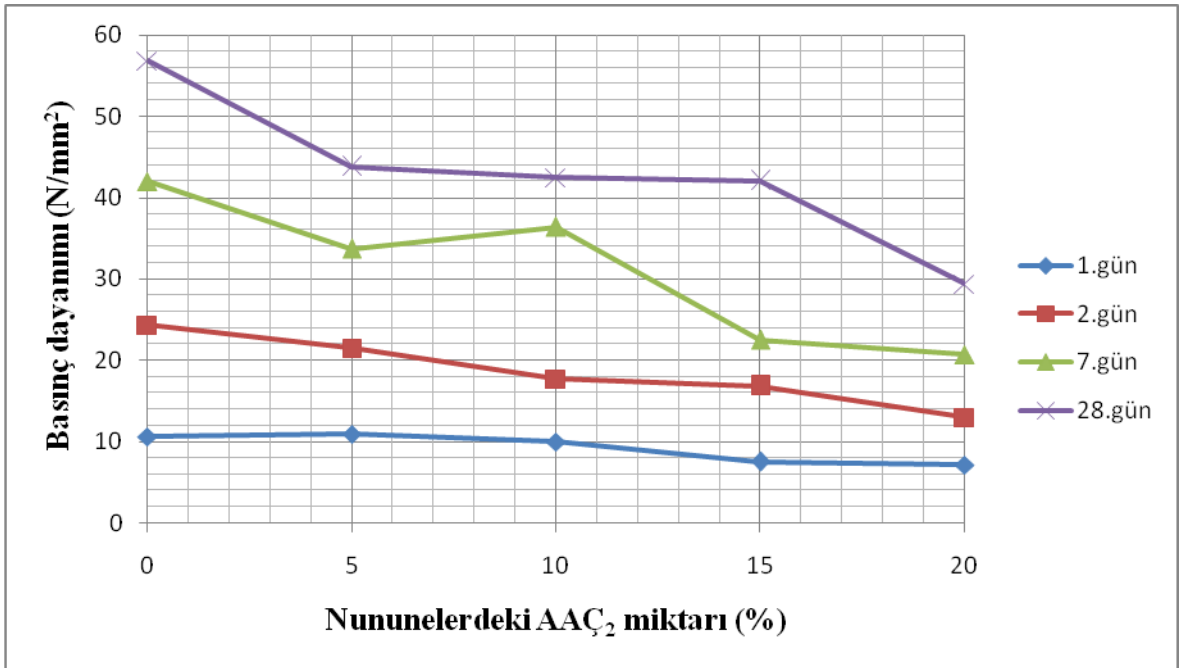
Harç numunesi içerisindeki AAÇ₁ oranı arttıkça özgül yüzeyin genelde artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özgül yüzeyin artması su ile temas yüzeyinin arttığı, dolayısıyla buna paralel olarak su ihtiyacının da arttığı görülmektedir.

Tablo 2.16. AAÇ₂' nin çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları

Numune	AAÇ ₂ miktarı (%)	Süre (Gün)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Tane büyüklüğü 200.90.45 µm	Priz süresi başlangıcı (Saat)	Su (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Hacim genişmesi (mm)	Özgül yüzey (cm ² /g)
AAÇ ₂ (%5)	5	1	10,9	% 0,9-200 µm	2.55	33,13	2,75	1	3986
		2	21,5	% 2,1-90 µm					
		7	33,7	% 5,7-45 µm					
		28	43,8						
AAÇ ₂ (%10)	10	1	10,0	% 2,0-200 µm	2.50	34,00	2,75	1	3999
		2	17,7	% 4,6-90 µm					
		7	36,4	% 9,4-45 µm					
		28	42,5						
AAÇ ₂ (%15)	15	1	7,5	% 2,9-200 µm	2.55	35,13	2,75	1	4012
		2	16,8	% 6,4-90 µm					
		7	22,5	% 12,7-45 µm					
		28	42,1						
AAÇ ₂ (%20)	20	1	7,1	% 3,8-200 µm	3.05	35,75	2,75	1	4028
		2	13,0	% 8,5-90 µm					
		7	20,7	% 15,5-45 µm					
		28	29,4						
CEM II/A-P 42,5 N (Kontrol numunesi)	-	1	10,6	% 0,3-200 µm	2,15	31,13	3,06	2	4018
		2	24,3						
		7	42,0						
		28	56,8						



Şekil 2.29. AAC₂ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi



Şekil 2.30. AAC₂ katkılı harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi

Basınç dayanımları için, Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'daki grafiklerden de görüldüğü gibi AAC₂'nin karışım içindeki oranı arttıkça 1, 2, 7 ve 28 günlük dayanımların azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin CEM II/A-P 42,5 N ile üretilen kontrol numunesi

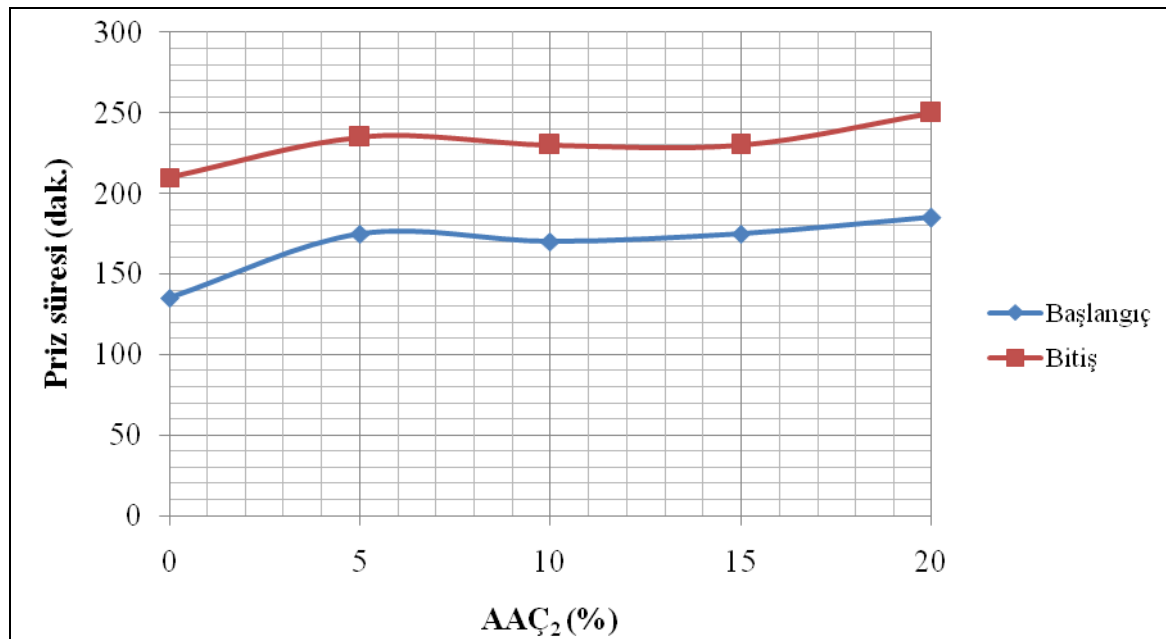
değerlerinden düşük olduğu da bir gerçektir. Ancak burada AAC₂'in %5 oranlarında katılmasıyla elde edilen harç numunelerinin 1 günlük basınç dayanımları kontrol numunesinden daha yüksek olduğu da belirtilmelidir.

AÇ gibi AAC₂'in de harç numunesi içindeki oranı arttıkça 200µm, 90µm ve 45µm eleklerde kalan miktarların arttığı görülmektedir. Bu da AAC₂'in çimentoya göre daha büyük tane büyüklüğüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Harç numunesi içerisindeki AAC₂ oranı arttıkça gerekli olan kıvam suyunun arttığı görülmektedir. Gerekli su miktarının artışının da yukarıda ifade edilen dayanım azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2.17. AAC₂'nin priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları

Katkı (%)	Priz süresi (saat)		Hacim genişmesi (mm)
	Başlangıç	Bitiş	
0	2.15	3.30	2
5	2.55	3.55	1
10	2.50	3.50	1
15	2.55	3.50	1
20	3.05	4.10	1



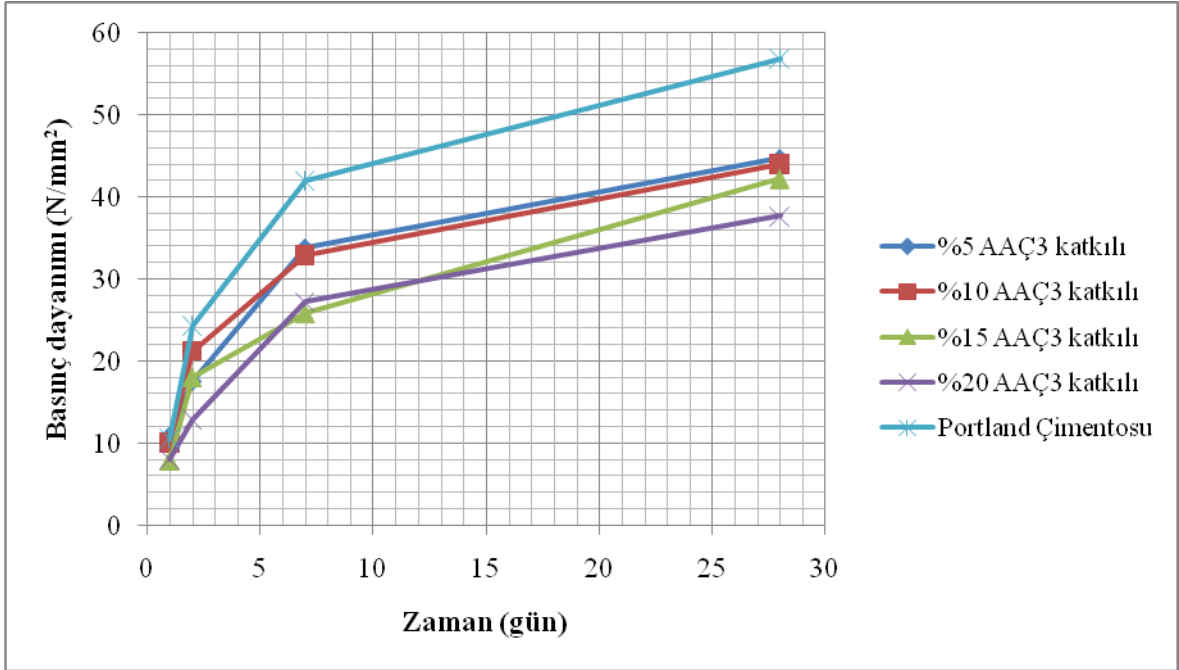
Şekil 2.31. Priz süresinin AAC₂ içeriğine göre değişimi

Şekil 2.31 ve Tablo 2.17'den de görüldüğü gibi AAÇ₂'nin kullanıldığı harç numunelerinin priz süresi, kontrol numunesine göre artmaktadır. Bu da hidrasyon ısının azaldığını göstermektedir.

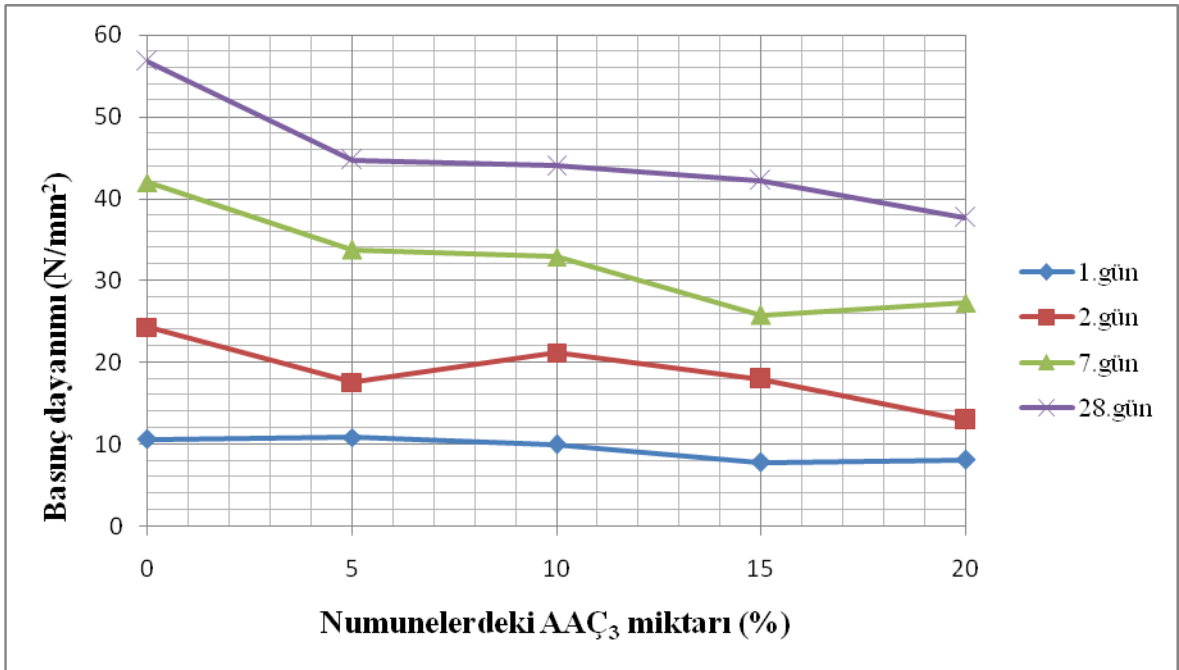
Harç numunesi içerisindeki AAÇ₂ oranı arttıkça özgül yüzeyin genelde artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özgül yüzeyin artması su ile temas yüzeyinin arttığı, dolayısıyla buna paralel olarak su ihtiyacının da arttığı görülmektedir

Tablo 2.18. AAC₃' ün çeşitli oranlarda CEM II/A-P 42,5 N çimentosuna karıştırılması sonucunda elde edilen deney bulguları

Numune	AAC ₃ miktarı (%)	Süre (Gün)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Tane büyüklüğü 200/90/45 µm	Priz süresi başlangıcı (Saat)	Su (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Hacim genişmesi (mm)	Özgül yüzey (cm ² /g)
AAC ₃ (%5)	5	1	10,9	% 0,7-200 µm	2,50	34,75	2,75	1	3935
		2	17,6	% 2,6-90 µm					
		7	33,8	% 5,4-45 µm					
		28	44,7						
AAC ₃ (%10)	10	1	10,0	% 1,5-200 µm	3,00	34,88	2,75	1	3973
		2	21,2	% 4,0-90 µm					
		7	32,9	% 9,3-45 µm					
		28	44,0						
AAC ₃ (%15)	15	1	7,8	% 3,0-200 µm	2,55	35,00	2,75	1	3999
		2	18,0	% 8,0-90 µm					
		7	25,8	% 12,6-45 µm					
		28	42,2						
AAC ₃ (%20)	20	1	8,1	% 3,1-200 µm	2,55	35,90	2,75	1	3999
		2	13,0	% 8,2-90 µm					
		7	27,3	% 14,9-45 µm					
		28	37,7						
CEM II/A-P 42,5 N (Kontrol numunesi)	-	1	10,6	% 0,3-200 µm	2,15	32,13	3,06	2	4018
		2	24,3						
		7	42,0						
		28	56,8						



Şekil 2.32. AAC₃ kullanılan harç numunelerinin basınç dayanımlarının zamanla değişimi



Şekil 2.33. AAC₃ katkıli harç numunelerinin basınç dayanımlarının katkı oranlarına göre değişimi

Basınç dayanımları için, Şekil 2.32 ve Şekil 2.33'deki grafiklerden de görüldüğü gibi AAC₃'ün karışım içindeki oranı arttıkça 1, 2, 7 ve 28 günlük dayanımların azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin CEM II/A-P 42,5 N ile üretilen kontrol numunesi

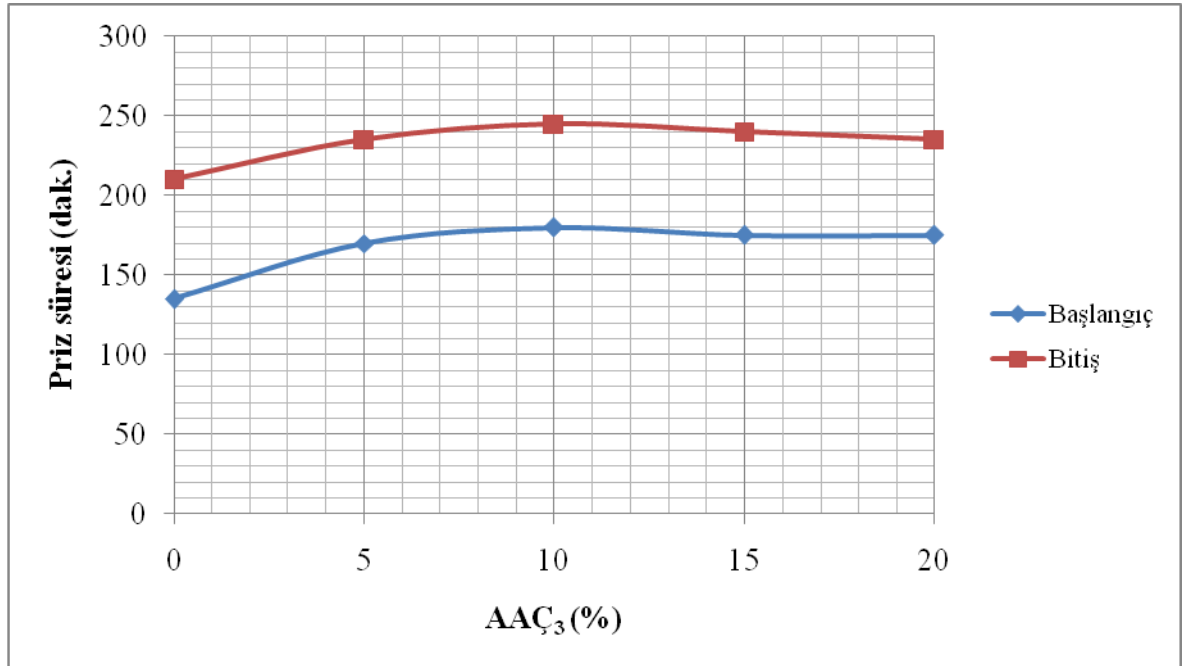
değerlerinden düşük olduğu da bir gerçektir. Ancak burada AAC₃'ün %5 oranlarında katılmasıyla elde edilen harç numunelerinin 1 günlük basınç dayanımları kontrol numunesinden daha yüksek olduğu da belirtilmelidir.

AÇ gibi AAC₃'ün de harç numunesi içindeki oranı arttıkça 200 μ m, 90 μ m ve 45 μ m eleklerde kalan miktarların arttığı görülmektedir. Bu da AAC₃'ün çimentoya göre daha büyük tane büyüklüğüne sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Harç numunesi içerisindeki AAC₃ oranı arttıkça gerekli olan kıvam suyunun arttığı görülmektedir. Gerekli su miktarının artışının da yukarıda ifade edilen dayanım azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2.19. AAC₃'ün priz süresi ve hacim genişmesi deney sonuçları

Katkı (%)	Priz süresi (saat)		Hacim genişmesi (mm)
	Başlangıç	Bitiş	
0	2.15	3.30	2
5	2.50	3.55	1
10	3.00	4.05	1
15	2.55	4.00	1
20	2.55	3.55	1

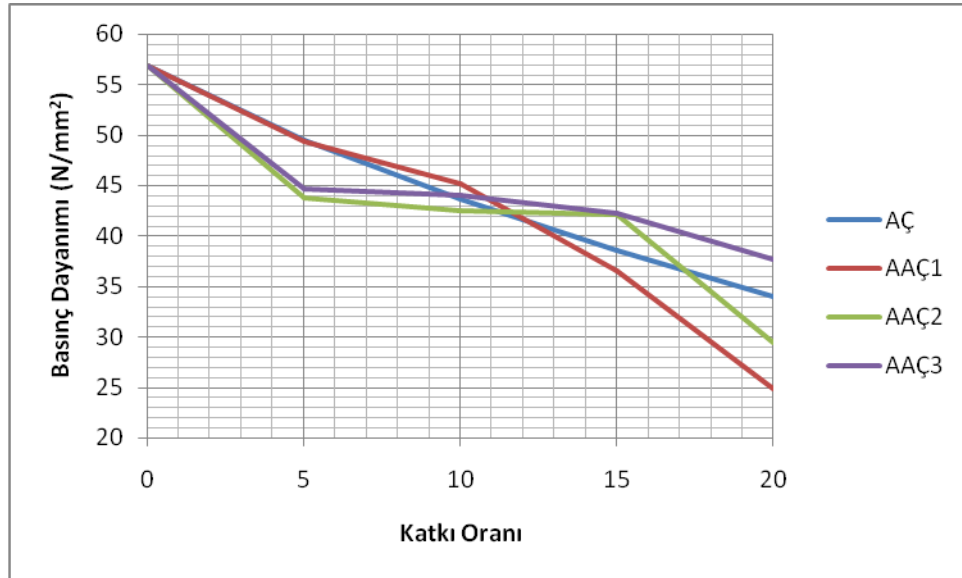


Şekil 2.34. Priz süresinin AAC₃ içeriğine göre değişimi

Şekil 2.34 ve Tablo 2.19'dan da görüldüğü gibi AAÇ₃'ün kullanıldığı harç numunelerinin priz süresi, kontrol numunesine göre artmaktadır. Bu da hidrasyon ısının azaldığını göstermektedir.

Harç numunesi içerisindeki AAÇ₃ oranı arttıkça özgül yüzeyin genelde artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özgül yüzeyin artması su ile temas yüzeyinin arttığı, dolayısıyla buna paralel olarak su ihtiyacının da arttığı bilinmektedir. Deneylerden elde edilen kıvam suyu miktarlarının da bu bilgiyi desteklediği görülmektedir.

Şekil 2.35'de çeşitli oranlarda kullanılan AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'ün numunelerin 28 günlük standart basınç dayanımlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 2.35. AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃ katkı oranı- basınç dayanımı değişimi

3. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı atıkların yeniden değerlendirilmesi gerektiği fikrinden yola çıkarak Trabzon İçme Suyu Arıtma Tesisinin (TİAT) kaçınılmaz bir yan ürünü olan içme suyu Arıtma Çamuru (AÇ) ve AÇ'nun farklı sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen aktifleştirilmiş arıtma çamurlarının (AAÇ) çimentoda kullanılabilirliği araştırmaktır.

Bu amaçla çalışmanın birinci bölümünde bir girişten sonra içme suyu arıtımı, içme suyu arıtma çamurunun (AÇ) oluşumu ve çimento hakkında birtakım bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde ise öncelikle AÇ ve AÇ'nun sırasıyla 500, 600 ve 700 °C'de pişirilmesiyle elde edilen AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'ün fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalar ayrıntılı bir şekilde anlatılarak deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Daha sonra AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'ün çimentoda kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla harç numuneleri hazırlandı ve bu numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelendi.

Çalışmanın bütününden çıkarılabilecek başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- 1) AÇ örneğinin cinsi, yapılan ıslak elek analizi (hidrometre) sonucunda birleştirilmiş sınıflandırma sistemine (USCS) göre ML (Silt) olarak belirlenmiştir.
- 2) AÇ ve AAÇ'lerinin mikroyapı incelemesi sonucunda değişen büyüklüklerde köşeli kuvars tanecikleri içerdiği gözlenmiştir. SEM analiz yöntemiyle elde edilen AÇ ve farklı sıcaklıklarda pişirilen AAÇ'lerinin fotoğraflarında gözeneklilik açısından çok fazla bir değişim gözlenmemiştir. Bu da AÇ'nun organik içeriğinin çok az olduğunu göstermektedir.
- 3) AÇ'nin XRD yöntemi ile incelenmesiyle yapısında; kaolinit, kuvars, muskovit ve kalsit minerallerini yoğun olarak içerdiği belirlenmiştir.
- 4) Yapılan kimyasal analizler sonucunda AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃ olarak tanımlanan malzemelerin içerisinde çimentolu hidrolik bağlayıcılar için önemli sayılan silis (SiO₂), alümina (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) gibi bileşenlerin bulunduğu görülmüştür ve bu bileşenlerin miktarları göz önüne alındığında söz konusu malzemelerin puzolanik özellik taşıdığı belirlenmiştir.
- 5) Yapılan kimyasal analizler sonucunda AÇ, AAÇ₁, AAÇ₂ ve AAÇ₃'ün kimyasal içeriğinde SO₃'ün bulunmadığı belirlenmiştir.

- 6) Malzemelerin içerisinde belirlenen MgO miktarının standartta belirtilen değer olan % 5'ten daha az olduğu görülmüştür. Malzemelerin betonda katkı maddesi olarak kullanılması halinde, sözkonusu bileşen nedeniyle, rötre sonucu çatlamalara neden olmayacağı düşünülmektedir.
- 7) Malzemelerin içerisindeki alkalilerin standartlarda belirtilen miktarlardan fazla olması nedeniyle bunların reaktif silis içeren agregalarla reaksiyonu sonucu betonun dayanıklılığına olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir.
- 8) AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃'ün kimyasal analizinde belirlenen kızdırma kaybı değerleri puzolanik katkı maddeleri için standartlardaki koşulları sağlamıştır.
- 9) AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃'ün % 5 oranında katıldığı harç numunelerinin 1 günlük basınç dayanımları, kontrol numunesinin 1 günlük değerinden büyük olduğu ve en yüksek değeri olan 14,3 N/mm²'ye AAC₁ kullanılarak ulaşıldığı görülmektedir. Diğer bir ifadeyle AÇ kullanılan harç numunelerinin 1 günlük basınç dayanımı değeri kontrol numunesininkini % 5 oranında, AAC₁ kullanılan numunesininkini %35 oranında, AAC₂ ve AAC₃ kullanılan numunelerinkini ise %3 oranında aştığı belirlenmiştir. AAC₁'in %5 oranında kullanıldığı harç numunelerin 1, 2 ve 7 günlük basınç dayanımı değerleri kontrol numunelerinin aynı günlerdeki değerlerinden sırasıyla yaklaşık %35, %1 ve %4 oranlarında daha fazla olduğu görülmektedir.
- 10) AAC₁'in %10 oranında kullanıldığı harç numunelerinin 1 günlük basınç dayanımı değeri (11,9 N/mm²) kontrol numunelerinin aynı gündeki değerinden yaklaşık %12 oranında fazladır. AAC₂ ve AAC₃'ün %10 oranında kullanıldığı numunelerin 1 günlük basınç dayanımları kontrol numunesine yaklaşmıştır.
- 11) Tüm bulgular irdelendiğinde AAC₁'in %5 ve %10 oranlarında kullanıldığı harç numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin, kontrol numunesininkine en yakın değerlere ulaştığı da bir gerçektir. Durum böyle olunca AAC₁'in %5 ile %10 oranında kullanıldığı numuneler söz konusu malzemenin kullanımında optimum oran aralığını oluşturduğu belirtilmelidir.
- 12) AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃'ün %5 ve %10 oranında kullanıldığı numunelerin 42,5 N dayanım sınıfındaki çimentonun TS EN 197-1 numaralı standartta ifade edilen erken (2 günlük) ve standart (28 günlük) dayanım koşullarını sağladığı görülmüştür. Burada, tüm numunelerin söz konusu standartta belirtilen priz süresi koşulunu da sağladığını belirtmek gerekmektedir.

4. ÖNERİLER

- 1) İçerisinde alkali olması nedeniyle beton üretiminde kullanılırken reaktif silis içeren agregalarla reaksiyona (alkali-agrega reaksiyonu) gireceği muhtemeldir. Dolayısıyla bu açıdan daha detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.
- 2) AÇ, AAC₁, AAC₂ ve AAC₃'ün %5 ve %10 oranlarda kullanıldığı numunelerin ilgili standarttaki dayanım koşullarını sağladığı görülmüştür. Ancak numunelerin dayanıklılık açısından da (sülfatlı sular gibi agresif etkiler, rötre, geçirimsizlik, vs) incelenmesi gerekmektedir.
- 3) Malzeme (AÇ) 500, 600 ve 700°C'de pişirilerek aktifleştirilmiştir. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda, döner fırında, ısı işlem gören AÇ'nun daha farklı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.
- 4) Deneylede puzolanik bir malzeme olan AÇ ile birlikte puzolan içeren CEM II/A-P çimentosunun kullanılması yerine puzolan içermeyen tipte bir çimentonun tercih edilmesiyle daha farklı sonuçlara ulaşılması muhtemeldir. Konunun bu açıdan incelenmesi de gerekmektedir.
- 5) Çalışmadan elde edilen sonuçların genellenmeden önce deneylerin daha çok sayıda ve katkı oranlarında gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Akıncı, Ö.T., 1999. Cevher Mikrobiyolojisi ve Mineral Tanımlamaları, S.D.Ü. yayını, Yayın no: 4, Isparta
- Albertin, P., Babato F., Faccni G., Mastella C. and Navazivo, G., 1990. Caratteristiche e possibilta di smaltimento dei fanghi di potalbilizzaione, Inquinamento, 1
- Angın, Z. ve Angın, A., 2005. Şişen Killerin Geoteknik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Adana, Bildiriler Kitabı, 365-379
- Aslan, M., 2007. İçme Suyu Arıtma Çamurunun Yonga Levha Üretiminde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Aslaner, M., 1995. Mineraloji I (Kristallografi), KTÜ Basımevi, Yayın No: 53, Trabzon
- ASTM C 618, 2005. Standart Specifications for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standarts
- Birdi, K.S., 2003. Scanning Probe Microscopes Applications in Science and Technology, CRC Press
- Çelik, İ.B. ve Öner, M., 2003. Atık Su Arıtma Filtre Kekinin Çimentoda Kullanımı, Madencilik, Ankara, 11-18
- Erdoğan, T. Y., 2007. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara
- Ergi, E., Bilgin, G. S., Zeybek, M. S. ve Asan, A., 2007. Endüstriyel Atık Katkılı Çimentoların Beton Dayanımı ve Donatı Korozyonuna Etkileri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 311-317
- Erguvanlı, K., 1978. Mühendislere Jeoloji, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu
- Faust, S.D. ve Aly, O.M., 1983. Chemistry of Water Treatment, Butterworth Publishers
- Göknil, H., Toröz, İ. ve Çimşit, Y., 1984. Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi, İTÜ Çevre ve Şehircilik Araştırma Merkezi
- Gülay, M., 2002. İçmesuyu Arıtma Tesislerinden Çıkan Çamur Atıklarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Kalat, D., 2002. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurlarının Bitkisel Yağ Sanayii Atıksularının Arıtılmasında Koagülant Olarak Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

- Karagüzel, O., Akkaya, H. ve Tezgel, İ., 2003. Trabzon Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisleri, Trabzon
- Kayranlı, B., 2001. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurlarının Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Koagülant Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana
- Kurt, K. ve Arık, F., 2003. Mineraloji, Atlas Yayın Dağıtım, Yayın No: 31, İstanbul
- Metcalf ve Eddy, 2003. Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, McGraw-Hill, 4th ed., Boston
- Şengül, F. ve Küçükgül, E.Y., 1995. Çevre Mühendisliği Fiziksel ve Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir
- T.C. Resmi Gazete, 1988. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Başbakanlık Basımevi 19919
- Terzaghi, K. ve Peck, R.B., 1969. Mühendislik Tatbikatında Zemin Mekaniği, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu
- TS 266, 2005. Sular – İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Uçar, G., 1997. Şehir İçme Suyu Arıtma Tesislerinde Çamur Atıklarının Değerlendirme Yollarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- URL-1 <http://www.istanbul.edu.tr/eng/insaat/akademik/kcelik/cimentodeneyle.pdf>, Çimento Deneyleri. 20.05.2008
- URL-2 http://images.google.com.tr/imgres?imgurl=http://www.controls.it/immagini/product_thumbs, Le Chatelier Balonu. 18.04.2008
- URL-3 http://www.controls.it/immagini/product_zoom/62-L0041-A.jpg, Blaine Aleti. 18.04.2008
- URL-4 <http://images.google.com.tr/imgres?imgurl=http://www.tim-ltd.com.tr/images>, Harç Karıştırıcı. 18.04.2008
- URL-5 http://www.controls.it/immagini/product_zoom/62-L009_F.jpg, Harç Kalıpları. 18.04.2008
- URL-6 http://www.controls.it/immagini/product_zoom/65-l12v2_web.jpg, Basınç Mukavemeti Aleti.18.04.2008
- Uzun, H., 2006. Trabzon İli Akarsularının Su Kalite Düzeylerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Ünlü, S., 2003. Kağıt Endüstrisi Atıksularının Arıtımında İçme Suyu Arıtma Tesisi Atık Çamurlarının Koagülant Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana

Yalçın, H. ve Gürü, M., 2002. Su Teknolojisi, Palme Yayıncılık, Ankara

Yeğınobalı, A. ve Ertün, T., 2007. Çımentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkıları, Ar-Ge Enstitüsü, Türkiye Çımento Müstahsilleri Birliği, Ankara

ÖZGEÇMİŞ

Nurcan HACISALİHOĞLU 1982 yılında Trabzon'da doğdu. İlk öğrenimini 1987-1992 yılları arasında bu ildeki İsmet Paşa İlkokulunda, orta öğrenimini 1992-1995 yılları arasında Yunus Emre Ortaokulunda, lise öğrenimini ise 1995-1998 yılları arasında Trabzon Lisesinde tamamladı. Yüksek öğrenimine 1999 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde başlayarak, bu bölümü 2002-2003 Eğitim-Öğretim yılı Haziran döneminde tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Kasım 2005'te KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Çevre Bilimleri Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. Bekar olan Nurcan HACISALİHOĞLU İngilizce bilmekte ve halen araştırma görevliliğine ve Lisanüstü Eğitim-Öğrenimine devam etmektedir.