



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



CLADOPHORA'DAN ELDE EDİLEN
NANOSELÜLOZ LİFLERİN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA
VİSKOZİTE DÜZENLEYİCİ KATKI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Furkan TÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Furkan TÜRK tarafından hazırlanan “*Cladophora*’dan Elde Edilen Nanoselüloz Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Viskozite Düzenleyici Katkı Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 07/07/2021 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğıtim Enstitüsü İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri yeleri

Başkan

Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL

Danışman

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

ye

Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZTÜRK

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

*Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 220M129 nolu proje ile desteklenmiştir.

**Prof. Dr. Murat KAYA bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Furkan TÜRK

Tarih: 07/07/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CLADOPHORA'DAN ELDE EDİLEN NANOSSELÜLOZ LİFLERİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA VİSKOZİTE DÜZENLEYİCİ KATKI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Furkan TÜRK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
İkinci Danışman: Prof. Dr. Murat KAYA**

2021, 56 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL
Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZTÜRK**

Cladophora (su yosunu), ülkemiz genelinde neredeyse tüm akarsu ve göl kenarlarında ve deniz kıyılarında aşırı çoğalarak tonlarca miktara ulaşmaktadır. Bu su yosunu toplanmadığı durumda kokuşma ile su kirliliğine neden olmakta ve bu da bazıları içme suyu olarak kullanılan çok sayıda baraj gölünün su kalitesi üzerine olumsuz etki oluşturmaktadır. Tez çalışmasında, özellikle Türkiye’de bol bulunan ve geri dönüşümü sağlanmadığında çevre kirliliğine sebep olan *Cladophora* cinsi yeşil algden elde edilen nanoselüloz liflerin kendiliğinden yerleşen harçlar içerisinde viskozite düzenleyici katkı olarak kullanılması üzerinde çalışılmıştır. Nanoselüloz liflerin karışımlarda kullanılmasıyla harçlarda reolojik iyileştirme sağlarken aynı zamanda *Cladophora*’nın sahip olduğu lifsi yapı sebebiyle harçların mekanik özelliklerinde gelişme sağlanması amaçlanmıştır. Hazırlanan harçlar üzerinde mini slump, mini V hunisi, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Bununla birlikte, çimento pastalarının viskozite ve akma gerilmesi değerleri viskozimetre cihazı ile Bingham modeli oluşturularak elde edilmiştir. Sonuçta, çeşitli oranlarda kullanılan nanoselüloz lifler harçların viskozitesini, akma gerilmesini ve eğilme dayanımını geliştirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akma gerilmesi, *Cladophora*, kendiliğinden yerleşen harç, viskozite.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF NANOCELLULOSE FIBERS OBTAINED FROM CLADOPHORA AS A VISCOSITY MODIFYING AGENT IN SELF-CONSOLIDATING MORTARS

Furkan TÜRK

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Co-Advisor: Prof. Dr. Murat KAYA

2021, 56 Pages

Jury

Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL
Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZTÜRK

Cladophora (algae) grows excessively in almost all rivers and lakesides and sea coasts in our country, reaching tons of amount. When these algae are not collected, it causes water pollution by putrefaction, which has a negative impact on the water quality of many dam lakes, some of which are used as drinking water. In the thesis study, the use of nanocellulose fibers is obtained from a green alga species, *Cladophora*, which is abundant in Turkey and causes environmental pollution when not recycled, as viscosity regulates additives self-settling mortars has been studied. By using nanocellulose fibers in mixtures, it is aimed to provide rheological improvement in mortars while at the same time improving the mechanical properties of mortars due to the fibrous structure of *Cladophora*. Mini slump, mini V funnel, compressive, and bending tests were carried out on the prepared mortars. Viscosity and yield stress values of cement pastes were obtained by creating Bingham model with viscometer device. As a result, nanocellulose fibers used in various proportions improved the viscosity, yield stress, and flexural strength of the mortars.

Keywords: *Cladophora*, self-compacting mortar, viscosity, yield stress.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam ve sosyal hayatımda bana yol gösteren, değerli katkıları ve desteklerini benden esirgemeyen danışmanım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN'e teşekkür, şükran ve saygılarımı sunarım.

Çalışmama büyük katkıları olan, bu çalışmamda bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren ikinci danışmanım, Prof. Dr. Murat KAYA'ya şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez ve diğer çalışmalarım süresince benden her türlü yardımı esirgemeyen Arş. Gör. Murat SAYDAN'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 220M129 no'lu proje kapsamında tamamlanması nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Çalışmam ve eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen ve her daim yanımda olan kıymetli aileme sonsuz şükran ve saygılarımı sunarım.

Furkan TÜRK
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Betonun Sınıflandırılması	1
1.1.1. Agrega birim ağırlığına göre betonlar	1
1.1.2. Basınç dayanımlarına göre betonlar	2
1.1.3. Üretim yerlerine göre betonlar	2
1.1.4. Özel betonlar	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton	7
2.2. Viskozite Düzenleyici Katkılar	7
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Harç	10
2.4. <i>Cladophora</i>	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Çimento, agrega ve diğer malzemeler	15
3.1.2. Su yosunundan nanoselüloz lif üretimi	16
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Karışımların hazırlanması ve optimum oranların belirlenmesi	18
3.2.2. Taze harçlar üzerinde yapılan testler	20
3.2.3. Viskozite ölçümleri	21
3.2.4. Sertleşmiş harçlar üzerinde yapılan testler	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	26
4.1. Harçların Basınç-Eğilme Dayanımı	26
4.1.1. Welan sakızlı katkılı numuneler	26
4.1.2. Selüloz nanolif katkılı numuneler	28
4.2. Reoloji Sonuçları	29
4.2.1. Akış süresi ve yayılma çapı	29
4.2.2. Viskozite ölçümleri	31
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
5.1 Sonuçlar	37

5.2 Öneriler	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

τ_0	:Akma gerilmesi
τ	:Kesme gerilmesi
γ	:Kesme hızı
μ_p	:Plastik viskozite
nm	:nanometre
μm	:mikrometre

Kısaltmalar

ACI	: Amerika Beton Enstitüsü
C ₃ A	: Trikalsiyum Alüminat
CNSL	: <i>Cladophora</i> Nanoselüloz Lif
CNC	: Selüloz Nanokristal
EFNARC	: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
FT-IR	: Fourier Dönüşüm Kızılötesi
HCl	: Hidroklorik Asit
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYH	: Kendiliğinden Yerleşen Harç
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NS	: Nanoselüloz
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SP	: Süper Akışkanlaştırıcı
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
VDK	: Viskozite Düzenleyici Katkı
XRD	: X Işını Kırınım Yöntemi
WS	: Welan Sakızı

1. GİRİŞ

Günümüzde yapı malzemeleri denildiğinde akla ilk gelen malzeme çimento ve bağlayıcı olarak içerisinde çimento kullanılan betondur. Beton içerisinde çimento, su ve agrega içeren, çimento ile suyun ekzotermik bir kimyasal reaksiyonu (hidratasyonu) sonucu sertleşen, yeryüzünde en çok kullanılan yapı malzemeleri arasında yer alan bir yapı taşıdır. Beton, istenilen özelliklere bağlı olarak kaba ve ince agregaların optimum gradasyon aralığında, maksimum doluluk oranını sağlayacak şekilde agrega içerir. D tane büyüklüğü değeri 4 mm veya daha düşük olan agregalara ince agrega, D tane büyüklüğü değeri 4 mm veya daha büyük olan agregalara ise iri agrega adı verilir (TSE, 2009).

Her geçen gün insanların ihtiyaçlarının ve konfor beklentilerinin artması bu beklentileri karşılayabilecek yapıların inşa edilmesine yol açmıştır. İnsanlığın yer aldığı neredeyse tüm coğrafyalarda betona karşı ilgi artmakta, hatta geleneksel yöntemler artık yetersiz kalmaktadır. Beton, başlangıçta barınma ihtiyaçlarını karşılamak için inşa edilen yapılarda kullanımı yaygınlaşmış, ardından çeşitli amaçlar doğrultusunda inşa edilen yapılarda da (enerji, ulaşım, altyapı vb.) tercih edilen bir yapı malzemesi olmuştur.

Beton kullanım alanına ve üretim şartlarına göre şekillenen ve ihtiyaç doğrultusunda içeriği değiştirilerek özel olarak üretilen bir yapı malzemesidir. İçerdiği agreganın birim ağırlığına, basınç dayanımlarına veya içerdiği katkı maddelerine göre sınıflandırılabilmektedir.

1.1. Betonun Sınıflandırılması

Betonlar çeşitli özelliklerine bağlı olarak dört ayrı sınıflarda incelenmektedir. Beton karışımlarında kullanılan agregaların birim ağırlığına göre, karakteristik basınç dayanımlarına göre ve üretim yerlerine göre sınıflandırmanın yanı sıra, bir takım özel ihtiyaç ve kullanım alanlarına göre üretilen özel betonlar, dördüncü grubu oluşturmaktadır.

1.1.1. Agregası birim ağırlığına göre betonlar

- Hafif beton

Etüv kurusu durumundaki birim hacim ağırlığı 800 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 arasında olan betonlara hafif beton adı verilmektedir (TSE, 2017). Hafif betonlar yapılarda hem yalıtım hem de dayanım amaçlı kullanılabilirlerdir.

- **Normal beton**

Etüv kurusu durumundaki birim hacim ağırlığı 2000 kg/m^3 ile 2600 kg/m^3 arasında olan betonlara normal beton adı verilmektedir (TSE, 2017). Normal beton inşaat sektöründe en çok kullanılan beton türüdür.

- **Ağır beton**

Etüv kurusu durumundaki birim hacim ağırlığı 2600 kg/m^3 'den büyük olan betonlara ağır beton adı verilmektedir (TSE, 2017). Ağır betonlar, nükleer santrallerde, tıbbi birimlerde ve radyoaktif geçirimsizliğe ihtiyaç duyulan yapılarda radyoaktif ışınlar karşısında koruma sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Topçu, 2003).

1.1.2. Basınç dayanımlarına göre betonlar

- **Yüksek dayanımlı beton**

Basınç dayanım sınıfı C50/60'den daha yüksek dayanımlı olan normal veya ağır beton ve basınç dayanım sınıfı LC50/55'den daha yüksek olan hafif betonlara yüksek dayanımlı beton adı verilir (TSE, 2019).

- **Normal dayanımlı beton**

Beton basınç dayanımı C50/60'dan daha düşük dayanımlı olan betonlara normal dayanımlı beton adı verilir.

1.1.3. Üretim yerlerine göre betonlar

- **Şantiye betonu**

Beton bileşenleri şantiyede karıştırılan, şantiyede üretilen betondur.

- **Santral betonu**

Hazır beton santrallerinde üretilen ve transmikser adı verilen araçlar ile inşaat alanına getirilen betondur.

1.1.4. Özel betonlar

Geleneksel beton içeriklerine ek olarak kimyasal, mineral ve diğer türdeki katkı maddelerin kullanılmasıyla veya içerdiği agrega özelliklerinin ihtiyaç doğrultusunda seçilmesiyle üretilen betonlara özel betonlar adı verilmektedir. Özel betonlar içerisinde kullanılan katkı maddeleri, beton özelliklerini istenilen yönde geliştirmek, betonun yerleştirilmesinde, sıkıştırılmasında, yüzeyinin düzeltilmesinde kolaylık sağlamak ve daha ekonomik bir beton elde edebilmek amacıyla kullanılmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2007).

- **Lifli beton**

Beton çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Yüksek basınç dayanımına sahip olması, taze halde taşınabilmesi, yangın direncine sahip olması ve durabilitesinin yüksek olması vb. gibi özellikleri avantaj olarak sayılabilirken, düşük eğilme dayanımı, düşük duktilite ve çeşitli sebeplerden dolayı çatlakların oluşabilmesi de betonun dezavantajları olarak sayılabilir (Gambhir, 2013). Birçok çalışmada çeşitli doğal, inorganik veya organik lifler betonun bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve beton performansını arttırmak amacıyla kullanılmıştır (Gao ve ark., 1997; Sanjuán ve Moragues, 1997; Reis, 2006; Hsie ve ark., 2008; Merta ve Tschegg, 2013). Ayrıca, beton içerisinde kullanılan lifler betonun, geleneksel betona kıyasla, daha yüksek basınç dayanımı, daha yüksek bir enerji yutma kapasitesi, aşınma ve yıpranmaya karşı daha fazla direnç kazanmasını sağlar (Gambhir, 2013).

- **Polimer betonu**

Çok sayıda küçük molekülün birbirine bağlanmasıyla makro moleküller (monomerler) oluşur. Çok sayıda monomerin polimerizasyon olarak adlandırılan reaksiyon sonucu birleşmesiyle oluşan yapıya ise, polimer adı verilir (Ođian, 2004). Genel olarak polimerler, geleneksel betondan daha yüksek çekme ve basınç mukavemetine sahip malzemelerdir (Neville ve Brooks, 2010).

Çimento harcı ve beton, yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, priz süresi, düşük çekme dayanımı, kuruma çatlakları, kimyasal etkilere karşı düşük direnç gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajlardan bazıları, polimer modifiyeli çimento, harç veya beton kullanılarak giderilebilmektedir (Ramachandran, 1996). İçerisinde polimerlerin kullanıldığı betonlara polimer betonu adı verilir ve uygulama yöntemine

göre polimer beton, lateks ile modifiye edilmiş beton ve polimer emdirilmiş beton olarak sınıflandırılabilir.

Beton karışımına polimer ilavesi beton özelliklerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır. Polimer betonlar için önce suda veya çok nemli havada ve daha sonra kuru hava ortamında gibi farklı kür şartları oluşturmak gerekli olduğu için su altı yapılarının inşasında kullanılması mümkün olmamaktadır. Beton karışımlarına aşağıda verilen farklı polimer formları eklenebilmektedir (Czarnecki ve ark., 2010).

a. Dispersiyonlar: 200-1.000 nm polimer parçacıkları genellikle su içerisinde dağıtılarak lateks olarak bilinen ürünler elde edilerek beton karışımlarına eklenir. Betona eklenen en yaygın polimer biçimleridir, örneğin sentetik kauçuk lateksleri, stiren bütadien kauçuk lateks (SBR), akrilik polyester, etilen-vinil asetat kopolimer (EVA), stiren akrilik kopolimer.

b. Emülsiyonlar: Sıvı makromoleküler bileşiklerin (reçineler) mikro damlacıkları (1.000 - 5.000 nm) dağınık fazı oluşturur. Epoksi reçineler bu şekilde uygulanır.

c. Yeniden dağılılabılır polimer tozlar (RDP): Genellikle 1 ila 10 µm aralığında partiküllerden oluşan tozlar beton karışımına eklenir. Örneğin, etilen-vinil asetat kopolimer (EVA), stiren akrilik kopolimer gibi.

d. Polimerlerin su çözeltileri: Polivinil alkol (PVA), metil selüloz gibi selüloz türevleri polimerlerin su çözeltileri ve poliakrilamid.

e. Sıvı sentetik reçineler.

- **Prepakt beton**

Prepakt beton “İri agreganın bir forma yerleştirilmesi ve daha sonra boşlukları doldurmak için genellikle katkılarla bir portland çimentosu-kum harcı enjekte edilmesiyle üretilen beton” olarak tanımlanabilmektedir (ACI, 2000). Prepakt beton özellikle su altı yapılarının inşasında, sık donatılı bölgelerde, ağır (yüksek yoğunluklu) beton üretilmesinin gerekliliği olduğu vb. gibi yerlerde kullanılabilir (Stodola ve ark., 1991).

- **Kendiliğinden yerleşen beton**

Japonya’da kalifiyeli inşaat işçilerinin bulunamaması ve beton yerleştirmede işçilik hatalarının doğurduğu yapı kalite sorunlarına çözüm olarak 1986 yılında Tokyo Üniversitesi bilim adamı Okamura tarafından, işçiliğe gerek duyulmaksızın kendi ağırlığı ile kalıbın her noktasına yerleşen ve sıkışan bir beton türü ortaya atılmıştır

(Okamura ve Ouchi, 1999). Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) ek bir vibrasyon, sıkıştırma işlemine gerek duymaksızın kalıba yerleşebilen, en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak sıkışan ve düzlenen, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmayan, kohezyonunu koruyan, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu ve Baradan, 2004). KYB içerisinde geleneksel betona benzer bir şekilde ancak, geleneksel betondan daha yüksek miktarlarda akışkanlığı sağlamak üzere kimyasal kökenli süper akışkanlaştırıcılar kullanılmaktadır. Kimyasal akışkanlaştırıcılarla birlikte karışımlarda betonun yeterli akışkanlığını sağlamak için iri agrega içeriği optimum olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu sebeple KYB içerisinde geleneksel betona kıyasla daha düşük maksimum agrega çapı seçilmekte ve daha az miktarda iri agrega kullanılırken, ince malzeme içeriği daha yüksek tutulmaktadır (Kurdowski, 2014).

Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının göstermesi gereken dengeli plastik viskozite ve düşük akma gerilmesi, yüksek miktarlarda toz malzeme kullanımı, düşük su/bağlayıcı oranının seçilmesi (De Larrard, 1999) ve polikarboksilat veya polikarboksilik esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkıların kullanılması yoluyla sağlanabilmektedir. KYB'de toz malzeme içeriğini ve viskoziteyi arttırmak amacıyla kül, taş tozu, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi çeşitli puzolanik ve mineral katkıları kullanılabilmektedir (Khayat ve Guizani, 1997). Öğütülmüş tanecikli yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik ilaveler arasında, parçacıklarının küresel şekli nedeniyle beton işlenebilirliğinde en sık kullanılan ilave türü uçucu küldür. KYB'nin viskozitesini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan mineral ilavesi ise kireçtaşı tozudur (Nawa, 1999). İnce malzemeleri kullanmanın yanında, KYB'de viskoziteyi arttırmak için viskozite düzenleyici katkıları da (VDK) kullanılabilmektedir. VDK, TS EN 934-2' de tanımlanan bir su tutucu katkıdır.

Teknolojideki gelişmeler, beton ve yapı malzemelerinde de gelişmelere sebep olmaktadır. Başka amaçlarla üretilen malzemelerin beton içerisinde kullanılması günümüzde mümkün hale gelmektedir. Özellikle mikro ve nano boyuttaki materyallerin kullanılması ile çevre dostu ve sürdürülebilir bir malzeme elde etmek mümkündür. Bu tez çalışmada amaçlanan, özellikle Türkiye'de bol bulunan ve geri dönüşümü sağlanmadığında çevre kirliliğine sebep olan *Cladophora* isimli yeşil algden elde edilecek olan nanoselüloz liflerin (CNSL) kendiliğinden yerleşen harçlar (KYH) içerisinde VDK olarak kullanarak reolojik iyileştirme sağlamak ve aynı zamanda

Cladophora'nın sahip olduğu lifsi yapı sebebiyle KYH'ların mekanik özelliklerinde gelişme sağlamaktır.

Kıyı alanlarında oluşan şiddetli ötrofikasyon (su kirliliği) zamanımızın en büyük çevresel tehditlerinden biridir. Sudaki endüstriyel kirleticiler tarafından tetiklenen yeşil alglerin aşırı çoğalması, ekosistemlerin kırılğan dengesini tehlikeye atmaktadır (Jousson ve ark., 2000). Bu tez çalışması kapsamında VDK üretiminde kullanılacak olan *Cladophora*, özellikle sığ suların yüzeyini halı gibi kaplayan bir yeşil alg cinsidir. Yaz mevsiminde akarsularda su seviyesinin düşmesiyle (10-50 cm), tüm su yüzeyini kaplayarak ve sıcaklığında etkisiyle bozularak kokuşma yapmaktadır. Sudan toplanmadığı durumlarda ise ötrofikasyon olarak bilinen su kirliliğine neden olmaktadır. Ötrofikasyon sonucunda; dip tabakada oksijensiz ortam, içme ve kullanma açısından uygun olmayan su kaynağı, su ortamında yaşayan canlıların sayısında azalma, istenmeyen türlerin çoğalması, koku problemi, rekreasyon için uygun olmayan ortam oluşmaktadır. *Cladophora* cinsi algler yaşlandıkça ölürken, suya karışarak yoğun bir su örtüsü oluşturur ve diğer su yaşam formlarına zarar verirler. Algler bakteriler tarafından ayrıştırılarak su tabanına iner fakat bu ayrıştırma işlemi yüksek miktarda oksijen tüketilmesine ve su yüzünde oksijen azalmasına neden olur (Mihryan, 2011). Tez çalışması kapsamında doğada atık duruma düşen bu su yosunundan selüloz nanoliflerinin üretilmesi amaçlanmıştır. Daha sonra üretilen lifler KYH içerisinde belirli oranlarda kullanarak harçların viskozitesi ve akma direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. KYH içerisinde kullanılacak olan CNSL sayesinde hem karışımın maliyetini arttıran ve sünme, rötre gibi sorunlara yol açan ince malzeme miktarı azaltılacak hem de doğadan elde edilen malzemeler beton içerisinde kullanılmış olacaktır. Çalışmada selüloz kaynağı olarak *Cladophora* cinsinin seçilmesinin sebebi ise, ülkemiz genelinde özellikle yaz mevsiminde neredeyse tüm akarsu ve göl kenarlarında ve deniz kıyılarında aşırı çoğalarak tonlarca miktara ulaşmasıdır. Yaz mevsiminde yaptığımız ön araştırma sonucunda, sadece Kızılırmak içerisinde yüzlerce ton *Cladophora*'nın ürediği görülmüştür. Kızılırmak üzerinde üreme gösteren bu su yosunu toplanmadığı durumda kokuşma ile su kirliliğine neden olmakta ve bu da Kızılırmak üzerinde bulunan, hatta bazıları içme suyu olarak kullanılan çok sayıda baraj gölünün su kalitesi üzerine olumsuz etki oluşturmaktadır (Cüce ve ark., 2011). Yapılan çalışmada biyolojik bir atık, teknolojik bir ürüne dönüştürülerek su kirliliğinin önüne geçilebilmesi hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Özel bir yüksek performanslı beton türü olan kendiliğinden yerleşen beton (KYB), deformasyon yeteneğine ve yüksek stabiliteye sahip olmalıdır (Okamura ve Ouchi, 2003). Yüksek akıcılık ile plastik viskozite arasındaki dengeyi koruyarak uygun reolojide elde edilen KYB'nin doldurma, geçme ve ayrışma direncine sahip olması gerekir (Ozawa, 1989; Bartos ve Marrs, 1999). KYB, dar alanlarda ve sık donatı durumunda herhangi bir ek enerjiye ihtiyaç duymaksızın yatay mesafelere yayılabilmeli, kendi ağırlığı altında kalıbı tam olarak doldurmalıdır (Goodier, 2003). KYB'nin doldurma yeteneği genellikle betonun çökmesine ve akış hızına bağlı olarak çökme akışı (slump flow), T₅₀₀ süresi, V hunisi testi gibi deneyler ile belirlenmektedir. Donatı çubuklarının arasındaki açıklıklardan ve dar alanların içinden/etrafından betonun geçmesi gerekmektedir. Bu durum KYB'nin geçme yeteneği olarak ifade edilmektedir (Shi ve ark., 2015). Karışımın geçme yeteneğini arttırmak için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Çimento pastası hacminin artırılması ile agregalar arasındaki sürtünme kuvvetleri azaltılabilir, maksimum agrega dane boyu azaltılabilir, agrega pürüzlülüğü artırılarak çimento pastası-agrega arayüzü güçlendirilerek agregaların harç fazı içerisinde askıda kalması sağlanabilmektedir (Khaleel ve ark., 2011; Shi ve ark., 2015; Habibi ve Ghomashi, 2018). Bunlarla birlikte beton, yerleşirken ve yerleştikten sonra ayrışma eğilimi göstermemesi (segregasyon direnci), homojenliğini koruması gerekmektedir.

2.2. Viskozite Düzenleyici Katkılar

Beton hassas bir yapı malzemesidir. Üretim şartları, nem durumu, hava sıcaklığı, şantiye koşulları, agrega nem durumları vb. gibi koşullardan oldukça etkilenen bir yapıya sahiptir. VDK şantiye ve üretim şartlarına karşı daha dayanıklı bir beton üretiminde kullanılabilen bir katkı malzemesidir. Uygun beton reolojisi elde edebilmek için işlenebilirlik ve plastik viskozite arasındaki dengeyi sağlamak gerekir. Akıcılığı arttırmak için kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıların sebep olduğu viskozite düşüşünü telafi edebilmek için çoğu zaman VDK'lar kullanılmaktadır. VDK'lar kendiliğinden yerleşen betonlardaki ayrışmayı azaltmak, su altı betonlarında yıkanmayı

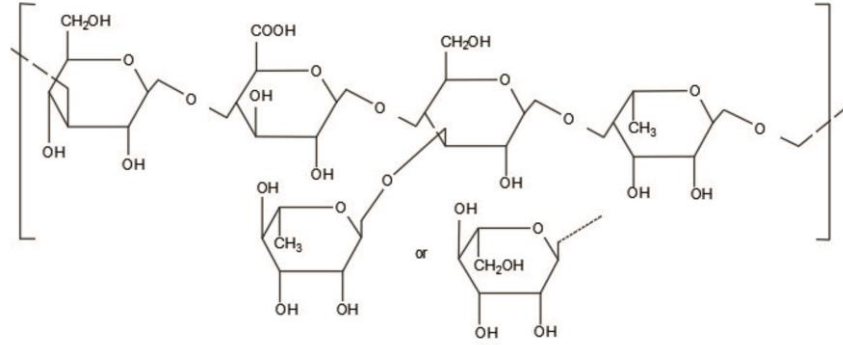
azaltmak, pompa betonlarındaki sürtünmeyi azaltmak, kendiliğinden yerleşen betondaki toz içeriğini azaltmak, terlemeyi azaltmak vb. gibi sebeplerden dolayı kullanılmaktadır (Hisseine ve ark., 2018). Su altı betonlarının yüksek viskozite, kendiliğinden kalıba yerleşme ve deniz suyu ile karışıma karşı dirençli olma özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Su-beton arayüzündeki hızın azaltılmasıyla, matris içerisinde asılı çimento ve toz malzemenin çevresindeki suyla karışmasının önüne geçilebilmektedir. Yıkama direncindeki bu gelişme, su altı beton dökümünün kalitesini önemli ölçüde artırabilir. Bundan dolayı su altı beton yerleşimlerinde viskoz bir akış arzu edilmektedir (Kawai, 1987; Khayat, 1991). Su altı betonlarında viskoziteyi arttırmak için VDK kullanılabilir. VDK'nın betonun sarkmaya karşı yeterince direnç göstermesi gereken yerlerde (örneğin püskürtme beton kaplaması) de kullanılması oldukça kolaylık sağlamaktadır.

VDK'nın beton teknolojisinde en yaygın kullanımı KYB'lerdir. KYB performansını etkileyen en önemli etkenlerden birisi betonda ayrışmadır (segregasyon). Literatürdeki çalışmalardan betonun içerisine silis dumanı, uçucu kül, kireçtaşı tozu gibi ince toz haline getirilmiş malzemeler katılarak betonun işlenebilirliğinin artırılabilirliği bilinmektedir (Jalal ve ark., 2013; Benaicha ve ark., 2015; Güneyisi ve ark., 2015; Larsen ve Naruts, 2016). Uçucu kül ve öğütülmüş granül yüksek fırın cürufunun kullanılması, süper akışkanlaştırıcının dozajının azaltılmasını ve betonların işlenebilirliğinin artırılmasını sağlar, ancak yerleşme süresini yavaşlatır ve erken dayanımı düşürmektedir (Sonebi, 2004). Buna karşın beton viskozitesini arttırmak için ticari olarak kullanılan, polimerik kökenli VDK'lar bulunmaktadır. Bazı VDK'lar kolloidal silika gibi ince inorganik malzemelere dayanırken, diğerleri stiren-maleik anhidrit terpolimerleri ve hidrofobik olarak değiştirilmiş etoksile edilmiş üreanlar (HEUR) gibi daha karmaşık sentetik polimerlerden oluşur. İyi tasarlanmış bir kendiliğinden yerleşen betonda en önemli iki kriter vardır. Bunlardan birincisi beton deformasyon kabiliyetinin yeterli seviyede olması gerektiği, ikincisi ise neredeyse mükemmel denilecek bir stabilite yeteneğidir. Kendiliğinden yerleşen betonda deforme olma şartını yerine getirebilmek için artan miktarlar içerecek şekilde yüksek aralıkta su azaltıcı katkı maddeleri ve azaltılmış bir maksimum kaba agrega büyüklüğü gerekmektedir. Stabilite şartlarını yerine getirebilmek için ise geleneksel beton karışımına göre daha yüksek miktarda bağlayıcı oranı içermesi gerekmektedir. Ancak karışımlara VDK'nın da dahil edilmesi durumunda karışım viskozitesi ve homojenliği artacaktır. Bu şekilde bağlayıcı talebinin azaltılması sağlanabilmektedir (Khayat ve

Assaad, 2002). Sonuç olarak, değişken yoğunluklu bileşenlerin ayrılma eğilimi zayıflatılır ve sertleşmiş ürün geliştirilmiş olur (Hisseine ve ark., 2018). Ayrıca VDK, KYB'nin agreganın nem içeriğindeki değişikliklere karşı hassaslığını azaltır, malzeme özelliklerindeki küçük değişikliklerin etkisini en aza indirilir, düşük toz malzeme kullanımına olanak sağlar, ayrışma riski olmadan daha fazla sıvı karışımın kullanılmasına olanak sağlar, yerleştirme oranını iyileştirir, daha düşük ayrışma ve terleme riski sağlar, daha iyi yüzey görünümü sağlar (EFNARC, 2005).

Kawai (1987) VDK'ları a) nişasta içeren doğal polimerler, doğal sakızlar ve bitki proteinleri, b) ayrıştırılmış nişasta ve türevlerini içeren yarı sentetik polimerler ve c) polietilen oksit gibi etilen bazlı ve polivinil alkol gibi vinil bazlı polimerler olarak üç başlık altında toplamıştır. VDK'ların çalışma prensibi kullanılan polimerin tipine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Örneğin welan sakızı (WS) ve selüloz türevleri gibi uzun zincirli polimer moleküllere sahip katkılar su molekülleri çevresine yapışarak karıştırma suyunun bir kısmını emer ve sabitler. Bu sayede karışımın viskozitesinin arttığı düşünölmektedir. Aynı zamanda bitişik polimer zincirlerindeki moleküller de iç içe geçer ve çekici kuvvetler geliştirir, böylece serbest suyun hareketi daha da engellenerek karışımın jelleşmesine ve harcın daha yüksek viskozite sergilemesine neden olur (Izumi, 1990). *Alcaligenes* bakterilerinin fermantasyon ürünü olan WS, şeker omurgalarına sahip uzun zincirli bir biyopolimerdir (Allen ve ark., 1990). Yüksek sıcaklıkta bile yüksek konsantrasyonda kalsiyum iyonları ile alkalın çözeltisinde viskozitenin korunmasında etkilidir (Sakata ve ark., 2001; Phyfferoen ve ark., 2002). Beton ve harç karışımlarında su kusmayı ve ayrışmayı engellemek üzere stabilizatör olarak kullanılabilen mikrobiyal polisakkarit olan WS'nin sakkarit birimlerinin moleküler yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir (Sonebi, 2006; León-Martínez ve ark., 2014). VDK olarak kullanılabilen bir diğer polisakkarit fermantasyon ürünü ise diutan sakızıdır. Diutan sakızının zincir yapısı, WS'den farklıdır. Diutan sakızı iki ramnoz yan zincire sahipken, WS sadece bir ramnoz ve bir mannoz zincire sahiptir. Ayrıca, diutan sakızının molekül uzunluğu WS molekül uzunluğundan 3 kat daha büyüktür (Sakata ve ark., 2001). Diutan sakızı çimento harçlarına eklendiğinde, kontrol harcına kıyasla bir kayma inceltici davranış sergiler (Sonebi, 2006). Diutan sakızı eklenmiş harç, düşük kesme hızlarında, polimerin dolanması ve iç içe geçmesinden dolayı yüksek bir görünür viskozite gösterir. Yüksek kesme hızlarında ise, viskozite, polimerin akış doğrultusu boyunca hizalanması nedeniyle azalır, böylece harcın akışkanlığı artmış olur. WS ile karşılaştırıldığında, diutan sakızının daha fazla kayma

incelmesi olduğu, aynı süperakışkanlaştırıcı dozajında ve düşük kayma oranlarında daha yüksek viskozite sergilediği gözlenmiştir. Bu fark, yüksek molekül ağırlıklı ve daha uzun diutan zankı zincirinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Cano-Barrita ve León-Martínez, 2016).



Şekil 2.1. Welan sakızı moleküler yapısı (Plank, 2005)

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Harç

KYB geleneksel betona göre daha az miktarda iri agrega içerdiği ve iri agreganın uygun viskoziteye sahip bir faz içinde askıda kalması hedeflendiği için, KYB’de istenilen reolojik özelliklerin elde edilmesinde ince agrega ve çimento pastasının oluşturduğu harç etkili olmaktadır (Su ve ark., 2001; Brouwers ve Radix, 2005; Domone, 2006). Literatürde kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımların viskozitesinin artırılması dolayısıyla ayrışmanın azaltılması amacıyla bakteri hücre duvarı, uçucu kül, kireç taşı tozu, mermer-tuğla tozu, silis dumanı, metakaolin kullanıldığı bilinmektedir (Felekoğlu ve ark., 2006; Şahmaran ve ark., 2006; Leemann ve Winnefeld, 2007; Türkel ve Altuntaş, 2009; Turk, 2012; Pei ve ark., 2015). Bu çalışmalar içerisinde bazılarının detayları aşağıda verilmiştir.

Felekoğlu ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, uçucu kül ve kireçtaşı tozunu kendiliğinden yerleşen harçlarda kullanmış, tozların miktarı ve türüne göre taze hal reolojisi ve mekanik performans üzerindeki etkileri araştırmıştır. Toz malzemelerin harçların akış özellikleri ve mukavemet üzerindeki etkisi mini slump, mini V-hunisi, viskozite ölçümleri ve basınç dayanımı testleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, en ince kireçtaşı tozu hariç diğer katkıların tamamının viskoziteyi arttırdığı belirtilmiştir.

Sonebi M., (2006) yaptığı bir çalışmada, diutan sakızı ve welan sakızını çimento bazlı harçlara katkı malzemesi olarak kullanmış ve bu malzemelerin harçların reolojisi

üzerindeki etkilerini kıyaslamıştır. Yapılan çalışmada bağlayıcı ağırlığınca çeşitli oranlarda (%0.02, 0.04, 0.06 ve %0.08), diutan sakızı ve WS katkıları ile karışımlar hazırlanarak reolojik parametreler karşılaştırılmıştır. Ayrıca çimento ikamesi olarak toz haline getirilmiş uçucu kül çeşitli oranlarda (%5, 13 ve %20) kullanılmıştır. Sonuç olarak, belirli bir akışkanlaştırıcı dozajı için diutan sakızı ve WS dozajının artmasının, görünen ve plastik viskoziteyi önemli ölçüde arttırdığı ve akışkanlığı azalttığı görülmüştür. Belirli bir SP dozajı için, diutan sakızı ilave edilen karışımlar, WS ilave edilen karışımlara göre daha yüksek plastik viskozite göstermiştir. Ayrıca çimentonun uçucu kül ile değiştirilmesinin, plastik viskozitede bir artışa neden olduğu görülmüştür.

Şahmaran ve ark., (2006) uçucu kül, tuğla tozu, kireçtaşı tozu gibi çeşitli mineral katkıların kendiliğinden yerleşen harçlar üzerindeki reolojik etkilerini incelemiştir. Çalışmada karışımların su/bağlayıcı oranları sabit tutulmuş, işlenebilirlik parametresi mini slump ve mini V hunisi ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ise kullanılan mineral katkı maddeleri arasında uçucu kül ve kireçtaşı tozunun KYH'ların işlenebilirliğini önemli ölçüde artırdığı sonucuna varılmıştır.

Pei ve ark., (2015) çalışmasında, bakteri hücre duvarlarının ana bileşeni olan peptidoglikanın yaygın olarak kullanılan VDK'ların yapısına benzediği için bakteri hücre duvarı ile değiştirilen çimento hamurunun reolojik ve diğer taze özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak; çeşitli su/bağlayıcı oranlarında hazırlanan çimento hamurlarının kontrol karışımına göre daha yüksek viskozite, harçların ise, yüksek ayrışma direnci gösterdiği belirtilmiştir.

2.4. *Cladophora*

Beton endüstrisinde atık ürünlerin değerlendirilmesi ve yenilenebilir kaynaklardan hammadde eldesi gibi çeşitli konular üzerinde çalışmalar sık bir şekilde yapılmaktadır. Doğadan doğrudan temin edilebilen ve yapı malzemeleri disiplini içinde kullanımı yaygınlaştırılmak istenen türler arasında en bilinenleri bitkisel liflerdir. Bitkisel lifler, hücresel bir yapıya sahip doğal kompozitlerdir. Bitkisel lifler içerisinde çekme dayanımı en yüksek lif çeşitlerinden biri selüloz lifdir. Selüloz, glikoz birimleri içeren bir polimerdir (John ve ark., 2005). Selüloz lifler yüksek mukavemete sahiptir ve çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Ancak, farklı kaynaklardan elde edilen liflerin bileşimleri birbirleriyle aynı olmamasından dolayı (aynı kaynaktan elde edilen lifler bile) çimento matrisi içindeki davranışlarının farklılık göstermesi beklenir. Bu

durumlarda beton performansı etkilenebilir ve öngörülen bir beton elde etmek zorlaşır (Swamy, 1990; Li ve ark., 2006). Böylelikle doğal liflerin kullanım öncesi bir işleme tabii tutulmaları gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Doğal liflerin nano boyutlara indirgenmesi ve yapısal özelliklerinin sabit tutulması bahsedilen işlem olarak görülebilmektedir. Nano malzemeler inşaat mühendisliği alanında özellikle beton ve çimentonun performansını arttırmak için kullanılmaktadır. Performans etkilerinin yanı sıra sürdürülebilir ve çevreci bir beton elde etmek için kullanılmaya çalışılan nano malzemeler gelecek için oldukça umut vadeden malzemeler arasında yer almaktadır. Çevreci olarak nitelendirilebilen nano malzemeler arasında, dünyada oldukça bol bulunan ve yenilebilir kaynaklardan elde edilebilen nanoselülöz (NS) beton içerisinde kullanımı açısından oldukça uygun bir malzemedir. NS'nin betonun elastisite modülünü arttırması, hidrofilik yapıya sahip olması ve yüzey reaktivite özelliklerinin bulunması beton içerisinde kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Biyobozunur olması, düşük miktarda toksik içermesi, üretiminde düşük çevresel ve sağlık riskleri barındırması, düşük üretim maliyetine sahip olması NS'nin en önemli özellikleri arasında sayılabilir (Habibi ve Dufresne, 2008; Moon ve ark., 2011).

Farklı büyüme ortamı (deniz, kara) koşullarına göre adapte olan bitkiler ve mikroorganizmalar, çeşitli kristallik derecesinde farklı konformasyon ve polimerizasyon derecelerine sahip selüloz makromoleküller oluşturur (Zhou ve ark., 2019). Daha önceki selüloz araştırmalarından ipliksi bir yapısı olan yeşil su yosunu *Cladophora*'nın, geniş yüzey alanına ($>80 \text{ m}^2/\text{gr}$) ve yüksek kristalliğe ($>\%85$) (Mihryan ve ark., 2004) sahip bir selüloz yapısının olduğu bilinmektedir (Ek ve ark., 1998). Bu yeşil alg selülozunun (parçacık boyutu yaklaşık $10 \mu\text{m}$), daha katı görünen yüksek bitki selülozundan (parçacık boyutu yaklaşık $30 \mu\text{m}$) oldukça farklı olan gözenekli bir ağ veya süngere benzer bir yapısı vardır (Ek ve ark., 1994). Ayrıca Strømme ve ark., (2002) yüksek bitki selülozüne kıyasla alg selülozlarının yaklaşık 16 kat daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu belirtmektedir. Dahası ipliksi bir yapıda olan *Cladophora*, aşırı büyümeden dolayı kıyı bölgelerini kirleterek önemli bir çevre sorunu olan ötrofikasyona neden olmaktadır (Mihryan ve ark., 2008). Bu alglerin neden olduğu su kirliliğinin önüne geçebilmek için uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu da işçilik, zaman kaybı ve maliyet getirmektedir (Camacho ve ark., 2013).

Ardanuy ve ark., (2015) farklı kaynaklardan elde edilmiş selülöz lifler ile bir değerlendirme çalışması yapmış ve betonun mekanik özelliklerini iyileştirmesi bakımından çeşitli lif türlerini kıyaslamışlardır. Sonuçta, selüloz lif katkısının betonun

eğilme dayanımı kapasitesinde %15-25 bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Ancak bu çalışmada, selüloz liflerin viskoziteye olan etkisi incelenmemiştir.

Cengiz ve ark., (2017) CNSL ve ticari pamuk selüloz liflerini beton içerisinde kullanmış, betonun eğilme dayanımına olan etkilerini incelemiş ve kıyaslamışlardır. Bağlayıcı ağırlığınca %5 CNSL eklenmiş numunelerin eğilme dayanımları referans numuneye göre 2,7 kat artış göstermiştir. Ancak bu çalışmada, *Cladophora*'nın nanolif özellikleri dikkate alınarak ürettikleri harç numunelerin sadece eğilme dayanımları ile ilgilenilmiş, reolojik özellikleri ile ilgili bir araştırma yapılmamıştır.

Fu ve ark., (2017) yaptıkları bir çalışmada farklı kaynaklardan elde edilen nanoselüloz kristallerini çimento pastası içerisinde katkı olarak kullanarak, çimento pastasının eğilme dayanımını ve pastanın ısı değişimini araştırmışlardır. Fakat bu çalışmada da reoloji araştırması yapılmamıştır.

Hisseine ve ark., (2018) yaptıkları bir çalışmada kendiliğinden yerleşen beton içerisinde VDK olarak odun hamurundan elde edilen selüloz lifler kullanmış ve ticari olarak kullanılan VDK olan WS ile kıyaslamışlardır. Ticari VDK olarak kullanılan WS eğilme dayanımını ve viskoziteyi referans numuneye göre sırasıyla 1,6 ve 1,3 kat arttırmıştır. Buna karşılık aynı oranda kullanılan selüloz lif içeren karışımlar referans numuneye göre sırasıyla 1,5 ve 1,3 kat artış göstermiştir. Sonuç olarak odun hamurundan elde edilen selüloz liflerin VDK olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Bu çalışma değerlendirildiğinde farklı kaynaklardan elde edilen nano boyutlardaki selüloz liflerinde VDK olarak kullanılabilmesi sonucuna varılabilir. Yukarıdaki sebepler göz önüne alındığında, piyasada kullanılan ve pahalı olan (Lachemi ve ark., 2004) VDK'ların yerine, CNSL kullanılması durumunda harç karışımlarda istenilen reolojik özelliklerin elde edileceği beklenmektedir. Ayrıca, *Cladophora*'nın sahip olduğu lifsi yapı sebebiyle betonun hem mekanik özelliklerini iyileştirebileceği hem de viskozitesinin arttırabileceği düşünülmektedir.

Montes ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada ise, 0,30, 0,35 ve 0,40 su/çimento oranlarında hazırlanan çimento pastalarına kâğıt hamuru, pamuk lifi, odun talaşı, kâğıt endüstrisinden çıkan selüloz çamuru, *Cladophora* vb. gibi 9 farklı kaynaktan elde edilen selüloz nanokristal (CNC) eklemiştir. Bu katkıların çimento pastası üzerinde oluşturduğu akma gerilimi ve viskozite değişiklikleri Bingham modeli kullanarak araştırılmıştır. Bu araştırmada *Cladophora*'nın çimento hamurunun akma gerilmesini arttırdığı görülmektedir. Ancak bu çalışmada, sadece doğal kaynaklardan ve sanayi atıklarından elde edilen 9 adet farklı nanoselüloz kristal içeren çimento hamurları

reolojik yönden birbiri ile kıyaslanmasına rağmen, halihazırda ticari VDK olarak piyasada bulunan katkılar ile herhangi bir kıyas yapılmamıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

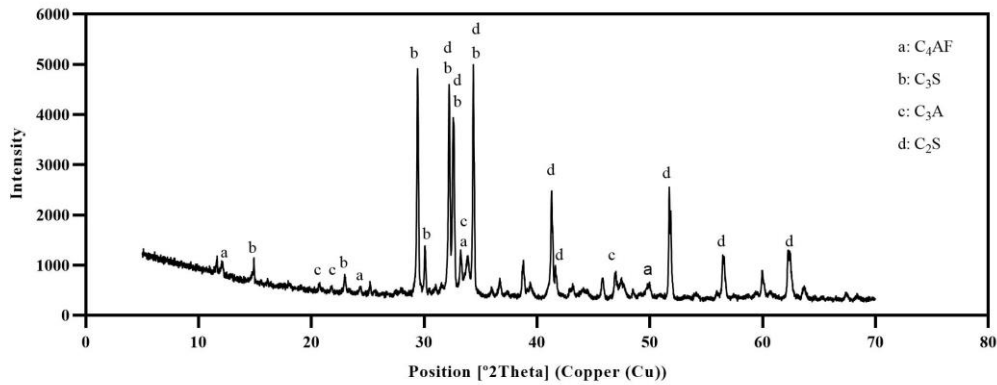
3.1.1. Çimento, agrega ve diğer malzemeler

➤ Çimento

TS EN 197-1'e uygun tüm çimentolar KYH üretiminde kullanılabilir. Normal olarak doğru çimento tipi seçimi, her uygulamanın özel gereklilikleri ile belirlenebilmektedir (EFNARC, 2005). Harçların hazırlanmasında Konya Çimento CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun bileşenleri Çizelge 3.1'de yapılan XRD test sonuçları ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal içeriği

Madde	Miktar (%)
SiO ₂	18,08
Al ₂ O ₃	4,27
Fe ₂ O ₃	3,59
CaO	62,67
MgO	1,06
SO ₃	3,42
K ₂ O	0,75
Na ₂ O	0,29
C ₃ S	42
C ₂ S	40
C ₄ AF	11
C ₃ A	7



Şekil 3.1. Kullanılan çimentonun kırınım deseni

➤ **Agrega**

Harçların hazırlanmasında agreganın parametre olarak sistemleri etkilememesi amacıyla TS EN 196-1'e uygun 2,58 gr/cm³ özgül ağırlığa ve %0,3 su emme oranına sahip CEN standart kum kullanılmış, iri agregaya kullanılmamıştır.

➤ **Su**

Karışımlarda kullanılacak su TS EN 1008'e uygun olması gerekmektedir. Bu çalışmada Konya şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

➤ **Viskozite düzenleyici katkı (VDK)**

VDK'lar, KYB içeriğindeki kumlarda parazitlerin veya tane büyüklüğü dağılımındaki değişikliklerin etkisini en aza indirmek, KYB'yi diğer bileşenlerin oranlarındaki ve durumundaki küçük değişikliklere karşı daha dayanıklı ve daha az hassas hale getirmek için kullanılmaktadır (EFNARC, 2005). Bu çalışmada VDK olarak yurtdışından getirilen, mikrobiyal polisakkarit türü olan ve ticari olarak kullanılan WS kullanılmıştır.

➤ **Süper akışkanlaştırıcı katkı**

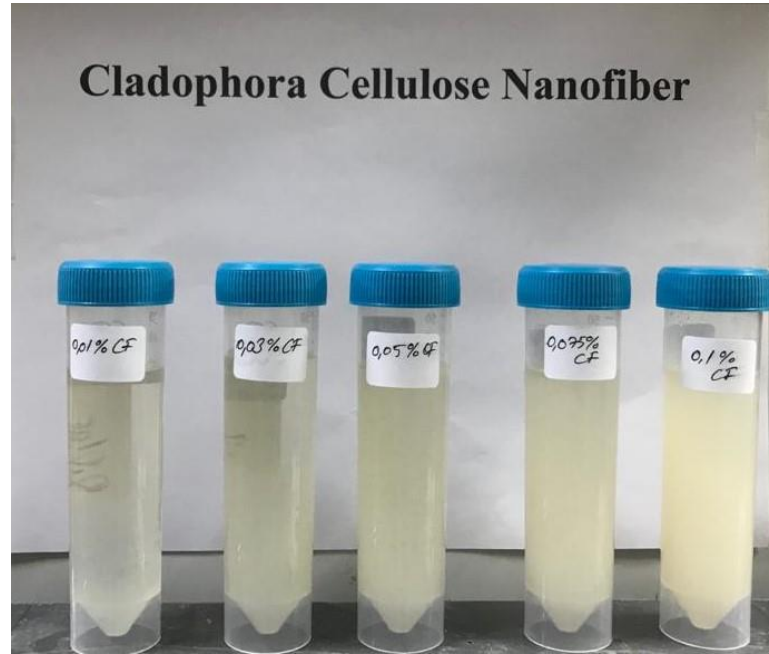
KYB/KYH üretiminde kullanılan temel kimyasal katkı süper akışkanlaştırıcı katkıdır. Bu çalışmada TS EN 934-2'e uygun yüksek oranda su azaltma kapasitesine sahip olan Sika Viscocrete PC-15 süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

3.1.2. Su yosunundan nanoselüloz lif üretimi

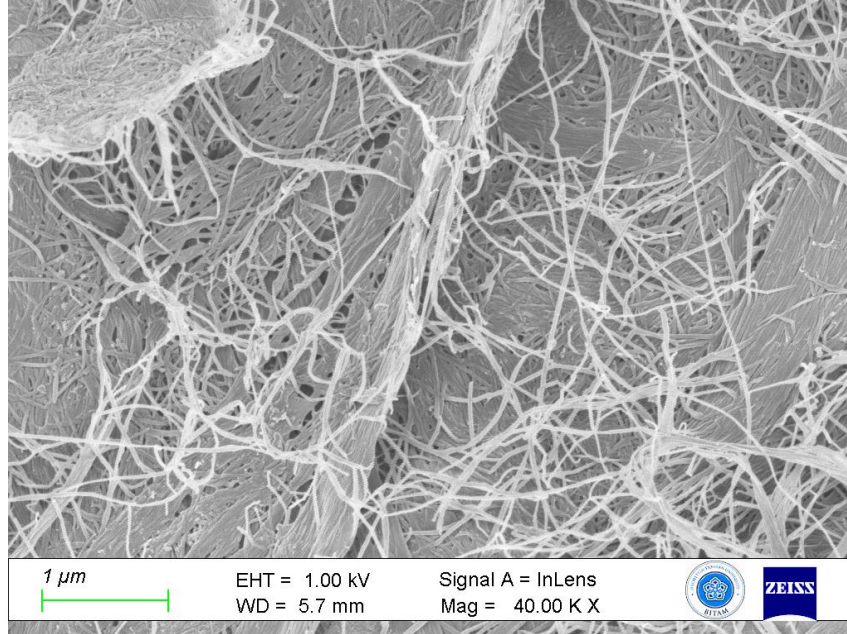
Çalışmada kullanılan *Cladophora*'ya ait örnekler Aksaray Ulurmak'dan toplanmıştır. Selüloz hidrolizinde sülfürik asit, hidroklorik asit, stiren divinilbenzen sülfonat grupları gibi asitlerin kullanıldığı bilinmektedir (Huang ve Fu, 2013; Dussán ve ark., 2014). Tez çalışması kapsamında kullanılan CNSL'ler Cengiz ve ark., (2017)'de kullanılan hidroklorik asit hidrolizi yöntemi ile elde edilmiştir. Buna göre; laboratuvarında bulunan yosun örneklerinden 100 gr örnek tartılarak ilk olarak 70 °C'lik saf su içerisinde 1 saat tutularak yapıdaki toprak ve istenmeyen materyallerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Ardından örnekler 1M HCl çözeltisinde oda sıcaklığında 1 saat karıştırılarak saf su ile süzülmüş ve yapıdan minerallerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra örnekler bir reflüks sisteminde 1M NaOH çözeltisinde 100

°C'de 8 saat karıştırılarak saf su ile nötral pH'ya ulaşıncaya kadar süzölmüştür. Bu işlemde yapıda bulunan proteinlerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Son olarak örnekler %5'lik etil alkol çözeltisinde 1 saat karıştırılarak yapıdaki pigmentlerin ve olası diğer partiköllerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Mineral, protein ve pigment türü yapılarından uzaklaştırılmış ve selöloz olarak saflaştırılmış örnekler bir sonikatör içerisinde 1 saat ses dalgasına maruz bırakılarak liflerin birbirinden ayrılarak nanoliflerin oluşumu sağlanmıştır. Bu işlem ardından örnekler tekrar saf su ile yıkanarak 50 °C'de bir etöv içerisinde 1 gün süreyle kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan nanolifler çalışmada kullanılacak miktara göre falkon tüplere alınmış ve üzerine karışım suyu eklenmiştir. Son olarak 1 saat süreyle ultrasonik homojenizatör ile karıştırılan numuneler kullanıma hazır hale gelmiştir. Tez çalışmasında kullanılan oranlarda hazırlanmış CNSL karışımları Şekil 3.2'de, SEM görüntüleri ise Şekil 3.3'de verilmiştir.

Üretilen bu CNSL'lerin FT-IR, TGA ve XRD testleri Cengiz vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada yapılmıştır. TGA deneyinde CNSL'ler 700 °C kadar ısıtılmış ve ağırlık kaybının %58 olduğunu, hemiselöloz bozulmalarının ise 268 °C 'de maksimuma ulaştığı belirlenmiştir. XRD sonuçlarına göre hesaplanan kristallığın ise ticari selölozlarda %78,2 iken CNSL'lerde bu değerin %90,3 olduğu belirtilmiştir.



Şekil 3.2. *Cladophora*'dan elde edilen nanoselöloz lifler



Şekil 3.3. *Cladophora*'dan elde edilen nanoselüloz liflerin SEM görüntüsü

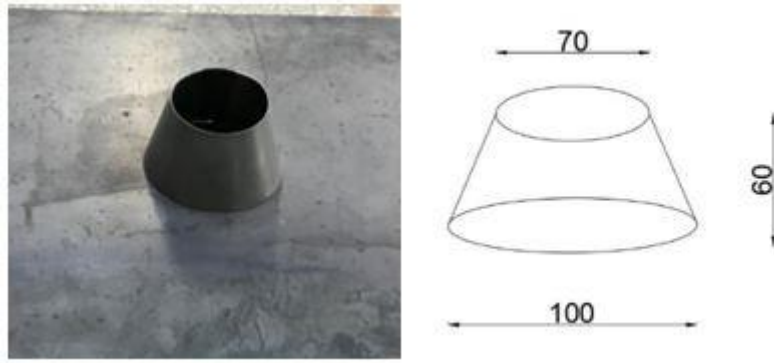
3.2. Yöntem

3.2.1. Karışımların hazırlanması ve optimum oranın belirlenmesi

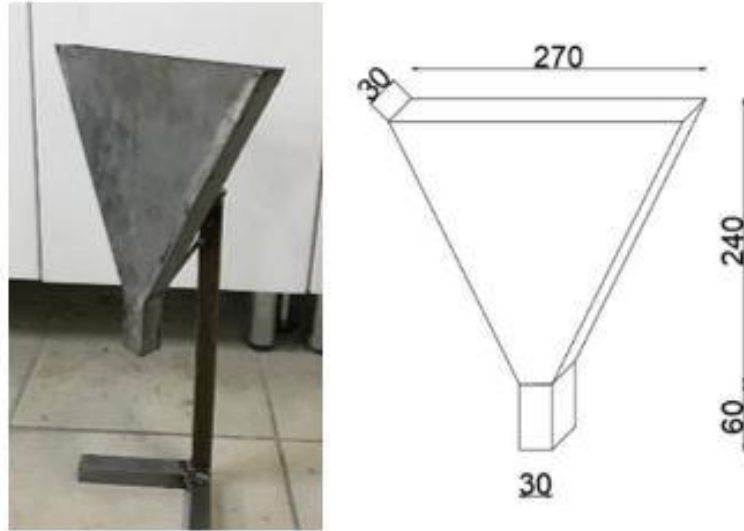
Tez çalışması kapsamında farklı oranlarda CNSL ve WS içeren KYH'lar üretilmiştir. EFNARC (2005), KYB'nin harç bileşenlerini değerlendirmek için laboratuvar bazlı karışımlarda kullanılabilen mini slump ve mini V hunisi testlerini önermektedir. KYH için önerdiği mini slump testi sonuçları 24-26 cm yayılma, mini V hunisi testi için ise 7-11 saniye akış süresidir. KYH'ların yayılma değerlerini ölçmek için 60 mm yüksekliğinde, tabanda 100 mm ve tepesinde 70 mm açıklık bulunan mini slump deney aparatı (Şekil 3.4), harçların akış süresini ölçmek için ise 240 mm yüksekliğinde, 270 mm genişliğinde ve 30x30x60 mm boyutlarında daralan kesitli bir mini V hunisi kullanılmıştır (Şekil 3.5).

Şekillerde görülen V hunisi ve slump aparatları ile 600 kg/m^3 dozajda, 0.4 su/bağlayıcı oranında üretilen karışımların KYH karışımı olup olmadığını belirlemek için mini slump ve mini V hunisi testleri yapılmıştır. Bu çalışmada 600 kg/m^3 dozaj seçilmesini çeşitli nedenlere bağlamak mümkündür. KYB-KYH karışımlarında ayrışma riskinin yüksek olmasından dolayı bağlayıcı miktarının yüksek tutulması gerektiği literatürdeki birçok çalışmada belirtilmiştir. Ayrıca, EFNARC (2005) KYB'ler için $380\text{-}600 \text{ kg/m}^3$ dozaj kullanılabileceğini önermektedir. Fakat bu oranların sadece bir öneri

olduğunu, üretim ve kullanım koşullarına göre, fiziksel KYB-KYH özelliklerini sağlaması durumunda bu oranların değiştirilebileceğini de söylemektedir. Dahası literatürdeki KYH çalışmalarında 600-700 kg/m³ dozajların kullanıldığı bilinmektedir (Benabed ve ark., 2012; Khotbehsara ve ark., 2015; Safi ve ark., 2015). Sayılan sebeplere dayanarak çalışmalarda kullanılacak çimento dozajı 600 kg/m³ seçilmiştir. 600 kg/m³ dozajda katkı içermeyen üretilen (24-26 cm yayılma, 7-11 saniye akış süresi) oranlar, optimum karışım oranları olarak belirlenmiştir. Referans olarak kabul edilen bu karışım oranları VDK çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Mini slump deney aparatı (ölçüler mm'dir)



Şekil 3.5. Mini V hunisi deney aparatı (ölçüler mm'dir)

Tez çalışması kapsamında toplamda üç grup KYH üretilmiştir. Herhangi bir VDK katkısı içermeyen KYH'ların yayılma, akış süresi, viskozite değerleri ve çeşitli mekanik test değerleri referans olarak kabul edilmiştir. VDK katkısı olarak ticari bir tür olan WS içeren ve VDK olarak CNSL içeren harçların reolojik ve 28 günlük mekanik

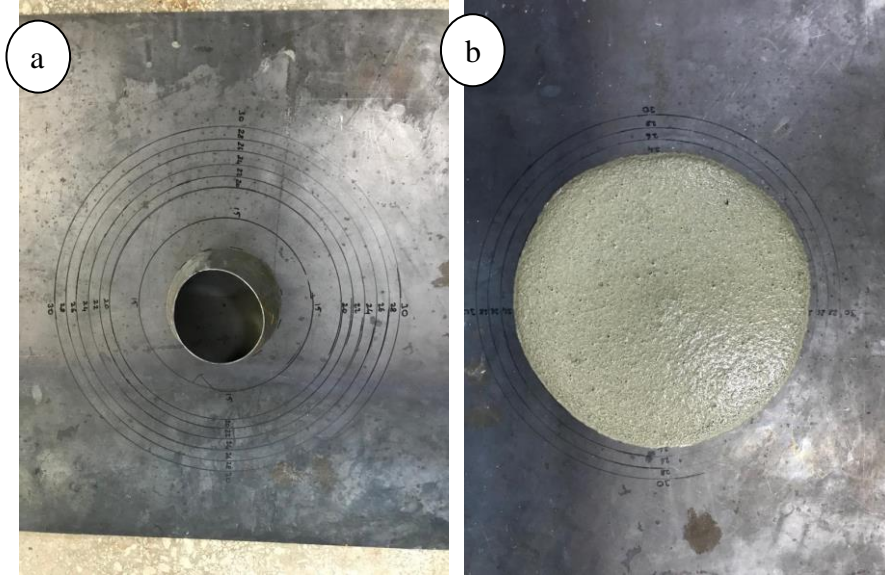
test sonuçları, katkı içermeyen harçların değerleri ile kıyaslanmıştır. VDK oranları değiştirilerek (%0,01-%0,1) harçlar üzerinde aynı testler yapılmış ve katkı oranının değiştirilmesi ile değişen sonuçlar kıyaslanmıştır. Montes ve ark., (2020) yaptıkları çalışmada *Cladophora* selüloz nano kristallerinin diğer kaynaklardan elde edilen nano selülozlerden farklı olarak %0,01 oranından sonra etkili olduğu ve %0,275 oranından sonra cihazdan ölçüm alınamayacak kadar viskozite artışının olduğu belirtilmiştir. Buna göre tez çalışmasında çimento ağırlığınca %0,01-0,03-0,05-0,075-0,1 CNSL kullanılmasına karar verilmiştir. Karışım oranları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Karışım oranları

Karışım	Çimento (kg/m ³)	CEN kum (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	VDK (%)
Referans	600	1437	240	60	-
CF001	600	1437	240	60	0,01
CF003	600	1437	240	60	0,03
CF005	600	1437	240	60	0,05
CF0075	600	1437	240	60	0,075
CF01	600	1437	240	60	0,1
WS001	600	1437	240	60	0,01
WS003	600	1437	240	60	0,03
WS005	600	1437	240	60	0,05
WS0075	600	1437	240	60	0,075
WS01	600	1437	240	60	0,1

3.2.2. Taze harçlar üzerinde yapılan testler

Tez çalışmasında toplamda 3 farklı türde (VDK olarak herhangi bir katkı içermeyen, VDK olarak ticari bir katkı olan WS içeren ve VDK olarak CNSL içeren) karışımlar hazırlanmıştır. Çeşitli akışkanlaştırıcı dozajlarında hazırlanan karışımlar üzerinde mini slump ve mini V hunisi testleri yapılmıştır. Ön denemelerde elde edilen ve KYH özellikleri gösteren (24-26 cm yayılma, 7-11 saniye akış süresi) karışım oranları ile referans numuneler üretilmiştir. Daha sonra %0,01-0,03-0,05-0,075-0,1 oranlarında WS ve CNSL ilave edilen karışımlar üretilmiş, mini slump ve mini V hunisi testleri yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Mini slump deneyi, akış öncesi (a) ve akış sonrası (b)

3.2.3. Viskozite ölçümleri

Tüm karışımlarda aynı özelliklere sahip olan agrega, kıyas açısından bir parametre olarak harçların reolojik özelliklerini etkilemeyeceğinden dolayı viskozite ölçümleri çimento pastaları üzerinden yapılmıştır. Yayılma ve akış süreleri belirlenen harçlar ile aynı oranlarda katkı kullanımıyla üretilen çimento pastalarının viskozite ölçümleri Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma A.B.D. laboratuvarında bulunan Brookfield DV2T model viskozimetre cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.7). Ölçümlerde 11,76 mm çap, 33,02 mm uzunluğa sahip SC4-27 spindle ve 19,05 mm iç çap, 86,20 mm derinlik, 10,4 ml örnek hacmine sahip HT-2D numune haznesi kullanılmış (Şekil 3.8) ve deneyler 23 ± 1 °C derece sıcaklığında yapılmıştır. Ölçüm yöntemi Nanthagopalan ve Santhanam., (2010)'dan uyarlanmıştır. Buna göre, ilk olarak çimento pastaları önceki karıştırmanın etkisini azaltmak için 30 s^{-1} kesme hızında 60 saniye boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışımın stabil hale gelmesi için 30 saniye beklenmiştir. Ardından 90 saniye içerisinde kesme hızı 25 s^{-1} ile 68 s^{-1} aralığında ($25\text{-}30\text{-}40\text{-}50\text{-}60\text{-}68 \text{ s}^{-1}$) arttırılmış ve daha sonra azaltılmıştır. Bu süreçte ise görünür viskozite ve kesme gerilmesi her 15 saniyede bir kaydedilmiştir. Akma gerilmesini belirlemek için Denklem 3.1.'de verilen Bingham modeli kullanılmıştır.

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \times \dot{\gamma} \quad (3.1)$$

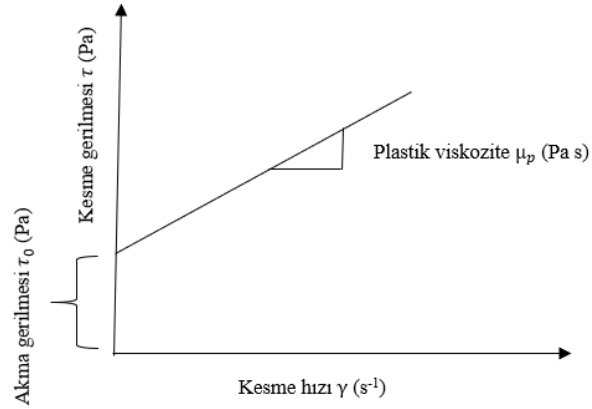
Burada τ (Pa) kesme gerilmesini, τ_0 (Pa) akma gerilmesini, μ_p (Pa.s) plastik viskoziteyi, γ (s^{-1}) kesme hızını göstermektedir. Çeşitli kesme hızlarında yapılan ölçüm verileri ile Microsoft Excel programı üzerinde doğrusal regresyon yapılarak çimento pastasının akma gerilmesi belirlenmiştir. Şekil 3.9'da verilen Bingham grafiği incelendiğinde doğrunun eğiminin plastik viskoziteyi, başlangıç noktasının ise akma gerilmesini verdiği görülmektedir. Hazırlanan referans ve katkı içeren karışımların ölçümleri sonucunda akma gerilmesi ve plastik viskoziteleri arasında bir kıyaslama yapılmış ve katkıların etkisiyle değişen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan viskozimetre cihazı



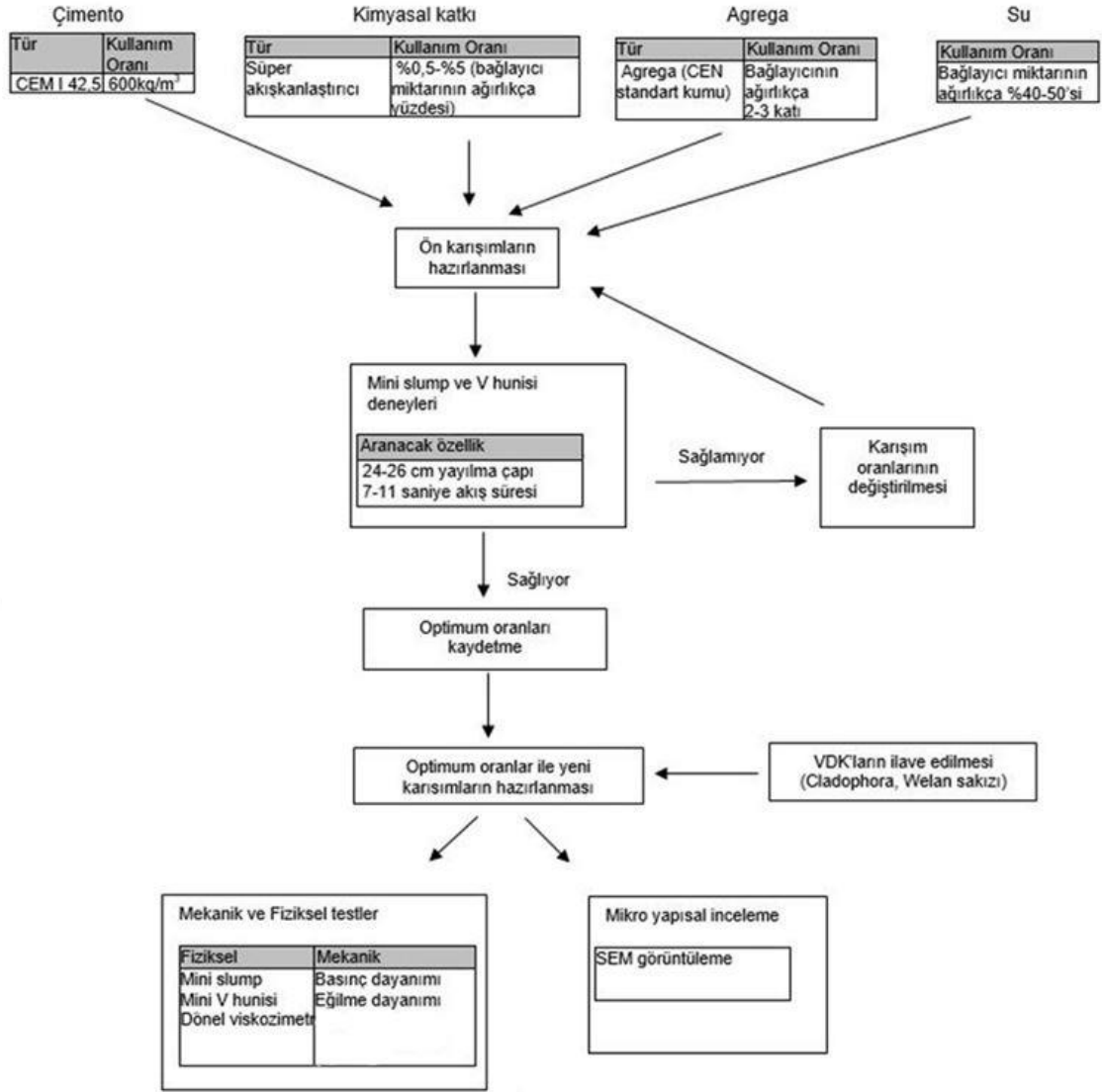
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan numune haznesi ve spindle



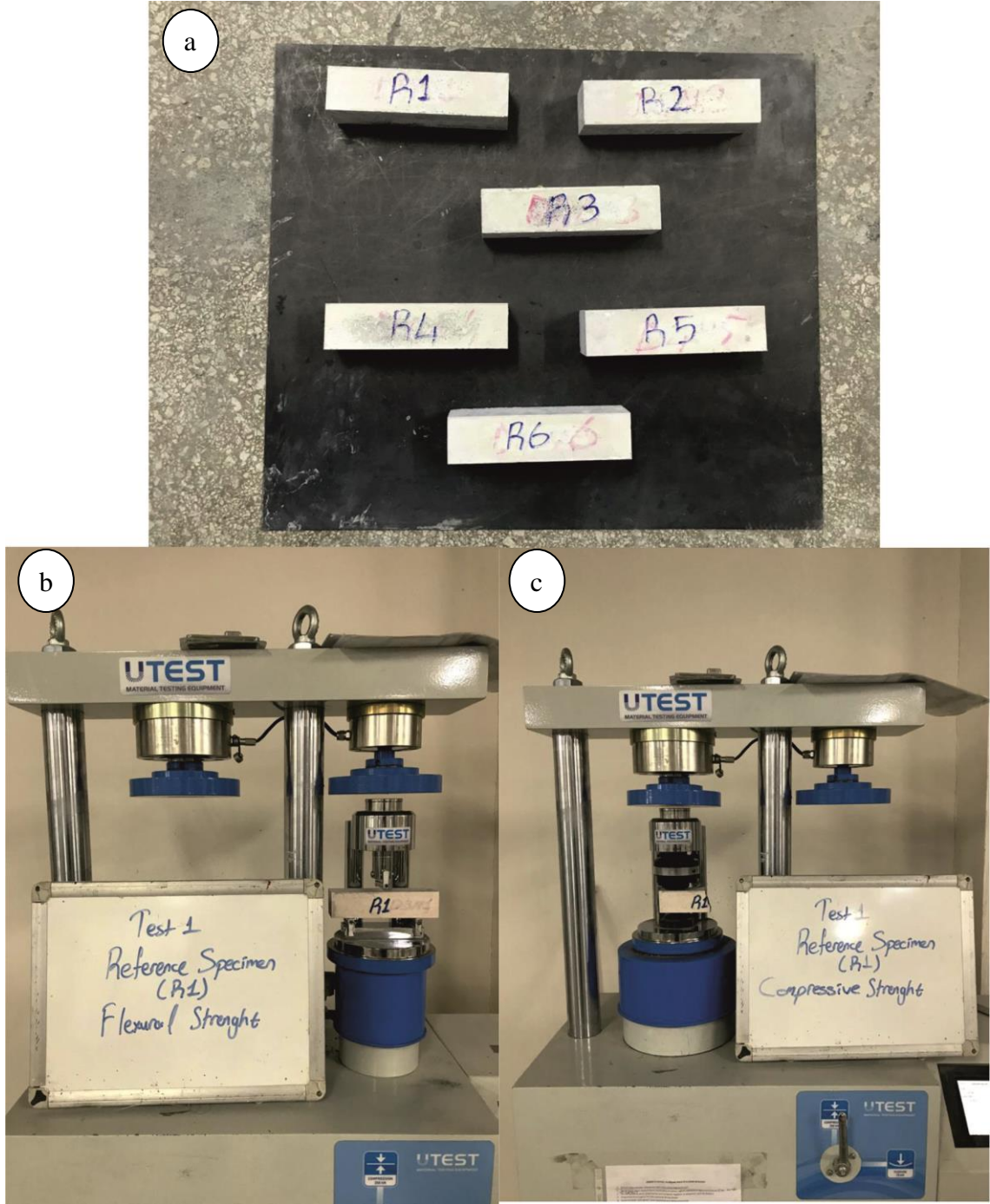
Şekil 3.9. Bingham modeli

3.2.4. Sertleşmiş harçlar üzerinde yapılan testler

Sertleşmiş harçların mekanik özelliklerini belirlemek için, TS EN 196-1'e göre 40x40x160 mm boyutlarında harç numuneler üretilmiştir. Hazırlanan karışımlar yağlanmış kalıplara alınmış ve 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler kür odasına alınmış ve oda sıcaklığında kirece doymun su içerisinde kürlenmeye bırakılmıştır. Harçlar 28. yaş gününde, VDK katkısı içermeyen örneklerin deney sonuçları referans kabul edilerek, tek nokta yükleme deneyi ile harçların eğilme dayanımları ve tek eksenli basınç deneyi ile basınç dayanımları belirlenmiştir. İş akış diyagramı Şekil 3.10'da, sertleşmiş numunelere ve deneylere ait görseller Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.10. İş akış diyagramı



Şekil 3.11. Sertleşmiş harçlar (a) üzerinde yapılan eğilme (b) ve basınç (c) deneyleri

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Harçların Basınç-Eğilme Dayanımı

4.1.1. Welan sakızı katkılı numuneler

WS katkısı kullanılan harç karışımların 28. gün basınç ve eğilme dayanım sonuçları Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, WS tüm oranlarda basınç dayanımını arttırmıştır. Fakat çimento ağırlığınca %0,05 oranının aşılması durumunda basınç dayanımında düşüşler gözlemlenmiştir.

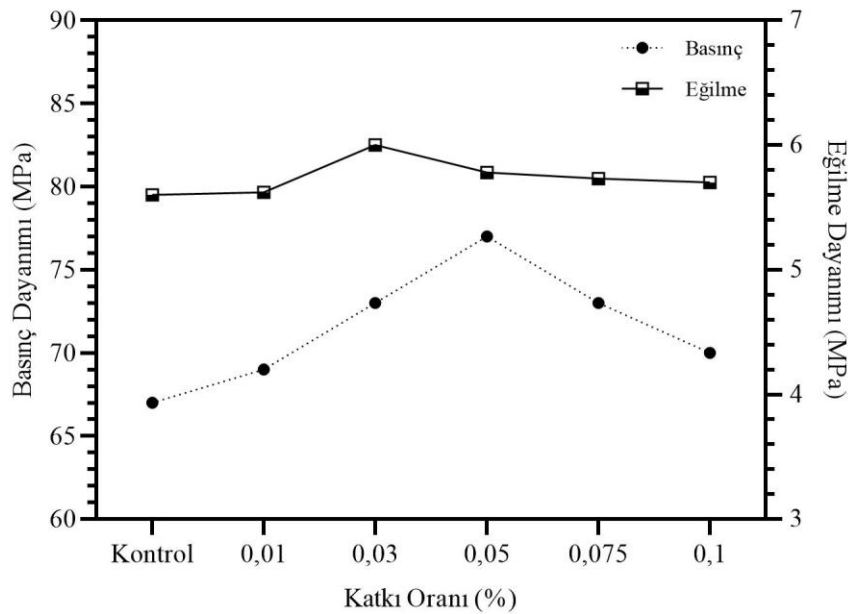
En yüksek basınç dayanımı artışı (%15), %0,05 oranında WS kullanılması durumunda elde edilmiş, buna karşılık %0,1 oranında kullanılmasında kontrol numunesine göre sadece %4 artış göstermiştir. Buradan anlaşılmaktadır ki WS oranı arttıkça dayanım düşmeye başlamıştır. Bu durum literatürdeki çalışmalar göz önüne alınarak açıklanabilmektedir. Zhang ve ark., (2018) yaptığı çalışmada WS’nin çimento hidratasyonu ve sertleşmiş ürün üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Erken yaşlarda, WS ilave edilmiş örneklerin basınç dayanımları kontrol numunesine göre daha düşük, geç yaşlarda (28-90 gün) ise %0,05 WS ilave edilmiş numunelerin basınç dayanımları kontrol numunesinden daha yüksek değerlere ulaşmıştır. %0,05 oranının aşılması durumunda ise dayanımında düşüşler gözlemlenmiştir. Burada erken dayanımın düşük olması WS’nin hidratasyonu geciktirmesine atfedilmektedir. Ma ve ark., (2012) yaptığı çalışmada WS içeren sistemde, ilave moleküllerin adsorpsiyonu (tutunması) etrenjit çekirdeklenme hızını yavaşlattığı, etrenjit kristallerinin morfolojik değişimine yol açtığı ve C₃A’nın hidratasyon aktivitesi azaldığı belirtilmiştir. Bu durumda hidratasyon süresi uzamaktadır. Ayrıca, Zhang ve ark., (2018) çalışmasında WS’nin porozite üzerindeki etkilerini de incelemiştir. Karışımlarda %0,05 oranına kadar WS kullanılmasının poroziteyi azalttığı, bu sayede de basınç dayanımında artış olduğu belirtilmiştir. Halihazırda gözenekliliğin azalması ile basınç dayanımının arttığı bilinmektedir (Ramezianpour ve Hooton, 2014). Fakat WS dahil edilen sertleşmiş ürünlerin SEM görüntülerinde C-S-H yapıları üzerine yapışmış jel benzeri yapıların olduğu, bunların muhtemel sakız parçası olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla katkı oranının artmasıyla bu yapıların hidratasyon ürünlerinin yerini kapladığı ve sonuç olarak artan gözenekliliğin basınç dayanımını düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Sonuçta, yüksek oranlarda (>0,05) WS kullanımı porozitenin artmasına, bunun da dayanım kaybına neden olduğu şeklinde

açıklamıştır. Yapılan tez çalışmasından alınan basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde literatür ile uyumluluk sağladığı görülmektedir.

Eğilme dayanımında karışımına dahil edilen katkı oranlarına göre referans numuneye göre sırasıyla %0,35-7-3-2-1 oranlarında artış sağlandığı tespit edilmiştir. En yüksek artış ise çimento ağırlığınca %0,03 oranında WS dahil edilmesi durumunda %7 olarak belirlenmiştir. Karışımların stabilitesinin artması basınç dayanımında artışa, dolayısıyla eğilme dayanımında bir artışa neden olmaktadır. Yine katkı oranının artmasıyla eğilme dayanımlarında düşüşler olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. WS katkıli numunelerin 28. gün basınç-eğilme dayanımı sonuçları

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
Referans	67	5,6
WS001	69	5,62
WS003	73	6
WS005	77	5,78
WS0075	73	5,73
WS01	70	5,7



Şekil 4.1. WS katkıli numunelerin basınç ve eğilme dayanım sonuçları

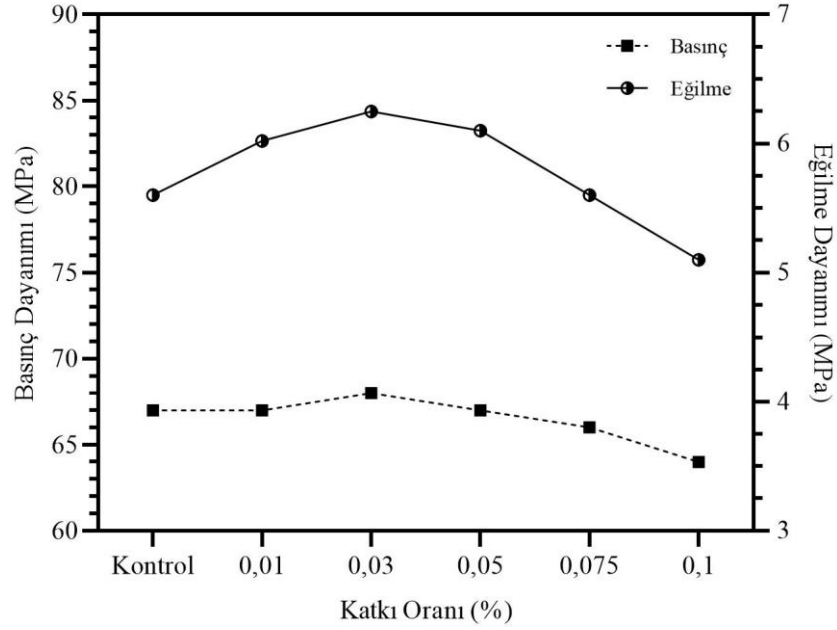
4.1.2. Selüloz nanolif katkılı numuneler

CNSL kullanılan örneklerin 28. gün basınç ve eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, %0,05 oranına kadar CNSL kullanılması durumunda basınç dayanımında bir kayıp gözlemlenmezken, en yüksek oran olan %0,1 oranında sadece %4’lük bir basınç kaybı oluşmuştur. Bu durumda çok düşük oranlarda (%0,01-0,1) CNSL kullanımının basınç dayanımına etkisinin oldukça düşük olduğu fakat olumsuz yönde etkilediği söylenebilir. Hisseine vd., (2018) yaptıkları çalışmada basınç dayanım kaybını selüloz lif dozajının artmasıyla hava sürüklenmesinin artmasına ve lif kümelerinin oluşumuna bağlamıştır. Matris içerisinde homojen dağılmayan lifler, gözenekli bir yapıya sahip alanların oluşmasıyla birlikte zayıf bölgeler ortaya çıkarır ve kırılmayı kolaylaştıran erken çatlamalara neden olmaktadır (Alzoubi ve Albiss, 2020).

Eğilme dayanımındaki değişim incelendiğinde ise %0,05 kaktı oranına kadar dayanımda kontrol numunesine göre bir artış gözlemlenirken, bu orandan sonra dayanım kayıplarının olduğu belirlenmiştir. En yüksek dayanım artışı (yaklaşık %12) %0,03 CNSL katkı kullanılması durumunda elde edilmiştir. Ousmane vd., (2018) düşük lif dozajlarında nanolif dağılımının ve dayanım arttırma etkisinin daha belirgin olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte lif katkısı ile eğilme dayanımının artmasının nedenleri ise nanoselüloz kristallerinin yüksek elastisite modülüne sahip olması (Abe ve ark., 2007) ve su tutma kapasitesi sayesinde liflerin içten kütleme yapmasına atfedilebilmektedir (Hisseine ve ark., 2018). Fakat yine kullanım oranının %0,05’i aşması, matris içerisindeki düzensiz dağılımlara neden olmakta, boşluk oranı artmakta ve dayanım düşmektedir.

Çizelge 4.2. CNSL katkılı numunelerin 28. gün basınç-eğilme dayanımı sonuçları

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
Referans	67	5,6
CF001	67	6,02
CF003	68	6,25
CF005	67	6,1
CF0075	66	5,6
CF01	64	5,1



Şekil 4.2. CNSL katkılı numunelerin basınç ve eğilme dayanım sonuçları

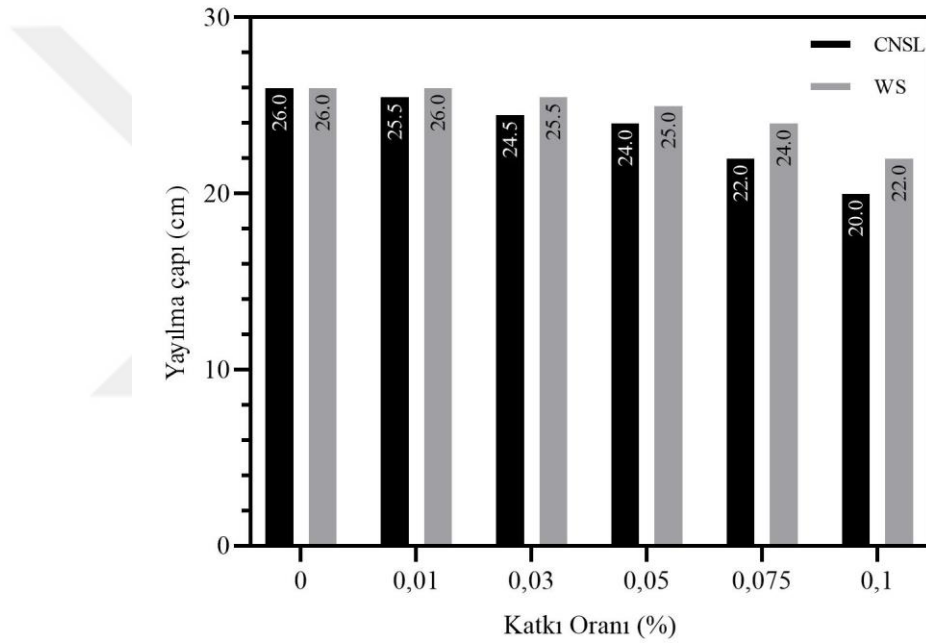
4.2. Reoloji Sonuçları

4.2.1. Akış süresi ve yayılma çapı

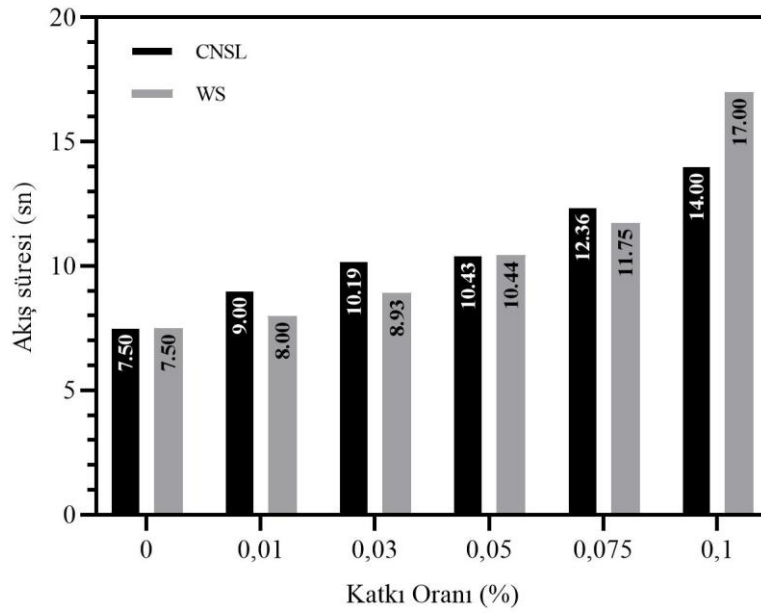
WS ve CNSL katkılı taze harç karışımlarının mini slump deneyi ile ölçülen yayılma çapı ve mini V hunisi deneyi ile ölçülen akış süreleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de görülmektedir. Her iki deneyin sonuçları incelendiğinde, katkı türüne bağlı olmaksızın, katkı oranının artmasıyla taze harç davranışlarının yaklaşık olarak aynı olduğu söylenebilmektedir. Beklenildiği gibi iki türde de katkı kullanım oranlarının artmasıyla yayılma çapları azalma gözlemlenirken, akış sürelerinde bir artış olduğu belirlenmiştir. EFNARC (2005), KYH'lar için 24-26 cm yayılma, 7-11 sn akış süresi önermektedir. 26 cm yayılma gösteren kontrol numunesine %0,05 CNSL ilave edilmesi durumunda yayılma çapı sınır değer olan 24 cm'e düşmüştür. Bundan sonraki kullanım oranlarında yayılma çapı hızla azalırken KYH olma koşullarının dışına çıkmıştır. WS kullanılan harçlarda bu davranış %0,075 kullanım oranına karşılık gelmektedir. Bu durumda CNSL'nin harçların yayılma çapını, dolayısıyla viskoziteyi WS'e göre daha düşük oranlarda daha ciddi etkilediği sonucuna varılabilmektedir.

Katkılı örneklerin akış süreleri katkı miktarının artmasıyla artmaktadır ki bu davranış yayılma çapındaki değişimi destekler niteliktedir. %0,075 kullanım oranına

kadar, akış sürelerindeki değişim yayılma çapındaki davranışa paralel bir davranış (aynı kullanım oranlarında CNSL'nin WS'e göre harçların reolojisini daha çok etkilemesi) görülmektedir. Fakat yayılma çapı deneyinden farklı olarak, iki türde de yaklaşık olarak %0,05 oranının aşılması durumunda EFNARC (2005) önerilerinin dışına çıktığı belirlenmiştir. Viskozite ile yayılma çapı ve akış süresi arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir (Bouziani ve Benmounah, 2013). Çalışma kapsamında yapılan deneyler de bu ilişkiyi doğrular niteliktedir. Her iki tür katkının da karışımlara ilave edilmesiyle viskozite artmış, buna karşılık akış süresi uzarken yayılma çapının azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Mini slump deney sonuçları



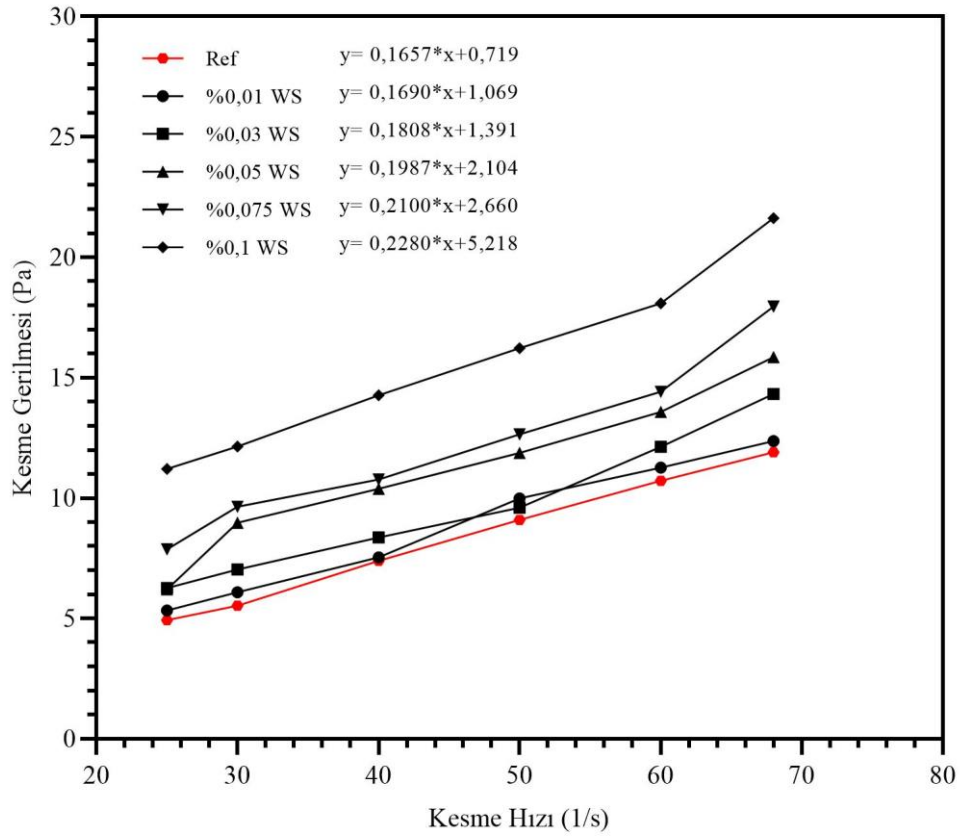
Şekil 4.4. Mini V hunisi deney sonuçları

4.2.2. Viskozite ölçümleri

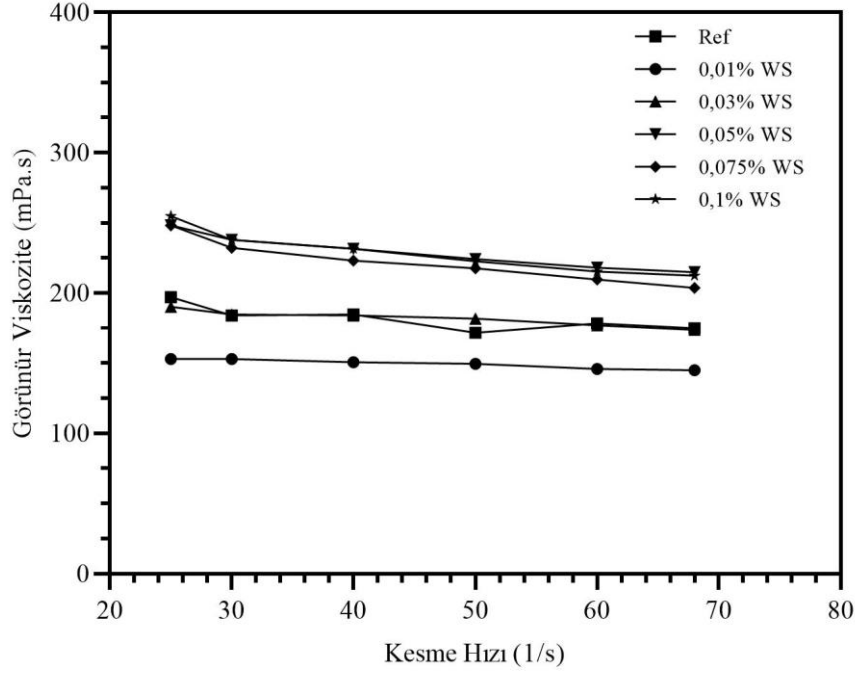
Beton ve harçların akış özellikleri plastik viskozite ve akma gerilmesini cinsinden ifade edilebilmektedir. Akışı başlatmak ve devamlılığını sağlamak için sıfıra yakın olması istenilen başlangıç gerilmesi akma gerilmesi olarak ifade edilirken, başlangıç gerilmesinin aşılmasından sonra akışa karşı oluşan direnç plastik viskozite olarak tanımlanmaktadır (Hassan ve ark., 2010). Üretilen betonlarda yerleşme ve ayrışma sorunlarının önüne geçebilmek için dengeli bir plastik viskoziteye sahip olması gerekmektedir (Rasekh ve ark., 2020). Çimento pastasının davranışını tam olarak ifade etmese bile, akma gerilmesi ve plastik viskozite arasındaki ilişkiyi gösteren, reolojik özelliklerin modellenmesinde en çok kullanılan model Bingham modelidir (Roussel, 2006; Sun ve ark., 2017; Rasekh ve ark., 2020).

WS katkılı çimento pastaları üzerinde viskozimetre cihazı ile yapılan deneyler neticesinde elde edilen Bingham modelleri Şekil 4.5, kesme hızına göre değişen görünür viskozite değerleri ise Şekil 4.6'da verilmiştir. Grafiklerden anlaşılacağı üzere, katkı oranının artmasıyla plastik viskozitenin ve akma gerilmesinin arttığı belirlenmiştir. Uzun zincirli, yüksek moleküler ağırlığa sahip mikrobiyal polisakkarit olan WS'nin, su moleküllerinin etrafında yapışarak karışımda mevcut olan suyun bir kısmını emerek, matrisin plastik viskozite ve akma gerilmesinin artmasına neden olduğu bilinmektedir

(Ghio ve ark., 1994; Khayat ve Yahia, 1997). Bununla birlikte kesme hızının artmasıyla polimer zincirlerin akış yönünde hizalanma eğiliminden dolayı görünür viskozitede bir düşüş görülebilmekte ve bu davranış kayma incelmeleri olarak tanımlanmaktadır (Ghio ve ark., 1994). Bu durumda tez çalışmasında yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. WS katkıli numuneler düşük kesme hızlarında yüksek görünür viskozite sergilerken, yüksek kesme hızlarında daha düşük görünür viskozite sergileyerek kayma incelmeleri davranışı göstermektedir.

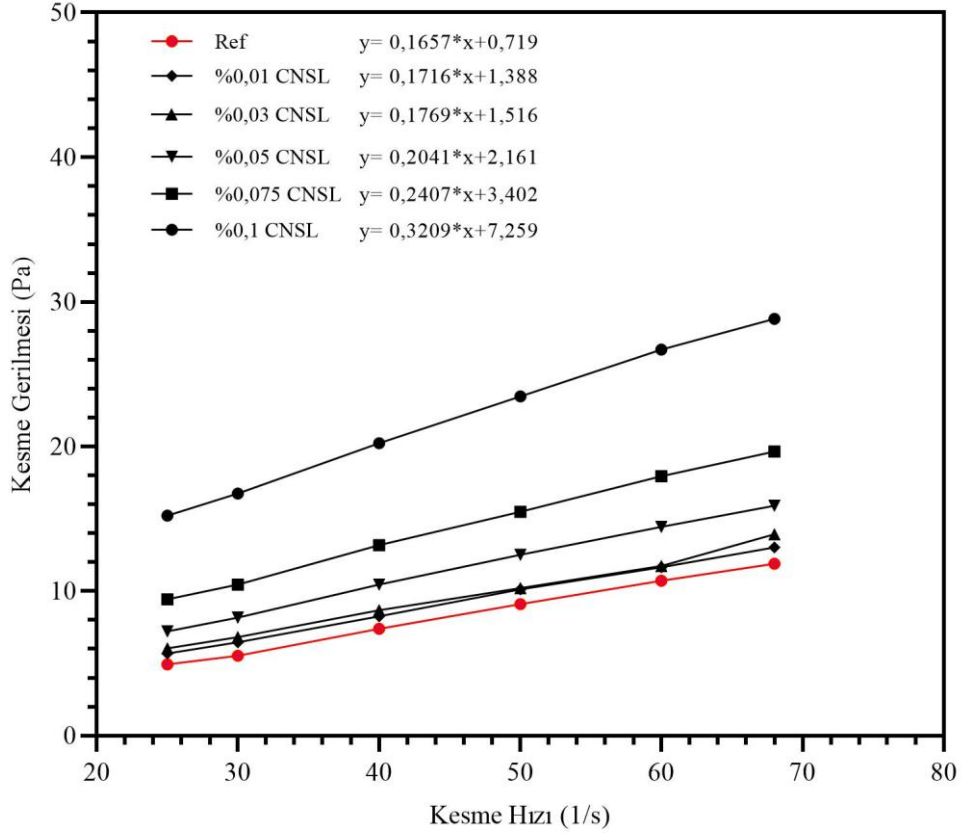


Şekil 4.5. Welan sakızı içeren çimento pastalarının Bingham modelleri

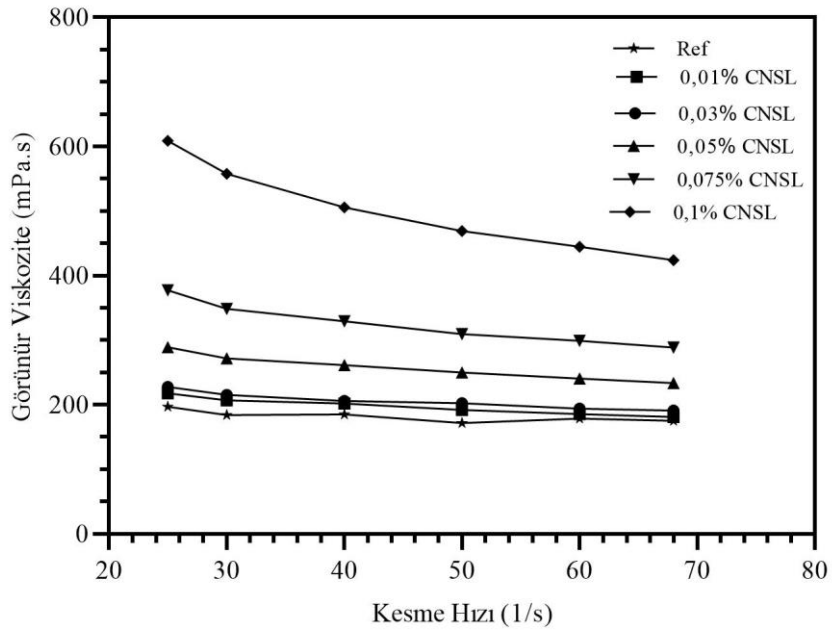


Şekil 4.6. Welan sakızı katkılı pastaların kesme hızına göre görünür viskozite değerleri

CNSL ilave edilen karışımların Bingham modelleri Şekil 4.7’de, kesme hızına göre değişen görünür viskozite değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde WS davranışına benzer şekilde katkı oranının artmasıyla akma gerilmesi ve plastik viskozite değerlerinin arttığı, kesme hızının artmasıyla ise görünür viskozitelerin azaldığı görülmektedir. Bu durum karışımların kayma incilmesi davranışı gösterdiğini kanıtlamaktadır. Hem CNSL’nin hidrofil yapıda olmasından dolayı karışım suyunu sabitlemesiyle hem de esnek, uzun, yüksek en boy oranına sahip liflerin bireysel ya da kümeler halinde ağlar oluşturarak iç içe geçmesiyle karışımların viskozitesi artmaktadır (Hisseine ve ark., 2018). Ayrıca selüloz polimerlerin su tutma kapasiteleri ile molekül ağırlıkları arasında bulunan doğrusal ilişki göz önüne alındığında (Pourchez ve ark., 2006) yüksek moleküler ağırlıklı CNSL’nin sahip olduğu yüksek su tutma kapasitesi de viskozite artışında etkili olmaktadır (George ve Sabapathi, 2015).

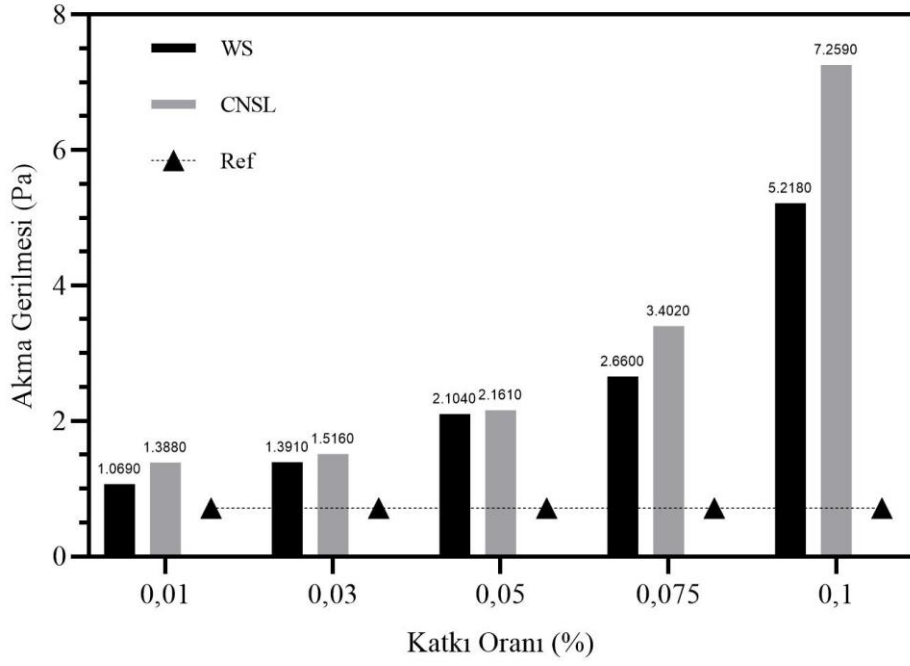


Şekil 4.7. CNSL içeren çimento pastalarının Bingham modelleri

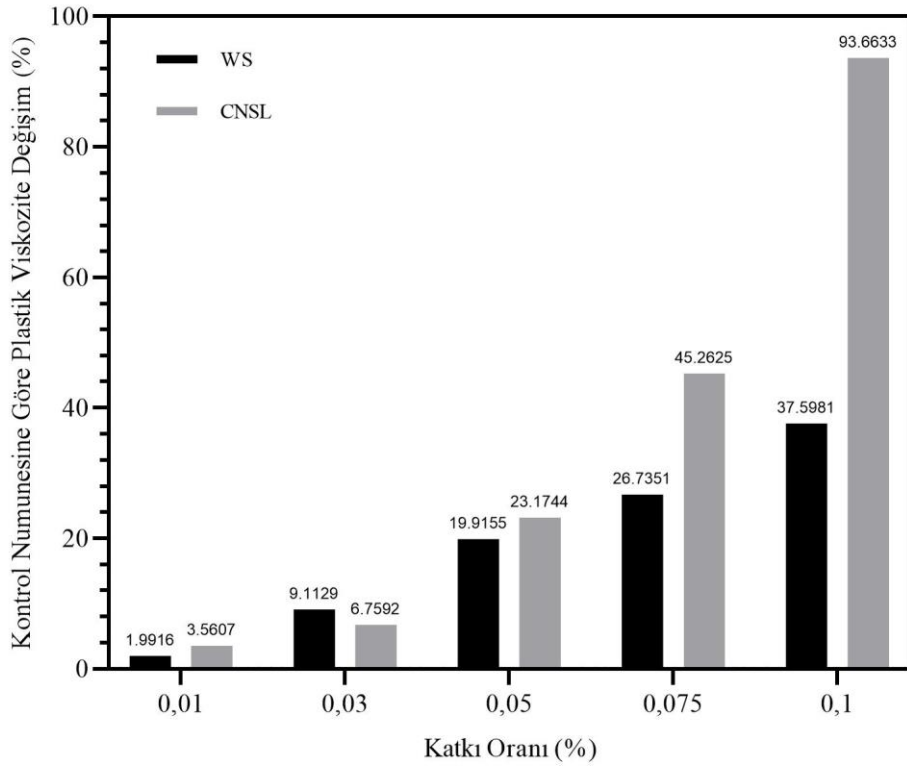


Şekil 4.8. CNSL katkıli pastaların kesme hızına göre görünür viskozite değerleri

WS ve CNSL katkılarının çimento pastaları üzerinde yarattıkları akma dayanımı ve plastik viskozite değişimleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da özetlenmiştir. Bingham grafiklerinden elde edilen değerler ile oluşturulan şekiller incelendiğinde açıkça görülmektedir ki katkı türünden bağımsız olarak, katkı kullanımı hem plastik viskoziteyi hem de akma gerilmesini arttırmaktadır. CNSL içeren karışımlarda katkı oranına göre akma gerilmesi sırasıyla referans karışıma göre 1,9-2,1-3-4,7 ve 10,1 kat artarken, WS içeren karışımlarda akma gerilmesi 1,5-1,9-2,9-3,7-7,2 kat artmıştır. Plastik viskozite değişimi ise CNSL içeren karışımlarda kontrol numunesine göre %3 ile %93 arasında değişim gösterirken, WS içeren karışımlarda bu değişim %2 ile %37 arasında kalmıştır. CNSL'nin akma gerilmesi üzerindeki etkisi plastik viskoziteye göre daha fazla olmuştur. Benzer sonuçlar Hisseine ve ark., (2018) tarafından da rapor edilmiş ve bu sonuç CNSL içeren karışımların kayma incelenmesi davranışı göstermesine atfedilmiştir. %0,03 oranında CNSL kullanımında akma gerilmesi WS kullanılan karışımlardan daha yüksek iken, plastik viskozite değeri daha düşüktür. Bu sonuç değerlendirildiğinde, özellikle nispeten yüksek akma gerilmesine karşılık düşük viskozite gerektiren püskürtme beton uygulamalarında (Pfeuffer ve Kusterle, 2001), CNSL'nin WS'ye göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki beton reolojisini düzenlemek için ticari olarak kullanılan ve pahalı olan WS'den elde edilen akış özellikleri, çevre kirliliğine neden olan *Cladophora* cinsi alglerden elde edilen nanoselüloz liflerin daha düşük miktarlarda kullanılmasıyla elde edilebilmektedir.



Şekil 4.9. Çimento pastalarının akma gerilmesi değişimleri



Şekil 4.10. Kontrol numunesine kıyasla plastik viskozite değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

WS kullanılarak üretilen betonların eğilme dayanımlarında %0,35-7 arasında bir artış gözlemlenirken, CNSL kullanılan betonlarda bu artış %0-12 arasında gerçekleşmiştir. En yüksek artış oranı hem WS hem lifin %0,03 oranında kullanılmasıyla elde edilmiştir. Sonuç olarak, çimento ağırlığına %0,075 oranına kadar CNSL kullanılması betonun eğilme dayanımını arttırmaktadır. Bu oranın aşılması durumunda dayanım kaybı olmaktadır. İki VDK kıyaslandığında CNSL'nin eğilme dayanımını WS'e göre daha fazla arttırdığı sonucuna varılmıştır.

WS tüm oranlarda basınç dayanımını arttırırken, çimento ağırlığına %0,075 oranına kadar CNSL kullanılması harçların karakteristik basınç dayanımını etkilememektedir. Bu oranın aşılması durumunda basınç dayanımı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Harçların yayılma çapında azalmaya, akış süresinde artışa neden olan CNSL, karışımların viskozite ve akma gerilmelerini arttırmaktadır. Yayılma çapı ve akış süreleri ile ortaya çıkan bu sonuç viskozimetre cihazı ile yapılan ölçümlerin sonuçlarıyla da kanıtlanmıştır.

KYB karışımlarında kullanılabilen olan CNSL, yüksek su tutma kapasitesi sayesinde karışımlarda su kusmayı azaltabilir, dengesi sağlanmış viskozite ile ayrışma direncini arttırabilir, bağlayıcı talebini azaltabilir.

%0,03 oranında CNSL katkısıyla elde edilen karışımlar, yüksek akma gerilmesine karşılık düşük viskozite sergilediği için, CNSL püskürtme beton uygulamalarında kullanılabilir.

Uygun beton reolojisi elde etmek için VDK olarak kullanılan WS ile kıyaslandığında, daha düşük oranlarda etkinliği daha yüksek olan ve harçların eğilme dayanımlarını arttıran CNSL, alternatif VDK olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılabilmektedir.

5.2 Öneriler

Bu tez çalışması KYH'lar üzerinde mini slump, mini V hunisi ve çimento pastaları üzerinde viskozimetre cihazı ile yapılan deney sonuçlarını içermektedir.

CNSL'lerin KYB'de ayrışmayı ve bağlayıcı talebini azaltma yönündeki etkinliği KYB tasarımları yapılarak çalışılabilir.

Tez çalışmasında sabit su/bağlayıcı oranında karışımlar üretilmiştir. Su/bağlayıcı oranı arttırılarak ve karışımlara CNSL ilave edilerek yüksek akma gerilmesine buna karşılık düşük viskoziteye sahip karışımlar üzerinde çalışılabilir.



KAYNAKLAR

- Abe, K., Iwamoto, S. ve Yano, H. (2007). Obtaining cellulose nanofibers with a uniform width of 15 nm from wood. *Biomacromolecules*, 8(10), 3276–3278.
- ACI. (2000). *ACI 116R-00 Cement and Concrete Terminology*.
- Allen, F. L., Best, G. H. ve Lindroth, T. A., 1990, Welan gum in cement compositions.
- Alzoubi, H. H. ve Albiss, B. A., 2020, Performance of cementitious composites with nano PCMs and cellulose nano fibers. *Construction and Building Materials*, 236, 117483.
- Ardanuy, M., Claramunt, J. ve Toledo Filho, R. D., 2015, Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035
- Bartos, P. J. M. ve Marrs, D. L., 1999, development and testing of self-compacting grout for the production of sifcon. *PRO 6: 3rd International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC 3)* içinde (C. 3, s. 171). RILEM Publications.
- Benabed, B., Kadri, E. H., Azzouz, L. ve Kenai, S., 2012, Properties of self-compacting mortar made with various types of sand. *Cement and Concrete Composites*, 34(10), 1167–1173. doi:10.1016/j.cemconcomp.2012.07.007
- Benaicha, M., Roguiez, X., Jalbaud, O., Burtschell, Y. ve Alaoui, A. H., 2015, Influence of silica fume and viscosity modifying agent on the mechanical and rheological behavior of self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 84, 103–110.
- Bouziani, T. ve Benmounah, A., 2013, Correlation between v-funnel and mini-slump test results with viscosity. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(1), 173–178.
- Brouwers, H. J. H. ve Radix, H. J., 2005, Self-compacting concrete: Theoretical and experimental study. *Cement and Concrete Research*, 35(11), 2116–2136. doi:10.1016/j.cemconres.2005.06.002
- Camacho, D. H., Gerongay, S. R. C. ve Macalinao, J. P. C., 2013, *Cladophora* cellulose-polyaniline composite for remediation of toxic chromium (VI). *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(1–2), 125–132.
- Cano-Barrita, P. F. d. J. ve León-Martínez, F. M., 2016, Biopolymers with viscosity-enhancing properties for concrete. *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials* içinde (ss. 221–252). Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-08-100214-8.00011-7
- Cengiz, A., Kaya, M. ve Pekel Bayramgil, N., 2017, Flexural stress enhancement of concrete by incorporation of algal cellulose nanofibers. *Construction and Building Materials*, 149, 289–295. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.05.104

- Cüce, H., Bakan, G. ve Akıncı, H., 2011, Balık gölü (Kızılırmak Deltası, Samsun) su kalitesinin konumsal analizi.
- Czarnecki, L., Garbacz, A. ve Sokołowska, J. J., 2010, Fly ash polymer concretes. *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies* içinde (ss. 127–138).
- De Larrard, F., 1999, *Concrete mixture proportioning: a scientific approach*. CRC Press.
- Domone, P. L., 2006, Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 197–208. doi:10.1016/j.cemconcomp.2005.10.003
- Dussán, K. J., Silva, D. D., Moraes, E. J., Arruda, P. V ve Felipe, M. G., 2014, Dilute-acid hydrolysis of cellulose to glucose from sugarcane bagasse. *Chemical engineering transaction*, 38.
- EFNARC, 2005, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*. www.efnarc.org adresinden erişildi.
- Ek, R., Alderborn, G. ve Nyström, C., 1994, Particle analysis of microcrystalline cellulose: Differentiation between individual particles and their agglomerates. *International Journal of Pharmaceutics*, 111(1), 43–50. doi:10.1016/0378-5173(94)90400-6
- Ek, R., Gustafsson, C., Nutt, A., Iversen, T. ve Nyström, C., 1998, Cellulose powder from *Cladophora* sp. algae. *Journal of Molecular Recognition: An Interdisciplinary Journal*, 11(1-6), 263–265.
- Erdoğan, S. T. ve Erdoğan, T. Y., 2007, Kimyasal katkı maddeleri ve tarihi geçmişleri.
- Felekoğlu, B. ve Baradan, B., 2004, kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri.
- Felekoğlu, B., Tosun, K., Baradan, B., Altun, A. ve Uyulgan, B., 2006, The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars. *Cement and Concrete Research*, 36(9), 1719–1726. doi:10.1016/j.cemconres.2006.04.002
- Fu, T., Montes, F., Suraneni, P., Youngblood, J. ve Weiss, J., 2017, The influence of cellulose nanocrystals on the hydration and flexural strength of Portland cement pastes. *Polymers*, 9(9), 424.
- Gambhir, M. L., 2013, *Concrete Technology: Theory and Practice (Fifth.)*. McGraw Hill Education (India) Private Limited.
- Gao, J., Sun, W. ve Morino, K., 1997, Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19(4), 307–313.

- George, J. ve Sabapathi, S. N., 2015, Cellulose nanocrystals: synthesis, functional properties, and applications. *Nanotechnology, science and applications*, 8, 45.
- Ghio, V. A., Monteiro, P. J. M. ve Demsetz, L. A., 1994, The rheology of fresh cement paste containing polysaccharide gums. *Cement and concrete research*, 24(2), 243–249.
- Goodier, C. I., 2003, Development of self-compacting concrete. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 156(4), 405–414.
- Güneyisi, E., Gesoglu, M., Al-Goody, A. ve İpek, S., 2015, Fresh and rheological behavior of nano-silica and fly ash blended self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 95, 29–44.
- Habibi, A. ve Ghomashi, J., 2018, Development of an optimum mix design method for self-compacting concrete based on experimental results. *Construction and Building Materials*, 168, 113–123.
- Habibi, Y. ve Dufresne, A., 2008, Highly filled bionanocomposites from functionalized polysaccharide nanocrystals. *Biomacromolecules*, 9(7), 1974–1980.
- Hassan, A. A. A., Hossain, K. M. A. ve Lachemi, M., 2010, Strength, cracking and deflection performance of large-scale self-consolidating concrete beams subjected to shear failure. *Engineering Structures*, 32(5), 1262–1271.
- Hisseine, O. A., Basic, N., Omran, A. F. ve Tagnit-Hamou, A., 2018, Feasibility of using cellulose filaments as a viscosity modifying agent in self-consolidating concrete. *Cement and Concrete Composites*, 94, 327–340.
doi:10.1016/j.cemconcomp.2018.09.009
- Hisseine, O. A., Omran, A. F. ve Tagnit-Hamou, A., 2018, Influence of cellulose filaments on cement paste and concrete. *Journal of materials in civil engineering*, 30(6), 4018109.
- Hsie, M., Tu, C. ve Song;P. S., 2008, Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Materials Science and Engineering: A*, 494(1–2), 153–157.
- Huang, Y.-B. ve Fu, Y., 2013, Hydrolysis of cellulose to glucose by solid acid catalysts. *Green chemistry*, 15(5), 1095–1111.
- Izumi, T., 1990, Special Underwater Concrete Admixtures. *Concrete Engineering*, 28(3), 23.
- Jalal, M., Fathi, M. ve Farzad, M., 2013, Effects of fly ash and TiO₂ nanoparticles on rheological, mechanical, microstructural and thermal properties of high strength self compacting concrete. *Mechanics of Materials*, 61, 11–27.
- John, V. M., Cincotto, M. A., Sjöström, C., Agopyan, V. ve Oliveira, C. T. A., 2005,

- Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), 565–574.
- Jousson, O., Pawlowski, J., Zaninetti, L., Zechman, F. W., Dini, F., Di Guiseppe, G., Woodfield, R., Millar, A. ve Meinesz, A., 2000, Invasive alga reaches California. *Nature*, 408(6809), 157–158.
- Kawai, T., 1987, Non-dispersible underwater concrete using polymers, Marine Concrete. *International congress on polymers in concrete, Brighton, England* içinde .
- Khaleel, O. R., Al-Mishhadani, S. A. ve Abdul Razak, H., 2011, The effect of coarse aggregate on fresh and hardened properties of Self-Compacting Concrete (SCC). *Procedia Engineering* içinde (C. 14, ss. 805–813). Elsevier. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.102
- Khayat, K H ve Yahia, A., 1997, Effect of welan gum-high-range water reducer combinations on rheology of cement grout. *Materials Journal*, 94(5), 365–372.
- Khayat, K H ve Yahia, A., 1998, Simple field tests to characterize fluidity and washout resistance of structural cement grout. *Cement, concrete and aggregates*, 20(1), 145–156.
- Khayat, Kamal H., 1991, *Repair, Evaluation, Maintenance, and Rehabilitation Research Program. Underwater Repair of Concrete Damaged by Abrasion-Erosion*. CALIFORNIA UNIV BERKELEY DEPT OF CIVIL ENGINEERING.
- Khayat, Kamal H ve Assaad, J., 2002, Air-void stability in self-consolidating concrete. *ACI Materials Journal*, 99(4), 408–416.
- Khayat, Kamal Henri ve Guizani, Z., 1997, Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. *Materials Journal*, 94(4), 332–340.
- Khotbehsara, M. M., Mohseni, E., Yazdi, M. A., Sarker, P. ve Ranjbar, M. M., 2015, Effect of nano-CuO and fly ash on the properties of self-compacting mortar. *Construction and Building Materials*, 94, 758–766. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.07.063
- Kurdowski, W., 2014, *Cement and Concrete Chemistry*. Springer. doi:10.1007/978-94-007-7945-7
- Lachemi, M., Hossain, K. M. A., Lambros, V., Nkinamubanzi, P. C. ve Bouzoubaâ, N., 2004, Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste. *Cement and Concrete Research*, 34(2), 185–193. doi:10.1016/S0008-8846(03)00233-3
- Larsen, L. O. ve Naruts, V. V., 2016, Self-compacting concrete with limestone powder for transport infrastructure. *Magazine of Civil Engineering*, (8).
- Leemann, A. ve Winnefeld, F., 2007, The effect of viscosity modifying agents on

- mortar and concrete. *Cement and Concrete Composites*, 29(5), 341–349.
doi:10.1016/j.cemconcomp.2007.01.004
- León-Martínez, F. M., Cano-Barrita, P. F. de J., Lagunez-Rivera, L. ve Medina-Torres, L., 2014, Study of nopal mucilage and marine brown algae extract as viscosity-enhancing admixtures for cement based materials. *Construction and Building Materials*, 53, 190–202.
- Li, Z., Wang, X. ve Wang, L., 2006, Properties of hemp fibre reinforced concrete composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(3), 497–505. doi:10.1016/j.compositesa.2005.01.032
- Ma, L., Zhao, Q., Yao, C. ve Zhou, M., 2012, Impact of welan gum on tricalcium aluminate–gypsum hydration. *Materials characterization*, 64, 88–95.
- Merta, I. ve Tschegg, E. K., 2013, Fracture energy of natural fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 991–997.
- Mihriyan, A., 2011, Cellulose from cladophorales green algae: From environmental problem to high-tech composite materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(4), 2449–2460.
- Mihriyan, A., Llagostera, A. P., Karmhag, R., Strømme, M. ve Ek, R., 2004, Moisture sorption by cellulose powders of varying crystallinity. *International journal of pharmaceutics*, 269(2), 433–442.
- Mihriyan, A., Nyholm, L., Bennett, A. E. G. ve Strømme, M., 2008, A novel high specific surface area conducting paper material composed of polypyrrole and *Cladophora* cellulose. *The Journal of Physical Chemistry B*, 112(39), 12249–12255.
- Montes, F., Fu, T., Youngblood, J. P. ve Weiss, J., 2020, Rheological impact of using cellulose nanocrystals (CNC) in cement pastes. *Construction and Building Materials*, 235, 117497. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117497
- Moon, R. J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J. ve Youngblood, J., 2011, Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews*, 40(7), 3941–3994.
- Nanthagopalan, P. ve Santhanam, M., 2010, A new empirical test method for the optimisation of viscosity modifying agent dosage in self-compacting concrete. *Materials and structures*, 43(1), 203–212.
- Nawa, T., 1999, State-of-the-art report on materials and design of self-compacting concrete. *Proc. of the International Workshop on Self-Compacting Concrete* içinde (ss. 160–190).
- Neville, A. M. ve Brooks, J. J., 2010, *Concrete Technology* (Second.). Prentice Hall.
Ođian;G. (2004). *Principles of polymerization*. John Wiley & Sons.

- Okamura, H. ve Ouchi, M., 1999, Self-compacting concrete. Development, present use and future. *Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium* içinde (ss. 3–14). Rilem Publications Cachan Cedex, France.
- Okamura, H. ve Ouchi, M., 2003, Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5–15.
- Ozawa, K., 1989, High-performance concrete based on the durability design of concrete structures. *Proc. of the Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, 1989 içinde .
- Pei, R., Liu, J. ve Wang, S., 2015, Use of bacterial cell walls as a viscosity-modifying admixture of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 55, 186–195. doi:10.1016/j.cemconcomp.2014.08.007
- Pfeuffer, M. ve Kusterle, W., 2001, Rheology and rebound behaviour of dry-mix shotcrete. *Cement and Concrete Research*, 31(11), 1619–1625.
- Phyfferoen, A., Monty, H., Skaggs, B., Sakata, N., Yanai, S. ve Yoshizaki, M., 2002, Evaluation of the biopolymer, diutan gum, for use in self-compacting concrete. *First North American conference on the design and use of self-consolidating concrete* içinde (ss. 141–146).
- Plank, J., 2005, Applications of biopolymers in construction engineering. *Biopolymers Online: Biology• Chemistry• Biotechnology• Applications*, 10.
- Pourchez, J., Peschard, A., Grosseau, P., Guyonnet, R., Guilhot, B. ve Vallée, F., 2006, HPMC and HEMC influence on cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 36(2), 288–294.
- Ramachandran, V. S., 1996, *Concrete admixtures handbook: properties, science and technology*. William Andrew.
- Ramezani-pour, A. M. ve Hooton, R. D., 2014, A study on hydration, compressive strength, and porosity of Portland-limestone cement mixes containing SCMs. *Cement and Concrete Composites*, 51, 1–13.
- Rasekh, H., Joshaghani, A., Jahandari, S., Aslani, F. ve Ghodrat, M., 2020, Rheology and workability of SCC. *Self-compacting concrete: materials, properties and applications* içinde (ss. 31–63). Elsevier.
- Reis, J. M. L., 2006, Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. *Construction and building materials*, 20(9), 673–678.
- Roussel, N., 2006, Correlation between yield stress and slump: comparison between numerical simulations and concrete rheometers results. *Materials and structures*, 39(4), 501–509.
- Safi, B., Saidi, M., Daoui, A., Bellal, A., Mechekak, A. ve Toumi, K., 2015, The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar

- (SCM). *Construction and Building Materials*, 78, 430–438.
doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.01.009
- Şahmaran, M., Christianto, H. A. ve Yaman, I. Ö., 2006, The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement and Concrete Composites*, 28(5), 432–440.
doi:10.1016/j.cemconcomp.2005.12.003
- Sakata, N., Yanai, S., Yoshizaki, M., Phyfferoen, A. ve Monty, H., 2001, Evaluation of S-657 Biopolymer as a new viscosity-modifying admixture for self-compacting concrete. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Self-Compacting Concrete*, Ed. K. Ozawa, Ouchi, M., Tokyo, Japan içinde (ss. 229–236).
- Sanjuán, M. A. ve Moragues, A., 1997, Polypropylene-fibre-reinforced mortar mixes: optimization to control plastic shrinkage. *Composites Science and Technology*, 57(6), 655–660.
- Shi, C., Wu, Z., Lv, K. ve Wu, L., 2015, A review on mixture design methods for self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 84, 387–398.
- Sonebi, M., 2004, Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1199–1208. doi:10.1016/j.cemconres.2003.12.022
- Sonebi, M., 2006, Rheological properties of grouts with viscosity modifying agents as diutan gum and welan gum incorporating pulverised fly ash. *Cement and Concrete Research*, 36(9), 1609–1618. doi:10.1016/j.cemconres.2006.05.016
- Stodola, P. R., Akers, D., Bennett Jr, J., Cheff, A., Clapp, T., Cope, J. ve Green, D., 1991, Guide for the use of preplaced aggregate concrete for structural and mass concrete applications. *ACI Materials Journal*, 88(6).
- Strømme, M., Mihranyan, A. ve Ek, R., 2002, What to do with all these algae? *Materials Letters*, 57(3), 569–572. doi:10.1016/S0167-577X(02)00831-5
- Su, N., Hsu, K. C. ve Chai, H. W., 2001, A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(12), 1799–1807.
doi:10.1016/S0008-8846(01)00566-X
- Sun, X., Wu, Q., Zhang, J., Qing, Y., Wu, Y. ve Lee, S., 2017, Rheology, curing temperature and mechanical performance of oil well cement: Combined effect of cellulose nanofibers and graphene nano-platelets. *Materials & Design*, 114, 92–101.
- Swamy, R. N., 1990, Vegetable fibre reinforced cement composites—A false dream or a potential reality? *Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials: Proceedings of the Second International RILEM Symposium* içinde (C. 10, s. 9780203626818). Routledge, London, UK. DOI.
- Topçu, İ. B., 2003, Properties of heavyweight concrete produced with barite. *Cement*

and Concrete Research, 33(6), 815–822.

TSE, 2003, TS EN 1008 Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları.

TSE, 2009, TS 706 EN 12620+A1 Beton agregaları.

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

TSE, 2013, TS EN 934-2+A1 Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme.

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

TSE, 2017, TS EN 206 Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk.

TSE, 2019, TS 13515 TS EN 206'nın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart.

Turk, K., 2012, Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume. *Construction and Building Materials*, 37, 326–334. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.07.081

Zhang, Y., Zhang, Z., Li, X., Li, W., Shen, X. ve Wang, H., 2018, Effect of welan gum on the hydration and hardening of Portland cement. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(2), 1277–1286. doi:10.1007/s10973-017-6589-5

Zhou, S., Nyholm, L., Strømme, M. ve Wang, Z., 2019, *Cladophora* cellulose: unique biopolymer nanofibrils for emerging energy, environmental, and life science applications. *Accounts of chemical research*, 52(8), 2232–2243.