

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YIKANMAYI ÖNLEYİCİ KATKILARIN SU ALTI
BETONU ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Göktürk KANDEMİR**

Anabilim Dalı: YAPI MÜHENDİSLİĞİ

Programı: YAPI MALZEMESİ UZMANLIK ALANI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet UYAN

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, değerli fikirleriyle bana yol gösteren, çalışmam boyunca bana ilgisi ve hoşgörüsüyle destek olan hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet UYAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda çalışmam sırasında gösterdikleri ilgi ve yardımlardan dolayı, NUH Beton Kalite Güvence Sorumlusu Sayın İnş. Yük. Müh. Mehmet MUTLU' ya, NUH Beton laboratuvarı çalışanlarına, SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş. Ar-Ge Kalite Kontrol Müdürü Sayın Kimya Müh. Nazmiye PARLAK' a, YKS Yapı Kimyasalları A.Ş. Ar-Ge Kalite Kontrol Müdürü Sayın Kimya Müh. Gülnihal AYKAN' a, malzeme ve maddi destekte bulunan Elkem Microsilica Firmasına teşekkür ederim.

Tüm öğrenim hayatım boyunca, benden maddi, manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her zaman ilgi ve hoşgörüsüyle yanımda olan aileme en içten sevgilerimle teşekkür ederim.

Haziran 2006

Göktürk KANDEMİR

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER	4
2.1. Sualtı Betonunda Kimyasal Katkıların Kullanılması	4
2.2. Sualtı Betonunda Su, Çimento, İnce Malzeme Bileşimi	5
2.3. Puzzolanlar	6
2.3.1. Puzzolanların tanımı ve sınıflandırılması	6
2.3.2. Puzzolanik reaksiyon	7
2.3.3. Uçucu küller	8
2.3.4. Silis dumanı	10
2.4. Puzzolanların Sualtı Betonunda Kullanılması	15
2.5. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkıların Etki Mekanizması	17
2.6. YÖK' ların Viskoziteye Etkisi	19
2.7. Sualtı Betonuyla İlgili Standartlar	21
2.8. Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
3.1 Malzemelerin Tanımlanması	27
3.1.1. Kum, kırmakum, kırmataş	27
3.1.2. Çimento	27
3.1.3. Uçucu kül	28
3.1.4. Silis dumanı	29
3.1.5. Su	29
3.1.6. Akışkanlaştırıcılar	29
3.1.7. Yıkanmayı Önleyici Katkılar	30
3.2 Beton Karışımları	31
3.3 Beton üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, Numune Boyutları	35
3.4. Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler	36
3.4.1. Taze Beton Deneyleri	36
3.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	39
4. DENEY SONUÇLARI	44
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları	44
4.1.1. Çökme-yayılma deneyi	44
4.1.2. Birim ağırlık deneyi	44
4.1.3. Yıkanma deneyi sonuçları	45
4.1.4. Oluk (Akıntı) deneyi sonuçları	46
4.1.5. pH deneyi sonuçları	47

4.1.6. Penetrasyon deneyi sonuçları	47
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	48
4.2.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları	48
4.2.2. Eğilme Dayanımı deney sonuçları	49
4.2.3. Ultrases deneyi sonuçları	50
4.2.4. Su emme deneyi sonuçları	51
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	51
5.1 Taze Beton Deney Sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.1.1. Birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.1.2. Çökme-yayılma deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.1.3. Yıkanma deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.1.4. Oluk (Akıntı) deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.1.5. pH deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	54
5.1.6. Penetrasyon deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	55
5.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	56
5.2.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	56
5.2.2. Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	60
5.2.3. Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	61
5.2.4. Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	61
6. GENEL SONUÇLAR, ÖNRİLER	62
KAYNAKLAR	65
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	92

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: Puzzolanların Sınıflandırılması ve türleri	7
Tablo 2.2: Tipik Bir Silis Dumanının Kimyasal Birleşimi	11
Tablo 2.3: Sualtı Betonunun Teknik Özellikleri	22
Tablo 2.4: Sualtı Betonunun Teknik Özellikleri	23
Tablo 2.5: Soucier ve Neeley'in yaptıkları çalışmaların sonuçları	24
Tablo 3.1: Agregalar' ın Fiziksel Özellikleri.....	27
Tablo 3.2: Çimentonun Mekanik Özellikleri	28
Tablo 3.3: Çimentonun Fiziksel Özellikleri	28
Tablo 3.4: Çimentonun Kimyasal Özellikleri	28
Tablo 3.5: Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri	28
Tablo 3.6: Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri	29
Tablo 3.7: Kullanılan Süperakışkanlaştırıcıların Teknik Özellikleri	30
Tablo 3.8: Yıkanmayı Önleyici Katkıların Teknik Özellikleri	31
Tablo 3.9: Malzemelerin elek analizi sonuçları.....	32
Tablo 3.10: 1m ³ ' e giren Gerçek Malzeme Miktarları	34
Tablo 4.1: Çökme-yayılma Değerleri	44
Tablo 4.2: Yıkanma Deneyi Sonuçları	45
Tablo 4.3: Oluk (Akıntı) Deneyi Sonuçları	46
Tablo 4.4: pH Deneyi Sonuçları	47
Tablo 4.5: Penetrasyon Deneyi Sonuçları.....	47
Tablo 4.6: Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	48
Tablo 4.7: Kiriş Numunelerde Rilem Kırılma Enerjisi Deney Sonuçları	49
Tablo 4.8: Ultrases Hızı Deney Sonuçları	50
Tablo 4.9: Su Emme Deneyi Sonuçları	50

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Silis dumanı tane boyu dağılımı	11
Şekil 2.2: Silis Dumanı İçeren ve İçermeyen Betonların Ara yüz Bölgesinin Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 2.3: Silis Dumanının Puzolan ve Boşlukları Doldurma Etkisi	15
Şekil 2.4: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması	18
Şekil 2.5: Bingham sıvısının Reolojik parametreleri.....	20
Şekil 2.6: Viskozite arttırıcı katkıların geleneksel betonlarla karşılaştırılması	21
Şekil 3.1: Beton karışımının granülometrisi ve referans eğrileri	32
Şekil 3.2: Çökme-yayılma testi deney düzeneği.....	36
Şekil 3.3: Yıkanma deneyi test düzeneği.....	37
Şekil 3.4: Oluk deneyi test düzeneği.....	38
Şekil 3.5: pH deneyi test düzeneği.....	38
Şekil 3.6: Penetrasyon deneyi test düzeneği.....	39
Şekil 3.7: Eğilme deneyi test düzeneği.....	41
Şekil 3.8: Eğilme dayanımı deneyi yükleme düzeni.....	41
Şekil 3.9: Ultrases deneyi test cihazı	42
Şekil 5.1:YÖK içermeyen Kontrol betonu ile yalnızca akışkanlaştırıcı kimyasal katkı içeren kontrol A ve B betonlarının yıkanma değerleri	68
Şekil 5.2: YÖK içeren betonlarda katkı türüne bağlı yıkanma değerleri.....	68
Şekil 5.3: %20 Uçucu kül içeren betonlarda YÖK türüne bağlı yıkanma değerleri.....	68
Şekil 5.4: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı içeren betonlarda YÖK türüne bağlı yıkanma değerleri.....	69
Şekil 5.5: YÖK içeren tüm betonların 1.yıkanma sonundaki yıkanma değerleri.....	69
Şekil 5.6: YÖK içeren tüm betonların 5.yıkanma sonundaki yıkanma değerleri.....	69
Şekil 5.7: YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak pHdeğerleri.....	70
Şekil 5.8: Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi	70
Şekil 5.9: YÖK'lü betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi.....	70
Şekil 5.10: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi.....	71

Şekil 5.11: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi.....	71
Şekil 5.12: YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak Ayırışma Direnci değerleri.....	71
Şekil 5.13: Su içerisinde alınmış kontrol katkılı betonların 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	72
Şekil 5.14: Su içerisinde alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	72
Şekil 5.15: Su içerisinde alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	72
Şekil 5.16: Su içerisinde alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri	73
Şekil 5.17: Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	73
Şekil 5.18: Havada alınmış kontrol katkılı betonların 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	73
Şekil 5.19: Havada alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	74
Şekil 5.20: Havada alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	74
Şekil 5.21: Havada alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	74
Şekil 5.22: Havada alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	75
Şekil 5.23: Su ve havada alınmış Kontrol katkılı betonların 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	75
Şekil 5.24: Su ve havada alınmış betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri	75
Şekil 5.25: Su ve havada alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	76
Şekil 5.26: Su ve havada alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	76
Şekil 5.27: Su ve havada alınmış numunelerin YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri	77
Şekil 5.28: Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi	77
Şekil 5.29: YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi	78
Şekil 5.30: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi	78

Şekil 5.31: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi.....	79
Şekil 5.32: Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi	79
Şekil 5.33: YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi.....	80
Şekil 5.34: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi.....	80
Şekil 5.35: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi..	81
Şekil 5.36: Su içerisinde alınmış kontrol katkılı betonların 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....	81
Şekil 5.37: Su içerisinde alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri	82
Şekil 5.38: Su içerisinde alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....	82
Şekil 5.39: Su içerisinde alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....	82
Şekil 5.40: Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük eğilme dayanımı değerleri.....	83
Şekil 5.41: Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi.....	83
Şekil 5.42: YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi	84
Şekil 5.43: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi.....	84
Şekil 5.44: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi.....	85
Şekil 5.45: Su içerisinde alınmış kontrol katkılı betonların 7,28 günlük ultrases hız değerleri.....	85
Şekil 5.46: Su içerisinde alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 7,28 günlük ultrases hızı değerleri.....	86
Şekil 5.47 : Su içerisinde alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük ultrases hızı değerleri.....	86
Şekil 5.48: Su içerisinde alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük ultrases hızı değerleri.....	86
Şekil 5.49: Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük ultrases hızı değerleri.....	87
Şekil 5.50: Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi.....	87

Şekil 5.51: YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi.....	88
Şekil 5.52: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi.....	88
Şekil 5.53: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi.....	89
Şekil 5.54: Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak Su emme değerleri.....	89
Şekil 5.55: Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi.....	90
Şekil 5.56: YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Su emme ilişkisi.....	90
Şekil 5.57: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi.....	91
Şekil 5.58: %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi.....	91

YIKANMAYI ÖNLEYİCİ KATKILARIN SU ALTI BETONU ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Betonarme deniz yapıları, üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde gelecekte daha büyük önem taşıyacaktır. Bu yapıların çoğunda su altına beton dökülmesi gerekecektir. Su altı tünelleri, petrol-doğalgaz platformları, Çanakkale boğazı ve İzmit körfezini geçecek büyük açıklık köprülerinin ayakları gibi gelecekteki inşaatlarda su altı betonu sıklıkla kullanılacaktır.

Betonun viskozitesini, akışkanlığını bozmadan arttıran kimyasal katkıların bulunması, su altı beton teknolojisinde bir devrim yaratmıştır. Su altında beton dökümü yapılırken, çimento betondan ayrılarak, suyun bulanmasına sebep olur, böylece betonun basınç dayanımında önemli azalmalar oluşabilir. Bu problemin çözümü amacıyla su altı betonlamasında Yıkanmayı Önleyici Katkılar (YÖK) kullanılır.

Çalışmamız; su altı betonu hakkında ülkemizde yapılan çalışmaların ilki olup, oluşturulan deney yöntemleri ve elde edilen sonuçların bundan sonra yapılacak çalışmalara yol göstereceğini umut etmekteyiz.

Çalışmamız da YÖK olarak; aynı firma tarafından üretilen selüloz esaslı toz katkı ile, Poli Etilen oksidi katkısı ayrıca bir diğer firma tarafından üretilen selüloz esaslı toz ve sıvı haldeki YÖK kullanılmıştır. Beton üretimleri sırasında su ihtiyacını yüksek oranda su azaltan Hiper akışkanlaştırıcı (HA) katkısı kullanılmıştır. Yalnızca kontrol betonunun birinde HA katkının yıkanmaya olan etkisini araştırmak amacıyla aynı oranda karışıma farklı bir HA katkı ilave edilmiştir. Betonun sualtında donatılar arasına rahatça yayılabilmesi ve betonun kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetinin sağlanabilmesi amacıyla betonun çökme-yayılması 50cm’de sabit tutulmuş ayrıca mineral katkıların kullanıldığı bölümlerde ikameli olmak üzere toplam bağlayıcı miktarı 400 kg/m³’de sabit tutulmuştur.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. YÖK’ ların kullanılmadığı birinci bölümde akışkanlaştırıcı kimyasal katkı içermeyen, ayrıca iki farklı firmanın ürettiği HA katkı ile üç adet kontrol betonu üretilmiştir. İkinci bölümde YÖK’ lar denenmiştir. Üçüncü bölümde karışıma toplam bağlayıcı miktarının % 20’si oranında ikameli olarak uçucu kül ilave edilerek YÖK’ lar denenmiştir. Dördüncü bölümde ise karışıma toplam bağlayıcı miktarının % 12,5’u oranında uçucu kül, %7,5 oranında silis dumanı ikameli olarak ilave edilerek YÖK’ lar denenmiştir. Deneysel çalışmalar betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla iki bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde betonun taze haldeki özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla betonun çökme-yayılması, birim ağırlığı, yıkanması, segregasyona olan direncini ölçmek amacıyla penetrasyon deneyi, betonun su içerisindeki bulanıklığını ölçmek amacıyla pH testi, betonun akış kabiliyetini ve işlenebilmesini ölçmek amacıyla oluk(akıntı) testleri uygulanmıştır.

Su altı betonunun sertleşmiş haldeki özelliklerinin araştırıldığı ikinci bölümde; betonun su içerisinde alınan 3,7,28 günlük, havada alınan 7 ve 28 günlük numuneleri üzerinde basınç dayanımı testleri, su içerisinde alınan 7 ve 28 günlük eğilme numuneleri üzerinde eğilme deneyinin yanı sıra, ultrases hızı ve betonun su emme miktarları ölçülmüştür.

EFFECTS OF ANTIWASHOUT ADMIXTURES ON FRESH CONCRETE PROPERTIES

SUMMARY

In our country surrounded with sea on three sides, reinforced concrete marine structures will gain more importance in future. It will be needed to pour underwater concrete in most of the structures. Underwater concrete will be used in constructions, such as underwater tunnels, petroleum and natural gas platforms, the feet of long-span bridges that will cross the Dardanelles and the Gulf of Izmit.

Development of chemical admixtures increase the viscosity of concrete without reducing the fluidity, is a revolution in underwater concrete technology. While pouring concrete underwater, cement may get separated from concrete and can get dissolved in water, consequently serious decrease in strength of concrete may be experienced. In order to solve this problem in underwater concreting Antiwashout Admixtures AWA's are being used.

In our country, our study is the first one that's focused on underwater concreting. We hope that the laboratory methods we applied and the conclusions we got will lead new studies in the future.

In this study as AWA, we used cellulose based powder and poly-ethylene oxide that are produced by the same factory and another powder and liquid on cellulose produced by a second company. While production of concrete demand of water is highly reduced by a hyper plasticizer ingredient is used. Only in one of control concrete, a second hyper plasticizer was used with same amount, with aim of searching the effect of ingredient in washing. To provide concrete to pass through the reinforcement underwater slump flow is kept at 50 cm level constant, also in mixtures which mineral ingredients are used, binder amount is kept at 400 kg/m³ constant level, including cement replacement.

The study consists of four main parts. In the first part where AWA are not used, three control concretes one of which without hyper admixtures and two of which with hyper admixtures belonging to the different companies with hyper plasticizer are produced. In the second part, AWA is tested. In the third part, AWA are tested by adding fly ash into the mixture as 20% cement replacement. In fourth part, AWA is tested by adding fly ash to the mixture 12,5% of total binding amount, and adding silica fume 7,5% as replacements. Laboratory studies are divided into two parts to figure out the properties of concrete on fresh and hardened state.

In the first part fresh state of concrete is researched. With this aim, slump flow of concrete, its unit weight, its washing, resolution ring experiment with aim of measuring its resistance to segregation, pH test to measure turbidity in water, flow test for measuring flowing ability- process ability of the concrete are applied.

In the second part where the hardened properties of concrete are studied, compressive strength tests were applied in samples taken from in water in 3, 7 and 28 days, and from air in 7 and 28 days, flexural strength tests are applied on samples taken from water in 7 and 28 days, also ultrasound speed and water absorption amounts are measured.

1 GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Su altı betonu dünya üzerinde pek çok önemli projede kullanılmış olsa da ülkemizde uygulaması çok sık görülmeyen bir beton türüdür. Bu çalışma, ülkemizde sualtı betonu üzerinde yapılan, ilk çalışmalardan biri olup, bu beton türünün ileriki yıllarda sıklıkla kullanılacağı düşüncesi ile beton üretiminde yıkanmayı önleyici katkıların (bundan sonra YÖK olarak bahsedeceğiz) betonun taze ve sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkilerini daha iyi anlaşılmasını amaçlayan bir çalışmanın sonuçlarını göstermektedir.

Günümüzde sualtı betonu su içerisindeki [1];

- Köprü, payanda temelleri ve döşemelerinde,
- Liman dalgakıranları, iskele kazıklarında,
- Su altı ulaşım tünellerinde, (demiryolu, karayolu)
- Su altı yapılarının kenarlarının sürüklenmesini önlemek için,
- Nehir yataklarının korunmasında,
- Dalgakıran betonarme bloklarının betonlanması da,
- Betonarme keson imalatlarında,
- Su altı yapılarının tamiratları gibi pek çok önemli projede uygulanmaktadır.

Bu çalışmada YÖK olarak; Sika Yapı Kimyasallarının ürettiği selüloz esaslı toz Sika UCS-01 ve Poli Etilen oksidi ile YKS Yapı kimyasallarının ürettiği selüloz esaslı toz Rheomac UW 400 ile sıvı halde Rheomac UW 450 katkıları kullanılmıştır. YÖK' ların kimyasal içerikleri ve betonun işlenebilmesine olan etkileri farklı olması sebebiyle betonun yıkanmasını minimuma indiren katkı dozajı ve su/çimento oranı ön çalışmalar ile belirlenmiştir. Çalışmada selüloz esaslı toz katkılar %1,0 oranında, selüloz esaslı sıvı katkı %0,7 oranında, poli etilen esaslı katkı %0,3 oranında karışıma ilave edilmiştir. Beton üretimleri sırasında su ihtiyacını yüksek oranda azaltan, yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olan ve YKS Degussa firması tarafından üretilen Glenium 27 akışkanlaştırıcı katkısı

kullanılmıştır. Yalnızca kontrol betonunun birinde aynı oranda SİKA viskocrete VP 27, katkının yıkanmaya olan etkisini araştırmak amacıyla aynı oranda karışıma ilave edilmiştir. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar çimento ile YÖK arasında köprü oluşturması sebebiyle YÖK' lardan önce betona eklenmiş ve %1,2 oranında kullanılmıştır. Betonun sualtında donatılar arasına rahatça yayılabilmesi ve betonun kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetinin sağlanabilmesi amacıyla betonun çökme-yayılması 50cm'de sabit tutulmuş ayrıca mineral katkıların kullanıldığı bölümlerde ikameli olmak üzere toplam bağlayıcı miktarı 400 kg/m³'de sabit tutulmuştur. Su altı betonunun viskozitesinin yüksek olması sebebiyle terleme meydana gelmemektedir. Bu nedenle bu çalışmada terleme ile ilgili bir tartışmaya yer verilmemiştir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. YÖK' ların kullanılmadığı birinci bölümde akışkanlaştırıcı kimyasal katkı içermeyen ayrıca iki farklı firmanın ürettiği yeni nesil süper akışkanlaştırıcı ile üç adet kontrol betonu üretilmiştir. İkinci bölümde YÖK' lar denenmiştir. Üçüncü bölümde karışıma toplam bağlayıcı miktarının % 20'si oranında ikameli olarak uçucu kül ilave edilerek YÖK' lar denenmiştir. Dördüncü bölümde ise karışıma toplam bağlayıcı miktarının % 12,5'u oranında uçucu kül, %7,5 oranında silis dumanı ikameli olarak ilave edilerek YÖK' lar denenmiştir. Deneysel çalışmalar betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini belirlemek amacıyla iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde betonun taze haldeki özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla;

- Betonun sualtına vibrasyon etkisi olmadan yerleştirilmesi, betonun sualtında yıkanma direncini artırır bu nedenle sualtı betonlarında kendiliğinden yerleşme özelliğinin olması istenir. Bu sebeple sualtı betonu için önemli bir parametre olan işlenebilmeyi ölçmek amacıyla beton numunelerinin çökme-yayılması ölçülmüştür.
- Tüm üretilen taze beton numunelerinin gerçek birim ağırlıkları ölçülmüştür.
- Betonun segregasyona karşı direncini ölçmek amacıyla penetrasyon deneyi gerçekleştirilmiştir.
- Betonun sualtına yerleşmesi esnasında çimento gibi ince taneli bağlayıcılar ayrışabildiğinden, betonun su içerisindeki bulanıklığını ölçmek amacıyla beton numunelerine pH testi uygulanmıştır.
- Betonun sualtına yerleştirilmesi esnasında suya karşı direncini ölçmek amacıyla her üretilen taze beton numunesinin yıkanması ölçülmüştür.

- Akışkanlık sualtı betonunun demir donatılar arasını doldurabilme kabiliyetine olan etkisinden dolayı önemli bir parametredir. Bu amaçla betonun akış kabiliyetini ölçmek amacıyla Oluk (Akıntı) testi uygulanmıştır.

Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde sertleşmiş beton özellikleri araştırılmıştır.

Bu amaçla;

- Su altı beton yapılarının dizaynı için önemli özelliklerinden biri olan basınç dayanımı, aynı anda sualtında üretilen 3,7,28 günlük ve havada üretilen 7 ve 28 günlük küp numuneler üzerinde ölçülmüştür.
- Su altı betonunun eğilme dayanımı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla su içerisinde 7ve 28 günlük eğilme numuneleri üretilmiştir.
- Ses dalgalarının beton içerisindeki yayılma hızlarını belirlemek amacıyla üretilen 28 günlük eğilme numuneleri üzerinde Ultrases deneyi gerçekleştirilmiştir.
- Su altı betonunun su emmesini ölçmek amacıyla 28 günlük eğilme numuneleri üzerinde su emme deneyi gerçekleştirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Sualtı Betonunda Kimyasal Katkıların Kullanılması

Geçmişte kimyasal katkıların kullanılmaması sebebiyle sualtı betonunun karışım oranında kohezyon ve akışkanlık arasında mukayese yapılarak, yüksek akışkanlığın betonda düşük kohezifliğe sebep olduğu sonucuna varıldı buyüzden beton yayılımı ve izin verilebilen akış mesafesi ortalama 150mm ile 5m arasında sınırlandırılırdı. Bu sınırlamalar önemli ölçüde sualtı betonu uygulamalarını engellemiştir. YÖK (Yıkanmayı Önleyici Katkı) ve HA (Hiper Akışkanlaştırıcı) 'ların gelişimi sualtı betonunun gelişiminde bir devrim yapmasına sebep olmuştur. Sualtı betonu şimdi daha düşük bir su/çimento oranında yüksek akışkanlığı başarmış aynı zamanda betonun segregasyonu, su itmesini ve çimentonun yıkanma direncini arttırarak kohezyonunu arttırmıştır [2]. Bir YÖK esasen selüloz polimerleri veya uzun sakkarit zincirlerinden ibarettir. Bu katkılarının ana hedefi betonun sualtına yerleştirilmesi esnasında agreganın dağılmasını (segregasyonu) önleyerek, çimento gibi ince taneciklerin yıkanmamasını sağlamaktır. Katkı; beton harcındaki suyun tutunmasını sağlayarak, viskoziteyi artırma işlevini de görür. Çünkü uzun zincir polimerleri beton harcındaki su moleküllerinin dış yüzeylerine yapışarak su moleküllerini emerek sabitler, böylece genişlemesine sebep olurlar. Bu suretle moleküller birbirlerine sarılarak çekim güçleri genişler. Böylece suyun hareketine daha fazla engel olarak betonun jelleşmesine ve viskozitenin artış göstermesine neden olurlar [3]. Taze betona HA katkı eklendikten sonra YÖK eklenir. Böylece çimento tanelerinin tümüyle dağınık olduğu varsayılarak YÖK ile çimento taneleri arasında gerekli köprüyü oluştururlar. Taze betona eklenen YÖK ve HA olmaksızın beton aynı işlenebilmeye sahip olamaz. Diğer taraftan YÖK ve HA katkıların doz aşımalarında geciktirici etkilerinden dolayı aşırı derecede betonun prizini geciktirirler. Aşırı gecikme betonun kürü sırasında sıcaklığın düşmesine buda betonun aşırı terlemesine ve beton dayanımında onarılmaz hasarlara yol açabilecektir. Hava sürükleyici katkıları genel olarak betonun işlenebilirliğini arttırır ancak hava

sürüklenmiş beton farklı hava içeriklerinin oluşmasına neden olacağından termi yöntemiyle betonun yerleştirilmesi için her zaman uygun olmayabilir. Bileşimde hava sürüklemenin sıcaklığa, beton dağıtım ve yerleştirme tekniğine, su derinliğine ve diğer katkıların uygunluğu gibi pek çok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin kontrolünün zor olması sebebiyle sualtı betonunda betonun sonradan meydana gelecek donma ve çözünme etkisinden kaçınmak için hava sürükleyici katkılar kullanılmasında tedbirli olunmalıdır [2].

Su altı betonunda sıklıkla kullanılan Yıkanmayı Önleyici Katkılar (YÖK) akrilik tipi, poli etilen tipi ve selüloz türevleridir. Akrilik tipi (poliakrilamit ve sodyum akrilat) katkıların ana malzemesi poliakrilamit polimerlerdir. Selüloz türevi katkılar iyonik olmayan suda çözünebilir selüloz eteridir.

Kawai, suda eriyen polimerleri şöyle sınıflandırmıştır.

- Nişasta, doğal reçine polisakaritler (Welan gum, kelzan gum) ve bitkisel protein içeren doğal polimerler.
- Ayırılmış nişasta ve türevlerini içeren yarı sentetik polimerler, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz HPMC, hidroksi etil selüloz HEC ve karboksil metil selüloz CMC) ve elektrolitler (sodyum alginat).
- Etilen bazlı sentetik polimerler (poli etilen oksit), vinil bazlı sentetik polimerler (polivinil alkol) [3,4].

Bu katkılar reoloji düzenleyici olarak bilinen suda eriyebilen, viskozite düzenleyici polimerlerdir. Bunlar karışım suyunun viskozitesini arttırarak çimento hamurunun süspansiyon altında bileşenlerini korumasını ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalarak ayrışmasının önlenmesini sağlarlar [5].

2.2 Su Altı Betonunda Su, Çimento, İnce Malzeme Bileşimi

Genel olarak betonun işlenebilirliği su/ince malzeme oranı, çimento miktarı, kullanılan kimyasal katkıların dozajı gibi çeşitli değişkenlerin ilişkisine bağlıdır. Tipik sualtı betonu karışımlarında çimento içeriği $360 \sim 500 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Bu oranların üzerinde çimento kullanımı betonun sualtına yerleştirilmesini güçleştirecektir. Geçmiş deneyimler yüksek oranda çimento kullanımının sualtı betonunun kalitesini arttırdığı yönündedir. Uzun yıllardır anlaşıldı ki yüksek çimento miktarı betonun sualtına yerleştirilmesi esnasında yıkanmayı azaltıcı bir rol oynamıştır. Çalışmalar gösterdi ki yüksek çimento miktarı hem işlenebilmeyi hem de

sualtı betonunun dayanımını sağlamak için gereklidir. Çimento oranının diğer taneler ile yer değiştirmesi sualtı betonunun performansını düşürüp düşürmeyeceği ise bir soru işaretidir. İyi bilinir ki yüksek kum içeriği betonun kohezyonunu artırır. Geçmiş uygulamalar kum miktarının artırılması betonu sualtına yerleştirilmesi sırasında çimentonun yıkanma eğilimini azalttığı yönündedir. Buda gösterir ki ince malzeme miktarının artması yıkanma direncinin artmasının direk bir sonucudur. Su / ince malzeme oranı sualtı betonunun işlenebilmesini güçlü bir şekilde etkiler. İnce malzemeden kasıt çimento, puzzolanlar, cüruf, kireç taşı gibi uygun bağlayıcılardır. Hacimce 0,85 ile 1 aralığında su / ince malzeme oranı akışkanlık ile gerekli kohezyon arasında iyi bir denge sağlar [2].

2.3 Puzzolanlar

Puzzolan ismi, İtalya'daki Vezüv yanardağının eteklerinde bulunan "Pozzuoli" isimli kasabanın adından alınmıştır. Milattan yaklaşık 100 yıl önce, eski Romalılar, Pozzuoli kasabasının civarında volkanik kül ile söndürülmüş kirecin suyla bağlayıcılık özelliği gösterdiğini fark etmişlerdir. O nedenle, sualtında sertleşme gösterebilen bu malzeme, puzzolan ismiyle anılmaya başlanmıştır[6].

2.3.1 Puzzolanların tanımı ve sınıflandırılması

Betonda kullanılan mineral katkı maddeleri Portland çimentosuna benzer mineralojik ve kimyasal bileşimler ile fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık yetenekleri yoktur. Bu maddeler, puzzolanik aktiviteleri nedeniyle hidrasyon ürünlerinin oluşumunda etkinlik göstererek bağlayıcı hamur yapısını değiştirirler. Böylece betonun çeşitli özellikleri iyileştirilirken, puzzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını, agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artmasını sağlamakta ve yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir.

Tanım olarak puzzolanlar, yalnız başına kullanıldığı zaman bağlayıcı özelliği olmayan fakat kireç veya çimento ile karıştırıldığı zaman suyla yaptığı reaksiyon sonunda bağlayıcı madde özelliği kazanan maddelerdir.

Puzzolan denilen maddelerin içinde fazla miktarda kollodial halde silis ve alümin bulunmaktadır. Bir puzzolana Portland çimentosu karıştırıldığı zaman çimentonun

hidratasyonu sonunda meydana gelen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile SiO_2 ve Al_2O_3 arasında olan reaksiyon sonunda Pozzolan bağlayıcılık özelliğine sahip olabilir [6].

Pozzolanların sınıflandırılması ve türleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Pozzolanlar	
Doğal Pozzolanlar	Yapay Pozzolanlar
Volkanik cüruflar	Uçucu küller
Volkanik tüfler	Yüksek fırın cürufu
Opalin silika	Silis dumanı
Ponza taşları	Pirinç kapçığı külü
Pişmiş (kalsine) kil veya şeyl	Demirli olmayan cüruflar
Çert	Öğütülmüş pişmiş kil

2.3.2 Pozzolanik reaksiyon

Pozzolanik malzemenin söndürülmüş kireçle ve suyla ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, pozzolanik aktivite olarak adlandırılmaktadır. Pozzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda (silis+ alümin+demir oksit) içermesi gerekmektedir. Pozzolanik aktivite, pozzolanik malzemeye yapılan deneyler sonucunda tayin edilmektedir. Pozzolan ve Portland çimentosu karışımı hidratasyona girince pozzolanik reaksiyonun etkisiyle bağlayıcı hamurdaki serbest kireç miktarı giderek azalmaktadır. Belirli bir süre sonunda Pozzolan içeren betonların çimento hamurunda, Portland çimentosu hamuruna oranla daha az serbest kireç ve daha çok kalsiyum silikat hidrate bulunmaktadır. Daha çok bağlayıcı ürün oluşması, mukavemet artışına neden olurken, serbest kirecin azalması, hamur boşluk yapısının iyileştirilmesini sağlamakta, geçirimsizliği ve dolayısıyla zararlı dış etkilere dayanıklılığı arttırmaktadır. Ayrıca pozzolanlı çimentoların teknik olarak sağladıkları önemli yararlar vardır. Bunlar arasında, hidratasyon ısısının yavaş olması, sülfatlara karşı dayanıklı olmaları, terlemeyi ve ayrışmayı azaltmaları, işlenebilirliği kolaylaştırmaları sayılabilir. En önemli dezavantajlarıysa, dayanım artış hızlarının yavaş olmasıdır [6].

2.3.3 Uçucu küller

Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelebilecek problemleri en aza indirmektedir. Bu amaçla, küller mekanik veya elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde ya da başka uygun yerlerde depolanır. İnşaat mühendisliği alanı, atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi açısından, yüksek hacimlerde malzeme kullanımına olanak verdiği için çok uygundur ve bu alandaki uygulamalarda stabilitenin sağlanabilmesi için malzemenin kompakt hale getirilmesi gerektiğinden, çevre kirliliği problemi minimuma inmektedir.

Her yıl artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla artan miktarlarda yapılan kömür tüketimi, üretilen uçucu kül miktarlarını da büyük hızla arttırmaktadır. Ülkemizde halen üretilmekte olan uçucu küller ya kuru olarak atık depolarına atılmakta ya da suyla karıştırılmak suretiyle kül barajlarına pompalanmaktadır.

Her iki durumda da çevrenin kirlenme riski vardır. Bu kirliliği önlemek amacıyla ve aynı zamanda ucuz bir kaynak olarak uçucu kül çeşitli alanlarda değerlendirilebilir. Bu alanlar; çimento üretiminde puzzolanik katkı maddesi ve beton içinde ikincil bağlayıcı madde olarak çimentoyla birlikte, tuğla ve yapı bloğu üretiminde, suni agrega üretiminde, enjeksiyon uygulamalarında, dolgu malzemesi olarak, yol inşaatlarında temel altı tabakası olarak zemin iyileştirilmesinde, atıkların stabilizasyonunda, zirai amaçlar gibi alanlarda kullanılabilir.

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür.

Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır.

TS EN 450'de ise uçucu kül, pulverize kömürün yakılmasından elde edilen, puzzolanik özelliklere sahip olan ve esas olarak SiO_2 , Al_2O_3 'den meydana gelen, ENV 197-1'de belirtildiği gibi tarif ve tayin edilen reaktif SiO_2 muhtevası kütlece en az %25 olan, başlıca küresel ve camsı taneciklerin ince tozu olarak belirtilmiştir [6].

2.3.3.1 Uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri

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

ASTM C618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar.

1. F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılmaktadır. F sınıfı uçucu küller, puzzolanik özelliğe sahiptirler.
2. C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [6].

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve süreç koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfürizasyon gibi) bağlıdır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, diğerleri SO_3 , MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca, yanmamış karbon ve bunun yanı sıra titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de eser bileşen olarak bulunabilmektedir.

Temel oksitlerin uçucu külün içinde bulundukları oranlardan yukarıda söz edilmişti. Diğer oksitlerden MgO en fazla %5.0, alkali oksitler ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) %5.0'in altında bulunmaktadır. SO_3 , genellikle %0.2-2.5 arasında değişebilmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre %10'a kadar yükselebilmektedir. Ancak, standartlardan özellikle TS EN 450 standardı, SO_3 değerini en fazla %3 olarak dar bir aralık ile sınırlamaktadır. Ayrıca belirtildiği üzere MgO , hidratasyon sonucunda betonda genleşmeye yol açmaktadır. SO_3 , sertleşmiş betonda etrenjit oluşumuna ve böylece çok büyük genleşmelere neden olmaktadır. Bu yüzden de bu iki bileşenin uçucu külde çok fazla miktarda olması istenmemektedir. Uçucu küllerde çok az miktarda nem de bulunabilmektedir. ASTM C 618 uçucu küllerdeki nem miktarının %3'den fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir[6].

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri

Uçucu küller, genel olarak gri renklidirler; içlerinde yanmamış karbon (yanmamış kömür parçacıkları) miktarı fazla olduğu takdirde renkleri daha koyudur. Tipik olarak küresel şekilde olan uçucu kül parçacıklarının çapları 1-150µm arasında değişiklikler göstermektedir; bu parçacıkların %75'inin veya daha fazlasının çapı 45µm'den küçüktür. Kül parçacıklarının içi dolu veya boş olabilmektedir. İçeri boş olan kül parçacıklarının miktarı toplam külün ağırlık olarak yaklaşık %5'i, hacim olarak %20'si kadardır. Uçucu küllerin yoğunluğu 2.2-2.7 kg/m³ mertebesinde [6].

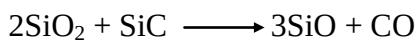
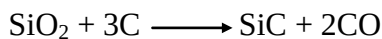
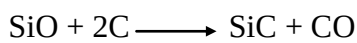
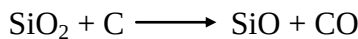
2.3.4 Silis dumanı

Silis dumanı silisyum ya da ferrosilisyum alaşımlarının üretimleri sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında, yüksek sıcaklıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Yaklaşık 2,20 kg/dm³'lük bir özgül ağırlığa sahip olan silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli ve küresel taneciklerden meydana gelir. Özgül yüzeyi, taneler arasından geçen havanın geçiş hızını esas alan Blaine metodundan farklı olarak azot adsorpsiyonu ile tayin edilmektedir.

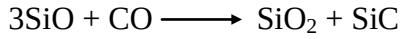
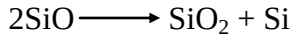
İlk olarak 1950'lerde Norveç Teknik Enstitüsünde yapılan, silis dumanı içeren betonlarla ilgili deneyler, 1970'lerde ayrıntılı olarak yapılmaya başlandı ve bazı çalışmalar yayınlandı. Mikro silis, ferrosilikon ve amorf silis gibi isimlere de sahip olan silis dumanı 1980'lerin başından itibaren birçok ülkede daha yaygın bir şekilde araştırıldı ve uygulamada da kullanılmaya başlandı [7].

Özellikle zirkonyum endüstrisinden elde edildiğinde en iyi sonucu veren silis dumanının üretim aşamasında, büyük elektrik ocaklarında 2000° C' ye kadar ısıtılan kuvars (SiO₂), doğal silikon ve gaz halindeki silikon monoksit indirgenir. Daha sonra gaz halindeki silikon monoksit, hava ile temasta olan açık elektrik ocağında oksitlendirilerek tekrar SO₂ oluşturulur.

Karışım ısıtıldığında;



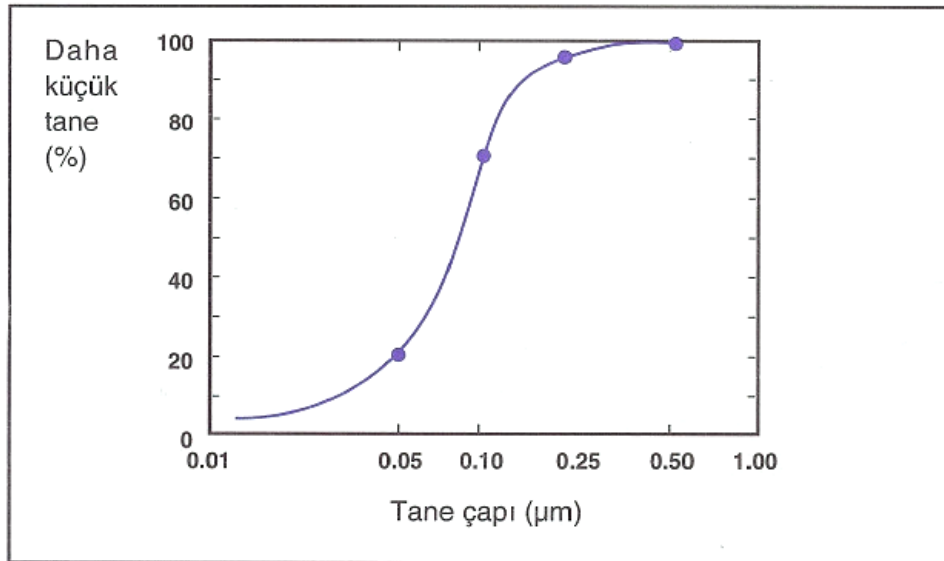
Fırın gazı soğutulduğunda;



Çimentodan yaklaşık olarak 100 kat daha ince olan silis dumanının ortalama tane boyutu $0.1\mu\text{m}$ civarındadır. Tablo 2.2. de tipik bir bileşimi yer alan silis dumanının ortalama tane boyu dağılımı da Şekil 2.1 de görülmektedir.

Tablo 2.2: Tipik Bir Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi [7].

Kimyasal Bileşen	Ağırlıkça Yüzde	Kimyasal Bileşen	Ağırlıkça Yüzde
SiO_2	93	MgO	0,6
Al_2O_3	0,4	SO_3	0,3
Fe_2O_3	0,8	Alkali	0,96
CaO	0,6		



Şekil 2.1: Silis dumanı tane boyu dağılımı [7].

2.3.4.1 Silis dumanının betonun mekanik özelliklerine etkileri

Su / çimento oranının seçimi, üretilecek betonun dayanımı ve dayanıklılığı göz önüne alınarak yapılmaktadır. Bu iki kıstasa dayanarak bulunan su/çimento oranlarından daha küçük olanı üretimde kullanılmak üzere seçilir. Kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı betonlarda bu değer önemli ölçüde küçüktür ve bu da

dayanımı arttırmaktadır. Beton üretiminde kullanılan suyun bir kısmı çimentonun hidratasyonunda işlev görürken, bir kısmı da hidratasyon tepkimelerine girmeden serbest su olarak kalır. Silis dumanının kullanılması, betondaki serbest su miktarını azaltarak çimento hamuru ara yüzeylerinde daha boşluksuz bir yapı oluşmasını sağlar. Bu sayede hidrate olmuş çimento tanelerinin, birbirleri ile ve agrega ile aderansı artarak dayanım artmaktadır. Silis dumanının dayanımı arttırıcı bir diğer özelliği de puzzolanik başka bir ifade ile ikincil bağlayıcı özelliğe sahip olmasıdır. Malzemenin bu karakteri, betonun mikro yapısını iyileştirerek betonun dayanım ve durabilitesinin artmasını sağlamaktadır. Kusurları azaltıcı özelliği nedeni ile kullanılan silis dumanı, gevrekliğin artmasına neden olsa da, günümüzde yaygın biçimde kullanılan lifler sayesinde hem dayanımı hem de sünekliği yüksek, mükemmel enerji yutma kapasitesine sahip betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır [7].

2.3.4.2 Silis dumanının betonun fiziksel özelliklerine etkileri

Üretilen betondan beklenen ana niteliklerden biri de malzemenin taze halde iken işlenebilir olmasıdır. Başka bir ifade ile malzeme kolay karıştırılabilirmeli, kolay yerleştirilip sıkıştırılabilirmeli ve karıştırma işlemi sırasında ya da taşıma işlemi sırasında bile bozulma ihtimali bulunan homojenliğin korunması için ayrışmanın meydana gelmesi önlenmelidir. Silis dumanı içeren betonlarda işlenebilme, düşük su/çimento oranı ve silis dumanının kullanılmasıyla artan kohezif yapı nedeni ile geleneksel betonlara göre zorlaşarak, kullanılması gereken karışım suyu miktarı artmaktadır. KYB (Kendiliğinden Yerleşen Beton)' de bu problem süper akışkanlaştırıcıların kullanılması ile çözülmektedir. Bununla beraber silis dumanının kullanılması ile oluşan yoğun yapı nedeni ile betonda segregasyon ihtimali de azalmaktadır. Böylece homojen ve boşluksuz bir yapı oluşarak malzemenin dayanımı ve durabilitesi artmaktadır. Özellikle kimyasal etkilere ve donma-çözünme gibi tepkimelere yoğun olarak maruz kalan ve bu nedenle boşluksuz yapının tercih edildiği, yüksek dayanımlı betonlarda bu özellik önem kazanmaktadır [7] .

2.3.4.3 Silis dumanının, betonun durabilitesine olan etkileri

Malzemenin, yapının ömrü boyunca özelliklerini koruması anlamına gelen durabiliteyi kavrayabilmek için betonda hasar meydana getiren fiziksel ve kimyasal etkilerin bilinmesi gerekmektedir. Bu etkilerden bazıları;

- Donma - Çözünme etkileri,
- Islanma - Kuruma (Şişme – Büzülme) etkileri,
- Temas edeceği sulardaki ve havadaki kimyasal maddelerden zarar görme,
- Kendi içindeki kimyasal reaksiyonlardan zarar görme .

Geçirgenlik betonun durabilitesini belirleyen en önemli unsurdur. Beton bileşimine kullanılan malzemelerin özelliklerine, betonun kalıplara yerleştirilmesine ve kür koşullarına önemli ölçüde bağlı olan geçirgenlik, hidratasyon sürecinden de etkilenmektedir. Silis dumanı kullanılması ile oluşabilecek boşluk miktarı, boşluk çapı ve boşluklar arasındaki bağlantılar azalmakta, ara yüzey olarak ifade edilen bölgede de yoğunluk arttığı için geçirimsizlik azalmaktadır. Hidratasyon sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan kalsiyumhidroksiti de bağlayan silis dumanı, zararlı kimyasalların ve dışarıdan gelmesi muhtemel suyun difüzyonunu engelleyerek durabiliteyi olumlu yönde etkilemektedir. Bilindiği gibi çimento hamuru gözenek sıvısında bulunan alkaliler, agregadaki aktif silis ile reaksiyona girerek betona zarar vermektedir. Yapay puzzolan olan silis dumanının ortamda bulunması halinde ise silis dumanının bu alkalileri hızla bağlamasından dolayı bu reaksiyon zorlaşmakta ve betonun zarar görmesi engellenmektedir. Bu olumlu etkileri sayesinde silis dumanı, durabilitesi yüksek ve uzun ömürlü beton üretilmesine olanak sağlamaktadır [7].

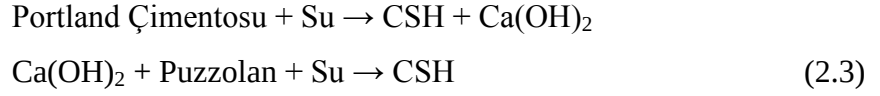
2.3.4.4 Silis dumanının betonun mikro yapısı üzerindeki etkileri

Silis dumanının betonun mikro yapısı üzerinde iki önemli etkisi vardır. Bunlar puzzolanik ve boşlukları doldurma etkisidir.

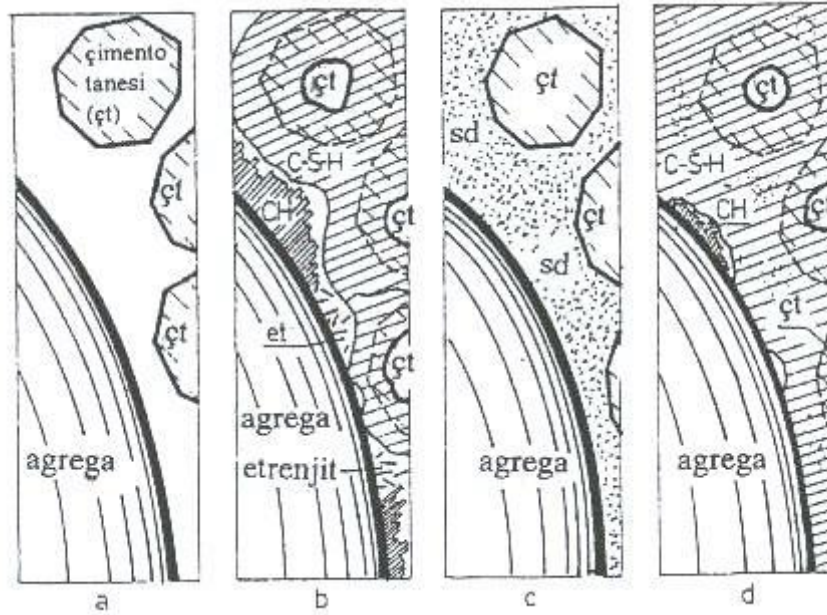
a) Puzzolanik etki

Çimento ile suyun etkileşimi sonucunda hidratasyon tepkimeleri ile çeşitli ürünler ortaya çıkmaktadır ve bunlardan kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) ile kalsiyum silikat hidrate puzzolanik özelliğin anlaşılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Puzzolanik özelliğe sahip katkı maddeleri karışıma katıldığı zaman, tek başına bağlayıcı olmamalarına rağmen, çimentonun hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum

hidroksit ile tepkimeye girerek hidrolik bağlayıcı kalsiyum silikat hidrateyi (CSH) oluştururlar [1]. Böylece aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;



Bu reaksiyonların sonucunda, temas yüzeyinde devamlı faza göre daha yüksek porozitenin olduğu, hidratasyon ürünlerine ait daha büyük kristal tanelerinin şekillendiği ve çökelmiş Ca(OH)_2 kristallerinin biriktiği ara yüz bölgesinde, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderans artarak dayanımı ve durabilitesi yüksek bir malzeme ortaya çıkar. Silis dumanının, çimento hamurunda sıkı bir diziliş oluşturan bu özelliğine puzzolanik etki denir. Şekil 2.2 de silis dumanı içeren ve içermeyen betonlarda çimento hamuru agrega ara yüzlerinin şematik olarak gösterimi yer almaktadır [7].



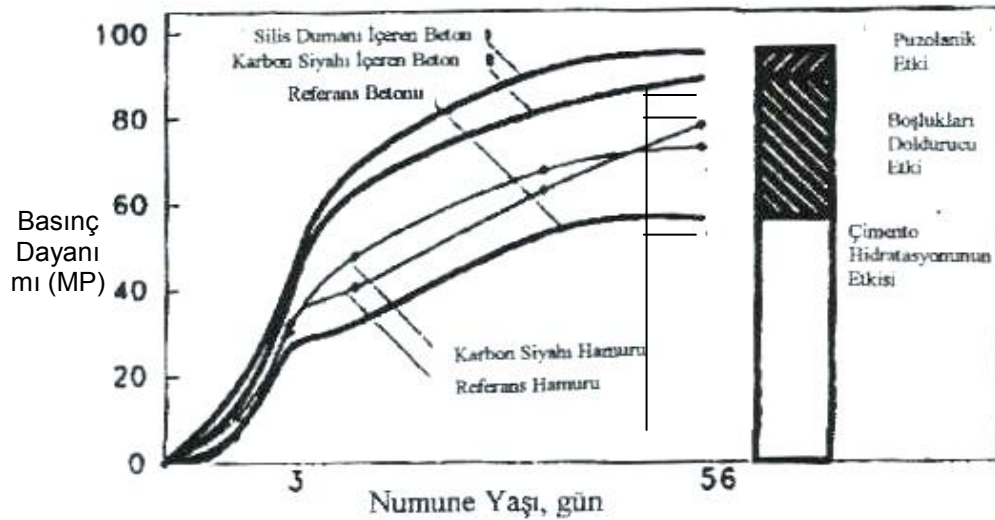
Şekil 2.2: Silis Dumanı İçeren ve İçermeyen Betonların Arayüz Bölgesinin Şematik Gösterimi a) Silis dumanı içermeyen taze beton, b) CH' nin agrega yüzeyinde çökmesi, boşluklu geçiş bölgesi, c) Silis dumanı ile boşlukları dolmuş taze beton, d) Daha az boşluklu geçiş bölgesi [7].

b) Boşlukları doldurma etkisi

Puzzolanlar, rötrenin ve yüksek hidratasyon ısısının açığa çıkmasını engelleyerek yüksek miktarda bağlayıcı kullanılmasına izin veren malzemelerdir. Bu puzzolanlardan biri olan silis dumanı, agrega ile çimento arasındaki boşlukları

azaltarak temas yüzeyinde daha homojen bir mikro yapının oluşmasını sağlar. Silis dumanının boşlukları doldurma etkisi, oluşan kompozitin tane boyutu açısından incelenmesi ile daha iyi anlaşılmaktadır. Çimentonun tane boyutu yaklaşık 30 µm mertebesinde iken, silis dumanının tane boyutu 0.1µm ile 0.2 µm arasında değişmektedir. Tane boyutları arasındaki bu çok büyük fark ile birlikte, silis dumanının çok küçük boyuta ve yüksek aktiviteye sahip olması ile açığa çıkan bu boşlukları doldurma kabiliyeti sonucunda, agregaya ile çimento hamuru temas yüzeyinde homojenlik artmakta ve porozite azalmaktadır [7].

Malzemenin dayanımını arttıran bu mineral katkıların boşlukları doldurma etkisinin, dayanımı ne kadar etkilediğini incelemek amacıyla çeşitli deneyler yapılmış ve puzzolanik özelliğin dayanıma katkısına bağlı olarak kıyaslamalar yapılmıştır. Bentur ve Goldman'ın silis dumanı ile, bağlayıcı özelliği bulunmayıp yalnızca boşluk doldurma kabiliyeti bulunan karbon siyahı kullanarak yaptıkları deneyler sonucunda, dayanımlardaki farklılıklardan dolayı, boşlukları doldurma etkisinin puzzolanik etkiden daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. (Şekil 2.3) [7].



Şekil 2.3: Silis Dumanının Puzzolan ve Boşlukları Doldurma Etkisi [7].

2.4 Puzzolanların Su Altı Betonunda Kullanılması

Su altı yapılarında son eğilim, beton karışımında çimento niteliğindeki ilave malzemelerin kullanılmasıdır. Beton karışımlarında cüruf, uçucu kül, silis dumanı gibi puzzolanlar kullanılır. Bu durum köprü temelleri, baraj yapıları ve sualtı temellerinde yeni teknolojilerin uygulandığı betonlarda %47 portland çimentosu yerine uçucu külle

ikame edildiği termi uygulamalarında kütle betonu olarak çok iyi sonuç vermiştir. Bu alanlardaki uygulamalarda yüksek hacimde çimentonun ikamesi betonun işlenebilirliği ve durabilitesini aynı zamanda hidrasyon ısını kontrolünde yardımcı olur. [25]

Silis dumanı sualtı betonunda özel bir rol oynar. Yüksek oranda su bağlamasından dolayı sık sık mineral bağlayıcı olarak sualtı betonlarında YÖK ve HA katkıları ile birlikte çimento kaybını azaltmak amacıyla kullanılır. Genel olarak silis dumanının beton işlenebilirliğine etkisi çimento niteliğindeki malzemelerin yüzde olarak dozajlarına bağlıdır.

Kireç taşının çimentonun kütlece % 10 ila 20'si kadar sualtı betonuna eklenmesi veya yer değişimi başarılı olmuştur. İnce kireç taşı parçacıkları suyu bağlamada ve kohezyonu arttırmada yeteneklidir. Buna ek olarak kireç taşı parçacıkları taze beton içindeki çimento partikülleri ile çimentonun hidrasyonu arasında köprü görevi yapar. Sonuç olarak sualtı betonunda kullanılması yalnızca işlenebilmeyi arttırmaz aynı zamanda betonun dayanımını ve durabilitesini artırır [2,22].

Su altı betonlarının büyük kütleler halinde dökülmesi durumunda termik çatlakların oluşması sakıncası doğar. Bu durumda düşük hidrasyon ısı çimento, uçucu kül, ve/veya silis dumanı katkılı beton ve özellikle deniz yapılarında çok yüksek oranda yüksek fırın cürufu içeren çimento kullanılır. Bu tür yaklaşımlar sadece hidrasyon ısını düşürmekle kalmaz, ayrıca su altı betonunun daha kohezif kararlı olmasını ve segregasyon direncinin yükselmesini de sağlar. Yüksek fırın cürufu ile üretilen su altı betonlarında bağlayıcıdaki cüruf oranının % 80' i aşması öngörülmektedir; en iyi sonuç bu oranın % 90-95 olması durumunda sağlanmıştır. Y.Tazawa ve arkadaşlarının bu çalışmada % 90 cüruf (Blaine incelik 4280 cm³/g) ve normal Portland çimentosu ile su altında üretilen bu betonların 7 günlük basınç dayanımı 8,8 Mpa, 91 günlük dayanımı 42,8 Mpa ve havada üretilen aynı bileşimdeki betonların 91 günlük dayanımı 44,2 Mpa olmuştur [23].

Kanada' da yapılan bir çalışmada Wekan gum YÖK' sı kullanılarak % oranında silis dumanı ikame edilerek ve su/bağlayıcı oranı 0,41 değerinde tutularak üretilen betonlarda 28 gün sonunda, havada dökülenlerde 62 Mpa, su altında dökülenlerde 52 Mpa, basınç dayanımları elde edilmiştir. % 6 silis dumanı, 520F tipi uçucu kül katkılı ve YÖK türü ve oranı aynı (% 0,15) olan betonlarda basınç dayanımları 28. günde havada 57 Mpa, su altında 44 Mpa değerlerinde olmuştur. Bu betonlarda çökme yayılması (slump flow) 600mm civarındadır, yıkanma kayıpları ise % 8 mertebesinde [23].

2.5. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkıların Etki Mekanizması

Katkı maddeleri genel anlamda harç ve betonun taze ya da sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, betonun diğer ana bileşenlerine oranla çok az miktarda kullanılan kimyasallar olarak tanımlanabilir. Kullanım amaçlarına göre sınıflandırıldığında taze beton ya da harcın taze beton veya harcın reolojisini değiştiren, prizi ve sertleşmeyi etkileyen, hava içeriğini değiştiren, fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı direnci arttıran katkıları şeklinde çeşitli sınıflandırmalar yapmak mümkün olmaktadır.

Akışkanlaştırıcı katkıları taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkileyen, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın daha iyi bir yerleşmenin sağlanması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılardır. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olmak üzere 3 ana grupta toplamak mümkün olmaktadır. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri göstermeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılması ile oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bilindiği gibi çimento taneleri su ile temas ettikten sonra çözünmeye başlayarak ortama Ca^{++} iyonları vermektedir. Tane yüzeyinde Ca^{++} iyonlarının yoğunlaşmasının artması ile polimer esaslı akışkanlaştırıcıların polimer moleküllerinin tane yüzeylerine yapışması gerçekleşmektedir. Böylece tane yüzeylerinin elektrostatik yükleri değişmekte ve (-) yükle yüklenen çimento taneleri birbirlerini itmektedir. Betonun iç sürtünmesini azaltan bu unsur işlenebilme özelliğini arttırmaktadır. Priz geciktirici özelliğe sahip olan akışkanlaştırıcılar, bu özelliklerine ek olarak başlangıçtaki hidrasyon reaksiyonları için gerekli su gereksinimini azaltması ile akışkanlığı arttırmaktadır.

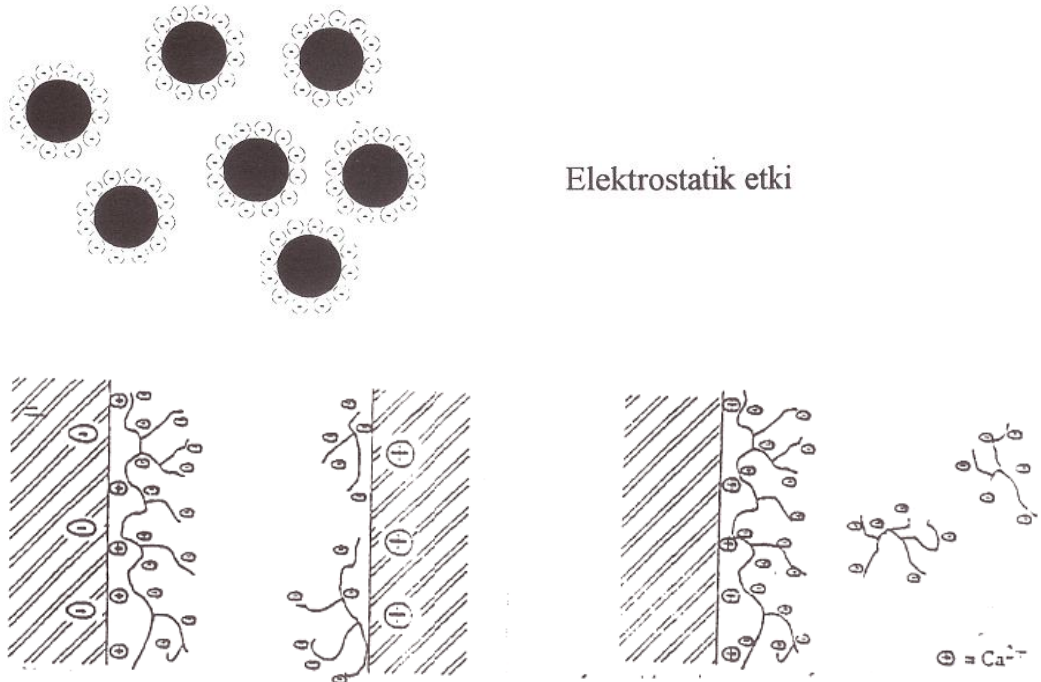
Yeni kuşak süper akışkanlaştırıcılarda dispersiyon etkisinin yanında sterik etki de akışkanlığı arttırmaktadır. Uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki oluşur. Sterik etki adı verilen bu etki sayesinde çimento taneleri dağılarak kararlı hale gelmektedir.

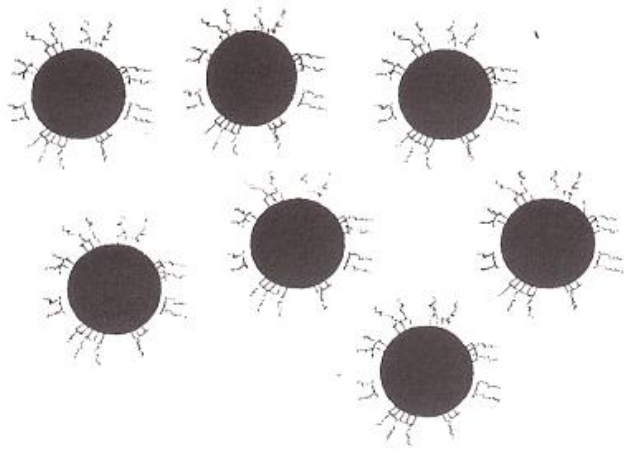
İşlenebilirliği düşürmeden su/çimento oranını ve aynı zamanda kullanılan çimento miktarını azaltan, ayrışma olmaksızın akıcılığı arttırarak ulaşılması en zor yerlere dahi beton dökümüne izin veren akışkanlaştırıcılar, son dönemde yeni kuşak süper akışkanlaştırıcıların da ortaya çıkması ile yüksek performanslı betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu betonların akışkanlıkları kendiliğinden

yerleşme sağlayacak derecede yüksek olabilmekte ve kendiliğinden yerleşen betonların gelişmesine olanak sağlamaktadır. Kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında süper akışkanlaştırıcıları 3 farklı grupta toplamak mümkün olmaktadır;

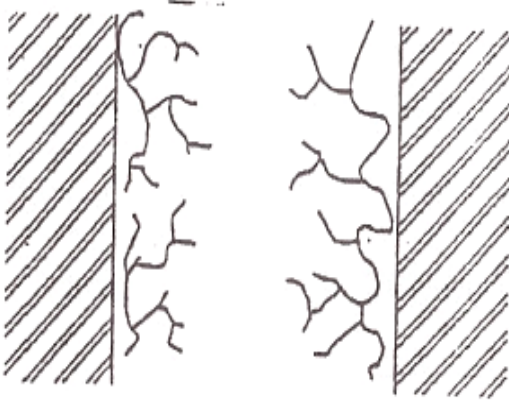
- Sülfonatlı sentetik polimerler,
- Karboksilatlı sentetik polimerler,
- Modifiye linyo sülfonatlar.

Sülfonatlı sentetik polimerler sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) ya da sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) bileşiklerinden oluşmaktadır ve piyasada da çoğunlukla kullanılan bu malzemeler süper akışkanlaştırıcıların temelini oluşturmaktadır. Karboksilat ya da hidrokarboksilat tuzları olan karboksilatlı sentetik polimerler, poliakrilat ana polimer zincirleri ile tarak şeklinde polietar yan bağları içeren katkılardır. Bu yapıları sayesinde sterik etki de oluşturarak daha yüksek performans elde edilmesini sağlamaktadır. Modifiye edilmiş linyosülfonatlar ise yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahip olan dispersiyon etkisi ile çalışan katkılardır. Çimento tanelerini dağıtarak daha etkin bir hidrasyona olanak sağlayan ve sıvı ortamdaki viskoziteyi ve kayma eşiğini düşürerek reolojik özellikleri etkileyen bu katkıların etki mekanizmaları Şekil 2.4’ de görülmektedir [8,9].





Sterik etki



Şekil 2.4: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması [8].

2.6 YÖK' ların Viskoziteye Etkisi

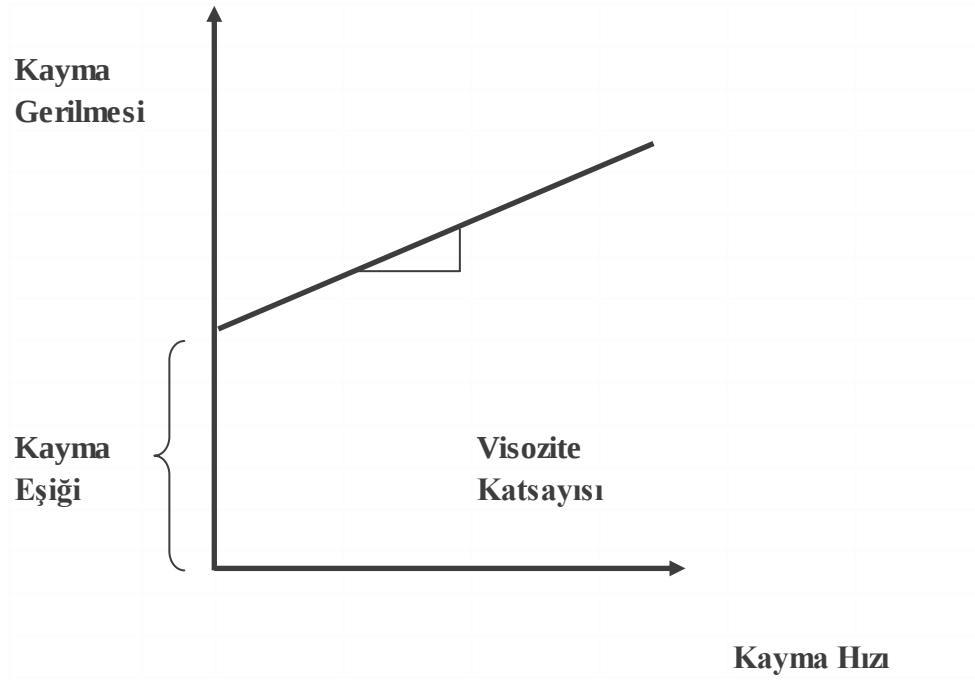
YÖK' lar reoloji düzenleyici olarak bilinen suda eriyebilen, viskozite düzenleyici polimerlerdir. Bunlar karışım suyunun viskozitesini artırarak çimento hamurunun süspansiyon altında bileşenlerini korumasını ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalarak ayrışmasının önlenmesini sağlarlar. Bunu reolojik olarak şöyle açıklayabiliriz.

Viskozimetre aletleri kullanarak ve betonu Bingham sıvısı olarak kabul ederek dönme hızı ile dönme momenti arasında lineer bir ilişki kurulabilir:

$$T=g+Hn \quad (2.4)$$

Burada T dönme momentini (Tork) ve N dönme hızını göstermektedir. Momentten kayma gerilmesine, dönme hızından ise kayma hızına geçilebilir (Şekil 2.5). Burada doğrunun eğimi viskozite katsayısını, düşey eksen kestiği noktanın merkez noktasına uzaklığı ise kayma eşiğini gösterir.

Beton içindeki agrega tanelerinin arasındaki sürtünme etkilerini azaltmak için tanelerin birbirinden uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla çimento hamuru miktarı artırılabilir. Bunun sonucu betonun şekil değiştirme yeteneği artar[4].

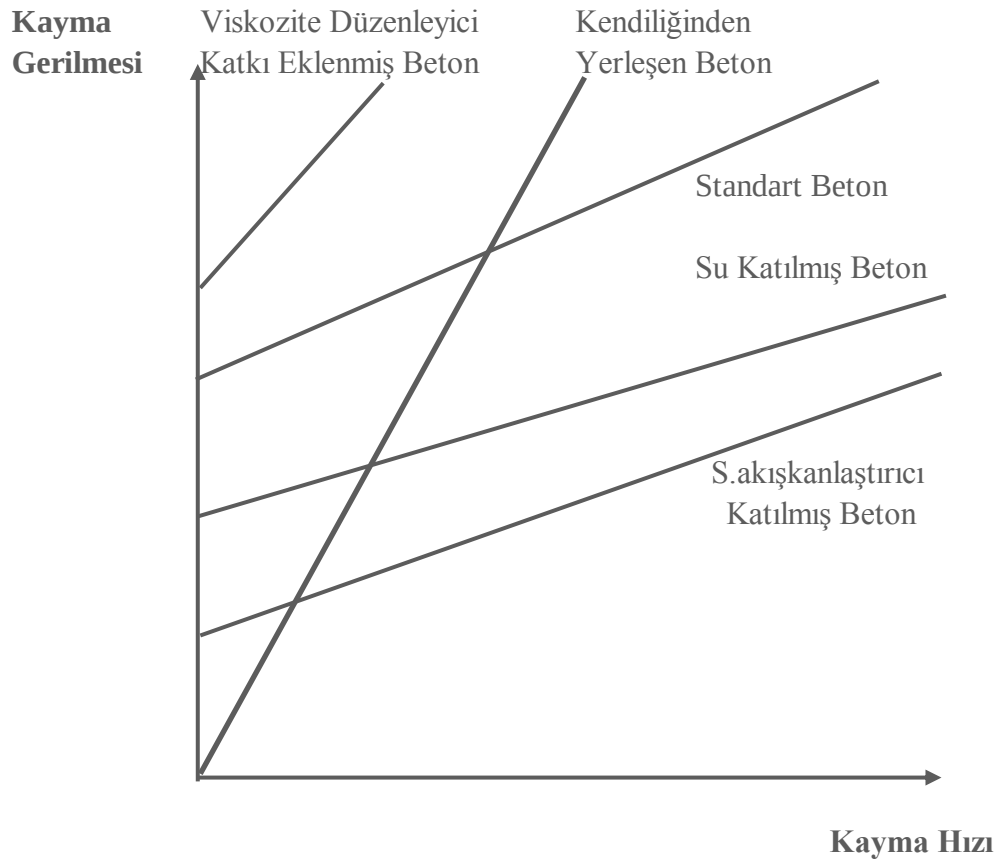


Şekil 2.5: Bingham sıvısının reolojik parametreleri

İnce taneler (toz) arasındaki sürtünmeleri azaltmak için ise suyu artırmak çözüm değildir. Çünkü bu durumda ayrışma eğilimi artacaktır. Bunun yerine tanelerin dağılımını (dispersiyon) sağlayan, yukarıda sözü edilen bir süper akışkanlaştırıcıya gerek vardır. Böylece beton viskozitesini azaltmadan sürtünme düşürebilecektir.

Reolojik büyüklükler açısından ele alınırsa, betonun şekil değiştirilebilir özelliği kazanması için kayma eşiğinin küçük olması, ancak ayrışma olmaması için viskozitenin düşmemesi gereklidir. Akıcı, yani şekil değiştirebilir bir beton elde etmek için kayma eşiğini düşürmek gerekir, dolayısıyla davranışın Bingham' dan newton'a (yani kayma eşiği=0) doğru geçişi söz konusudur (Şekil2.6). Bu özellik su miktarını artırarak sağlanamaz. Kuvvetli süper akışkanlaştırıcı kullanımı ise ilişki doğrunun paralel ötelenerek merkeze gelmesini, dolayısı ile kayma eşiğinin sıfırlanmasını gerçekleştirebilir; ancak burada ayrışma sorunu ortaya çıkabilir[5].

İşte çözüm olarak kayma eşiğini düşürürken ayrışmayı önleyecek önlemler almak gerekir; bu ise betondaki ince malzeme miktarını arttırarak ve/veya viskozite arttırıcı katkıları kullanmala sağlanabilir.



Şekil 2.6. Viskozite arttırıcı katkıların geleneksel betonlarla karşılaştırılması [5]

2.7 Su Altı Betonuyla İlgili Standartlar

Su altı betonu Japonya’da yapımı tamamlanan Kansai uluslar arası hava alanı ile Hanshu-Shikoku köprüsü yapılarında kullanılmış olup buradan elde edilen sonuçlar Japonya’da standart kabul edilmiştir.

Tablo 2.3’ de gösterildiği gibi taze ve sertleşmiş sualtı betonunun; yayılma, hava oranı, terlemesi, bulanıklık, pH, akışkanlık, sertleşme zamanı, basınç dayanımı(sualtında üretilen silindir numunelerin) ve dayanım oranı(aynı yaşta suda üretilen silindir numunelerin, susuz ortamda üretilen numunelere oranı) gibi pek çok özelliği bulunmaktadır.

TABLO 2.3 Su Altı Betonunun Teknik Özellikleri**Kansai Uluslar Arası Hava Alanı Köprüsü Altyapısı**

Çimento miktarı, kg/m ³	f _{ck} *=240 kgf/cm ²	350'den az, 380'den çok değil
	f _{ck} *=135 kgf/cm ²	300'den az değil
Su-Çimento Oranı		0.65'den çok değil
Yıkanmayı Önleyici Katkı Miktarı kg/m ³		2.3'ten az değil
Yayılma, cm		50 6 5
Hava Miktarı, %		6.0'dan fazla değil
Su İtmesi Oranı, %		0.05'den fazla değil
Sertleşme zamanı, saat	Başlangıç	5'den az değil
	Bitiş	30'dan fazla değil
Basınç Dayanımı: Dayanım Oranı**, %	7 günlük	65'den az değil
	28 günlük	75'den az değil
	91 günlük	75'den az değil
Bulanıklık, mg/litre		150'den fazla değil
pH		12.0'dan fazla değil
Kutu Testi Değeri, mm	5 dk. sonra	35'den fazla değil
	10 dk. sonra	25'den fazla değil

* Belirtilmiş 91 günlük beton dayanımıdır

**Susuz ortamda yapılan deney parçalarının suda yapılanlara oranı

Bu özelliklerin sahip oldukları karakteristikler şu şekildedir; yayılma hareket etme kabiliyeti ile doğrudan ilgilidir. İçerdiği hava oranı geleneksel betona etkilediği şekilde hareket etme kabiliyetini ve dayanımını etkiler. Betonun terlemesi geçirgenliğine ve dayanımına etki eder ve bağ kuvvetlerinin zayıflamasına yol açar. Bulanıklık ve pH su kirlenmesinin betonun yerleştirildiği o bölgedeki birer göstergesidir. Akışkanlık doğrudan demir donatılarla beton arasındaki bağ kuvvetine etki eder. Sertleşme zamanı betonun yerleştirilme prosedürüne etki eder. Basınç dayanımı ve dayanım oranı sualtı yapılarının tasarımı için önem arz etmektedir [10].

Bu konuda Japonya’ da oluşturulan bir diğer standart Tablo 2.4 ‘ de verilmiştir [1]

TABLO 2.4 Su Altı Betonunun Teknik Özellikleri

Terleme (%)		<0,01	<0,01
Hava (%)		<4,5	<4,5
Çökme Yayılması Kaybı (cm)		<3,0	<3,0
		30 dak. sonra	2 saat sonra
Priz Başı (saat)		>5	>18
Priz Sonu (cm)		<24	<48
Su altında dökülen betonun	7 gün	>150	>150
Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	28 gün	>250	>250
Su altında dökülen betonun, Havada	7 gün	>80	>80
dökülen beton dayanımına oranı (%)	28 gün	>80	>80
Su içine düşme testi	Bulanıklık (mg/l)	<50	<50
	Ph	<12	<12

2.8 Bu Konuda Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde sualtı betonu ile ilgili yapılmış geçmiş çalışmalardan bahsedilecektir.

1989 Ottawa Konferansında Kawakami, Wada, Suzukawa tarafından yayımlanan kimyasal katkıların (Süper akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici ve yıkanmayı önleyici katkıları) sualtı betonundaki yayılma, bulanıklık, pH, akışkanlık, priz zamanı ve basınç dayanımına olan etkileri incelenmiştir. YÖK olarak Hidroksil propil metil selüloz 2,1-2,5 kg/m³ oranında, Süper Plastikleştirici olarak polimer tipi sodyum melamin sülfonat, Hava sürükleyici katkı olarak da Kalsiyum lignin sülfonat çözeltisi çimento kütlesinin % 0,2-0,25 oranında kullanılmıştır. Beton bileşiminde Yüksek fırın cürufu Portland çimentosu 330-360 kg/m³oranında, dere kumu ve maksimum dane çapı 20mm olan kırılmış agrega kullanılmıştır. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Yayılma artan Süper akışkanlaştırıcıların dozajı ile artıyor.
- Bulanıklık Süper akışkanlaştırıcıların ve hava sürükleyici su oranını düşürücü katkıların dozajından etkileniyor.
- pH; Süper akışkanlaştırıcıların ve hava sürükleyici su oranını düşürücü katkıların etkilenmektedir.
- Akışkanlık; Süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici su oranını düşürücü katkıların dozajları ile orantılı olarak arttı.
- Priz süresi Süper akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici su oranını düşürücü katkıların ve su/çimento oranının artışıyla geciktirildiği gözlemlendi.

- Belirli karışım oranlarında, geçerli bir sualtı betonu için örneğin, 360kg/m³ çimento, 215kg/m³ su, 2.3kg/m³ YÖK ve 40% kum/agrega; 2.0% Süper akışkanlaştırıcıların dozajı ve % 0,2 hava sürükleyici su oranını düşürücü katkı dozajı kullanılmalıdır.
- Üretilen sualtı betonlarının dayanımları, %1 - 2 dozajında Süper akışkanlaştırıcı ve %0,2-0,25 dozajında hava sürükleyici su oranını düşürücü katkı oranını arttırılması halinde dahi dayanım oranı %75'i aşmamaktadır [10].

Soucier ve Neeley'in yaptığı ortak çalışmada beş farklı YÖK kullanarak elde edilen numuneler üzerine; karışımların iki noktada işlenebilirlik aleti ile kesin işlenebilirlikleri, yayılması, yıkanması ve aşınma erozyon dirençleri ölçülmüştür. Araştırmada kullanılan beş YÖK'in dördü selüloz esaslı biri poli etilen esaslıdır. Lignin sülfonat, melamin sülfonat, naftalin sülfonat ve hidroksilat carboksilit asit su azaltmak amacıyla süper akışkanlaştırıcı katkı olarak karışıma eklenmiştir. Su/çimento oranı 0,32-0,42 oranında seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.5' de verilmiştir.

Karışım No	Çimento kg	Silis Dumanı kg	Uçucu Kül kg	YÖK	Süper Akışkanlaştırıcı katkı	Su / Çimento	İşlenebilirlik	3 düşümde yıkanma %	Aşınma Dirancı cm ³ /cm ²
1	160		16,1	Yok	hidrosilikat carboksilit asit	0,4	iyi	12,64	0,392
2	268	40,37		E	lignin sülfonat	0,4	Ortalama	7,46	0,343
3	317,5	47,63	47,63	A	lignin sülfonat	0,32	Ortalama	1,05	0,351
4	268	40,37		B	melamin sülfonat	0,36	Ortalama	2,39	0,379
5	268	40,37		C	naftalin sülfonat	0,36	iyi	8,09	0,33
6	249	27,7	27,7	Yok	lignin sülfonat	0,42	iyi	3,48	0,453
7	268	40,37		A	lignin sülfonat	0,36	Ortalama	2,25	0,369
8	268	40,37		D	naftalin sülfonat	0,36	iyi	6,81	0,368
9	268	40,37		C	melamin sülfonat	0,36	Ortalama	2,83	0,382
10	317,5	47,63	47,63	B	lignin sülfonat	0,32	iyi	1,59	0,404

A, B, C, D Karışımları selüloz türevli, E karışımı poli etilen oksididir.

1 no'lu karışımda YÖK kullanılmamış ve yıkanma miktarı artmıştır.

2 no'lu karışımda Poli etilen esaslı YÖK'nin iyi bir performans göstermediği görülmüştür. En iyi bileşimi Lignin sülfonat veya selüloz esaslı YÖK içeren melamin sülfonat çözeltisi göstermiştir. Bu bileşimlerde genelde 3. yıkanmada %3 veya daha az yıkanma olmuştur. Naftalin içerikli su azaltıcı katkıları betona iyi akışkanlık kabiliyeti sağlamasına rağmen YÖK ile normal dozajda kullanıldığında betonun akışkanlığında yükselip-alçalma, kohezyonun artması gibi dengesiz değişimler gözlemlendi. Sonuç olarak uygun işlenebilme devam etti ve YÖK miktarı minimize edildi [11].

Nagataki'nin Japonya, Tokyo Teknoloji Enstitüsünde yaptığı araştırmada YÖK'lerin taze ve serleşmiş beton özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Araştırmada çözünabilir selülozik eter esaslı ve suda çözünabilir akrilik tipi polimer olmak üzere iki tür YÖK kullanılmıştır. Bu katkıları karma suyunun %1-1,5 arasında bir süper akışkanlaştırıcı katkı ile birlikte kullanılmıştır. Bu tür katkıları diğer beton bileşenleri (çimento, agrega ve su) ile aynı anda karıştırıcıya konulmak suretiyle birleştirilirler. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

- YÖK beton içindeki suyun viskozitesini arttırmak yoluyla betonun kohezyonunu arttırırlar, böylece betonun ayrışmaya karşı direnci artar. Ayrışma direncinin artışı esas olarak katkının dozajı ve molekül ağırlığına bağlıdır.
- YÖK içeren betonlar normal beton ile kıyaslandığında oldukça yüksek kohezifliğe sahiptirler ve bu tür katkı içeren betonlar mükemmel bir kendiliğinden yerleşme kabiliyetine sahiptir.
- Normal betonlar sualtına serbestçe döküm yapılması halinde tamamıyla ayrışırken, YÖK içeren betonlar zor ayrışmaktadır.
- Selüloz eter esaslı YÖK içeren betonlar prizde gecikmeye sebep olurken, akrilik tipi polimerlerin prize etkisi olmamakla beraber yalnızca su azaltıcı ve\ veya süper akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanımı halinde prizi ötetirler.
- YÖK içeren betonların viskozitelerinin artmış olması sebebiyle, yüksek oranda su tutucu özelliğe sahip olacak ve katkının düşük dozajlarda olması halinde dahi, terlemeye neden olunmayacaktır.
- Yapılan çalışmada YÖK dozajının artması ile birlikte betonun suda ayrışmaya karşı gösterdiği direnç artmış böylece dayanımın arttığı görülmüştür [1].

REMR (Repair-Evulation-Maintenance-Rehabilitation)'nin sualtı tamiratlarında kullanılan YÖK betonların fonksiyon ve tiplerini tanımlamak amacıyla yaptığı bir diğer çalışmada da aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- YÖK'lı sualtı betonunun viskozitesinin artırması sebebiyle farklı zaman aralıklarında yayılmada değişimler meydana gelmiş, yayılma 22-27 cm arasında değişmiştir ve bu tür betonların akışkanlıkları fazlaca artmıştır.
- Selüloz eter içerikli betonların hava içerikleri büyük ölçüde artmıştır.
- YÖK betonların su tutma kabiliyetlerinden dolayı terleme meydana gelmemiştir.
- Selüloz esaslı katkıları betonun priz süresini etkilemelerine karşın, akrilik tip katkıların priz süresine etkisi olmamıştır.
- Betonun sualtına yerleştirilmesi sırasındaki yayılma dayanımı; çimentonun akış oranı, suyun nüfuz etme oranındaki değişiklik, suyun bulanıklığı, pH değişimi, malzemelerin karışım oranları gibi değişkenlere bağlıdır.
- Açık havada üretilen numunelerin basınç dayanımları YÖK miktarının artmasıyla zaman zaman artsada genelde azalmıştır. Suyun 30-50cm altında üretilen numunelerin katkı miktarının artmasıyla basınç dayanımları artmıştır. Sonuç olarak açık havada üretilen numunelerin basınç dayanımları, sualtında üretilen numunelerin basınç dayanımlarından fazla olmuştur [12].

Akman' ın su altı betonu konusunda yapılan çalışmaları derlediği makalesinde şu sonuca varılmıştır. Su altı beton üretiminde kullanılan yıkanmayı önleyen kimyasal katkıları betonun plastik viskozitesini ve kayma eşiğini arttıran, viskoziteyi düzenleyen katkılardır. Bunlar muhakkak suretle süper akışkanlaştırıcı ile takviye edilerek kayma eşiğini arttırma özellikleri azaltılır, böylece yüksek akıcılığa sahip kendiliğinden yerleşen kohezif, kararlı karışımlar elde edilir. Betondaki ince katı öğelerin yıkanmasını önleyen bu katkıları, segregasyonu da önlerler. Su içinde dökülen betonların basınç dayanımlarının düşük değerler almamasını sağlarlar. Küçük yapılarda ve sakin sularda batordaya gerek duyulmadan, betonun doğrudan suya dökülmesine olanak sağlarlar. Priz sürelerini uzatma özellikleri vardır. Çok yüksek oranda yüksek fırın cürufu içeren (%90 mertebesinde) çimentolarla da başarılı olmuştur. Silis dumanlı, uçucu küllü ve cürufu bağlayıcılarla üretilen su altı betonlarında termik çatlaklar oluşmaz, ayrıca betonların kohezifliği ve kararlılığı daha başarılı olur [23].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemelerin Tanımlanması

Üretilen tüm beton karışımlarında kullanılan malzemelerle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Kum, kırmakum, kırmataş

Üretilen beton numunelerinin tümünde agrega olarak maksimum tane boyutu 16 mm olan sürekli granülometrilik kum, kırma kum ve kırmataş 1 kullanılmıştır. Kırmakum ve Kırmataş 1 Gebze Kıbsaş ocaklarından, İncekum Adapazarı tesislerinden temin edilmiştir.

Malzemelerin elek analizleri T.S 3530' a göre yapılmıştır. Malzemelerin T.S. 3526 ' ya [13] göre ölçülmüş özgül ağırlık, su emme ve T.S 706 EN 12620' ye göre belirlenmiş incelik modülleri Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1 : Agregaların fiziksel özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme %	İncelik Modülü
İncekum	2,60	1,90	2,35
Kırmakum	2,67	1,60	3,12
Kırmataş 1	2,70	0,80	5,47

3.1.2 Çimento

Deneylerin tamamında Nuh Çimento tarafından üretilmiş T.S. EN 197-1 CEM I 42,5R standardında Portland çimentosu kullanılmıştır [14]. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri T.S. EN 197 PÇ 42,5 standardına uygunluğu tespit edilmiştir. T.S. EN 197' e göre bulunan mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 ' de gösterilmiştir. Çimentonun mekanik özellikleri tayininde, 450 gr çimento, 225 gr su ve özel granülometri ye sahip kum karışımıyla oluşturulan betonun 4*4*6 cm boyutlarındaki Rilem kalıplarına yerleştirilerek elde edilen 3' er adet 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımları ortalamaları T.S EN 197' de belirtilen koşulları sağladığı belirlenmiştir.

Tablo3.2: Çimentonun Mekanik Özellikleri

7. gün Basınç dayanımı	42,1 N/mm ²
28. gün Basınç dayanımı	55,7 N/mm ²

Tablo 3.3 : Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Blaine özgül alanı	cm ² /gr	3814
200 µ elek bakiye	%	-
90 µ elek bakiye	%	-
32 µ elek bakiye	%	10
Özgül ağırlık	gr/cm ³	3,18
Le Chatelier deneyi	mm	2
Priz Başlangıcı	dak	183
Priz Sonu	dak	266

Nuh Çimento A.Ş.' nin laboratuvarlarında yapılan deneyler sonucunda PÇ 42,5' in kimyasal analiz sonuçları aşağıda Tablo 3.4' deki gibidir.

Tablo 3.4: Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kızdırma kaybı	%	2,19	Al ₂ O ₃	%	3,78
Çözünmeyen Kalıntı	%	0,76	Fe ₂ O ₃	%	3,66
Serbest Kireç	%	1,01	CaO	%	64,67
Klorür	%	0,0054	MgO	%	0,93
SiO ₂	%	20,79	SO ₃	%	2,36

3.1.3 Uçucu kül

Uçucu kül kullanılan deneylerin tamamında Orhaneli F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül miktarı; mineral katkı olarak tek başına karışıma katıldığında toplam bağlayıcı miktarının %20'si oranında 80 kg/m³, silis dumanı ile birlikte birleşime eklendiğinde %12,5 oranında 50 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Helyum piknometrisi ile yapılan ölçümde uçucu kül özgül ağırlığı 2,12 gr/cm³ bulunmuştur. Kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri aşağıda Tablo 3.5 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Kızdırma kaybı	%	0,555	Al ₂ O ₃	%	23,55
KK	%	1,1	Fe ₂ O ₃	%	6,63
Serbest Kireç	%	0,06	CaO	%	3,5
Klorür	%	0,0014	MgO	%	2,78
SiO ₂	%	56,17	SO ₃	%	0,78

Kullanılan uçucu külün kimyasal özelliklerinin T.S EN 450' ye uygun olduğu görülmektedir [15].

3.1.4 Silis Dumanı

Silis dumanı kullanılan deneylerin tamamında çimento ve uçucu küle ek olarak filler ve puzolanik etkisi bulunan Elkem Microsilica Firmasının üretmiş olduğu silis dumanı kullanılmıştır Tablo [3.6]. Silis dumanının miktarı toplam bağlayıcı miktarının %7,5’u oranında 30 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Helyum piknometresi ile yapılan ölçümde silis dumanının özgül ağırlığı $2,20 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuştur. Kullanılan Silis dumanının kimyasal özellikleri aşağıda Tablo 3.6’ da gösterilmiştir.

Tablo 3.6 : Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

Agrega	Özgül ağırlık (g/cm^3)	Su emme (%)	90 μ 'luk elekten geçen %	45 μ 'luk elekten geçen %	Blaine (cm^2/g)	SiO ₂
Silis Dumanı	2,20	0,4	99,96	83	3500	>90

3.1.5 Su

Nuh Beton Kartal tesislerine şehir şebekesinden gelen çeşme suyu kullanılmıştır.

3.1.6 Akışkanlaştırıcılar

Beton üretimleri sırasında su ihtiyacını yüksek oranda azaltan, yeni nesil bir hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olan ve YKS Degussa firması tarafından üretilen, Glenium 27 isimli akışkanlaştırıcı kullanılmıştır, yalnızca AK simgeli kontrol beton numunesinde aynı oranda SİKA viskocrete VP 27 kullanılmıştır. Bu katkılar modifiye edilmiş olup klor içermemektedir.

3.1.6.1 Yeni nesil süperakışkanlaştırıcıların etki mekanizması ve teknik özellikleri

Bu katkıların geleneksel süper akışkanlık verici katkı maddelerinden (Naftalin Sülfonat Formaldehit veya Melamin Sülfonat Formaldehit esaslı) farkı, çimento dağılımının etkinliğini büyük ölçüde artıran, yeni etki mekanizmasıdır. Geleneksel, melamin ve naftalin sülfonatlar gibi süper akışkanlaştırıcılar, çimento taneleri üzerine adsorbe olan katkılardır. Bu katkılardaki polimerler beton karıştırma işleminin en erken aşamasında çimento tanelerinin yüzey alanlarının çevresini kuşatırlar. Polimer zincirlerinin sülfonik grupları, çimento tane yüzeylerinin negatif yükünü artırır ve bu taneleri elektriksel itme ile dağıtırlar. Bu elektrostatik mekanizma, çimento hamurunun dağılmasına neden olur ve bunun olumlu bir sonucu da, belirli beton işlenebilirliğinin daha az su karışımı ile elde edilmesini sağlamasıdır.

TS EN 934-2 'ye göre yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı ve sertleşmeyi hızlandırıcı katkı sınıflarına uygundur.

Yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar süper akışkanlık verici katkı maddelerine göre değişik bir kimyasal yapıya sahiptir. Bu katkılar, uzun kenar zincirli karboksilik eter polimerlerinden oluşur. Karıştırma işleminin başlangıcında, geleneksel süper akışkanlaştırıcılarda olduğu için elektrostatik dağılma mekanizmasını harekete geçirir. Bu işlemle su içeriği büyük ölçüde azalan akışkan bir beton elde edilir. Hiper akışkanlaştırıcıların moleküllerinin büyüklüğü ve steokimiyetrik yapısı sonucu oluşan sterik engel dispersiyonun gerçekleşmesinde etkin olur[16]. Tablo (3.7)'da kullanılan süper akışkanlaştırıcılara ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 3.7: Kullanılan Hiper Akışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri

Katkı Türü	Glenium 27	Viskocrete VP 27
Yoğunluk (g/cm ³) (20°C)	1.023-1.063	1,05-1,09
Klor % (EN 480-10)	<0.1	<0.1
Renk	Kahverengi sıvı	Açık sarı sıvı
Homojenite	Homojen	Homojen
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilik Eter Zincirleri	Polikarboksilat esaslı Polimer
pH	6,98	4-8
Katı madde	19,7	26,5-30,5

3.1.7 Yıkanmayı Önleyici Katkılar (YÖK)

Bu çalışmada YÖK olarak; Sika Yapı Kimyasallarının ürettiği selüloz esaslı toz Sika UCS-01 %1 oranında, Poli Etilen oksidi %0,3 oranında, YKS Yapı kimyasallarının ürettiği selüloz esaslı toz Rheomac UW 400 % 1 oranında, sıvı halde Rheomac UW 450 katkısı % 0,7 oranında kullanılmıştır.

Bu katkıların ana hedefi betonun sualtına yerleştirilmesi esnasında agreganın dağılmasını (segregasyonu) önleyerek, çimento gibi ince taneciklerin yıkanmamasını sağlamaktır[3]. YÖK; su içerisinde çözülünce, polimerler su moleküllerinin çevresine yapışırlar. Polimerlerin hidrasyonu ie YÖK' lar topaklaşmaya ve su emdikçe genişlemeye başlar. Komşu polimer zincirindeki moleküller ise aralara girerek hidrojen bağları ve polimer yığınları arasında çekme kuvvetleri geliştirirler. Bu durum çimento hamurunun katılaşma eşiğinde (yield value) artışa yol açar ve katkı maddeleri askıya alınır.

Reolojik parametreleri (plastik viskozite ve kayma eşiği) bu derece artan betonu yerleştirmek büyük sorun oluşturur. Katı maddeleri askıda tutarak yıkanmayı önleyen ve segregasyonu sorun olmaktan çıkaran YÖK' nın akışkanlığı yok etmesi pratik açıdan kabul edilemez. Problem yukarıda belirtildiği gibi uygun süperakışkanlaştırıcı kullanılmakla çözümlenir. Süperakışkanlaştırıcılar plastik viskozite üzerine etkimez ancak kayma eşiğini düşürür. Böylece plastik viskozitesi yüksek, kohezif ve kararlı betonun kayma direncine indirgenmiş olur. Beton kolaylıkla pompa borusu içinde iletilir. Bu iletim sırasında YÖK molekülleri akış yönüne paralel bir diziliş alırlar ve boru içinde tıkaç oluşturmaz ve tıkanmaya sebep olmazlar. Segregasyona direncin yüksek olması YÖK dozajının yüksekliği ve molekül ağırlığının yüksekliği sayesinde gelişir. Üretilen betonlar kendiliğinden yerleşen (self-compacting) betonlarıdır. Önlem alınmadan ve YÖK katılmadan su altına dökülen betonların basınç dayanımları büyük oranda düşüktür. YÖK kullanımı bu sakıncayı da ortadan önemli ölçüde kaldırmaktadır [23].

Tablo 3.8' de kullanılan YÖK ait teknik özellikler verilmiştir.

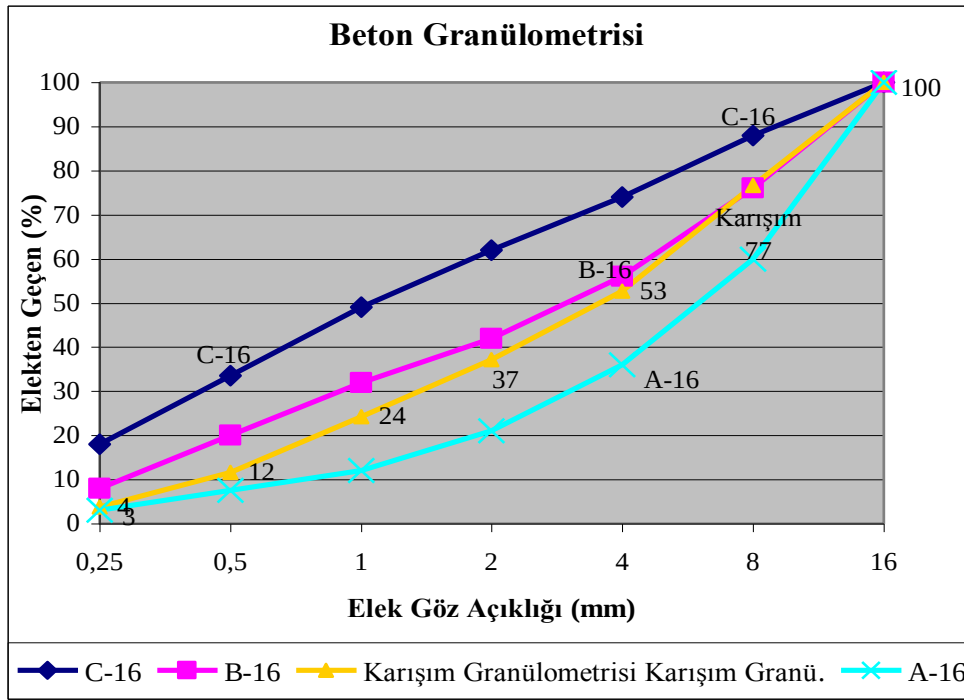
Kimyasal Adı	Kimyasal Yapısı	Tanım	Görünüm	Yoğunluk	pH	Solid
Sika UCS-01	Selüloz ve diğer modifiye edici katkıların karışımı	Su Altı Betonu Stabilize Edici Katkı	Kahverengimsi toz	0,23-0,43	8,72	92,4
Poli Etilenoksi	Poli Etilenoksit	Poli Eterler	Beyaz toz	0,5	8-10	99,13
Rheomac UW 400	Selülozik Polimer dağılımı	Su Altı Betonu Stabilize Edici Katkı	sarımsı toz	ort 0,5	Klor <1%	Alkali (Na ₂ O) <1%
Rheomac UW 450	Selülozik Polimer dağılımı	Su Altı Betonu Stabilize Edici Katkı	Açık bej yarı akışkan sıvı	1,2	Klor <1%	Alkali (Na ₂ O) <1%

3.2 Beton Karışımları

Beton karışımında agrega olarak maksimum tane boyutu 16 mm olan sürekli granülometri ye sahip İncekum, Kırmakum ve kırmataş 1 kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin elek analizi sonuçları ve beton karışımında kullanılan yüzdeleri Tablo 3.9'da verilmiştir. Beton karışımında sırasıyla %28 incekum , %28 kırmakum, %44 kırmataş 1 kullanılmıştır.

Tablo 3.9: Malzemelerin elek analizi sonuçları**Granülometri Eğrisi**

Agrega Türü	Yeri	Özgül Ağ (kg/m ³)	Karışım Oranı %	16	8	4	2	1	0,5	0,25
İnce Kum	Adapazarı	2,60	28	100	100	95	79	58	27	6
Kırma Kum	Kıbsaş	2,67	28	100	100	90	52	27	13	6
No 1	Kıbsaş	2,70	44	100	47	2	1	1	1	1
Karışım Gra Karışım Granü.			100	100	77	53	37	24	12	4
B-16	TS 706			100	76	56	42	32	20	8
A-16				100	60	36	21	12	7,5	3
C-16				100	88	74	62	49	34	18

**Şekil 3.1:** Beton karışımının granülometrisi ve referans eğrisi

Çalışmada toplam bağlayıcı ve çökme yayılması sabit tutularak 3 adet kontrol betonu, 4 adet 400 doz çimentolu + YÖK' lı, 4 adet 320 doz çimento+80 doz uçucu kül+YÖK' lı, 4 adet 320 doz çimento+50doz uçucu kül+30 doz silis dumanı+ YÖK içeren 4 seri 15 farklı beton üretimi yapılmıştır. Üretilen tüm betonlarda bağlayıcı miktarının % 1,2 oranında YKS (A Firması) Glenium 27 yeni nesil Hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır, yalnızca AK simgeli kontrol beton numunesinde aynı

oranda SİKA (B Firması) viskocrete VP 27 kullanılmıştır. Üretilen betonlar için kullanılan simgeler aşağıda gösterilmiştir.

K : 400 dozlu kontrol betonu

AK : 400 dozlu, %1,2 A firması Hiper Akışkanlaştırıcısı içeren kontrol betonu

BK : 400 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı içeren kontrol betonu

AYP : 400 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı , %0,3 A poli etilen esaslı toz YÖK

AYST : 400 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, %1,0 A selüloz esaslı toz YÖK

BYST : 400 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, %1,0 B selüloz esaslı toz YÖK

BYSS : 400 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, %0,7 B selüloz esaslı sıvı YÖK

AYUP : 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, 80 Kg Uçucu kül, %0,3 A poli etilen esaslı toz YÖK

AYUST: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, 80 Kg Uçucu kül, %1,0 A selüloz esaslı toz YÖK

BYUST: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, 80 Kg Uçucu kül, %1,0 B selüloz esaslı toz YÖK

BYUSS: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı, 80 Kg Uçucu kül, %1,0 B selüloz esaslı sıvı YÖK

AYUSP: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı , 50 Kg Uçucu kül, 30 Kg silis dumanı, %0,3 A poli etilen esaslı toz YÖK

AYUSST: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı , 50 Kg Uçucu kül, 30 Kg silis dumanı, %1,0 A selüloz esaslı toz YÖK

BYUSST: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı , 50 Kg Uçucu kül, 30 Kg silis dumanı, %1,0 B selüloz esaslı toz YÖK

BYUSSS: 320 dozlu, %1,2 B firması Hiper Akışkanlaştırıcısı , 50 Kg Uçucu kül, 30 Kg silis dumanı, %1,0 B selüloz esaslı sıvı YÖK

Üretilen her farklı bileşimdeki betonların 1 m³ 'üne giren gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Tablo 3.10' da verilmiştir.

Kod	Çimento	Su	Agrega			Mineral Katkı		Hiper	YÖK	Brim	Su/Çim	Su/Bağ	Çökme Yayılma
			İnce Kum	Kırma Kum	Kırmataş 1	Uçucu K	Silis D	Akış					
			Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg (%)					
K	396	246	439	454	720	0	0	0,0	0,0	2300	0,63	0,63	50
AK	389	164	472	479	759	0	0	4,7 (1,2)	0,0	2394	0,43	0,43	48
BK	395	186	479	486	770	0	0	4,7 (1,2)	0,0	2381	0,48	0,48	52
AYP	393	184	459	475	752	0	0	4,7 (1,2)	1,2 (0,3)	2350	0,48	0,48	52
AYST	403	234	462	478	757	0	0	4,8 (1,2)	4,0 (1)	2306	0,59	0,59	48
BYST	398	225	463	470	743	0	0	4,8 (1,2)	4,0 (1)	2331	0,58	0,58	50
BYSS	397	210	452	468	741	0	0	4,8 (1,2)	2,8 (0,7)	2306	0,54	0,54	50
AYUP	318	180	468	484	767	80	0	4,8 (1,2)	1,2 (0,3)	2331	0,58	0,46	50
AYUST	319	220	446	461	731	80	0	4,8 (1,2)	4,0 (1)	2275	0,70	0,56	48
BYUST	320	194	465	482	763	80	0	4,8 (1,2)	4,0 (1)	2319	0,62	0,50	48
BYUSS	320	198	466	483	764	80	0	4,8 (1,2)	2,8 (0,7)	2318	0,63	0,51	47
AYUSP	318	174	464	480	760	50	30	4,8 (1,2)	1,2 (0,3)	2312	0,56	0,45	58
AYUSST	312	246	399	412	653	49	29	4,7 (1,2)	4,0 (1)	2219	0,80	0,64	51
BYUSST	319	208	453	469	742	50	30	4,8 (1,2)	4,0 (1)	2300	0,67	0,54	50
BYUSSS	321	209	456	472	747	50	30	4,8 (1,2)	2,8 (0,7)	2282	0,67	0,53	50

3.3 Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, Numune Boyutları

Bütün beton üretimleri, paslanmaz çelikten yapılmış, kapasitesi 45 litre olan bir betonyerde gerçekleştirilmiştir. Deneylerimizde kullanılan beton miktarının 68 litre olması sebebiyle 40 ve 28 litre olmak üzere aynı karışımdan iki seri beton üretilmiştir. Kontrol ve diğer beton üretimleri aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Betonyere sırasıyla kırma kum, kırmataş 1 konur. Aynı bir kaptan varsa uçucu kül, silis dumanı, toz YÖK çimento ile birlikte karıştırıldıktan sonra betonyere ilave edilir ardından ince kumumuz konularak 20 saniye karıştırılır. Suyumuz iki kaba eşit olarak bölüştürülür birinci kaptan saf su, ikinci kaptan sıvı katkıların (Hiper akışkanlaştırıcı ve sıvı YÖK) bulunduğu suyumuz kendi içerisinde karıştırılır. Saf suyumuz yirmi saniye sonunda betonyere yavaşça ilave edilir karıştırıcı bir dakika çalıştırılır. Bu karıştırmadan sonra karıştırıcı durdurularak karıştırma kabının cidarlarına bulaşan malzemeler kabın içerisine kazınır. Bu işlemden sonra karıştırıcı tekrar çalıştırılır ve kalan suyumuz (katkılı) karıştırıcıya yavaşça ilave edilerek bir buçuk dakika daha çalıştırılmıştır.

Üç dakikalık karıştırma süresi sonunda ilk olarak taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Bunun için 8 litrelik birim ağırlık kovası kullanılmıştır. Yayılma deneyi slump konisinin kaldırılışına kadar aynıdır, beton yayılımını tamamlamasından itibaren betonun düzgün su geçirmez zeminde kapladığı alan asil eksen ve ikincil eksen olarak ölçüldü.

Yayılma ve taze birim ağırlık deneylerinde kullanılan beton tekrar karıştırıcıya konulmuş ve bir dakika daha karıştırılmıştır. Her iki seri üretimde de yayılma ve birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk 40 litrelik seri üretim sonunda taze betondan su içinde alınan 6 adet, havada alınan 4 adet olmak üzere 15*15*15 küp numuneler alınmıştır. Ayrıca yıkanma deneyi, oluk deneyi, penetrasyon deneyi ve pH deneyleri gerçekleştirilmiştir. İkinci 28 litrelik seri üretimde su içerisinde 4 adet 10*10*50 cm' lik 7 ve 28 günlük eğilme numuneleri alınmıştır. 28 günlük eğilme numuneleri üzerinde ultrases ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Su içinde ve havada alınan numuneler 1 gün havada kalıpta bekletildikten sonra 20°C $\pm$ 1 olan kür havuzunda deney gününe kadar saklanmıştır.

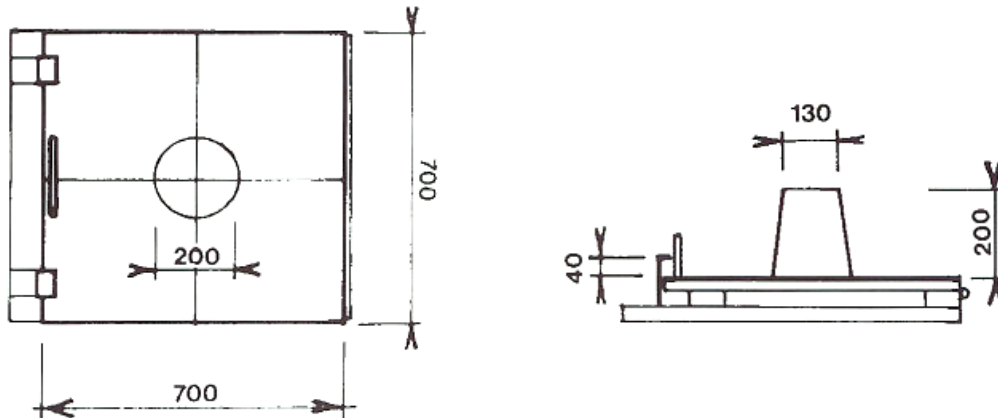
3.4 Deneylerin Tanımlanması, Yöntemler

3.4.1 Taze Beton Deneyleri

Taze halde sırasıyla yayılma, birim ağırlık, yıkanma deneyi, oluk (akıntı) deneyi, pH deneyi, penetrasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.4.1.1 Çökme-yayılma deneyi

Uygulanması oldukça kolay olmasına rağmen iki kişiye ihtiyaç duyulan bu deney ilk defa Japonya’da su altı betonlarının incelenmesi için geliştirilmiştir. Bu deney üretilen betonun akıcılık ve yayılma yeteneklerinin belirlenmesinde kullanılır. Hiçbir engelin bulunmadığı durumda, betonun kendi ağırlığı altında serbest olarak deforme olabilme yeteneğini incelemek amacı ile kullanılmaktadır. Gerçek durumda ise donatılar mevcut olduğu için beton serbest olarak deforme olamamaktadır. Bu nedenle tıkanma olasılığı hakkında bilgi vermese de segregasyona karşı direncin belirlenmesi amacı ile veri elde etmek mümkündür. Tamamen düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının yüzeyi nemlendirildikten sonra merkezine Abram’s konisi yerleştirilir ve yaklaşık 5.5 litre beton ile doldurulur. Daha sonra koni tablaya dik olarak çekilir. Yayılma tamamen durduktan sonra birbirine dik iki yönde çap ölçülerek yayılma çapı hesaplanır. İri agregaların çap boyunca dağılmaması ya da çimento hamurunun bir şerit şeklinde agregalardan ayrılması segregasyon olduğuna işaret etmektedir [17]. Şekil 3.2’ de çökme-yayılma testi deney düzeneği yer almaktadır.



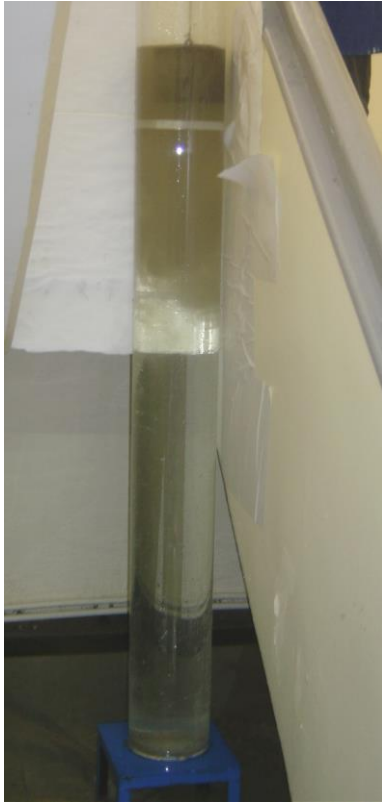
Şekil 3.2: Çökme-Yayılma Testi Deney Düzeneği [17].

3.4.1.2 Birim ağırlık

Birim ağırlık testi için; 8 litrelik birim ağırlık kovası üç eşit seferde her seferde şiş diğer tabakaya 2,5 cm girmek suretiyle 25 kez şişlenmiştir, konik ağzına kadar doldurulup malayla üst yüzeyi düzlendikten sonra tartılarak değerler kaydedilmiştir [18].

3.4.1.3 Yıkanma deneyi

Bu deney Army Engineer Waterways Experiment Station, CRD C61-89A standartlarından elde edilmiştir [19].



Tanım : Bu test metodu taze bir beton numunesinin sualtına yerleştirilmesi esnasında yıkanmaya karşı direncini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Aletler : 1 gr' a duyarlı terazi. Dıştan çapı 200 mm, kalınlığı 3 mm, yüksekliği 1,7 m olan tüpün 1,5 m' si su ile doldurulur. Çapı 120 mm, yüksekliği 130 mm, ağ gözü 2 mm olan delikli bir sepet 2 m emici olmayan bir ip ile bağlanır. Yanda **Şekil 3.3**'de yıkanma deneyi test düzeneği gösterilmektedir.

Uygulama: Boş sepet tartılarak darası alınır, hiçbir şişleme sıkıştırma işlemi yapılmaksızın sepet taze beton ile doldurulur ve 2 dakika beklemeye alınır. Süre sonunda sepet çeperlerine bulaşan taze beton nemli bir sünger ile silinerek tartılır. Bu işlemden sonra sepet su sütununun dibine serbestçe inmesine

izin verilir sepet kutu dibine çarptırılmamasına özen gösterilir. Sepet bekletilmeksizin 5 sn içerisinde sabit bir hızla yukarı çekilir ve 15 sn boyunca suyun sepetten süzülmesine izin verilir. Bu işlemin ardından sepet tartılır ve sonuç kaydedilir. Bu işlem beş kez tekrarlanır. Karışımın hazırlanması dahil tüm test 10-20 dakika içerisinde tamamlanır.

Yıkanma miktarı hesaplanması:

$$\% \text{ Yıkanma} = (\text{İlk beton kütlesi} - \text{Test sonrası beton kütlesi}) / (\text{İlk beton kütlesi}) (4.1)$$

Her test sonrası için hesaplama yapılarak sonuçlar kaydedilir.

3.4.1.4 Oluk (Akıntı) deneyi



Oluk (Akıntı) testi için; 2 m uzunluğunda, 150 mm çapında yarım bir oluk 20° açıyla iki destek arasına konur. 1 litrelik beton numunesi oluğun üst noktasından 30 cm altına yerleştirilir ve 2 litre su sabit hızla olmak üzere oluk ağzından akıtılarak betonun yıkanması ve akışkanlığında ki değişimler gözlemlenerek kaydedildi. Bu deney Graham Taylor' un su altı betonu üzerine yaptığı bir çalışmadan alınmıştır belirli bir standartı yoktur [20]. Bu deney; su altı betonunun işlenebilirliği ve yıkanması hakkında bilgi veren deneysel gözlemlerden oluşmaktadır.

Şekil 3.4: Oluk deneyi test düzeneği

3.4.1.5 pH deneyi



pH betonunun su içerisinde ayrışmasının bir göstergesidir. Çevresel bir önem taşıması sebebiyle su altı betonları için önemli bir parametredir. pH testi için; 3 litre hacmindeki bir kova önce 1,6 litresi su ile dolduruldu, 1 litrelik taze beton on parçaya ayrılarak kovaya yerleştirildi ve üç dakika sonra su üstünde yüzen eriyiğin 1 litresi pH testi için

ayrılarak, pH' ı ölçülmüştür. Bu test için pHmetre cihazı kullanılmıştır [10].

Şekil 3.5: pH deneyi test düzeneği

3.4.1.6 Penetrasyon deneyi



Bu deney State of the Art Report of Rilem TC 174 on Self-Compacting Concrete 2001 standartlarından elde edilmiştir [21].

Bu deney; betonun segregasyona karşı direncini ölçmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Penetrasyon deneyi için; çapı 75 mm, et kalınlığı 1,5 mm olan 50 mm yüksekliğindeki halka üzerine monte edilen, milimetrik ölçeklendirilmiş iniş çubuğu ile birlikte ağırlığı 54 gr olacak şekilde ayarlanır. Ayrışma halkasının kalıba düz oturacağı şekilde bir kalıp hazırlanır. 20*20*20 cm' lik 8 litre

hacmindeki çelik kalıp hiçbir sıkıştırma ve düzeltme işlemi yapılmadan taze beton ile doldurulur ve 2 dakika boyunca betonun kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. Süre sonunda kalıba oturtulan halka beton üzerine yerleştirilir ve 45 sn sonra halkanın beton içerisine ne kadar indiği iniş çubuğu üzerindeki milimetrik ölçekten okunarak kaydedilir. **Şekil 3.6'** da Penetrasyon deneyi test düzeneği görülmektedir.

Eğer; Değer ≤ 8 mm ise betonun segregasyon direncinin yüksek olduğu,

Değer > 8 mm ise betonun segregasyon direncinin düşük olduğu söylenir.

3.4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş halde yapılacak basınç dayanımı testi için iki şer adet; su içinde alınan 3, 7 ve 28 günlük, havada 7 ve 28 günlük 15*15*15 cm' lik küp numuneler, eğilme deneyi için iki şer adet 7 ve 28 günlük 10*10*50 cm' lik eğilme numunesi alınmıştır. Su içinde alınan numuneler 1 gün havada olmak üzere 20°C $\pm$ 1 olan kür havuzunda deney gününe kadar saklanmıştır. Ultrases deneyi 28 günlük 10*10*50' lik eğilme numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su emme deneyi de gene 28 gün sonunda

kırılan eğilme numunelerinden 10*10*10 cm' lik numuneler kesilerek toplam 4 adet numune üzerinde su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.4.2.1 Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi numune alınış biçimine göre iki gurup da incelenmiştir.

3.4.2.1.1 Su içerisinde alınan basınç dayanımı numuneleri

Bu deney için kesin bir standart bulunamaması sebebiyle, su altı betonu üzerine yapılmış çalışmalarda kullanılan test yöntemlerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda betonun basınç dayanımı ölçülmesi amaçlanmıştır [10,24] .

6 adet 15*15*15 küp numunesi kalıbı tabanları 40 cm aşağıda olacak şekilde 60 cm en ve boyunda 40 cm yüksekliğinde bir kaba yerleştirildi. Küp numunelerin su üstünde yüzmelerini engellemek amacıyla ağırlıkları ithal kalıplara nazaran daha fazla olan yerli kalıp numuneleri seçildi. Kalıpların yerleştirildiği kaba 40 cm yüksekliğinde su dolduruldu ayrıca deney sonunda kabın boşaltılması amacıyla alt kısmına vana yerleştirildi. Taze beton 60 cm boyunda ağzı oval bir pimaş yardımı ile tremi denilen yöntemle iki eşit hacimde su içerisindeki kalıba yerleştirildi. Su içerisinde hiçbir şişleme ve sıkıştırma işlemi yapılmadı. 6 adet küp numune taze beton ile doldurulduktan 10 dak. sonra kabın vanası açılarak suyun akmasına izin verilmiştir. Kabtan çıkartılan küp numunelerin üstleri mala ile düzlendikten sonra plastik bir çekiçe yavaşça vuruldu. Numunelerin üstleri naylon ile örtülerek 1 gün havada olmak üzere 20°C±1°C olan kür havuzunda deney gününe kadar saklandı.

3.4.2.1.2 Havada alınan basınç dayanımı numuneleri

4 adet 15*15*15 küp numune masa vibratörü ile sıkıştırılmak suretiyle iki eşit hacimde doldurulup köşe noktalarından tokmaklanarak üzerleri naylon ile örtülmüştür. Deney numuneleri 1 gün havada olmak üzere 20°C±1°C olan kür havuzunda deney gününe kadar saklanmıştır. Günü gelen numuneler pres aletinde kırılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

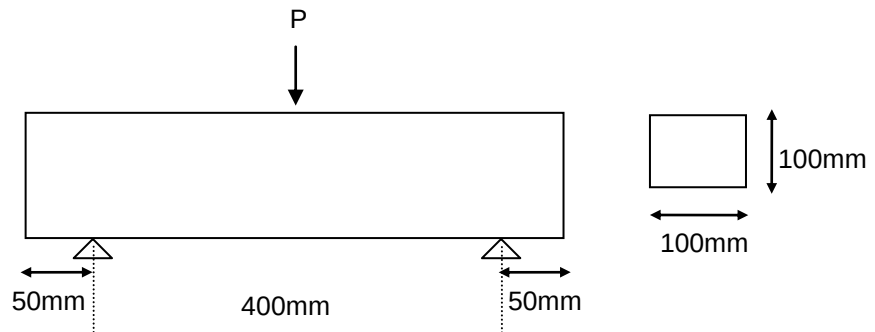
3.4.2.2 Eğilme Dayanımı deney sonuçları



4 adet 10*10*50 eğilme numunesi kalıbı aynı kaba yerleştirilerek kabın tamamı su ile dolduruldu. Taze beton 60 cm boyunda ağzı oval bir pimaş yardımı ile tremi denilen yöntemle iki eşit hacimde su içerisindeki kalıba yerleştirildi. Su içerisinde hiçbir şişleme ve sıkıştırma işlemi yapılmamıştır. 4 adet eğilme kalıbı taze beton ile doldurulduktan 10 dak. sonra kabın vanası açılarak suyun akmasına izin verilmiştir. Kabtan çıkartılan eğilme numunelerin üstleri mala ile düzlendikten sonra plastik bir çekiçle yavaşça vuruldu.

Şekil 3.7 : Eğilme deneyi numunesi alımı

Numunelerin üstleri naylon ile örtülerek 1 gün havada olmak üzere $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzunda deney gününe kadar saklanmıştır. Günü gelen numuneler NUH Beton Yapı Malzemesi laboratuvarında ELE marka 300 tonluk yükleme makinesi kullanarak eğilme dayanımları ölçülmüştür. Kiriş numunelerin ortasından tekil yük uygulanarak yapılan deneylerde, numunenin etkin kesit alanı 100 mm x 100 mm olarak seçildi. Oluşturulan 3 noktalı eğilme deney düzeneği Şekil 3.2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.8: Eğilme dayanımı deneyi yükleme düzeni

3.4.2.2 Eğilme Dayanımı deneylerinden net eğilme dayanımlarının hesaplanması

Numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F_{\text{net}} = (3PL) / 2BH^2 \quad (4.2)$$

F_{net} = Net eğilme dayanımı

P = Kırılma yükü (N)

L = Mesnetler arası uzaklık (mm)

B = Numune kesitinin genişliği (mm)

H = Numune kesitinin yüksekliği (mm)

Tablo 4.7. de yapılan deneyler sonucunda hesaplanan kırılma enerjileri ve net eğilme dayanımları verilmektedir.

3.4.2.3 Ultrases deneyi



Bu deney ile ses dalgalarının beton içerisindeki yayılma hızları belirlenmiştir.

Günü dolan 7 ve 28 günlük eğilme numuneleri kırılmadan önce uzun eksen boyunca pürüzsüz üç farklı noktadan kontak maddesi vurularak Pundit CNS Elektronik marka ultrases cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.9: Ultrases deneyi test cihazı

3.4.2.4 Su emme deneyi

Su emme deneyi için, 28 günlük eğilme deneyinde kırılan 2 adet numuneden iki şer adet 10*10*10 cm boyunda toplam 4 adet numune 23°C ±2°C' deki su havuzuna konulmuştur. Numuneler havuza konulduktan iki gün sonra, havuzdan çıkarılarak yüzeyleri hafifçe kurularak tartılmıştır. Tartılan numuneler 2 gün süreyle 105°C sıcaklıktaki etüvde kurutularak tekrar tartım alınmıştır. Tartımlar arasındaki fark saptanarak su emme değerleri aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak belirlenmiştir.

$$S_A = (P_1 - P_0) / P_0$$

$$S_A = \text{Su emme (\%)} \quad (4.3)$$

P_0 = Eğilme Numunesi kuru birim ağırlık (gr)

P_1 = Kür havuzunda bekletilen doymuş birim ağırlık

4. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde çalışma süresince elde edilen deney sonuçları tablolar halinde verilecektir.

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.1 Çökme-yayılma deneyi sonuçları

Yapılan deneylerdeki yayılma deneyi sonuçları Tablo 4.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 :Çökme-Yayılma Değerleri

Beton Türü	Yayılma Değerleri (cm)	Yayılma Değerleri (%)
K	50	100
AK	48	96
BK	52	104
AYP	52	104
AYST	48	96
BYST	50	100
BYSS	50	100
AYUP	50	100
AYUST	48	96
BYUST	48	96
BYUSS	47	94
AYUSP	58	116
AYUSST	51	102
BYUSST	50	100
BYUSSS	50	100

4.1.2 Birim ağırlık deneyi sonuçları

Taze beton birim ağırlıkları Tablo 3.10’ da verilmiştir. Üretilen beton karışımlarındaki gerçek malzeme miktarları taze birim ağırlığından faydalanarak hesaplanmıştır

4.1.3 Yıkanma deneyi sonuçları

Yapılan Yıkanma deneyi sonuçları (%) cinsinden aşağıda Tablo 4.2’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Yıkanma deneyi sonuçları (%)

Beton Türü	1. Yıkanma Sonunda (%)	5. Yıkanma Sonunda (%)
K	1,70	6,72
AK	1,54	10,24
BK	6,35	19,90
AYP	5,12	14,42
AYST	0,45	2,32
BYST	0,87	1,52
BYSS	2,54	5,52
AYUP	2,83	10,40
AYUST	0,29	2,00
BYUST	2,00	8,00
BYUSS	3,94	11,12
AYUSP	3,59	7,97
AYUSST	1,34	3,27
BYUSST	1,42	4,89
BYUSSS	3,32	10,95

4.1.4 Oluk (Akıntı) deneyi sonuçları

Yapılan Oluk deneyinde yapılan gözlemler aşağıda Tablo 4.3’ de verilmiştir.

Tablo 4.3 : Oluk deneyi gözlemleri

Beton Türü	Oluk (Akıntı) Testi Deneysel Gözlemler
K	Su ilavesine gerek kalmaksızın numune oluğa bırakılmasıyla birlikte kendiliğinden aktı. Akışkan bir beton. Su bulandı
AK	Su ilavesine gerek kalmaksızın numune oluğa bırakılmasıyla birlikte kendiliğinden aktı. Çok akışkan bir beton. Su bulandı.
BK	Su ilavesine gerek kalmaksızın numune oluğa bırakılmasıyla birlikte kendiliğinden aktı. Çok akışkan bir beton. Su bulandı.
AYP	Su ilavesiyle ince malzeme ayrıştı, agrega olukta kaldı. Su bulandı.
AYST	Su ilavesi ile çok az miktarda ince malzeme ayrıştı. Numune ayrışmadı. Su renginde hafif bir değişme oldu
BYST	Su ilavesi ile çok az miktarda ince malzeme ayrıştı. Numune ayrışmadı. Su renginde hafif bir değişme oldu
BYSS	Su ilavesi ile çok az miktarda ince malzeme ayrıştı. Numune ayrışmadı. Su renginde hafif bir değişme oldu
AYUP	Su ilavesiyle az miktarda ince malzeme ayrıştı, numune kısmi olarak olukta kaldı. Su bulandı.
AYUST	Su ilavesi ile ayrışma olmadı. Su renginde bir değişim gözlemlenmedi
BYUST	AYUST' a nazaran su ilavesi ile az bir ayrışma oldu. Su renginde bir değişim gözlemlenmedi
BYUSS	Su ilavesi ile çok az miktarda ince malzeme ayrıştı. Numune ayrışmadı. Su renginde hafif bir değişme oldu
AYUSP	Su ilavesinin ilk saniyelerinde az miktarda ince malzeme ayrıştı son saniyelerde numune tamamen ayrıştı. Su bulandı
AYUSST	Su ilavesi ile ayrışma olmadı. Su renginde bir değişim gözlemlenmedi
BYUSST	Su ilavesi ile çok az miktarda ince malzeme ayrıştı. Numune ayrışmadı. Su renginde hafif bir değişme oldu
BYUSSS	BYUSST' e nazaran su ilavesi ile az bir ayrışma oldu. Su renginde hafif bir değişim gözlemlenmedi

4.1.5 pH deneyi

Yapılan pH deneyi sonuçları aşağıda Tablo 4.4' de verilmiştir.

Tablo 4.4 : pH değerleri

Beton Türü	pH
K	10,33
AK	10,26
BK	10,50
AYP	10,07
AYST	8,57
BYST	10,06
BYSS	9,77
AYUP	9,76
AYUST	9,64
BYUST	10,28
BYUSS	9,57
AYUSP	9,87
AYUSST	8,56
BYUSST	9,66
BYUSSS	8,62

4.1.6 Penetrasyon deneyi

Yapılan Penetrasyon deneyi sonuçları (mm) cinsinden aşağıda Tablo 4.5' de verilmiştir.

Tablo 4.5: Penetrasyon deneyi sonuçları (mm)

Beton Türü	Ayrışma Direnci (mm)
K	3
AK	1
BK	2
AYP	3,5
AYST	2
BYST	4
BYSS	3
AYUP	7
AYUST	2
BYUST	2
BYUSS	1
AYUSP	6
AYUSST	3
BYUSST	3
BYUSSS	3

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1 Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Yapılan Basınç dayanımı deneyi sonuçları (N/mm²) cinsinden aşağıda Tablo 4.6’ da verilmiştir.

Tablo 4.6 : Basınç dayanımı değerleri (N/mm²)

Numune Alma Şekli	Beton Türü	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)		
		3 Gün	7 Gün	28 Gün
Havada Alınan	K	-	23,6	34,8
	AK	-	47,4	65,8
	BK	-	48,2	64,1
	AYP	-	38,2	51,7
	AYST	-	23,4	34,9
	BYST	-	34,1	43,8
	BYSS	-	30,2	39,7
	AYUP	-	31,5	43,7
	AYUST	-	19,7	28,6
	BYUST	-	31,4	44,1
	BYUSS	-	25,1	35,6
	AYUSP	-	28,9	44,8
	AYUSST	-	11,6	23,8
	BYUSST	-	24,8	38,5
	BYUSSS	-	22,3	33,5
Su İçinde Alınan	K	9,9	17,7	26
	AK	21,8	27	34,9
	BK	11,3	19,9	21,7
	AYP	12,4	21,7	26,4
	AYST	12,3	18,8	26,1
	BYST	11,9	18,3	28,3
	BYSS	11,6	20,1	28,7
	AYUP	11,1	13,1	20,9
	AYUST	9,7	14,3	20,7
	BYUST	11,8	18,1	30,2
	BYUSS	7,6	16,1	25,4
	AYUSP	13,9	17,2	27,2
	AYUSST	8,5	13,7	20,7
	BYUSST	10,4	17,2	27,1
	BYUSSS	8,5	15,9	23,7

4.2.2 Eğilme dayanımı deney sonuçları

Yapılan Eğilme deneyi sonuçları (N/mm^2) cinsinden aşağıda Tablo 4.7’ da verilmiştir.

Tablo 4.7 : Eğilme deneyi sonuçları

Numune Alma Şekli	Beton Türü	EĞİLME DAYANIMI (N/mm^2)	
		7 Gün	28 Gün
Su İçinde Alınan	K	6,1	7,6
	AK	6,5	7,6
	BK	7,3	7,5
	AYP	6	7,8
	AYST	4,7	5,9
	BYST	6,3	6,5
	BYSS	5,7	7,2
	AYUP	5,4	5,5
	AYUST	4,3	5,6
	BYUST	5,1	6,8
	BYUSS	5,5	7,2
	AYUSP	5,1	6,3
	AYUSST	3,8	5,0
	BYUSST	4,5	6,2
	BYUSSS	4,5	5,5

4.2.3 Ultrases deneyi sonuçları

Yapılan Ultrases deneyi sonuçları (Km/sn) cinsinden aşağıda Tablo 4.8’ da verilmiştir.

Tablo 4.8 : Ultrases hızı deneyi sonuçları (Km/sn)

Numune Alma Şekli	Beton Türü	ULTRASES HIZI (Km/sn)	
		7 Gün	28 Gün
Su İçinde Alınan	K	4,1	4,7
	AK	4,6	4,9
	BK	4,5	4,8
	AYP	4,5	4,7
	AYST	4,2	4,5
	BYST	4,3	4,5
	BYSS	4,1	4,4
	AYUP	4,4	4,5
	AYUST	4,2	4,3
	BYUST	4,3	4,5
	BYUSS	4,4	4,6
	AYUSP	4,2	4,2
	AYUSST	4,0	4,3
	BYUSST	4,1	4,5
	BYUSSS	4,2	4,4

4.2.4 Su emme deneyi sonuçları

Yapılan Su emme deneyi sonuçları (%) cinsinden aşağıda Tablo 4.9’ da verilmiştir.

Tablo 4.9 : Su emme değerleri [ağırlıkça (%)]

Numune Alma Şekli	Beton Türü	Su Emme 28 Gün Ağırlıkça (%)
Su İçinde Alınan	K	5,56
	AK	4,52
	BK	6,04
	AYP	4,82
	AYST	6,22
	BYST	6,56
	BYSS	6,67
	AYUP	6,25
	AYUST	6,64
	BYUST	6,52
	BYUSS	6,49
	AYUSP	5,85
	AYUSST	7,12
	BYUSST	5,72
	BYUSSS	6,28

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, bölüm 4’ de verilen taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları değerlendirilecektir.

5.1 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.1.1 Çökme-yayılma deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Çökme-yayılma deneylerinin sonuçları Tablo 4.1.’ de verilmektedir. Çalışmada; Su altı betonunu donatılar arasına vibrasyon etkisi olmadan rahatça yayılabilmesi ve betonun kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetinin sağlanabilmesi amacıyla betonun çökme-yayılması 50cm’de sabit tutulmuştur.

5.1.2 Birim ağırlık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Üretilen betonlar kalıplara yerleştirilmeden önce, silindir şeklinde 8 litre hacimli bir kap içerisine yerleştirilerek taze betonun birim ağırlığı ölçüldü. Tablo 3.10 ‘da üretilen betonların gerçek birim ağırlıkları verilmektedir. Bütün değerlere birlikte bakıldığında, taze betonların birim ağırlıklarının birbirine yakın değerler aldığı, YÖK kullanılan betonlarda katkının su ihtiyacını arttırması sebebiyle su/bağlayıcı miktarının arttığı bu nedenle birim ağırlıkların düştüğü görülmektedir. Genel olarak birim ağırlıktaki değişim en fazla A firmasının üretmiş olduğu selüloz toz esaslı YÖK’ da elde edilmiştir. Uçucu kül ve silis dumanı içeren selüloz esaslı toz AYUSST kodlu YÖK’ lı betonun birim ağırlığı 2219 kg/m³dür. Su/çimento oranının ise 0,80 ile en yüksek değeri aldığı görülmektedir.

5.1.3 Yıkanma deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Yıkanma deney sonuçlarını değerlendirirken Tablo 4.2 ve Şekil 5.1,2,3,4,5,6’ dan faydalanılarak yorum yapılmıştır.

Akışkanlaştırıcı katkıların su/bağlayıcı oranını düşürmeleri sebebiyle betonun yıkanmasını düşürdükleri akla gelirdi. Ancak Şekil 5.1’e bakıldığında YÖK ve hiper

akışkanlaştırıcı içermeyen Kontrol betonunun yine YÖK içermeyen ancak farklı firmaların üretmiş olduğu HA (hiper akışkanlaştırıcı) katkıları içeren Kontrol A ve B betonlarına oranla yıkanma değerinin düşük olduğu görülür. Bu sonuç akışkanlaştırıcı katkı içeren betonların su/çimento oranını düşürmesi durumunda ilginç olarak su altı betonunun yıkanmasını arttırdığını ortaya koymuştur.

Şekil 5.2 HA ve YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak yıkanma değerlerini göstermektedir. Şekile bakıldığında en etkili katkıların selüloz içerikli YÖK' lar olduğu görülmektedir. Selüloz esaslı YÖK kullanılan betonların yıkanma değerlerinin kontrol betonlarına oranla düşük oldukları görülür. Bu sonuç doğrultusunda selüloz esaslı YÖK' ların betonun yıkanmasını düşürme işlevini yerine getirdiklerini söyleyebiliriz. Polietilen esaslı YÖK' nın betonun yıkanmasına belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu katkı beton içerisine toplam bağlayıcı miktarının % 0,3 oranında ilave edilmiştir. Bu dozajın su altı betonun yıkanmasını düşürmek için yeterli olmadığı görülmektedir ancak % 0,5 oranında kullanıldığı ön çalışmalarda bu dozajın yıkanmayı düşürmesine karşın betonu aşırı kohezif hale getirerek betonun işlenebilmesini olumsuz etkilediği görülmüştür. İleri bir çalışma olarak bu katkının betonda uygun işlenebilme ve düşük yıkanma değerinin elde edilebileceği katkı dozajı araştırılabilir.

Betonun viskozitesini ölçmek için herhangi bir araştırma yapılmamış olsada Şekil 5.1 ve 2' ye birlikte bakıldığında YÖK içermeyen Kontrol katkılı betonlar ile YÖK içeren betonların yıkanmaları arasındaki farklılığın betonun viskozitesinden kaynaklandığını düşündük. Bu düşüncemizi Şekil 5.1' de YÖK içermeyen yalnızca HA içeren Kontrol A ve B betonlarının aynı işlenebilirlikte olmalarına karşın su/bağlayıcı oranı yüksek olan Kontrol B betonunun yıkanmasının, Kontrol A betonuna oranla yüksek olmasının betonun viskozitesinin düşük olmasından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir. Ayrıca YÖK' ların betonun viskozitesini arttırmak sureti ile su altı betonunun yıkanmasını düşürdükleri anlaşılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkıların her ne kadar betonun viskozitesini düşürerek yıkanmasını arttırmış olsalarda; betonun su/çimento oranını düşürmeleri ve su altı betonunun işlenebilirliğini sağlamaları nedeniyle su altı betonlarında kullanılmalarının gerekliliği anlaşılmıştır.

YÖK' ların su altı betonun viskozitesine olan etkisi bu konuda yapılmış farklı bir çalışmada şu şekilde açıklanmaktadır. Bu çalışmada; YÖK oluşturan uzun zincir polimerlerinin beton harcındaki su moleküllerinin dış yüzeylerine yapışarak su

moleküllerini emerek sabitledikleri, böylece genişlemesine sebep oldukları söylenmektedir. Bu suretle moleküllerin birbirlerine sarılarak çekim güçleri genişleterek suyun hareketine daha fazla engel olarak betonun jelleşmesine ve viskozitenin artış göstermesine neden oldukları söylenmektedir [3]. Bu çalışmadan elde edilen sonuç betonun viskozitesinin yıkanmada etkili olduğu düşüncemizi doğrulamaktadır.

Şekil 5.3 mineral katkı olarak toplam bağlayıcı miktarının % 20' si oranında uçucu külün kullanıldığı, HA ve YÖK içeren betonların yıkanma değerlerini göstermektedir. Şekile bakıldığında beton içerisindeki toplam bağlayıcı miktarı sabit olmasına karşın betondaki ince malzeme miktarı artmasıyla uçucu külsüz duruma göre A selüloz toz esaslı YÖK' sının yıkanmasında bir değişme olmazken, A polietilen oksit esaslı YÖK' sının yıkanma değerinin düştüğü, B selüloz toz ve sıvı esaslı YÖK' larının yıkanmalarının arttığı görülmüştür. Burada yıkanma açısından en etkili YÖK'nin A selüloz toz olduğunu, B selüloz toz ve sıvı katkıların uçucu kül içermeyen duruma göre etkinliklerini kaybettikleri görülmektedir. Polietilen esaslı YÖK' sında ise beton içerisindeki ince malzeme artışının yıkanmayı azaltarak olumlu bir etkisinin olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 5.4 mineral katkı olarak toplam bağlayıcı miktarının % 12,5' i oranında uçucu kül ve % 7,5 oranında silis dumanının kullanıldığı, HA ve YÖK içeren betonların yıkanma değerlerini göstermektedir. Burada A ve B selüloz toz esaslı YÖK' ların su altı betonunun yıkanmaması için en etkili katkılar olduğu, Polietilen esaslı katkı içeren betonun yıkanmasının, mineral katkı olarak yalnızca Uçucu kül içeren duruma göre daha da düştüğü, B selüloz sıvı esaslı YÖK' sının mineral katkılar ile birlikte etkili olamadığı görülmüştür.

Ayrıca Şekil 5.1,2,3,4' e birlikte bakıldığında YÖK içeren betonların akışkanlaştırıcı katkı içeren kontrol betonlarına oranla su/bağlayıcı miktarlarının arttığı görülmüştür. Buradan YÖK 'ların beton içerisindeki su ihtiyacını arttırdıkları sonucuna varılır. Bunu YÖK' ların betonun viskozitesini artırırken, su moleküllerinin dış yüzeylerine yapışarak emmeleri sebebiyle su/çimento oranını arttırdıkları şeklinde açıklayabiliriz. Mineral katkı olarak karışıma silis dumanının eklendiği bölümlerde bu oran daha fazla artmıştır.

Şekil 5.5 ve 6 tüm YÖK içeren betonların 1 ve 5 yıkanma sonundaki yıkanma değerlerini göstermektedir. Bu şekillerden en etkili katkının A selüloz toz esaslı katkının olduğu görülür. Ayrıca beton içerisindeki mineral katkı kullanılmasının

Polietilen esaslı YÖK’ da yıkanmayı düşürerek olumlu bir etkisi olurken, selüloz esaslı toz ve sıvı YÖK’ larda betonun yıkanmasına olumlu bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Özetle; betonun yıkanmasındaki en önemli etkenin viskozite olduğu, YÖK’ların viskoziteyi arttırmaları nedeniyle betonun yıkanmasını düşürdükleri, akışkanlaştırıcı katkıların viskoziteyi düşürerek yıkanmayı arttırmalarına karşın betonun su/çimento oranını düşürmesi ve işlenebilmesine olan olumlu etkisinden dolayı su altı betonunda kullanılmalarının gerekliliği anlaşılmıştır. Ayrıca mineral katkıların bekleneninin tersine selüloz esaslı YÖK’ lar da yıkanmayı arttırdıkları görülmüştür.

Genel olarak yıkanma sonuçları incelendiğinde en etkili katkının A selüloz toz esaslı YÖK’ sı olduğu görülmektedir.

5.1.4 O luk (Akıntı) deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu deney Graham Taylor’ un su altı betonu üzerine yaptığı bir çalışmadan alınmıştır ve belirli bir standartı yoktur. Bu deney; su altı betonunun işlenebilirliği ve yıkanması hakkında bilgi veren deneysel gözlemlerden oluşmaktadır. Tablo 4.3’ de bu deney ile ilgili gözlemler yer almaktadır. Bu gözlemlerden elde edilen genel eğilim özellikle selüloz içerikli YÖK’ ların betonun kohezyonunu arttırmaları sebebiyle betonun olukta yapışma özelliğini arttırdığı, su ilave edilmesiyle, biriktirme kabındaki suyun kontrol betonlarına oranla daha az bulandığı gözlenmiştir. Bu deney sonucuna göre, YÖK içeren betonların su altı betonunun yıkanmasına olumlu bir etkisinin olduğunu söyleyebiliriz. Kullanılan YÖK’ lar içerisinde hem mineral katkıların kullanıldığı hemde kullanılmadığı bölümlerde en etkili katkının A selüloz toz esaslı YÖK’ sının olduğu gözlenmiştir.

5.1.5 pH deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

pH deney sonuçlarını değerlendirirken Tablo 4.4 ve Şekil 5.7’ den faydalanılarak yorum yapılmıştır. pH; betonun su içerisindeki ayrışmasının bir göstergesidir. Su altı betonunun ayrışması arttıkça pH’ da artacaktır. Su içerisindeki kirliliğinde bir göstergesi olan pH’ ın çevresel önem taşıması sebebiyle su altı betonunun yıkanmasının az olması istenir. Şekil 5.7 pH’ın YÖK türüne bağlı olarak değişimini göstermektedir. Buradan en yüksek pH değerinin A polietilen oksit ve B selüloz toz esaslı YÖK’ lar ile üretilen betonlarda elde edildikleri görülmektedir. Ayrıca uçucu kül içeren betonların diğer betonlara nazaran pH değerlerinin daha yüksek oldukları

görülmektedir. Uçucu kül bazik olmasına karşın pH değerinin yüksek çıkması, yapısındaki serbest kirecin fazla olmasına bağlanabilir. pH açısından en etkili katkının A selüloz toz esaslı YÖK' sı olduğu görülür.

Şekil 5.8,9,10,11 Kontrol ve YÖK' lı betonların su/bağlayıcı oranına bağlı olarak yıkanma ile pH arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.

Şekil 5.8' e bakıldığında kontrol katkılı betonlarda pH ile yıkanma arasındaki ilişkinin benzer şekilde değiştiği görülmüştür. Şekil 5.9' da BYST kodlu beton, Şekil 5.10' da AYUST kodlu betonlar çıkartıldığında diğer şekillerde de yıkanma ile pH arasında benzer biçimde değişiklikleri görülür. Buda bize su içerisinde yıkanan ince malzeme miktarının artmasıyla pH'ın da artacağını göstermektedir.

Özet olarak pH ölçmeninde yıkanmanın bir ölçüsü olduğu anlaşılmıştır.

5.1.6 Penetrasyon deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Penetrasyon deney sonuçlarını değerlendirirken Tablo 4.5 ve Şekil 5.12' den faydalanılarak yorum yapılmıştır.

Şekil 5.12 Ayırışma Direncinin katkı türüne bağlı olarak değişimini göstermektedir. Betonun segregasyona karşı direncini ölçmek amacıyla gerçekleştirilen bu deneyden elde edilen sonuçlar arttıkça betonun ayrılmaya olan direnci düşmektedir. Bu sebeple bu deneyden elde edilen sonuçların düşük çıkması istenir. Penetrasyon deneyi ile elde edilen bu değerlerin Politen esaslı katkıda yüksek olmasına karşın, selüloz esaslı YÖK' larda düştüğü, özellikle mineral katkı olarak yalnızca uçucu kül içeren karışımda bu değerlerin en düşük seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu sonuçtan mineral katkıların betonun segregasyon direncini artırarak ayrılmayı düşürdüklerini söyleyebiliriz. Standartta penetrasyon deneyinde 8 mm' nin altında kalan değerlerin ayırışma riski taşımadıkları belirtilmektedir. Şekil 5,8'e bakıldığında elde edilen tüm değerlerin 8 mm' nin altında kaldığı görülür. Su altı betonun ayırışma direncinin yüksek oluşu şu şekilde açıklanabilir; YÖK' lar viskoziteyi artırarak betonun kohezyonunu artırırlar böylece betonun segregasyona karşı direnci artar. Bu nedenle su altı betonunun kohezyonunun yüksek olması sebebiyle ayırışma riski taşımadıklarını şeklimize bakarak söylenebilir.

State of the Art Report of Rilem TC 174 on Self-Compacting Concrete 2001 standartından elde edilen bu deney de,

Eğer; Ayırışma direnci ≤ 8 mm ise betonun segregasyon direncinin yüksek olduğu,

Ayrışma direnci > 8 mm ise betonun segregasyon direncinin düşük olduğu belirtilmektedir [21].

5.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1 Basınç Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Basınç deneyi, su içerisinde ve havada alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı bir yöntem olan su içerisinde numune alma methodu bölüm 3.4.2.1.1’ de açıklanmıştır. Basınç deneyi sonuçlarını değerlendirirken Tablo 4.6 ve Şekil 5.13,14-15,16,17,18,19-20,21,22,23,24,25,26,27’ den faydalanılarak yorumlar yapılmıştır.

Şekil 5.13,14,15,16,17 su içerisinde alınmış Kontrol ve YÖK’ lı numunelerin basınç dayanımlarını göstermektedir.

Şekil 5.13 YÖK ve hiper akışkanlaştırıcı katkı içermeyen Kontrol betonu ile yine YÖK içermeyen ancak farklı firmaların üretmiş olduğu HA (hiper akışkanlaştırıcı) katkıları içeren Kontrol A ve B betonlarının basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir. Şekle bakıldığında Kontrol A betonunun su içerisinde alınmış numunesinin en yüksek dayanımı elde ettiği görülmektedir. Kontrol B betonunun su/çimento oranının Kontrol betonuna oranla daha düşük olmasına rağmen ilginç olarak dayanımlarının birbirine yakın oldukları görülür. Şekil 5.1’ den hatırlanacağı gibi Kontrol B betonunun Kontrol betonuna oranla yıkanma değeri daha yüksekti. Buradan betonun yıkanmasındaki artışın dayanıma olan olumsuz etkisi anlaşılmaktadır. Ayrıca Kontrol B betonunun 7 ve 28 günlük dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 5.14’de su içerisinde alınmış HA ve YÖK içeren betonların 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Şekle bakıldığında basınç dayanımları arasında büyük farklılıklar olmadığı görülür. Aynı gruptaki Yıkanma deneyinden hatırlanacağı gibi en yüksek (A poli etilen oksit) ve en düşük (A selüloz toz) yıkanmaları veren YÖK’lerin, basınç dayanımlarının A polietilen oksit katkılı betonun su/çimento oranının daha düşük olması sebebiyle birbirine yakın çıktığı anlaşılmıştır. Şekilden basınç dayanımları arasındaki değişimler çok az olsada etkili katkıların B selüloz toz ve sıvı esaslı YÖK’ lar oldukları görülür.

Şekil 5.15 su içerisinde alınmış, toplam bağlayıcı miktarının %20’ si oranında uçucu külün kullanıldığı, HA ve YÖK içeren betonların 3,7,28 günlük basınç dayanımı

değerlerini göstermektedir. Bu şekile bakıldığında en etkili katkının B selüloz toz esaslı YÖK' sı olduğu, bu katkının külsüz duruma göre çok küçük bir oranda dayanımın arttığı, B selüloz sıvı ve A poli etilen oksit esaslı YÖK' larda ise dayanımların düştüğü görülmektedir. Şekil 5.2 ve 3' den hatırlanacağı gibi külsüz duruma göre A selüloz toz esaslı katkının yıkanmasında bir değişim olmazken, bu şekilde su/bağlayıcı oranı düşmesine karşın ilginç olarak dayanımın külsüz duruma göre azaldığı görülmüştür.

Şekil 5.16 su içerisinde alınmış, toplam bağlayıcı miktarının %12,5' i oranında uçucu kül ve %7,5 oranında silis dumanının kullanıldığı, HA ve YÖK içeren betonların 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Şekilden A polietilen esaslı YÖK' sının, mineral katkı olarak yalnızca Uçucu külün kullanıldığı duruma göre dayanımında artış olurken, selüloz esaslı YÖK' ların kullanıldığı betonların dayanımlarında belirgin bir değişim olmamıştır.

Su içerisinde alınmış numunelerin basınç dayanımlarından elde ettiğimiz sonuçları şekil 5.17 ile birlikte özetlersek; B firmasının üretmiş olduğu selüloz toz ve sıvı esaslı YÖK' ların dayanım açısından en etkili YÖK' lar oldukları belirlenmiştir. A selüloz toz esaslı katkının betonun yıkanması açısından en etkili katkı olmasına karşın, su içerisinde alınmış numunelerinin dayanımlarının beklenenin tersine çok yüksek olmadığı görülmüştür. Bunun sebebini su/çimento oranının yüksek olmasına bağlanabilir. YÖK içermeyen yalnızca HA katkı içeren Kontrol A betonunun su içerisinde alınmış numunesinin 35 Mpa ile en yüksek dayanımı elde ederken, HA ve YÖK içeren betonlar arasında en yüksek dayanımı 30Mpa ile uçucu kül içeren B selüloz toz esaslı YÖK' da elde edilmiştir. Kontrol katkılı ve YÖK' lı betonların dayanımları arasındaki farklılığın su/bağlayıcı oranından kaynaklandığı belirlenmiştir. YÖK' lar betonun su ihtiyacını arttırmasından dolayı su/çimento oranını arttırdığı bu sebeple dayanımların düştüğü belirlenmiştir.

Şekil 5.18,19,20,21,22 havada alınmış Kontrol ve YÖK' lı numunelerin basınç dayanımlarını göstermektedir.

Şekil 5.18 YÖK ve hiper akışkanlaştırıcı katkı içermeyen Kontrol betonu ile yine YÖK içermeyen ancak farklı firmaların üretmiş olduğu HA (hiper akışkanlaştırıcı) katkıları içeren Kontrol A ve B betonlarının basınç dayanımı sonuçlarını göstermektedir. Şeklimize bakıldığında 7 ve 28 günlük dayanımların benzer şekilde değiştiği, HA katkı içeren Kontrol A ve B betonlarının su/bağlayıcı oranlarının düşük olması sebebiyle HA katkı içermeyen Kontrol betonuna oranla dayanımların yüksek

olduğu görülür. Kontrol A betonunun su/bağlayıcı oranının Kontrol B betonuna oranla düşük olmasına rağmen ilginç olarak dayanımları benzerlik göstermektedir.

Şekil 5.19 havada alınmış HA ve YÖK içeren betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Şekle bakıldığında 7 ve 28 günlük dayanımların benzer şekilde değiştiği görülür. En yüksek dayanım A polietilen esaslı katkıda, en düşük dayanım ise A selüloz toz esaslı YÖK' lı betonda elde edilmiştir.

Şekil 5.20 havada alınmış, toplam bağlayıcı miktarının %20' si oranında uçucu külün kullanıldığı, HA ve YÖK içeren betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Bu şekile bakıldığında 7 ve 28 günlük dayanımların benzer şekilde değiştiği görülmektedir, ayrıca dayanımların külsüz duruma göre düştüğü görülür.

Şekil 5.21 havada alınmış, toplam bağlayıcı miktarının %12,5' i oranında uçucu kül ve %7,5 oranında silis dumanının kullanıldığı, HA ve YÖK içeren betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerini göstermektedir. Bu şekile bakıldığında 7 ve 28 günlük dayanımların benzer şekilde değiştiği ayrıca dayanımların mineral katkı olarak yalnızca kül içeren bir önceki şekile göre 28 günlük dayanımların düştüğü görülür.

Şekil 5.22 havada alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımları görülmektedir. Şekle bakıldığında katkı türüne bağlı olarak dayanımların benzerlik gösterdiği, mineral katkıların dayanıma belirgin bir etkisinin olmadığı görülür. Havada alınan numunelerin basınç dayanımlarının, yıkanma etkisi söz konusu olmadığından, su içerisinde alınan numunelere oranla (Şekil 5.17) dayanımların yüksek oldukları görülür.

Havada alınmış numunelerin basınç dayanımlarından elde ettiğimiz sonuçları özetlersek: 7 ve 28 günlük dayanımların özellikle YÖK' lı betonlarda benzer değiştiği, dayanımların su/bağlayıcı oranından etkilendiği, ayrıca betona mineral katkı ilavesinin betonun basınç dayanımına olumlu bir etkisinin olmadığı görülmüştür. YÖK' lı betonların dayanımları incelendiğinde genel olarak en yüksek dayanım A polietilen esaslı YÖK' da, en düşük dayanım A selüloz toz esaslı katkıda elde edilmiştir.

Şekil 5.23,24,25,26,27 hava ve su içerisinde alınmış Kontrol ve YÖK' lı numunelerin karşılaştırılmalı basınç dayanımlarını göstermektedir.

Şekil 5.23 hava ve su içerisinde alınmış Kontrol numunelerinin karşılaştırılmalı basınç dayanımlarını göstermektedir. Şekilden dayanımlar arasındaki en büyük fark

HA katkı içeren Kontrol A ve B betonlarında olurken, HA katkı içermeyen kontrol betonunun dayanımları arasındaki fark çok küçük olmaktadır.

Şekil 5.24,25,26 ve 27' e birlikte bakıldığında, şekillerin kendi içlerinde ve aralarında benzer şekilde değiştiği görülür. YÖK içeren betonlar arasında en büyük farkın A poli etilen esaslı YÖK' sında elde edildiği görülmektedir. Bunu; Polietilen esaslı katkının havadaki dayanımlarının HA katkısında etkisiyle yüksek olduğu, aynı su/çimento oranına sahip olmasına karşın su içerisinde alınan numunelerinin çimento gibi ince tanelerinin yıkanması sonucunda beton dayanımlarının düştüğü, bu sebeple hava ve su içindeki dayanımları arasındaki farkın yüksek olduğu şeklinde açıklanabilir. Su içinde ve havada alınan numunelerin basınç dayanımları arasındaki farkın selüloz esaslı YÖK' larda düştüğü en etkili katkının ise A selüloz toz esaslı katkı olduğu görülmektedir. Buradan selüloz esaslı YÖK' ların betonun yıkanmasına olan olumlu etkilerinden dolayı, dayanımı arttırdıkları bu sebeple su altı betonları için etkili katkılar olduklarını söyleyebiliriz.

Özetle; su içerisinde alınan numunelerin basınç dayanımlarının havadakilere oranla düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebini betonların su içerisine yerleştirilmeleri esnasında yıkanmaları ve su/ çimento oranlarının değişimlerinden kaynaklandığını söyleyebiliriz. Polietilen esaslı katkının Şekil 5.27'den de görüldüğü gibi hava ve su içerisinde alınmış numuneleri arasındaki fark çok yüksek olurken, selüloz esaslı katkılarda bu farkın düştüğü görülmektedir. Buradan selüloz esaslı katkıların su altı betonları için etkili katkılar olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 5.28,29,30,31 Kontrol ve YÖK' lı betonların su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı ile yıkanma arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Bu şekillerden Yıkanma ile dayanım arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu, yıkanmanın arttığı durumlarda basınç dayanımının düştüğü, yıkanmanın azaldığı durumlarda basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Su altı betonunun dayanımına olan etkinin YÖK türünden ziyade su/bağlayıcı miktarının etkili olduğu görülmektedir.

Şekil 5.32,33,34,35 Kontrol ve YÖK' lı betonların su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı ile pH arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekillere bakıldığında pH-Dayanım arasındaki ilişkinin, Yıkanma ile Dayanım arasındaki ilişkiler ile benzer özellikler gösterdiği görülmektedir.

5.2.2 Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde Tablo 4.7’ de verilen 7 ve 28 günlük Eğilme dayanımı değerlerinden elde edilen Şekil 5.36,37,38,39,40 dan faydalanılarak yorum yapılmıştır.

Şekil 5. 36,37,38,39,40’ da su içerisinde alınmış Kontrol ve YÖK’ lı numunelerin eğilme dayanımları görülmektedir.

Şekil 5.36 YÖK ve hiper akışkanlaştırıcı katkı içermeyen Kontrol betonu ile yine YÖK içermeyen ancak farklı firmaların üretmiş olduğu HA (hiper akışkanlaştırıcı) katkıları içeren Kontrol A ve B betonlarının eğilme dayanımı sonuçlarını göstermektedir. Şekle bakıldığında Kontrol katkılı betonların eğilme dayanımı sonuçları arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.37 su içerisinde alınmış HA ve YÖK içeren betonların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri görülmektedir. Şekile bakıldığında su/bağlayıcı oranına bağlı olarak eğilme dayanımlarının değiştiği görülmektedir. A polietilen esaslı YÖK’ sı dışında eğilme dayanımlarının, su içerisinde alınan numunelerin basınç dayanımlarını gösteren Şekil 5.14’ dekine benzer şekilde değiştiği görülmektedir. Poli etilen esaslı katkının eğilme ve basınç dayanımları arasındaki bu farklılığın deneysel bir hatadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5.38 ve 39 su içerisinde alınan mineral katkı içeren YÖK’ lı betonların eğilme dayanımlarını göstermektedir. Şekilden mineral katkıların betonun eğilme dayanımına belirgin bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Bunu mineral katkıların inceliklerinin fazla olması sebebiyle yerleştirilmeleri esnasında yıkanarak etkinliklerini kaybettikleri şeklinde yorumlayabiliriz. Yıkanma deneyinden elde edilen sonuçlardan da hatırlanacağı gibi mineral katkılı betonların yıkanmalarının da yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca bu şekillerin su içerisinde alınan numunelerin basınç dayanımlarının gösterildiği Şekil 5.15 ve 16 ile benzer şekilde değiştiği, eğilme deneyinden elde edilen sonuçların basınç dayanımı deneyinden elde edilen sonuçları destekledikleri anlaşılmaktadır.

Şekil 5.41,42,43,44 Kontrol ve YÖK’ lı betonların su/bağlayıcı oranına bağlı olarak yıkanma ile eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Özetle; selüloz esaslı YÖK’ ların eğilme dayanımlarının katkı türünden ziyade su/bağlayıcı oranına bağlı olarak değiştiği, Şekil 5.40’dan da görüldüğü gibi, YÖK’ lı betonlar içerisinde B selüloz toz ve sıvı esaslı YÖK’ ların en etkili katkıları olduğu, en düşük dayanımın ise A Selüloz toz esaslı katkıda elde edildiği görülmüştür. YÖK

kullanılan betonların eğilme dayanımlarının Kontrol betonlarının altında kaldığı, ayrıca mineral katkılı betonların eğilme dayanımına beklenenin tersine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Eğilme deneyinden elde edilen bu sonuçların su içerisinde alınan basınç deneyi sonuçlarını desteklediği görülmektedir

5.2.3 Ultrases Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde Tablo 4.8' de verilen 7 ve 28 günlük Ultrases hızı değerlerinden elde edilen Şekil 5.45,46,47,48,49' dan faydalanılarak yorum yapılmıştır.

Şekillere genel olarak bakıldığında 7ve 28 günlük ultrases hızlarının kendi içlerinde orantılı değiştiğini görüyoruz.

Ultrases deneyi, beton içerisindeki boşluk miktarının bir göstergesidir. Beton içerisindeki boşluk miktarının fazla olması, ultrases dalgalarının beton içerisinde daha yavaş ilerlemesine sebep olacaktır. Buda, beton dayanımının düşük olduğunun bir göstergesidir. Şekil 5.49' a bakıldığında en yüksek ve en düşük hızların farklı bileşimdeki Polietilen esaslı katkıda elde edildiği görülmektedir. Mineral katkıların inceliklerinin fazla olması sebebiyle, boşlukları dolduracağı, böylece ultrases hızının artacağı düşünüldü. Şekle bakıldığında, mineral katkıların ultrases dayanımına beklenenin tersine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.50,51,52,53 Kontrol ve YÖK' lı betonların su/bağlayıcı oranına bağlı olarak yıkanma ile ultrases hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

5.2.4 Su Emme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde Tablo 4.9' da verilen ağırlıkça su emme yüzdeleriyle, bu değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 5.54' den faydalanılarak yorum yapılmıştır.

Su emme deneyi; betonların görünen boşluk miktarını gösterdiğinden deney sonuçlarının düşük olması beklenir. Şekil 5.54' e bakıldığında YÖK türüne bağlı olarak su emme yüzdelerinin birbirine yakın değerler aldığı ve bu değerlerin % 5-7 arasında değiştiği görülür. Uçucu kül ve silis dumanının sonuçlara önemli bir ölçüde etkisinin olmadığı görülmüştür.

Şekil 5.55,56,57,58 Kontrol ve YÖK' lı betonların su/bağlayıcı oranına bağlı olarak yıkanma ile su emme arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

6. GENEL SONUÇLAR

- YÖK' lı betonların su ihtiyaçlarının fazla olması sebebiyle su/bağlayıcı oranlarının yüksek olduğu, bu sebeple YÖK' lı betonların birim ağırlıklarının düştüğü belirlenmiştir. En düşük birim ağırlıklar A selüloz toz esaslı YÖK' lı betonlarda elde edilmiştir.
- Betonun yıkanmasındaki değişimin viskozitesinden kaynaklandığı, viskozitesi yüksek olan betonların yıkanmalarının düşük olduğu, viskozitesi düşük olan betonların yıkanmalarının arttığı belirlenmiştir.
- YÖK' ların betonun viskozitesini arttırarak, yıkanmasını düşürdüğü görülmüştür.
- Akışkanlaştırıcı katkıların su altı betonunda, YÖK olmaksızın kullanılmaları durumunda, betonun su/çimento oranını düşürmelerine rağmen, yıkanmayı arttırdıkları görülmüştür. Ancak akışkanlaştırıcı katkıların betonun yıkanmasına olumsuz etkisi olsada, su ihtiyacı fazla olan YÖK' lı betonların su/çimento oranını düşürmeleri ve işlenebilmesini sağlamaları amacıyla YÖK ile birlikte kullanılmalarının gerekli olduğu anlaşılmıştır.
- Betonun yıkanma, oluk, pH gibi taze haldeki özelliklerine bakıldığında selüloz esaslı YÖK' ların başarılı katkılar olduğu, A selüloz toz esaslı YÖK' lının en etkili katkı olduğu görülmüştür.
- Mineral katkıların, poli etilen esaslı YÖK' lı betonun yıkanmasını düşürerek olumlu bir etkisi olurken, selüloz içerikli betonların, beklenenin tersine yıkanmalarını arttırdıkları görülmüştür. Ayrıca mineral katkıların betonun sertleşmiş halindeki özelliklerinede belirgin bir etkisi olmamıştır.
- YÖK' lı betonların pH değerlerinin su altı betonunun yıkanmaları ile benzer değiştiği, buradan pH ölçmeninde yıkanmanın bir ölçüsü olduğu anlaşılmaktadır.
- Su içerisinde alınan numunelerin basınç dayanımlarının, havadaki dayanımlarına oranla düşük olduğu, bunun sebebini betonun yerleştirilmesi

esnasında yıkanmaları ve su/bağlayıcı oranının değişmesinden kaynaklandığı görülmüştür.

- Su içerisinde ve havada alınan Kontrol numunelerinin basınç dayanımları arasındaki fark büyük olurken, YÖK' lı betonların arasındaki farkın düşük olduğu, buradan katkılı betonların yıkanmayı düşürmeleri sebebiyle betonun dayanımı arttırdıkları görülmektedir.
- A selüloz toz esaslı YÖK' nın betonun taze haldeki yıkanma, pH, oluk gibi özelliklerinde başarılı olmasına karşın, betonun sertleşmiş haldeki basınç ve eğilme dayanımlarında, beklenenin tersine düşük değerler aldığı görülmüştür. Bunun sebebini, betonun su/bağlayıcı oranının yüksek olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.
- Eğilme dayanımı ve ultrases hızı deneylerinden elde edilen sonuçların basınç dayanımından elde edilen sonuçları desteklediği görülmektedir.
- Betonun sertleşmiş haldeki özellikleri incelendiğinde en etkili katkıların B selüloz toz ve sıvı esaslı YÖK' lar olduğu görülmüştür.
- YÖK' ların su altı betonunun özelliklerine olan etkilerine bakıldığında en etkili katkının B selüloz toz esaslı YÖK' sı olduğu, en olumsuz katkının ise A poli etilen oksit esaslı YÖK' sı olduğu görülmüştür.

ÖNERİLER

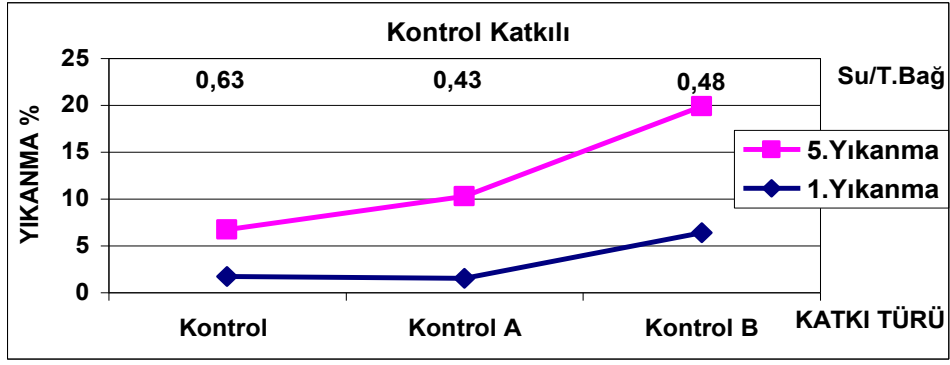
- YÖK' lar kullanılmaksızın farklı dozajlardaki hiper akışkanlaştırıcı katkıların su altı betonunun viskozitesine etkisi araştırılarak, yıkanma ve dayanımına olan etkisi irdelenebilir.
- Tuzlu suyun ve su altının değişken koşullarının, su altı betonuna etkisi incelenmek amacıyla sülfat etkisi, klor geçirimsizliği, şişme, aşınma gibi deneyleri gerçekleştirilebilir.
- Bu çalışmada kullanılan selüloz ve polietilen esaslı katkıların farklı dozajlarının su altı betonunun özelliklerine etkileri araştırılabilir.
- Bu çalışmada denenmeyen farklı türdeki akrilik bazlı polimerler ile welan gum, kelzan gum gibi doğal polisakkaritler YÖK olarak su altı betonunun özelliklerine olan etkileri incelenebilir.
- $F_{Csü} / F_{Chava}$ oranını en yüksek yapan YÖK ve hiper akışkanlaştırıcı katkı dozajı araştırılabilir.
- Çalışmamızda silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıların su altı betonuna olan etkileri hakkında sonuçlar yer almaktadır. Bu mineral katkıların farklı dozajlarının su altı betonunun yıkanması, dayanımı gibi özelliklerine olan etkileri araştırılabilir.
- A polietilen esaslı YÖK' sının %0,3 oranında ki dozajının yıkanma değerinin yüksek olması sebebiyle yeterli olmadığı, %0,5 oranında kullanıldığı ön çalışmalarda bu dozajın betonu aşırı kohezif hale getirdiği bu nedenle betonun işlenebilmesine olumsuz etki ettiği görülmüştür. Bu katkının uygun işlenebilme durumunda yıkanmasını düşürecek uygun doz aralığı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

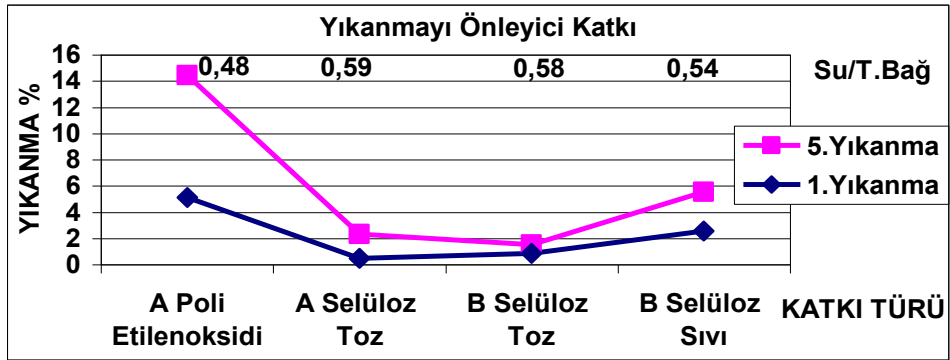
- [1] **Nagataki, S.**, Antiwashout Admixtures for Underwater Concrete, Tokyo İstitute of Technology, Japan.
- [2] **Sam, X.Y. and Gerwick, B.C.**, Underwater Concrete, Part 2, Proper mixture proportioning, Concrete İnternational, February 2004.
- [3] **Khayat, H.K.**, Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties, ACI Materials Journal, March-April 1995.
- [4] **Özkul, M.H.**, 2005. Kendiliğinden yerleşen betonların genel özellikleri, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi, Milli Kütüphane, Ankara, 24-25 Mart, s. 119-136.
- [5] **Işık, E.İ.**, 2005. Kendiliğinden yerleşen betonda viskozite düzenleyici katkıların kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Kardeşler, A.**, 2005. Karışım suyunda bulunan Magnezyum sülfat tuzunun uçucu küllü betonun özelliklerine etkisi, s. 17-22, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Şengül, C.**, 2005. Kendiliğinden yerleşen çelik lif donatılı betonların mekanik davranışına, su/ince malzeme oranı ve lif dayanımının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Doğan, Ü.A.**, 2000 Yeni kuşak süper akışkanlaştırıcıların harç ve beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Kandemir, G., Mutlu, M., Sağlam,A.R., Parlak, N.**, Yüksek oranda akışkanlaştırıcı katkı kullanımının beton özelliklerine etkileri, 5. Uluslar arası Beton Konferansı, İstanbul, Haziran 2004.
- [10] **Kawakami, M., Wada, S., Suzukawa, K.**, 1989. Effects of chemical admixtures on Colloidal Underwater Concrete, Ottawa Conference.
- [11] **Soucier, L.K. and Neely, D.B.**, Antiwashout admixtures in Underwater Concrete, Chemical Admixtures Complation 23, ACI.

- [12] **Antiwashout admixtures for Underwater Concrete**, Repair Evaluation Maintenance Rehabilitaion Technical Note CS-MR-72.
- [13] **TS 3526**, 1980. Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini, TSE, Ankara.
- [14] **TS 19**, 1998. Portland Çimentoları, TSE, Ankara
- [15] **TS EN 450**, 1998. Uçucu kül- Betonda kullanılan- Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, TSE, Ankara.
- [16] **Yıldırım, H. Ve Uyan, M.**, 2005 Betonda Akışkanlaştırıcı Katkı kullanımında istenen şartlar ve Türkiye’deki durum, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi, Milli Kütüphane, Ankara, s. 157-168.
- [17] **Bartos, P.J.M., Sonebi, M., Tamim,A.K.**, Workability and Rheology of Fresh Concrete, Compedium of tests, RİLEM Technical Commitee TC 145-WSM, Workability of Special Concrete Mixes.
- [18] **TS 3529**, 1980. Beton agregalarının birim ağırlıklarının tayini, TSE, Ankara.
- [19] **CRD-C 61-89A**, 1989. Test Method for determining the resistance of freshly mixed concrete in washing out in water, Handbook for Concrete, US Army Experimental Station, Vicksburg, Miss, 1989.
- [20] **Taylor, G.**, Underwater Concrete, www.ansi.org
- [21] **State of the Art Report of RİLEM TC 174 on Self-Compacting Concrete**, 2001.
- [22] **Sam, X.Y. and Gerwick, B.C.**, Underwater Concrete, Part 1, Design Concepts and Practices, Concrete İnternational, February 2004.
- [23] **Akman, A.N. ve Akman, M.S.**, Su altı betonları ve Yıkanmayı Önleyici Kimyasal Katkılar, SİKA Teknik Bülten 2005-1.
- [24] **Sonebi, M. And Khayat, H.K.**, Effect of Mixture Compositation on Relative Strenght of Highly Flowable Underwater Concrete, ACI Materials Journal 98-M 26
- [25] **Sam, X.Y. and Gerwick, B.C.**, Underwater Concrete, Part 2, Proper Mixture Proportioning, Concrete İnternational, February 2004.

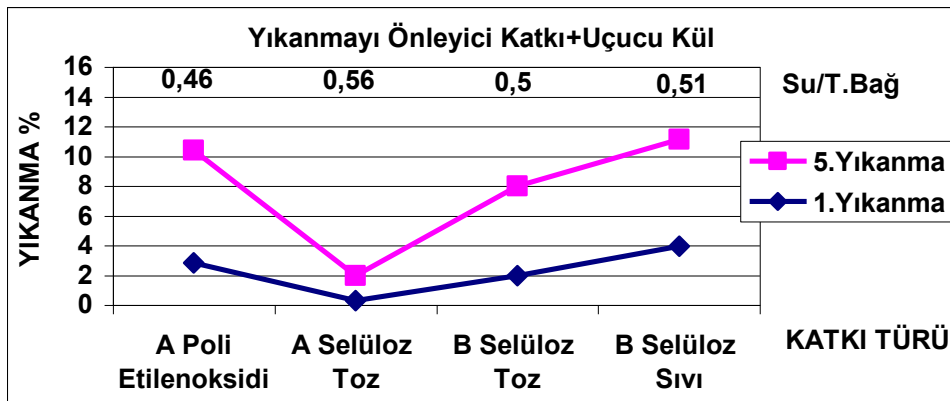
EKLER



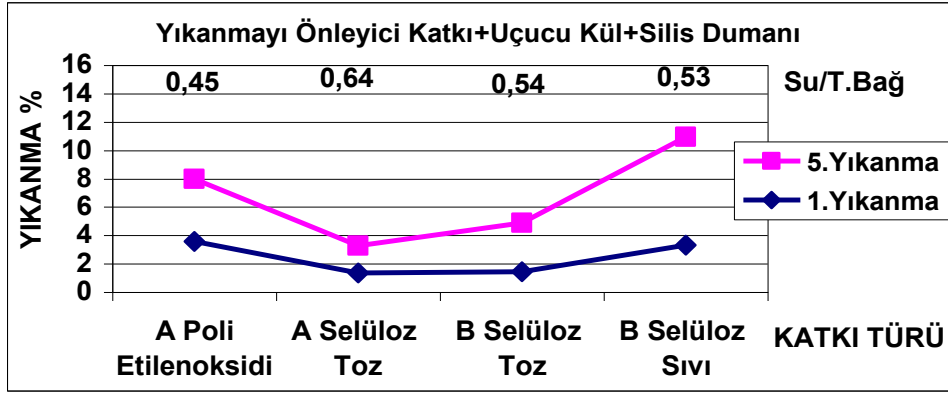
Şekil 5.1 : YÖK içermeyen Kontrol betonu ile YÖK içermeyen yalnızca akışkanlaştırıcı kimyasal katkı içeren Kontrol A ve B betonlarının yıkanma değerleri



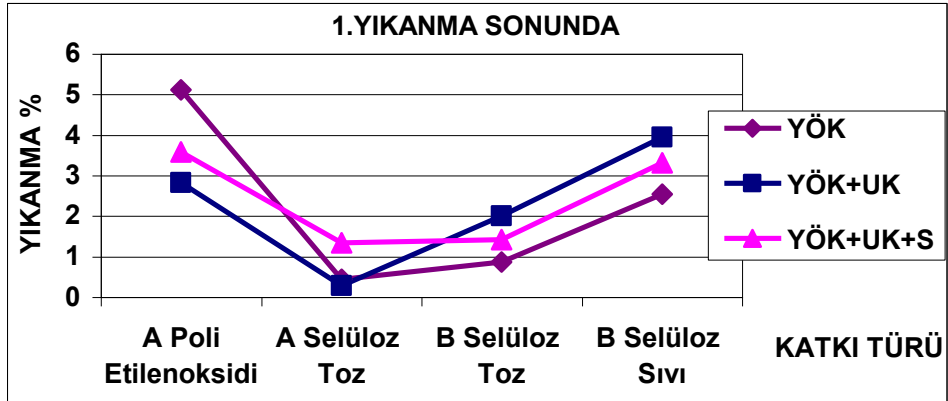
Şekil 5.2 : YÖK içeren betonlarda YÖK türüne bağlı yıkanma değerleri



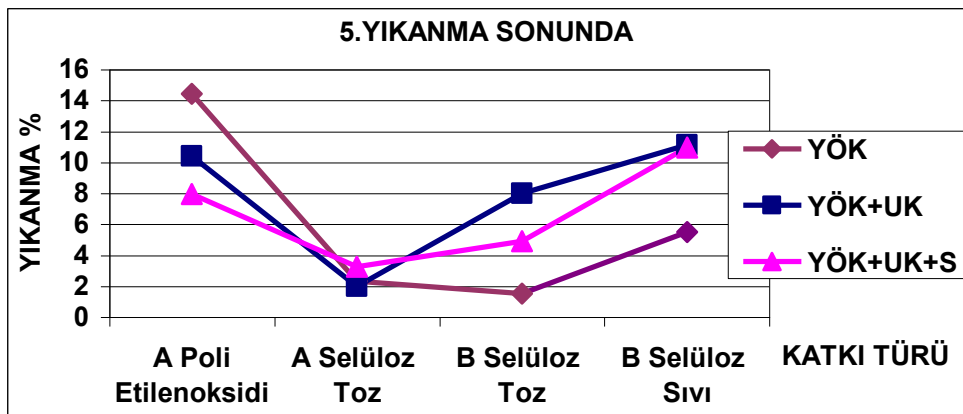
Şekil 5.3 : %20 Uçucu kül içeren betonlarda YÖK türüne bağlı yıkanma değerleri



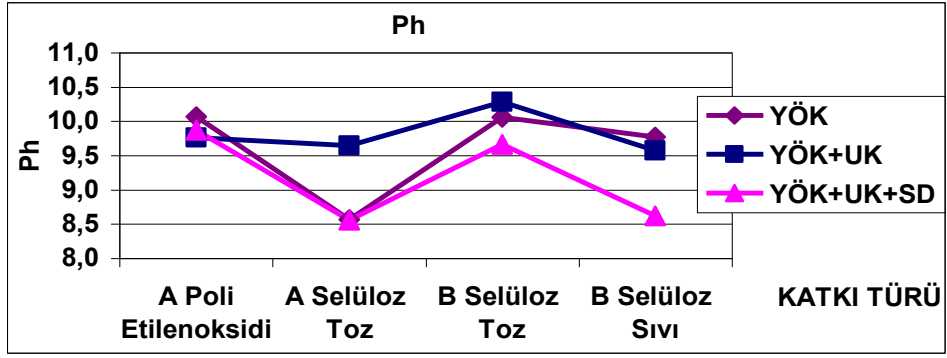
Şekil 5.4 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı içeren betonlarda YÖK türüne bağlı yıkanma değerleri



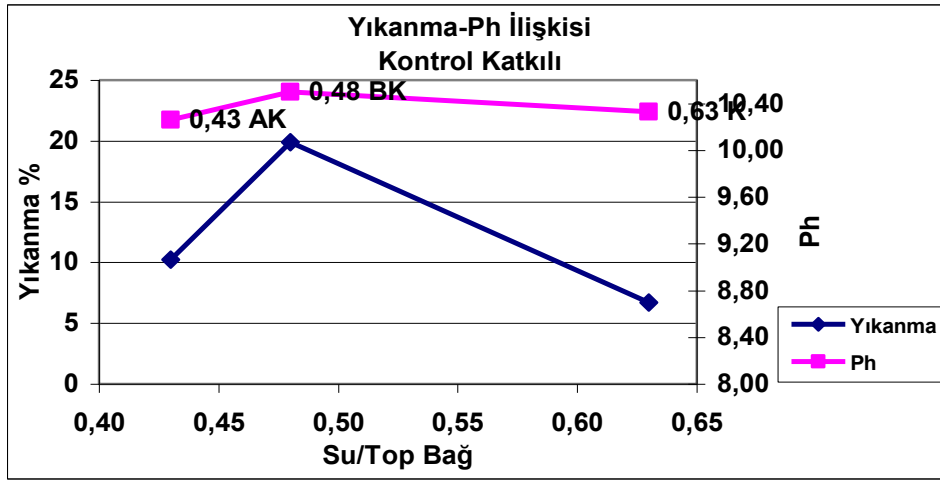
Şekil 5.5 : YÖK içeren tüm betonların 1.yıkanma sonundaki yıkanma değerleri



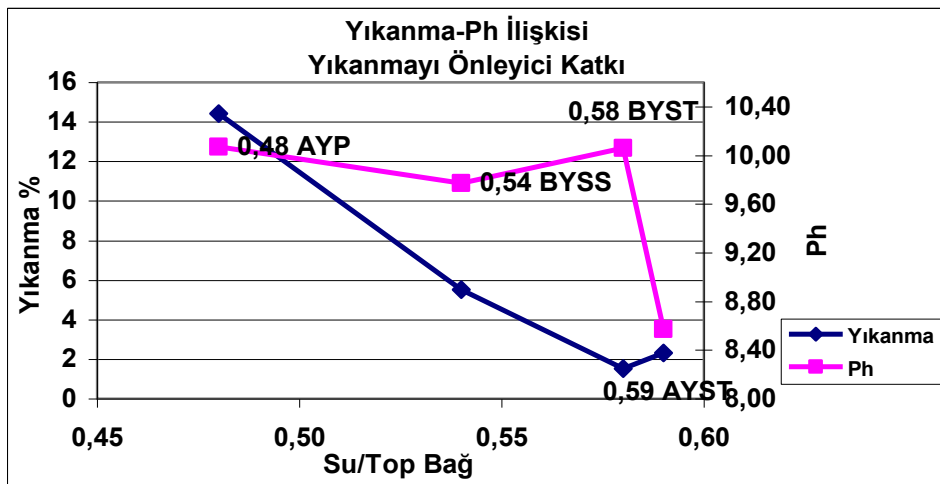
Şekil 5.6 : YÖK içeren tüm betonların 5.yıkanma sonundaki yıkanma değerleri



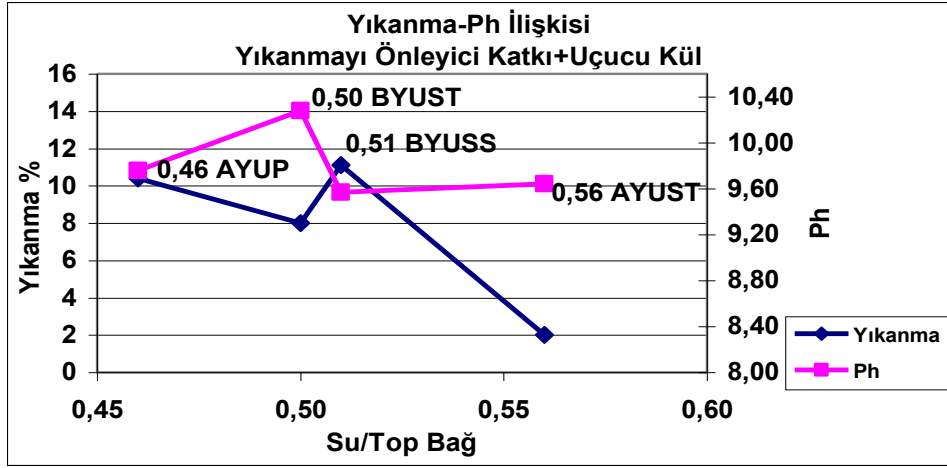
Şekil 5.7 : YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak pH değerleri



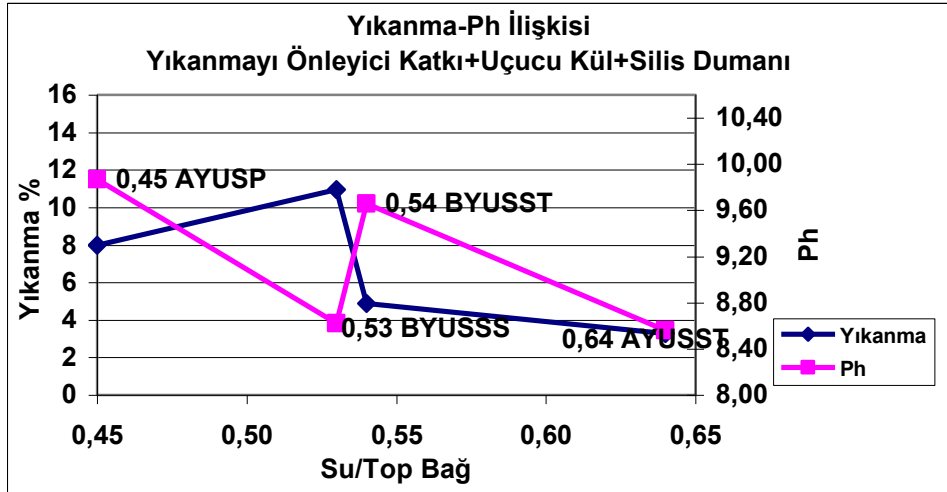
Şekil 5.8 : Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi



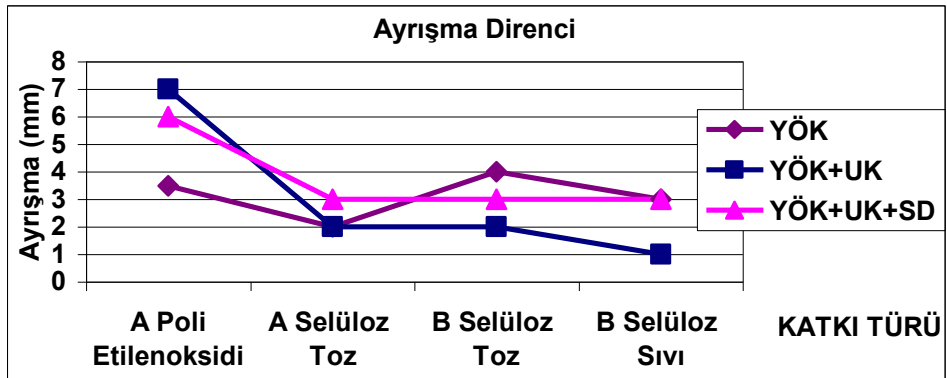
Şekil 5.9 : YÖK'lü betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi



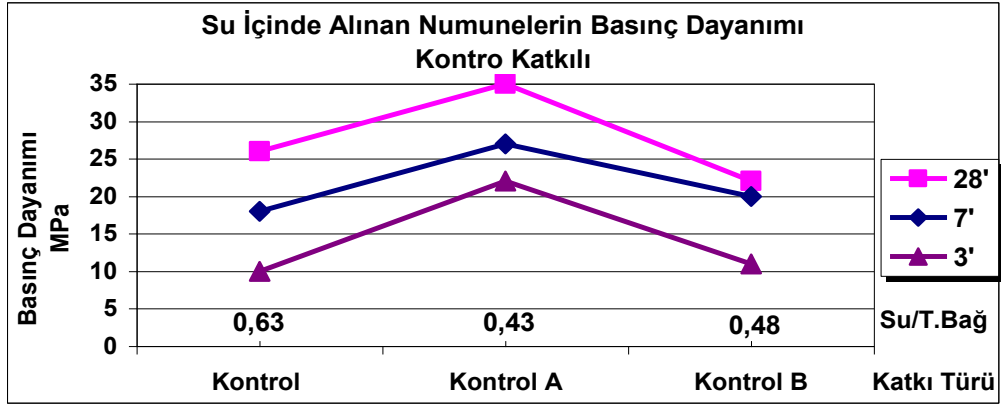
Şekil 5.10: %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi



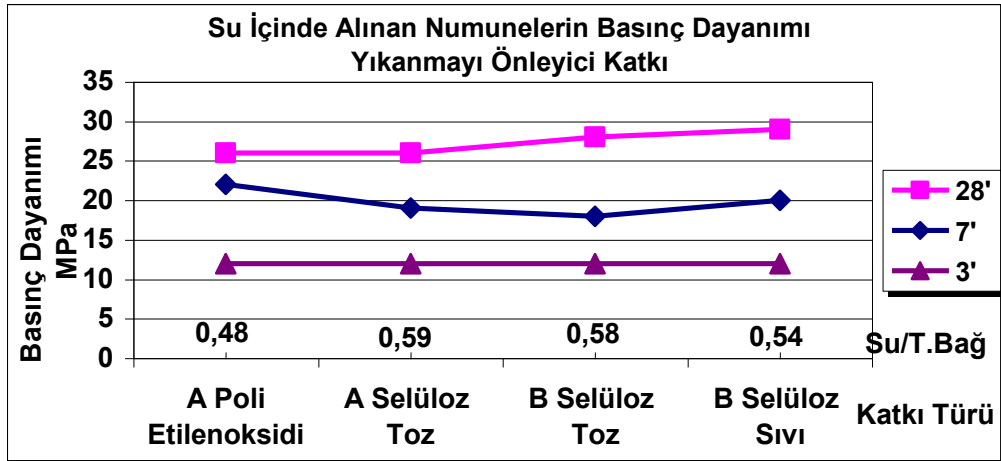
Şekil 5.11 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-pH ilişkisi



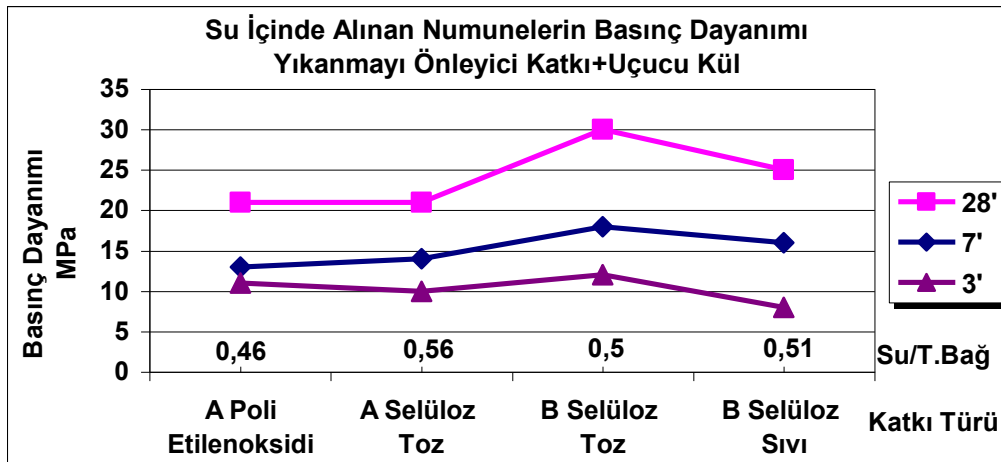
Şekil 5.12 : YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak Ayrışma Direnci değerleri



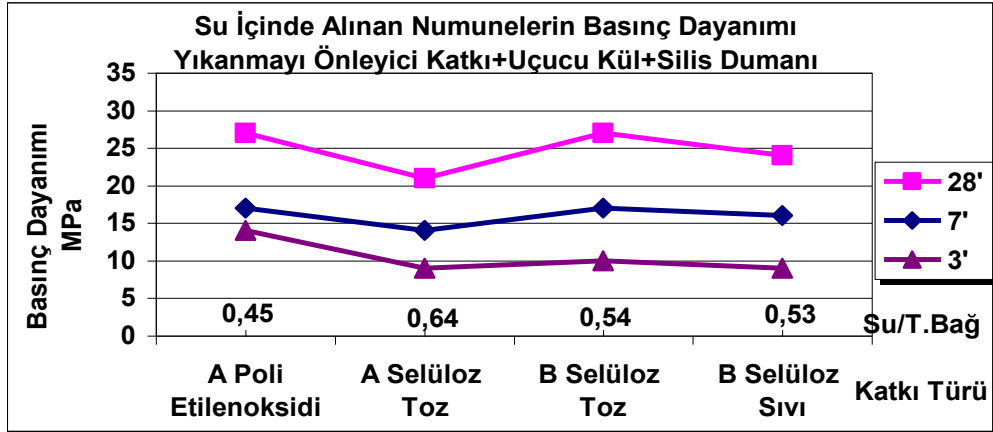
Şekil 5.13 : Su içerisinde alınmış kontrol katkılı betonların 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



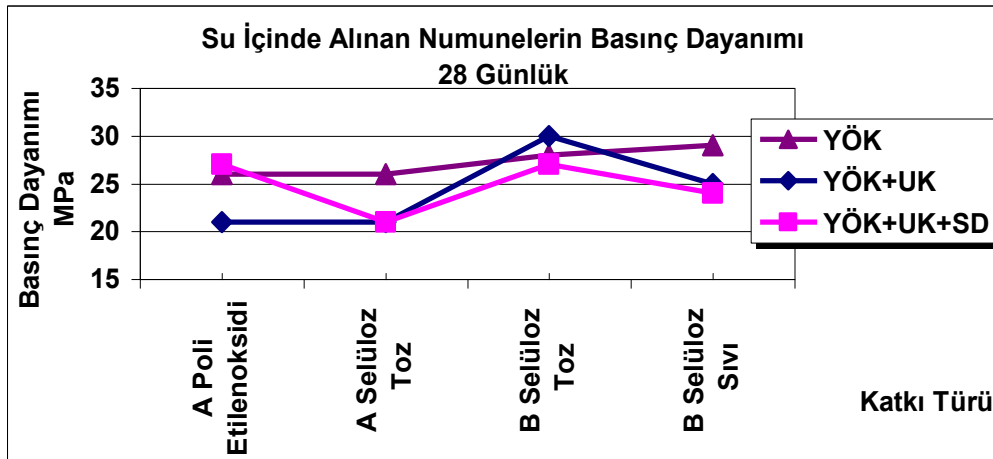
Şekil 5.14 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



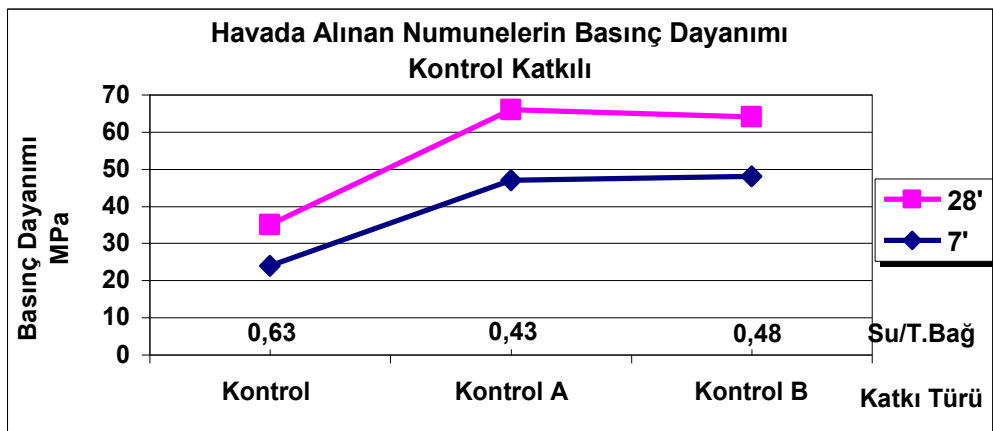
Şekil 5.15 : Su içerisinde alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



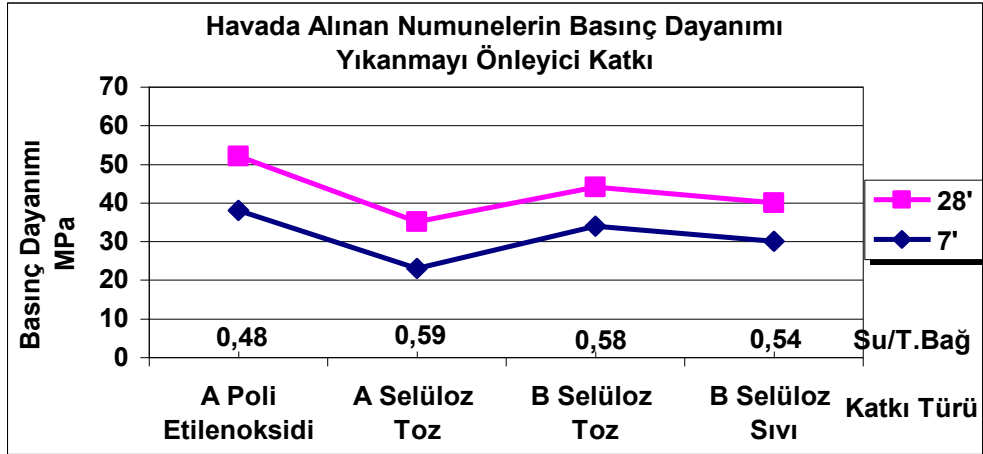
Şekil 5.16 : Su içerisinde alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 3,7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



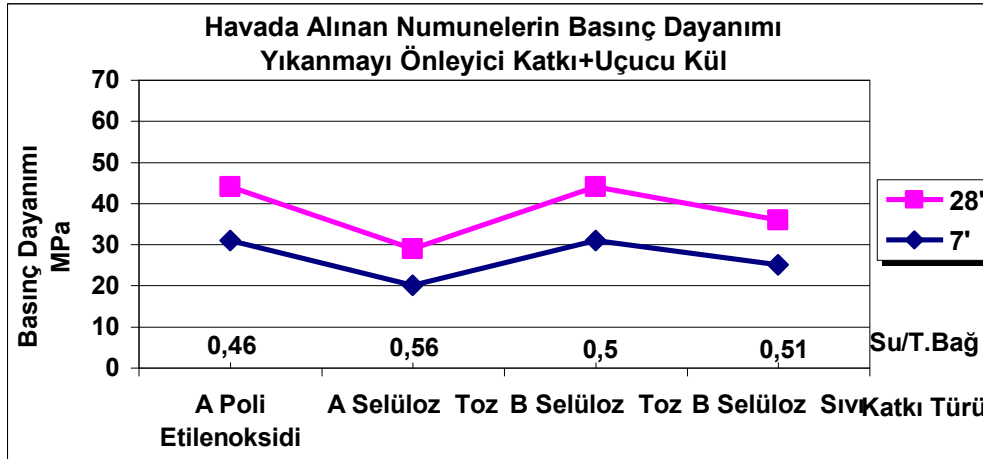
Şekil 5.17 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri



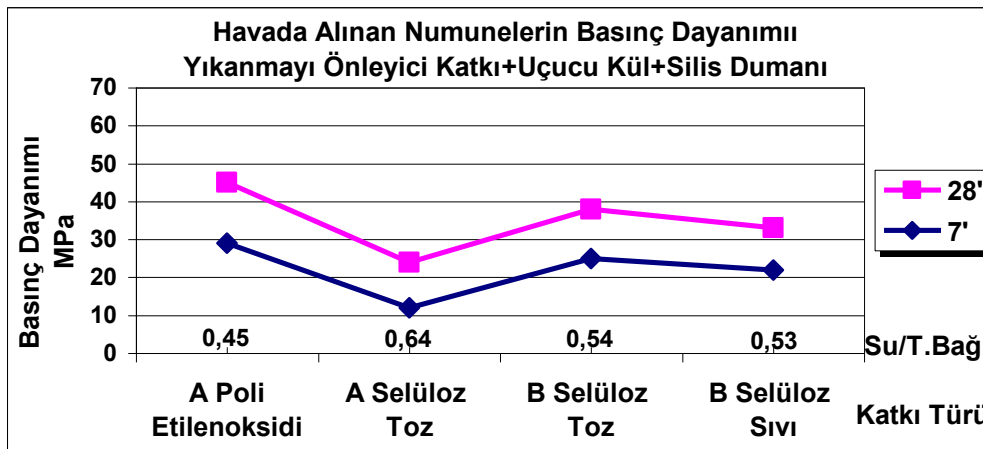
Şekil 5.18 : Havada alınmış kontrol katkıli betonların 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



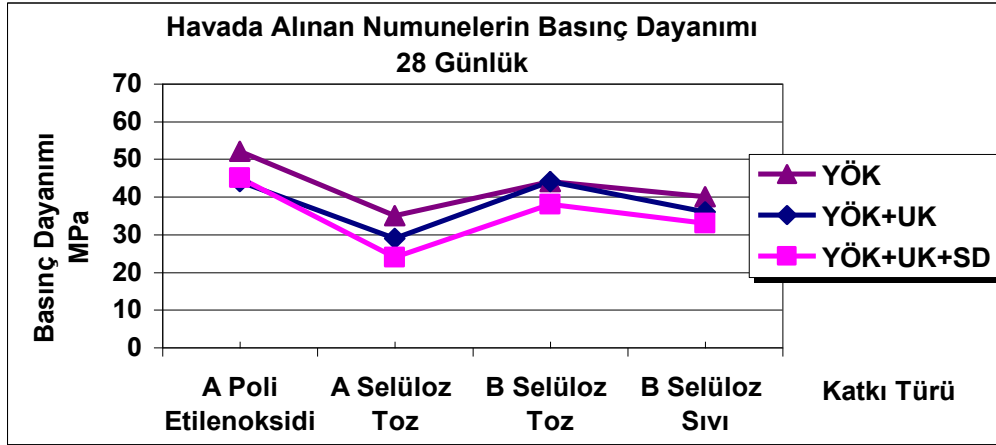
Şekil 5.19 : Havada alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



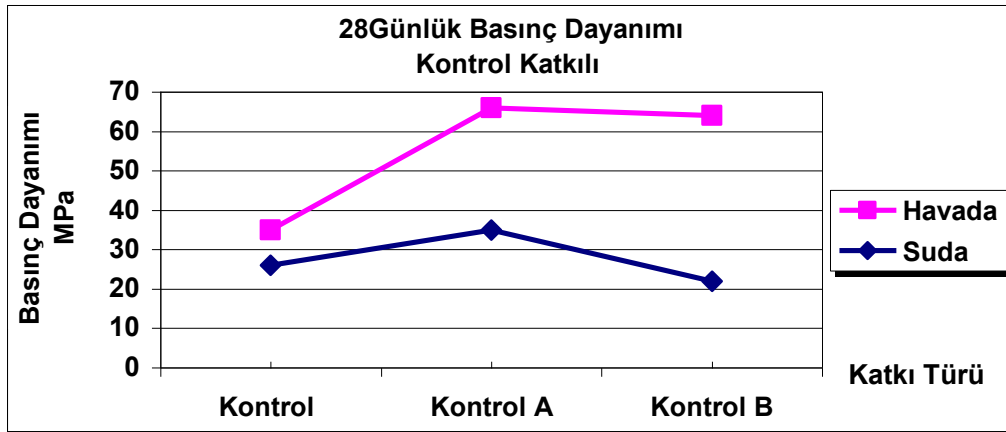
Şekil 5.20 : Havada alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



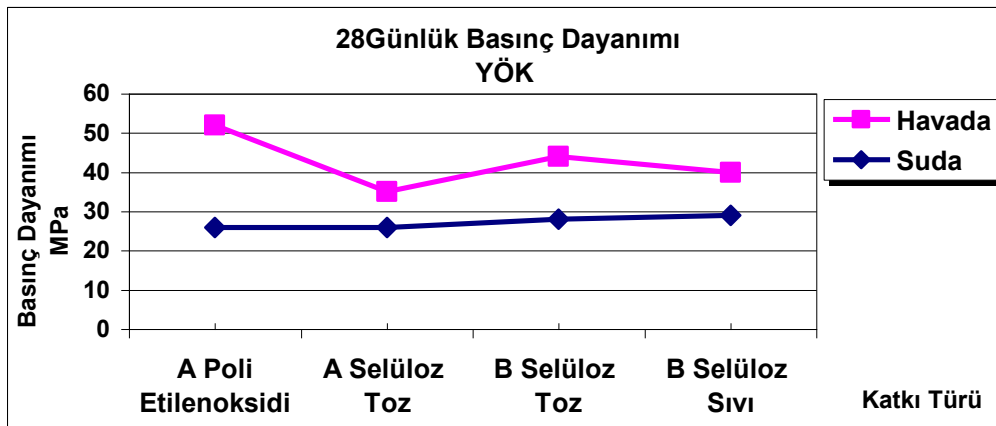
Şekil 5.21 : Havada alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük basınç dayanımı değerleri



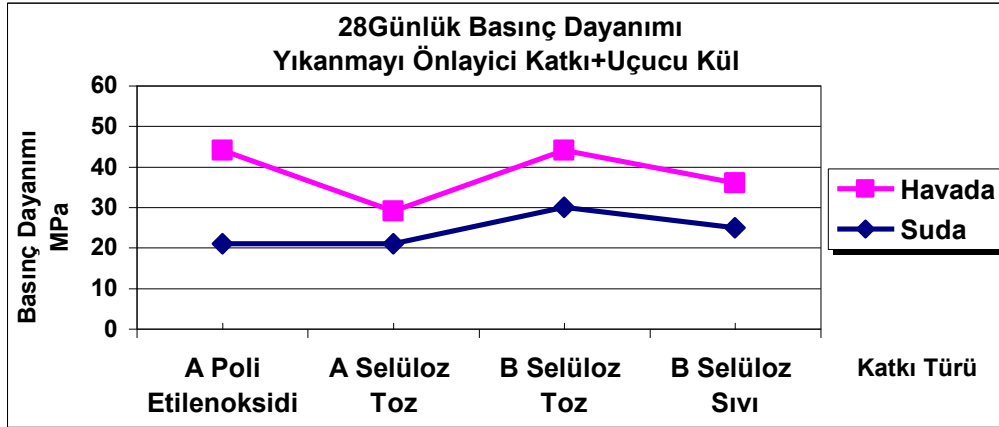
Şekil 5.22 : Havada alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri



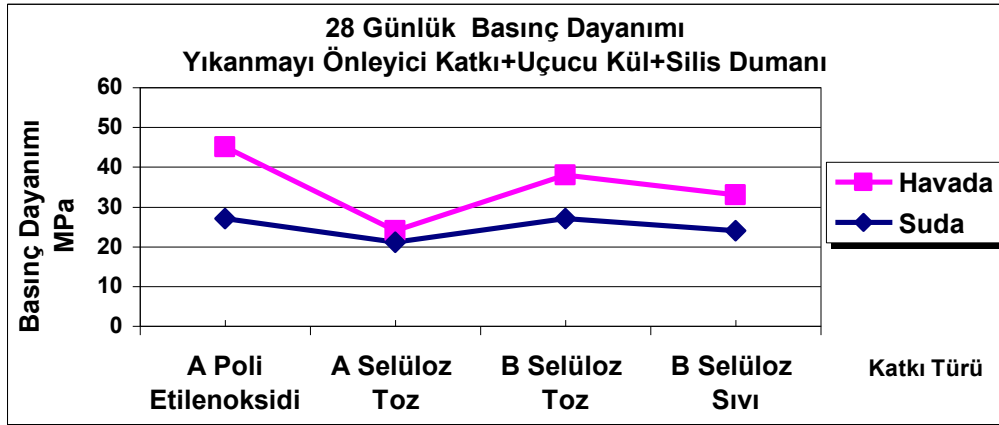
Şekil 5.23 : Su ve havada alınmış Kontrol katkıli betonların 28 günlük basınç dayanımı değerleri



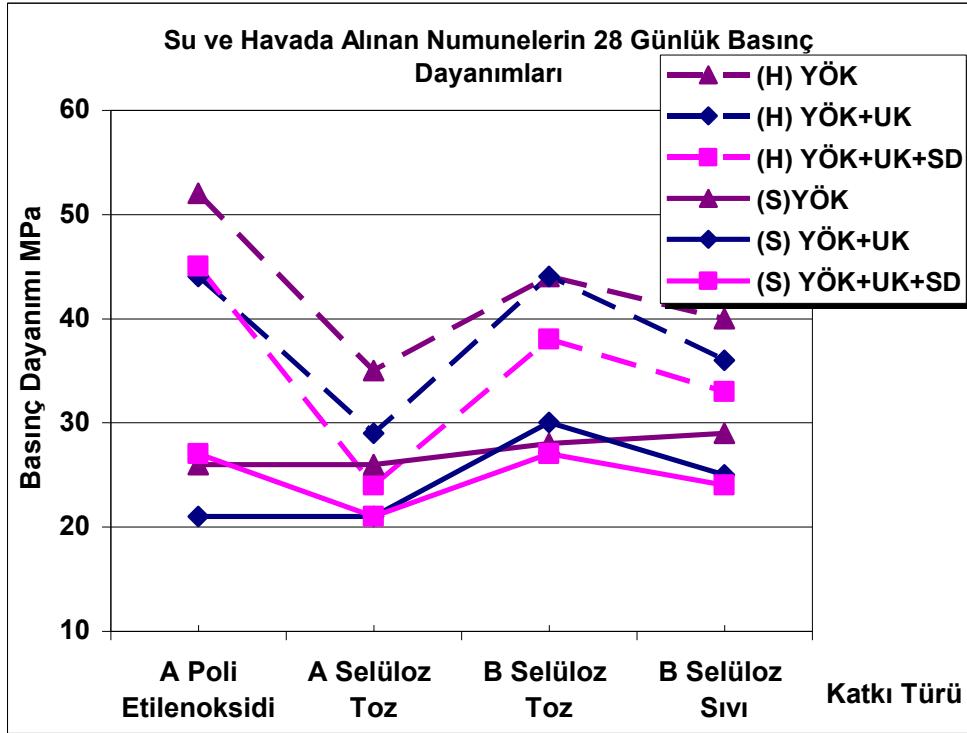
Şekil 5.24 : Su ve havada alınmış betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri



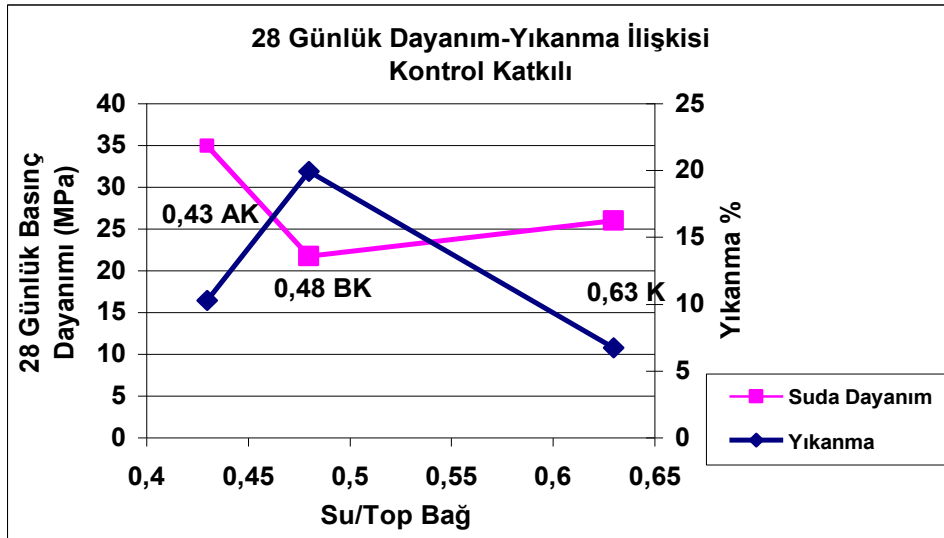
Şekil 5.25 : Su ve havada alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri



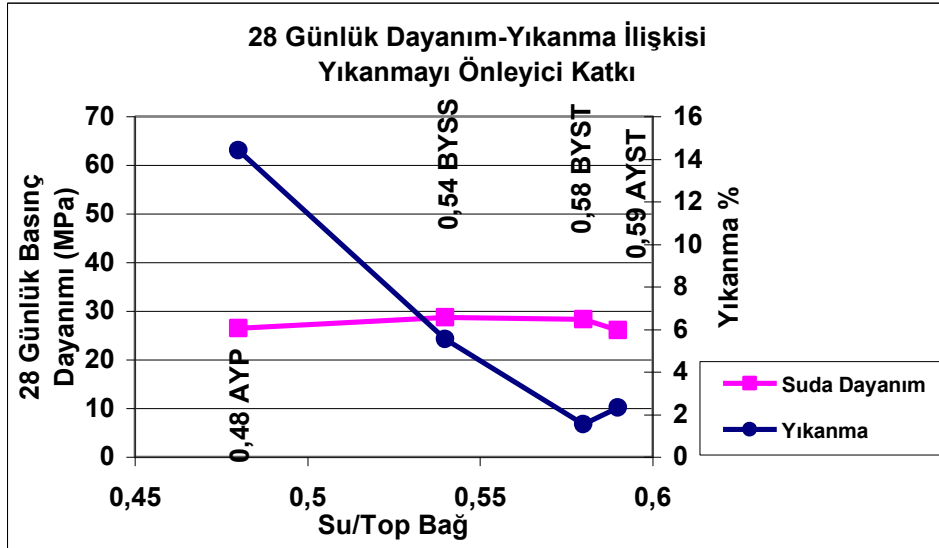
Şekil 5.26 : Su ve havada alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri



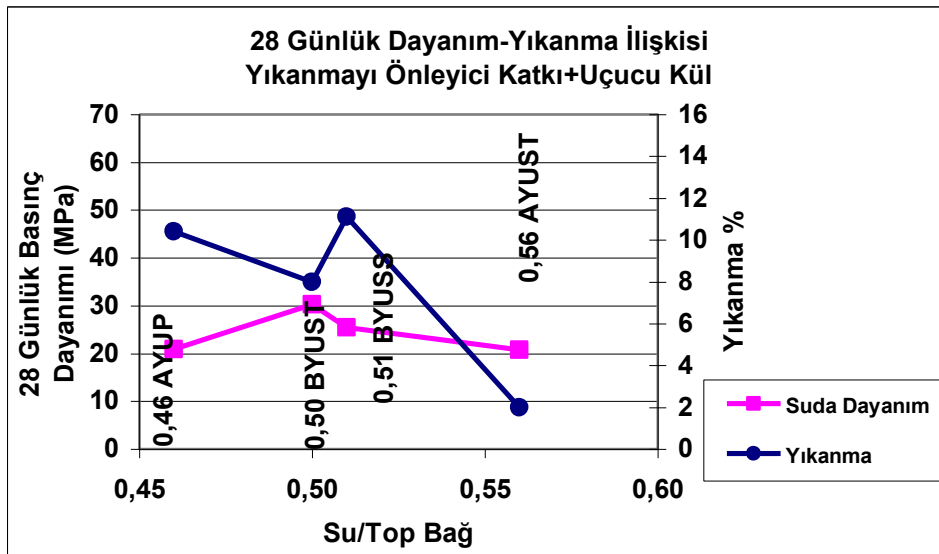
Şekil 5.27 : Su ve havada alınmış numunelerin YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerleri



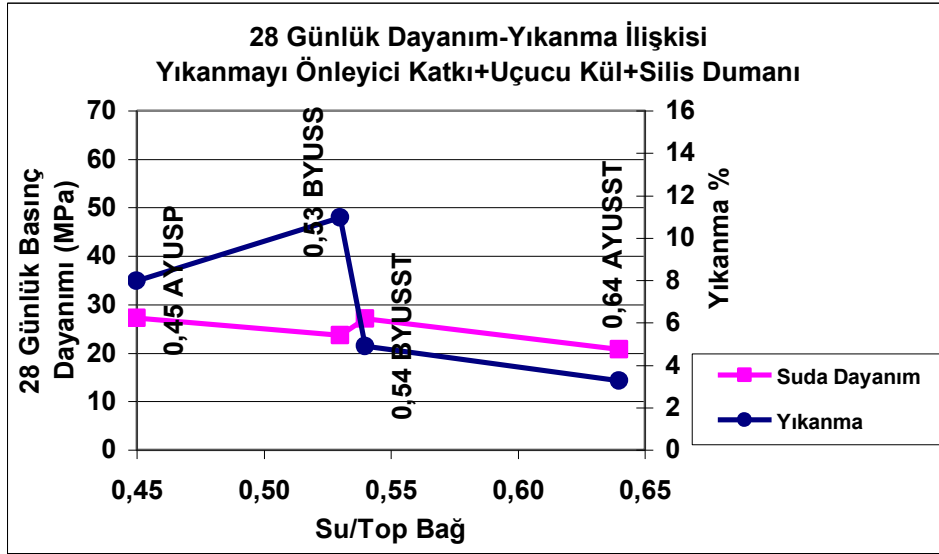
Şekil 5.28 : Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi



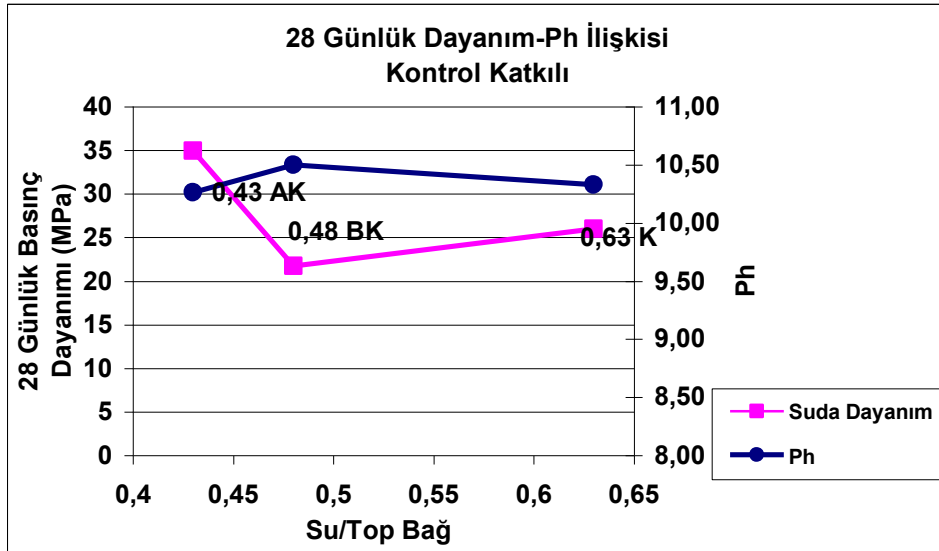
Şekil 5.29 : YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi



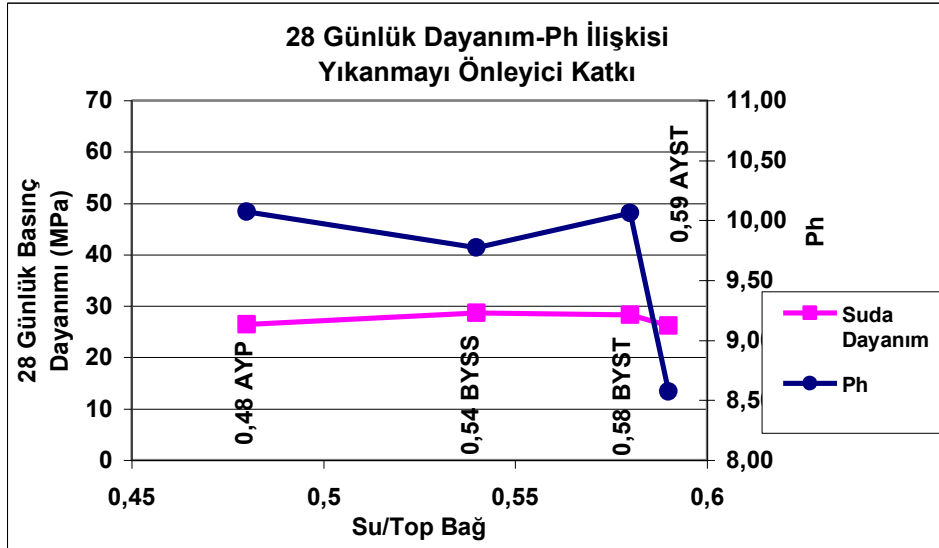
Şekil 5.30 : %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi



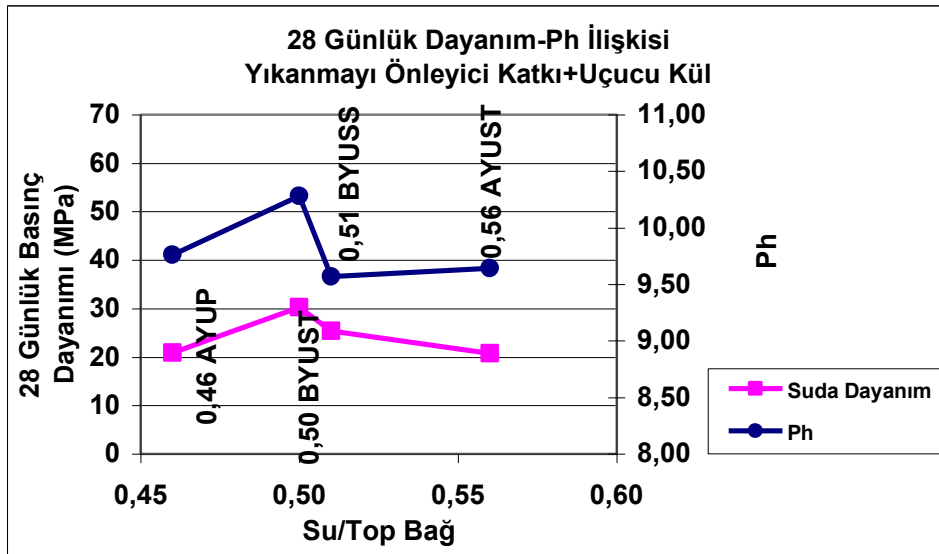
Şekil 5.31 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-Yıkanma ilişkisi



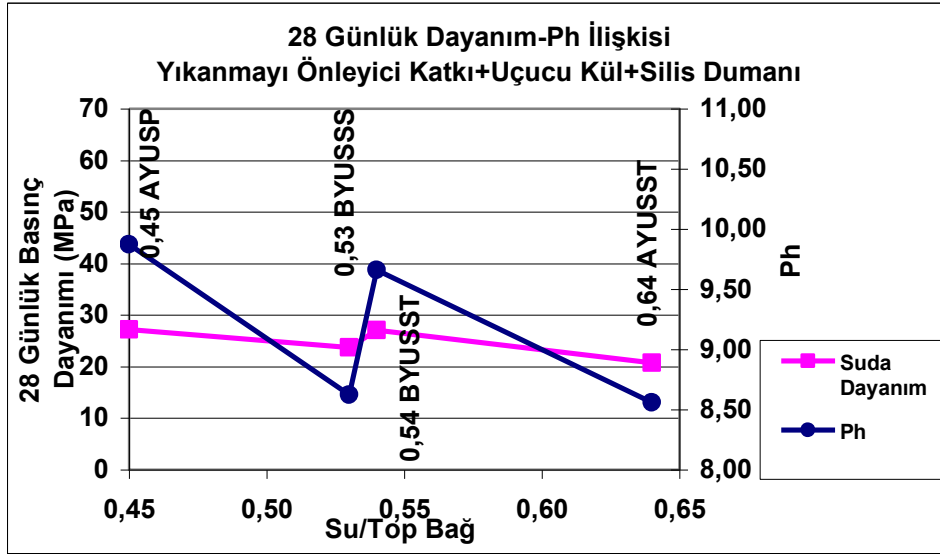
Şekil 5.32 : Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi



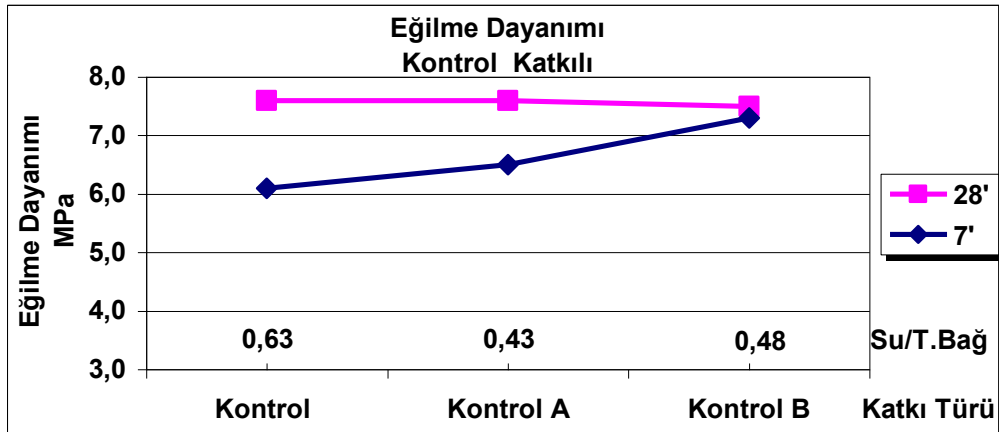
Şekil 5.33 : YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi



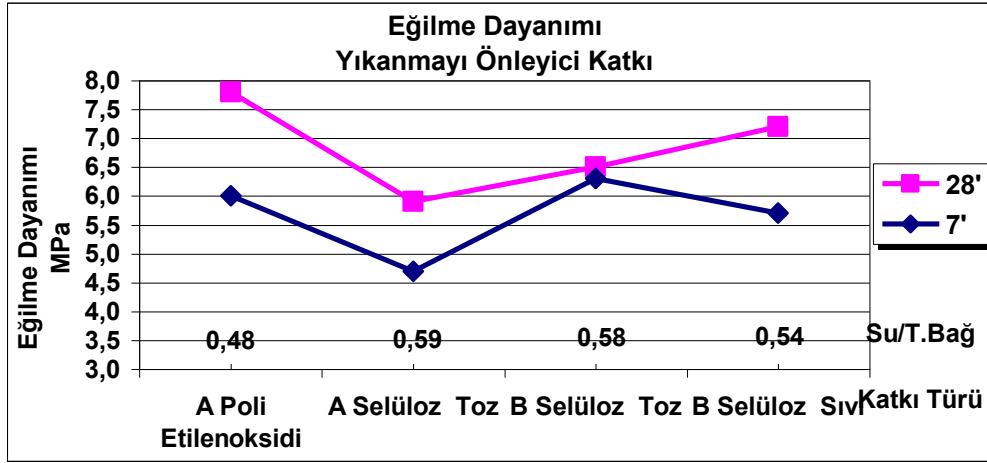
Şekil 5.34 : %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi



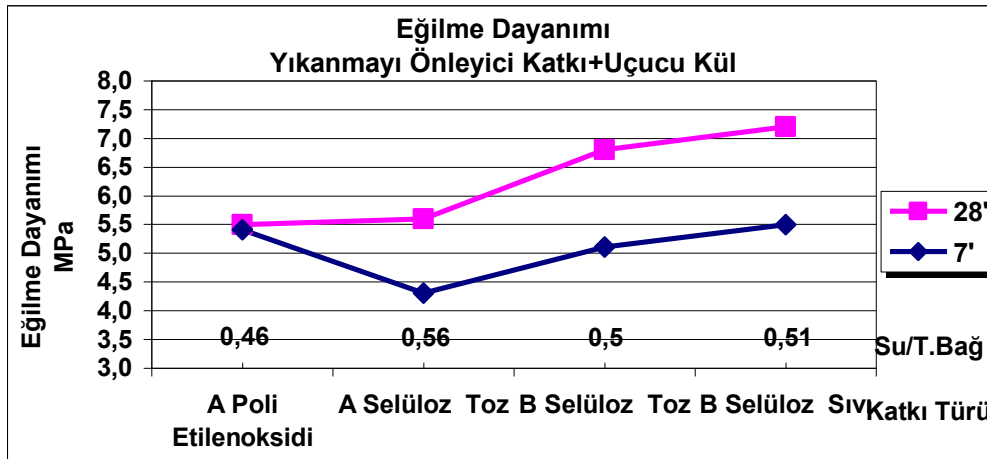
Şekil 5.35 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak 28 günlük Basınç Dayanımı-pH ilişkisi



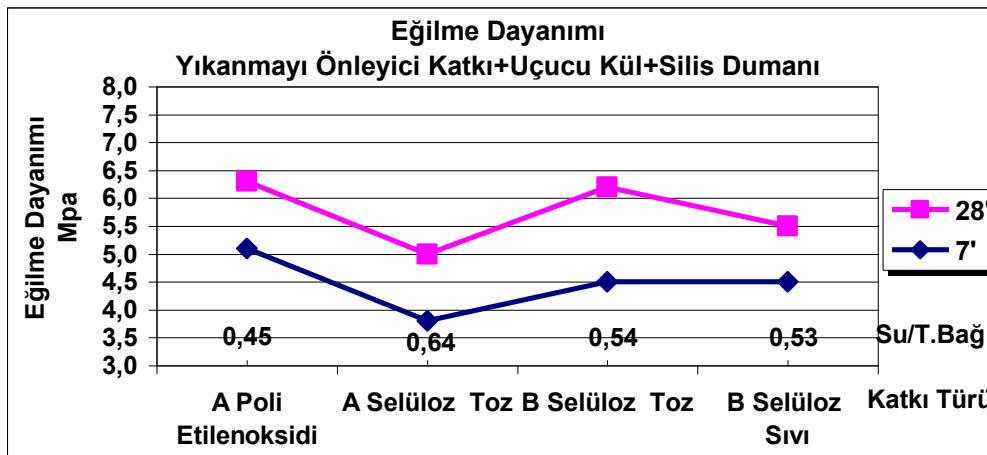
Şekil 5.36 : Su içerisinde alınmış kontrol katkılı betonların 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri



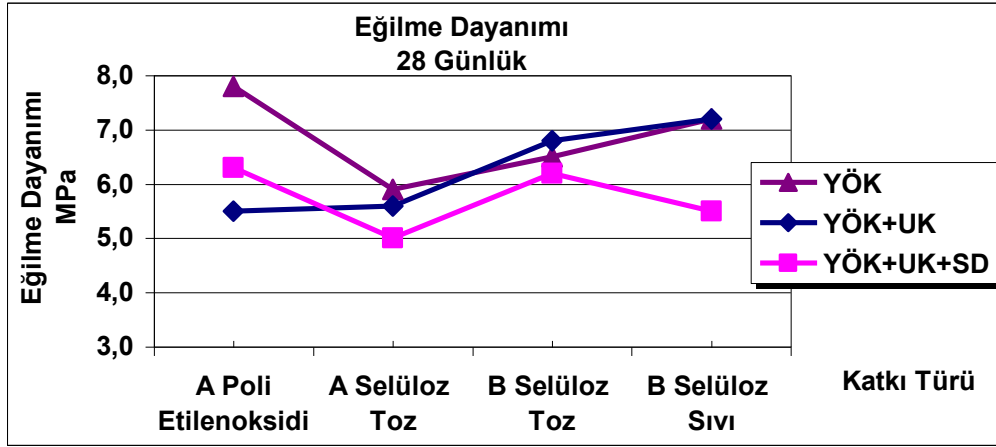
Şekil 5.37 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri



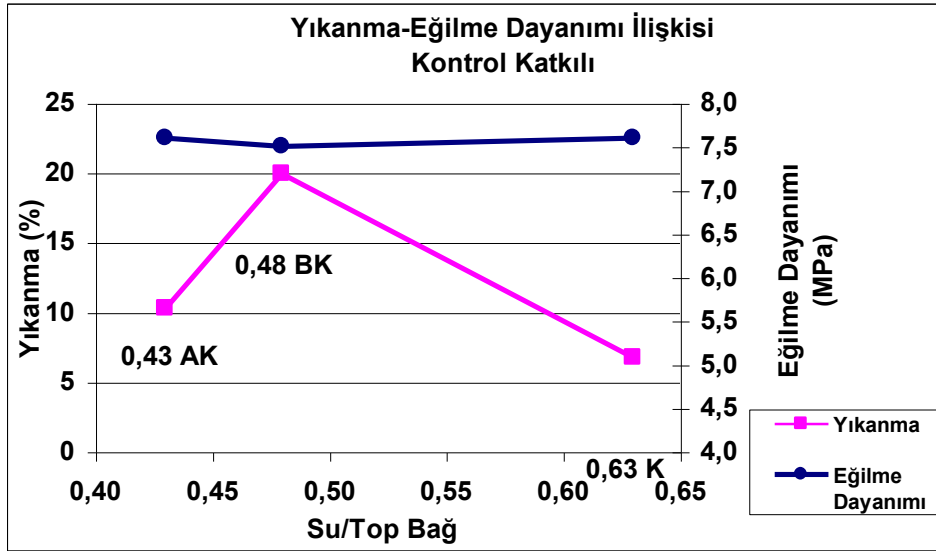
Şekil 5.38 : Su içerisinde alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri



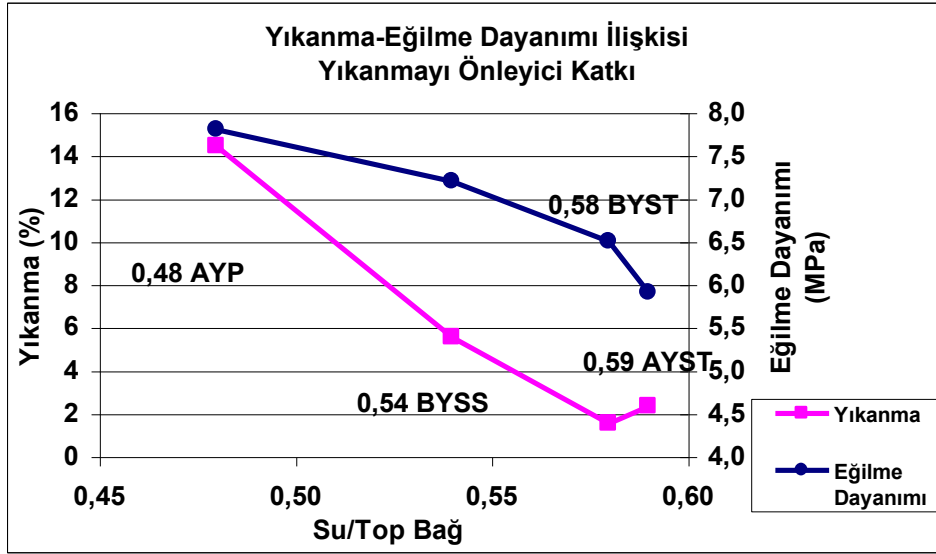
Şekil 5.39 : Su içerisinde alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük eğilme dayanımı değerleri



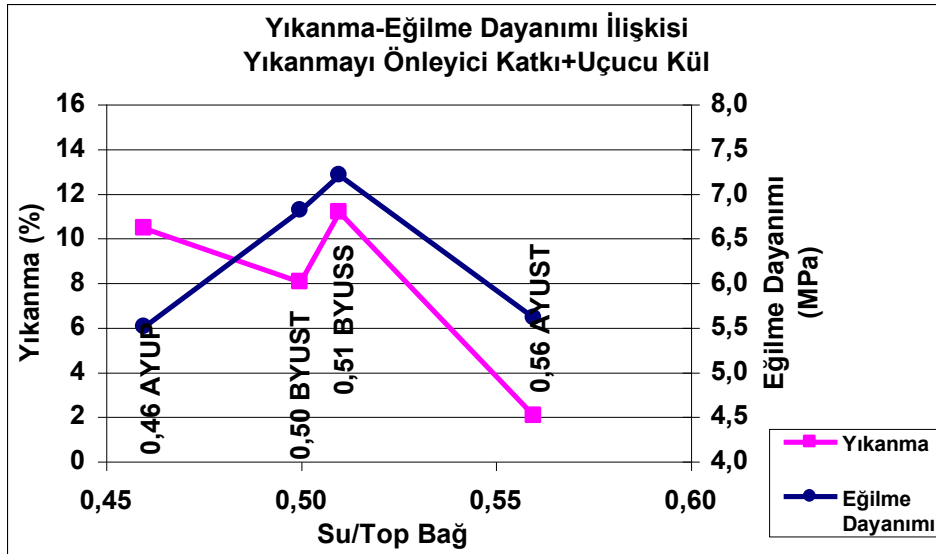
Şekil 5.40 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük eğilme dayanımı değerleri



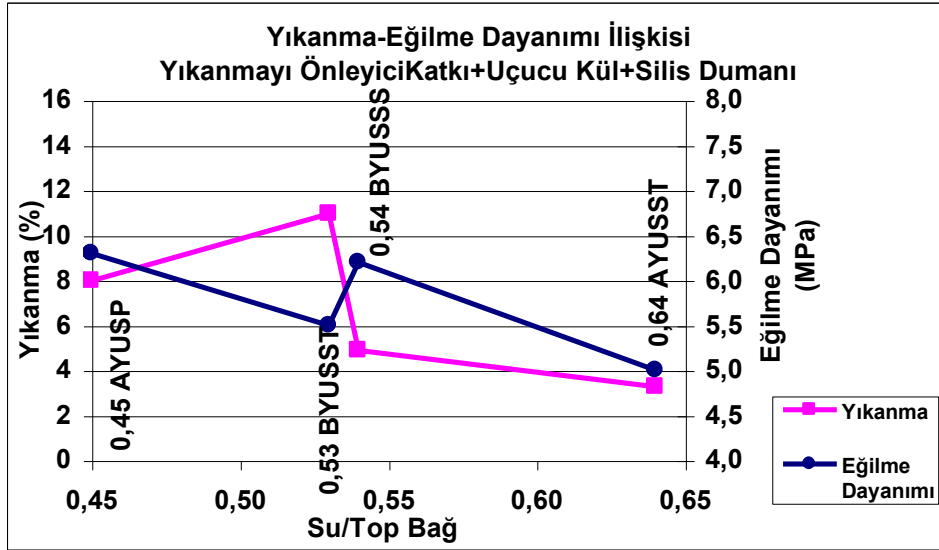
Şekil 5.41 : Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi



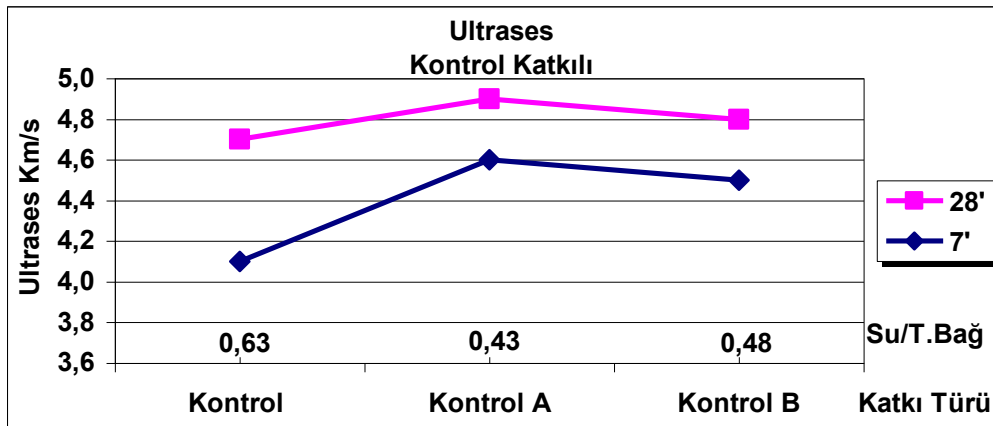
Şekil 5.42 : YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi



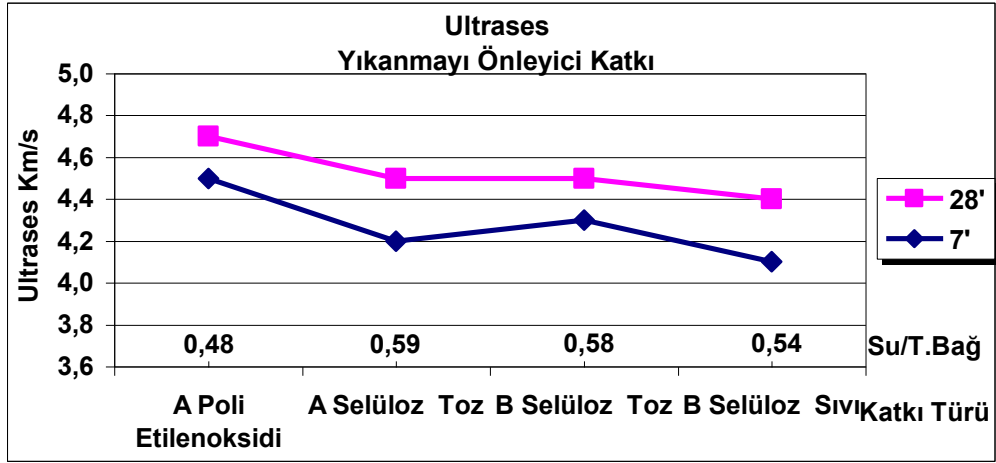
Şekil 5.43 : %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi



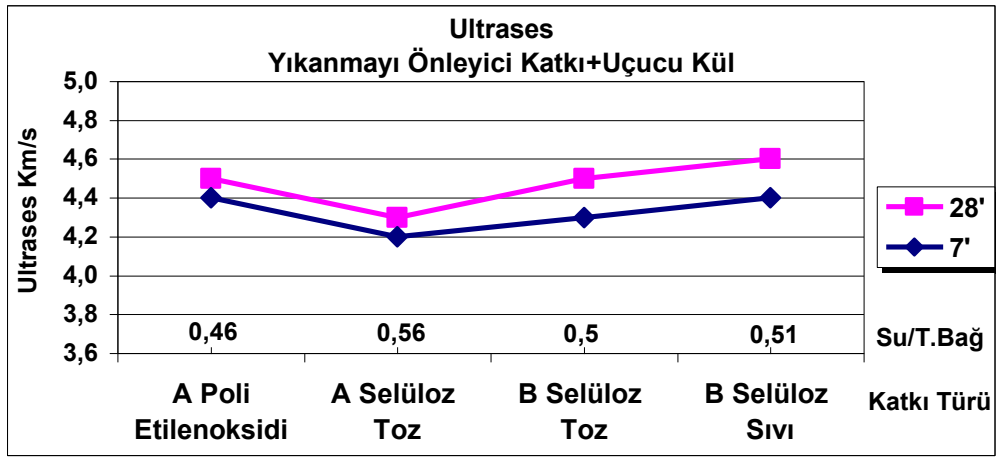
Şekil 5.44 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Eğilme Dayanımı ilişkisi



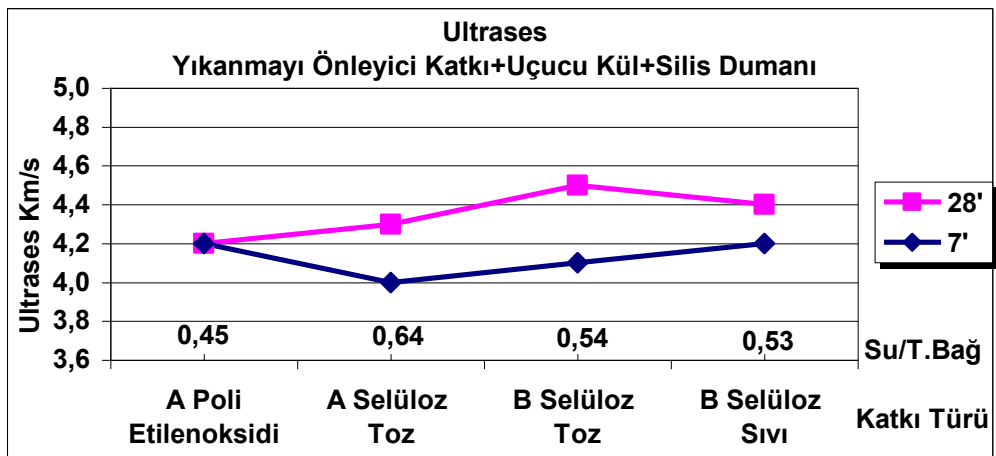
Şekil 5.45 : Su içerisinde alınmış kontrol katkılı betonların 7,28 günlük ultrases hız değerleri



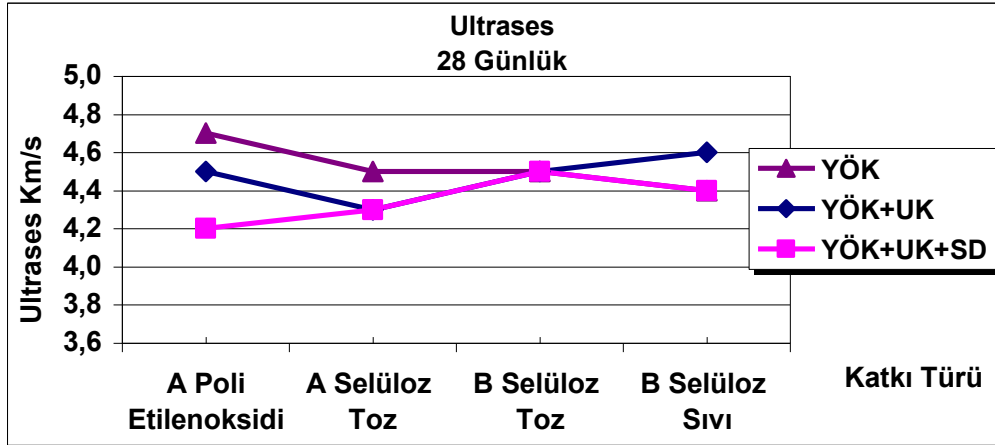
Şekil 5.46 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren betonların katkı türüne bağlı olarak 7,28 günlük ultrases hızı değerleri



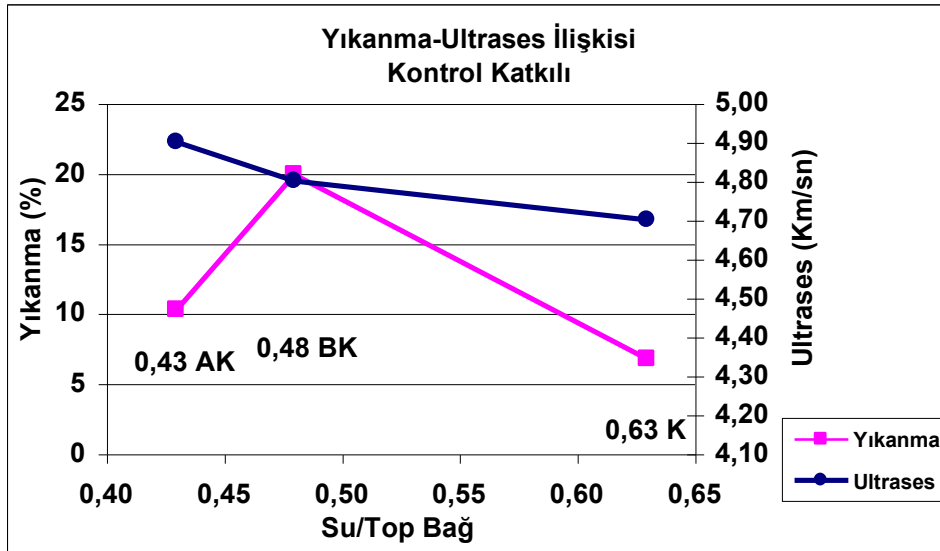
Şekil 5.47 : Su içerisinde alınmış %20 uçucu kül içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük ultrases hızı değerleri



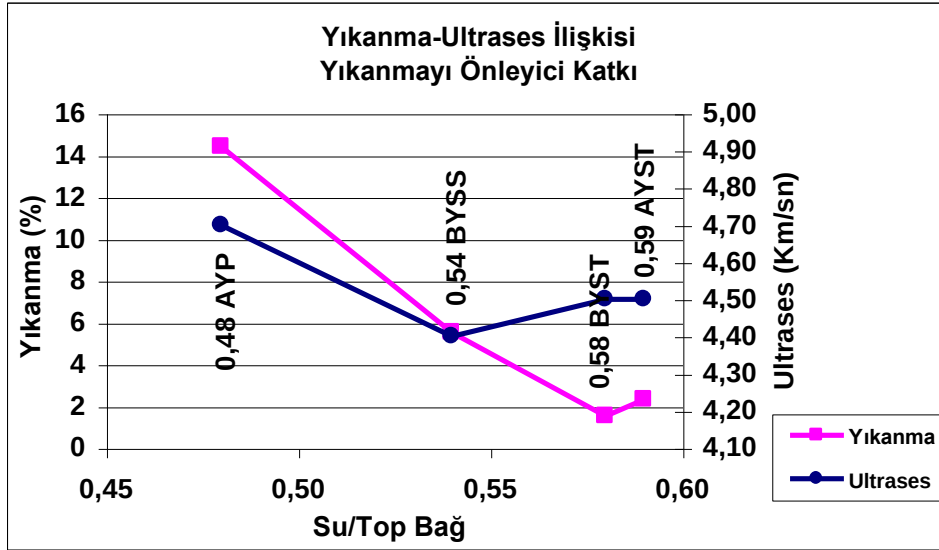
Şekil 5.48 : Su içerisinde alınmış %12,5 uçucu kül, %7,5 silis dumanı içeren betonların YÖK türüne bağlı olarak 7,28 günlük ultrases hızı değerleri



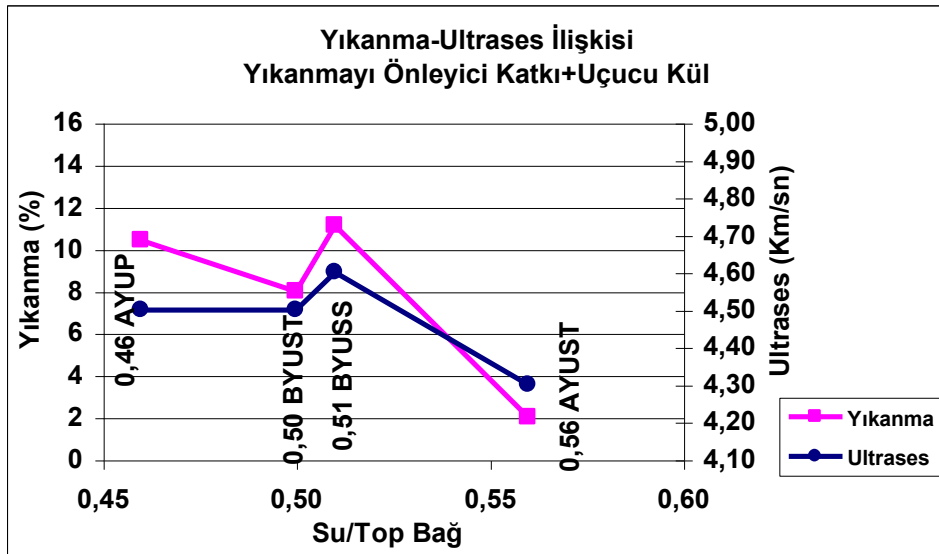
Şekil 5.49 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak 28 günlük ultras ses hızı değerleri



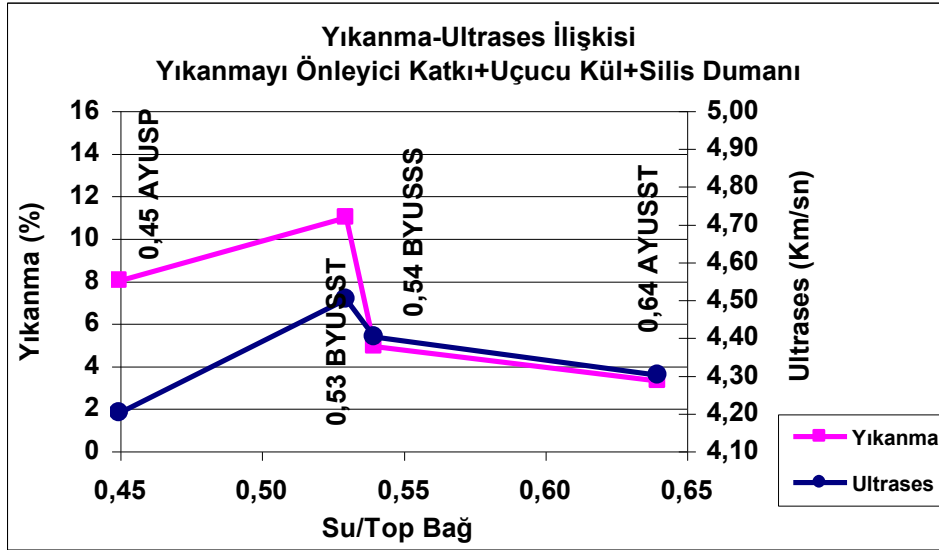
Şekil 5.50 : Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultras ses hızı ilişkisi



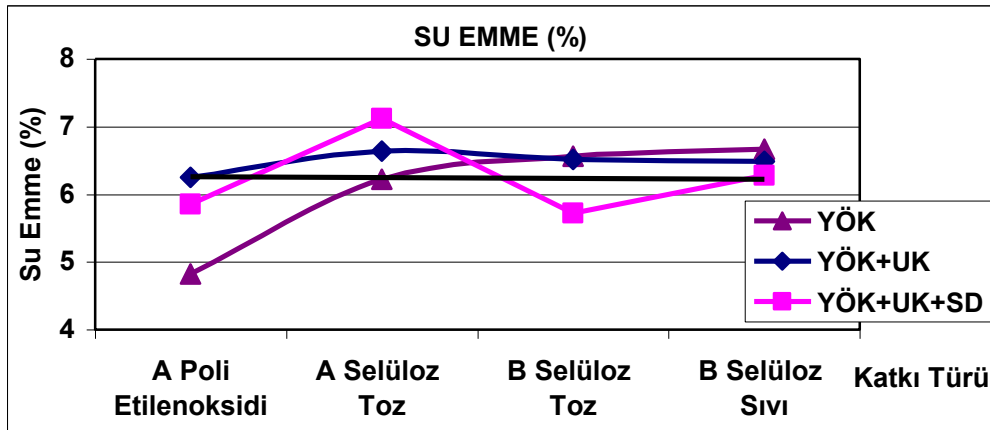
Şekil 5.51 : YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi



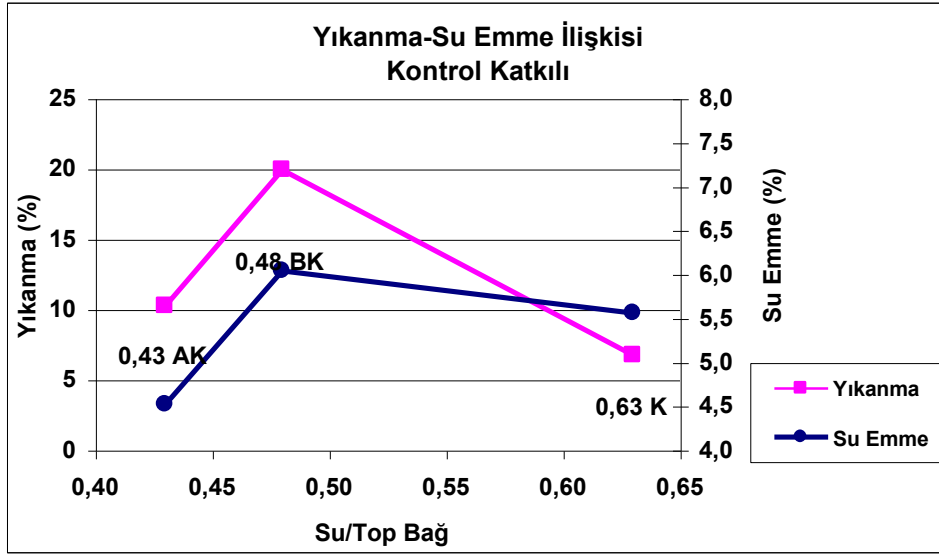
Şekil 5.52 : %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi



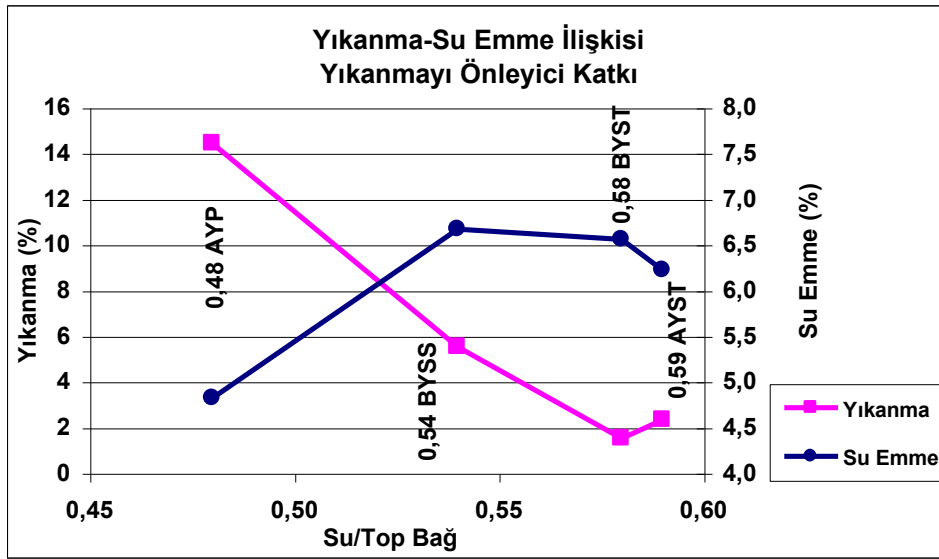
Şekil 5.53 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma-Ultrases hızı ilişkisi



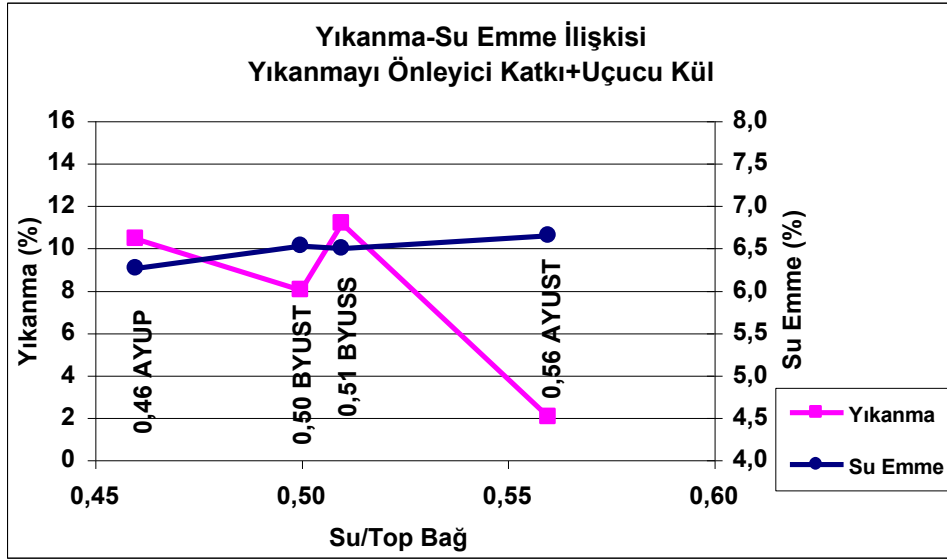
Şekil 5.54 : Su içerisinde alınmış YÖK içeren tüm betonların YÖK türüne bağlı olarak Su emme değerleri



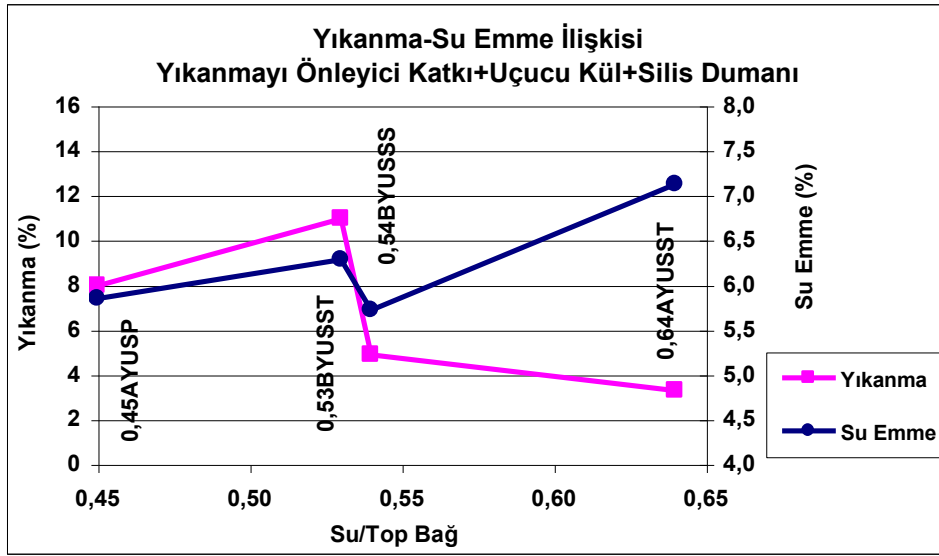
Şekil 5.55 : Kontrol katkılı betonlarda Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi



Şekil 5.56 : YÖK'lı betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi



Şekil 5.57 : %20 Uçucu kül ile YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi



Şekil 5.58 : %12,5 Uçucu kül, %7,5 Silis dumanı ve YÖK içeren betonların Su/Toplam bağlayıcı oranına bağlı olarak Yıkanma- Su emme ilişkisi

ÖZGEÇMİŞ

Göktürk Kandemir, 1980 yılında İstanbul’ da doğdu. İlköğrenimini Yedikule İlkokulu’ nda, orta öğrenimini Bakırköy Ortaokulu’ nda, lise öğrenimini Bakırköy Lisesi’ nde tamamladı. 1997 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1997–1998 öğretim yılında Kocaeli Üniversitesi İngilizce Hazırlık Bölümünü tamamladıktan sonra 1998–1999 öğretim yılında başladığı lisans öğrenimini 2003 yılında tamamladı. 2002 yılında lisans eğitimi esnasında hazırladığı “ Yüksek oranda katkı kullanımının beton özelliklerine etkileri” konulu çalışması Ekim/2003 tarihinde 5. Ulusal Beton Kongresinde sunulmuştur. 2003 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim dalı’ nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Şuan yüksek lisans tez çalışmasına devam etmektedir. e-posta: gokturkkandemir@hotmail.com