



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİKARBOKSİLAT ESASLI SU AZALTICI KATKININ ANYONİK
MONOMER DEĞİŞİMİNİN ÇİMENTO HAMURU VE HARÇ
KARIŞIMLARININ TAZE HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Mustafa BAYAR

Yrd. Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2017

TEZ ONAYI

Mustafa BAYAR tarafından hazırlanan "POLİKARBOKSİLAT ESASLI SU AZALTICI KATKININ ANYONİK MONOMER DEĞİŞİMİNİN ÇİMENTO HAMURU VE HARÇ KARIŞIMLARININ TAZE HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Mustafa Özgür YAYLI
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Mekanik Anabilim Dalı

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Altuğ Yavaş
Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

.../.../2017

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili esere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
 - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

01/10/2017

İmza

Mustafa BAYAR

ÖZET

Yüksek Lisans

POLİKARBOKSİLAT ESASLI SU AZALTICI KATKININ ANYONİK MONOMER DEĞİŞİMİNİN ÇİMENTO HAMURU VE HARÇ KARIŞIMLARININ TAZE HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mustafa BAYAR

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

Günümüzde farklı özelliklere sahip su azaltıcı katkılar üretilmektedir. Su azaltıcı katkı özellikleri çimentolu sistemlerin taze ve bazı sertleşmiş hal özelliklerini ciddi mertebede etkilemektedir. Çimentolu sistemlerin özelliklerini etkileyen, polikarboksilat-esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkılardan kaynaklanan başlıca faktörler, katkının kimyasal bileşimi, molekül ağırlığı, ana zincir uzunluğu, yan zincir uzunluğu ve molekülleri arasındaki bağ türü olarak sıralanabilir. Bu çalışmada, polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarının davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Ana zinciri aynı, ana zincire bağlanan anyonik monomerleri farklı üç adet polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu içeren anyonik monomerler, %10 mol oranında karboksilat esaslı anyonik monomeri ile yer değiştirilmiştir. Anyonik monomerler olarak, birinci katkıda sadece karboksilat, ikinci katkıda hem karboksilat hem sülfonat üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem de fosfat fonksiyonel grubu içeren monomerler kullanılmıştır. Tüm polimerlerin anyonik içeriği sabit tutulmuştur. Bağlayıcı olarak tek tip CEM I 42,5 R çimentosu kullanılarak çimento hamuru ve harç karışımları üretilmiştir. Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi ve mini-yayılma değerleri belirlenmiştir. Tüm harç karışımlarında su/çimento oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma değerleri sırasıyla 0,485, 2,75 ve 270 ± 20 mm olarak sabit tutulmuştur. Harç karışımlarının zamana bağlı akış değeri ve V-hunisi akış süresi değişimi incelenmiştir. Buna ilaveten, harç karışımlarının 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları da elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre su azaltıcı katkının karboksilat anyonik grubunun %10 mol oranında sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu ile yer değişimi hamur ve harç karışımlarının taze hal özelliklerini iyileştirmiştir. Söz konusu değişimin harç karışımlarının basınç dayanımına ciddi mertebede etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelime: Polikarboksilat-esaslı su azaltıcı katkı, hamur karışımı, harç karışımı, taze hal özellikleri

2017, viii + 34 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECT OF POLYCARBOXYLATE BASED WATER REDUCING ADMIXTURE ANIONIC MONOMER CHANGE ON THE FRESH STATE PROPERTIES OF CEMENT PASTE AND MORTAR MIXTURES

Mustafa BAYAR

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

Nowadays water reducing admixtures having different properties are manufactured. The properties of water reducing admixture seriously affect the fresh and some hardened properties of cementitious systems. The major factors affecting properties of cementitious systems arisen from the polycarboxylate-based high range water reducing admixture can be listed as chemical composition, molecular weight, length of the main chain, number and length of the side chain and bond type between the molecules. In this study, the effect of the anionic monomer change of the polycarboxylate-ether based water reducing admixture on the properties of cement paste and mortar mixtures was investigated. For this purpose, three different polycarboxylate ether-based high-range water reducing admixtures having same main chain but different anionic monomers bonded to the main chain were used. The sulfonate and phosphate functional group containing anionic monomers were replaced with carboxylate anionic groups by 10% molar percent. In the first admixture only carboxylate, in the second admixture both the carboxylate and sulfonate and in the third admixture, both the carboxylate and phosphate functional group containing monomers were used. The anionic content of all polymers was kept constant. The cement paste and mortar mixtures were prepared by using CEMI 42.5 R type cement as binder. Marsh-funnel flow times and mini-slump values of the paste mixtures were determined. Water/cement ratio, sand/binder ratio and flow values of all mortar mixtures were kept constant as 0.485, 2.75 and 270 ± 20 mm, respectively. The time-dependent flow and V-funnel flow times of the mortar mixtures were investigated. In addition, 1, 3, 7 and 28-day compressive strength of the mortar mixtures were obtained. According to the test results, fresh properties of the paste and mortar mixtures improved by replacing 10% of carboxylate based anionic monomers of water-reducing admixture with the ones with sulfonate and phosphate functional groups. It was found that the mentioned changes had not significant effect on the compressive strength of the mortar mixtures.

Key words: Polycarboxylate based water reducing admixture, paste mixture, mortar mixture, fresh state properties

2017, viii + 34 pages

TESEKKÜR

Tez çalışmalarının gelişmesinde ve hazırlamamda yol gösterici önerileriyle bilgi ve tecrübelerini aktararak her zaman desteğini aldığım tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ali Mardani Aghabaglou'na, İnşaat Mühendisliği bölüm başkanlığını yapan ve bir dönem iş hayatında beraber çalışma fırsatı bulduğum değerli hocamız Prof. Dr. Adem Doğangün'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarda kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Başta Yüksek İnşaat Mühendisi Gökhan Yılmaz, Yüksek Kimyager Tolga Kaptı ve Yüksek Kimyager Uğur Başak Öztürk olmak üzere Polisan Kimya AŞ'ye, çimento ve standart kum temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Ahmet Hilmi Aytaç olmak üzere Bursa Beton A.Ş' ye

Yapı malzemesi laboratuvarındaki çalışmalarımda her zaman desteklerini aldığım Arş. Gör. Süleyman Özen'e, Yüksek İnşaat Mühendisi Muhammet Gökhan Altun'a, İnşaat Mühendisi Ali Nematzadeh'e ve İnşaat Mühendisi Ece Geven'e

Son olarak bu sıkıntılı süreçte beni motive eden eşim Mesude Bayar ve oğlum Ömer Yiğit'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TESEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Betondaki Katkı Maddeleri.....	2
1.1.1. Beton Üretiminde Kullanılan Mineral Katkı Malzemeleri	2
1.1.2. Beton Üretiminde Kullanılan Kimyasal Katkılar.....	3
1.2. Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkılar.....	5
1.2.1. Süper Akışkanlaştırıcıların Kullanım Amaçları.....	5
1.2.2. Süper Akışkanlaştırıcıların Olumlu ve Olumsuz Etkileri	6
1.2.3. Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkıların Kimyasal Kökenleri Bakımından Sınıflandırılması	6
1.3. Polimer Sentezi ve Genel Kimya Bilgileri.....	7
1.4. Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcılar	8
1.5. Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması.....	9
1.5.1. Elektrostatik Etki.....	9
1.5.2 Stearik Etki.....	10
2. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Malzemeler.....	18

3.2. Karışımların Hazırlanması	20
3.3. Yöntem	21
3.3.1. Hamur karışımları deneyleri	21
3.3.2. Harç karışımları deneyleri.....	23
4. BULGULAR	24
4.1. Taze Hal Özellikleri	24
4.2. Basınç Dayanımı	28
5. SONUÇLAR	29
KAYNAKLAR	30
ÖZGEÇMİŞ	34

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
C ₂ S	Dikalsiyum Silikat
C ₃ A	Trikalsiyum Alüminat
C ₄ AF	Tetrakalsiyum Alumino Ferrit
CaO	Kalsiyum Oksit
Cl ⁻	Klorür
Fe ₂ O ₃	Demir III Oksit
K ₂ O	Potasyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na ₂ O	Sodyum Oksit
SO ₃	Kükürt Trioksit
SiO ₂	Silisyum Dioksit

Kısaltmalar

Açıklama

AA	Karboksilat Fonksiyonel Grubu İçeren Monomer
ASTM	American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
AMPS	Sülfonat Fonksiyonel Grubu İçeren Monomer
JPA	Fosfonat Fonksiyonel Grubu İçeren Monomer
MPa	Metrik Sistemin Basınç Birimi
MLS	Modifiye Lignosülfonatlar
PK	Poliakrilat ve Polikarboksilatlar
SNF	Sülfone Naftalin Formaldehit Kondensesi
SMF	Sülfone Melamin Formaldehit Kondensesi
SA-K	Karboksilat Fonksiyonel Grubu İçeren Monomer
SA-%10F	Karboksilat Fonksiyonel Grubu %10 Mol Oranında Fosfonat
SA-%10S	Karboksilat Fonksiyonel Grubu %10 Mol Oranında Sülfonat
TS EN	Türk Standartları, EN: Avrupa Normu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Polimerizasyon Zincir Çeşitleri.....	8
Şekil 1.2. Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi.....	10
Şekil 1.3. Katkıların stearik etkisi.....	10
Şekil 1.4. Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri.....	11
Şekil 4.1. Hamur karışımlarının akışkanlaştırıcı katkı dozajına bağlı olarak Marsh-hunisi akış süreleri.....	25
Şekil 4.2. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değişimi.....	26
Şekil 4.3. Harç karışımlarının zamana bağlı V hunisi akış süreleri.....	27
Şekil 4.4. Hamur karışımlarının katkı dozajı artışına bağlı ortalama Marsh-hunisi Akış süresi ve harç karışımlarının zamana bağlı ortalama V-Hunisi akış süreleri.....	27
Şekil 4.5. Harç karışımlarının basınç dayanımları.....	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 3.2. Standart kumun tane büyüklüğü dağılımı.....	19
Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan ürün bilgileri.....	20
Çizelge 3.4. Deneysel çalışmada verilen isimler.....	21
Çizelge 3.5. Harç karışımlarının üretiminde kullanılan kütlece malzeme oranları.....	21
Çizelge 4.1. Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi, Mini-Çökmesi ve Sıcaklık değerleri.....	25
Çizelge 4.2. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değerleri.....	26



1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe kullanılan en önemli malzemelerin başında beton gelmektedir. Betonarme yapıların esas malzemesi oluşturan betondur. Beton çimento, iri ve ince agreganın ve suyun belli oranlarda karıştırılması ile elde edilen ve gerektiğinde kimyasal veya mineral katkı karıştırılmasıyla yeni özellikler kazandırılabilen bir malzemedir. Diğer yapı malzemelerine kıyasla betonun yapılarda kullanılmasının tercih nedenleri arasında malzemelerinin ucuz, teminin kolay olması, bakım ve onarım maliyetlerinin diğer malzemelere oranla daha düşük olması, istenilen yerde istenilen formda imal edilebilmesi, dış ortamda atmosferik etkiler altında veya zararlı bir ortamda mekanik ve fiziksel performansın daha yüksek olması olarak gösterebilir. Betonun diğer yapı malzemelerine göre kullanımının daha yaygın olmasını sağlayan bazen kendi içerisinde yer alan doğal malzemeler ve doğası gereği olabilirken, bazen de üreticiler tarafından betona ilave katkı maddeleri katarak yeni özellikler kazandırabilmektedir.

Beton teknolojisinin gelişmesi ile beraber üretilen betonların kalitesi ve performansı artmaktadır. Yüksek performanslı beton üretiminde kimyasal katkının kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu sebeple beton karışımlarının hem taze hal, hem de sertleşmiş hal özelliklerini iyileştirmek amacıyla günümüzde araştırmacılar farklı farklı çalışmalar yürütmektedir. Beton üretici firmaları da daha üstün özelliğe sahip kullanılan çimentolarla daha uyumlu olan katkı üretmek için birbirleri ile yarışmaktadır.

İnşaat mühendisleri olarak kimyasal katkıların kullanımında betondan beklenen özelliklere bağlı olarak hangi ürün çeşidinin kullanılacağı ne oranda karışma karıştırılacağı ve ne zaman katılacağı bilinmesi gereken önemli konular arasındadır. Bazen kullanmış olduğumuz kimyasal katkıların faydalarının yanında taze beton ve sertleşmiş beton üzerinde olumsuz sonuçları da olabilmektedir. Bu durumda fayda ve zararlarını bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir.

Beton katkı maddeleri beton üretiminde karıştırma işlemi öncesinde veya karıştırma sırasında çok az miktarlarda ilave edilen organik veya inorganik kökenli maddelerdir (Topçu ve ark. 2004). Bilindiği gibi beton katkı maddeleri, mineral ve kimyasal katkı maddeleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kimyasal ve mineral katkıları beton karışımların taze hal ve reolojik özellikleri iyileştirmek, segragasyon ve kusmayı azaltmak, beton geçirgenliğini düşürmek, dayanım ve kalıcılık performansı gibi özellikleri iyileştirmek amacıyla beton karışımlarına eklenmektedir.

1.1. Betondaki Katkı Maddeleri

Betondaki katkı maddelerini ASTM C 125-16 (2016) “Standart terminology relating to concrete and aggregates” standardı, betonun doğal bileşenleri olan çimento, agrega ve su dışında kalan karıştırma öncesinde veya karıştırma esnasında beton karışımlarına ilave edilen kimyasal maddeler olarak tanımlanmaktadır. Bu maddeler organik ya da inorganik kökenlidir. Beton karışımlarında ağırlıkça toplam bağlayıcının %5'ini geçmeyecek oranlarda karışıma ilave edilen katkı maddeleridir. Genellikle sıvı halde olan bu maddeler kimyasal katkı maddeleri olarak adlandırılmaktadırlar. ASTM C219-14a (2014) “Standard terminology relating to hydraulic cement” standardına göre mineral katkıları çok ince öğütülerek bazen çimento ile sınırlı oranda karıştırılarak bazen de üretim sırasında betona belli oranlarda ilave edilerek kullanılan bağlayıcı özelliği olan maddelerdir. Katkı maddelerini betonda kullanılması taze ve sertleşmiş haldeki betonun bir ya da birden çok özelliğini iyileştirmek amacıyla uygulanmaktadır.

1.1.1. Beton Üretiminde Kullanılan Mineral Katkı Malzemeleri

Kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan bu katkı maddeleri ince öğütüldüklerinde bağlayıcılık değeri az olan malzemelerdir Mineral katkı maddeleri doğal ve yapay olmak üzere iki farklı türe ayrılmaktadır. Silis Dumanı (Silika Füme-Mikro Silika), termik santrallerin baca filtrelerinde tutulan uçucu küller, ince öğütülmüş yüksek fırın cürufu, metakaolin ve pirinç kabuğu gibi mineral katkıları yapay puzolanlara örnek verilebilir. Doğal puzolanlara ise, tras, volkanik cam, volkanik tüf olarak örnek verilebilir. Beton üretiminde mineral katkı kullanmanın faydaları ekonomi, beton özelliklerinin geliştirilmesi ve çevreyle ilgili olarak doğadaki atık malzemelerin kullanımını olarak kısaca açıklanabilir.

1.1.2. Beton Üretiminde Kullanılan Kimyasal Katkılar

Beton içerisinde kullanılan kimyasal katkıları betonun kullanılacağı yere uygun olarak üretilmektedir. Kullanılan kimyasal katkıları betondan beklenen karakteristik performans özelliklerini arttığından vazgeçilemez bir beton bileşeni olarak beton üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Kimyasal katkıları genel olarak beton karışımlarında ağırlıkça toplam bağlayıcının %5'ini geçmeyecek oranlarda karışıma ilave edilen katkı maddelerdir. Beton içerisinde kullanılan kimyasal katkıları'nın asıl (birincil) işlevlerinin yanında tali(ikincil) işlevleri olanları da bulunmaktadır. TS EN 934-2+A1 (2013) "Beton kimyasal katkıları" standardına göre çimentolu sistemler için kullanılan kimyasal katkıları uygulama amacına göre on iki farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

Su azaltıcı - akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları

Belirli bir beton birleşiminde kıvamı değıştirmeden su miktarının azalmasını sağlayan veya su miktarını değıştirmeden betondaki çökme ve yayılma değıerlerini artıran veya her iki etkiyi birlikte sağlayan kimyasal katkılarıdır.

Yüksek oranda su azaltıcı - süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları

Belirli bir beton birleşiminde kıvamı değıştirmeden su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değıştirmeden çökmeyi, yayılmayı yüksek oranda arttıran veya her iki etkiyi birlikte oluşturan kimyasal katkılarıdır.

Su tutucu kimyasal katkıları

Betondaki terlemeyi azaltarak su kaybını düşürülmesini sağlayan kimyasal katkıdır.

Hava sürükleyen kimyasal katkıları

Karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, düzgün dağılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı olan hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkılarıdır.

Prizi hızlandıran kimyasal katkılar

Karışımın plastik halden katı hale geçiş (prizin başlangıç süresi) süresini kısaltan kimyasal katkı.

Sertleşmeyi hızlandıran kimyasal katkılar

Priz süresini etkileyerek veya etkilemeksizin betonun erken dayanım kazanma hızını arttıran kimyasal katkı.

Prizi geciktiren kimyasal katkılar

Karışımın plastik halden katı hale geçiş (prizin başlangıç süresi) süresini uzatan kimyasal katkı.

Su geçirimsizlik sağlayan kimyasal katkıları

Sertleşmiş betonundaki kılcal su emmeyi azaltarak betonun geçirgenliğini düşüren kimyasal katkıları.

Priz geciktirici / su azaltıcı/ akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

Asıl işlevi su azaltıcı olan katkının tali işlevi priz geciktirici kimyasal katkının etkisini birlikte oluşturan katkıları.

Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı

Asıl işlevi yüksek oranda su azaltmasının yanında tali işlev olarak priz süresini geciktiren katkının işlevini birlikte oluşturan kimyasal katkıları.

Priz hızlandırıcı / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları

Asıl işlevi olan su azaltıcı etkisinin yanında priz hızlandırıcı katkının etkisini birlikte gösteren katkılarıdır.

Viskozite iyileştirici kimyasal katkılar

Kohezyonu iyileştirici etkisi ile ayrışma oluşumunun sınırlandırılması için betona katılan kimyasal katkılar (TS EN 934-2+A1 2013).

Bu çalışmada üzerinde çalışacak kimyasal katkı maddesi yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemelerinden polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkı ürünleridir.

1.2. Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkılar

Günümüzde süper akışkanlaştırıcı denilen katkılar sayesinde düşük su/çimento oranı ile istenilen işlenebilirlikte yüksek performanslı betonlar üretilebilmektedir. Süper akışkanlaştırıcıların kullanılması ile birlikte yüksek mukavemet değerleri, istenilen işlenebilirlik, daha geçirimsiz, daha ekonomik betonların üretilmesi mümkün olmuştur. Maliyetlerin düşmesi ile birlikte günümüzde yaygınlaşmaya başlamıştır. Azalan su miktarına bağlı olarak bu katkılar, akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcı olarak adlandırılmaktadır. Normal dozajlarda, akışkanlaştırıcılar karışım suyu miktarını %5-11 arasında, süper akışkanlaştırıcılar ise %12 ve üzerinde azaltabilmektedir (ASTM C 494/494M-15 2015).

1.2.1. Süper Akışkanlaştırıcıların Kullanım Amaçları

Süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanımı uygulamalarda aşağıdaki hedeflere yönelik yapılmaktadır:

- Katkısız beton ile aynı işlenebilirlikte olması şartı ile su/çimento oranını azaltılmasını sağlayarak betona daha yüksek mukavemet kazandırabilmek.
- Betonun ulaştırılmasının mümkün olmadığı yerlere sevk edilmesi, donatı aralığının sık olduğu yerlerde betonun kolay yerleşmesini sağlamak.
- Kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürebilmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilirliği kazandırmak. (Neville ve Brooks,1987; ACI Com. 212, 1989).

1.2.2. Süper Akışkanlaştırıcıların Olumlu ve Olumsuz Etkileri

Akışkanlaştırıcıların betona sağladığı olumlu etkiler;

- Sabit işlenebilirlikte su ihtiyacını %6,5'tan fazla azaltabilir
- Betondaki basınç dayanım artışını %10'dan fazla arttırabilir.
- Daha boşluksuz bir beton üretilmesini sağlayarak donma çözünmeye karşı dayanıklılığın artmasını sağlar.
- Daha geçirimsiz beton üretilmesini sağlar.
- Yüzey görünüşü düzelir (Rixom ve Mailvanagam 1986, Akman 1996).

Akışkanlaştırıcıların genel olarak betondaki olumsuz etkileri;

- Priz süresinde gecikme olabilir.
- Rötne oluşumlarını artırabilir.
- Çökme kaybı oluşturabilir.

Süper akışkanlaştırıcıların betondaki olumlu ve olumsuz etkileri normal akışkanlaştırıcılar ile benzer özellik göstermektedir. Ancak bu katkılar suyun yüzey gerilimini normal akışkanlaştırıcılara oranla daha az düşürdüklerinden aşırı miktarda hava sürüklemeler. Süper akışkanlaştırıcılar bu sebeple akışkanlaştırıcılardan daha fazla oranda beton karışımlarında kullanılabilirler (Uyan ve ark. 1996).

1.2.3. Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkıların Kimyasal Kökenleri Bakımından Sınıflandırılması

Süper akışkanlaştırıcı katkıları, kimyasal kökenlerine bağlı olarak dört ana sınıfa ayrılır.

1. Polinaftalin sülfonatlar (sülfone naftalin formaldehit kondensesi-SNF)
2. Polimelamin sülfonatlar (sülfone melamin formaldehit kondensesi-SMF)
3. Modifiye lignosülfonatlar (MLS)
4. Poliakrilat ve polikarboksilatlar (PK) (Aİtcin 2004).

Akışkanlaştırıcı katkıları kimyasal içeriklerine göre farklı oranda su azaltma etkileri oluşturabilmektedirler. Deneysel olarak azaltılacak su miktarını etkileyen faktörler; su/çimento oranı, katkının dozajı, ortamın sıcaklığı ve kullanılacak agrega gradasyonudur. Her akışkanlaştırıcı katkı tipi için uygun bir çalışma dozaj aralığı vardır.

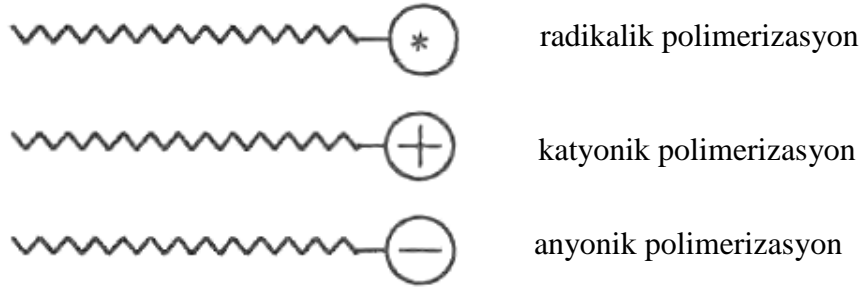
Kimyasal katkının bu aralık dışında kullanılması durumunda priz süresinde aşırı gecikme veya kısılma, erken mukavemetinde düşüş, kalıp alma süresinde artış, ayrışma gibi bazı olumsuz yan etkilerle karşılaşılabilir (Felekoğlu ve Baradan 2006).

1.3. Polimer Sentezi ve Genel Kimya Bilgileri

Monomerler; birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmak suretiyle büyük moleküller oluşturulabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelerdir. Polimer ise; çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbiri ile oluşturduğu iri molekülün adıdır. Bilindiği gibi polimerler doğal ve sentetik olmak üzere iki farklı gruba ayrılmaktadır. Doğal polimerler doğada var olan polimerlerdir. Doğal kauçuk, pamuk, ipek, yün, amyant gibi polimerler doğal polimerlere örnek gösterilebilir. Sentetik polimerler ise monomerlerin çeşitli metotlarla sentezlenerek üretilen polimerlerdir. Polietilen, polipropüen, poliesterler, poliamidler bir tür sentetik polimerdir.

Monomer molekülleri polimerizasyon tepkimeleri sonucu polimere dönüşür ve bu olaya polimerizasyon (polimerleşme) denir. Polimerlerin sentezinde kullanılan yöntemler; mekanizmaları göz önüne alınarak temelde basamaklı polimerizasyon (kondensasyon polimerizasyonu) ve katılma polimerizasyonu (zincir polimerizasyonu) adı altında ikiye ayrılır. Katılma polimerizasyonu ayrıca kendi içerisinde iki alt gruba ayrılmaktadır. Zincir büyümesini sağlayan aktif merkezler radikalik karakterde ise radikalik zincir polimerizasyonu, iyonik karakterde ise iyonik zincir polimerizasyonu tanımlamaları kullanılmaktadır. İyonik zincir polimerizasyonu, aktif merkezin karakterine bağlı olarak katyonik zincir polimerizasyonu ve anyonik zincir polimerizasyonu olarak iki ayrı başlık altında incelenmektedir. Katyonik polimerizasyon da zincir büyümesi katyonik merkezler, anyonik polimerizasyon da ise anyonik merkezler üzerinden sağlanmaktadır.

Monomer molekülleri bu aktif merkezlere art arda katılarak Şekil 1.1.'de gösterilen aktif polimer zincirlerine dönüşmektedirler.



Şekil 1.1. Polimerizasyon zincir çeşitleri (Saçak 1998)

1.4. Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcılar

Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcılar karbon bir ana zincirden ve bu zincire bağlanmış çok sayıda yan zincirlerden oluşabilmektedir. Sahip oldukları bu çok dallı yapıları sayesinde çok farklı ve çok sayıda ürün geliştirme imkânı sağlarlar. (Felekoğlu ve Tosun Felekoğlu, 2014). DLVO Teorisine göre, (pozitif ve negatif yüklü kutuplar arasındaki çekim ilişkisi) katkı ile çevrilmeden önce zıt yüklü çimento taneleri arasında van der Waals çekim kuvvetleri bulunmaktadır. Bu kuvvetler topaklaşmaya neden olmaktadır. Katkı ilave edildikten sonra çimento taneciklerinin yüzeyine tutunan, bağlanan katkı, çimento taneciklerinin yüzeyini negatif yükleyerek elektrostatik itki oluşmasına neden olmaktadır. Polikarboksilat esaslı katkılarda ise elektrostatik itkiye ilave olarak steirik itki kuvvetleri de oluşmaktadır. Bunlardan ilk ikisi tüm katkılarda oluşurken, polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcılarda ek olarak gözlenen steirik itkinin kaynağı polioksietilen yan zincirler olduğu açıklanmıştır (Yousaf ve ark. 2013). Çimentolu sistemlerin taze hal ve bazı sertleşmiş hal özelliklerini etkileyen parametrelerin bir kısmı kullanılan çimentodan, bir kısmı su azaltıcı katkıdan, diğer kısmı ise karışım oranı, sıcaklık ve bakım koşulları gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır (Ramachandran 1995, Bedard ve Mailvaganam 2005, Mardani-Aghabaglou 2016, Mardani-Aghabaglou 2017b). Çimento özelliklerinden kaynaklanan etkiler sırasıyla, çimentonun kimyasal kompozisyonu ve ana bileşenlerinin miktarı ile yapısı (C_3A ve C_4AF miktarı ve C_3A 'nın kristal yapısı), çimento inceliği ve alkali içeriği ile çimento üretimi esnasında klinkere eklenen kalsiyum sülfatın (alçının) miktarı ve türü ile ilişkili olabilmektedir (Roberts 1995, Ramachandran 2002, Mardani-Aghabaglou 2017a). Polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkıya bağlı etkenler içinde ana zincir uzunluğu, yan zincir sayısı ve uzunluğu, molekül ağırlığı, moleküller arası bağ yapısı, kimyasal

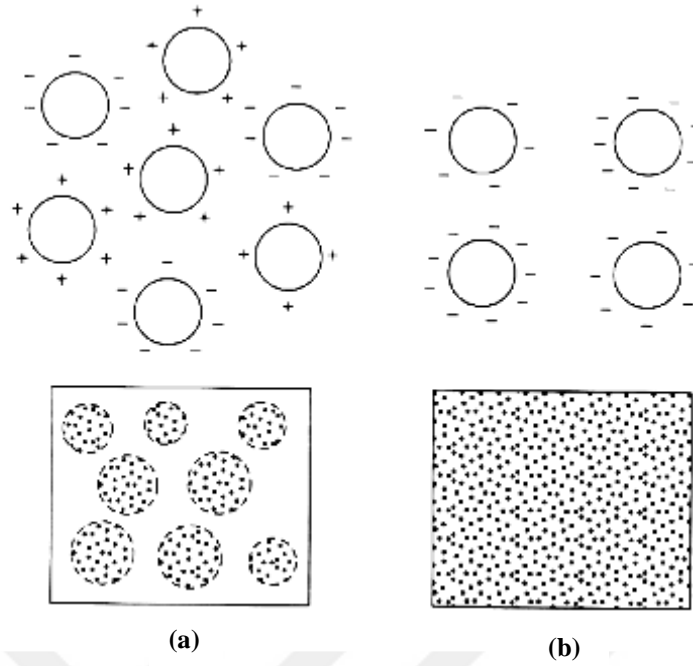
bileşimi, yoğunluğu, adsorpsiyon özelliği, beton karışımına katılış şekli ve sırası önem kazanmaktadır (Bonen ve Sarkar 1995, Flatt ve Houst 2001, Mardani-Aghabaglou ve ark. 2013, Mardani-Aghabaglou ve ark. 2016, Mardani-Aghabaglou ve ark. 2017a, b). Kimyasal yapısı ve içeriklerine göre kullanılan katkı miktarlarına bağlı olarak, polikarboksilat esaslı katkıların, betonun erken yaşlardaki dayanım kazanma hızını yavaşlatarak priz süresinin gecikmesinde etkilerinin olduğu bilinmektedir (Frunz vd., 2010).

1.5. Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması

Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı içeren çimentolu sistemlerde, çimento tanelerinin dağılma özeliğine etki eden iki mekanizma vardır. Bu etki mekanizmalarına elektrostatik etki ve stearik etki denilmektedir (Collepari 2005, Mardani-Aghabaglou 2016).

1.5.1. Elektrostatik Etki

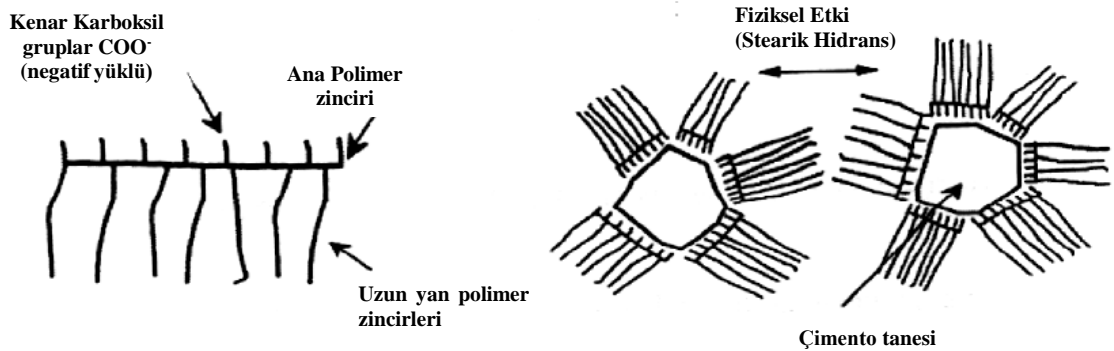
Süper akışkanlaştırıcı, çimento tanelerinin topaklaşmasını önler. Bu etkiyle çimento hamurunun akışkanlığının artmasına neden olur. Çimento tanelerinin topaklaşmasına neden olan çekim kuvvetleri, negatif yüklü SNF ve SMF gibi polimerlerin çimento tanesi üzerinde tutunması sonucu, nötr veya negatif yüklü hale gelmekte ve böylece dağıtma etkisi gerçekleşmektedir (Mindess ve ark. 2003, Collepari 2005). Katkının etkisiyle katı-sıvı ara yüzeyinde oluşan kuvvetler, karışımın kararlılığını etkiler. Askıdaki çimento tanesi benzer elektriksel yük taşır ve bunların arasında bir itme kuvveti oluşur. Bu elektriksel yükler yeterince fazla ise taneler birbirinden ayrı kalır ve topaklaşma oluşmaz. Şekil 1.2.'de su azaltıcı katkının çimento tanelerinin dağıtılmasında olan etkisi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi; a) Topaklaşmış hamur, b) Katkılı hamur (Mindess ve ark. 2003).

1.5.2 Stearik Etki

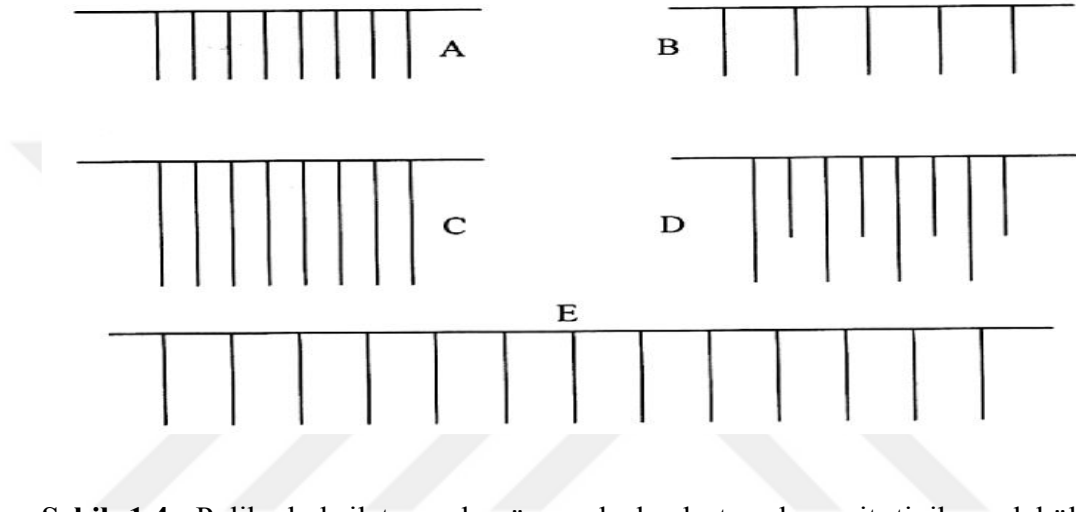
Polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkıların dağıtma etkisi elektrostatik itkiden çok, stearik (fiziksel-geometrisel) engelleme etkisi ile açıklanmaktadır. Şekil 1.3.'te görüldüğü gibi, çimento taneleri arasında fiziksel bir etki oluşturarak topraklaşmayı önleyen polimer moleküllerindeki yan zincirlerdir.



Şekil 1.3. Katkıların stearik etkisi (Collepari 2005).

Stearik itki, elektrostatik itkinin tersine, çimento kompozisyonundan kaynaklanan, boşluk çözültisindeki iyon tipi ve yoğunluğundan çok daha az etkilenmektedir.

Stearik itki oluşumunda rol oynayan etkenler ana zincir uzunluğu ana zincire bağlanan yan zincirler arasındaki mesafe ve yan zincirlerin uzunluğu stearik itki oluşumunda etkili olan parametrelerdir. Ana zincire bağlanan yan zincirlerin mesafe, yan zincir uzunluğu ve ana zincir uzunluğu Şekil 1.4.'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcılara ait tipik moleküler yapı çeşitleri; yan zincirler arasındaki mesafe farklılıkları (A-B), yan zincir uzunluğu farklılığı (C-D), ana zincir uzunluğu farklılığı (A, B, C, D-E) (Collepari 2005).

Bu çalışmada polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkı anyonik monomerinin değişiminin çimentolu sistemlerin taze hal ve basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ana zinciri aynı, ana zincire bağlanan anyonik monomerleri farklı üç adet polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Sentezlenen katkıların toplam anyonik monomeri sabit tutulmuştur. Sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu içeren anyonik monomerler, %10 mol oranında karboksilat esaslı monomerleri ile yer değiştirilmiştir. Anyonik monomerler olarak birinci katkıda sadece karboksilat, ikinci katkı hem karboksilat hem sülfonat, üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem fosfat grubu içeren monomerler kullanılmıştır.

2. KONUYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Günümüzde beton teknolojisinin gelişmesi ile beraber daha üstün beton karışımları üretilmektedir. Söz konusu üstün özelliğe sahip beton karışımlarının kimyasal katkı kullanılmadan üretilmesinin mümkün olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle kimyasal katkı konularıyla ilgili araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bilindiği gibi kullanılan kimyasal katkılar beton karışımında oluşturduğu olumlu etkilerin yanı sıra bazı olumsuzluklara da sebep olmaktadır. Söz konusu bu olumsuzlukların bazıları çimento kaynaklı, bazıları ise kimyasal katkı kaynaklı olmaktadır (Mardani-Aghabaglou 2016). Çimento-katkı etkileşimini etkileyen çimento kaynaklı parametreler; çimento inceliği, çimento C₃A oranı, çimento eşdeğer alkali oranı, çimento üretiminde klinkere eklenen alçı türü ve miktarı olarak sıralanabilir (Mardani-Aghabaglou A. 2017a). Kimyasal katkının yoğunluğu, molekül ağırlığı, katkının kimyasal yapısı, bağ türü ve katkının karışıma ilave sırası gibi parametreler çimento-katkı etkileşimini etkileyen katkı kaynaklı etkenlerdir (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2013, Mardani-Aghabaglou ve ark. 2017b). Bunların yanında ortam koşulları ve kullanılan diğer malzemelerin özellikleri çimentolu sistemlerin taze hal özelliklerini ciddi mertebede etkilemektedir (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2016). Bu tez çalışmasında su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarına etkisi incelenmiştir. Konuyla ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Benzer bir çalışmada portland çimentosunun akışkanlaştırıcı katkı performansına etkisi Dokuz Eylül Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir tez çalışmasında (Aytaç 2006) incelenmiştir. Bu amaçla Türkiye'nin çeşitli çimento fabrikalarından CEM I 42,5 R, SDÇ 32,5 (sülfata dayanıklı çimento) ve BPC 42,5 (beyaz portland çimentosu) olmak üzere toplamda on sekiz adet çimento ve farklı firmaların ticari ürünü olan dört adet naftalin esaslı akışkanlaştırıcı katkıda temin edilmiştir. Bu malzemeler kullanılarak farklı çimento hamuru ve harç karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan hamur karışımlarında zamana bağlı Marsh-hunisi ve mini çökme deneyleri yapılmıştır. Harç karışımlarında ise zamana bağlı yayılma değişimi basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Yazarlar karışımların başlangıç akışkanlık değerlerinin çimentonun C₃A/Na₂O_{eşdeğeri} oranı, C₄AF içeriğinden etkilendiğini söylemiştir. Ayrıca karışımların

kıvam koruma performansının hem çimento hem katkı özelliklere bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Harç karışımların iki günlük basınç dayanımlarının çimento türüne bağlı olarak oldukça değişkenlik gösterdiğini vurgulamıştır. Kullanılan çimentolar arasında en yüksek Blaine inceliğine sahip olan beyaz çimentonun iki gün kürleme sonunda 50 MPa'nın üzerinde dayanım gösterdiği beyan edilmiştir (Aytaç 2006).

Diğer bir çalışmada portland çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı uyumunun incelenmesi 2016 yılında Ege Üniversitesi inşaat mühendisliği bölümünde (Mardani-Aghabaglou 2016) gerçekleştirilmiştir. Söz konusu tez çalışması iki farklı aşamadan oluşmuştur. Yazar birinci aşamada çok değişkenli regresyon programı yardımıyla çimento katkı uyumunu etkileyen parametreleri etki şiddetine göre sıralamıştır. Bu amaçla kimyasal bileşeni geniş bir yelpazede olan altı farklı fabrika ürünü olan dokuz adet CEM I 42,5 R tipi çimento üç farklı fabrika ürünü olan üçer adet polikarboksilat ve naftalin esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı temin edilmiştir. Toplamda iki yüz yirmi altı hamur karışımı hazırlanarak Marsh-hunisi ve mini çökme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı katkı dozajlarında ve farklı su çimento oranlarına sahip toplamda 243 adet hamur karışımının dinamik ve statik olarak hamur karışımlarının reolojik özellikleri incelenmiştir. Söz konusu istatistiksel analizlerde çimento inceliği, C₃A, C₃S, S₄AF ve eşdeğer alkali içeriği ile su azaltıcı katkı miktarı, katkı katı madde oranı ve karışımın su içeriği gibi parametreler dikkate alınmıştır. Yazarlar tarafından yapılan incelemeler sonucunda istatistiksel programdan da yardım alınarak çimento-katkı etkileşimini etkileyen parametreleri etki şiddetine göre sırasıyla çimento inceliği, çimento C₃A oranı ve eşdeğer alkali içeriği olarak sıralamışlardır. Çalışmasının ikinci aşamasında söz konusu parametrelerin etkisi beton, harç ve hamur karışımlarında XRD analizleri de yapılarak daha detaylı olarak araştırılmıştır.

Başka bir çalışmada çimento C₃A içeriğinin çimentolu sistemlerin taze hal ve reolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir (Mardani-Aghabaglou, A. ve ark. 2017a). Bu amaçla hammaddeleri ve üretim esnası klinkeri ile birlikte öğütülen alçı türü aynı ancak C₃A oranı farklı olan üç adet CEM I 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Farklı su çimento oranlarına sahip hamur karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda Marsh-hunisi mini çökme reolojik özellikler yayılma ve dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca hamur karışımlarının saatlik XRD paterni çekimi de yapılmıştır. Yazarlar C_3A içeriğinin azalması ile hamur, harç ve beton karışımların taze hal ve reolojik özelliklerin iyileştiği, ancak erken yaş dayanımların azaldığını ileri yaş dayanımların C_3A oranından bağımsız olduğunu ifade etmiştir. XRD sonuçlarına göre C_3A oranı daha yüksek olan çimentodan üretilen hamur karışımlarında etrenjitin daha yoğun bir yapıda olduğu bildirilmiştir.

Diğer bir çalışmada polikarboksilat esaslı katkı yan zincir yoğunluğunun kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarının taze hal, reolojik ve dayanım gibi özelliklerine etkisi incelenmiştir (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2013). Bu amaçla bağlayıcı olarak tek tip CEM II/B-M (L-W) 42,5 R tip çimento kullanılmıştır. Karboksilik asit gruplarının ana zincir ve polimer yapıları aynı fakat molekül ağırlığı yan zincir yoğunluğu farklı olan dört adet polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı kullanılarak dört farklı kendiliğinden yerleşen beton karışımları hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda su-çimento oranı ve yayılma değeri 0,4, 750 ± 10 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerini sağlamak için 5,5 ile 7,5 kg/m^3 aralığında farklı miktarlarda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. KYB karışımlarının taze hal özellikleri çökme-yayılma, V-Hunisi, çökme-yayılma kaybı, L kutusu deneyleri ile belirlenmiştir. Ayrıca karışımların eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitesi gibi reolojik özellikleri palet tipi bir reometre kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre KYB karışımlarının V-Hunisi akış süresi ve çökme kaybı katkı yan zincir yoğunluğundan etkilenmediği gözlemlenmiştir. Söz konusu etki erken yaşlardaki dayanımlarda daha belirgin olmuştur.

Başka bir çalışmada çimento inceliğinin yüksek oranda su azaltıcı katkı içeren çimentolu sistemlerin taze hal reolojik özelliklerine etkisi (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2017b) gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla iki farklı C_3A oranına sahip CEM I 42,5 tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Bilyeli öğütücü kullanılarak söz konusu çimentolar dört farklı Blaine inceliğine getirilerek farklı su çimento oranlarına sahip hamur, harç ve beton karışımları üretilmiştir. Üretilen hamur karışımlarında Marsh-hunisi akış süresi, priz süresi, mini çökmesi, dinamik ve statik olarak reolojik özellikleri belirlenmiştir. Harç karışımlarında ise hedef yayılmayı sağlamak için karışımlarda katkı gereksinimi, zamana bağlı yayılma değişimi ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Beton karışımlarında ise hava içeriği taze ve sertleşmiş hal birim hacim ağırlığı, zamana bağlı

çökme ve yayılma değişimi ve basınç dayanımları elde edilmiştir. Su azaltıcı katkı içermeyen çimentolu sistemlerde çimento inceliğinin artışı ile karışımların su ihtiyacının arttığı ve buna bağlı olarak da taze hal ve reolojik özelliklerinin olumsuz etkilendiği yazarlar tarafından ifade edilmiştir. Su azaltıcı katkı içeren karışımlarda bu durumun aksi bildirilmiştir. Çimento içeriğinin artışıyla basınç dayanımını artmıştır. İncelik ve C₃A içeriği yüksek olan normal portland çimentosundan üretilen çimentolu sistemlerin, sülfata dayanımlı sistemlere göre daha yüksek dayanım gösterdiği deney sonuçlarından da anlaşılmıştır. Ancak dayanımlar arasındaki farkın zamanla azaldığı rapor edilmiştir.

Benzer diğer bir çalışmada çimento üretiminde klinkere eklenen alçı türü değişimin çimento-katkı uyumuna etkisi incelenmiştir (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2016). Bu amaçla hammaddeleri aynı ancak üretim esnasında klinkere eklenen alçı türü farklı iki adet CEM I 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentolar HG ve DG olarak adlandırılmıştır. HG çimentosu üretiminde 1/2 mol su içeren hemihidrat, DG çimentosunda ise iki mol su içeren dehidrat kullanılmıştır. Çimento alçı türü etkisini incelemek için farklı su çimento oranlarında çimento hamuru harç ve beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarda taze hal reolojik ve sertleşmiş hal özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlara göre hemihidrat içeren çimentonun kullanımı çimentolu sistemlerin taze hal ve reolojik özelliklerini olumsuz etkilediği ancak erken yaşlardaki dayanımı arttırdığı anlaşılmıştır. Taze hal ve reolojik özelliklerinde bu olumsuz etki en belirgin olarak hamur karışımlarında gözlemlenmiştir.

Diğer bir çalışmada kimyasal katkıların çimento bazlı malzemelerin dayanımına, reolojisine ve mikro yapısına etkisi Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde doktora tezi kapsamında incelenmiştir (Erzengin 2010). Bu amaçla, püskürtme beton katkısı olarak trietanolamin (TEA), polimelamin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı (PMS), modifiye edilmemiş sodyum lauril sülfat esaslı süper akışkanlaştırıcı-hava sürükleyici (MSLS), üre formaldehit esaslı priz hızlandırıcı (UF), sülfone melamin-üre formaldehit (SMUF), kalsiyum nitrat (KN), sodyum nitrat (SN) olmak üzere yedi farklı kimyasal katkının beton ve harç karışımlarının taze hal, reolojik özellikleri ve dayanıma etkisi incelenmiştir. Düşük kayma hızlarında TEA katkılı çimento hamurunun görünür viskozitesi katkı içermeyen hamura kıyasla yaklaşık on kat

daha fazla olduğu, yüksek kayma hızlarında ise bu oranın dört, beş katına düştüğu, hava sürükleyici katkının reolojik özelliklerinin olumlu etkilendiği yazarlar tarafından bildirilmiştir.

Başka bir çalışmada mineral ve süper akışkanlaştırıcı katkıların KYB karışımların işlenebilirlik ve basınç dayanımına etkisi incelenmiştir (Sarıdemir 2006). Bu amaçla farklı oranlarda yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve tras gibi mineral katkıları çimento ile ikame edilerek yirmi sekiz adet farklı KYB beton karışımları hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda 750±50 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerini sağlamak için toplam bağlayıcı ağırlığının %1 oranında tek tip polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Üretilen KYB karışımlarında yayılma V hunisi, U kutusu deneyleri ve 2, 7, 28 ve 60 günlük dayanımları belirlenmiştir. Sonuçlara göre farklı mineral katkı içeren karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkının performansının değiştiği bildirilmiştir.

Diğer bir çalışmada normal ve süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının taze beton ve sertleşmiş beton üzerindeki etkisi incelenmiştir (Serinođlu 2011). Bu amaçla naftalin sülfonat esaslı normal akışkanlaştırıcı ve modifiye polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı temin edilmiştir. Çalışmada bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimentosu agrega olarak kırma taş agregası kullanılmıştır. Kimyasal katkı içermeyen kontrol karışımına ilaveten farklı oranlarda su azaltıcı katkı kullanılarak altı adet beton karışımı daha yapılmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre su azaltıcı katkı tipinden bağımsız olarak katkı miktarı artışıyla karışımların taze hal özelliklerinin olumlu etkilendiği tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi modifiye edilmiş polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı naftalin esaslı katkıya göre daha başarılı olmuştur. Çimento ağırlığının %2 'sinden fazla polikarboksilat esaslı katkı kullanıldığı takdirde karışımda ayrışma gözlemlenmiştir.

Başka bir çalışmada (Hanehara ve Yamada 1999) çimento lignin sülfat, naftalin sülfat, melamin sülfat, amino sülfat ve polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkıları arasındaki etkileşimi, birlikte çalışma faktörleri ve mekanizmaları çimento hidratasyonu açısından tartışılmıştır. Polikarboksilat tipi süper akışkanlaştırıcı farklı tip çimento kombinasyonunda daha uyumlu olduğu kabul edilmesine rağmen uyumluluğun çimentodaki alkali sülfat miktarından etkilendiği açıklanmıştır.

Başka bir çalışmada kireç taşı, uçucu kül, silis dumanı gibi mineral katkıların çimento katkı uyumuna etkisi incelenmiştir. Bu amaçla naftalin, melamin, lignosülfonat ve polikarboksilat esaslı dört farklı su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Çimento uyumu mineral katkıların özgül yüzeyi ve yüzey yükü gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değiştiği yazarlar tarafından ifade edilmiştir (Burgos ve ark. 2012).

Başka bir çalışmada, polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı adsorpsiyonunu etkileyen katkı kaynaklı parametrelerin incelenmesi gerçekleştirilmiştir (Dalas ve ark. 2015). Sonuçlara göre anyonik modifikasyonun sülfat çekişmesine karşı direnci artırmak için iyi bir teknolojik yöntem olduğu söylenmiştir. Eş değer yük yoğunluğunda dikarboksilat polimerinin sülfat iyonu konsantrasyonuna karşı monokarboksilat polimerine göre daha az duyarlı olduğu söylenmiştir.

Başka bir çalışmada Habbaba ve ark. (2014) dört tip polikarboksilat ve tek tip polikondensat esaslı su azaltıcı katkının çimento ile etkileşimi incelenmiştir. Bu etkileşimde alkali sülfatların ve C_3A miktarının büyük rolü olduğu gözlemlenmiştir. Alkali sülfat/ C_3A molar oranı iki ve üstü olduğunda etrenjit oluşumunun hızlı ve yoğun olduğu tespit etmişlerdir.

Diğer bir çalışmada Binici ve ark (2007) çimento inceliğinin artması ile harç karışımlarının geçirgenliğinin azaldığı, sulfata karşı direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Buna ilaveten hidrasyon ısısının daha ince olan çimento ile üretilen harçlarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Benzer diğer bir çalışmada Uchikawa (1994) polikarboksilat esaslı katkının molekül ağırlığı değişimin hamur karışımlarının taze hal üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla yirmi beş bin, yirmi bir bin dokuz yüz, on altı bin olmak üzere üç farklı molekül ağırlığına sahip süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. 0,5, 0,3 ve 0,2 olmak üzere üç farklı su çimento oranına sahip hamur karışımları hazırlanmıştır. Sonuçlara göre en yüksek su/çimento sahip karışımda molekül ağırlığı en yüksek katkı 0,3 su/çimento oranındaki karışımdaki orta molekül ağırlığındaki katkı ve en düşük su/çimento oranında hazırlanan karışımda en düşük molekül ağırlığına sahip katkı en iyi performansı sergilemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarının davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Anyonik monomeri olarak, birinci katkıda sadece karboksilat, ikinci katkıda hem karboksilat hem sülfonat üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem de fosfat fonksiyonel grubu içeren monomerler kullanılmıştır. Katkılar sentezlenirken toplam anyonik monomer sabit tutulmuştur.

3.1. Malzemeler

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak TS EN 197-1 (2012) “Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri” standardına uygun CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Üretici firma tarafından verilen çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri

Oksit	(%)	Fiziksel özellikleri	
SiO ₂	18,86	Özgül ağırlık	3,15
Al ₂ O ₃	5,71	Mekanik özellikleri	
Fe ₂ O ₃	3,09	Basınç dayanımı (MPa)	1-günlük 14,7
CaO	62,70		2-günlük 26,80
MgO	1,16		7-günlük 49,80
SO ₃	2,39		28-günlük 58,5
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	0,92	İncelik	
Cl ⁻	0,01	Özgül yüzey (Blaine, cm ² /g)	3530
Çözünmeyen kalıntı	0,32	0,045 mm elekte kalıntı (%)	7,6
Kızdırma kaybı	3,20		
Serbest CaO	1,26		

Agrega olarak TS EN 196-1 (2016) “Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini” standardına uygun standart kum kullanılmıştır. Kullanılan standart kumun tane büyüklüğü dağılımı Çizelge 3.2’de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi TS EN 1097-6 (2013) “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini” standardına uygun olarak sırasıyla 2,72 ve kütlece %0,7 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. Standart kumun tane büyüklüğü dağılımı

Kare Göz Açıklığı	Kalan (%)	Yığılımlı Elekte Kalan (%)
2,00	0	0
1,60	4,32	7 ± 5
1,00	33,98	33 ± 5
0,50	67,11	67 ± 5
0,16	86,85	87 ± 5
0,08	99,83	99 ± 5

Ana zinciri aynı ana zincirine bağlanan grupları farklı üç adet polikarboksilat eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılarak toplam üç seri karışım hazırlanmıştır. Anyonik yan zincir olarak, Birinci seride sadece karboksilat, ikinci seride hem karboksilat hem de fosfat, üçüncü seride ise hem karboksilat hem de sülfonat fonksiyonel grupları içeren monomerler kullanılmış olup deneysel çalışmada sırasıyla, WR4 S, WR4 S - JPA %10, WR4 S - AMPS %10 olarak gösterilmiştir. Ayrıca tüm polimerlerin toplam anyonik içeriği sabit tutulmuştur. İkinci ve üçüncü seri su azaltıcı katkılarda kullanılan anyonik monomerlerin karboksilat fonksiyonel grubu %10 mol oranında sülfat ve fosfat grupları ile ikame edilmiştir.

Çalışmada kullanılması için üç farklı ürün grubu üretici firma tarafından temin edilmiştir. Söz konusu su azaltıcı katkıların üretici firma tarafından verilen özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan ürün bilgileri

Özellik	WR4 S	WR4 S - JPA %10	WR4 S - AMPS %10
Fonksiyonel Monomer Kodu	AA*	AA* ve JPA**	AA* ve AMPS***
Monomer Fonksiyonel Grup İsmi	Karboksilat fonksiyonel grubu içeren monomer	Fosfonat fonksiyonel grubu içeren monomer	Sülfonat fonksiyonel grubu içeren monomer
Anyonik Monomer Mol Oranı	AA/VPEG (makromonomer) mol oranı = 3	(AA+JPA)/ VPEG mol oranı = 3	(AA+AMPS)/ VPEG mol oranı = 3
Monomer Değişim %	—	JPA/(AA+JPA) = 10%	AMPS/(AA+AMPS) = 10%
Katı madde miktarı %	48,23	47,83	47,81
Viskozite	200	250	312
pH	4,03	4,02	4,19

*AA= karboksilat fonksiyonel grubu içeren monomer

**JPA= fosfonat fonksiyonel grubu içeren monomer

***AMPS= sülfonat fonksiyonel grubu içeren monomer

3.2. Karışımların Hazırlanması

Çalışmanın birinci aşamasında, çimento hamuru karışımları hazırlanarak kullanılan katkıların çimento ile uyumluluğu Marsh-hunisi akış süresi ve mini-çökme deneyleriyle incelenmiştir. Önceki çalışmalarda su/çimento oranı için önerilen 0,35-0,40 oranları dikkate alınarak bu çalışmadaki tüm hamur karışımlarda su/çimento oranı 0,35 olarak seçilmiş, çimento ve su miktarları sabit tutulmuştur (Aitcin 2004).

Çalışmanın ikinci aşamasında ise harç karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm harç karışımlarında ASTM C 109 (2013) “Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar” standardına uygun olarak su/çimento oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma değerleri sırasıyla 0,485, 2,75 ve 270±20 mm olarak sabit tutulmuştur.

İstenen yayılma değerini karşılayacak şekilde anyonik monomer yapısı farklı üç su azaltıcı katkının kullanım oranları belirlenmiştir. Deneysel çalışma kullanılan ürünlere verilen kısaltılmış isimler Çizelge 3.4’de verilmiştir. Harç karışımı üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneysel çalışmada verilen isimler

Ürün İsmi	Çalışmadaki İsmi	İçeriği
WR4 S	SA-K	karboksilat fonksiyonel grubu içeren monomer
WR4 S-JPA 10%	SA-%10F	karboksilat fonksiyonel grubu %10 mol oranında fosfonat
WR4 S-AMPS 10%	SA-%10S	karboksilat fonksiyonel grubu %10 mol oranında sülfonat

Çizelge 3.5. Harç karışımlarının üretiminde kullanılan kütlece malzeme oranları

	SA-K	SA-%10F	SA-%10S
Çimento	1	1	1
Su	0,485	0,485	0,485
Standart kum	2,75	2,75	2,75
Su azaltıcı katkı	0,0032	0,003	0,0032
Yayılma, mm	256	260	253

Üretilen harç karışımlarında yayılma değeri, zamana bağlı, yayılma değeri mini V-hunisi akış süresi ve 1,3, 7 ve 28 günlük dayanımları elde edilmiştir.

3.3. Yöntem

3.3.1. Hamur karışımları deneyleri

Deney yönteminde, hazırlanan hamur karışımları, uç kısmında küçük bir boşluk bırakılmış bir huni içerisine hamur karışımlarının dökülmesi ve belirli hacimdeki hamurun huni içerisinden akması için geçen sürenin belirlenmesi ilkesine dayanır (Aitein, 2004).

Her çimento-katkı ikilisi için çimento ağırlığının %0,5' i ile %2,25' i arasında değişen oranlarda su azaltıcı katkı kullanılarak her seri için sekizer adet hamur karışımı hazırlanmıştır. Yaklaşık 1,2 litre hacimli homojen çimento hamuru hazırlanmasından hemen sonra alt ucu parmakla kapatılan Marsh-hunisi içine dökülüp daha sonra parmak huni ucundan kaldırılarak 700 ml'lik hamur boşalana kadar geçen süre ölçülmüştür. Elde edilen süre o karışımın akış süresi olarak belirlenmiştir. Marsh-hunisi deneyi hamur karışımlarının standart Marsh-hunisinden geçiş süresinin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2017a). Marsh-hunisi deneyinde belirlenen akış süresi ve doyumluk noktası değeri, su/çimento oranı ve karıştırma yönteminden önemli ölçüde etkilenmektedir. Araştırmacılarda, su/çimento oranının azalmasıyla, akış süresinin ve doyumluk noktası değerinin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, su/çimento oranının artmasıyla birlikte akışkanlığın arttığını belirtilmesine karşılık, katkı dozajının artışıyla her zaman akışkanlığın artış göstermediğini belirtmişlerdir (Agullo ve ark. 1999). Bu deney yönteminde katkı dozajı ve akış süresi arasındaki ilişki incelenerek katkının doyumluk noktası belirlenmektedir. Akışkanlaştırıcı katkı dozajı arttıkça çimento hamurunun akış süresinde azalma gözlenmiştir. Ancak, katkı dozajı belirli bir sınırın üstüne çıktığında çimento hamuru akış süresinde önemli bir değişim görülmemiştir. Bu değerdeki katkı dozajı, katkı-çimento ikilisinde kullanılan akışkanlaştırıcı katkının doyumluk noktası olarak tespit edilmiştir. Bu dozajın üstünde katkı kullanımı karışımda ayrışma oluşumunun yanı sıra ekonomik zarara da sebep olmaktadır (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2017b).

Marsh-hunisi deneyi için hazırlanan hamur karışımı mini çökme deneyinde de kullanılmıştır. Kantro tarafından geliştirilmiş olan bu deney yönteminde, hazırlanmış hamur karışımı düzgün bir yüzeyin merkezine konulmuş, alt iç çapı 38,1 mm, üst iç çapı 19 mm ve yüksekliği 57,2 mm olan kesik koni biçimli bir kalıbın içine doldurulur. Çökme kalıbı düşey olarak yavaşça kaldırılır ve yayılmanın tamamlanması için bir süre (10-20 sn) beklenir. Daha sonra kumpas yardımıyla birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapı ölçülerek ortalaması alınır ve kaydedilir (Kantro 1980).

3.3.2. Harç karışımları deneyleri

Harç karışımların mini V hunisi testi EFNARC (2005) “Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete” kriterlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu testte huni tamamen harçla doldurulur ve zaman kaybetmeden alttaki kapak açılarak kendi ağırlığıyla harcın akışı sağlanır. Kapak açıldığı anda süre başlatılır. Harç akışı esnasında huniye tepeden bakılarak tabandan ışık görülmesi anında süre durdurularak akış süresi belirlenir. Mini V hunisi deneyi karışımların doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnci ve viskozitesi hakkında bilgi vermektedir.

Harç karışımlarının 1 saat boyunca her 15 dakikada bir yayılma değerleri ASTM C1437-01 (2013) “Flow of hydraulic cement mortar” standardına uygun olacak şekilde ölçülmüştür. Bu çalışmada tüm harç karışımlarında yayılma değerleri 270 ± 20 mm olarak sabit tutulmuştur. Bu deneyde testi yapmak için, numune doldurulur ve metal tablanın üzerine yerleştirilir. Konik kalıp bilinen yükseklikten tabla ile birlikte düşürülür. Cihaz dairesel dönen üst tabla, üçayak, taşıyıcı gövde ve bronz kalıp, doldurma hunisi ve tokmağa sahiptir. Elle çalıştırılan modelleri olduğu gibi motorla çalışan tipleri de vardır. Elle çalıştırılan modelde düşme hızı, kullanıcı tarafından el çarkı döndürülerek ayarlanabilmektedir. Motorla çalışan modellerde ise, mekanik bağlantı parçaları ve motor hız düşürücü yardımıyla, yayılma tablasının standarda uygun sayı ve sürede düşme yapması sağlanır.

Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma davranışlarını gözlemlemek amacıyla sabit miktarda su azaltıcı katkı kullanılarak üç farklı harç karışımı ayrıca hazırlanmıştır.

Ayrıca, harç karışımlarının 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ASTM C 109 (2013) “Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar” standardına uygun olarak 50mm’lik numuneler üzerinde belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Taze Hal Özellikleri

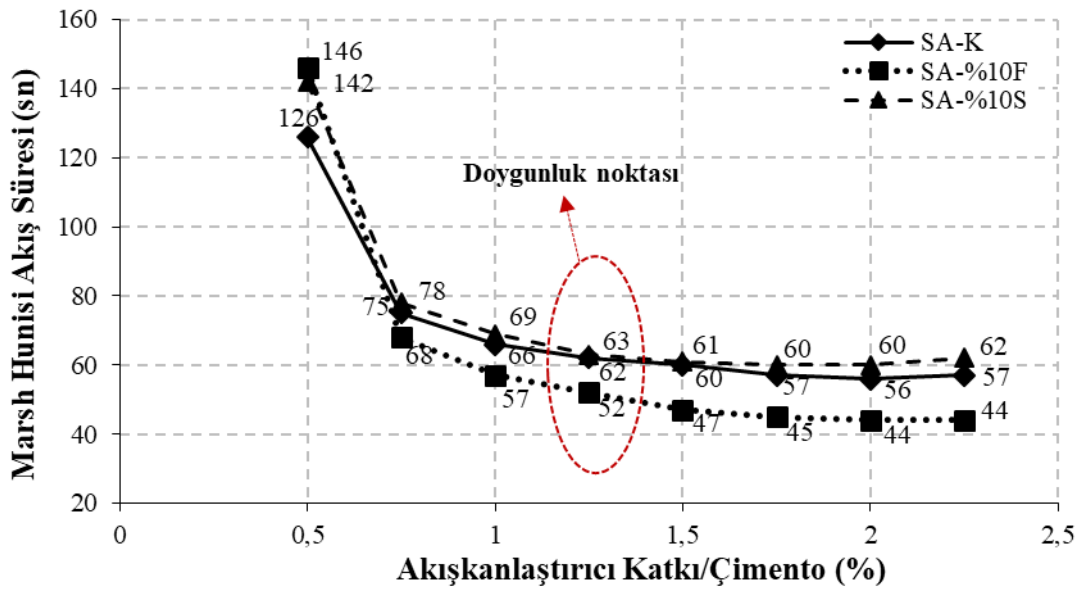
Kullanılan su azaltıcı katkıları ile çimento uyumu, hamur karışımlarında katkı/çimento oranının artışına bağlı olarak Marsh-hunisi akış süresi, mini-çökme ve sıcaklık ölçümleriyle incelenmiştir.

Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi mini-çökme ve sıcaklık değerleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1' de verilmiştir. Çimento ağırlığının %0,5' inden daha az miktarda su azaltıcı katkı içeren hamur karışımları Marsh-hunisinden akmadığından bu karışımların akış süreleri ölçülememiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi akışkanlaştırıcı katkı tipinden bağımsız olarak su azaltıcı katkı kullanım oranının artmasıyla hamur karışımlarının akış süreleri beklenildiği gibi azalmıştır. Çimento ağırlığının %0,5' i kadar SA-%10F ve SA-%10S katkı içeren karışımların Marsh-hunisi akış süreleri aynı miktarda SA-K katkı içeren karışıma göre sırasıyla %15 ve %12 oranında uzamıştır. Katkı oranları artırıldığında SA-%10F katkılı hamur karışımının akış süresinin diğer katkılı karışımlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda SA-K ve SA-%10S katkılı karışımlar Marsh-hunisi akışı açısından benzer davranışlar göstermiştir. Katkı türünden bağımsız olarak tüm çimento-katkı ikilisi için doyum noktası akışkanlaştırıcı-katkı/çimento oranının %1,25 olduğu durumda tespit edilmiştir. Ancak, doyum noktasındaki akış süreleri dikkate alındığında SA-%10F karışımı SA-K karışımına kıyasla Marsh-hunisinden yaklaşık %20 daha hızlı aktığı anlaşılmıştır. Katkı tipinden bağımsız olarak su azaltıcı katkı kullanım oranının artışıyla hamur karışımlarının mini-çökme değerlerinde beklenildiği gibi bir artış gözlemlenmiştir. Ancak belli bir katkı kullanım oranının üstünde hamur karışımlarının mini-çökme değerlerinde bir sabitleme veya azalma olmuştur. Bu olayın nedeninin çok akıcı olan söz konusu karışımlarda ayrışma oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.1. Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi, Mini-Çökmesi ve Sıcaklık değerleri

Katkı/çimento oranı (kütlece %)		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
Akış süresi, sn	SA-K	126	75	66	62	60	57	56	57
	SA-%10F	146	68	57	52	47	45	44	44
	SA-%10S	142	78	69	63	61	60	60	62
Mini-çökme, mm	SA-K	17	18	18,5	19	20	20	20	20
	SA-%10F	18	18	19	19	19	19	18,5	18,5
	SA-%10S	16,5	17	18	18	18,5	19,5	19	18,5
Sıcaklık, °C	SA-K	30,8	29,8	28,5	28,5	28	28,2	28,4	28
	SA-%10F	28,6	28,4	27,8	27,8	28,6	28,8	29,2	28
	SA-%10S	31	30	29,5	29	28,5	28,5	28	28

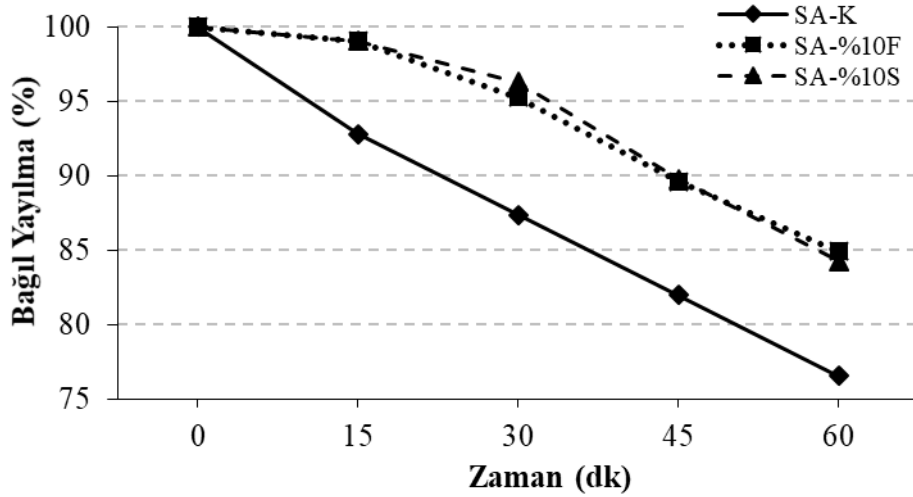


Şekil 4.1. Hamur karışımlarının akışkanlaştırıcı katkı dozajına bağlı olarak Marsh-hunisi akış süreleri

Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma davranışlarını gözlemlemek amacıyla sabit miktarda su azaltıcı katkı kullanılarak üç farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Söz konusu karışımların zamana bağlı yayılma ve bağıl yayılma değerleri sırasıyla, Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Beklenildiği gibi harç karışımlarının yayılma miktarları zamanla azalmıştır. Ancak söz konusu azalmanın anyonik monomerleri değiştirilen SA-%10F ve SA-%10S karışımlarında SA-K karışımına kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir. 60 dakika sonunda, SA-K karışımı %23 oranında yayılma kaybı gösterirken bu kaybın SA-%10F ve SA-%10S karışımlarda %16 oranında olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değerleri

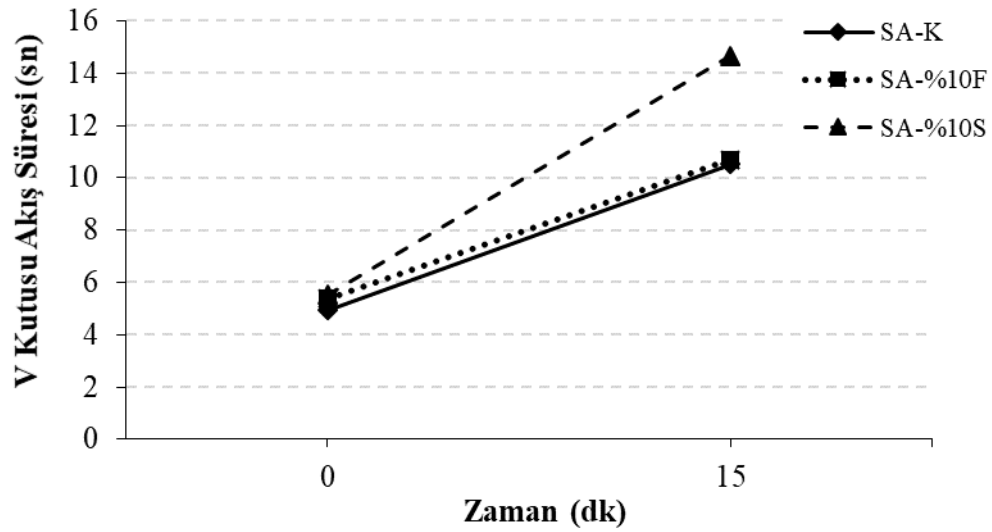
Zamana Bağlı Yayılma (cm)					
Katkı/Zaman	0 dk	15 dk	30 dk	45 dk	60 dk
SA-K	27,75	25,75	24,25	22,75	21,25
SA-%10F	26,50	26,25	25,25	23,75	22,50
SA-%10S	27,00	26,75	26,00	24,25	22,75



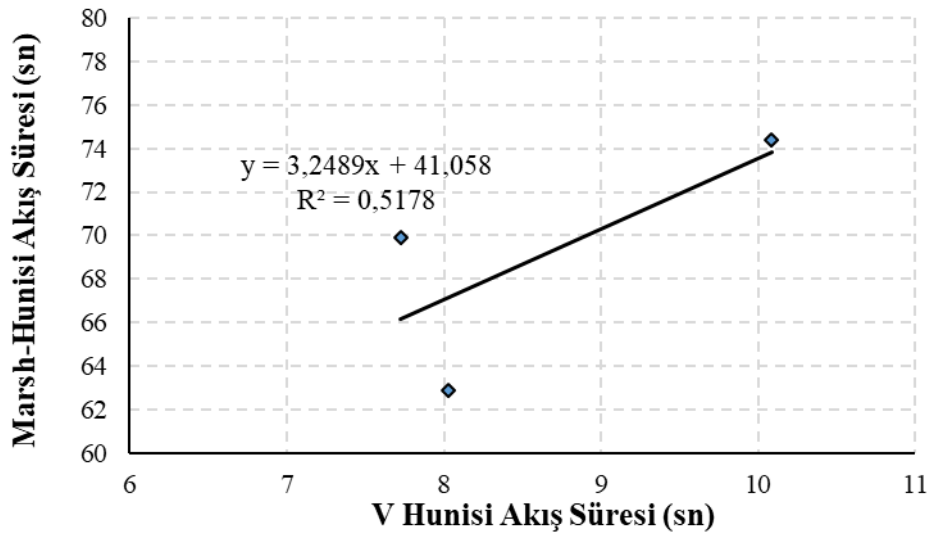
Şekil 4.2. Harç karışımlarının zamana bağlı bağıl yayılma değişimi

Harç karışımlarının zamana bağlı V hunisi akışı süresi değişimi Şekil 4.3'te gösterilmiştir. 30 dakika üretim sonrası tüm karışımlar V-hunisinden akmadığından ilk 15 dakikaya kadar akış değerleri alınmıştır. Şekil 4.3'ten de anlaşıldığı gibi, tüm karışımların başlangıç akış süreleri hemen hemen aynı olmuştur. 15 dakika bekleme sonrası, kontrol ve fosfat fonksiyonel grubu içeren karışımlar benzer akış davranışı gösterirken sülfonat grubu içeren karışımın akış süresi artmıştır. Bilindiği gibi, karışımların yayılma ve V-hunisi akış süreleri karışımın sırasıyla, eşik kayma gerilmesi ve viskozitesi ile ilgili bilgi vermektedir (Mardani-Aghabaglou 2016). Bu çalışmada karboksilat esaslı anyonik monomerinin fosfat ve sülfonat fonksiyonel grubu ile yer değiştirmesi sonuç karışımların yayılma değerini artırmış ve zamana bağlı yayılma davranışı iyileştirmiştir. Buna bağlı olarak karışımların eşik kayma gerilmesinin azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak, sülfonat fonksiyonel grubu kullanımı ile harç karışımının akışkanlığının azalması karışımın viskozitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Genel olarak karışımların V-hunisi akış süresi ve Marsh-hunisi akış süresi davranışları arasında bir uyumsuzluğun söz konusu olduğu Şekil 4.4'ten de anlaşılmaktadır. Aslında bu beklenen bir davranıştır. Marsh-hunisi akış süresi deneyi için hazırlanan karışımın, huniden akması için viskozitesi düşük ve çok akıcı olması gerekmektedir. Ayrışmaya meyilli olan söz konusu karışımı daha kohezif olan V-hunisi deneyi için hazırlanan karışımla kıyaslanması doğru olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Harç karışımlarının zamana bağlı V hunisi akış süreleri

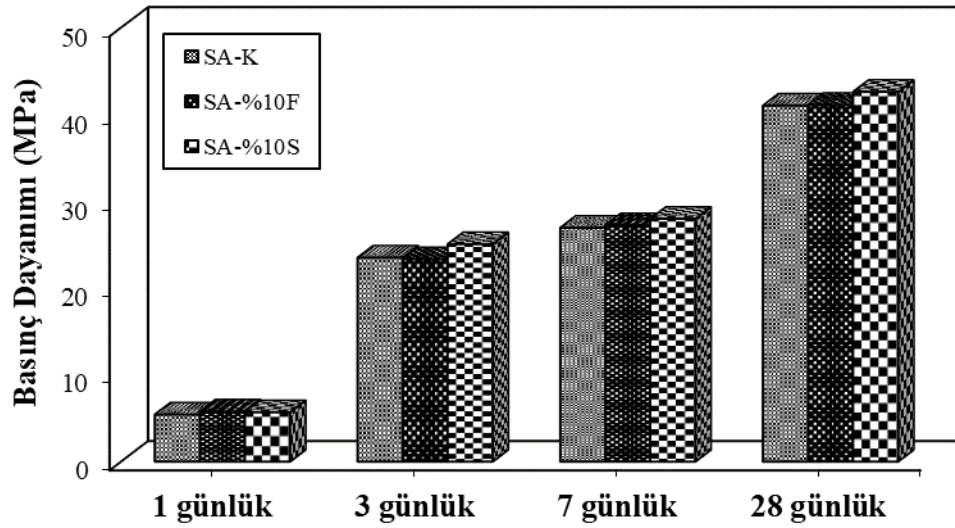


Şekil 4.4. Hamur karışımlarının katkı dozajı artışına bağlı ortalama Marsh-hunisi Akış süresi ve Harç karışımlarının zamana bağlı ortalama V-Hunisi akış süreleri

Sonuçlara dayanarak, su azaltıcı katkıda anyonik içeriğin karboksilat fonksiyonel grubunun %10 mol oranında fosfat ve sülfonat fonksiyonel grupları ile ikame edilmesi hamur ve harç karışımlarının taze hal özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu bağlamda, fosfat grubu içeren katkı sülfonat grubuna göre daha başarılı olmuştur.

4.2. Basınç Dayanımı

Harç karışımlarının basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.5’ de gösterilmiştir. Su azaltıcı katkı anyonik monomeri değişiminin harç karışımlarının basınç dayanımını ciddi mertebede etkilemediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Harç karışımlarının basınç dayanımları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve testler için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Su azaltıcı katkının karboksilat esaslı anyonik monomerinin %10 mol oranında sülfonat ve fosfat fonksiyonel grupları ile yer değiştirmesi sonucu hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi azalmıştır. Bu bağlamda %10 fosfat fonksiyonel grubu içeren katkı en başarılı katkı olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar hamur karışımlarının mini-çökme ölçümlerinde de gözlemlenmiştir. Su azaltıcı katkı doygunluk noktası katkı tipinden etkilenmemiştir.

Su azaltıcı katkının anyonik monomeri değişimi ile harç karışımlarının yayılma değerleri artmıştır. Bu etki zamanla daha belirgin olmuştur. Burada da hamur karışımlarında olduğu gibi %10 fosfat fonksiyonel grubu içeren katkı daha başarılı sonuç vermiştir.

V-hunisi akış süresi açısından %10 sülfonat fonksiyonel grubu içeren karışım düşük performans göstermiştir. Bunun nedeni söz konusu katkı kullanımıyla, karışımın viskozitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Harç karışımlarının basınç dayanımının katkı anyonik monomeri değişiminden kayda değer mertebede etkilenmediği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Agullo, L., Toralles-Carbonari, B., Gettu, R. & Aguado, A. 1999. Fluidity of Cement Pastes with Mineral Admixtures and Superplasticizer-A Study Based on the Marsh Cone Test, *Materials and Structures*, 32, pp. 479-485.

Aİtcin, P.C. 2004. High Performance Concrete, E.&F.N. SPON, New York.

Akman, M. S. 1996. Kimyasal Katkıların Betonda Uygulanması, 4. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, pp. 1-11.

ASTM C109, 2013. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).

ASTM C 125-16, 2016. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C219-14a, 2014. Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C494-C494M-99, 2002. ASTM, Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04-02, Concrete and Aggregates.

ASTM C1437-15, 2015. Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar.

Aytaç, A.H. 2006. Portland çimentosu kompozisyonunun akışkanlaştırıcı katkı performansına etkisi. *Yüksek lisans tezi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İzmir.

Bedard, C., & Mailvaganam, N. P. 2005. The use of chemical admixtures in concrete. Part I: Admixture-cement compatibility. *Journal of performance of constructed facilities*, 19(4), 263-266.

Binici, H., Temiz, H., Köse, M.M. 2007. The effect of fineness on the properties of the blended cements incorporating ground granulated blast furnace slag and ground basaltic pumice, *Construction and Building Materials*, 21:1122–1128 pp.

Bonen, D., & Sarkar, S. L. 1995. The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1423-1434.

Burgos-Montes, O., Palacios, M., Rivilla, P. and Puertas, F. 2012. Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions, *Construction and Building Materials*, 31:300-309 pp.

Colleparidi, M. 2005. Admixtures-Enhancing Concrete Performance. 6th Int. Congress on Global Construction and Ultimate Concrete Opportunities, Dundee.

- Dalas, F., Nonat, A., Pourchet, S., Mosquet, M., Rinaldi, D. and Sabio, S. 2015.** Tailoring the anionic function and the side chains of comb-like superplasticizers to improve their adsorption. *Cement and Concrete Research*, 67:21-30 pp.
- EFNARC, 2005.** Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org.
- Felekoğlu, B., Baradan, B. 2006.** Akışkanlaştırıcı Katkıların Harçta Su Kesme Performansı-Mukavemet İlişmesine Etkileri. *İMO Teknik Dergi*, 15(2): 3869-3872.
- Felekoğlu, B., and Tosun Felekoğlu, K. 2014.** Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Kullanımı. *Hazır Beton*, (124): 60-69.
- Flatt, R. J., & Houst, Y. F. 2001.** A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers. *Cement and concrete research*, 31(8), 1169-1176.
- Frunz, L., Lootens, D., Flatt, R.J., Wombacher, F., and Velten, U. 2010.** Production and Placement of Self-Consolidating Concrete. 1, Khayat, K.H., and Feys, D.(editors), RILEM Bookseries, 53-63.
- Habbaba, A., Dai, Z. and Plank, J. 2014.** Formation of organo-mineral phases at early addition of superplasticizers: The role of alkali sulfates and C₃A content. *Cement and Concrete Research*, 59:112-117 pp.
- Hanehara, S. and Yamada, K. 1999.** Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology. *Cement and Concrete Research*, 29(8):1159-1165 pp.
- Kantro, D. L. 1980.** Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste-a miniature slump test. *Cement, Concrete and Aggregates*, 2(2), 95-102.
- Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. 2003.** Concrete, Prentice-Hall, Pearson Education Inc., Second Edition, 644 p.
- Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., Yılmaz, G., Ariöz, Ö., & Ramyar, K. 2013.** Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1020-1025.
- Mardani-Aghabaglou, A., Boyaci, O.C., Hosseinneshad, H., Felekoğlu, B., Ramyar, K. 2016.** Effect of gypsum type on cement-high range water reducing admixture compatibility. *Cement and Concrete Composites*, 68:15-26.
- Mardani-Aghabaglou, A. 2016.** Portland çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı katkı uyumunun incelenmesi. *Doktora Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Mardani-Aghabaglou, A., Felekoğlu, B., Ramyar, K. 2017a. Effect of cement C₃A content on properties of cementitious systems containing high range water-reducing admixture, Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE), Volume 29, Issue 8.

Mardani-Aghabaglou, A., Son, A. E., Felekoğlu, B., Ramyar, K. 2017b. Effect of cement fineness on properties of cementitious materials containing high range water reducing admixture, Journal of Green Building, 12(1): 142-167.

Neville, A.M., Brooks, J.J. 1987. Concrete Tecnology, Longman Scientific and Tecnical (155) s.

Ramachandran, V.S. 1995. Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications, New Jersey.

Ramachandran, V.S. 2002. Concrete admixtures handbook, Standard Publishers, New Delhi.

Roberts, L.R. 1995. Dealing with cement admixture interactions, 23rd Annual Convention of the Institute of Concrete Technology, Telford, UK.

Saçak, M. 1998. Polimerlerin Sentezi: Polimer Kimyasına Giriş, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, , Ankara, No:50, 6-15.

Sarıdemir, H. 2006. Mineral ve süper akışkanlaştırıcı katkıların kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilme ve basınç dayanımına etkisi. *Yüksek Lisans*, ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Kayseri.

Serinođlu, Y.N. 2011. Akışkanlaştırıcı katkı miktarının taze beton ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Afyon.

Topçu, İ.B., Demir, A., Bođa, A.R. 2004. Akışkanlaştırıcı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Taze Beton Özelliklerine Etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (434): 38-40.

TS EN 196-1, 2016. Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, Ankara.

TS EN 197-1, 2012. Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.

TS EN 934-2+A1, 2013. Kimyasal katkılar, Beton, harç ve şerbet için, Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları, TSE, Ankara.

TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, TSE, Ankara.

Uchikawa, H. 1994. Hydration of Cement and Structure Formation and Properties of Cement Paste in the Presence of Organic Admixture, Importance of Recent Microstructural Developments in Cement and Concrete, Sherbrooke, Canada.

Yousaf, M., Siddiqi, Z.A., Sharif, B., and Khan, A.H. 2013. Performance of 3rd Generation Locally Available Chemical Admixtures in the Production of SCC. Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences, 12, 9-20.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa BAYAR
Doğum Yeri ve Tarihi : Milas/MUĞLA
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl) :
Lise : Milas Endüstri Meslek Lisesi - Elektrik
Ön Lisans : Gazi Üniversitesi - Kontrol ve Otomasyon
Lisans : Gazi Üniversitesi - Yapı Öğretmenliği
Lisans : Balıkesir Mühendislik Fakültesi - İnşaat Müh.
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Uludağ Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik
Daire Başkanlığı 2005 - Halen Çalışıyor

İletişim (e-posta) : mustafa48200@uludag.edu.tr