

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILARIN SUALTI
BETONU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Halil KIVANÇ**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILARIN SUALTI
BETONU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Halil KIVANÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet UYAN (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hulusi ÖZKUL (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Halit Yaşa ERSOY (M.S.Ü)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında deneyimleriyle ve değerli fikirleriyle bana yol gösteren, çalışmanın her aşamasında yardım ve hoş görülerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet UYAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Nuh Beton Kalite Müdürü Sayın Mehmet MUTLU'ya ve Nuh Beton laboratuvar personeline teşekkür ederim.

Öğrenimimin bu aşamasına gelmemde ailemin göstermiş oldukları ilgi, şefkat ve maddi manevi her türlü yardımlarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006

Halil KIVANÇ

1. İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv

1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Sualtı Betonu	3
2.1.1 Sualtı betonunun kullanım alanları	5
2.1.2 Sualtı betonundan beklenen özellikler	5
2.1.3 Sualtı betonu döküm teknikleri	6
2.1.3.1 Tremi betonu ve yerleştirilmesi	7
2.1.3.2 Batardo ve Kesonlar	8
2.2 Kimyasal Katkılar	8
2.2.1 Yıkanmayı önleyen katkıları	9
2.2.1.1 Yıkanmayı önleyen katkıların türleri ve sınıflandırılması	9
2.2.1.2 Yıkanmayı önleyen katkıların etki mekanizması	11
2.2.1.3 Yıkanmayı önleyen katkıların sualtı betonu özelliklerine etkisi	12
2.2.2 Akışkanlaştırıcı katkıları	15
2.2.2.1 Süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanım amaçları	16
2.2.2.2 Akışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizmaları	16
2.2.2.3 Akışkanlaştırıcı katkıların sualtı betonu özelliklerine etkisi	17
2.2.3 Katkılar arasındaki uyum	18
2.3 Mineral Katkılar	19
2.4 Bu Konu Hakkında Yapılmış Çalışmalar	21
2.5 Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi	27

2.6	Araştırmanın Kapsamı	28
3.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
3.1	Malzemelerin Tanımlanması	29
3.1.1	Kum, kırmakum, kırmataş I	29
3.1.2	Çimento	29
3.1.3	Su	31
3.1.4	Kimyasal Katkı	32
3.2	Beton Karışımları	32
3.3	Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme, Saklama, Numune Boyutları	35
3.4	Deneylerin Tanımlanması ve Yöntemler	36
3.4.1	Taze Harç Deneyleri	36
3.4.1.1	Viskozimetre Deneyi	36
3.4.2	Taze Beton Deneyleri	38
3.4.2.1	Yıkanma Kaybı Deneyi	38
3.4.3	Sertleşmiş Beton Deneyleri	39
4.	DENEY SONUÇLARI	41
4.1	Taze Harç Deney Sonuçları	41
4.1.1	Viskozimetre Deney Sonuçları	41
4.2	Taze Beton Deney Sonuçları	42
4.2.1	Çökme yayılması deney sonuçları	42
4.2.2	Yıkanma kaybı deney sonuçları	42
4.2.3	Ph deney sonuçları	43
4.2.4	Taze birim ağırlık deney sonuçları	44
4.3	Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	44
4.3.1	Basınç mukavemeti sonuçları	44
4.3.2	Eğilme mukavemeti sonuçları	46
4.3.3	Ultrases hızı sonuçları	47
4.3.4	Su emme deneyi sonuçları	48
5.	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	49
5.1	Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	49
5.1.1	Viskozimetre deney sonuçlarının değerlendirilmesi	49
5.2	Taze Beton Sonuçlarının Değerlendirilmesi	51
5.2.1	Taze birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	51
5.2.2	Yıkanma kaybı deney sonuçlarının değerlendirilmesi	52

5.2.3	pH deney sonuçlarının değerlendirilmesi	55
5.3	Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	57
5.3.1	Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	57
5.3.2	Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	63
5.3.3	Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi	67
5.3.4	Ultrases hızı deney sonuçlarının yorumlanması	69
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
6.1	Sonuçlar	72
6.2	İleriki Çalışmalar İçin Öneriler	74
	KAYNAKLAR	75
	EKLER	78
	ÖZGEÇMİŞ	83

KISALTMALAR

ASTM : American Society For Testing and Material
TS : Türk Standardı
ACI : American Concrete Institue

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Sualtı betonu için tavsiye edilen karışım oranları..... 4
Tablo 2.2	Japon İnşaat Müh. Topluluğu'nun yıkanmayı önleyici katkı içeren sualtı betonu için önerdiği standart sonuç tablosu..... 14
Tablo 2.3	Yıkanmayı önleyici ve su azaltıcı katkıların kullanım kombinasyonları..... 19
Tablo 3.1	Malzemelerin fiziksel özellikleri..... 29
Tablo 3.2	Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri..... 30
Tablo 3.3	Çimentonun Kimyasal Özellikleri..... 30
Tablo 3.4	Beton Karma Suyu Analizi..... 31
Tablo 3.5	Akışkanlaştırıcı Katkının Fiziksel Analizi..... 32
Tablo 3.6	Malzemelerin elek analizi sonuçları..... 33
Tablo 3.7	1 m ³ için gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri..... 34
Tablo 4.1	Katkılı ve katkısız betonların plastik viskoziteleri ve eşik kayma gerilmeleri..... 41
Tablo 4.2	Çökme Yayılması Değerleri..... 42
Tablo 4.3	Yıkanma Kaybı Değerleri..... 43
Tablo 4.4	Ph Değerleri..... 43
Tablo 4.5	Havada alınan numunelerin basınç mukavemetleri..... 45
Tablo 4.6	Su içerisinde alınan numunelerin basınç mukavemetleri..... 45
Tablo 4.7	Havada alınan numunelerin eğilme mukavemetleri..... 46
Tablo 4.8	Su içerisinde alınan numunelerin eğilme mukavemetleri..... 47
Tablo 4.9	Ultrases hızı değerleri..... 48
Tablo 4.10	Su emme değerleri..... 48

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	Suda çözülebilen selüloz eterin açık kimyasal formülü	10
Şekil 2.2	Suda çözülebilen akrilik polimerin açık kimyasal formülü.....	10
Şekil 2.3	Yıkanmayı önleyici katkı içeren betonun kıvamının zamana bağlı değişimi.....	12
Şekil 2.4	Su içinde düşme testi.....	13
Şekil 3.1	Malzemelerin Granülometri Eğrisi.....	33
Şekil 3.2	Metler RM-180 Rheomat viskozimetre Deney Aleti.....	37
Şekil 3.3	Açısal dönme hızı ve kayma eşiği arasındaki ilişki.....	38
Şekil 3.4	Yıkanma Kaybı Deney Aleti.....	39
Şekil 5.1	Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile viskozite değerleri arasındaki ilişki.....	49
Şekil 5.2	Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile viskozite değerleri arasındaki ilişki.....	50
Şekil 5.3	Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki.....	51
Şekil 5.4	Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda, su/çimento oranı ile birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki.....	51
Şekil 5.5	Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ve yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki.....	52
Şekil 5.6	Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki.....	53
Şekil 5.7	Katkısız ve katkılı betonlarda yıkanma kaybı ile viskozite değerleri arasındaki ilişki.....	54
Şekil 5.8	Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile pH değerleri arasındaki ilişki.....	55
Şekil 5.9	Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile pH değerleri arasındaki ilişki.....	55
Şekil 5.10	Katkısız ve katkılı betonlarda pH ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki.....	57
Şekil 5.11	Katkısız ve katkılı betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozajları ile 7 günlük basınç mukavemetleri arasındaki ilişki.....	58
Şekil 5.12	Katkısız ve katkılı betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozajları ile 28 günlük basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki.....	58

Şekil 5.13	Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 günlük basınç mukavemetleri arasındaki ilişki.....	60
Şekil 5.14	Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 28 günlük basınç mukavemetleri arasındaki ilişki.....	60
Şekil 5.15	Katkısız ve katkılı betonların su içerisinde alınan numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarının havada alınan numunelerinkine oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki.....	61
Şekil 5.16	Katkısız ve katkılı betonların su içerisinde alınan numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının havada alınan numunelerinkine oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki.....	62
Şekil 5.17	Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki.....	63
Şekil 5.18	Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 28 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki.....	64
Şekil 5.19	Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki.....	65
Şekil 5.20	Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 28 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki.....	66
Şekil 5.21	Katkılı ve katkısız betonlarda dozaj ile ağırlıkça su emme yüzdeleri arasındaki ilişki.....	67
Şekil 5.22	Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile ağırlıkça su emme yüzdeleri arasındaki ilişki.....	67
Şekil 5.23	Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile ultrases hızı değerleri arasındaki ilişki.....	69
Şekil 5.24	Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile ultrases hızları arasındaki ilişki.....	69
Şekil A.1	350 dozlu katkısız betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	78
Şekil A.2	350 dozlu %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	78
Şekil A.3	350 dozlu %1,3 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	79
Şekil A.4	400 dozlu katkısız betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	79
Şekil A.5	400 dozlu %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	80
Şekil A.6	400 dozlu %1,3 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	80
Şekil A.7	450 dozlu katkısız betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	81

Şekil A.8	450 dozlu %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	82
Şekil A.9	450 dozlu %1,3 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki.....	83

SEMBOL LİSTESİ

Ç	: Çimento
S	: Su
σ_b	: Basınç mukavemeti
σ_e	: Eğilme mukavemeti
P_k	: Numunenin kırılma kuvveti
L	: Mesnetler arası açıklık
b	: Prizma kesitinin eni
h	: Prizma kesitinin yüksekliği
V	: Ultrases hızı
L'	: Numune boyu
T'	: Ultrases geçiş hızı
M_i	: Testen önceki numune ağırlığı
M_n	: n düşüşten sonraki numune ağırlığı

SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILARIN SUALTI BETONU ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Sualtı betonu dökümünde sıkça rastlanan sorunlardan en önemlisi betonun bağlayıcı fazını teşkil eden çimento, mineral katkı gibi ince taneli katı ögelerin su ve dalgalarla yıkanması ve boşalmasıdır.

Betonun kimyasal katkıları teknolojisi bu soruna eğilmiş ve yıkanmayı çok azaltan katkıları üretmeyi başarmıştır. Bu katkıların kullanılmasıyla betonun viskozitesinde ve kayma eşiğinde önemli artışlar elde edilmektedir. Böylece, betonun sualtında dökülmesi esnasında çimento yıkanımı minimize edilerek betonun ayrışması engellenmiş olur. Reolojik özellikleri (plastik viskozite ve kayma eşiği) önemli derecede artan betonu yerleştirmek büyük sorun oluşturur. Bu yüzden mutlaka bir süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile betonun kayma eşiği düşürülür. Yıkanmayı önleyici ve süper akışkanlaştırıcı katkıların uygun kombinasyonlarda kullanılmasıyla viskozitesi yüksek, kohezif ve kayma eşiği düşürülmüş sualtı betonu elde edilebilir.

Bu çalışmada sadece süper akışkanlaştırıcı katkının taze ve sertleşmiş haldeki sualtı betonu özelliklerine etkisi incelenmiştir. Araştırmada çimento tipi sabit seçilmiş olup bütün deneylerde normal Portland çimentosu (PÇ 42,5) kullanılmıştır.

Bu amaçla; 350, 400, 450 kg/m³ dozajlı birer seri katkısız ve ikişer seri katkılı beton üretimi yapılmıştır. Katkılı olarak üretilen betonlarda %0,8 ve %1,3 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Üretilen tüm beton karışımlarında işlenebilirlik sabit tutulup, karışımın su/çimento oranı bu sabit işlenebilirlik değerine göre bulunmuştur. Üretimi yapılan karışımlar üzerinde taze halde, birim ağırlık, çökme yayılması, viskozimetre ve yıkanma kaybı deneyleri yapılmıştır. Yapılan her beton karışımından 6 adet su içerisinde 4 adet havada olmak üzere toplam 10 adet 15x15x15 cm boyutlarında küp numune ve 4 adet havada 4 adet su içerisinde olmak üzere toplamda 8 adet 10x10x50 cm boyutlarında prizma numune alınmıştır. Havada ve su içerisinde alınan küp ve prizma numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme mukavemeti deneyi yapılmıştır. 28 günlük prizma numuneler üzerinde ayrıca ultrases hızı ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, sabit işlenebilirlikte süper akışkanlaştırıcı katkının kullanılması ile su/çimento oranında elde edilen düşüş neticesinde betonların

viskozite değerlerinde artış meydana gelmesine rağmen yıkanma kaybı değerlerinin artması ilginç bir sonuçtur. Aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen betonlarda dozaj artışı ile viskozite değerleri artmış ve yıkanma kaybı değerleri azalmıştır. Katkısız üretilen betonlarda dozaj artışı yıkanma kaybı değerlerini azaltmıştır. Bütün dozajda ve bütün yaşlarda süper akışkanlaştırıcı katkının havada ve su içerisinde alınan numunelerin basınç mukavemetini, eğilme mukavemetini, ultrases hızı ve su emme değerlerini olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir. Ayrıca katkısız üretilen betonlarda da dozaj artışı incelenen özelliklerin tümünde olumlu etki yaratmıştır.

THE EFFECTS OF SUPERPLASTICIZER ON PROPERTIES OF UNDERWATER CONCRETE

SUMMARY

Washout and discharge with water and waves of fine materials like cement and mineral admixture in concrete is the most important problem in casting process of underwater concrete.

Chemical admixture technology is focused on this problem and managed production of chemical admixture that can decrease washout. Plastic viscosity and yield value of fresh concrete increase by using antiwashout admixture. Thus, decomposition of concrete may be prevented by minimizing washout of fresh concrete during casting underwater. When these chemical admixture is used in concrete, rheological properties (plastic viscosity and yield value) of fresh concrete changes significantly and placing problems can occur. Therefore, yield value of concrete is made decreased by using superplasticizers. Underwater concrete that have high viscosity, chosive and low yield value can be obtained by using combination of antiwashout and superplasticizer admixture properly.

In this experimental study, the effects of superplasticizer on fresh and harden properties of underwater concrete was exmined. OPC 42.5 Ordinary Pordland Cement was used.

For this purpose, the dosages were 350,400,450 kg/m³. Superplasticizer was used in two different percentage for each dosage. Besides, one mix that does not include superplasticizer was produced for each dosage. Superplasticizer was used 0,8% and 1,3% of cement by weight. Different water/cement ratios was obtained for each dosage in order to provide the same workability. Slump flow, unit weight, washuot resistance and viscosity tests were carried out in fresh state. For each mix, 10 number of cube sepecimens having the dimension of 15x15x15 cm and 8 number of prism specimens with the dimension of 10x10x50 cm were cast. Additionally, 6 of cube specimens and 4 of prism specimens were taken in water. The rest of specimens were taken in air. Fluexural and compressive strength tests were performed on all specimens at 7 and 28 days. Ultrasonic pulse velocity and water absorbtion tests were done on all prism specimens after 28 days.

The following results can be drawn from this study; As an interesting result in can be said that: although viscosity values have decreased due to lower water to cement ratios at superplasticizer mixes, washout loss has increased. Viscosity has increased and washout loss has decreased with increasing dosage for the same superplasticizer percentage. Washout loss decreased with increase of dosage for the mixes which do not include superplasticizer. Superplasticizer has positive effects on compressive and flexural strength, ultrasonic pulse velocity and water absorption on the concretes which were cast in both water and air. Dosage has also possitive effects on these properties of the concetes which do not contain superplasticizer.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Denizlerle çevrili ülkemizde, beton deniz yapıları, gelecekte daha büyük önem taşıyacaktır. Bu tarz yapılar için üretilen betonların su altında dökülmesi gerekir. Köprü temelleri, sualtı tünelleri, deniz duvarları gibi inşaat sahalarında beton dökümü sırasında çimentonun yıkanarak karışımdan ayrılması ve bunun neticesinde ayrışma, geçirimsizliğin artması, dayanım kayıpları gibi olumsuz neticelerle karşılaşmaktadır.

Betonun kimyasal katkı teknolojisi bu soruna eğilmiş ve yıkanmayı çok azaltan katkılar üretmeyi başarmıştır. Bu katkılar piyasada yıkanmayı önleyici veya viskozite arttırıcı katkılar olarak bilinmektedir. Bu katkıların kullanılmasıyla betonun viskozitesinde ve kayma eşiğinde önemli artışlar elde edilmektedir. Böylece, betonun sualtında dökülmesi esnasında çimento yıkanımı minimize edilerek betonun ayrışması engellenmiş olur.

Reolojik parametreleri (plastik viskozite ve kayma eşiği) önemli derecede artan betonu yerleştirmek büyük sorun oluşturur. Sualtı betonun kullanım alanları göz önüne alındığında işlenebilirliğinin yüksek olması gerekmektedir. Katı maddeleri askıda tutarak yıkanmayı önleyen ve segregasyonu sorun olmaktan çıkartan yıkanmayı önleyen katkıların akışkanlığı yok etmesi pratik açıdan kabul edilemez. Bundan dolayı uygun bir süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile bu problem çözülebilir. Süper akışkanlaştırıcının kullanılması ile betonun kayma eşiği düşürülür. Böylece plastik viskozitesi yüksek, kohezif ve kararlı, kayma direnci indirgenmiş beton elde edilebilir.

Bu çalışmada, yıkanmayı önleyici katkı kullanmadan sadece süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılması durumunda özellikle yıkanmanın nasıl etkileneceği ve üretilen sualtı betonunun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Üretimi yapılan beton karışımlarında Portland çimentosu (PÇ 42,5) kullanılmış olup dozajları 350, 400, 450 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Tüm dozajlarda birer seri katkısız

ikişer seri katkılı olmak üzere üçer seri üretim yapılmıştır. Katkılı olarak üretilen karışımlarda Polikarboksilik Eter esaslı yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Katkılı olarak üretilen beton karışımlarında %0,8 ve %1,3 oranında katkı kullanılmıştır.

Üretilen tüm beton karışımlarında işlenebilme sabit tutulup, karışımın su/çimento oranı bu sabit işlenebilme değerine göre belirlenmiştir.

Üretimi yapılan karışımlar üzerinde taze halde, birim ağırlık, çökme yayılması, viskozimetre ve yıkanma kaybı deneyleri yapılmıştır.

Yapılan her beton karışımından 6 adet su içerisinde 4 adet havada olmak üzere toplam 10 adet 15x15x15 cm boyutlarında küp numune ve 4 adet havada 4 adet su içerisinde olmak üzere toplamda 8 adet 10x10x50 cm boyutlarında prizma numune alınmıştır. Havada ve su içerisinde alınan küp ve prizma numuneler üzerinde 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme mukavemeti deneyi yapılmıştır. 28 günlük prizma numuneler üzerinde ayrıca ultrases hızı ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Sualtı Betonu

Sualtı betonu yenilikçi dizayn ve inşaat tarzlarından biridir. Sualtı betonun ilk uygulamaları geçici yapıların desteklenmesi amacıyla dayanmaktadır. Sualtı betonunun yerleştirilmesi ve tamiri alanındaki ilerlemeler, kimyasal katkı kullanımındaki gelişmeler, çimento niteliğindeki malzemelerin (mineral katkıları) kullanımı ve yerleştirme tekniklerindeki gelişmeler sayesinde meydana gelmiştir. Zamanla gelişen teknikle beraber sualtı betonu yapı malzemesi olarak kabul edilmiştir [1,2].

Sualtı betonunda yıkanmayı önleyici katkı kullanımı, karışım içerisindeki suyun viskozitesini arttırarak ayrışma direncini geliştirir. Yıkanmayı önleyici katkının etki büyüklüğü kullanım dozajına ve moleküler ağırlığına bağlıdır. Yıkanmayı önleyici katkı kullanımı ile artan kayma eşiği işlenebilirliği azaltmaktadır. Sualtı betonun kullanım alanları göz önüne alındığında işlenebilirliğinin yüksek olması gerekmektedir. Bundan dolayı yıkanmayı önleyici katkılar süper akışkanlaştırıcılarla kullanılmaktadır.

Sualtı betonu statik halde jel formunda bir özelliğe sahip iken herhangi bir kuvvet uygulandığında oldukça akışkan bir özellik göstermektedir.

Sualtı betonu, çimento gibi ince taneli katı maddelerin yıkanmasının önlenerek şekilde dizayn edilir. Üretilen betonun ayrışmadan kendi ağırlığı altında yerleşmesi için istenilen işlenebilirlik düzeyine göre beton karışımının optimizasyonu yapılır.

Aşağıdaki tabloda sualtı betonu için tavsiye edilen karışım parametreleri verilmiştir. Bu tabloda sualtı betonunda kullanılan parametrelerin alt ve üst sınırları belirtilmiştir [3,4,5,6].

Tablo 2.1: Sualtı betonu için tavsiye edilen karışım oranları [6]

Parametreler	Genel kullanım için tavsiye edilen oranlar	Açıklama
Su/Bağlayıcı malzeme oranı	0.35 - 0.45 [kütlece]	Betonun dayanımı ve dayanıklılığı için kritiktir.
İnce malzeme miktarı	360 - 500 kg/m ³	Çimento, puzolanlar, cürufllu çimento, filler ince malzeme olarak kabul edilir.
Su/İnce malzeme oranı	0.85 - 1.0 [hacim olarak]	Betonun işlenebilirliği için kritiktir.
Toplam agregası içerisinde kum oranı	%45-%50	Kısmen yüksek kum içeriği betonun kohezyonunu artırır.
Maksimum agregası boyutu	Yapı betonlarında 10-19mm Kütle betonlarında 19-25mm	Tercihen donatı açıklığının 1/5'inden daha az kabul edilir
Silis dumanı	%0-%6	Mineral tabanlı yıkanmayı önleyici katkıdır.%6'dan daha az kullanıldığında işlenebilirliği artırır.%6'dan fazla kullanıldığında işlenebilirliği azaltır.
Kireçtaşı tozu	%0-%20 [çimento miktarının]	İşlenebilirliği geliştirmek için kullanılır.
Yıkanmayı önleyici katkı	1.Açılmış şaftlar için gerekli değildir. 2.Uzun akış mesafesinde güçlendirilecek betonlar için orta dozajda 3.kendiliğinden yerleşme, geniş alanlarda ince katman uygulamalarında ve akan su içerisindeki yerleştirmeler için yüksek dozajda	Genel olarak, akışkan ve kendiliğinden yerleşebilen sualtı betonu yıkanmayı önleyici katkı içermeksizin yapılabilir. Ama katkı kullanımı önemli derecede yıkanma kaybını azaltır.
Yüksek oranda su azaltıcı katkı	İstenilen uygulama gereksinimine göre 350-680 mm arasında uygun beton yayılması seçilir.	Yüksek oranda su azaltıcı katkılar işlenebilirliği arttırmak için kullanılır.

2.1.1 Sualtı betonunun kullanım alanları

Sualtı betonunun kullanım alanları genel olarak aşağıdaki gibidir [7,8,9].

- Sualtıdaki kanallarda
- Köprü temellerinde
- Deniz duvarlarında
- Açık sulardaki bataryalarda
- Kazık betonlarda
- Deniz altında doğal petrol depoları olarak kullanılacak doğal boşlukların
Islahında

2.1.2 Sualtı betonundan beklenen özellikler

Sualtı betonu, dökümü esnasında yıkanmadan ve ayrışmadan serbest olarak düşebilen, bir müdahaleye gerek duyulmadan (vibratör gibi) kendiliğinden yerleşip sıkışabilen ve buna rağmen kalitesi bozulmayan, akışı sürekli, viskozitesi yüksek ve güvenilir dayanımlarda çok düşük geçirimsiliğe sahip olması beklenebilir. Sualtında dökülen beton; çimento yıkanmasına, ayrışmaya, soğuk birleşime ve su tuzaklarına karşı hassas olduğu için işlenebilme karakteristiği özel olarak belirlenmelidir.

Sualtı betonundan beklenen başlıca işlenebilme gereksinimleri;

- Kolayca akabilme
- Yıkanma ve ayrışmaya karşı kohezyonunu koruyabilme
- Kendi ağırlığı altında yerleşebilme şeklinde sıralanabilir.

Dizayn edilen sualtı betonu oldukça kohezif ve akışkan olduğu zaman beton esneyerek akma eğilimi içerisindedir ve döküm esnasında arkadan gelen taze beton ilk dökülen taze betonu yanlara doğru iterek yerleşir. Böylece tek bir katman görünümünde, pürüzsüz yüzey alanına sahip iç kalitesi iyi beton elde etmek mümkün olur. Diğer taraftan, düşük akışkanlığa sahip bir beton dökülürken, arkadan gelen taze beton ilk dökülmüş taze betonun üzerinden akarak yerleşir ve engebeli katmanlar oluşur. Bu şekildeki yerleşimle eğimli ve pürüzlü yüzey alanları meydana gelir ve bu yüzeyler suya daha fazla maruz kalır.

Beton sualtında yerleştirilirken akış yeteneğinin yanında kohezif kalması da gerekmektedir. Yüksek bir koheziflik derecesinde çimento yıkanımı mümkün olduğu kadar azalarak sualtı betonunun dayanımını ve homojenliğini geliştirir. Betonun kohezyonluk derecesi akış uzaklığına, yerleştirme biçimi ve kalınlığına, dayanımına ve yerleştirme esnasında suyla yıkanma durumu gibi birçok değişkene bağlıdır. Verilen bir karışımda akışkanlık arttıkça kohezyon azalma eğilimi gösterir. Genel olarak beton işlenebilirliği, su/çimento oranı, mineral katkı kullanımı ve kimyasal katkıların kullanım dozajı gibi birkaç değişken arasındaki karmaşık ilişkilere bağlıdır.

Yüksek dozajda çimento kullanımı sualtı betonunu daha kaliteli bir hale getirir ve bu durum dayanım ile işlenebilirliği sağlayabilmek için de gereklidir. Uygulamalarda, kullanılan çimento miktarının 360 ile 500 kg/m³ arasında olması istenir. Çimento ve bağlayıcı nitelikteki malzemelerin artışı sualtı betonunun kohezyonunu artırır ve bununla doğru orantılı olarak yıkanma kaybını azaltır. Kullanılan mineral katkılar sualtı betonunun kohezyonunu arttırmakla kalmayıp kütle halindeki dökümlerinde sorun teşkil eden hidratasyon ısısını da azaltırlar.

Kimyasal katkı kullanmaksızın dizayn edilen sualtı betonunun akışkanlığı ve kohezyonu arasında bir denge kurulabilmektedir. Ama bu iki özellik tersine ilişki içerisinde olup yüksek işlenebilirlik değerlerinde kohezyon azalmaktadır ve bu durum betonun akış mesafesini 150mm ile 5m arasında sınırlandırmaktaydı.

Yıkanmayı önleyici ve yüksek oranda su azaltıcı katkıların gelişimi, sualtı betonunun özellikleri üzerinde etkili değişimler sağlandı. Bu katkıların uygun dozajlarda kullanımı ile düşük su/çimento oranında oldukça akışkan, çimentonun yıkanmasına ve betonun ayrışmasına karşı koyabilecek derecede kohezif beton üretmek mümkün hale geldi [6,10].

2.1.3 Sualtı betonu döküm teknikleri

Günümüze kadar sualtında beton dökme teknikleri ve donanımları doğal olarak geliştirildi. Prekast döküm tekniği, kova, çuval yöntemleri ve özellikle tremi uygulaması sualtı beton dökümlerinde kullanıldı. Sualtı betonlarında en büyük sorun, betonun bağlayıcı fazını teşkil eden çimento, mineral katkı gibi ince taneli katı öğelerin su ve dalgalarla yıkanması ve boşalmasıdır. Bunun için birinci önlem de bölgenin batardolarla korumaya alınmasıdır [11].

2.1.3.1 Tremi betonu ve yerleştirilmesi

Tremi betonu tremi borusu olarak bilinen bir t p ile sualtında yerleştirilen betondur. Tremi borusunun sonundaki boşalım taze beton içine gömülerek korunur. Bundan dolayı yıkanma ve ayrışma önemli bir derecede önlenir. Uygun karışım ve yerleştirme ile oldukça yüksek kalitede beton elde edilebilir.

Tremi betonun kullanım amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir

- Batardo ve kesonlarda
- Sualtı betonunun kütle halindeki dökümlerinde
- Sualtı yapılarında (baraj temelleri gibi)
- Sualtı betonun tamirinde
- T nel parçalarının birleşim noktalarında

Tremi betonu yapısal amaca göre dizayn edilebilir. Uygulamada prekast beton elemanlar ve yapısal  elik ile kullanılabilir.

Tremi boruları genellikle iri agrega boyutunun 8 katı çapındadır. Ama sıkça kullanılan tremi boruları genellikle 25-30 cm çapındadır. Harç karışımının dökümünde 6-6,5 cm çapında hortumlar kullanılır. Boruların betonla doldurulma aşaması beton hunisi (hopper) denilen bir hazne yardımıyla gerçekleştirilir. Beton hunisi borunun en üst notasına çıkartılarak tremi borusu betonla doldurulur. Tremi borusu vinç yardımıyla kaldırılarak beton akış sağlanır ve yerleştirme gerçekleştirilir. Mühendisler tremi borusunun en alt kısmına monte edilebilen çeşitli kapaklar dizayn etmişlerdir. Bu kapaklar betonun ani boşalımını engellemek için planlanmıştır ama tıkanmalara ve ayrışmalara sebep olmuştur. Bunun yerine kontrollü uygun teknikler kullanılmaktadır. Tremi boruları yanal basınçlara ve nakliyeye dayanacak güçte ve boşken su içerisinde yüzmesi engellenecek ağırlıkta olmalıdır. Ayrıca boruların birleşim noktaları dayanıklı ve su geçirimsiz olmalıdır.

Tremi boruları ilk olarak betonla doldurulma zorunluluğunda olduğu için borular deliksiz olmalıdır. En iyi metot yağlanmış kauçuk conta ile ahşap tıpa kullanımındır. Tremi borusu dibe kadar indirildiği için su basıncı contayı kapatır ve borunun kuru kalması sağlanmış olur. Beton dökümüne başlamak için tremi borusu beton hunisi denilen bir hazne ile betonla doldurulur ve zeminden yukarıya doğru kaldırılır. Betonun ağırlığı tıpayı iter ve beton, borunun sonunda kalıp içine akmaya başlar.

Beton hunisi (hopper) ile tremi borusu beslenir ve akış oranı ile yükseklik arasındaki uygun denge sürdürülerek beton dökümü tamamlanır.

Boş tremi borusunun su üzerinde durabilmesinin zor olduğu derin yerleşim bölgelerinde (20 m üzeri) suyun hidrostatik kuvvetinden dolayı sorunlar meydana gelebilir. Bu tür bölgelerde ayarlanabilir tıkaçlı (go-devil) bir sistem kullanılabilir. Dibe kurulmuş boru açılarak su ile doldurulur. Kaydırılabilen tıkaç en üst kısımda yerleştirilir ve beton hunisinden tremi borusuna yüklenen betonun ağırlığı ile tıkaç aşağıya doğru itilir. Bu ilerleme çok hızlı olmamalıdır. Çünkü suyun borudan dışarıya doğru hızlı bir şekilde çıkartılması kalıba ve güçlendirme demirlerine zarar verebilir veya yerinden çıkartabilir. Düşüşü kontrol etmek için boru içerisinde bir tel hattı kullanılabilir ve bu yolla betonun boru içerisindeki düşüş hızı ayarlanabilir [9,12].

2.1.3.2 Batardo ve Kesonlar

Batardo ve kesonlar genellikle dört şekilde işlevlerini yerine getirirler.

- Zeminin kabarma hidrostatikine karşı koymak
- Zemin su geçirimsiz yapmak
- Tabanda rijit yanıl destek sağlamak
- Kazıklara yükü aktarmak için dağıtıcı bir parça gibi davranmak

Güçlendirilmiş yapısal tremi betonun yerleştirilmesi için elverişli modern tekniklerle, tremi yerleştirilmesinin bir parçası olarak zeminin kaplanması düşünülmesi istenir. Bu durum batardo duvarlarının dip yüzeyinden su geçişini azaltabilir, zeminin kabarmasına karşı koymak için gerekli kaplama kalınlığını ve temel üzerine gelen ölü yükü azaltır. Bu yerleştirme hızlı ve ekonomik bir biçimde tamamlanabilir [9].

2.2 Kimyasal Katkılar

Bu bölümde sualtı betonunda kullanılan yıkanmayı önleyici ve akışkanlaştırıcı katkıları hakkında bilgi verilecektir.

2.2.1 Yıkanmayı önleyen katkıları

Yıkanmayı önleyici katkıları ilk olarak 1970'lerin ortalarında Almanya 'da, 1980'den önce Japonya 'da görüldü ve 1980'lerin sonlarından itibaren de Kuzey Amerika'da kullanılmaktadır [7].

Viskozite arttırıcı katkıları olarak bilinen yıkanmayı önleyici katkıları, çimento tabanlı sistemlerin kararlılığını ve kohezyonunu arttırmak için kullanılan yeni nesil katkılarıdır. Genel olarak, yıkanmayı önleyen katkıları çimento hamurunun su tutma kapasitesini attıran suda çözülebilen polisakkaritlerdir [13].

Bu katkıları katı öğelerin ayrışma ve yıkanma riskini azaltmak, taze betonun kararlılığını attırmak için sualtı yerleştirmelerinde ve tamirlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış, minimum ayrışma ile kendi ağırlığı altında akması için dizayn edilmiş kolay işlenebilir betonlarda da kullanılır [5].

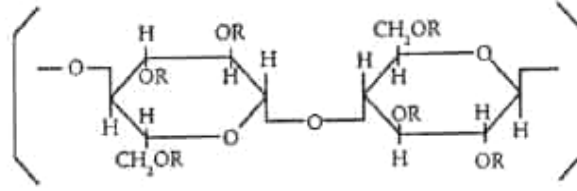
Beton sualtında döküleceğı zaman betonun bağlayıcı fazını teşkil eden çimento ve mineral katkı gibi ince taneli katı öğeler su ve dalgalarla yıkanarak taze betondan ayrılabilir. Bunun sonucunda betonun dayanımında önemli azalmalar meydana gelir. Bu tür katkıların kullanılmasıyla betonun viskozitesinde, kayma eşiğinde, yıkanma ve ayrışma direncinde önemli artışlar meydana gelir [14].Yıkanmayı önleyen katkıların viskozite ve kayma eşiğini aşırı derecede arttırmalarından dolayı betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Bundan dolayı mutlaka bir süper akışkanlaştırıcı ile kullanılması gerekir [11].

2.2.1.1 Yıkanmayı önleyen katkıların türleri ve sınıflandırılması

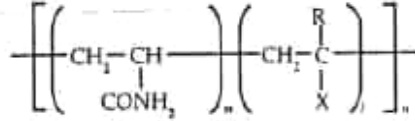
Sualtı betonu için kullanılan yıkanmayı önleyici katkıları genel olarak ana birleşimlerine göre iki kısma ayrılabilir [14].

1. Suda çözülebilen selüloz eteri
2. Suda çözülebilen akrilik polimeri

Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'de bu iki türün kimyasal formülleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Suda çözülebilen selüloz eterin açık kimyasal formülü



Şekil 2.2: Suda çözülebilen akrilik polimerin açık kimyasal formülü

T. Kawai suda çözülebilen polimerleri, doğal, yarı sentetik ve sentetik polimerler olmak üzere 3 kategoride sınıflandırmıştır [3].

1. Doğal polimerler: Nişasta, doğal sakız (reçine) ve bitki proteini içeren polimerlerdir. Welam sakızı, aljinat, agar (deniz yosunlarından elde edilen jelatinimsi madde) örnek olarak verilebilir
2. Yarı sentetik polimerler: Ayrışmış nişasta ve türevlerini içeren polimerler. Karboksi methyl selüloz, hidroksietil selüloz, hidroksipropil methyl selüloz gibi selüloz-eter türevleri örnek olarak verilebilir.
3. Sentetik polimerler: Etilen ve vinil tabanlı polimerlerdir. Polietilen oksit poliakrilamid, poliakrilat ve polivinil alkol bu gruba örnek olarak verilebilir.

Welam gum (Welam sakızı), kontrol altına alınmış bir çevre içinde özel mikroorganizmaların fermentasyonundan elde edilen yüksek moleküler ağırlığa sahip polimerlerdir [15].

V.S. Ramachandran, beton katkıları elkitabında yıkanmayı önleyici katkıları ve su çekme yardımcılarını beton içerisindeki fiziksel davranışlarına göre 5 farklı sınıfta incelemiştir [16].

A sınıfı : Karışım suyunun viskozitesini arttıran doğal ve sentetik organik polimerler. A sınıfı katkıları selüloz-eterleri ve polietilen oksitleri içerir.

B sınıfı : Çimento taneleri üzerinde adsorbe edilip, taneler arasındaki içsel çekim kuvvetlerini arttırdığından dolayı viskoziteyi arttıran suda çözülebilen organik jel tarzı maddelerdir. Doğal sakız (reçine), sentetik polielektrolitler, karboksil grubu ile stiren kopolimerleri bu grup içerisinde yer alır.

C sınıfı : Çimento hamuru içerisine çok ince partiküllerin eklenmesiyle desteklenen ve içsel çekim kuvvetlerini arttıran çeşitli organik malzemelerin emülsiyonları. Akrilik emülsiyonları ve su ile ayrıştırılmış kil bu sınıfa örnek olarak verilebilir.

D sınıfı : Çimento hamurunun su tutma kapasitesini arttıran geniş yüzey alanına sahip suda şişebilen inorganik malzemeler. Bentonit, silis dumanı ve öğütülmüş asbest D sınıfı içerisinde yer alır.

E sınıfı : Hamur içerisindeki ince partikül miktarını arttıran geniş yüzey alanına sahip inorganik malzemeler. Bu malzemeler uçucu kül, kaolin, sönmüş kireç ve çeşitli kaya tozlarıdır.

2.2.1.2 Yıkanmayı önleyen katkıların etki mekanizması

Yıkanmayı önleyici veya viskozite arttırıcı katkıların etki mekanizmaları kullanılan polimerin konsantrasyonuna ve türüne bağlıdır. Welam sakızı ve selüloz türevlerinin karışım suyunun viskozitesini arttırdığına inanılır. Daha geniş bir kapsamda welam sakızı ve selüloz türevlilerinin etkime mekanizmaları 3 şekilde incelenmiştir.

[1] Uzun zincirli polimer molekülleri su moleküllerinin çevresine yapışırlar. Böylece genişleyerek karışım suyunu emip bağlarlar. Bunun sonucunda da karışım suyunun viskozitesini arttırmış olurlar.

[2] Komşu polimer zincirlerindeki moleküller aralara girerek hidrojen bağları ve polimer yığınları arasındaki çekim kuvvetlerini arttırlar. Böylece suyun hareketini daha fazla engellerler, bir jel oluşumuna sebep olurlar ve viskoziteyi arttırlar.

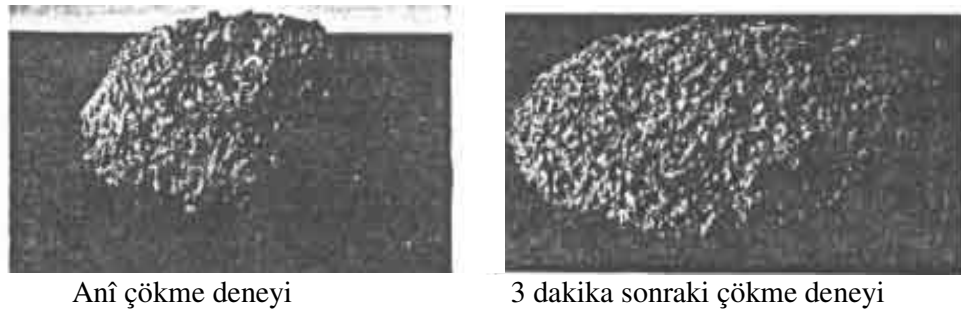
[3] Düşük kayma oranlarında ve özellikle yüksek konsantrasyonlarda polimer zincirleri birbirine dolaşabilir ve karışabilir. Bunun neticesinde görülen viskozitede

artışlar meydana gelir. Yıkanmayı önleyici katkı içeren betonun pompalanması, dökülmesi veya yerleştirilmesi esnasında kayma oranındaki artış neticesinde karışmış ve birbiri içine geçmiş polimer zincirleri ayrılmaya sebep olabilir ve yüksek kayma oranlarında polimer zincirleri akış yönü doğrultusunda sıralanabilirler ve bunun neticesinde kayma inceler ve viskozite de azalır olur [3,13].

Sıradan çözeltiler içerisinde, akrilik tabanlı yıkanmayı önleyici katkıların kullanımı, moleküller arasındaki elektriksel itme kuvvetlerini artırır. Bu suretle yayılmaya ve viskozite artışına sebep olurlar. Bununla birlikte beton içerisindeki çeşitli tuzların varlığı, bu tarz elektriksel itme kuvvetlerini azalttığına inanılır ve akrilik tabanlı yıkanmayı önleyici katkının etki mekanizması selülozik tabanlı katkılar gibi non iyonik polimerlerin etki mekanizmasına yaklaşıp [4].

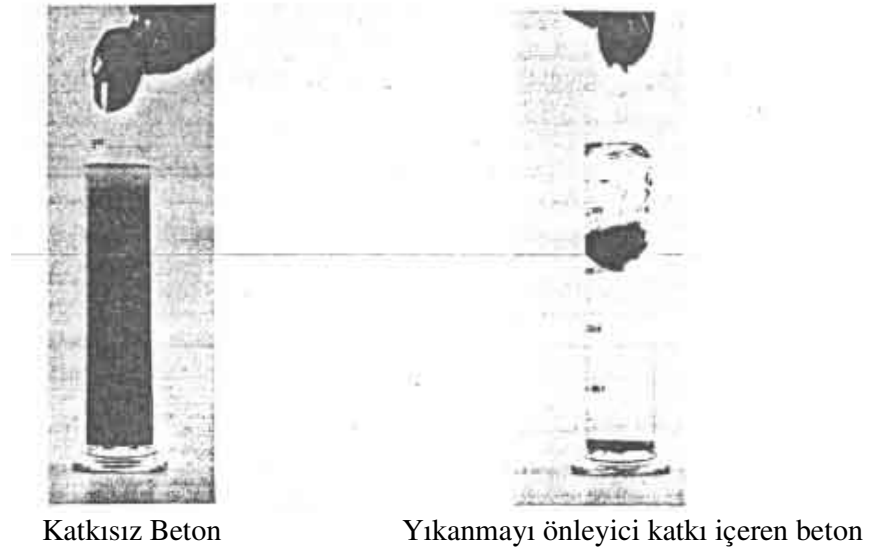
2.2.1.3 Yıkanmayı önleyen katkıların sualtı betonu özelliklerine etkisi

İşlenebilirlik :Yıkanmayı önleyici katkı içeren beton normal betonla karşılaştırıldığında yüksek kohezyona sahiptir. Yıkanmayı önleyici katkı içeren beton kendi ağırlığı altında tercihen yayılarak, kendiliğinden yerleşip düzgün bir yüzey oluşturma özelliğine sahiptir. Bu özellik çökme testinde belli olur. Çökme 10 dakika içinde derece derece artar ve pratik değerlerin bir aralığı olarak son çökme değeri 23-26 cm aralığında olur. Genel olarak, beton içerisinde yıkanmayı önleyici katkı miktarı arttığı zaman viskozite artışından dolayı işlenebilirlik düşmektedir [14,17]. Şekil 2.3'te yıkanmayı önleyici katkı içeren betonun kıvamının zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 2.3:Yıkanmayı önleyici katkı içeren betonun kıvamının zamana bağlı değişimi

Ayrışma : Yıkanmayı önleyici katkı içeren bir beton sualtında serbest olarak döküldüğü zaman çok zor ayrışır. Ama katkısız klasik betonda tamamen ayrışma olmaktadır. Ayrışma direncini değerlendirmek için yapılan su içine serbestçe düşürme testi sonuçları şekillerde gösterilmiştir. Beton içerisinde yıkanmayı öneyici katkı miktarının artırılması ayrışma riskini azaltmaktadır. Şekil 2.4'te katkılı ve katkısız betonun su içerisine düşürülmesi ile meydana gelen ayrışma görülmektedir.



Şekil 2.4: Su içinde düşme testi

pH ve Bulanıklılık : Suyun pH ve bulanıklılık değerleri yıkanmayı önleyici katkı dozajının artırılmasıyla birlikte düşmektedir.

Priz süresi : Selülozik eter esaslı yıkanmayı önleyici katkı içeren betonlar prizde gecikmeye sebep olabilir. Akrilik tipte polimer içeren betonun priz süresini etkilemesi çok zordur. Ama akrilik tipte polimerlerin su azaltıcı ve / veya süper akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması halinde priz süresini ötelemektedir.

Terleme : Yıkanmayı önleyici katkı içeren betonların viskozitelerinin artmış olması sebebiyle, yüksek oranda su itme özelliğine sahiptir ve düşük miktarlarda yıkanmayı önleyici katkı eklenmesi halinde bile terlemeye neden olmamaktadır.

Sertleşmiş beton özelliklerine etkisi : f_w / f_a [f_w ve f_a sırayla su içerisinde ve havada dökülen betonların 28 günlük basınç dayanımlarıdır] ile ifade edilen basınç dayanımı oranı, yıkanmayı önleyici katkı dozajının artması ile birlikte suda ayrılmaya karşı gösterdiği direncin artması nedeniyle artmaktadır [14].

Yıkanmayı önleyici katkı içeren sualtı betonu için Japon İnşaat Müh. Topluluğu'nun önerdiği sınır değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: J.İ.M.T.'nin yıkanmayı önleyici katkı içeren sualtı betonu için önerdiği standart sonuç tablosu [11]

Özellik		Standard Tip	Geciktiricili Tip
Terleme [%]		< 0.01	< 0.01
Hava [%]		< 4.5	< 4.5
Çökme yayılması kaybı [cm]		< 3.0 30 dakika sonra	< 3.0 2 saat sonra
Priz başlangıcı [h]		> 5	> 18
Priz sonu [h]		< 24	< 48
Sualtında dökülen betonun basınç dayanımı [kgf/cm ²]	7 Günlük 28 Günlük	>150 >250	>150 >250
Sualtında dökülen betonun dayanımının havada dökülen betonun dayanımına oranı [%]	7 Günlük	> 80	> 80
	28 Günlük	> 80	> 80
Su içinde düşme testi	Bulanıklılık SS [mg/lt]	<50	<50
	pH	<12	<12

2.2.2 Akışkanlaştırıcı katkılar

Akışkanlaştırıcı katkılar işlevlerini fiziko-kimyasal yönden yapan tansiyon aktif maddelerdir. Esas maddeleri şunlardır:

- reçine sabunları, özellikle sodyum veya potasyum abietat
- sodyum veya kalsiyum linyosülfonatlar
- sentetik bir ürün olan alkil aril sülfonat
- sülfone edilmiş hidrokarbonatlar [18]

Akışkanlaştırıcı veya su azaltıcı katkılar taze beton ve harçların işlenebilirliğini artırır. Katkılar, betonun diğer ana bileşenlerine göre çok daha az oranlarda kullanılan kimyasaldır. Akışkanlaştırıcı veya su azaltıcı katkıların beton içerisindeki kullanım miktarı, çimento dozajına göre belirlenir [19].

Akışkanlaştırıcı ve su azaltıcı katkıların etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı [mid-range] akışkanlaştırıcılar, süper akışkanlaştırıcılar olmak üzere 3 temel gruba toplanabilir.

Süper akışkanlaştırıcı katkıların kimyasal yapılarına göre 3 gruba ayrılabilir

1-) Sülfonatlı sentetik polimerler

2-) Korboksilatlı sentetik polimerler

3-) Foksiyonel olarak karıştırılmış sentetik polimerler

Birinci grup sülfonatlı naftalin formaldehit [SNF] veya sülfonatlı melamin formaldehit [SMF] bileşiklerinden oluşur. İkinci grup ise polikarbonat grubu olarak adlandırılır. Bunlar polikarboksilat polimerler ve poliakrilatlardan meydana gelir. Üçüncü grup akışkanlaştırıcılar, kimyasal yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon grubuna örnek olabilir [20].

Yeni nesil akışkanlaştırıcılar, günümüzde geniş kullanım alanına sahip olan naftalin ve melamin esaslı akışkanlaştırıcılara göre betonda daha yüksek oranda su kesmekte ve işlenebilirliğini uzun süre korumaktadır [21].

Yüksek oranda su azaltıcı ajanlar (süper akışkanlaştırıcılar) sabit su/çimento oranında betonun ve harcın işlenebilirliğini önemli derecede arttıran katkıları. Beton ve harcın sabit işlenebilirliği, yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla daha az miktarlarda su ile elde edilebilir [22].

Bu katkılar, bileşimleri özel olarak seçilmiş bir betona çok akıcı kıvam ve kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırır. Çimentonun beton içerisindeki dağılımı, bu katkılarla çalışıldığında klasik akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi yalnızca elektriksel etki ile değil aynı zamanda uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki ile [sterik etki] ince tanecikleri dağıtıp kararlı hale gelir. Bu şekilde betona hem yüksek oranda su kesme özelliği kazandırır ve hem de uzun süre akışkanlığını kaybetmeden, ayrıışmadan ve titreşim gerektirmeden yerleşebilen betonlar elde etmek mümkün olabilir [21].

2.2.2.1 Süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanım amaçları

1. Katkısız betonda aynı işlenebilme olmak şartı ile su/çimento oranını azaltarak daha yüksek mukavemet elde edebilir.
2. Kütle betonlarında hidrasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilmeyi sağlar. Katkının bu şekilde diğer beton türleri için de kullanılması, aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlaması anlamına gelmektedir.
3. Ulaşılamayan yerlerde kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilirliği artırır[23].
4. Yıkanmayı önleyici katkı içeren sualtı betonlarında viskozitesinin ve kayma eşiğinin artmasından dolayı, kendi ağırlığı altında su/çimento oranını arttırmadan akışkanlığını arttırmak yani kayma eşiğini düşürmek için kullanılır [2].

2.2.2.2 Akışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizmaları

Yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcıların etki mekanizması, çimento parçacıklarının yüzeyi üzerinde adsorbe olma yeteneğine bağlıdır. Akışkanlaştırıcı katkıların adsorbe olma oranı çimentonun kimyasal ve mineralojik özelliklerine, inceliğine ve C_3A [$C_3A = 3CaO \cdot Al_2O_3$] içeriğine bağlıdır. Kalsiyum silikat, hidrasyonun birinci saati içerisinde, yüksek oranda su kesici katkı moleküllerinin çok az bir miktarını adsorbe edebilirken, kalsiyum alüminat bu molekülleri hızlı bir şekilde adsorbe edebilir [22].

Dağılımın ve sürekliliğin açıklanması farklı teorilere bağlı olarak yapılmaktadır. Birinci teori liyofob jelleri için olan DLVO teorisidir [Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeck]. Çimento tanesi su ile temas ettiği zaman çözülme başlar ve yüzeyinden itibaren ortama bol miktarda Ca^{++} iyonları verir. Tane yüzeyinde Ca^{++}

iyonu konsantrasyonunu artması, akışkanlaştırıcı katkı moleküllerinin tane yüzeyi tarafından adsorbe edilerek çökmesine sebep olur. Bu teoride, adsorbe edilen süper akışkanlaştırıcı molekülleri katı çimento tanelerini negatif [-] yükle yükleyerek taneler arasında elektrostatik bir itki oluşturur. Sülfonatlı naftalin formaldehit [SNF] ve sülfonatlı melamin formaldehit [SNF] gibi sülfonatlı sentetik polimerler kullanılması durumunda oluşan dağılımın sebebi bu elektrostatik itkidir. İkinci teori ise Sterik Etki Teorisi'dir. Esas kısmı uzun ve yandan ekli zincirleri olan adsorbe edilmiş molekül halindeki süper akışkanlaştırıcıların stereokiometrik yapıları itici bir potansiyel enerji yaratırlar. Bu dağılım özellikle poliakrilatlar gibi karboksilatlı sentetik polimerler ile etkilidir [20,22].

Süper akışkanlaştırıcı olarak kullanılan polimerlerin molekül ağırlıkları dağılım yeteneğini etkiler. Yüksek moleküler ağırlığa sahip olan polimerler, çimento tanecikleri tarafından daha iyi adsorbe edilir ve daha yüksek dağılma özelliğine sahiptir. Fakat moleküler ağırlıkları çok yüksek olursa dağılma yeteneği kaybolur [23].

2.2.2.3 Akışkanlaştırıcı katkıların sualtı betonu özelliklerine etkisi

Birim Ağırlık : Süper akışkanlaştırıcıların (yüksek oranda su azaltıcı) kullanılmasıyla birlikte genellikle betonunun birim ağırlığında artış meydana gelir.

İşlenebilirlik : Süper akışkanlaştırıcılar genel olarak betonun akma yeteneğini artırır. Beton içerisinde suyun azaltılmasının bir sonucu olarak katkının kullanılması, kohezyonu önemli derecede artırır. Benzer işlenebilirliklerde, katkılı betonun çökme kaybı katkısız betona (kontrol betonu) göre daha fazla olabilir. Benzer su/çimento oranlarında, katkılı betonun çökme kaybı katkısız kontrol betonuna göre düşük veya yüksek olabilir. Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla betonun işlenebilirliğindeki artış neticesinde pompalanabilirlik yeteneği artar.

Ayrışma : Süper akışkanlaştırıcı katkıların, su/çimento oranını düşürmesi ile betonun kohezyonunda artış meydana gelmektedir ve kohezyonun artması ayrışma riskini azaltmaktadır.

Priz Süresi : Genel olarak süper akışkanlaştırıcıların kullanılması, betonun priz süresini biraz geciktirir.

Terleme : Süper akışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla birlikte terleme azalır. Eğer agrega granülometresi uygun dizayn edilmez ise, terleme artabilir.

Dayanım : Betonun dayanımı, süper akışkanlaştırıcıların kullanılmayla birlikte su/çimento oranının azalmasından dolayı önemli bir derecede artmaktadır.

pH ve Bulanıklılık : Süper akışkanlaştırıcı dozajının artması, sabit su/çimento oranında, betonun ayrışma direncinde azalma olması sebebiyle pH ve bulanıklılık değerleri artar [22,24].

2.2.3 Katkılar arasındaki uyum

Yıkanmayı önleyici katkıların bileşiminden dolayı betonun kayma eşiği artar ve akışkanlık azalır. Özellikle düşük kayma oranlarında ve betonun yerleştirilmesinin zor olduğu yerlerde bu durum negatif etki yaratmaktadır. Bundan dolayı, yüksek oranda su kesici katkıların kullanılmasıyla su/çimento oranını arttırma ihtiyacı duymaksızın, kayma eşiğini düşürmek ve kendiliğinden yerleşme özelliğini geliştirmek mümkün olmaktadır [5].

Yıkanmayı önleyici ve yüksek oranda su kesici katkıların birlikte kullanılmasıyla yüksek viskoziteli, kayma eşiği düşük, oldukça akışkan sualtı betonu elde etmek mümkündür. Bu katkıların akış üzerindeki etki mekanizmalarını karşılaştırmak için, karışım optimizasyonunda uygun akıcılığı, mekanik özellikleri ve kararlılığı sağlamak, su/çimento oranı ve katkılar arasındaki dengeyi kurmak için birkaç deneme grubu oluşturmak gerekir [25].

Selüloz türevli yıkanmayı önleyici katkılar, melamin tabanlı yüksek oranda su kesiciler ile birlikte kullanılır. Selüloz türevli yıkanmayı önleyici katkılar, naftalin tabanlı yüksek oranda su kesicilerle birlikte kullanıldığında aralarında uyuşmazlıklar meydana gelmektedir. Örnek olarak, selüloz türevli yıkanmayı önleyici katkı içeren sulu çözelti içerisinde polyalkylaryl sülfonat esaslı akışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla viskozitede aşırı artışlar oluşmaktadır. pH'ı 13 olan bir sulu çözelti içerisinde hidroksipropil metil selülozun [yıkanmayı önleyici katkı] kullanılması ve naftalin tabanlı yüksek oranda su kesici katkı içermesi, hidroksipropil metil selüloz ve su kesici içeriğinin su kütlesinin %0.8 ve %1'inden daha fazla olduğu zaman viskozitede keskin artışlar meydana gelmektedir. Bu olay, iki katkı arasındaki uyuşmazlıktan dolayı oluşan bir kimyasal jelden kaynaklanmaktadır.

Welam sakızı, melamin veya naftalin tabanlı yüksek oranda su azaltıcılarla kullanıldığı zaman aralarında uyuşmazlık oluşmamaktadır [4,13].

Yıkanmayı önleyici ve süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanım kombinasyonları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3:Yıkanmayı önleyici ve su azaltıcı katkıların kullanım kombinasyonları[26]

Yıkanmayı önleyici katkılar	Su azaltıcı katkılar
Selüloz türevli	Melamin sülfonat
Akrilik türevli	Naftalin sülfonat
	Melamin sülfonat
	Akrilik
	Polikarbonik asit

2.3 Mineral Katkılar

Beton teknolojisinde, silis dumanı [SD], pülverize edilmiş uçucu kül [UK] ve öğütülmüş taneli yüksek fırın cürufu [YFC] gibi mineral bağlayıcı katkıları önemli bir yer tutar. Ekonomik yaraları yanında, bu mineral katkıları mekanik dayanım, dayanıklılık ve işlenebilme mühendislik özelliklerini de iyileştirirler [17].

Katkısız bir portland çimentosu bileşimine bakılırsa, bileşimin yaklaşık %90 kadarı karma oksitlerden oluşur. Bunlar C_3S ve C_2S olarak belirtilen kalsiyum silikatlar ile C_3A ve C_4AF olarak belirtilen kalsiyum aluminatlarıdır.

Çimento su ile karıştığında kalsiyum silikatlar [C_3S ve C_2S] bağlayıcı özellikteki kalsiyum silikat hidrat [C-S-H] jelini oluştururlar ve bir miktar kireç hidrat [CH] açığa çıkar. C_3S erken dayanıma ve hidratasyon ıslısına daha fazla katkıda bulunur, daha fazla kireç açığa çıkarır. Kalsiyum aluminatlar da jel meydana getirirler. C_3A hidratasyon ıslısını artırır ve sülfatlara karşı direnci azaltır. Bağlayıcı özellikteki C-S-H jelleri ile kalsiyum aluminat jelleri hamurun yarısından fazlasını oluşturmaktadır, kalsiyum hidrat [CH] açığa çıkmakta ve gözenekler oluşmaktadır. CH ve gözenekler dayanım ve dayanıklılığı etkileyen unsurlardır.

Katkılı çimentonun hidratasyonu ve özellikleri farklıdır. Karma oksitlerden C_3A azaldığı için sülfat direnci artacak, C_3S ve C_3A azaldığı için hidratasyon ısısı ve erken dayanım azalacaktır. C_2S ve C_3S azaldığı için açığa çıkan CH miktarı da azalacaktır. Buda gene sülfat direncini ve dayanıklılığı arttıracaktır. Kullanılan katkının pozolanik özelliklere sahip olduğu kabul edilirse, katkı kalan CH'yi zamanla bağlayarak yeni [pozolanik] C-S-H jeline dönüştürecek ve gözenekleri tıkayacaktır. Dolayısı ile zamana bağlı olarak dayanım dayanıklılıkta artış söz konusudur. Genel olarak katkılı çimento hamurunda bağlayıcı jeller artmakta, CH ve gözenekler azalmaktadır [27].

Silis dumanının beton işlenebilirliği üzerindeki etkileri bağlayıcı malzemelerin bir yüzdesi olarak dozajına bağlıdır. Silis dumanı, düşük dozajlarda kullanıldığı zaman kayma eşiği yaklaşık olarak aynı kalırken viskozite azalmaktadır. Böylece, betona eklenen az miktarlardaki silis dumanı taze beton içerisinde dağıtıcı bir ajan gibi davrandığı için betonun işlenebilirliğini genellikle artırır. Silis dumanı miktarı daha yüksek değerlere doğru çıktıkça pıhtılaşma [flocculate] eğilimi göstererek betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır [6,28].

Karışım içerisinde yüksek miktarlarda uçucu kül kullanımı hidratasyon ısısını düşürür, işlenebilirliği ve kohezyonu artırır [1].

Özellikle deniz yapılarında çok yüksek oranda yüksek fırın cürufu içeren çimentolar kullanılır. Yüksek fırın cürufu ile üretilen sualtı betonlarında bağlayıcıdaki cüruf oranının %80'i aşması öngörülmektedir.

Genel olarak, mineral katkıları betonun kararlılığını, kohezyonunu, segregasyon direncini artırması ve hidratasyon ısısını düşürmesi gibi birçok olumlu etkiye sahiptir [11].

2.4 Bu Konu Hakkında Yapılmış Çalışmalar

Konuyla ilgili yapılan literatür çalışmalarında, yıkanmayı önleyici katkılarla yüksek oranda su azaltıcı katkıların birlikte kullanılmasıyla ve bağlayıcı olarak mineral katkıların eklenmesiyle sualtı betonu özelliklerine etkilerinin incelendiği çalışmalardan bahsedilecektir.

Khayat [4] yaptığı çalışmada, ASTM C 150'e göre Tip II çimentosu kullanarak 3 farklı dayanımda [düşük-orta-yüksek] ve her dayanım için farklı su/çimento oranları

kabul ederek sualtı betonu üretmiştir. Yıkanmayı önleyici katkı olarak hidroksipropil metil selüloz ve welam gum [welam sakızı], yüksek oranda su azaltıcı katkı olarak welam sakızı ile birlikte naftalin-sülfonik asit formaldehit ve hidroksipropil metil selüloz ile melamin-sülfonik asit formaldehit kullanılmıştır. Üretilen bu betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

- Welam sakızı ve hidroksipropil metil selüloz ile üretilen düşük, orta ve yüksek dayanımlı betonları hepsinde viskoz özellik gözlenmiştir ve slump konisinin kaldırılmasıyla kendi ağırlığı altındaki akışından dolayı zamanla deformasyonlar oluşmuştur.
- Yıkanmayı önleyici katkı içermeyen düşük ve orta dayanımlı beton karışımlarda terleme gözlenmemiştir. Ama welam sakızı ve hidroksipropil methil selüloz kullanıldığı zaman her bir dayanım için terleme önlenmiştir.
- Benzer çökme ve çökme yayılmalarına rağmen, yıkanmayı önleyici katkı içeren beton, kontrol betonu ile karşılaştırıldığı zaman önemli derecede daha az yıkanma kaybına sahip olduğu gözlenmiştir. Orta dayanımlı üretilen betonda çimento ağırlığının %0.15'i oranında welam sakızı kullanıldığı zaman yıkanma kaybı %9'dan %0.5, benzer şekilde %0.50 oranında hidroksipropil metil selüloz kullanıldığı zaman da yıkanma kaybı %9'dan %0.7'e düşmüştür.
- Yıkanmayı önleyici katkı içeren beton ile kontrol betonu karşılaştırıldığında yıkanmayı önleyici katkı içeren betonun viskozitesi ve kayma eşiği arttığı için ayrışma direnci gelişmiştir.
- Welam sakızı ile üretilen düşük dayanımlı betonla hidroksipropil metil selülozla üretilen düşük dayanımlı beton karşılaştırıldığında welam sakızı ile üretilen betonda priz süresinin daha fazla ertelendiği görülmüştür. Benzer miktarlarda su kesici katkı ile üretilen orta dayanımdaki betonlar kontrol betonu ile karşılaştırıldığı zaman priz başlangıcı sürelerinde benzer ertelemeler göstermiştir ve priz sonu süreleri karşılaştırıldığında, welam sakızı ile üretilen betonun erteleme süresi hidroksipropil metil selüloz ile üretilene göre daha fazla olmuştur. Yüksek dayanımlı olarak üretilen betonlarda, welam sakızı ile üretilen hidroksipropil metil selüloz ile üretilene göre priz sonu süresini çok daha fazla ertelemiştir. Su/çimento oranına bakmayarak, hidroksipropil metil selüloz ve su azaltıcı katkısıyla üretilen

betonlar priz başlangıç süresini kontrol betonuna göre biraz ertelemiştir. Benzer yaklaşım welam sakızı ile üretilen düşük ve orta dayanımlı betonlarda da gözlenmiştir. Ama welam sakızı ile üretilen yüksek dayanımlı betonun priz sonu süresi hidroksipropil metil selüloz ve kontrol betonuna göre aşırı derecede ertelenmiştir. Bunun sebebi karışım içinde kullanılan yüksek oranda su azaltıcı katkının türünden olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Sonebi ve Khayat [2], araştırmalarında bağlayıcı malzeme olarak Tip 10 Kanada çimentosu [ASTM Tip I çimentosu] ve mineral katkı olarak silis dumanı [SD], F sınıfı uçucu kül [UK] ve yüksek fırın cürufu [YFC] kullanmıştır. Kimyasal katkı olarak toz halinde welam sakızı ve likit tabanlı selülozik yıkanmayı önleyici katkı ve melamin tabanlı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Karışımlarda iki farklı su/çimento ile mineral katkılar ve çimentonun kombinasyonları kullanılmışlardır. Araştırmada kullanılan yıkanmayı önleyici, su azaltıcı ve mineral katkıların sualtı betonu özelliklerine etkileri ve bu özellikler arasındaki ilişkilere bakılmıştır.

- Su içerisinde dökülen beton havada [normal döküm] dökülen kontrol betonu ile karşılaştırıldığı zaman, su içerisindeki döküm esnasında ayrışmadan kaynaklanan dayanım azalmaları gözlenmiştir. Yıkanmayı önleyici katkı dozajının arttırılmasıyla birlikte yıkanma kayıplarında azalmalar oluşmuştur. Welam sakızı katkısının %0'dan %0.15'e çıkarılması ile basınç dayanımları arasındaki oran $[f_w / f_a ; f_w]$ su içerisinde dökülen betonun 28 günlük basınç dayanımı, f_a havada dökülen betonun 28 günlük basınç dayanımı) %48 'den %66'a çıkmıştır. Aynı durum selülozik tipteki yıkanmayı önleyici katkıda da gözlenmiştir.
- Benzer yıkanma kaybı oranlarında su/çimento oranı arttıkça basınç dayanım oranlarında düşüş gözlenmiştir. Sabit %5'lik yıkanma kaybı oranında %100 portland çimentosu ile üretilen betonlarda su/çimento oranının 0,41'den 0,47'e çıkarılması ile 28 günlük basınç dayanım oranlarında %68'den %64'e düşüş olmuştur.
- Beton yayılmasındaki [slump flow] artış genel olarak yıkanma kaybını arttırmıştır ve basınç dayanımlarında düşüşler meydana gelmiştir. Bağlayıcı fazda mineral katkıların kullanımı basınç dayanımlarını geliştirmiştir. Aynı su/çimento oranında %100 portland çimentosu ile %10 silis dumanı, %6

uçucu kül + %20 uçucu kül ve %50 yüksek fırın cürufu içeren karışımlar karşılaştırıldığında aynı miktar ve türlerde yıkanmayı önleyici katkı içerdiklerinde mineral katkı içeren betonların hepsinde 28 günlük basınç dayanım oranları %100 portland çimentosu ile üretilen betona göre artışlar meydana gelmiştir.

Kawakami, Wada ve Suzukawa [24]'nın yapmış oldukları araştırmada, bağlayıcı olarak farklı dozajlarda yüksek fırın cürufu çimento, yıkanmayı önleyici katkı olarak hidroksipropil metil selüloz, süper plastikleştirici olarak polimer tipli sodyum melamin sülfonat ve hava sürükleyici su azaltıcı kalsiyum linyosülfonat ile hydroxylated polimer kullanarak yapmış oldukları karışımlarda katkıların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri incelenmiştir.

- Tüm dozajlarda süper plastikleştirici miktarının arttırılmasıyla beton yayılma değerlerinde artışlar oluşmuştur. Aynı dozaj ve yıkanmayı önleyici katkı/su miktarı oranında süper plastikleştirici oranının %1'den %2'ye çıkarılmayla beton yayılma değerleri 5 cm kadar artmıştır. Süper plastikleştirici katkılar ile hava sürükleyici su azaltıcı katkılar arasında deney sonuçlarının dağınıklığından dolayı süper plastikleştirici dozajından bağımsız olarak tek bir eğri çizilebildiği görülmüştür.
- Süper plastikleştirici katkı dozajının arttırılması ile bulanıklılığın azaldığı gözlenmiştir. Yıkanmayı önleyici katkı/su miktarı oranının azalması ile birlikte aynı dozajda süper plastikleştirici katkı içeren karışımların bulanıklılık değerleri hızlı bir şekilde artmaktadır. Hava sürükleyici su azaltıcı katkı dozajı arttığı zaman bulanıklılık değerlerinde azalmalar olmuştur ve yıkanmayı önleyici katkı/ su miktarı oranı arttığı zaman farklı dozajdaki katkıların bulanıklılık değerleri arasındaki fark azalmaktadır.
- Sabit dozajda hava sürükleyici su azaltıcı katkı içeren karışımda süper plastikleştirici oranının arttırılması ile akışkanlığın geliştiği gözlenmiştir. Süper plastikleştirici oranının sabit tutulup hava sürükleyici su azaltıcı katkı dozajının arttırılma genel olarak akışkanlık değerini düşürmüştür ama yıkanmayı önleyici/su miktarı oranının düşük olduğu durumlarda dozaj farklılıklarının akışkanlık üzerindeki etkileri net olarak anlaşılmamıştır.
- Sabit bir yıkanmayı önleyici katkı dozajında süper plastikleştirici miktarının arttırılması ile priz sürelerinde gecikmeler meydana gelmiştir. Hava

sürükleyici su azaltıcı katkı dozajının artması aynı su/çimento oranında priz süresini uzatmıştır. Ama su/çimento oranının arttırılmasıyla birlikte farklı dozajların priz süresini etkileme miktarı birbirine çok yaklaşmıştır.

- Sabit dozajda süper plastikleştirici ve hava sürükleyici su azaltıcı oranının arttırılması aynı yıkanmayı önleyici katkı/su miktarı oranında dayanım oranlarını fazla etkilememiştir.

Hester, Gerwich ve Khayat [8], yapmış oldukları araştırmada aynı dozajda iki farklı yıkanmayı önleyici katkı kullanarak kendiliğinden yerleşen özellikte ve farklı dozajda yoğun bir kıvama sahip beton üretilmiştir. Bağlayıcı olarak ASTM Tip I / II çimentosu, F sınıfı uçucu kül ve silis dumanı, yıkanmayı önleyici katkı olarak selüloz tabanlı ve welam sakızı, yüksek oranda su azaltıcı olarak melamin tabanlı katkı kullanılmıştır. Üretilen karışımların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenip, sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Aynı dozajda su azaltıcı katkı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşme özelliğine sahip betonlarda farklı tür ve dozajda yıkanmayı önleyici katkı içermesine rağmen benzer yıkanma kayıpları elde edilmiştir. Welam sakızı'nın daha az dozajda kullanılması bu katkının yıkanma direnci üzerinde daha etkili olduğu gözlenmiştir. Yoğun kıvama sahip betonda yıkanma kaybı değerlerinin çok azaldığı görülmüştür.
- Kendiliğinden yerleşebilme özelliğine sahip karışımlarda priz başlangıç sürelerinin yakın olduğu gözlenmiştir. Yoğun kıvamda üretilen betonda priz başlangıç süresinin fazla uzaması ile priz süresi hızlandırıcı olarak CaCl_2 eklenerek priz başlangıç süresi düşürülmüştür.
- Kendiliğinden yerleşebilen beton ile yoğun kıvamda üretilen betonunun havada ve su içinde dökülen numunelerinin aşınma kaybı dirençleri karşılaştırıldığında her iki dökümde de yoğun kıvamda üretilen betonunun aşınma kayıpları daha az olduğu gözlenmiştir.

Yahia ve Khayat [3], yaptıkları araştırmada bağlayıcı malzeme olarak ASTM C 150 Tip I çimentosu, viskozite arttırıcı katkı olarak welam sakızı ve yüksek oranda su azaltıcı olarak naftalin tabanlı katkı kullanılmıştır. Üretilen karışımlarda, viskozite arttırıcı katkı ile su azaltıcı katkı kombinasyonun çimento hamurunun reolojisi üzerinde etkileri incelenmiştir.

- Su azaltıcı katkı dozajına bakılmaksızın viskozite arttırıcı katkı dozajındaki artış ile viskozite değerlerinde artış meydana gelmiştir ve lineer özellik göstermiştir. Sabit bir su/çimento oranında ve su azaltıcı katkı dozajında viskozite arttırıcı katkı miktarının arttırılması ile harcın viskozitesinde ve kayma eşiğinde artış meydana gelmiştir ve yıkanma kaybı değerleri düşmüştür. Aynı şekilde viskozite arttırıcı katkı miktarı sabit tutulup su azaltıcı katkı dozajı arttırıldığı zaman karışımın akıcılığında artış gözlenmiştir. Viskozite ve kayma eşiği değerleri akıcılığın artmasıyla birlikte azalmış ve yıkanma kaybı değerleri de artmıştır.
- Viskozite arttırıcı katkı dozajına bakılmaksızın su azaltıcı katkı dozajının arttırılması ile taze betonun kusması azalır ve sabit bir akışkanlık değerinde viskozite arttırıcı katkı miktarının arttırılmayla birlikte betonun kusmasının çok daha fazla azaldığı gözlenmiştir.
- Viskozite arttırıcı katkı içermeyen karışımlarda yüksek oranda su azaltıcı katkı dozajının arttırılmasıyla priz başlangıcı sürelerinde uzamalar meydana gelmiştir. Sabit bir viskozite arttırıcı katkı dozajında su azaltıcı katkı dozajının arttırılması ile priz başlangıç sürelerinde keskin artışlar gözlenmiştir. Aynı şekilde sabit bir su azaltıcı katkı dozajının %0'dan %0.03'e çıkarılması ile priz başlangıç süresinde önemli artışlar oluşmuştur ve katkı oranının daha fazla arttırılması bu süreyi daha da uzatmıştır. Bu durum genel olarak, viskozite arttırıcı katkıları ile su azaltıcı katkıların yüksek konsantrasyonda kullanılması sonucu meydana geldiği anlaşılmıştır.

Assaad ve Khayat yapmış oldukları çalışmada [5], farklı dozajlarda bağlayıcı malzeme ve su/çimento oranı ile yaptıkları karışım dizaynlarında farklı tür ve miktarlarda yıkanmayı önleyici ve yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanmıştır. Üretilen betonlarda bağlayıcı malzeme olarak ASTM C150 Tip I çimentosu ve yıkanma direncini arttırmak için silis dumanı kullanılmıştır. Yıkanmayı önleyici katkı olarak welam sakızı ve likit tabanlı selülozik katkı, akışkanlaştırıcı olarak melamin ve selüloz tabanlı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Üretilen betonların reolojik özellikleri ile yıkanma dirençleri arasındaki ilişki incelenmiştir ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yıkanmayı önleyici katkı dozajına bakılmaksızın yüksek oranda su azaltıcı katkı dozajının arttırılmasından dolayı çökme değerlerinde artış meydana

gelmiş ve yıkanma kaybı değerleri artmıştır. Tüm karışımlarda çökme değerlerinin artmasıyla birlikte yıkanma kaybı değerleri artış göstermiştir. Herhangi bir kıvamda yıkanmayı önleyici katkı dozajı arttırıldığı zaman yıkanma kaybı değerleri düşmüştür. Silis dumanı kullanılmadan hazırlanan karışımda welam sakızı katkısının %0.05'ten %0.15'e çıkarılması ile yıkanma kaybı değerleri %12'den %6'a inmiştir.

- Su/çimento oranının azalması başlı başına yıkanma kaybı değerlerini azalmıştır. Silis dumanı kullanılmadan hazırlanan karışımda welam sakızı
- %0.05 gibi bir değerde sabiti tutulup su/çimento oranı sırayla 0.47 'den 0.41 ve sonra 0.37'e çekildiğinde yıkanma kayıpları %10, %6, %3 şeklinde elde edilmiştir. Genel olarak silis dumanı kullanılmasıyla yıkanma kaybı değerlerinde azalmalar oluşmuştur. Ama, su/çimento oranı aynı olan 210 ± 20 mm ve 570 ± 20 mm çökme yayılmalarına sahip karışımlarda %8 oranında silis dumanı katılımı ile meydana gelen yıkanma kayıpları, silis dumanı katkısız karışımların yıkanma kayıpları ile karşılaştırıldığında çok az artışlar meydana gelmiştir. Bu durum silis dumanı katkılı karışımlarda su azaltıcı katkıların yüksek konsantrasyonda kullanılmasına bağlanmıştır.
- Yıkanmayı önleyici katkı dozajına ve türüne bakılmaksızın, yıkanmayı önleyici katkı içeren karışımın kayma eşiği değeri yıkanmayı önleyici katkı içermeyen karışıma göre artmıştır. Plastik viskozite yıkanmayı önleyici katkılardan oldukça etkilenmiştir. Karışım içerisinde yıkanmayı önleyici katkı dozajının artmasıyla plastik viskozite lineer artışlar göstermiştir. Yıkanmayı önleyici katkı dozajına bakılmaksızın su/çimento oranı azaltıldığı zaman reolojik parametreler olan kayma eşiği ve viskozite değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Karışımda %8 oranında silis dumanı kullanılmasıyla elde edilen kayma eşiği değerleri silis dumanı katılmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında değerlerde belirgin şekilde azalmalar oluşmuştur. Ama plastik viskozite değerlerinde çok ufak azalmalar gözlenmiştir.
- Genel olarak, plastik viskozite ve kayma eşiğindeki artış yıkanma direncini arttırmıştır. Düşük kayma oranlarında, plastik akış karakteri gösteren yıkanmayı önleyici katkılar dozajının arttırılmasıyla birlikte akış direnci daha fazla artmıştır ve yıkanma kayıpları azalmıştır.

- Üretilen betonlarda V hunisi akış süresi ile yıkanma kaybı arasındaki ilişki incelenmiştir ve V hunisi akış süresinin uzaması ile taze betonun viskozitesi artmış ve yıkanma kaybı oranları azalmıştır. Reolojik parametreler olan viskozite ve kayma eşiği değerleri ile akış süresi arasında lineer bir ilişki olduğu gözlenmiştir ve akış süresinin artması ile reolojik parametrelerde artış oluşmuştur.

2.5 Araştırmanın Amacı ve Gerekçesi

Sualtı beton teknolojisinde kullanılan yıkanmayı önleyici ve yüksek oranda su azaltıcı katkıların farklı tür ve miktarlarda birlikte kullanılması ile taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir ve bu konu üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Konuyla ilgili yapılan literatür taramalarında, sualtı betonu üretiminde bu katkıların farklı kombinasyonlarda kullanıldığı gözlenmiştir ve bu katkıların tek başına sualtı betonu özelliklerine etkilerinin ne olacağı detaylı bir şekilde incelenmemiştir.

Yapılan bu çalışmada, değişik oranlarda kullanılan yüksek oranda su azaltıcı katkının taze ve sertleşmiş sualtı betonu özelliklerine etkileri detaylı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır.

2.6 Araştırmanın Kapsamı

Çalışmada çimento tipi olarak PÇ 42,5 seçilmiş ve 450 kg/m^3 , 400 kg/m^3 , 350 kg/m^3 olmak üzere üç farklı dozaj kullanılmıştır. Agrega olarak maksimum dane boyutu 16 mm olan sürekli granülometrilik kum, kırmakum ve kırmataş I kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı olarak polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı %0.8 ve %1.3 oranlarında kullanılmıştır. Üretilen betonların hepsinde beton yayılması sabit tutulmuş ve bunun için kontrol betonlarında ayrıca su/çimento oranı bulunmuştur.

Her bir dozaj için katkılı ve katkısız olarak beton üretilmiştir. Katkılı olarak üretilen betonlarda %0.8 ve %1.3 oranlarında polikarboksilik esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır ve toplamda 9 adet beton üretilmiştir. Üretilen betonların işlenebilme özelliği çökme yayılması deneyi ile tespit edilip her bir dozaj için sabit tutulmuştur ve taze birim ağırlık değerleri de ölçülerek beton birleşiminin gerçek değerleri saptanmıştır.

Katkılı ve katkısız olarak üretilen betonlarda viskozite ve yıkanma kaybı değerlerini tespit etmek için taze haldeyken viskozimetri ve yıkanma kaybı deneyleri yapılmıştır. Yıkanma kaybı deneyinden sonra sudan numune alınarak pH değerleri ölçülmüştür.

Yapılan her karışımdan basınç dayanımı için 4 adet havada ve 6 adet su içinde olmak üzere toplam 10 adet 15x15x15 cm boyutlarında küp numuneler ve eğilme dayanımı için 4 adet havada ve 4 adet su içinde olmak üzere 8 adet 10x10x50 cm boyutlarında prizma numuneler alınmıştır.

Üretilen katkılı ve katkısız beton numunelerinin tamamı deney gününe kadar $20\pm1^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki kür havuzlarında saklandı.

Yapılan her karışım için 4 adet havada ve 6 adet su içerisinde alınan küp numunelerin yarısına [2 adedi havada ve 3 adedi su içerisinde alınmış numuneler] 7 günlük ve geri kalanını da 28 günlük basınç dayanım testine tabi tutuldu. Prizma numuneler üzerinde de aynı şekilde 7 ve 28 günlük eğilme dayanımlarına bakılmıştır. Ultrases deneyleri 28 günlük prima numuneler üzerinde yapılmıştır. Ultrases deneyi için, havada ve su içerisinde alınmış 10x10x50 cm boyutlarındaki 28 günlük prizma numuneler kullanılmıştır. 28. günde yapılan eğilme dayanımı deneyinden sonra arta kalan parçalar üzerinde su emme deneyi yapılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Malzemelerin Tanımlanması

Üretilen tüm beton karışımlarında kullanılan malzemelerle ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Kum, kırmakum, kırmataş I

Üretilen beton numunelerin tümünde agrega olarak maksimum tane boyutu 16mm olan sürekli granülometrilili kum, kırmakum ve kırmataş I kullanılmıştır. Malzemelerin elek analizleri T.S. 2717'ye [29] göre yapılmıştır.

Malzemelerin T.S. 3529'a [30] göre ölçülmüş birim ağırlıkları ve T.S. 3526'ya [31] göre belirlenen özgül ağırlıkları Tablo 3.1 'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Malzemelerin fiziksel özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Birim ağırlık (gr/cm ³)
Kum	2.57	1.58
Kırmakum	2.66	1.36
Kırmataş I	2.69	1.42

3.1.2 Çimento

Deneylerin tamamında Nuh Çimento A.Ş tarafından üretilmiş PÇ 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri T.S. 24'e [32] göre belirlenmiş olup sonuçları T.S. 19'da [33] belirtilen PÇ 42,5 standardına uygunluğu tespit edilmiştir. T.S. 24 'e göre bulunan fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Blaine özgül alanı	(cm ² /gr)	3215
90µm elek üzerinde kalan	(%)	0
32µm elek üzerinde kalan	(%)	16,4
Özgül ağırlık	(gr/cm ³)	3.18
Le Chatelier Deneyi (iğnelerin açılması, mm)	Soğukta	1
	Sıcakta	1
	Toplam	2
Priz başlangıcı		2 saat 58 dakika
Priz sonu		3 saat 59 dakika
Basınç dayanımı	2.gün	28.1 (N/mm ²)
	28.gün	60.8 (N/mm ²)

Nuh Çimento Sanayi A.Ş. 'nin laboratuvarlarında yapılan deney sonucunda PÇ 42.5'un kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.3: Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kızdırma Kaybı	(%)	2.23	SiO ₂	(%)	21.31
Çözünmeyen Kalıntı	(%)	0.79	Al ₂ O ₃	(%)	4.1
MgO	(%)	1.04	Fe ₂ O ₃	(%)	4.04
SO ₃	(%)	2.3	C ₃ S	(%)	49.14
Cl	(%)	0.0058	C ₂ S	(%)	24.02
CaO	(%)	62.67	C ₃ A	(%)	4.03
			C ₄ AF	(%)	12.29

3.1.3 Su

Nuh Beton laboratuvarına şehir şebekesinden gelen çeşme suyu kullanılmıştır. Kullanılan suyun kimyasal analizi Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Beton Karma Suyu Analizi

		Analiz Miktarı	Nitel Birim	Deney Metodu	TS EN 1008'e göre beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları
Analizler					TS EN 1008 maksimum sınır değerler
pH		6.75		ISO 4316	pH>4 olmalıdır
Koku		Yok			İçilebilir suyun sahip olduğu koku yada hidrojen sülfür kokusu haricinde olmalıdır
Renk		Berrak			Nitel olarak belirlenen renk açık sarı veya daha açık olmalıdır
Organik Madde		Açık sarı	mg/l		NaOH ilave edildikten sonra nitel olarak belirlenen renk sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır
Askıda Katı Madde		0.2	ml		Çökelti miktarı en az 4ml olmalıdır. Beton harmanı içerisindeki toplam agrega kütlelerinin %1'inden kütlece daha az olmalıdır
Zn ²⁺	Çinko	<0.01	mg/l	TS 6290	En fazla <100 mg/l
P ₂ O ₅	Fosfatlar	35	mg/l	TS 7886	En fazla <100 mg/l
Alkali (Na ₂ O)		239	mg/l	TSEN 196-21	Normal şartlarda <1500 mg/l
Cl	Klorür	45	mg/l	TSEN 196-21	Öngerilmeli beton ve şerbette <500
			mg/l		İçinde donatı veya metal bulunan beton <1000
			mg/l		İçinde donatı veya metal bulunmayan beton <4500
SO ₄	Sülfat	82	mg/l	TSEN 196-21	En fazla <2000 mg/l
NO ⁻³	Nitrat	18.1	mg/l	ISO 7890-1	En fazla <500 mg/l
Pb ²⁺	Kurşun	<0.01	mg/l	TS 6290	En fazla <100 mg/l
Şekerler		Yok	mg/l	TS 9840	En fazla <100 mg/l
Sıvı ve Katı Yağlar		Yok	mg/l		Görünür izlerden(leke) daha fazla olmamalı
Deterjan		Yok	mg/l		Herhangi bir köpük 2 dk da kaybolmalıdır
Elektiriki İletkenlik	EC	785	µS/cm	17	TDS 468 mg/l (EC(16) ve TDS(17) de sınır yok)

3.1.4 Kimyasal Katkı

Katkılı olarak üretilen betonlarda Polikarboksilik Eter esaslı yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan katkının özellikleri aşağıda açıklanmıştır. Bu özellikler üretici firmanın belirttiği sonuçlardır.

Kullanılan akışkanlaştırıcı katkı yüksek oranda su azaltma özelliğine sahiptir. Sıvı formda ve amber rengindedir. Yoğunluğu $1.082-1.142 \text{ gr/cm}^3$ (20°C 'de) arasında değişmektedir. Klor içeriği $< \%0.1$ azdır.

Nuh Beton laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda akışkanlaştırıcı katkının fiziksel analizi aşağıdaki gibidir.

Tablo 3.5: Akışkanlaştırıcı Katkının Fiziksel Analizi

		Bulunan Değerler	Sınır Değerler
pH (20°C 'de)		7.22	6.5 - 8.0
Yoğunluk (gr/cm^3) (20°C 'de)		1.1	1.07 - 1.12
Katı madde % (105°C) (Nem Tayin Cihazı)		35.9	32 - 36

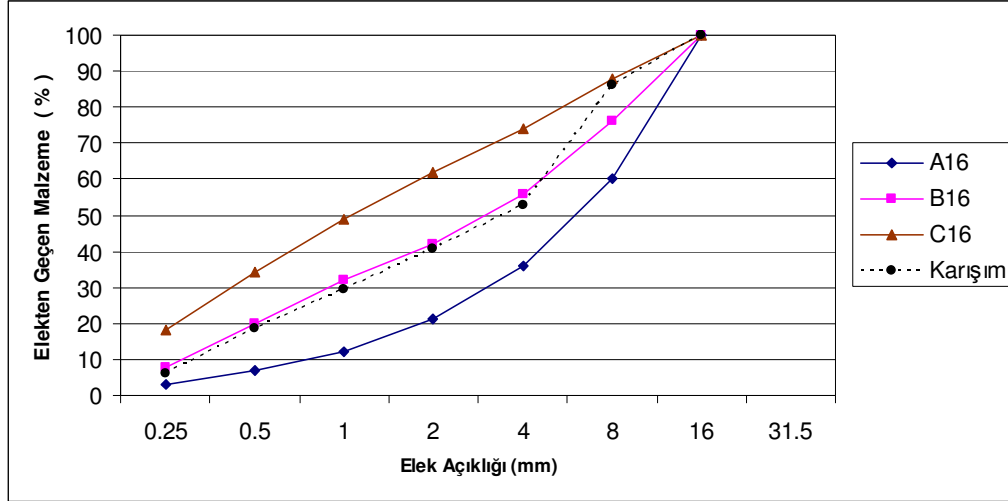
3.2 Beton Karışımları

Beton karışımlarında agrega olarak maksimum dane boyutu 16 mm olan sürekli granülometrilik kum, kırmakum ve kırmataş I kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin elek analizi sonuçları ve beton karışımında kullanılan yüzdeleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Beton karışımlarında sırasıyla kum %26, kırmakum %30, kırmataş I %44 oranında kullanılmıştır.

Tablo 3.6: Malzemelerin elek analizi sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)						
	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Kum (%26)	100	100	93	91	79	55	16
Kırmakum (%30)	100	100	87	52	28	15	7
Kırmataş I (%44)	100	69	6	3	1	0	0
Karışım	100	86	53	41	29	19	6

Malzemelerin elek analizi sonuçlarına göre çizilen karışımın granülometri eğrisi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Malzemelerin Granülometri Eğrisi

Beton üretiminde 350, 400, 450 kg/m³ dozajında üç farklı seri üretim yapılmıştır. Yapılan üretimler katkılı ve katkısız olarak dizayn edilmiştir. Katkılı betonlarda %0.8 ve %1.3 oranlarında (çimento ağırlığının) yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Üretilen betonların tümünde işlenebilme sabit tutulup su/çimento oranı sabit işlenebilmeye göre ayarlanmıştır. İşlenebilirlik sabiti olarak çökme yayılması (slump flow) baz alınmıştır. Toplamda 9 farklı seri üretim yapılmıştır ve her seride 10 adet küp ve 8 adet prizma numune alınmıştır. Üretilen her farklı bileşimdeki betonların 1 m³'e giren gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri Tablo 3.7' de verilmiştir.

Tablo 3.7: 1 m³ için gerçek malzeme miktarları ve taze beton zellikleri

Beton Kodu	 (kg)	Doğal Kum (kg)	Kırmakum (kg)	Kırmataş I (kg)	S (kg)	S/	Hava %	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Yayılma (cm)	S.A (kg/m ³)
C450SA0	453	399	477	707	254	0.56	0.6	2290	52	0
C450SA08	454	449	537	796	172	0.38	0.9	2412	54	3.63
C450SA13	455	455	543	806	159	0.35	1.1	2424	55	5.91
C400SA0	404	415	495	734	246	0.61	0.7	2294	52	0
C400SA08	403	462	552	819	169	0.42	0.9	2408	55	3.22
C400SA13	405	466	557	825	158	0.39	1.2	2416	55	5.26
C350SA0	353	432	515	765	236	0.67	0.7	2301	53	0
C350SA08	352	468	559	829	176	0.5	1	2387	54	2.82
C350SA13	353	474	566	840	162	0.46	1.3	2400	55	4.59

retilen betonlar iin kullanılan kısaltmalar aşağıda verilmiştir.

C450SA0 : 450 dozlu katkısız kontrol betonu

C450SA08 : 450 dozlu, %0.8 yksek oranda su azaltan sper akışkanlaştırıcılı beton

C450SA13 : 450 dozlu, %1.3 yksek oranda su azaltan sper akışkanlaştırıcılı beton

C400SA0 : 400 dozlu katkısız kontrol betonu

C400SA08 : 400 dozlu, %0.8 yksek oranda su azaltan sper akışkanlaştırıcılı beton

C400SA13 : 400 dozlu, %1.3 yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcılı beton

C350SA0 : 350 dozlu katkısız kontrol betonu

C350SA08 : 350 dozlu, %0.8 yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcılı beton

C350SA13 : 350 dozlu, %1.3 yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcılı beton

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

Bütün beton üretimleri, paslanmaz çelikten yapılmış, kapasitesi 45 litre olan bir betoniyerde yapılmıştır. Kontrol ve diğer beton üretimleri aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Kum, kırmakum ve kırmataş I betoniyerin içine konulduktan sonra üzerine çimento konulmuştur. Karıştırıcı bir dakika kadar çalıştırılarak tüm malzemenin iyice karışması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken karışım suyunun %50'si ile %70'i kadarı yavaş yavaş ilave edilmiştir. Yüksek oranda su azaltan süper akışkanlaştırıcı katkının karışımda kullanılacak miktarı cam beher içinde tartılarak kalan karışım suyunun bir kısmı ile çözelti haline getirilip çalışmakta olan betoniyerin içine dökülmüştür. Akışkanlaştırıcı katkı konulduktan sonra karışım beş dakika devam ettirilmiştir. Tüm beton üretimlerinde işlenebilme sabit tutulduğu için kalan karışım suyu, istenilen çökme yayılması değeri elde edilinceye kadar eklenmiştir.

Karıştırma işlemi bittikten sonra ilk olarak çökme yayılması (slump flow) değerine bakılmıştır. Çökme yayılması deneyinde üst çapı 10cm, alt çapı 20cm ve yüksekliği 30cm olan çökme (slump) konisi ters olarak tutulup çekilmiştir. Oluşan çökme yayılması değeri birbirine dik iki eksen üzerinde yayılma çapı ölçülerek ortalaması alınmıştır ve üretilen betonların hepsinde çökme yayılması değerleri 53 ± 2 cm olarak kabul edilmiştir. Çökme yayılması değerine bakıldıktan sonra taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Bunun için 8 litre hacminde birim ağırlık kovası kullanılmıştır. Çökme yayılması ve taze birim ağırlık deneyinde kullanılan beton karıştırıcıya konulup bir dakika kadar karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra Mettler RM180 Rheomat viskozimetre deney aleti kullanılarak taze betonun viskozite değerine bakılmıştır. Yüksekliği 200 cm, iç açısı 19 cm, dış çapı 20 cm ve su yüksekliği 170 cm olan şeffaf bir tüp kullanılarak 120 mm çapında ve 130 mm yüksekliğinde üzerinde simetrik delikler bulunan bir hücreye konulmuş taze beton numunesine yıkanma kaybı testi uygulanır. Deneyde 3 düşüşteki yıkanma kaybı değerleri esas alınmıştır. Bu deneyle eş zamanlı olarak yıkanma kaybı deneyi bitiminde tüpten su numuneleri alınarak pH değerleri ölçülmüştür.

Taze beton deneyleri esnasında geçen süre göz önüne alınarak, beton bir dakika süreyle tekrar karıştırılmıştır. Karışım sonunda, havada 4 adet ve su içerisinde 6 adet olmak üzere toplam 10 adet 15x15x15 cm boyutlarında küp numune ile havada 4

adet ve su içerisinde 4 adet olmak üzere toplam 8 adet 10x10x50 cm boyutlarında prizma numune alınmıştır. Su içerisinde alınan numunelerde 530 mm genişliğinde ve 300 mm yüksekliğinde kare şeklinde su havuzu kullanılmıştır. Havuz içerisine yerleştirilen kalıpların 10 cm üzerinden bir boru yardımıyla (tremie döküm metodu) beton yerleştirilmiştir.

Tüm beton üretimlerinde kalıplarına yerleştirilen betonlar, üzeri hava ile temas etmesini önlemek amacı ile ıslak torbalarla örtülmüş ve sıcaklığı 20 ± 1 °C, nem oranı 60 ± 5 olan laboratuvar odasında muhafaza edildi ve birinci günün sonunda kalıptan alınarak deney gününe kadar sıcaklığı 20 ± 1 °C olan kür havuzlarında saklanmıştır.

15x15x15 cm'lik küp numuneler basınç dayanımı deneyi için, 10x10x50 cm 'lik kiriş numuneler iğimle dayanımı ve ultrases deneyi için alınmıştır. Su emme deneyi için 28 günlük kiriş numunelerden 10x10x10 cm boyutlarında küp numuneler kesilmiştir.

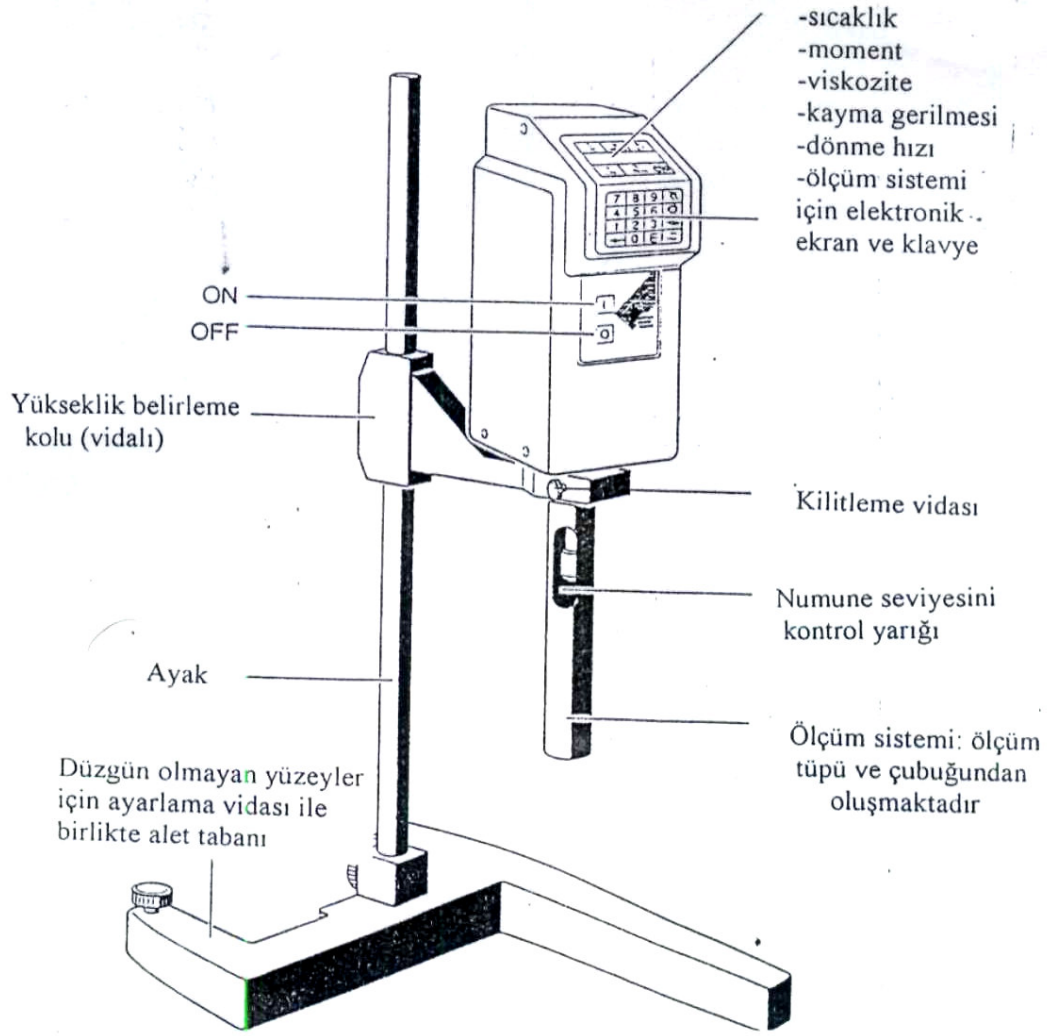
3.4 Deneylerin Tanımlanması ve Yöntemler

3.4.1 Taze Harç Deneyleri

3.4.1.1 Viskozimetre Deneyi

Harç fazı üzerindeki deneyler, şekil değiştirme hızı ile kayma gerilmesi arasındaki bağıntının grafik olarak elde edilmesi ve bu bağıntıyı lineerleştirerek plastik viskozite ve kayma eşiği değerlerinin bulunması amacı ile yapıldı.

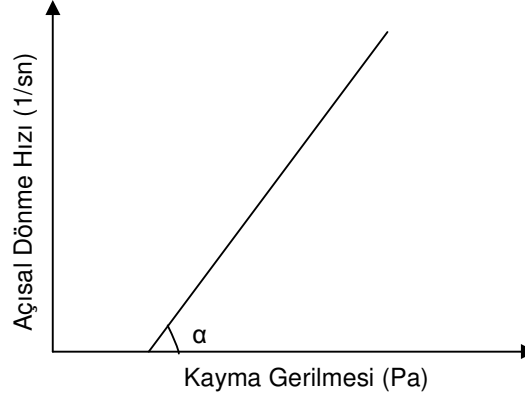
Deneylerde Mettler RM 180 Rheomat viskozimetre deney aleti kullanılmıştır. Aygıtın detaylı resmi Şekil 3.2'de görülmektedir. Eş merkezli bir viskozimetre olan Rheomat 180, 5 -1000 [1/dk] hızda dönebilmekte ve kayma şekil değiştirme hızlarını 6.5-1290 [1/sn] değerlerinde ölçebilmektedir. Tork değerleri 0.25-7.5 mN.m, ölçülebilen viskozite büyüklükleri 3-150 000 [mPa.sn] arasında değişebilmektedir. Aletin farklı çapta 3 adet dönen dalıcısı (bob) ve 3 adet sabit kabı (tube) vardır. Deneylerimizde harçlar için 32.71 mm çaplı kap ve 14 mm çaplı dalıcı uç kullanılmıştır. Göstergeden Tork, devir hızı, τ ve η değerleri direk okunabilmektedir [34].



Şekil 3.2: Metler RM-180 Rheomat viskozimetre Deney Aleti

Hazırlanmış olan taze beton karışımlarından bir miktar numune alınarak 4 mm göz açıklığına sahip elekten elenmiştir. Elekten geçen kısım betonun harç fazını oluşturan kısımdır. Elek altına geçen kısım spatul ile karıştırılarak sabit tüp içerisine konulmuştur. Deneye başlamadan önce viskozimetre deney aleti 10 ile 150 dev./ dk. Dönme hızları aralığında için programlandı ve alet bu aralığı otomatik olarak sekiz eşit aralığa böldü. Yani makine çalıştıktan sonra, karşılaştığı direnç miktarı makinenin alt ve üst limitleri dışına çıkmadıkça sırasıyla 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130 ve 150 dev./dk. Dönme hızlarının her birinde karşılaştığı dirençleri ölçmek üzere programlandı. Her bir dönme hızına karşılık gelen değerler kamera yardımıyla tarafımızdan kaydedilmiştir. Kameradan alınan değerler neticesinde açılal dönme

hızları ile bunlara karşılık gelen kayma eşiği değerleri arasında her bir numune için grafik çizilmiştir. Çizilen grafiklerde lineer regresyon analizi yapılarak doğrunun absis eksenini (x eksenini) kestiği yerle kayma eşiği (τ_0), eğrinin eğiminin tersiyle de plastik viskozite (η_{pi}) değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.3'te kayma eşiği ve açısal dönme hızı arasındaki ilişkiyi gösteren örnek bir grafik verilmiştir.



Şekil 3.3: Açısal dönme hızı ve kayma eşiği arasındaki ilişki

3.4.2 Taze Beton Deneyleri

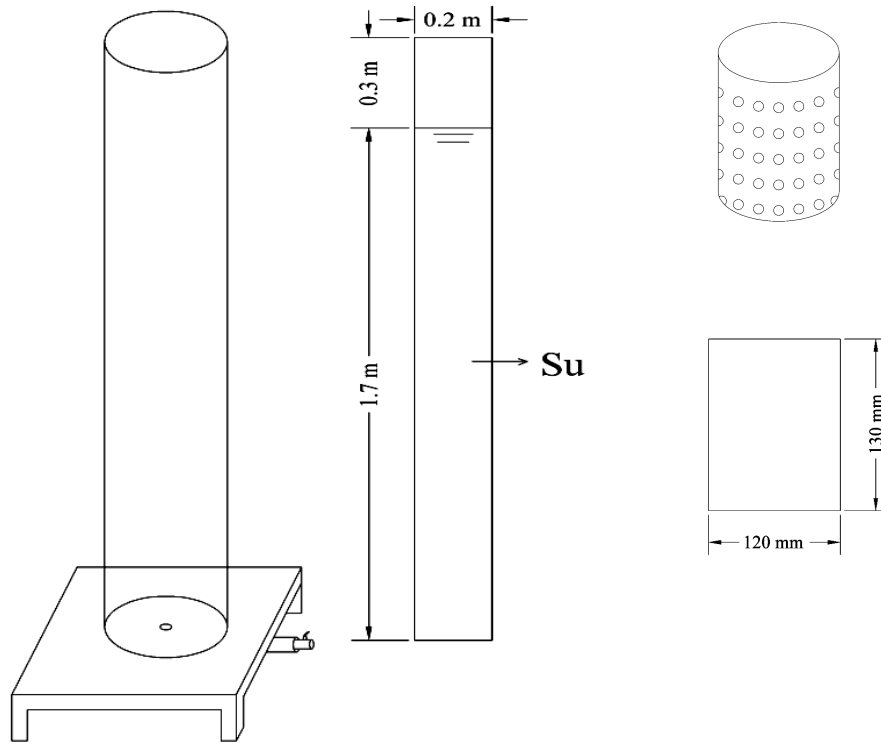
Beton karışımları hazırlandıktan sonra ilk olarak çökme yayılması (slump flow) deneyi yapılmıştır. Deneyde üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve yüksekliği 300 mm olan çökme konisi (slump cone) ters olarak tutulup (büyük çap üste gelecek şekilde) çekilmiştir. Beton yayılma değeri birbirine dik iki eksen doğrultusunda yayılma çapları ölçülerek ortalaması alınmıştır. Üretilen her beton için çökme yayılması değerleri sabit tutulmuştur.

Ayrıca betonun taze birim ağırlığına da bakılmıştır. Bunun için hacmi 8 litre, ağırlığı 4450 gram olan birim ağırlık kabı kullanılmıştır.

3.4.2.1 Yıkanma Kaybı Deneyi

Yıkanma kaybı deneyinde yüksekliği 2000 mm, iç çapı 190 mm $\pm$ 2 mm ve dış çapı 200 mm $\pm$ 2 mm olan şeffaf bir tüp kullanılmıştır. Tüp 1700 mm $\pm$ 5 mm su yüksekliğine sahiptir ve dip kısmındaki vana yardımıyla deney sonrası tüp içerisindeki su boşaltılabilmektedir. Taze beton numunesinin konulduğu hücre 130 mm $\pm$ 2 mm çapında ve 120 mm $\pm$ 2 mm yüksekliğindedir. Hücre üzerinde düzenli delikler bulunmaktadır. Bu delikler 3 mm çapında ve iki komşu delik merkezleri arasındaki uzaklık 5 mm dir. Yıkanma kaybı deney aleti Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Yıkanma kaybı deneyinde hücre içine 2000 gr $\pm$ 20 gr ağırlığında taze beton

konulmaktadır [35]. Hücre içine konulan taze beton 1700 mm su yüksekliğine sahip şeffaf tüp içerisine serbest olarak bırakılmıştır. Düşüş sırasında, hücre tüpün dibine çarptırılmamalıdır. Hücre dipte 15 saniye kadar bekletildikten sonra yavaş bir şekilde yukarı çekilmiştir ve 5 saniye kadar beklenmiştir. Bu işlem 3 defa tekrarlanıp malzemenin ağırlığı tartılmıştır. İki tartım arasındaki kayıp yıkanma kaybı miktarını vermektedir.



Şekil 3.4: Yıkanma Kaybı Deney Aleti

Yıkanma deneyinden sonra tüp içerisindeki suyun alt ve üst bölgelerinden numuneler alınarak pH testi yapılmıştır. Alt bölgeden su numunesi almak için yıkanma tüpünün dip kısmında bulunan vanadan yararlanılmıştır. Ayrıca içi su dolu beherin içine bir miktar taze beton atılarak da pH testi uygulanmıştır.

3.4.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Her bir seri için 4 adet havada 6 adet su içerisinde alınan küp numunelerin 7. ve 28. gündeki basınç dayanımları ölçülmüştür. Havada ve su

içerisinde alınan numunelerin yarısı 7.günde yarısı 28. günde kırılmıştır. Üretilen her karışımda 4 adedi havada 4 adedi su içerisinde alınan 10x10x50 cm boyutlarındaki prizma numunelerin yarısına 7. günde yarısına da 28. günde eğilme dayanımı testi yapılmıştır. Eğilme dayanımında yük sadece kiriş orta bölgesinden yüklenmiştir.

Ultras es hızı deneyi için, 28 günlük, havada ve su içerisinde alınmış 2 şer adet 10x10x50 cm boyutlarındaki prizma numuneler kullanılmıştır.

Su emme deneyi için, 28 günlük prizma numuneler kullanılmıştır. 10x10x50 cm boyutlarındaki kiriş numunelere eğilme dayanımı testi uygulandıktan sonra arta kalan parçalardan 10x10x10 cm boyutlarında küp numuneler kesilerek 2 gün su içerisinde bekletilmiştir. Su içerisinde çıkarılan numunelerin yüzeyi bir bez ile hafifçe kurularak tartılmıştır. Tartılan numuneler 105 °C 'lik etüvde bir gün bekletildikten sonra tartılıp su emme miktarları bulunmuştur.

4. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde çalışma süresince elde edilmiş olan deney sonuçları tablolar halinde verilecektir.

4.1 Taze Harç Deney Sonuçları

4.1.1 Viskozimetre Deney Sonuçları

Hazırlanan bütün karışımlar üzerinde viskozimetre deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen açısal dönme hızları (1/sn) ile kayma gerilmeleri (Pa) arasında çizilen grafiklerin eğiminden elde edilen viskozimetre deney sonuçları Tablo 4.1 'de verilmiştir. Plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesinin bulunmasında, Ek A'da verilen Şekil A.1'den Şekil A.9'a kadar olan grafiklerden yararlanılmıştır.

Tablo 4.1: Katkılı ve katkısız betonların plastik viskoziteleri ve eşik kayma gerilmeleri

Beton kodu	η_{pi} Plastik Viskozite (Pa.sn)	τ_o Eşik Kayma Gerilmesi (Pa)
C450SA0	0.287	5.51
C450SA08	0.302	9.34
C450SA13	0.316	11.37
C400SA0	0.245	4.77
C400SA08	0.251	8.76
C400SA13	0.282	9.28
C350SA0	0.178	3.76
C350SA08	0.184	8.09
C350SA13	0.216	8.63

4.2 Taze Beton Deney Sonuçları

4.2.1 Çökme yayılması deney sonuçları

Üretilen betonlarda çökme yayılması değerleri sabit tutulmuştur. Çökme yayılması değerleri Tablo 4.2 'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Çökme Yayılması Değerleri

Beton Kodu	Çökme Yayılması (cm)
C450SA0	52
C450SA08	54
C450SA13	55
C400SA0	52
C400SA08	55
C400SA13	55
C350SA0	53
C350SA08	54
C350SA13	55

4.2.2 Yıkanma kaybı deney sonuçları

Katkılı ve katkısız olarak üretilen betonların yıkanma kaybı deneyi sonuçları Tablo 4.3'de verilmiştir. Bu değerler 3 düşüş sonucunda elde edilen, yüzde cinsinden yıkanma kaybı değerleridir. Yıkanma kaybı değerleri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yıkanma kaybı (\%)} = \frac{M_i - M_n}{M_i} \times 100$$

M_i = Testen önceki numune ağırlığı

M_n = n düşüşten sonraki numune ağırlığı

Tablo 4.3: Yıkanma Kaybı Değerleri

Beton Kodu	Yıkanma Kaybı (%)
C450SA0	6.85%
C450SA08	13.80%
C450SA13	16.50%
C400SA0	9.89%
C400SA08	19.90%
C400SA13	23.70%
C350SA0	13.10%
C350SA08	25.40%
C350SA13	29.50%

4.2.3 pH deney sonuçları

Üretilen tüm betonlar üzerinde yapılan pH testi sonuçları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 4.4: pH Değerleri

Beton Kodu	pH
C450SA0	9.91
C450SA08	10.12
C450SA13	10.35
C400SA0	10.02
C400SA08	10.59
C400SA13	10.70
C350SA0	10.11
C350SA08	10.95
C350SA13	11.12

4.2.4 Taze birim ağırlık deney sonuçları

Taze beton birim ağırlıkları daha önce Tablo 3.7’de beton birleşimleriyle birlikte verilmiştir. Üretilen beton karışımlarındaki gerçek malzeme miktarları taze birim ağırlıktan yararlanılarak hesaplanmıştır.

4.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Üretilen tüm beton numunelerinin 7 ve 28. günlerdeki basınç ve eğilme mukavemeti değerleri numunenin alınış biçimine göre (havada veya su içerisinde) sırasıyla Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilmiştir. 28. günde yapılan ultrases hızı ve su emme deneyleri sonucunda elde edilen değerler sırasıyla Tablo 4.9 ve Tablo 4.10’da verilmiştir.

4.3.1 Basınç mukavemeti sonuçları

Basınç mukavemeti sonuçlarının değerlendirilmesinde mukavemetten bilinen basit gerilme formülü kullanılarak sonuçlar (N/mm^2) cinsinden hesaplanmıştır. Havada alınan numunelerin basınç mukavemeti değeri 2 adet numunenin ortalaması olarak, su içerisinde alınan numunelerin basınç mukavemeti değeri ise 3 adet numunenin ortalaması olarak bulunmuştur. 7 ve 28 günlük basınç mukavemeti deney sonuçları Tablo 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P_k}{a^2}$$

σ_b : Basınç mukavemeti (kgf/cm^2)

P_k : Numunenin kırılma kuvveti (kgf)

a : Küp kesitinin boyutu (cm)

Tablo 4.5: Havada alınan numunelerin basınç mukavemetleri

Beton Kodu	BASINÇ MUKAVEMETİ (N/mm ²)	
	7. GÜN	28. GÜN
C450SA0	36.6	48.6
C450SA08	63.7	74.2
C450SA13	69.0	80.2
C400SA0	32.2	43.6
C400SA08	55.4	66.1
C400SA13	60.9	71.2
C350SA0	27.5	35.9
C350SA08	44.8	54.3
C350SA13	51.2	60.4

Tablo 4.6: Su içerisinde alınan numunelerin basınç mukavemetleri

Beton Kodu	BASINÇ MUKAVEMETİ (N/mm ²)	
	7 GÜN	28 GÜN
C450SA0	27.4	33.8
C450SA08	30.4	35.4
C450SA13	31.8	38.3
C400SA0	21.5	25.8
C400SA08	23.1	28.4
C400SA13	24.6	30.3
C350SA0	16.5	18.9
C350SA08	17.5	21.5
C350SA13	18.8	23.8

4.3.2 Eğilme mukavemeti sonuçları

Eğilme mukavemeti sonuçlarının değerlendirilmesinde aşağıdaki formül kullanılarak sonuçlar (N/mm²) cinsinden 2 adet numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. 7 ve 28 günlük eğilme mukavemeti deney sonuçları Tablo 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

$$\sigma_e = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{3P_k L}{2bh^2}$$

σ_e = Eğilme mukavemeti (kgf/cm²)

P_k = Numunelerin kırılma kuvveti (kgf)

L = Mesnetler arası açıklık (cm)

b = Prizma kesitinin genişliği (cm)

h = Prizma kesitinin yüksekliği (cm)

Tablo 4.7: Havada alınan numunelerin eğilme mukavemetleri

Beton Kodu	EĞİLME MUKAVEMETİ (N/mm ²)	
	7 GÜN	28 GÜN
C450SA0	7.32	8.82
C450SA08	10.53	11.67
C450SA13	11.21	12.18
C400SA0	6.12	7.40
C400SA08	8.91	10.95
C400SA13	9.75	11.15
C350SA0	5.74	6.91
C350SA08	6.75	8.22
C350SA13	8.81	9.45

Tablo 4.8: Su içerisinde alınan numunelerin eğilme mukavemetleri

Beton Kodu	EĞİLME MUKAVEMETİ (N/mm ²)	
	7 GÜN	28 GÜN
C450SA0	6.21	7.80
C450SA08	8.07	9.95
C450SA13	8.36	10.42
C400SA0	5.89	7.12
C400SA08	7.89	8.28
C400SA13	8.21	9.14
C350SA0	4.98	6.13
C350SA08	5.59	6.99
C350SA13	6.91	7.47

4.3.3 Ultrases hızı sonuçları

Ultrases deneyi sonuçlarının değerlendirmesinde mikrosaniye (µs) olarak okunan ultrases geçiş süresi değerleri aşağıdaki formülde uygulanarak numune içinden geçen sesin hızı bulunmuştur ve 2 adet numunenin ortalaması alınarak ultrases hızı hesaplanmıştır. Ultrases hızı deney sonuçları Tablo 4.9’da verilmiştir.

$$V = \frac{L'}{T'}$$

V = Ultrases hızı (km/sn)

L' = Numunenin boyu (mm)

T' = Numune içerisinden geçen sesin geçiş süresi (µs)

Tablo 4.9: Ultrases hızı değerleri

Beton Kodu	ULTRASES HIZI (km/sn)	
	Havada alınan numune	Su içerisinde alınan numune
C450SA0	4.7	4.4
C450SA08	4.9	4.5
C450SA13	5.0	4.6
C400SA0	4.4	4.1
C400SA08	4.7	4.4
C400SA13	4.8	4.4
C350SA0	4.3	4.0
C350SA08	4.5	4.2
C350SA13	4.6	4.3

4.3.4 Su emme deneyi sonuçları

28. günde eğilme mukavemeti deneyi yapıldıktan sonra 2 adet numune üzerinde gerçekleştirilen su emme deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.10: Su emme değerleri

Beton Kodu	Su emme değerleri (Ağırlıkça) (%)	
	Havada alınan numune	Su içerisinde alınan numune
C450SA0	3.1	3.4
C450SA08	2.6	3.2
C450SA13	2.4	2.8
C400SA0	3.3	3.5
C400SA08	2.9	3.3
C400SA13	2.7	3.0
C350SA0	3.7	3.8
C350SA08	3.1	3.6
C350SA13	3.0	3.3

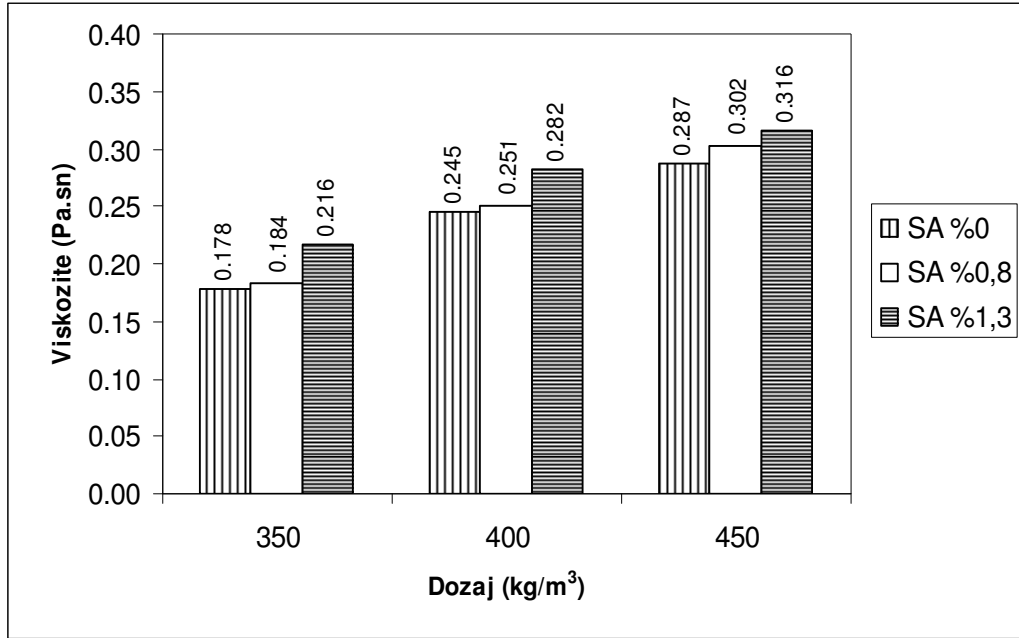
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, bölüm 4'te verilen taze harç sonuçları, taze ve sertleşmiş beton sonuçları değerlendirilecektir.

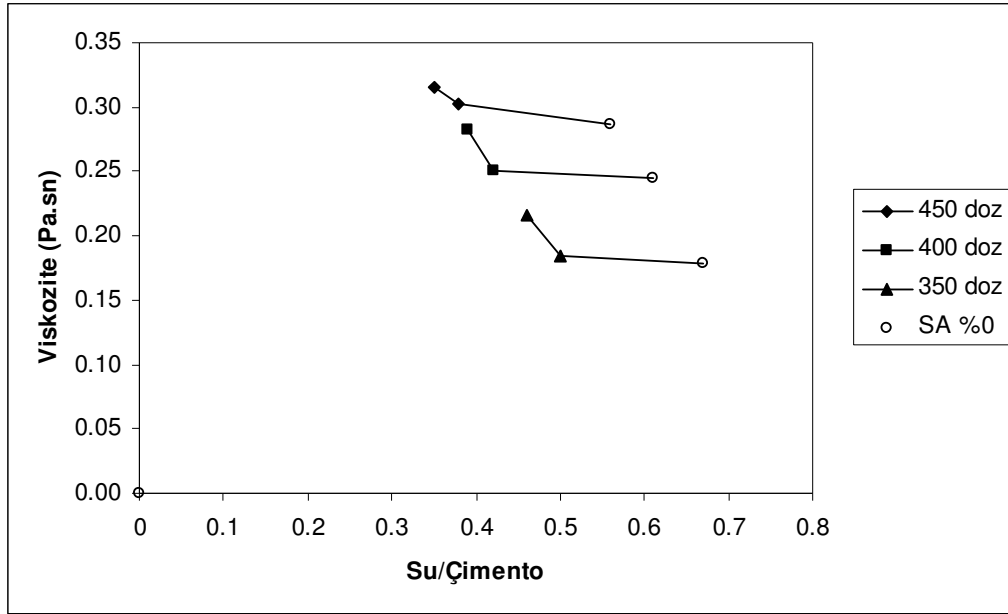
5.1 Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.1.1 Viskozimetre deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Viskozimetre deney sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.1'de verilen katkı ve katkısız betonların viskozite ve eşik kayma değerlerinden faydalanılmıştır. Bu değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.1: Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile viskozite değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.2: Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile viskozite değerleri arasındaki ilişki

Viskozimetre deneyi, katkılı ve katkısız olarak üretilen betonlarda, katkı miktarı değişiminin betonun viskozitesine etkisini görmek ve betonun viskozitesindeki değişimin ykanma kaybını nasıl etkilediğini anlayabilmek için yapılmıştır.

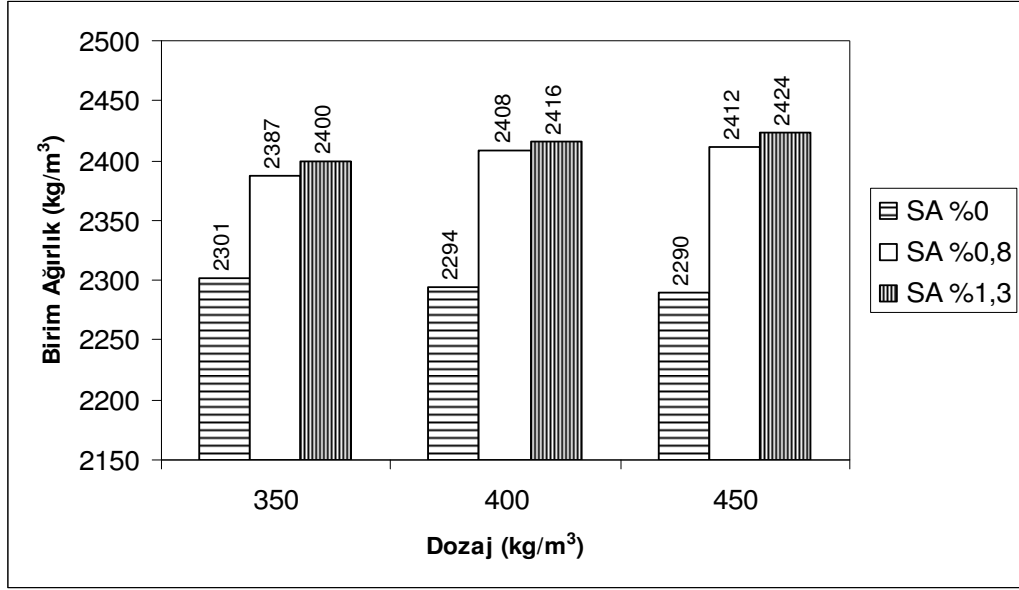
Şekil 5.1'e bakıldığında, her dozaj (350, 400, 450 kg/m³) kendi içerisinde değerlendirildiği zaman süper akışkanlaştırıcı miktarındaki artış ile betonun viskozitesi artmıştır. Aynı şekilde, dozaj artışı da viskoziteyi arttırmıştır. Aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen farklı dozajlardaki betonlara bakıldığında dozaj artışı ile viskozite artmıştır. Bunun sebebi artan dozaj ile sabit işlenebilirlikte su/çimento oranındaki azalma ve çimento dozajındaki artış ile karışım içerisindeki katı taneler arasındaki sürtünme katsayısının artması şeklinde yorumlanabilir.

Şekil 5.2'ye bakıldığında genel olarak su/çimento oranındaki azalma viskoziteyi arttırmıştır. Betonların viskozite değerlerindeki artış kullanılan çimento dozajına ve su/çimento oranına bağlı olduğu görülmüştür. Üretilen betonlarda süper akışkanlaştırıcının kullanım amacı sabit işlenebilirlikte su/çimento oranını azalmaktır. Su/çimento oranındaki azalma ve karışım içerisinde kullanılan çimento miktarındaki artış viskoziteyi arttırmıştır. Bunun sebebi su/çimento oranı düştüğü zaman veya çimento dozajı arttığında beton içerisindeki katı taneler arasındaki sürtünme kuvvetinin artması bu sonucun oluşmasına sebep olarak gösterilebilir.

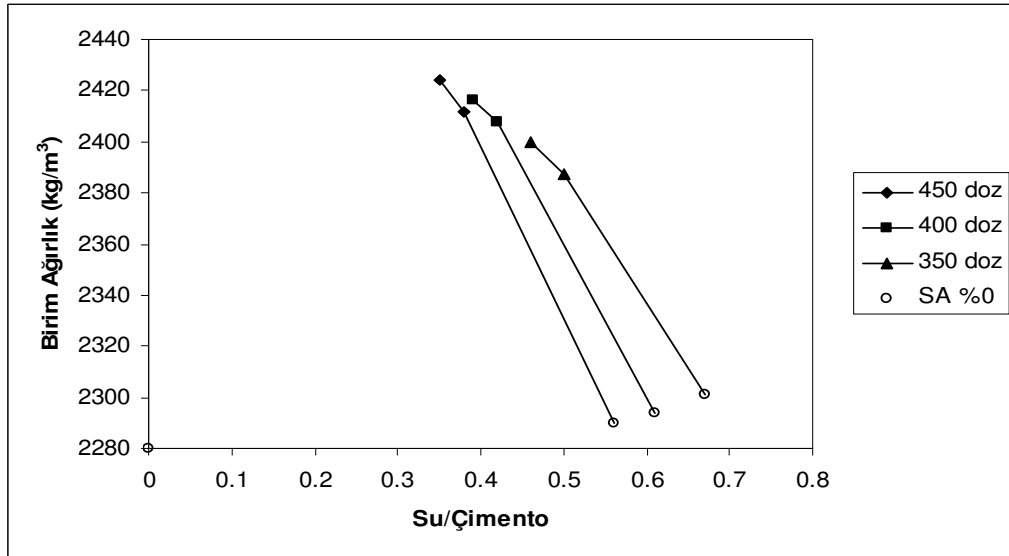
5.2 Taze Beton Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1 Taze birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Taze birim ağırlık deney sonuçları değerlendirilirken; Tablo 3.7’de verilen taze birim ağırlık değerlerinden ve bu değerlere göre çizilen Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’ten faydalanılmıştır.



Şekil 5.3: Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki



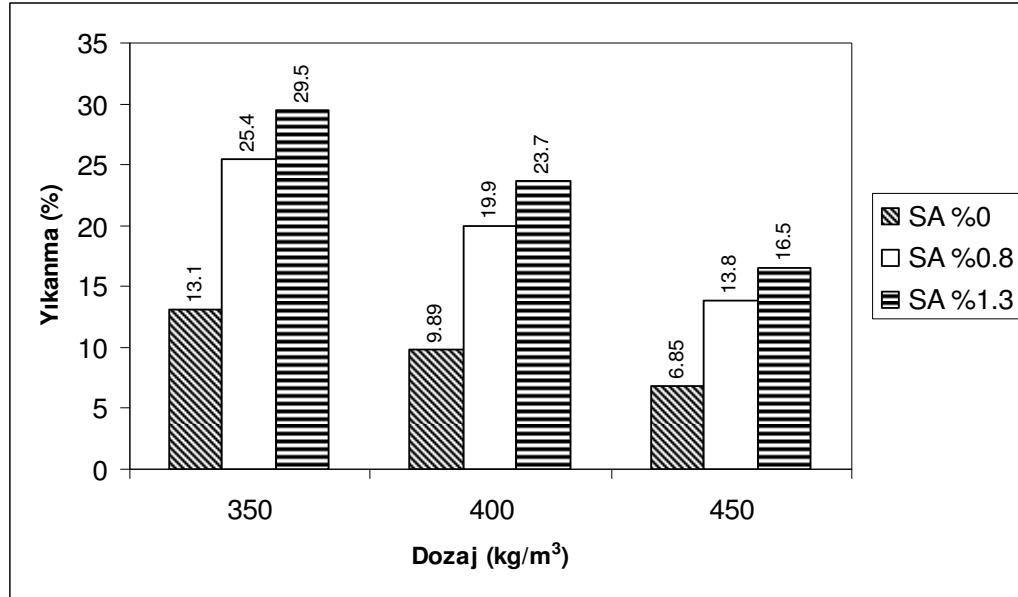
Şekil 5.4: Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki

Şekil 5.3 ve 5.4’de bakıldığında birim ağırlık değerlerinin su/çimento oranına ve çimento dozajına göre değişimi gözükmemektedir. Katkısız betonların (SA %0) taze birim ağırlıklarına bakıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde, süper akışkanlaştırıcı miktarının artışı ile birlikte betonun taze birim ağırlığında artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi artan süper akışkanlaştırıcı miktarı ile su/çimento oranının azalmasıdır. Su/çimento oranının azalması ile karışımdaki su miktarı azalıyor ve buna paralel olarak toplam agrega hacmi artıyor. Bundan dolayı betonun taze birim ağırlığında artış meydana gelmiştir.

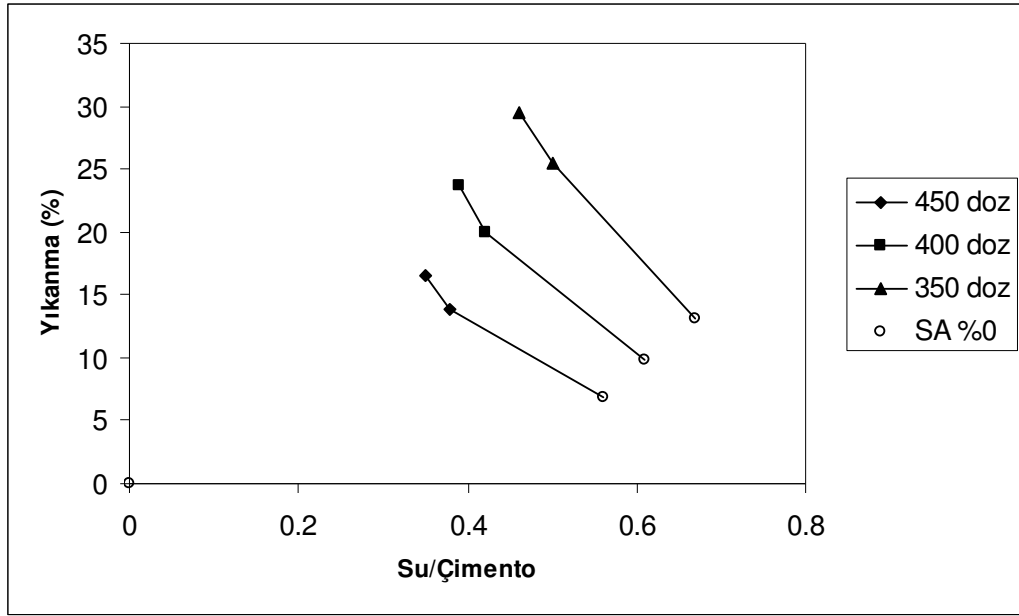
Şekil 5.4’e bakıldığında, katkısız betonlarda su/çimento oranının artışı ile birlikte betonun taze birim ağırlık değerlerinde çok az artışlar meydana gelmiştir. Aynı dozajda ise su/çimento oranının azalması ile betonun taze birim ağırlıklarında artış gözlenmiştir. Bununda sebebi yukarıda bahsettiğimiz gibi su/çimento oranının düşmesi ile karışım içerisindeki agrega miktarının artışı olarak yorumlanabilir.

5.2.2 Yıkanma kaybı deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Yıkanma kaybı deney sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.3’te verilen yıkanma kaybı değerlerinden ve bu değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’den faydalanılmıştır.



Şekil 5.5: Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ve yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.6: Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki

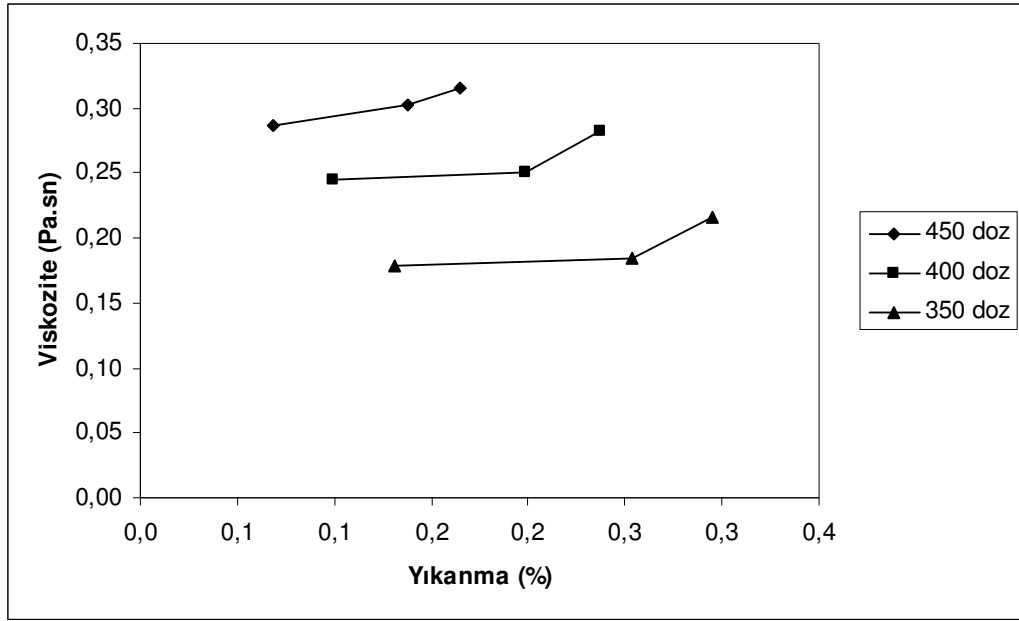
Yıkanma kaybı genel olarak basınç mukavemetini direk etkileyen bir etkidir. Bu deneyin yapılma amacı, taze betonun su içerisine dökümü esnasında meydana gelen çimento kaybının beton dayanımına etkisini görebilmektir.

Şekil 5.5'e bakıldığında farklı süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri kullanılarak üretilen betonlarda dozaja bağlı yıkanma kaybı değerleri görülmektedir.

Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde süper akışkanlaştırıcı yüdesi arttıkça yıkanma kaybı değerleri artmaktadır. Aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesi kullanılarak üretilen farklı dozajlardaki betonlara bakıldığında, dozaj arttıkça yıkanma kaybı değerleri azalmaktadır. Dozajın artması ile betonun viskozitesinde meydana gelen artış bu sonucun oluşmasına sebep olarak gösterilebilir.

Şekil 5.6'a bakıldığında su/çimento oranı ile yıkanma kaybı arasındaki ilişki görülmektedir.

Genel olarak, su/çimento oranı azaldıkça yıkanma kaybı değerleri artmıştır. Her bir dozaja ayrı ayrı bakıldığında dozaj artışı ile birlikte yıkanma kaybı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Yıkanma kaybı değerleri arasındaki en büyük fark 350 kg/m³ dozajlı üretilen betonlarda meydana gelmiştir. Bu dozajda kullanılan süper akışkanlaştırıcı yıkanma kaybı değerleri üzerinde daha büyük bir etki yaratmıştır. Bunun nedeni dozajın azalması ile meydana gelen viskozitedeki düşüş olabilir.



Şekil 5.7: Katkısız ve katkılı betonlarda yıkanma kaybı ile viskozite değerleri arasındaki ilişki

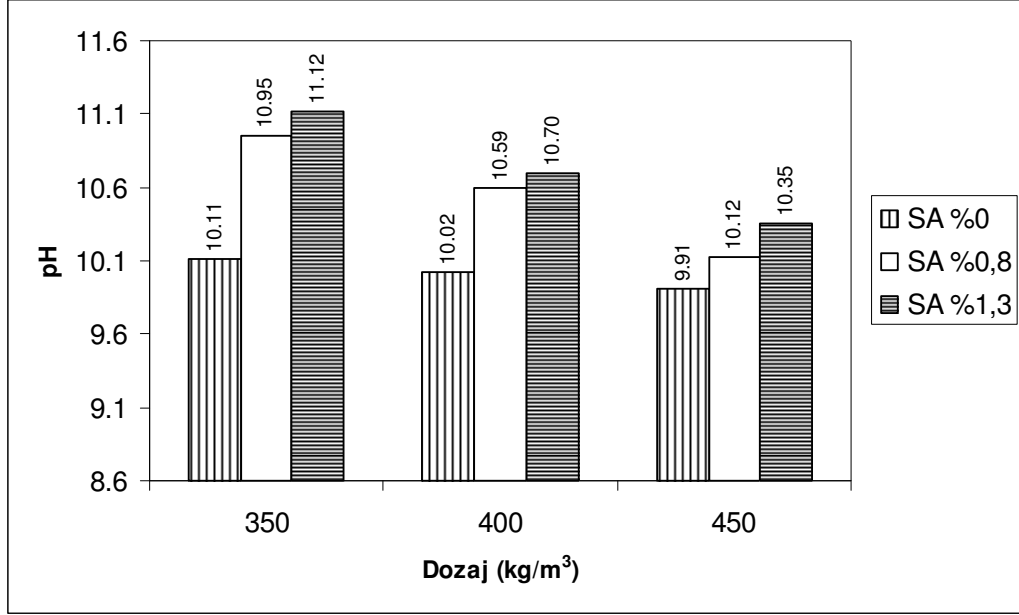
Şekil 5.7'ye bakıldığında farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen betonların yıkanma kaybı ile viskozite değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

Her bir dozaja kendi içerisinde baktığımızda viskozite değerlerinin artması ile birlikte yıkanma kaybı miktarları artmıştır. Bunun sebebi yıkanma kaybı deneyinin su içerisinde yapılıyor olması olabilir. Viskozimetre deneyinin yapımında su ile hiçbir bağlantı yoktur. Deney normal ortam şartlarında (havada) sadece taze harç numunesi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Yıkanma kaybı deneyinde ise taze beton numunesi su ile yıkanmaya maruz bırakılmaktadır. Yıkanma esnasında taze beton karışımının suyla teması ile karışım içerisinde bulunan süper akışkanlaştırıcı katkının etki mekanizmasındaki değişimle veya süper akışkanlaştırıcının, beton işlenebilirliği üzerindeki arttırıcı etkisinin yıkanma esnasında devam ettirmesi yıkanma kaybı değerlerini arttırmış olabilir.

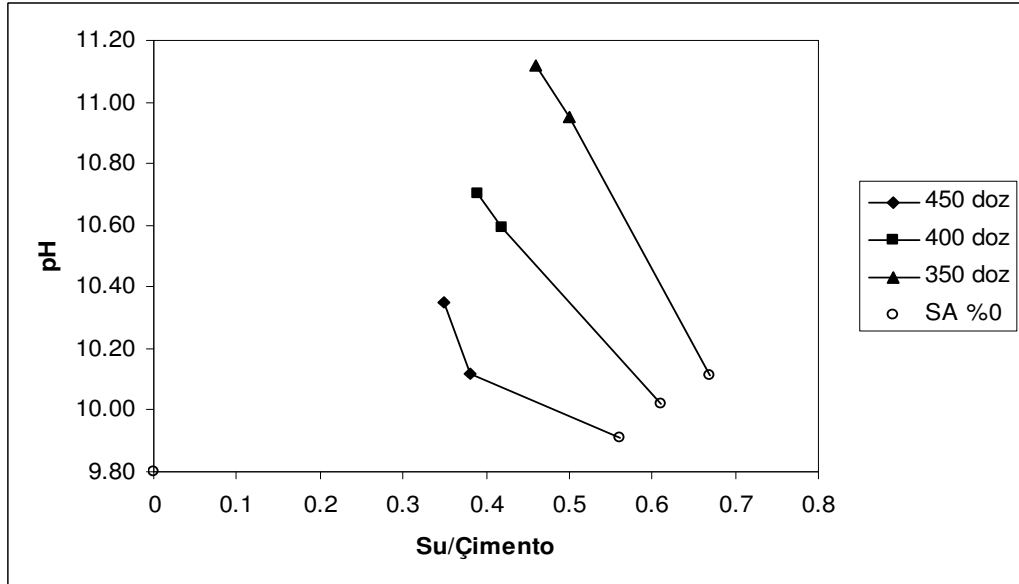
Aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen farklı dozajdaki betonlara bakıldığında dozaj artışı ile birlikte viskozite değerlerinde artış gözlenmiştir ve yıkanma kaybı değerlerinde azalma olmuştur. Bunun nedeni, karışım içerisinde kullanılan çimento dozajının artması olabilir.

5.2.3 pH deney sonuçlarının değerlendirilmesi

pH deney sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.4'te verilen pH değerlerinden ve bu değerlerden yararlanılarak çizilen çizilen Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'dan faydalanılmıştır.



Şekil 5.8: Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile pH değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.9: Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile pH değerleri arasındaki ilişki

pH deneyi genel olarak betonun su altında yerleştirilmesi esnasında çimento ve mineral katkı gibi ince taneli katı ögelerin yıkanması ile suyun pH değerindeki değişimi ölçmek ve ayrıca betonun sualtında dökümü ile oluşan pH değişiminin sualtı doğasını etkileme derecesini saptayabilmek için yapılır.

Şekil 5.8'e bakıldığında farklı süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri kullanılarak üretilen betonların dozaj ile pH değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

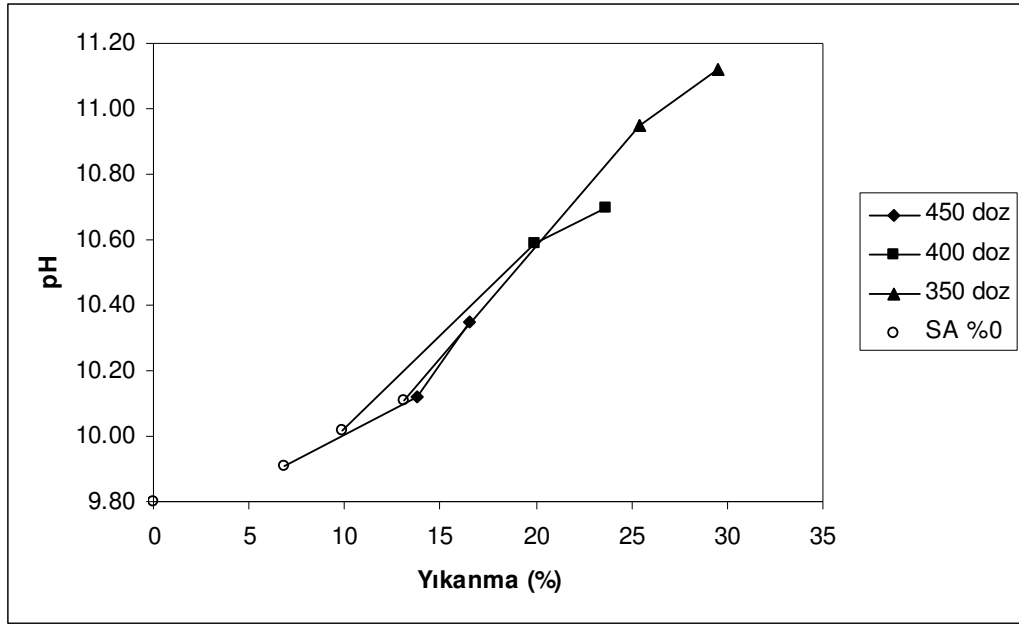
Her bir dozaj kendi içerisinde değerlendirildiğinde; süper akışkanlaştırıcı yüzdesi arttıkça pH değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni pH değerlerinin yıkanma kaybının artışı ile yükselmesi olarak yorumlanabilir.

Dozaj ile pH değerleri arasındaki ilişkiye genel olarak bakıldığında dozaj artışı ile pH değerleri azalmaktadır. Aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen farklı dozaja sahip betonlara bakıldığında da dozaj artışının pH değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Artan dozaj miktarının viskoziteyi artırarak yıkanma kaybı değerlerini azaltması ve yıkanma ile su içerisine geçen (OH⁻) iyonlarının konsantrasyonunun azalması bu sonucun oluşmasına sebep olarak gösterilebilir.

Şekil 5.9'a bakıldığında farklı dozajda ve süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen betonların su/çimento oranı ile pH değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

350, 400 ve 450 kg/m³ dozajlı betonlara kendi içerisinde bakıldığında su/çimento oranı azaldıkça pH değerleri artmaktadır ve en büyük pH değişimleri 350 dozlu olarak üretilen betonlarda görülmüştür. Bu sonuç, artan süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin betonun yıkanma kaybı değerlerini artırması ve artan yıkanma kaybı ile pH değerlerinin yükselmesi şeklinde yorumlanabilir.

Dozaj artışı ile pH değişimine bakıldığında aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesine sahip betonların dozajlarındaki artış ile pH değerleri azalmaktadır. Bunun nedeni sabit süper akışkanlaştırıcı yüzdesinde, dozaj artışının betonun viskozitesini artırması ve bunun sonucunda yıkanma kaybı değerlerinin azalması bu sonucun sebebi olarak gösterilebilir.



Şekil 5.10: Katkısız ve katkılı betonlarda pH ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki

Şekil 5.10'a bakıldığında farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonların yıkanma kaybı değerleri ile pH değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

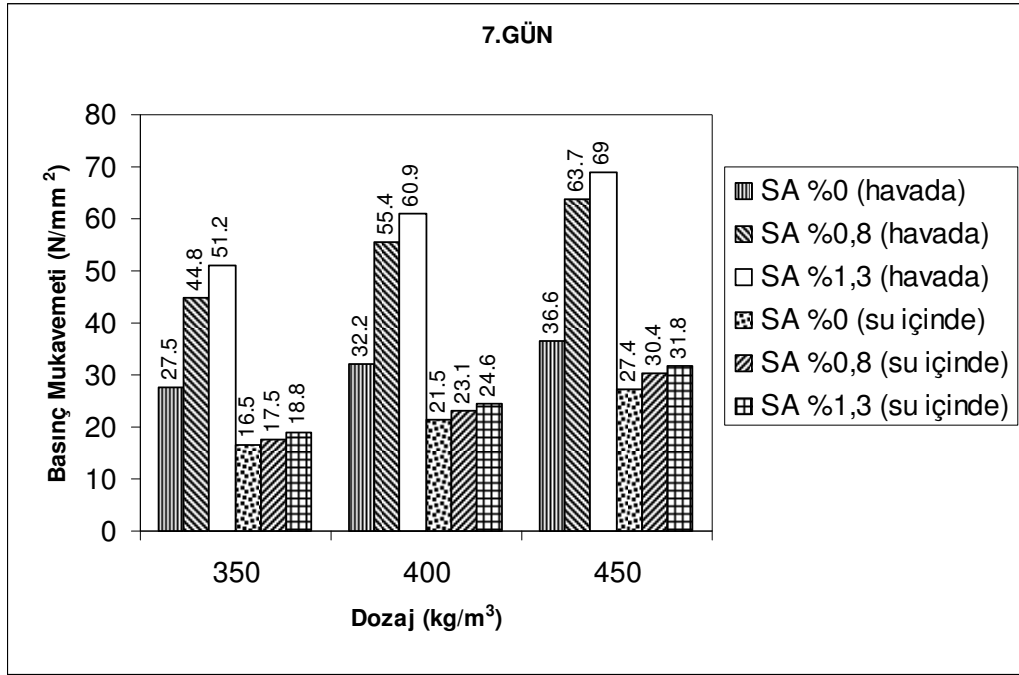
pH ve yıkanma kaybı değerlerine genel olarak bakıldığında yıkanma kaybı değerlerinin artması ile pH değerleri artmıştır. Yıkanma kaybı deneyinin yapılması esnasında çimentonun yıkanması ile su içerisindeki hidroksil (OH^-) iyonlarının konsantrasyonunun artması bu sonucun oluşmasının sebebi olarak gösterilebilir.

5.3 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

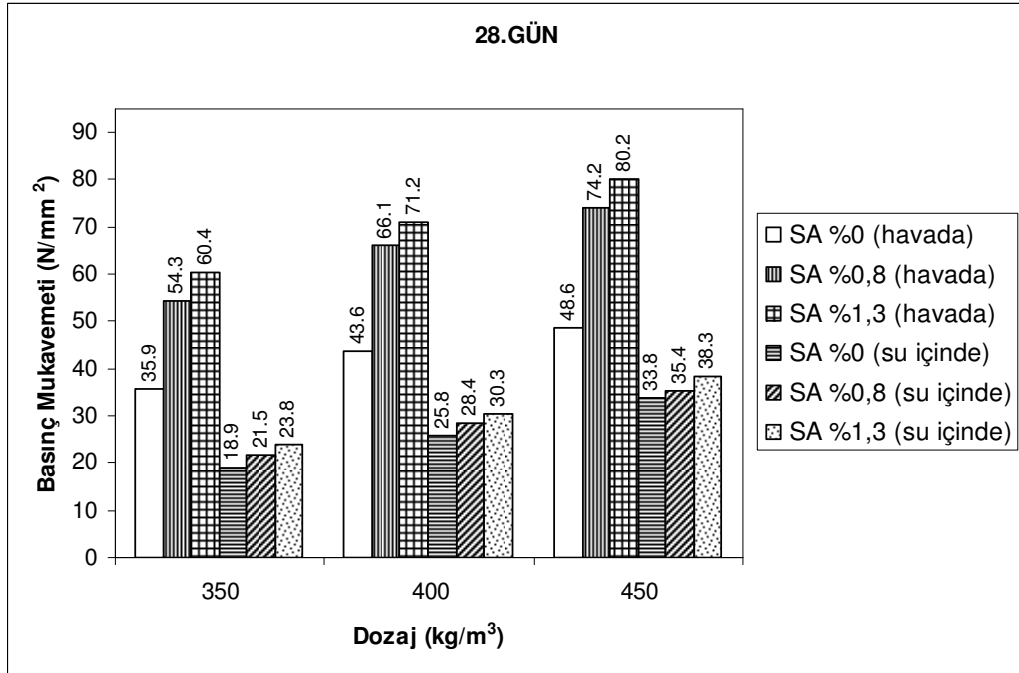
Sertleşmiş beton deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Bölüm 4'te verilen tablolardan ve bu tablolardaki değerlerden yararlanılarak çizilen grafiklerden faydalanılmıştır.

5.3.1 Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilen 7 ve 28 günlük havada ve su içerisinde alınmış numunelerin basınç mukavemeti değerlerinden ve bu değerlere göre çizilen Şekil 5.10'dan Şekil 5.15'e kadar olan şekillerden yararlanılmıştır.



Şekil 5.11: Katkısız ve katkılı betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozajları ile 7 günlük basınç mukavemetleri arasındaki ilişki



Şekil 5.12: Katkısız ve katkılı betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozajları ile 28 günlük basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'ye bakıldığında farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozaj değişimleri ile 7. ve 28. gündeki basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

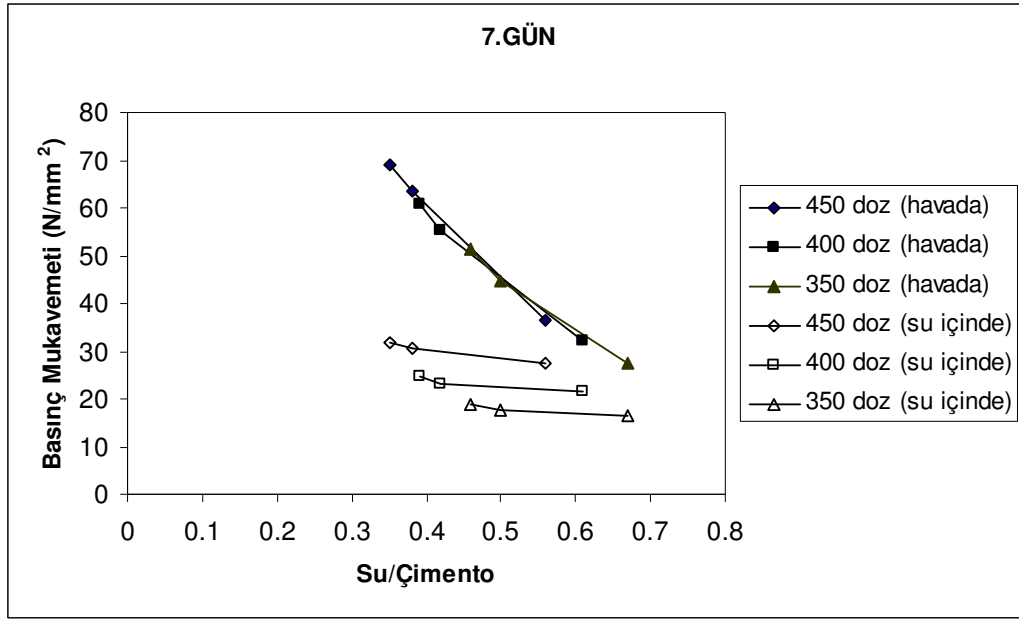
Katkısız betonlara bakıldığında dozaj artışı ile birlikte basınç dayanımlarında artış oluşmuştur. Bunun nedeni olarak sabit işlenebilirlikte dozaj artışı ile su/çimento oranının azalması gösterilebilir.

Her bir dozaj kendi içerisinde değerlendirildiğinde süper akışkanlaştırıcı yüzdesindeki artış ile basınç dayanım değerleri artmıştır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcının su/çimento oranını düşürmesi bu sonucun ortaya çıkmasına neden olarak gösterilebilir.

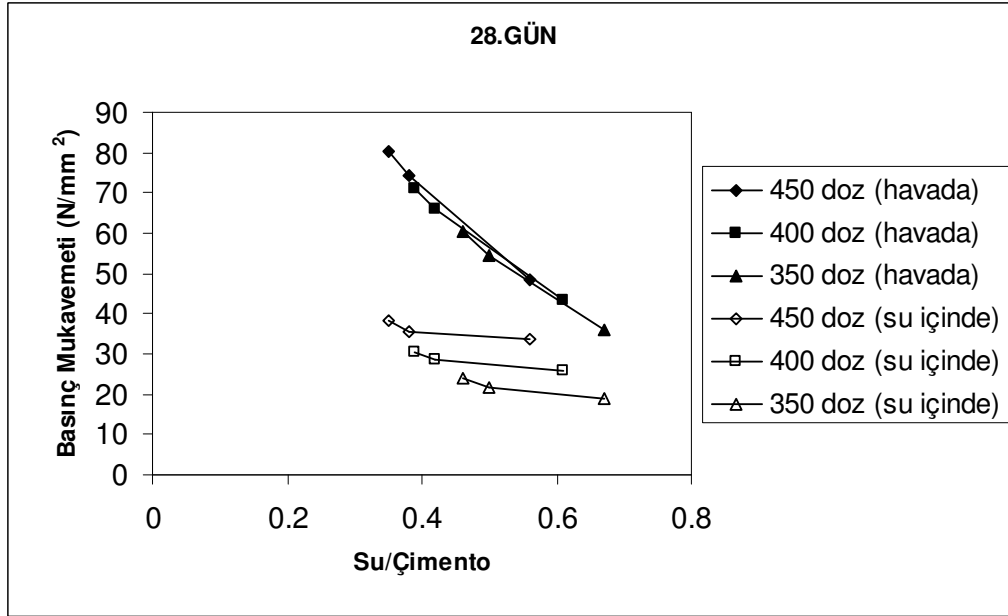
Katkılı ve katkısız betonların havada ve su içerisinde alınan numunelerinin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında, havada alınan numunelerin basınç dayanım değerleri su içerisinde alınanlara göre yüksek çıkmıştır. Su içerisinde numune alırken çimentonun yıkanarak karışımdan ayrılması dayanım kayıplarının sebebi olarak gösterilebilir. Su içerisinde ve havada alınan numunelerin basınç dayanımları arasındaki oran dozaj artışı ile birlikte artmaktadır. Bu durum yıkanma kaybı miktarının dozaj artışıyla azalması şeklinde açıklanabilir. En büyük basınç dayanım kayıpları 350 kg/m^3 dozajlı betonlarda meydana gelmiştir. Yıkanma kaybının en fazla bu dozajda olması bu sonucu açıklayabilir.

Üretilen tüm serilerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında havada ve su içerisinde alınan numunelerin tümünde yaşla beraber basınç dayanımı değerlerinde artışlar meydana gelmiştir.

Katkısız betonlarda yaş ilerlemesi ile %30-32 civarında basınç dayanım artışları elde edilmiştir. Katkılı betonlarda ise bu oranın katkısız betonlarda elde edilen orandan biraz daha az olduğu saptanmıştır. Katkı kullanımının erken yaşlardaki dayanımı pozitif yönde etkilemesi bu durumun sebebi olabilir.



Şekil 5.13: Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 günlük basınç mukavemetleri arasındaki ilişki

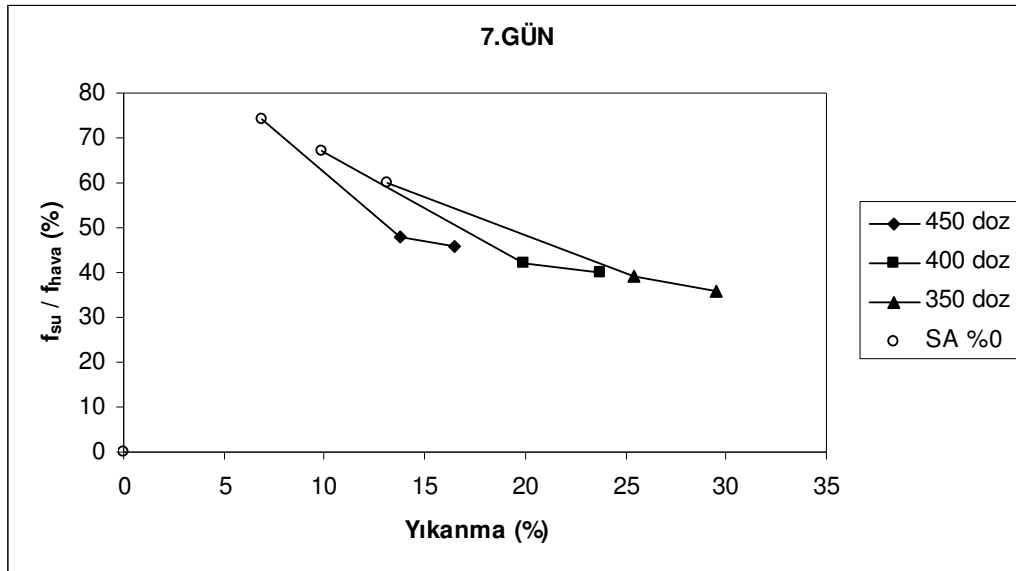


Şekil 5.14: Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 28 günlük basınç mukavemetleri arasındaki ilişki

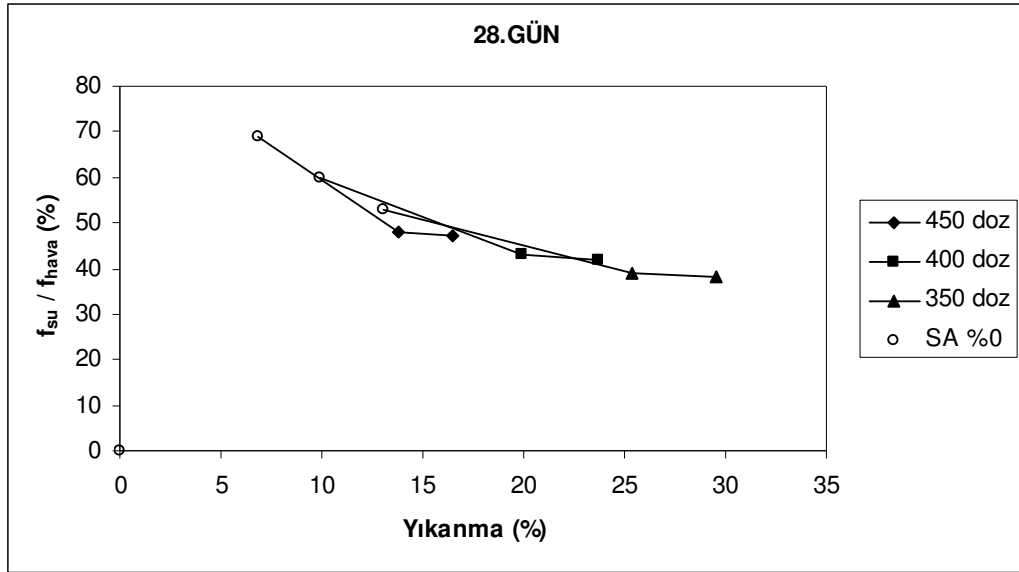
Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonlarda havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki gözükmemektedir.

Havada ve su içerisinde alınan numunelerin tümünde su/çimento oranının azalması ile basınç dayanım değerlerinde artışlar meydana gelmiştir. Havada ve su içerisinde alınan numuneler karşılaştırıldığında su içerisinde alınan numunelerin basınç dayanımları havada alınlarına göre daha az artmıştır. Numunenin su içerisinde alınırken çimentonun yıkanarak karışımdan ayrılması bu sonucun ortaya çıkmasına neden olduğu söylenebilir.

Tüm dozajlarda süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artmasıyla su/çimento oranları azalmıştır ve bunun sonucunda havada alınan numunelerin basınç dayanımlarında önemli artışlar olmuştur. Su içerisinde alınan numunelerde ise önemli artışlar gözlenmemiştir. Süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artması yıkanma kaybı değerlerini arttırdığından dolayı daha fazla çimento yıkanmıştır ve bu sonucun oluşmasına sebep olmuştur.



Şekil 5.15: Katkısız ve katkılı betonların su içerisinde alınan numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarının havada alınan numunelerinkine oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.16: Katkısız ve katkılı betonların su içerisinde alınan numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının havada alınan numunelerinkine oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’te farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile üretilen betonlardan su içerisinde alınan numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının havada alınan numunelerinkine oranı ile yıkanma kaybı değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilen dozaj ile basınç dayanım değerleri arasındaki ilişkide ve Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te verilen su/çimento oranı ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkide su içerisinde alınan numunelere bakıldığında süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artması ile basınç dayanımı değerleri artmıştır. Yıkanma kaybı deney sonuçlarının yorumlanmasında ise kullanılan süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artırılması yıkanma kaybı değerlerini arttırdığını söylemiştik. Bundan dolayı su içerisinde alınan numunelerde süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artması ile basınç dayanım değerlerinin düşmesi gerektiği anlaşılabılır. Yıkanma kaybının basınç dayanımı üzerindeki gerçek etkisini Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’e bakarak anlayabiliriz.

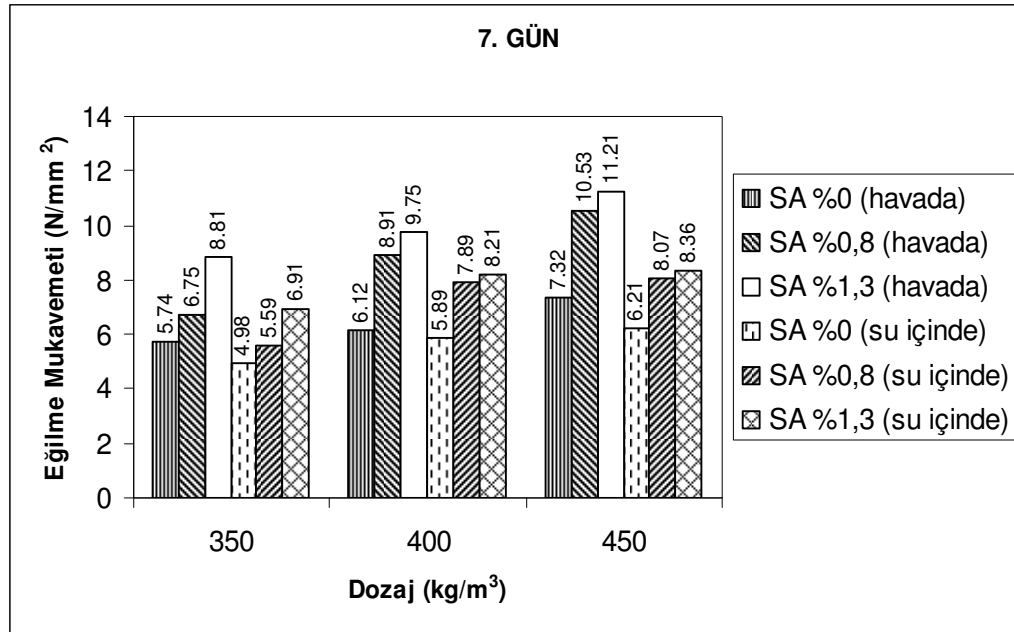
Tüm dozajlara genel olarak bakıldığında yıkanma kaybı miktarının artması ile basınç dayanım oranlarında azalmalar oluşmuştur. Katkısız betonlara baktığımızda dozaj artışı ile basınç dayanım oranlarını artmıştır. Dozajın artması ile yıkanma kaybı değerlerindeki azalma bu sonucun nedeni olarak gösterilebilir.

Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde yıkanma kaybı değerlerinin artışı ile basınç dayanım oranlarında azalmalar gözlenmiştir. Yıkanma kaybı miktarının artmasına sebep olarak aynı dozajda süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artırılması gösterilebilir.

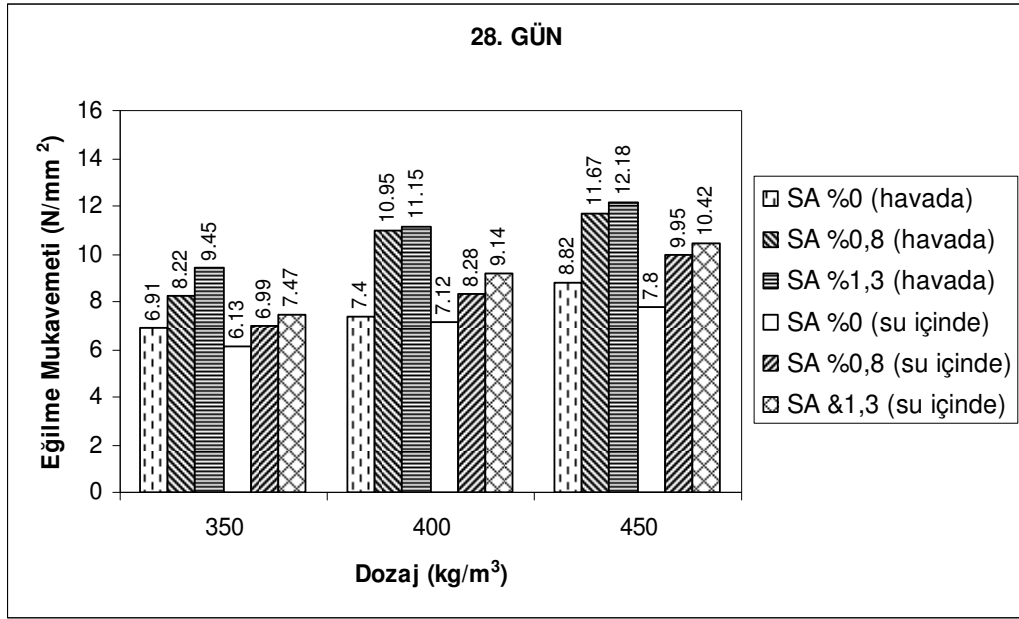
7 ve 28 günlük basınç dayanım oranlarına bakıldığında 28 günlük basınç dayanım oranlarının 7 günlük oranlardan biraz daha az sonuçlar vermiştir. Su içerisinde alınan numunelerin yaşla birlikte dayanım artışlarının havada alınan numunelere göre daha az olması bu sonucun ortaya çıkmasına neden olduğu söylenebilir.

5.3.2 Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Eğilme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilen 7 ve 28 günlük havada ve su içerisinde alınan numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinden ve bu değerlere göre çizilen Şekil 5.16’dan Şekil 5.19’a kadar olan şekillerden yararlanılmıştır.



Şekil 5.17: Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki



Şekil 5.18: Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 28 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki

Şekil 5.17 ve Şekil 5.18’de farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozajları ile 7 ve 28 günlük eğilme mukavemeti değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

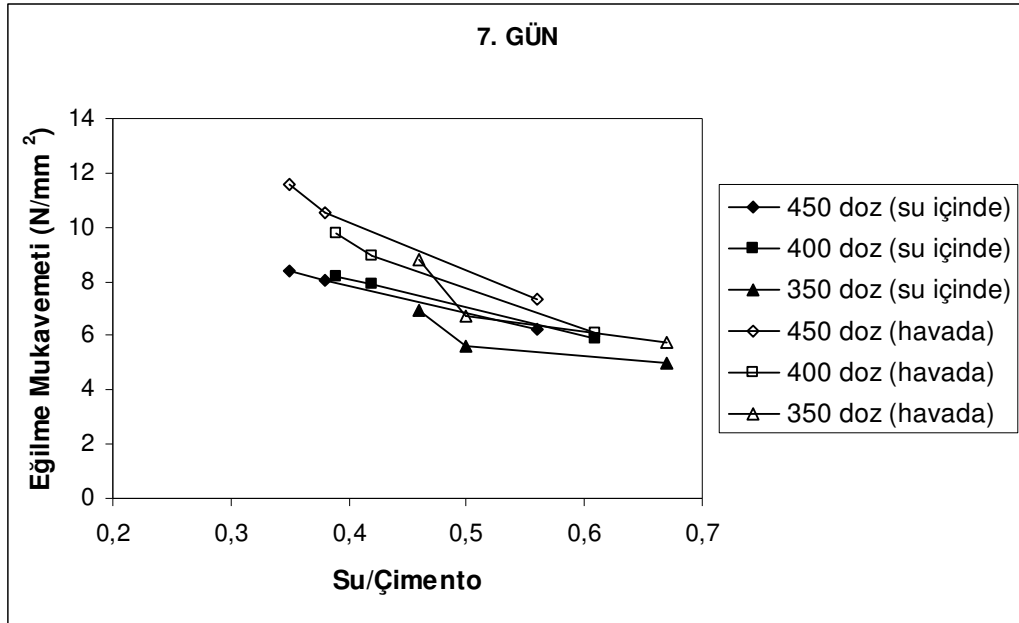
Tüm dozajlardaki katkısız betonlara bakıldığında dozaj artışı ile birlikte havada ve su içerisinde alınan numunelerin eğilme dayanımlarında artışlar görülmektedir. Sabit işlenebilirlikte dozaj arştı ile su/çimento oranının azalması bu sonucun sebebi olarak gösterilebilir.

Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artması ile havada ve su içerisinde alınan numunelerin eğilme dayanımlarında artış olmuştur. Artan süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin su/çimento oranını azaltması bu sonucun ortaya çıkmasına sebep olarak gösterilebilir.

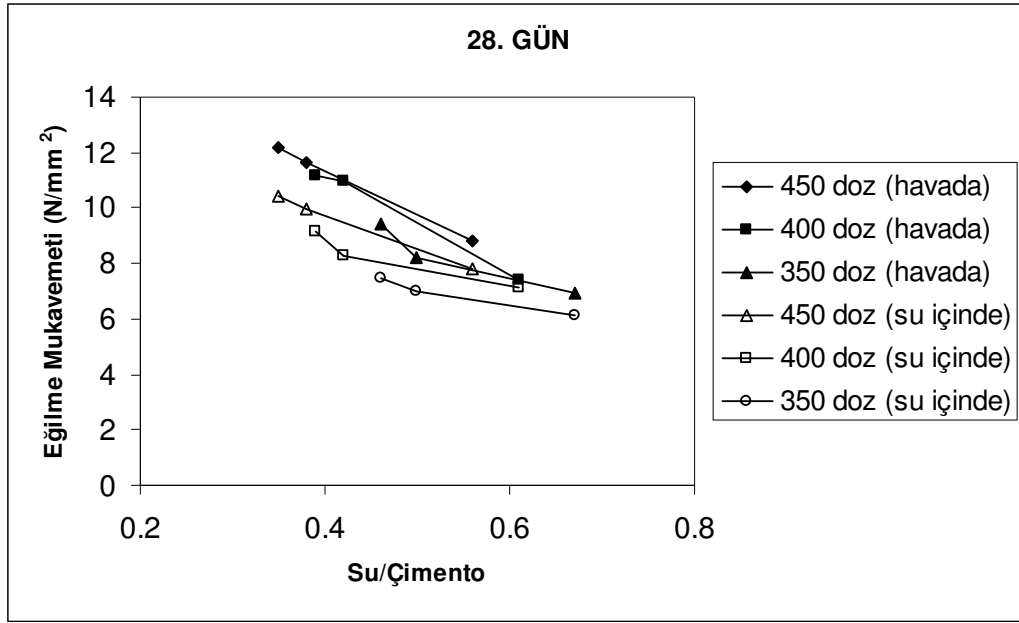
Tüm dozajlardaki katkılı ve katkısız betonların eğilme dayanımlarına bakıldığında havada alınan numunelerin eğilme dayanımları su içerisinde alınanlarınkine göre daha yüksek değerler vermiştir. Numunenin su içerisinde alınması esnasında çimentonun yıkanarak karışımdan ayrılması, su içerisinde alınan numunelerin daha düşük değerler vermesine sebep olarak gösterilebilir.

Üretilen tüm serin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında havada ve su içerisinde alınan numunelerin hepsinde yaşla beraber eğilme dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir.

Havada ve su içerisinde alınan numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında aralarındaki dayanım farklarının fazla olmadığı görülmüştür. Oysaki su içerisinde numune alırken çimentonun yıkanımı ile eğilme dayanımı değerlerinde önemli oranda azalmalar beklenmiştir. Su içerisinde alınan prizma numunenin her bölgesinde yıkanma kaybının eşit olmaması, eğilme mukavemeti deneyinde yüklemenin sadece numunenin orta noktasından gerçekleştirilmesi ve yükleme sonucunda oluşan kırılma hattının yıkanma deneyi sonucunda elde edilen değerleri tam anlamıyla taşımaması bu sonucun ortaya çıkmasına sebep olarak gösterilebilir.



Şekil 5.19: Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki



Şekil 5.20: Katkısız ve katkılı olarak üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 28 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki

Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’da farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin su/çimento oranları ile 7 ve 28 günlük eğilme mukavemetleri arasındaki ilişki görülmektedir.

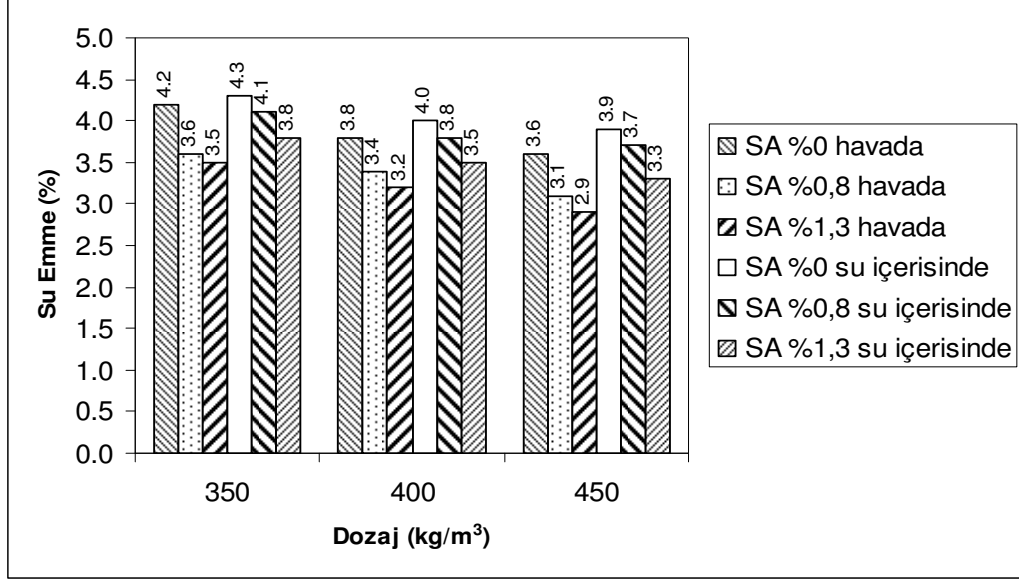
Havada ve su içerisinde alınan numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı değerlerine bakıldığında su/çimento oranının azalması ile eğilme dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir.

Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde su/çimento oranının azalması ile eğilme dayanımlarında artışlar gözlenmiştir. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artırılması ile su/çimento oranındaki azalma bu sonucun sebebi olarak gösterilebilir.

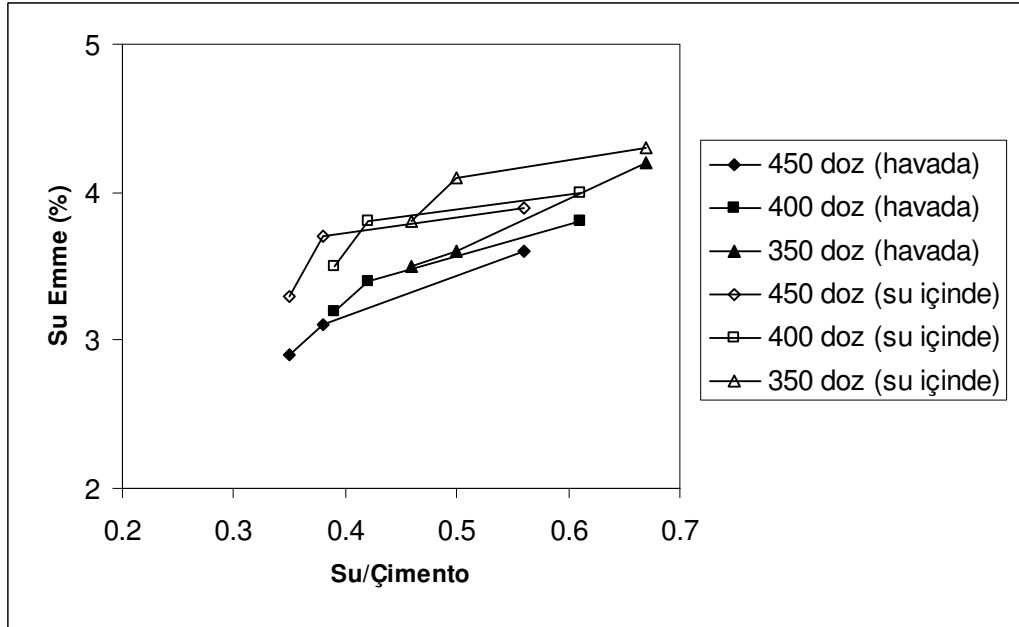
Havada ve su içerisinde alınan numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırıldığında havada alınan numunelerin eğilme dayanımları su içerisinde alınanlarınkine göre daha yüksek değerler vermiştir. Numunenin su içerisinde alınması esnasında çimentonun yıkanarak karışımdan ayrılması su içerisinde alınan numunelerin eğilme dayanımlarının havada alınanlara göre daha az sonuç vermesinin sebebi olarak gösterilebilir.

5.3.3 Su emme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Tablo 4.10'da verilen ağırlıkça su emme yüzdelerinden ve bu değerlerden yararlanılarak çizilen Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'den faydalanılmıştır.



Şekil 5.21: Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile ağırlıkça su emme yüzdeleri arasındaki ilişki



Şekil 5.22: Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile ağırlıkça su emme yüzdeleri arasındaki ilişki

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri ile dozaj ve su/çimento oranları arasındaki ilişki görülmektedir.

Şekil 5.21’e genel olarak bakıldığında dozaj artışı ile ağırlıkça su emme yüzdelерinde azalmalar meydana gelmiştir. Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artması ağırlıkça su emme yüzdelерini azalmıştır. Süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin artması sabit işlenebilirlikte su/çimento oranını azaltmakta ve bunun sonucunda sertleşmiş beton içerisindeki kapiler boşluklar azalmaktadır. Kapiler boşluklardaki azalma da betonun su emme yüzdesini düşürmektedir.

Havada ve su içerisinde alınan numunelerin ağırlıkça su emme yüzdeleri karşılaştırıldığında havada alınan numunelerin su emme yüzdeleri su içerisinde alınanlarınkine göre daha az çıkmıştır. Numunenin su içerisinde alınması esnasında çimentonun yıkanarak karışımда ayrılması ve bunun neticesinde betondaki boşlukların artması bu sonucun sebebi olarak gösterilebilir.

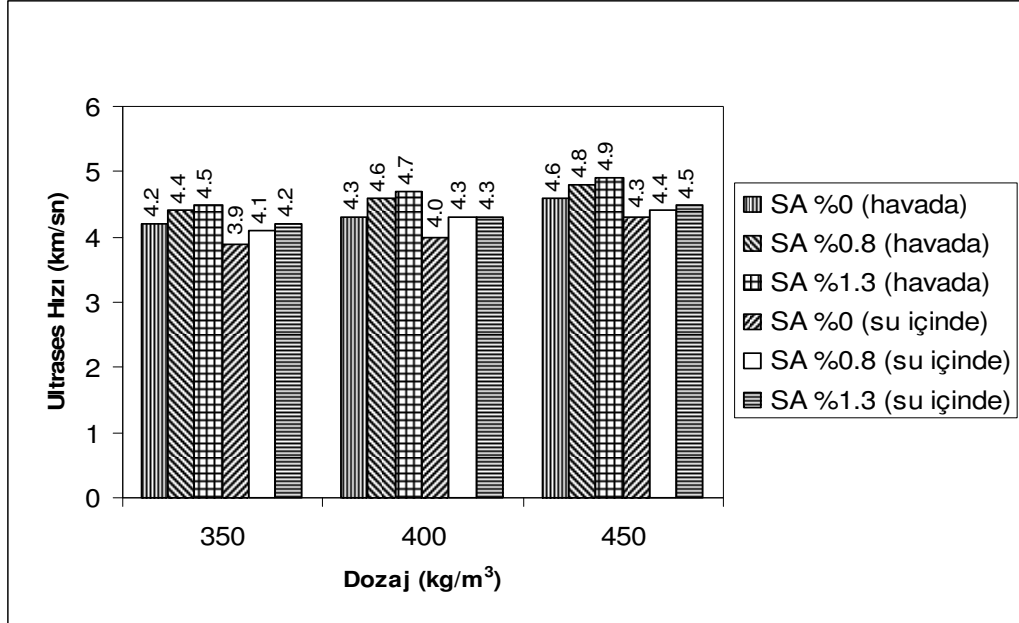
Şekil 5.22’ye bakıldığında, genel olarak su/çimento oranının artması ile ağırlıkça su emme yüzdelерinde artışlar oluşmuştur.

Her bir dozaja kendi içerisinde baktığımızda, süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin arttırılması ile meydana gelen su/çimento oranındaki azalmanın su emme miktarlarını düşürdüğü görülmektedir.

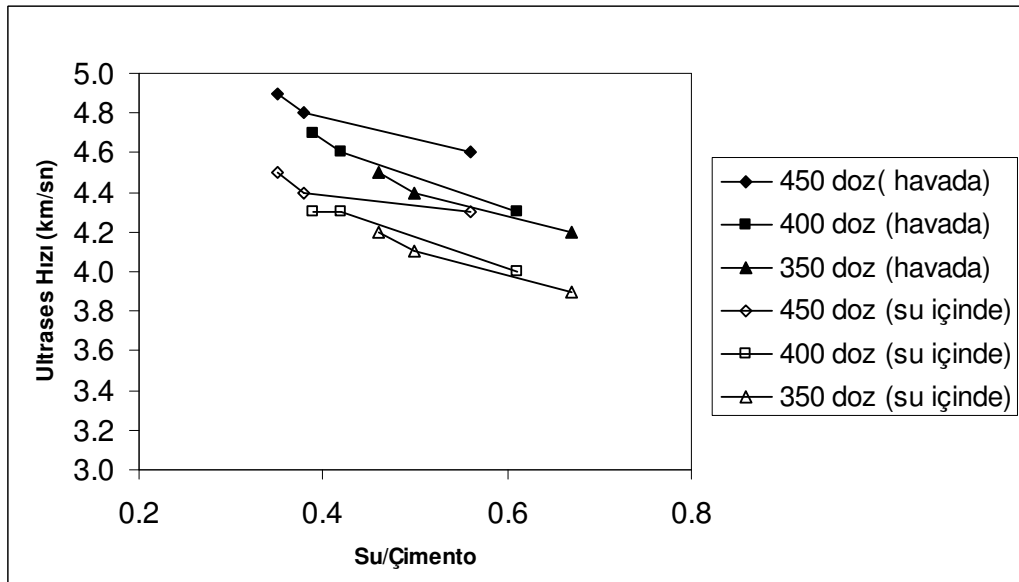
Süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin arttırılması ile yıkanma kaybı miktarları artmakta ve su/çimento oranı azalmaktadır. Su içerisinde alınan numunelerin su emme yüzdelерine bakıldığında artan süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile su emme değerlerinde az miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Süper akışkanlaştırıcı yüzdesinin arttırılması ile su/çimento oranında oluşan azalma artan yıkanma kaybı değerlerinden daha baskın çıkması bu sonucun ortaya çıkmasına neden olduğu söylenebilir.

5.3.4 Ultrases hızı deney sonuçlarının yorumlanması

Ultrases hızı deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde; Tablo 4.9’da verilen ultrases hızı değerlerinden ve bu değerlere göre çizilen Şekil 5.22 ve Şekil 5.23’ten faydalanılmıştır.



Şekil 5.23: Katkısız ve katkılı betonlarda dozaj ile ultrases hızı değerleri arasındaki ilişki



Şekil 5.24: Farklı SA yüzdeleri kullanılarak üretilen, farklı çimento dozajına sahip betonlarda su/çimento oranı ile ultrases hızları arasındaki ilişki

Şekil 5.23'e bakıldığında farklı süper akışkanlaştırıcı yüzdeleri ile üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin dozajları ile ultrases hızı değerleri arasındaki ilişki görülmektedir.

Dozaj ve ultrases hızı arasındaki ilişkiye genel olarak bakıldığında dozaj artışı ile ultrases hızlarında artışlar elde edilmiştir. Aynı süper akışkanlaştırıcı yüzdesiyle üretilen betonlarda dozaj artışının ultrases hızlarını arttırdığı saptanmıştır. Dozaj artışı ile sabit işlenebilirlikte su/çimento oranının azalması bu sonucun oluşmasına sebep olarak gösterilebilir.

Havada ve su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızları karşılaştırıldığında havada alınan numunelerin ultrases hızları su içerisinde alınanlara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Numunenin su içerisinde alınması esnasında çimentonun yıkanması ve bunun neticesinde betonun boşluk miktarının artması, su içerisinde alınan numunelerde ultrases hızlarının daha düşük değerler vermesine sebep olarak gösterilebilir.

Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde havada ve su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızları artan süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile artmıştır. Aynı dozajda havada alınan numunelerin ultrases hızları su içerisinde alınlarınkine göre daha yüksek değerler vermiştir.

Şekil 5.24'e bakıldığında, farklı dozaj ve süper akışkanlaştırıcı yüzdeleriyle üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızı değerleriyle su/çimento oranları arasındaki ilişki görülmektedir.

Her bir dozajı kendi içerisinde değerlendirdiğimizde; su/çimento oranının azalması ile havada ve su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızı değerlerinde artışlar meydana gelmiştir.

Havada ve su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızları karşılaştırıldığında, havada alınan numunelerin ultrases hızları su içerisinde alınanlarınkine göre daha yüksek çıkmıştır. Numunelerin su içerisinde alınması esnasında yıkanmanın etkisiyle boşluk miktarında oluşan artış su içerisinde alınan numunelerin daha düşük değerler vermesine sebep olarak gösterilebilir.

Aynı dozajda su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızı değerlerini karşılaştırdığımız zaman su/çimento oranının azalması ile ultrases hızlarında artışlar oluşmuştur. Süper akışkanlaştırıcı yüzdesindeki artış su/çimento oranını azaltıp

yıkanma kaybı değerlerini arttırmaktadır. Yıkanma kaybı değerlerinin artması ile ultrases hızı değerlerinde azalmaların oluşacağı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlarda ise su/çimento oranındaki azalmanın yıkanma kaybındaki artıştan daha baskın çıkmasıyla artan süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ile su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızlarındaki artışın sebebi olarak gösterilebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

2. Katkısız üretilen betonların tümünde sabit işlenebilirlikte dozaj artışı ile su/çimento oranında meydana gelen azalma neticesinde viskozite değerleri artmıştır.
3. Katkılı olarak üretilen betonlarda süper akışkanlaştırıcı katkı yüzdesinin artırılması sonucunda su/çimento oranındaki azalma ile viskozite değerlerinde artış sağlanmıştır.
4. Katkısız betonlarda su/çimento oranının azalması ile viskozite değerlerinde oluşan artış sonucunda yıkanma kaybı değerlerinde azalma elde edilmiştir.
5. Katkılı olarak üretilen betonlarda süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile su/çimento oranının azalıp viskozitenin artmasına rağmen ilginç olarak yıkanma kaybı değerleri artmıştır.
6. Katkısız olarak üretilen betonlarda dozaj artışı ile yıkanma kayıplarında meydana gelen azalma neticesinde pH değerleri düşmüştür.
7. Katkılı betonlarda süper akışkanlaştırıcı katkı yüzdesinin artırılması ile viskozite değerlerinde oluşan artışa rağmen yıkanma kayıplarının artması sonucunda pH değerleri artmıştır.

Elde edilen sonuçlar neticesinde yıkanma kaybı deneyi yapmadan sadece pH ölçümü ile betonun yıkanma miktarı hakkında bilgi edilebileceği saptanmıştır.

8. Süper akışkanlaştırıcı katkı içermeyen betonlarda dozaj artışı ile sabit işlenebilirlikte su/çimento oranının azalması neticesinde havada ve su içerisinde alınan numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında artış gözlenmiştir.
9. Katkılı betonlarda süper akışkanlaştırıcı katkı yüzdesinin artırılması ile su/çimento oranında meydana gelen azalma sonucunda havada ve su içerisinde alınan numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında artış meydana gelmiştir.

10. Havada ve su içerisinde alınan numunelerin basınç ve eğilme mukavemetleri karşılaştırıldığında numunenin su içerisinde alınması esnasında çimentonun yıkanması sonucunda su içerisinde alınan numunelerin basınç ve eğilme mukavemetleri havada alınanlara göre daha düşük çıkmıştır. Eğilme mukavemetinde bu duruma ek olarak su içerisinde alınan numunelerin eğilme mukavemeti değerleri havada alınanlarınkine yakın çıkmıştır. Eğilme mukavemeti deneyinde numunenin sadece orta noktasından yüklenmesi sonucu oluşan kırılma kesitinin numunenin bütünü için geçerli olan yıkanma kaybı değerlerini taşınamaması bu sonucun sebebi olarak gösterilebilir.
11. Üretilen tüm serilerden havada ve su içerisinde alınan numunelerde yaşla birlikte basınç ve eğilme mukavemetlerinde artış gözlenmiştir.
12. Havada ve su içerisinde alınan numunelerin basınç dayanım oranları (su içerisinde alınan numunenin basınç dayanımı/havada alınan numunenin basınç dayanımı) yıkanma kaybı miktarının artması ile azalmıştır.
13. Tüm serilerde havada ve su içerisinde alınan numunelerin su emme değerleri dozaj artışı ile su/çimento oranında meydana gelen azalma neticesinde düşmüştür.
14. Katkısız ve katkılı betonlardan su içerisinde alınan numunelerin su emme değerleri, numunenin su içerisinde alınması esnasında yıkanma nedeniyle boşluk miktarında meydana gelen artış neticesinde havada alınan numunelerin su emme değerlerinden daha yüksek değerler vermiştir.
15. Katkısız ve katkılı üretilen betonlardan havada ve su içerisinde alınan numunelerin tümünde su/çimento oranının düşmesi ile ultrases hızları artmıştır.
16. Üretilen tüm serilerde su içerisinde alınan numunelerin ultrases hızları numunenin su içerisinde alınması esnasında yıkanmanın etkisiyle havada alınan numunelerin ultrases hızlarından daha düşük değerler vermiştir.

Sonuç olarak; bu çalışmada çıkan sonuçlara göre, sualtı betonu üretiminde sadece süper akışkanlaştırıcı (yüksek oranda su azaltıcı katkı) katkı kullanılması sualtı betonunun özelliklerinin tümü üzerinde pozitif etki yaratmamıştır ve özellikle süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılması ile su/çimento oranının azalıp viskozitenin artmasına rağmen yıkanma kaybı değerlerinin yükselmesi bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçtur.

Yıkanmayı önleyici katkı kullanmadan sadece süper akışkanlaştırıcı katkı ile sualtı betonu üretilecekse uygun beton parametreleri ve uygun süper akışkanlaştırıcı dozajı ile sualtı betonu için önemli olan yıkanma kaybı ve işlenebilirlik arasında uygun bir denge sağlanabilir.

6.2 İleriki Çalışmalar İçin Öneriler

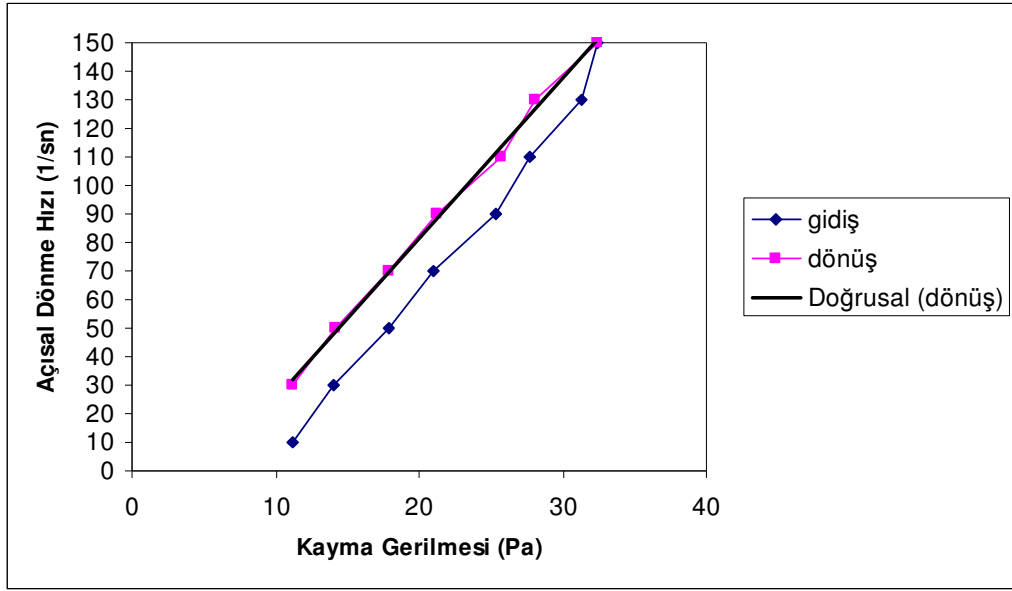
1. Sabit bir yıkanmayı önleyici katkı dozajı ile farklı tür ve dozajlarda süper akışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla süper akışkanlaştırıcıların sualtı betonunun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkisinin incelenmesi yararlı olacaktır.
2. Bağlayıcı malzeme olarak çimentoyla birlikte mineral katkıların da kullanılarak sualtı betonunun özelliklerine etkilerinin incelenmesi yararlı olacaktır.
3. Su içinde numune alırken küp yerine silindir kalıpların kullanılması daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla önerilir.

KAYNAKLAR

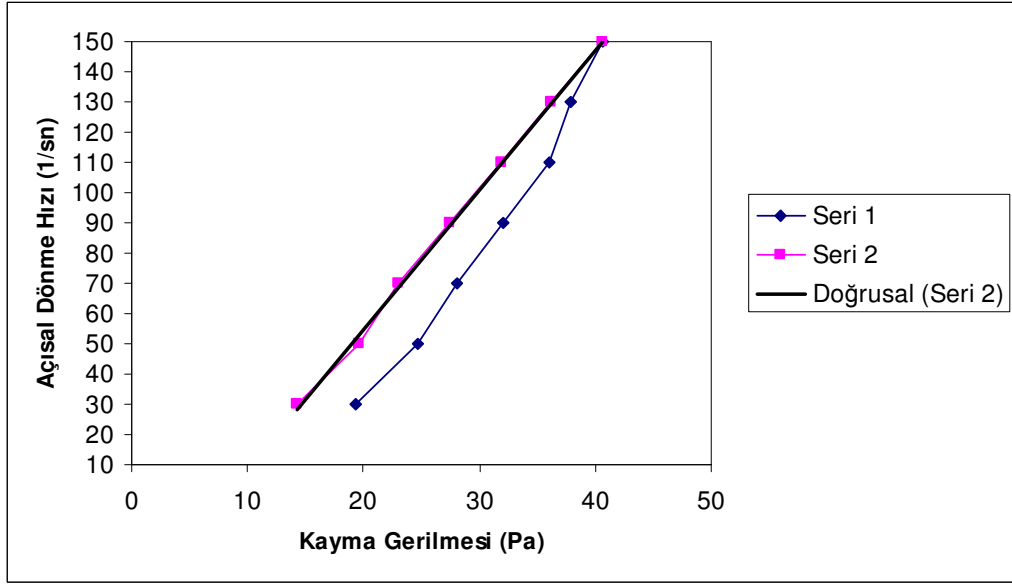
- [1] Yao X.S., Gerwick C. Jr, 2004. Underwater Concrete, part 1, Design Concepts and Practices, *Concrete International*, **26**, 79-83
- [2] Sonebi M., Khayat K.H., 2001. Effect of Mixture Composition on Relative Strength of Highly Flowable Underwater concrete, *ACI Materials Journal*, **98**, 233-239
- [3] Khayat K.H., Yahia A., 1997. Effect of Welam Gum-High Range Water Reducer Combinations on Rheology of Cement Grout, *ACI Materials Journal*, **94**, 365-372
- [4] Khayat K.H., Effect of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties, *ACI Materials Journal*, **92**, 164-171
- [5] Khayat K.H., Assaad J., 2003. Relationship between Washout Resistance and Rheological Properties of High-Performance Underwater Concrete, *ACI Materials Journal*, **100**, 185-193
- [6] Yao X.S., Gerwick C. Jr, 2004. Underwater Concrete, part 2, Proper Mixture Proportioning, *Concrete International*, **26**, 77-82
- [7] Sonebi M., 2001. Washout Resistance of High-Performance Underwater Concrete, *Concrete*, **35**, 32-34
- [8] Khayat K.H., Gerwick C. Jr, Hester W.T., 1993. Self-Leveling and Stiff Consolidated Concretes for Casting High-Performance Flat Slabs in Water, *Concrete International*, **15**, 36-43
- [9] Gerwick C. Jr, Placement of Tremie Concrete, *Concrete International*, **26**, 36-43
- [10] Sonebi M., Khayat K.H., 2003. Performance of Underwater Concrete, *Concrete*, **37**, 29-31
- [11] Akman S.M., Akman A.N., 2005. Sika Teknik Bülten, Sayı:1
- [12] Yao X.S., Gerwick C. Jr, 2004. Underwater Concrete, part 3, Construction issues, *Concrete International*, **26**, 60-64
- [13] Khayat K.M., 1998. Viscosity-Enhancing Admixture for Cement-Based Materials-An Overview, *Cement and Concrete Composites*, **20**, 171-188

- [14] **Nagataki S.**, 1995. Antiwashout Admixture for Underwater Concrete, RILEM Report No:10, Application of Admixture in Concrete, ed. A.M. Paill  re E&FN Span., 77-87
- [15] **Sonebi M.**, 2001. Factorial Design Modelling of Mix Proportion Parameters of Undewater Composite Cement Grouts, *Cement and Concrete Research*, **31**, 1553-1560
- [16] **Ramachandran V.S.**, 1994. Concrete Admixture Handbook, pp. 528-533, Noyes Publications
- [17] **Akman M.S.**, 2000. Sika Teknik Bülten, Sayı:1
- [18] **Akman M.S.**, 1987. Yapı Malzemeleri, s 98, İ.T.   İnşaat Fakültesi Ders Notları, İstanbul.
- [19] **Postacioğlu B.**, 1987. Beton, İ.T.   İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [20] **Doğan   .A.**, 2000. Yeni kuşak s  perakı  şkanla  tırıcıların harç ve beton özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.  . Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **  avdar Z., Sağlam A.R.**, 1998. Sika Teknik Bülten, Sayı:3
- [22] **Biagini S.**, 1995. High-range water reducers(superplasticizers), RILEM Report No:10, Application of Admixture in Concrete, ed. A.M. Paill  re E&FN Span., 48-56
- [23] **Uyan M., Yildırım H.**, 1991.Yüksek dayanımlı beton üretiminde s  perakı  şkanla  tırıcı beton katkı maddelerinin etkinli  i, *2.Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye.
- [24] **Kawakami M., Wada S., Suzukawa K.**, 1989. Effect of Chemical Admixture on Colloidal Underwater Concrete, *Ottawa Conference SP 119-26*, 493-516
- [25] **Khayat K.H., Yahia A.**, 2001. Experiment Design to Evaluate Interaction of High-Range-Water-Reducer and Antiwashout Admixture in High-Performance Cement Grout, *Cement and Concrete Research*, **31**, 749-757
- [26] **CS-MR-7.2**, 1991. Antiwashout Admixture for Underwater Concrete, *Remr technical note*.
- [27] **Ye  inobalı A., Ert  n T.**, 2005. Mineral Katkıları, *Türkiye   imento M  stahsilleri Birli  i*.

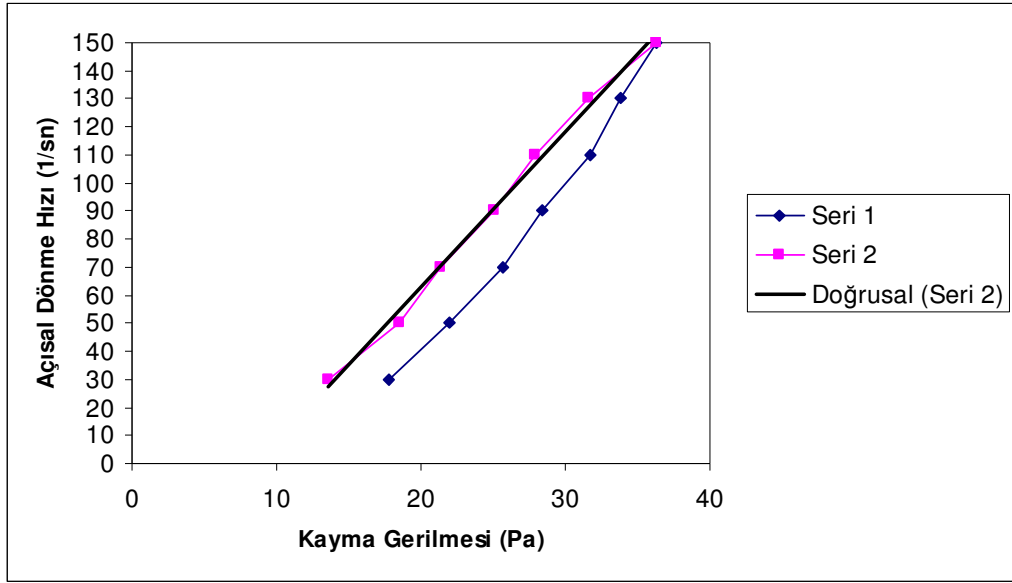
- [28] **Saucier K.L., Neely B.D.**, 1987. Antiwashout Admixtures in Underwater Concrete, *Concrete International*, **9**, 68-73
- [29] **TS 2717**, 1977. Harç Kumları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30] **TS 3529**, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [31] **TS 3526**, 1980. Beton Agregalarının Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [32] **TS 24**, 1985. Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deneyleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [33] **TS 19**, 1988. Portland Çimentoları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [34] **Yücel K.T.**, 1997. Pompa Betonlarında İşlenebilirliğin Harç Fazının Reolojisine Dayanarak Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] **CRD C61_89 A**, 1989. Test Method for Determining the Resistance of Freshly Mixed Concrete in Washing Out in Water, *Handbook for Concrete*, *US Army Experiment Station*, Vicksburg, Miss.



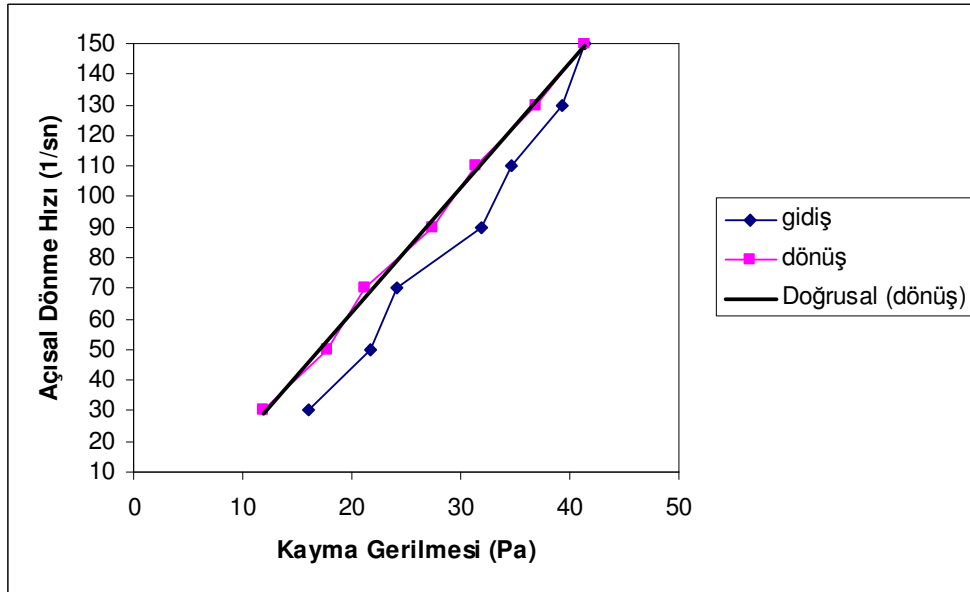
Şekil A.1: 350 dozlu katkısız betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



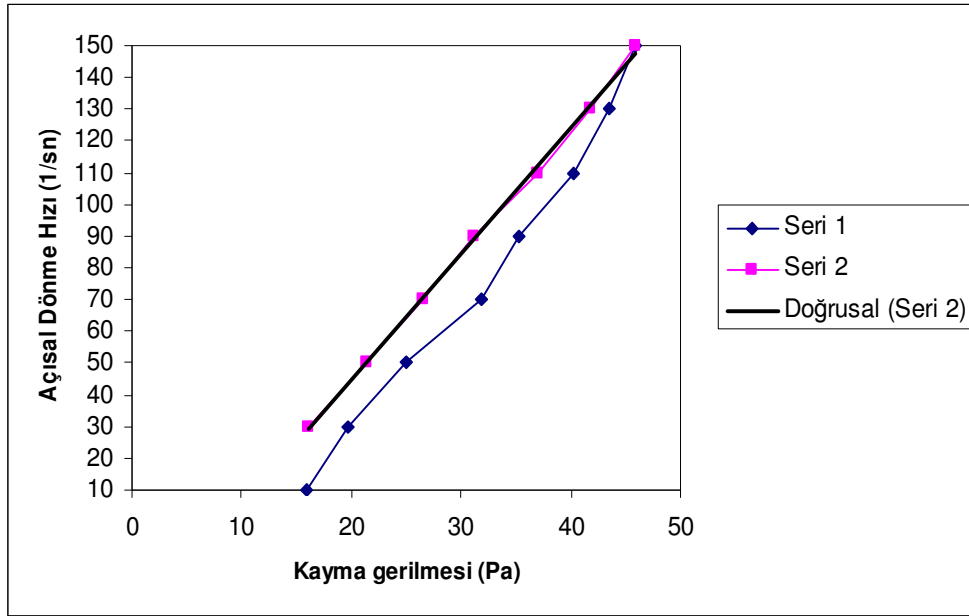
Şekil A.2: 350 dozlu %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısıl dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



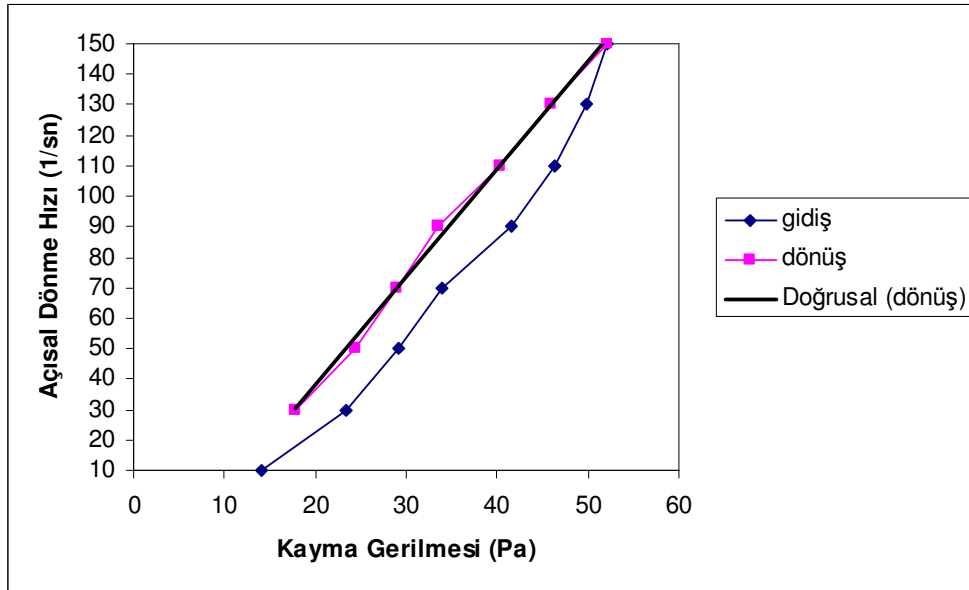
Şekil A.3: 350 dozlu %1,3 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



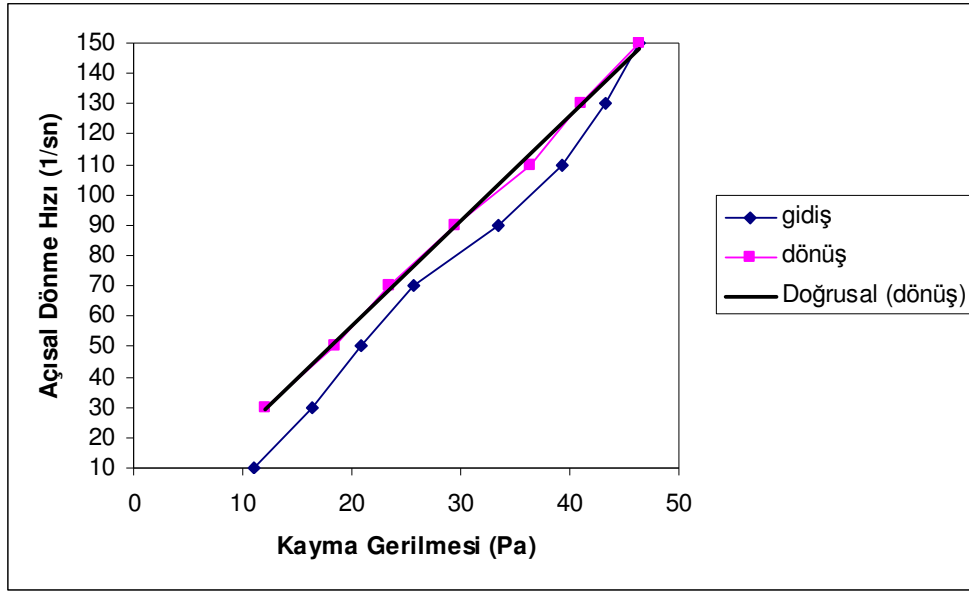
Şekil A.4: 400 dozlu katkısız betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



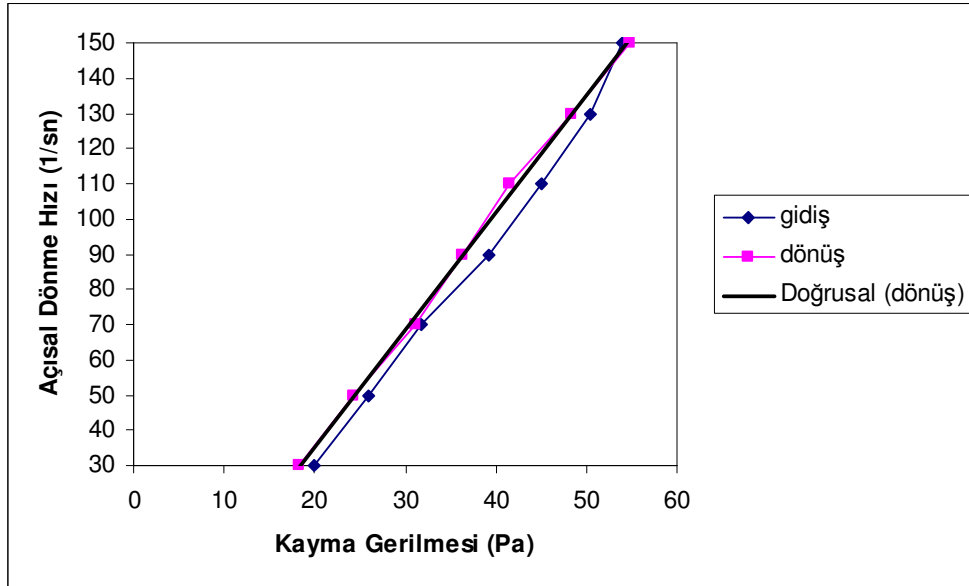
Şekil A.5: 400 dozlu %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açisal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



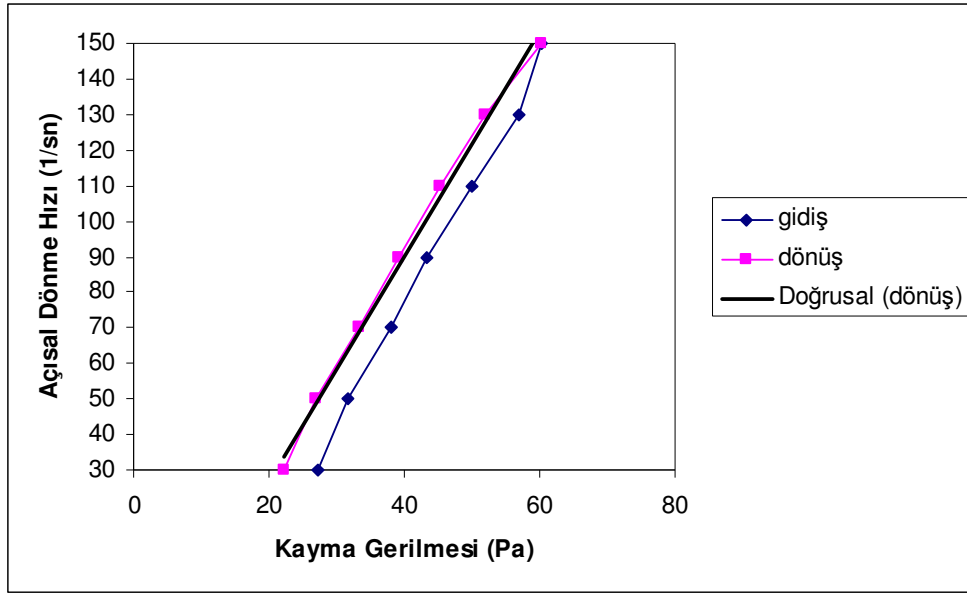
Şekil A.6: 400 dozlu %1,3 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açisal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



Şekil A.7: 450 dozlu katkısız betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



Şekil A.8: 450 dozlu %0,8 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki



Şekil A.9: 450 dozlu %1,3 süper akışkanlaştırıcı katkı içeren betonun kayma gerilmesi ile açısal dönme hızı değerleri arasındaki ilişki

ÖZGEÇMİŞ

10 Eylül 1982 yılında B.Almanya’da doğan Halil KIVANÇ, ilköğrenimini Tekirdağ Süleymanpaşa İlkokulu’nda, ortaöğrenimini Tekirdağ 50.Yıl Ortaokulu’nda, lise öğrenimini Tekirdağ Tuğlacılar Lisesi’nde tamamladı. 2000 yılında öğrenimine başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü bilim sınavını kazandı ve 2004 yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Kendisi halen Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’nda öğrenim görmektedir.