

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TİP BİYOPOLİMERLERİN ÇİMENTO HARCİ MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Çağrı DURSUN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Ana Bilim Dalı

MANİSA 2013

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI TİP BİYOPOLİMERLERİN ÇİMENTO HARCİ MEKANİK VE
DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Çağrı DURSUN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Haziran 2013

Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Temmuz 2013

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Erkan KANTAR

Yrd. Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

MANİSA 2013

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
TEŞEKKÜR	viii
ÖZET	ix
İNGİLİZCE ÖZET	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Biyopolimerler ve Çeşitleri	3
1.1.1. Kitin ve Kitosan	5
1.1.2. Zantan Gam	12
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	18
2.1. Malzeme	18
2.2. Metodlar.....	19
2.2.1. Mekanik Deneyler.....	23
2.2.1.1. Yayılma Deneyi	23
2.2.1.2. Basınç, Eğilme ve Eğilme Sonrası Basınç Deneyleri	25
2.2.2. Durabilite Deneyleri	29
2.2.2.1. Asit Dayanımı Deneyi	29
2.2.2.2. Donma-Çözünme Deneyi.....	30
3. DENEYSEL SONUÇLAR	31
3.1. Mekanik Deney Sonuçları.....	31
3.1.1. Yayılma Deneyi Sonuçları	31
3.1.2. Basınç, Eğilme ve Eğilme Sonrası Basınç Deneyleri Sonuçları	36
3.2. Durabilite Deney Sonuçları	52
3.2.1. Asit Dayanımı Deneyi Sonuçları	52

3.2.2. Donma-Çözünme Deneyi Sonuçları.....	54
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
5. KAYNAKLAR	61

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 1.1. Deniz hayvanı kabukları ve mantarlardan kitin eldesi	5
Şekil 1.2. Selüloz (a), kitosan (b) ve kitinin (c) kimyasal yapıları.....	7
Şekil 1.3. Kitosanın sudaki formu	9
Şekil 1.4. Kitosan hidrojellerinin yapısı.....	11
Şekil 1.5. Zantan gamın yapısı	13
Şekil 2.1. Standart küp ve prizma kalıplar	21
Şekil 2.2. Otomatik karıştırıcı.....	22
Şekil 2.3. Harç örneklerinin kalıplara yerleştirilmesi	22
Şekil 2.4. Kür havuzu	23
Şekil 2.5. Yayılma tablası	24
Şekil 2.6. Basınç deneyi	25
Şekil 2.7. Beton numuneye uygulanan üniform basınç yükü.....	26
Şekil 2.8. Üç nokta eğilme deneyi.....	27
Şekil 2.9. Kesme kuvveti ve moment diyagramları	27
Şekil 2.10. Eğilme sonrası basınç deneyi.....	28
Şekil 2.11. Hidroklorik asit çözeltisi.....	29
Şekil 2.12. Hidroklorik asite maruz kalan deney örnekleri.....	29
Şekil 2.13. İklimlendirme kabini	30
Şekil 3.1. Beton özelliklerine etki eden faktörler	32
Şekil 3.2. Tüm serilere ait yayılma değerleri	33
Şekil 3.3. Tüm serilere ait akış alan oranı değerleri.....	34
Şekil 3.4. Yalnız kitin serilerine ait yayılma değerleri	35
Şekil 3.5. Yalnız kitosan serilerine ait yayılma değerleri	35
Şekil 3.6. Yalnız zantan gam serilerine ait yayılma değerleri	36
Şekil 3.7. 0,2 dozajlı serilerin zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi	37

Şekil 3.8. 0,3 dozajlı serilerin zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi	37
Şekil 3.9. 1,0 dozajlı serilerin zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi	38
Şekil 3.10. 0,2 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı gelişimi	38
Şekil 3.11. 0,3 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı gelişimi	39
Şekil 3.12. 1,0 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı gelişimi	39
Şekil 3.13. 0,2 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	40
Şekil 3.14. 0,3 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	40
Şekil 3.15. 1,0 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	41
Şekil 3.16. 0,2 dozajlı serilere ait basınç dayanımı gelişimi	41
Şekil 3.17. 0,3 dozajlı serilere ait basınç dayanımı gelişimi	42
Şekil 3.18. 1,0 dozajlı serilere ait basınç dayanımı gelişimi	42
Şekil 3.19. 0,2 dozajlı serilere ait eğilme dayanımı gelişimi	43
Şekil 3.20. 0,3 dozajlı serilere ait eğilme dayanımı gelişimi	44
Şekil 3.21. 1,0 dozajlı serilere ait eğilme dayanımı gelişimi	44
Şekil 3.22. 0,2 dozajlı serilere ait eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	45
Şekil 3.23. 0,3 dozajlı serilere ait eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	46
Şekil 3.24. 1,0 dozajlı serilere ait eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	46
Şekil 3.25. Basınç dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı ilişkisi	47
Şekil 3.26. CTN serilerinin dozaja bağlı basınç dayanımı gelişimi	48
Şekil 3.27. CSN serilerinin dozaja bağlı basınç dayanımı gelişimi	48
Şekil 3.28. XTN serilerinin dozaja bağlı basınç dayanımı gelişimi	49
Şekil 3.29. CTN serilerinin dozaja bağlı eğilme dayanımı gelişimi	49
Şekil 3.30. CSN serilerinin dozaja bağlı eğilme dayanımı gelişimi	50
Şekil 3.31. XTN serilerinin dozaja bağlı eğilme dayanımı gelişimi	50
Şekil 3.32. CTN serilerinin dozaja bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	51
Şekil 3.33. CSN serilerinin dozaja bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	51
Şekil 3.34. XTN serilerinin dozaja bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi.....	52
Şekil 3.35. Asit etkisiyle betonun bozulması	53

Şekil 3.36. Tüm serilere ait HCl etkisinde kütlece yüzde kayıpları	53
Şekil 3.37. 28 günlük deney serilerinin eğilme dayanımı gelişimi.....	55
Şekil 3.38. 28 günlük deney serilerinin eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi	55
Şekil 3.39. 28 günlük deney serilerinin eğilme dayanımı kaybı (%)	56
Şekil 3.40. 28 günlük deney serilerinin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı (%).....	56

ÇİZELGE LİSTESİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Biyopolimerlerin fizyolojik olarak sınıflandırılması	4
Çizelge 1.2. Kitosanın teknik üretim koşulları	7
Çizelge 1.3. Kitosanın çeşitli organik asitler içinde çözünübilirlik durumu	10
Çizelge 2.1. CEN standart kumu analiz sonuçları	18
Çizelge 2.2. CEN standart kumuna ait rutubet yüzdesi	18
Çizelge 2.3. CEM I 42,5 R tip çimento analizi	19
Çizelge 2.4. Karışım oranları	20

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında bana gerekli imkanı veren, değerli yorum ve yardımları ile bana yol gösteren, eğitim hayatım boyunca yetişmem için bana her türlü fedakarlığı ve desteği gösteren Sn. Yrd. Doç. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK' e şükranlarımı sunarım.

Deney çalışmalarım boyunca verdiği değerli bilgiler ve gösterdiği ilgiden dolayı Sn. Doç. Dr. Yeliz Yükselen AKSOY' a teşekkür ederim.

Bu çalışma esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Sn. Arş. Gör. R. Tuğrul ERDEM, Sn. Arş. Gör. Abdulkerim ERGÜT ve Sn. Arş. Gör. Hasan Fırat PULAT' a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Çağrı DURSUN

Manisa 2013

ÖZET

İnşaat mühendisliğinde biyopolimerlerin kullanımı ile ilgili araştırmalar son yıllarda artış göstermiştir. Endüstri ve tıp alanında yaygın olarak kullanılan biyopolimerlerin yapı malzemeleri alanında kullanımı ise çok azdır. Bu çalışma kapsamında belirli konsantrasyonlardaki biyopolimerlerle hazırlanan çimento harçları numunelerinin yayılma, dayanım gibi mekanik özellikleri ile donma-çözünme ve asit direnci gibi dayanıklılık (durabilite) özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çimento harç numuneleri üç farklı türde biyopolimer olan zantan gam, kitosan ve kitinin çimento ağırlığına farklı oranlarda (%0,2, %0,3 ve %1,0) kullanılması ile hazırlanmıştır.

Biyopolimerlerle hazırlanan çimento harçlarına %0,2, %0,3 ve %1,0 oranlarında ilave edilerek taze ve sertleşmiş çimento harçları üzerindeki etkiler araştırılmıştır. Taze hal üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla yayılma deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak kitosan katkısının yayılma değeri 0,2 dozajda referans değerinden büyük çıkmıştır. Kitin ve zantan gama ait yayılma değerleri ise referans örneğinden düşüktür. Elde edilen bütün yayılma değerleriyle katkı etkisini daha iyi anlayabilmek için akış alan oranları belirlenmiştir.

Çimento harçlarının taze haldeki davranışı, işlenebilirliği sonradan kazanılacak dayanım ve dayanıklılık özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Çimento esaslı yapı malzemelerinin taze haldeki özellikleri kontrol altına alınarak istenilen sertleşmiş özellikleri elde edilebilir. Sertleşmiş haldeki çimento harçlarının özelliklerini belirlemek amacıyla 5x5x5 cm ayrıtlı küp ve 4x4x16 cm ayrıtlı prizma numuneler kullanılmıştır. Elde edilen numuneler 1, 2, 7 ve 28 gün sonunda dayanım ve durabilite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneylere tabi tutulmuştur.

Dayanım özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla basınç, eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyleri yapılmıştır. Hazırlanan 5x5x5 cm ayrıtlı küp numuneler üzerinde 1., 2., 7. ve 28. günde basınç deneyi yapılmıştır. 4x4x16 cm'lik prizma numunelerle de aynı deney günlerinde eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan basınç, eğilme ve eğilme sonrası basınç deneylerinde elde edilen sonuçlar yayılma deney sonuçları çalışmada sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre; kitosanın %0,2 ve %0,3 dozajlardaki dayanım değerleri 1. ve 2. günlerde yapılan deneylerin sonucunda kontrol örneklerinin dayanım değerlerinden düşük, 7. ve 28. günlerde ise dayanımları kontrol örneklerinden daha yüksektir.

Ancak %1 dozajla hazırlanan kitosan katkılı çimento harçlarının dayanım sonuçları 1., 2., 7. ve 28. gün sonunda yapılan deneylerde kontrol örneklerinkinden düşüktür. %0,2 dozajda hazırlanan kitin katkılı çimento harcı örnekleri için 28. gün sonucunda basınç ve eğilme dayanımları kontrol örneklerinkinden daha yüksektir. Zantan gam ile hazırlanan bütün serilerin dayanım değerleri yayılma deneylerinde olduğu gibi kontrol örneklerinden düşük çıkmıştır.

Dayanım değerlerinin elde edilmesinin ardından durabilite özelliklerini belirlemek amacıyla asit dayanım ve donma-çözünme deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılan 5 cm ayrıtlı küp numuneler, tartımları yapıldıktan sonra %3, %5 ve %7'lik hidroklorik asit çözeltisi içerisinde 7 gün süreyle bekletilmiştir. 7 gün sonunda asit çözeltisinden çıkarılan numuneler tekrar tartılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında deney numunelerine ait kütle kayıpları ve kütlece yüzde kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca 28 gün sonunda prizma numuneler iklimlendirme kabini içerisinde bekletilmeye başlanmıştır. Deney numuneleri üzerinde 50. ve 100. devir sonunda eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyleri yapılmıştır.

Araştırma sonucu elde edilen uygun biyopolimer ve bunlara ait optimum katkı dozajları belirlenerek betonun erken yaştaki ve nihai özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Asit direnci, biyopolimer, çimento harcı, donma-çözünme, mekanik özellikler, yayılma

ABSTRACT

Studies have been developed due to biopolymer usage in civil engineering in recent years. While biopolymers are frequently used in industry and medicine fields they are rarely used in construction materials. In the scope of this study, effect of cement mortars incorporating with biopolymers with different concentrations on mechanical properties as flow, strength and durability properties as freeze-thaw and acid resistance were investigated. Cement mortars were prepared by using three different types of biopolymers such as xanthan gum, chitosan and chitin according to different cement weight ratios (%0,2, %0,3 ve %1,0).

Effects on fresh and hardened state were investigated by adding %0,2, %0,3 and %1,0 biopolymers into cement mortars. Flow test is performed to determine the effects on fresh state. As a result, flow value of chitosan additive with 0,2 dosage is bigger than reference value. On the other hand, flow values of xanthan gum and chitin are lower than reference sample. Flow area ratios are determined by using all flow values in order to understand the admixture effect.

Behavior of cement mortars in fresh directly affects the strength and durability properties which are gained afterwards. Intended properties of hardened cementitious construction materials are obtained by taking control of fresh state properties. 5x5x5 cm and 4x4x16 cm sized cubic samples are produced to determine the properties of hardened cement mortars. These samples are tested to obtain the strength and durability properties on the 1st, 2nd, 7th and 28th days.

Compressive and bending strength tests are performed to determine the strength properties. Compressive tests of 5x5x5 cm sized cubic samples were performed on the 1st, 2nd, 7th and 28th days. Similarly, compressive strength after bending and bending tests were performed for prismatic samples having 4x4x16 cm sizes at the same ages. Strength and flow test results are presented in the study.

While strength values of %0,2 and %0,3 dosage chitosan are lower than values of control samples on the 1st and 2nd days, these values are higher than values of control samples on the 7th and 28th days.

However, strength values of cement mortars incorporating with chitin by %1 dosage are lower than control samples tested at the end of 1st, 2nd, 7th and 28th days. Compressive and bending strengths are higher than control samples for %0,2 dosage chitin mixed cement mortar samples after 28 days. Strength and flow values of all series prepared with xanthan gum are lower than control samples.

Acid resistances and freeze-thawing tests are performed to determine the durability properties after obtaining strength values. For this purpose, cubic samples having 5 cm side lengths were weighed after taking out from curing pool and kept waiting in %3, %5 and %7 HCl acid solution for 7 days. These samples were weighed at the end of 7th day. Mass losses of samples were determined in consideration of experimental results. Moreover, prismatic samples were kept waiting in air conditioner after 28 days. Bending and compressive tests are performed at the end of 50th and 100th cycles.

Suitable biopolymers and optimum additive dosages were determined after analyses and ultimate properties of early aged concrete were tried to enhanced.

Keywords: Acid resistance, biopolymer, cement mortar, freeze-thaw, mechanical properties, flow

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü, gerek milli gelire olan büyük katkısı gerekse de sunduğu iş gücü potansiyeli ile ülke ekonomimizin kalkınmasını sağlayan ve her geçen gün daha da gelişerek ekonomimizi güçlendiren bir sektördür. Ayrıca insanoğlu var olduğu sürece gereksinimlerine karşılık vermesi açısından sürekli yaşayacak sektörlerden biriside inşaat sektörüdür. İnsan nüfusunun son yıllarda sürekli olarak artması inşaat sektörün canlı kalmasını sağlasa da sektör hızla değişen ve gelişen teknolojiye ayak uydurmak zorundadır.

Çimento esaslı malzemeler, deprem kuşağı altında olan ülkemizde gelişen inşaat sektörünün önemli bir unsurudur. Özellikle çimento esaslı malzemelerden beton, son yıllarda inşaat sektörünün en önemli yapı malzemesi durumuna gelmiştir. Beton bileşenlerinin kolay elde edilebilir olması ve kompleks olmaması, betonun belli bir süre sahip olduğu plastik kıvamından dolayı işlenebilirliğe olanak sağlaması, istenilen şekil ve ebatların verilebilmesi, servis ömrünün uzun olması, nihai dayanımının yüksek değerlere ulaşması ve ekonomik açıdan çok uygun olmasından dolayı çok kullanışlı ve vazgeçilmez bir yapı malzemesidir.

Son yıllarda gelişen teknoloji ve hızla artan nüfusa bağlı olarak çimento esaslı yapı malzemelerinin kullanım alanı artmıştır. Başta konutlar olmak üzere fabrikalar, köprüler, tüneller, metrolar, yollar, barajlar, kanallar ve buna benzer birçok yapılarda hazır beton teknolojisi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hazır beton tesisindeki ileri üretim teknolojisi sayesinde istenilen özellik ve kalitedeki betonun istenilen ölçüde üretilmesi, ardından elde edilen betonun gerekli araç ve ekipman sayesinde sevkiyat ve yerleştirme kolaylığı hazır beton teknolojisini cazip hale getirmiş, çeşitli yapısal elemanlarda rahatlıkla kullanılmıştır.

Betonarme elemanlar zati yükler, servis yükleri ile deprem ve rüzgâr gibi dış etkilere karşı oluşacak yükleri güvenli bir şekilde karşılamalı, bu yüklerden dolayı oluşabilecek zorlanmalara karşı yeterli dayanımı sağlamalıdır. Ayrıca yapının servis ömrü boyunca iklim ve hava şartları, kimyasal etkiler, aşınma, donma-çözünme gibi çevresel faktörlere karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

Yatay ve düşey yüklerin sebep olduğu zorlanma etkilerine karşı yüksek dayanım sağlayabilen ve çevresel faktörlere karşı daha dayanıklı ve kalıcı yapısal elemanların üretilmesi diğer yapılarda olduğu gibi betonarme yapılar içinde gereklidir. Gerek yapısal kalitenin sağlanması gerekse de olumsuz koşullara karşı daha güvenli ve yüksek performanslı yapı elemanlarının üretilmesi için çimento esaslı malzemelerin özelliklerinin iyileştirilip geliştirilmesi önem kazanmıştır.

Önemli yapısal uygulamalarda gereksinim duyulan performans düzeyine geleneksel bileşenlerle üretilen beton karışımlarıyla erişmek mümkün değildir. Son yıllarda gerçekleştirilen pek çok araştırmada soruna çözüm amacıyla çeşitli kimyasal ve mineral katkı maddelerinin rahatlıkla kullanılabileceğine dair telkinler söz konusudur (Erdoğan ve Kurbetçi, 2003).

Özellikle zararlı çevresel koşulların hüküm sürdüğü ortamlarda bu maddeler bu anlamda önemli avantajlar sağlamaktadır. Kimyasal ve mineral katkılar sayesinde betonun sahip olduğu geleneksel fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanmış olmakta ve bir bakıma yeterli performans garanti edilmiş olmaktadır. Gerek kimyasal gerekse mineral katkı maddelerinin betonun performansı üzerindeki etkinliği öncelikle üretilen betonun beton gibi üretilip üretilmemesine ve devamında kullanılan katkı maddesi kimyasal ise miktarına ve konsantrasyonuna; mineral ise tipine, bileşimine, inceliğine ve miktarına bağlıdır. Dolayısıyla, hedeflenen performans kriterine ulaşmak için bu maddelerin her şeyden önce teknik ve teknolojik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir (Erdoğan ve Kurbetçi, 2003).

Çimento esaslı malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkileyen bu kimyasal ve mineral katkı maddelerinin üretim aşamasında konsantrasyonları, kimyasal muhtevaları ve fiziksel özelliklerine uygun olarak kullanılmaması, belirlenen kullanım dozajlarının uygulanmaması ve çimento ile nasıl bir etkileşim göstereceğinin bilinmemesi beklenmedik sorunları ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle üretim aşamasında görevli uygulayıcılar ve saha koşullarında çalışan yetkililer bu katkı malzemelerinin yanlış ve bilinçsiz kullanılmasının sebep olacağı olumsuz koşulları önceden bilmeli ve gerekli önlemleri almalıdırlar.

Yapısal elemanların hem dayanım hem de dayanıklılık açısından daha iyi performans göstermesini sağlayan kimyasal ve mineral katkı malzemelerinin dışında çeşitli katkı malzemeleri çimento esaslı malzemelerin performansını artırmak amacıyla kullanılabilmektedir. Özellikle çekme mukavemeti basınç mukavemetinden çok küçük olan betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla polimer katkıların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Cam yünü, selüloz, naylon ve polipropilen gibi polimerler ile bitkisel liflerin özellikle gelişmekte olan ülkelerde, yapı elemanlarının daha hafif olarak üretilbilmesine imkan vermesi, çimentonun mekanik özelliklerini iyileştirmesi, ses ve ısı yalıtımını sağlaması, aynı zamanda ekonomik olması kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada zantan gam, kitosan ve kitin biyopolimer katkılarının çimento harçlarının basınç, eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı gibi mekanik özellikleri ile asit direnci ve donma-çözünme direnci gibi dayanıklılık (durabilite) özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu

çalışmadan elde edilen sonuçlar vasıtasıyla biyopolimerlerin, çimento esaslı yapı malzemelerinin servis ömürleri boyunca karşılaşılabilecek çevresel agresif ortamlara karşı performanslarının artırılması için kullanımı konusunda yön gösterici olacaktır. Ayrıca kullanılacak optimum biyopolimer miktarına da bu çalışmada elde edilen sonuçlar vasıtasıyla karar verilebilecektir.

1.1 Biyopolimerler ve Çeşitleri

Biyopolimerler, yaşayan organizmalar tarafından oluşturulan polimer sınıfıdır. Amerika Malzeme Test Metodları standartları (ASTM)'nin yaptığı tanıma göre; bakteri, alg ve fungus gibi mikroorganizmaların doğal faaliyetleri sonucu tamamen yıkılabilen doğal materyallerdir (Visch, 2002). Biyopolimerler, mikroorganizmalardan, bitkilerden veya hayvanlardan ya da aminoasit, şeker, yağ gibi materyallerden sentezlenmiş kimyasallardan oluşan polimerler ile aynı karakteristik özellikleri gösterir. Bu yüzden biyopolimerlerin farklı fiziksel özellik gösteren farklı türlerde birçok çeşidi vardır. Bu polimerleri kimyasal yapılarına göre sekiz ana gruba ayırabiliriz: DNA, RNA gibi nükleik asitler, protein ve poliaminoasit gibi poliamitler, selüloz, nişasta, zantan gibi polisakkaritler, kitin, polimalik asit, polihidroksi alkanoik asit gibi organik polioksiesterler, polioesterler, polifosfat gibi inorganik poliestesterler, doğal kauçuk, sumatra zıncı gibi polizoprenoitler, linyin ve humik asit gibi polifenollerdir. Dünyada bulunan en yaygın organik biyopolimer selülozdur ve yeryüzü materyalinin %33'ü selülozdur (Margaritis and Pace, 1985).

Biyopolimerler ile polimerler arasında başlıca ve ayırıcı fark yapılarından kaynaklanmaktadır. Her ikisi de birbirine bağlı monomerlerden oluşmasına karşın biyopolimerin kendisine has ayrı bir yapısı vardır. Biyopolimerlerin yenilebilir, ayrışabilir olmaları ve bol miktarda bulunmaları sebebiyle düşük maliyetle elde edilmeleri diğer polimerlere göre en büyük avantajları arasında sayılabilir.

Biyopolimerler tekrar eden bir düzene sahiptirler, bu yüzden metaller, yüzey partikülleri ve diğer polimerlerle kimyasal reaksiyona girmeye yatkındırlar. Ağır metaller ve radyoaktifler barındıran çevresel kirlilik dünya çapında büyük bir sorundur. Nükleer ve diğer aşırı zararlı metalik atıkları yok etmeyi amaçlayan yeni bir evrensel teknoloji bulunmamaktadır. Biyopolimerler bu tip bir yenilikçi teknoloji için potansiyel araçlardır. Bunlar aynı zamanda kirliliği kapsül içine alan penetrasyon kabiliyetine sahiptirler. Yer altındaki bu metallerin stabilizasyonunda 5 çeşit biyopolimer kullanılabilir. Bunlar zantan gam, kitosan, polyhydroxy butyrate, guar gam, polyglutamic asittir (Etemadi et al, 2003).

Biyopolimerlerin özellikleri üretildikleri hammaddelerin cinsine bağlı olduğu kadar, üretildikleri ortamların fizyolojik koşullarında yapılacak olan kimyasal modifikasyonlarından da etkilenmektedir. Bu etkileşimler biyopolimerlerin bazı belirgin özellikleri (nem, su dirençliliği, saydamlık, yüksek ısıya karşı dirençlilik gibi) yönünden oldukça belirleyici olabilmektedir. Biyopolimerlerin bu sayılan karakteristik özellikleri, bu materyallerin nasıl bir uygulamada yani hangi endüstriyel proseste kullanılabileceğini belirlemektedir (Seviour and Kristiansen, 1983).

Biyopolimerler, fizyolojik aktiviteleri temel alınarak, Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi üç temel grup altında sınıflandırılmışlardır:

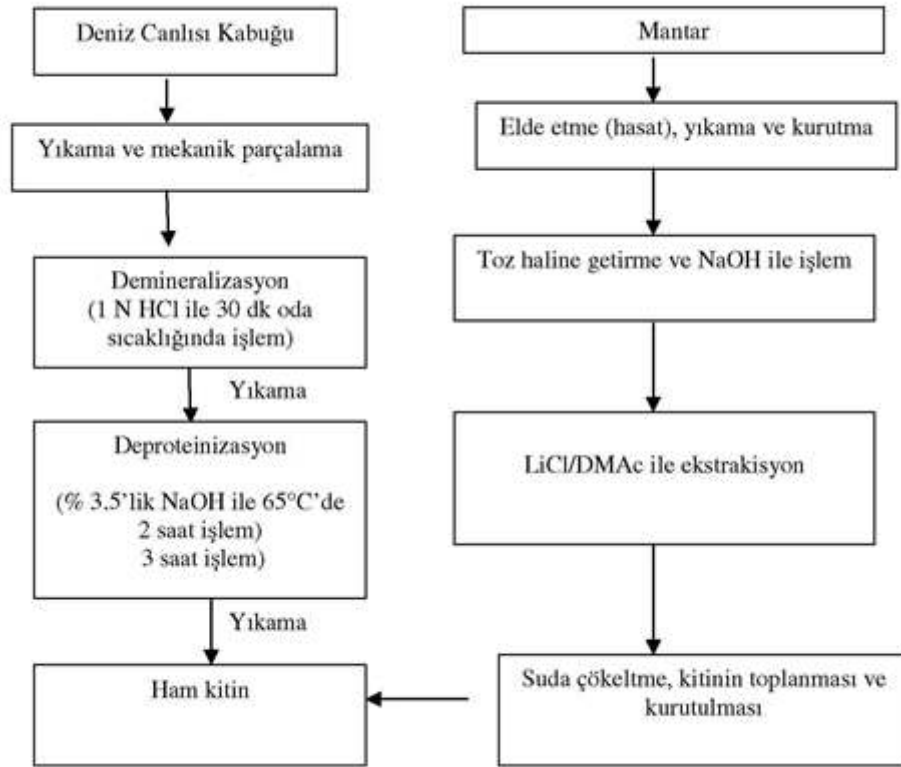
Çizelge 1.1 Biyopolimerlerin fizyolojik olarak sınıflandırılması (Stevenson, 1999)

Polimer	Yapısal Tanım	Ticari Uygulama Alanları
Polisakkaritler	Monosakkaritlerin poliasetal ve/veya poliketal organizasyonları	Gıda maddeleri, fiberik yapı, yapısal materyaller, yapıştırıcı, kaplama
Proteinler	a-aminoasitlerin poliamidleri	Gıda maddeleri, fiberik yapı, tıbbi ajan
Polinükleotidler	Nükleositlerin ve fosforik asitin poliestерleri	Genetik mühendisliği (Tıbbi ajan, Tarım kimyasalları)

Polisakkarit yapıdaki biyopolimerler, farklı canlı türlerinde farklı oranlarda karşımıza çıkmaktadır. Selüloz ve nişasta doğada en yaygın olan polisakkaritik polimerlerdir. Bu iki biyopolimer de doğada bitkisel kaynaklarda mevcuttur. Oysaki, bitkiler dışında hayvan ve mikroorganizma yapısı da incelendiğinde, polisakkarit bazda polimerik yapılara oldukça yoğun miktarda rastlanmaktadır. Örneğin kitin ve kitosan polimeri, kabuklu hayvanların kabuk yapısında ve böceklerin dış iskeletinde temel yapısal bileşen olarak yer almakla beraber ökaryotik mikroorganizmalar olan fungusların hücre duvarı yapısına da katılmaktadır (Münzberg et al, 1995).

1.1.1 Kitin ve Kitosan

Kitin ilk olarak 1811'de mantarın yapısında tespit edilerek tanımlanmıştır. Yeryüzünde selülozdan sonra en fazla bulunan doğal biyopolimer olarak bilinmektedir. Bu polimerler, yengeç, istakoz ve karides gibi deniz kabuklularının dış iskelet yapılarından, böceklerden ve fungusların hücre duvarlarından elde edilmektedir. Su ürünlerinin işlenmesinden sonra, bir yan ürün olarak atık durumuna gelen deniz kabuklularının dış iskelet yapıları, kitin elde edebilen önemli bir kaynak haline gelmiştir (Agulló et al, 2003). Deniz canlıları ve mantarlardan kitin elde edilmesi Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Deniz hayvanı kabukları ve mantarlardan kitin eldesi (Khor, 2001)

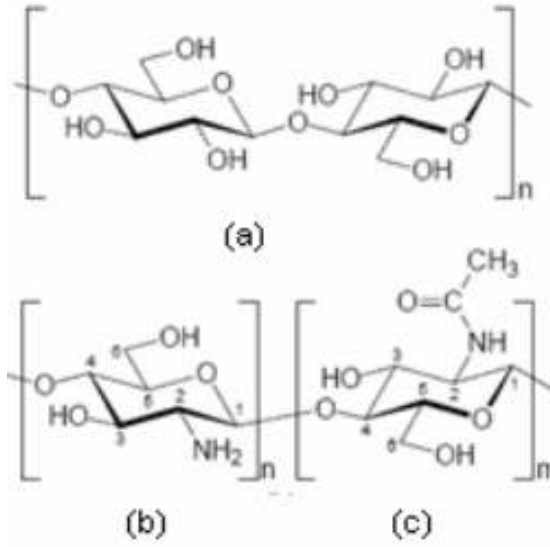
Kitin, selülozdan sonra dünyada en yaygın olarak bulunan ikinci biyopolimerdir. Yengeç, karides gibi kabuklu su ürünlerinin ana bileşeni olup, böceklerin iskeletinde ve mantarların hücre duvarlarının yapısında da bulunmaktadır. Dünyada yıllık kitin üretiminin yaklaşık 150×10^3 ton civarında olduğu belirtilmektedir. Bunun 56×10^3 tonu karidesten, 39×10^3 tonu çeşitli deniz kabuklularından, 32×10^3 tonu mantarlardan ve 23×10^3 tonu istiridyelerden elde edilmektedir (Guang, 2002).

Böceklerin kabuklarında yaklaşık %23,5 oranında kitin bulunurken bu oran yengeç ve karideste sırasıyla %17 ile %32 arasında değişmektedir. Dolayısıyla bu durum ekonomik olarak önemli bir kazanç sağlamaktadır. Ancak kitinin funguslardan elde edilmesi deniz kabuklularından daha avantajlıdır. Yıl boyunca elde edilebilmesi, ham materyalin homojen kompozisyona sahip olması, demineralizasyon aşaması gerektirmemesi, funguslardan kitini elde etmeyi daha avantajlı hale getirmektedir (Agullö et al, 2003).

Kitinin birçok türevi bulunmakla beraber, bunlar arasında en önemlisi kitosandır. Kitosan, ilk kez 1811 yılında Henri Bracannot tarafından keşfedilmiştir. Bracannot, mantarlarda bulunan kitini sülfürik asitte çözmeye çalışmış ancak başarılı olamamıştır. 1894'de Hoppe-Seyler, kitini potasyum hidroksit içerisinde 180°C'de işleme sokmuş (deasetilasyon) ve asetil içeriği azaltılmış bir ürün olan kitosan'ı elde etmiştir. 1934 yılında kitosandan film üretimi ve lif elde edilmesi konusunda olmak üzere iki patent alınmıştır. Aynı yıl, Clark ve Smith tarafından çok iyi oryante olmuş kitosan lifi üretimi de başarı ile gerçekleştirilmiştir (Demir ve Seventekin, 2009).

Kitin ve kitosan üretimi günümüzde özellikle Oregon, Washington, Virginia, Japonya ve Antartika'daki kabuklu deniz hayvanlarından üretilen konserve endüstrisine bağımlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu konuda özellikle Norveç, Meksika ve Şili gibi ülkeler çalışmaları yürütmektedir. Örneğin "Flonac" ticari adıyla yengeç kabuklarından üretilen kitosan polimerinin 2000 yılı üretimi 1250 ton/yıl civarında olmuştur. Bir kilogramının üretim maliyeti ürün kalitesine ve üretim prosesine bağlı olarak 6 ile 32 USD arasında değişmektedir (Kılınç ve Çaklı, 2004).

Bir biyopolimer olan kitin, esas olarak poli- $[\beta-(1,4)\text{-}2\text{-asetamid-}2\text{-deoksi-}\beta\text{-D-glukopiranoz}]$ yapısında olup çok düşük oranda 2-amino-2-deoksi- $\beta\text{-D-glukopiranoz}$ monomerlerini de içermektedir. Kitosanın kimyasal yapısı, poli- $[\beta-(1,4)\text{-}2\text{-amino-}2\text{-deoksi-}\beta\text{-D-glukopiranoz}]$ şeklindedir. Kitin ve kitosan polisakkaritleri, kimyasal olarak selüloza benzemekle birlikte kendi aralarında birtakım farklılıklar göstermektedir. Selülozda, ikinci karbon atomuna bağlı hidroksil (-OH) grubu bulunurken, kitinde asetamid (-NHCOCH₃), kitosanda ise amin (-NH₂) grubu bulunmaktadır. Şekil 1.2'de selüloz, kitin ve kitosanın kimyasal yapıları gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Selüloz (a), kitosan (b) ve kitinin (c) kimyasal yapıları (Lim, 2002)

Genel olarak bakıldığında, yengeç, istakoz ve karides gibi deniz hayvanlarının kabuk kısmı %30-40 protein, %30-50 kalsiyum karbonat ve kalsiyum fosfat ile %20-30 kitinden oluşmaktadır. Kabuklu deniz hayvanlarının yapısındaki protein bazı insanlarda alerjiye sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, proteinin tamamen uzaklaştırılması özellikle biyomedikal uygulamalarda kullanımı açısından son derece önemlidir. Bu amaçla, kitinin protein kompleksindeki kovalent bağlar deproteinizasyon ile koparılmaktadır. Ancak kullanılan kimyasal maddelerin biyopolimeri de depolimerize etme tehlikesi nedeniyle işlem esnasında dikkatli olmak gerekmektedir.

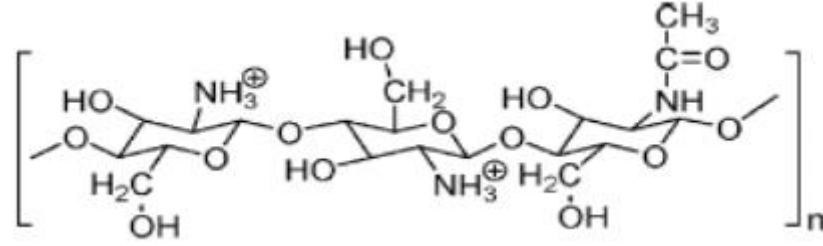
Çizelge 1.2 Kitosanın teknik üretim koşulları (Lim, 2002)

Adım	Kimyasal Madde	Sıcaklık	Süre
Deproteinizasyon	% 0,5-15 NaOH	25-100	0,5-72 saat
Demineralizasyon	% 2-8 HCl	15-30	0,5-48 saat
Dekolorizasyon	Çeşitli organik çözümler (NaOCl, H ₂ O ₂)	20-30	Yıkama, 60 dk
Deasetilasyon	% 39-60 NaOH	60-150	Yıkama, 60 dk

Deproteinizasyon için NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃, KOH, K₂CO₃, Ca(OH)₂, Na₂SO₃, NaHSO₃, Ca(HSO₃)₂, Na₃PO₄ ve Na₂S gibi çeşitli kimyasal maddeler denenmiştir. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda en uygun olan maddenin NaOH olduğu görülmüştür. Bu amaçla deasetilasyon işleminde 1 M NaOH çözeltisi kullanılmaktadır. NaOH, kitinin kısmen deasetillenmesine ve biyopolimerin hidrolize olması sonucu molekül ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. İşlem herhangi bir sorun olmaksızın yerine getirildiği takdirde kitinin protein içeriği %1 civarında kalmaktadır. Ayrıca, pepsin, papain, tripsin ve proteaz gibi proteolitik enzimler de protein uzaklaştırma amacıyla kullanılmaktadır. Deproteinizasyon, aynı zamanda kitine belli bir kalite de kazandırmaktadır. Son olarak kitosan %2'lik asetik asit çözeltisi ile ekstrakte edilip ardından filtre edilmekte, destile suda çöktürülüp kurutulmakta ve depolanmaktadır (Demir ve Seventekin, 2009).

Kitin ve kitosanın kimyasal özellikleri önemli derecede farklıdır. Kitin, yapısındaki molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağları veya hidrofobik interaksiyonlar nedeniyle, kimyasal olarak daha yüksek stabiliteye sahiptir. Ayrıca, kitinin kitosandan daha fazla kristalizasyona sahip olması, çeşitli uygulamalarda daha az reaktif olmasına neden olmaktadır (Mazeau and Rinaudo, 2004). Şüphesiz ki bu tür katkıların gıda uygulamalarında en önemli özelliklerinden biri de çözünürlükleridir. Kitosanın zincir boyunca çok sayıda katyonik kısmının olması, polariteyi ve elektrostatik itme derecesini artırarak çözünürlüğünü arttırmaktadır. Çözünürlük derecesi kitosanı kitinden ayıran en önemli farklardan biridir. Kitinin çözünürlüğü sınırlı olup, çözücü konusunda seçicidir. Ancak kitosan formik asit, asetik asit ve laktik asit gibi birçok sulu asit çözeltisinde çözünebilmektedir. Bununla birlikte, kitosanın polikasyonik özelliğe sahip olması, protein, anyonik polisakkaritler (alginat, karagenan ve pektin gibi), yağ asitleri ve fosfolipidler gibi negatif yüklü olabilen bileşenlerle kolay bir şekilde etkileşime girmesini sağlamaktadır (Tharanathan and Kittur, 2003). Dolayısıyla kitosanın bu özellikleri, kitosanı gıdalarda kullanımı açısından kitine kıyasla daha önemli yapmaktadır.

Kitosanın üç çeşit reaktif fonksiyonel grubu bulunmaktadır. Bunlar; C-2 pozisyonunda bir amino grubu ve C-3 ve C-6 pozisyonlarında iki hidroksil grubudur. Dolayısıyla bu gruplar üzerinde yapılacak kimyasal modifikasyonlar, bu polimerlerin farklı uygulamalarda ve daha etkili kullanımını da sağlayabilecektir. Nitekim Nacetylated chitosan (NAC), kitosanın gıda uygulamalarında suda çözünürlüğünü artıran bir modifikasyonudur. Yine kitosanın fosforik gruplarla muamelesi suda çözünürlüğünü ve çelat oluşturma ve emülsifikasyon yeteneklerini artırmaktadır (Agulló et al, 2003). Kitosanın sudaki formu Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Kitosanın sudaki formu

Kitosanın özelliklerine etki eden parametreler; deasetilasyon derecesi, molekül ağırlığı, viskozite, çözünürlük ve renk şeklinde sıralanabilmektedir. Kitosanın kitine göre iki büyük avantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kitini çözmek için lityum klorür ve dimetilasetamid gibi toksik özellikte olabilen çözümler kullanılmasına karşın kitosanın seyreltik asetik asit içinde kolayca çözünmesidir. İkinci avantajı ise birçok kimyasal reaksiyon için aktif kısım olan serbest amino gruplarına sahip olmasıdır.

Kitosanın doğal ve sentetik polimerlere uygulamasında önemli olan diğer bir parametre de molekül ağırlığıdır. Kitin ve kitosanın molekül ağırlığı, elde edildiği kaynağa ve özellikle deasetilasyon koşullarına (sıcaklık, zaman ve NaOH konsantrasyonu) bağlı olarak değişmektedir. Ortamda bulunan çözünmüş oksijen, kitosanın parçalanmasına neden olmakta ve molekül ağırlığını düşürmektedir. Diğer yandan, çok yüksek sıcaklıklar da kitosanın molekül ağırlığına olumsuz etki etmektedir. Örneğin 280°C ve üzerindeki sıcaklıklarda kitosan parçalanmaya başlamakta, polimer zinciri kopmakta ve böylece molekül ağırlığı düşmektedir. Molekül ağırlığının belirlenmesinde jel permutasyon kromatografisi, ışık saçılma spektroskopisi ve viskozimetrik yöntemler gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

Sıcaklık, viskozite, deasetilasyon ve pH derecesi gibi parametreler kitosanın özelliklerine etki etmektedir. Viskozite, demineralizasyon süresinin artması ile düşmektedir. Yaklaşık 4°C'de depolanan kitosan çözeltisinin viskozite açısından en iyi stabiliteyi gösterdiği görülmüştür.

Kitin, çok miktardaki molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağları ile yan kristalin yapıda bir polimerdir. Bu nedenle seyreltik asitlerde ve birçok organik çözgüde çözünmemektedir. Kitosan, katyonik yapısı sayesinde pH<6 ortamında bazı çözümlerde kolayca çözünabilmektedir. Diğer yandan, inorganik asitler içerisinde kitosanın çözünürlüğü oldukça düşüktür. Kitosanın çözünmesi amacıyla genellikle asetik asit, formik asit ve laktik asit gibi organik asitler kullanılmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılan çözgen asetik asittir. Kitosanın çözünürlüğünü etkileyen sıcaklık, çözgen konsantrasyonu ve partikül büyüklüğü gibi

birçok parametre bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar iyi bir çözünürlük için kitosanın en az %75-80 deasetilasyon derecesine sahip olması gerektiğini göstermiştir.

Asidik ortamda NH_2 grubu $-\text{NH}_3^+$ şeklinde bulunmakta ve ortamdaki anyonik gruplarla elektrostatik olarak etkileşime girmektedir. Protonlaşmış durumda katyonik polielektrolit davranışı göstermekte, viskoz çözeltiler oluşturmakta ve zıt yüklü molekül ve yüzeylerle etkileşime girebilmektedir. Kitosanın çözünürlüğü, kimyasal modifikasyonları, film veya lif oluşumu gibi kullanımları açısından da oldukça önemli bir parametredir. Çizelge1.3'de kitosanın çeşitli organik asitler içinde çözünürlük durumu gösterilmiştir.

Çizelge 1.3 Kitosanın çeşitli organik asitler içinde çözünürlük durumu (Knittel and Schollmeyer, 1998)

Kitosan Konsantrasyonu					
Asitler	% 1	%5	% 10	%50	>%50
Asetik	+	+	+		
Sitrik	-	+	+		
Formik	+	+	+	+	+
Laktik	+	+	+		
Malik	+	+	+		
Malonik	+	+	+		
Tartarik	-	-	+		

(+): çözünür, (-) çözünmez

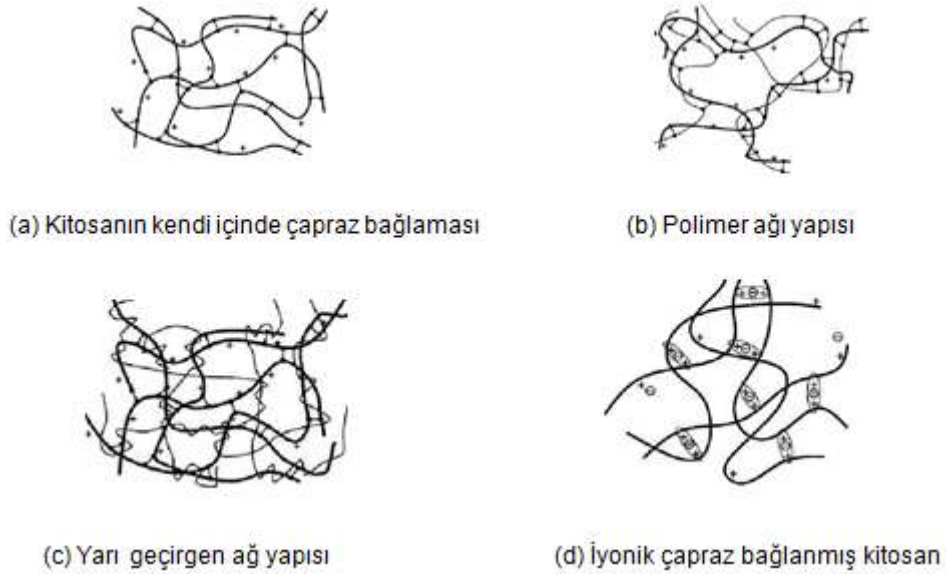
Kabuklu deniz hayvanlarının yapısındaki pigment, kitin ile kompleks oluşturmaktadır. Toz halindeki kitosan oldukça yumuşak olup rengi açık sandan beyaza kadar çeşitli tonlarda değişebilmektedir. Kitinden kitosan eldesi esnasında renk giderilmesi aseton ile ekstraksiyon ve ardından %0,3 NaOCl ile oda sıcaklığında yapılan 5 dakikalık işlem sonunda gerçekleşmektedir. Çeşitli literatürlerde, renk giderme işlemi için alternatif olarak; KMnO_4 , NaHSO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ veya H_2O_2 gibi kimyasalların da kullanılabileceği ifade edilmektedir.

Doğada selülozdan sonra ikinci en yaygın biyopolimer olan kitin birçok alanda yaygın biçimde kullanılmasına karşın sıkı moleküler üstü yapısı nedeniyle bazı durumlarda sorunlarla karşılaşabilmektedir. Bu nedenle kitin yerine, deasetilasyonu sonucu elde edilen ve başlıca türevi olan kitosan kullanılmaya başlanmıştır.

Kitosan günümüzde tıptan gıdaya, ziraatten kozmetiğe, eczacılıktan atık su arıtımına ve tekstil sektörüne kadar sayısız alanda kullanılabilmektedir. Kitosan çeşitli ülkelerde büyük ölçüde kullanılmasına karşın ülkemizde bu oran daha düşüktür. Tekstil sanayinde de birçok amaç için kullanılmaktadır. Bunlar arasında; antimikrobiyal özellik kazandırması, yünlü kumaşlarda çekmezlik sağlaması, reaktif boyamada tuz miktarını azaltması, pamuğun asit boyarmaddelerle boyanabilirlik kazanması, antistatik özellik kazandırılması, deodorant maddesi olarak kullanılması sayılabilmektedir.

Ayrıca, kitosan ile diğer liflerin karışımından üretilen çeşitli antimikrobiyal lifler de bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, Crabyon (kitosan ve viskon karışımı, Tec Service), chitopoly (kitosan ve polinozik lif karışımı, Fuji) verilebilmektedir.

Kitin, kitosan ve türevlerinin uygulama alanları su arıtımı, ziraat, biyoteknoloji, gıda ve kozmetiktir. Kitosan, medikal tekstiller alanında oldukça önem kazanmıştır. 1960'ların ortalarından beri Japonya başta olmak üzere pek çok Asya ülkesinde bu konuda çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle yara tedavisinde doku sağlanması için kitosan oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, medikal yapay deri, cerrahi dikiş iplikleri, yapay kan damarları, kontrollü ilaç salımı, kontakt lens yapımı, yara bandı, sargı bezi, kolesterol kontrolü (yağ bağlayıcı), tümör inhibitörü, antifungal, antibakteriyel ve hemostatik etki göstermesi vb. şeklinde sıralanabilmektedir (Montazer et al, 2007). Kitosan diğer yandan kolesterol düşürücü etkiye de sahiptir. Polikasyonik yapısı nedeniyle negatif yüklü lipidler ile etkileşime girerek kolesterolü düşürmektedir (Berger et al, 2004).



Şekil 1.4 Kitosan hidrojellerinin yapısı (Cho et al, 1999)

Kitosan, yara iyileşmesini hızlandırmada da oldukça etkin rol oynamaktadır. Kitosan heparin (- yüklü) ile polielektrolit kompleks oluşturma özelliği sayesinde yara tedavisine etkin rol oynamaktadır. Heparin, kanın pıhtılaşmasını önleyen (antikoagülan) bir polisakkarittir. Oluşan bu kompleks ve beraberinde hücre büyüme faktörünün de artmasıyla doku gelişimini desteklemektedir. Cho vd. (1999), suda çözünebilir kitosanı, tavşanların yaralı sırtına yapıştırmış ve yaranın hızla iyileşme gösterdiğini bulmuşlardır.

Son yıllarda, kitosandan elde edilen bandajlar önem kazanmıştır. Bunlar özellikle Irak savaşı sırasında kullanım alanı bulmuştur. Z. Medica firması tarafından üretilen bu bandajlar sayesinde kanın durdurulması sağlanarak yaraların hızla iyileştiği ve birçok askerin yaşamını kurtardığı ifade edilmiştir. Bu ürünlerin, kanamayı durdurma hızının yaklaşık 60 ml/dk olduğu ve bandajların, karides yengeç gibi deniz canlılarına karşı alerjik reaksiyon gösteren askerler üzerinde dahi herhangi bir alerjik reaksiyon yaratmadığı literatürde belirtilmiştir (Shahidi et al, 1999).

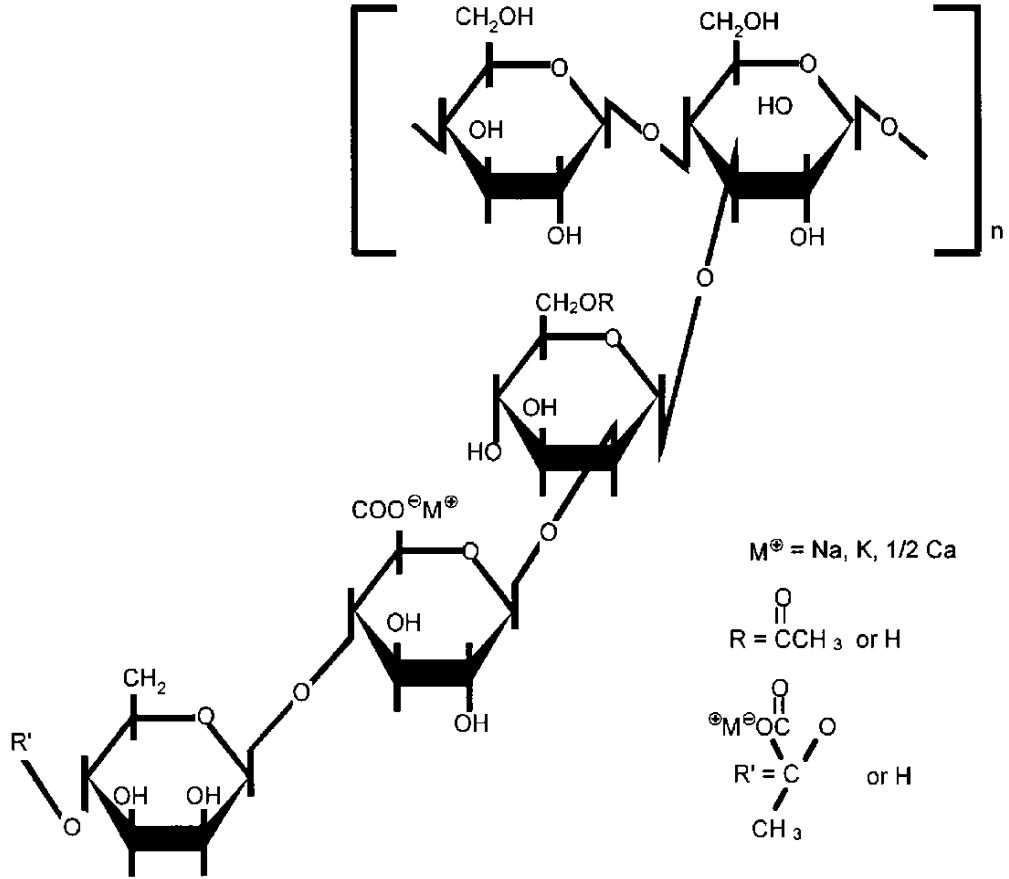
Özetle kitosan, yukarıda bahsedilen özelliklerinin yanı sıra biyo uyumluluğu, antimikrobiyal aktivitesi, diğer materyallerle kompozit oluşturabilmesi, hücresel tutunmaya ve çoğalmaya olanak sağlaması gibi özellikleri sayesinde de kullanım alanı bulmuştur. Kitosan, kullanılacağı yere/dokuya göre mekanik özellikleri güçlendirilebilmektedir.

1.1.2 Zantan Gam

Zantan gam, *Xanthomonas Campestris* mikroorganizması tarafından salgılanan hücre dışı polisakkarittir (Kim et al, 2006). Soğuk suda çözünür ve karışım yüksek derecede psödoplastik akış sergiler. Bu viskozite, geniş bir pH ve sıcaklık aralığı üzerinde mükemmel bir stabiliteye sahiptir, ayrıca polisakkarit enzimle yıkıma karşı dayanıklıdır.

Xanthomonas campestris bakterisi normal yaşam döngüsü sırasında karmaşık bir enzimatik süreç sonucu hücre duvarında polisakkarit üretir (Harding et al, 1995). Doğada bu bakteriler, lahana gibi sebzelerin yapraklarında bulunur. Ticari olarak, zantan gam bu bakterinin saf kültürünün oksijensiz batık fermantasyonu sonucu elde edilir. Kültür ise bakteriler tarafından glikoz, azot kaynağı ve çeşitli ufak miktarda elementler içeren iyi havalandırılmış ortamda oluşturulur. Son fermantasyon aşaması için tohumun birikmesi, inokülüm sürecinde çeşitli aşamalarda gerçekleştirilir. Son fermantasyon tamamlandığında su ısıtılarak mikropları öldürülüp, izopropil alkol ile çökelme yapılarak zantan gam elde edilir. Son olarak ürün kurutulur, öğütülür ve paketlenir.

Mikrobiyel bir heteropolisakkarit olan zantan gamın yapısı, Şekil 1.5'de görülüp temel olarak selülozun yapısında olduğu gibi 1,4-bağlı β -D-glukoz birimlerinin bulunduğu ana bir polimer iskeletinden oluşmaktadır. Bu iskelete bağlı yan zincirlerde ise, iki adet D-mannoz kalıntısı arasında bir adet D-glukorinik asit kalıntısından oluşan bir trisakkarit bulunmaktadır. Zantan gamda bulunan ve molekülün yaklaşık %60'lık kısmını oluşturan bu yan zincirler, zantan gama özgü birçok fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırabilmektedir. Yan zincirleri nedeniyle zantan gam, soğuk zincir içerisinde bile tamamen hidratlanabilmektedir. Ayrıca, bu yan zincirlerin, zantan gamı hidrolize karşı dayanıklı kıldığı belirtilmektedir. Polimer ayrıca, %4,7 oranında O-asetil grupları ve %3,0-3,5 oranlarında ise glukoz biriminde ketal olarak bulunan pürvik asit içermektedir.



Şekil 1.5 Zantan gamın yapısı (Jansson et al, 1975)

Zantan gamın yapısal özellikleri şunlardır:

- Su tutma ajanı

- Soğuk ve sıcak suda çözünebilme
- Ağızda dolgunluk hissi ve üründe kıvam arttırma
- Psedöplastik yapısal akışkanlık
- Ürün nem tutma kapasitesini geliştirme
- Sıvı ortamlarda yapısal kontrol
- Nötral tat ve koku
- Viskoz yapı güçlendirici
- Yağ ayrışmasını önleme, emülsiyon ve süspansiyon stabilitesi sağlama
- Geniş pH aralıklarına karşı stabil
- Yüksek tuz konsantrasyonlarına karşı stabil
- Donma/Çözünme stabilitesi
- Enzimatik bozunmalara dayanıklılık

Zantan gamının işlevselliği, solüsyonunun iyi hazırlanmasına bağlıdır. Kötü bir karışım sonuçta kötü bir işlevsellik meydana getirecektir. Bu nedenle doğru bir solüsyonun nasıl hazırlanacağı bilinmelidir. Optimum işlevselliği sağlamak için kullanılmadan önce zantan gam düzgün bir şekilde suyla karıştırılmalıdır. Karışımda zantan gam partikülleri iyice dağılmalıdır. Kötü bir karışım, partiküllerin karışım boyunca topaklanıp şişmesine neden olur. Bu nedenle zantan gam özel karıştırıcı tanklarında karıştırılmalıdır.

Karışım 4 faktöre bağlıdır.

1. Dağılma
2. Çözücünün karışma oranı

3. Çözücünün birleşim oranı

4. Partikül büyüklüğü

Zantan gama mekanik kuvvet uygulandığında akışkan hale geçerek viskoziteyi düşükmüş gibi gösterme etkisi, özellikle ketçap, sos, mayonez uygulamalarında zantan gamın yaygın olarak kullanılmasına imkân sağlamıştır. Bunun dışında zantan gam, bisküvi ve kek ürünlerinde, nem kontrolü, süspansiyon, kararlılık ve hacim sağlamak için kullanılır. Özellikle fırınlanan ürünlerde tekstürün sertleşmeden oluşmasında, pişen ürünün kalıptan kolay ayrılmasında ve nihai ürünün kırılabilirliğinin azalmasında etkilidirler. Standart 80-200 elek zantan gamların yanı sıra, sulu sistemlere çok kolay dağılan aglomere formları da mevcuttur. Ayrıca çözelti içerisinde opak görüntü oluşturmeyen, şeffaf zantan gam çeşitleri de vardır.

Zantan gam solüsyonları yüksek derecede psödoplastiktir. Kayma gerilmesi yükseldiği zaman, viskozite artarak düşer. Kaymanın ortadan kalktığı durumda, ilk viskozite anında iyileşmektedir. Bu faydalı sonuçlar zantan gamın moleküler özelliklerinden gelmektedir. Zantan gamın moleküler sonuçlarında en büyük viskozite düşük kayma dayanımında çıkmaktadır. Bu özellik pratikte zantan gamın önemli bir özelliğidir. Kayma dayanımı etkisi altında yavaş yavaş artan bir şekilde bu agregalar bozulmaktadır.

Özellikle %1 veya daha yüksek konsantrasyonda zantan gam çözümleri neredeyse jel gibi görünür. Bu durumda solüsyon kolay dökülebilir fakat zor karıştırılabilir ve pompalanabilir. Ayrıca zantan gam karışımının yüksek viskozitesi düşük kayma dayanımı altında uzun zamanlı stabilite sağlamaktadır.

Genellikle zantan gamın viskozitesi üstünde pH çok az etki etmektedir. Üniform ve yüksek viskozite pH 2-12 aralığında korunmaktadır. Fakat viskoziteler arasındaki fark düşük zantan gam konsantrasyonunda daha belirgin olmaktadır. Solüsyon düşük pH ve uzun periyotlarda mükemmel stabilite göstermektedir.

Zantan gam birçok asidi söndürebilme özelliğine sahiptir. Özellikle 5% asidik asitte, 5% sülfürik asitte, 5% nitrik asitte ve 25% fosforik asitte çözünebilmektedir. İlave olarak 5% sodyum hidroksiti söndürebilmektedir. Hidrasyon oranı ancak asit veya alkali eklemenden önce suda çözüldüğü zaman yükselir. En çok organik asitlerin varlığında, stabilite mükemmeldir.

Zantan gam solüsyonları, viskoziteyi kaybetmeme yeteneğinde erime sıcaklığına ulaşana kadar eşsizdir. Bu sıcaklıkta moleküler yapısındaki değişim olduğundan dolayı viskozite çok

keskin bir şekilde düşmektedir. Yaklaşık olarak NaCl oranı 5% üzerinde ise erime sıcaklığı 100°C üstünde olmaktadır.

Gıda ürünlerinde ketçap, mayonez ve salata sosu formülasyonları, unlu mamuller, dolgu maddeleri, kek karışımları, çikolata sosları, toppingler, meyve karışımları ve tatlılar, hazır toz içecekler, konsantre meşrubat ve sıcak içecekler, turşu bazlı çeşniler, hazır çorbalarda kullanılmaktadır.

Kozmetik ve ilaç sanayinde zantan gam ise diş macunları, kozmetik ve tuvalet ürünleri, baryum sülfat solüsyonları, insan kullanımına uygun antidiare süspansiyonları, veteriner uygulamalarında kullanılmaktadır. Yem sanayinde zantan gam ise sıvı hayvan yemlerinde kullanılmaktadır.

Teknik uygulamalarda zantan gam ise;

- Sondaj açmada
- Pas giderici
- Tarımsal uygulamalarda sıvı akışkan yapı
- Duvar boyası
- Banyo, fırın, mutfak gibi alanlarda çok amaçlı asit bazlı temizleyiciler
- Tekstil ve halı boya patları
- Seramik sırlama
- Su bazlı boyalar
- Kaplama ürünleri
- Ayakkabı cilası, bakır ve gümüş parlaticıları
- Yangın söndürücüleri alanlarında kullanılmaktadır.

Çözelti viskozitesinin sıcaklıkla çok fazla değişmemesi, yani soğutulduğunda kıvamın artmaması nedeniyle zantan gam, salata sosları ve çikolata şurupları gibi buzdolabından çıkar çıkmaz tüketilecek ürünlerde kullanım açısından çok uygundur. Bu ürünler, buzdolabından çıkar çıkmaz oda sıcaklığındaki kadar kolay dökülebilmelidir. Normal salata soslarında zantan gam, kıvam verici olarak kullanılmakta ve partiküller yapıdaki süspansiyonu ve yağın sudaki emülsiyonunu stabilize eder. Zantan gam genellikle propilen glikol yapıdaki aljinatla birlikte kullanılır. Birlikte kullanıldıklarında daha az psödoplastik özellikte ve viskozitesi daha az olan çözelti verirler. Elde edilen ürün, daha iyi dökülebilirlik ve krem benzeri pürüzsüz bir yapıya sahip olurlar.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

Çalışmada kullanılacak olan CEN (European Committee for Standardization) standart kumu Limak Batı Çimento firmasının Kırklareli fabrikasından temin edilmiştir. Limak Batı Çimento tarafından standart kum numunesine ait kalite kontrol deneyi yapılmış olup analiz sonuçları çıkarılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 CEN standart kumu analiz sonuçları

Tane Büyüklüğü Dağılımı	STANDART	ANALİZ SONUÇLARI
Kare göz açıklığı (mm)	Kümülatif Elekte Kalan (%)	
2,00	0,00	0,00
1,60	7±5	6,99
1,00	33±5	33,91
0,50	67±5	64,72
0,16	87±5	86,05
0,08	99±1	99,24

Çizelge 2.2 CEN standart kumuna ait rutubet yüzdesi

	STANDART	ANALİZ SONUÇLARI
Rutubet (%)	0,20	0,07

CEN standart kumu, tercihen yuvarlak tanecikli ve silisyum dioksit miktarı en az %98 olan doğal silis kumu olmalıdır.

Harçların hazırlanması aşamasında Çimbeton A.Ş. firması tarafından üretilen TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 CEM I 42,5 R tip çimento analizi

Çimento Tipi	CEM I 42,5 R				
Özellik	Birim	Deney Metodu	Uygunluk Kriteri (TS EN 197-1)		Değer
Çözünmeyen Kalıntı	%	TS EN 196-2	$\leq \%5,0$		0,10
Klorür Muhtevası (Cl^-)	%	TS EN 196-2	$\leq \%0,1$		0,01
Sülfat Miktarı (SO_3)	%	TS EN 196-2	$\leq \%4,0$		2,82
Kızdırma Kaybı	%	TS EN 196-2	$\leq \%5,0$		3,63
Priz Başlama Süresi	dk	TS EN 196-3	≥ 60		155
Priz Bitiş Süresi	dk	TS EN 196-3	-		230
Özgül Yüzey (Blaine)	cm^2/gr	TS EN 196-6	-		3640
Hacim Genleşmesi	mm	TS EN 196-3	≥ 10		0,5
Erken Dayanım (2 gün)	N/mm^2	TS EN 196-1	≥ 20	-	27,60
Standart Dayanım (28 gün)	N/mm^2	TS EN 196-1	$\geq 42,5$	$\leq \%62,5$	50,40
Kimyasal Kompozisyon	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	
Miktarı (%)	69,58	9,20	6,74	10,74	

Diğer yandan deneyler kapsamında kullanılacak ve farklı oranlarda çimento esaslı malzemelerin üretiminde kullanılacak olan kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimerleri BO&GA Medikal firmasının İstanbul firmasından temin edilmiştir.

2.2 Metodlar

Farklı tip biyopolimer katkıları farklı dozajlarda kullanılarak çimento esaslı malzemeler üzerinde etkilerinin incelenmesi amacıyla harç örnekleri hazırlanmıştır. Biyopolimer katkı miktarı ve dozajı bakımından farklılıklar gösteren toplam 10 çimento harcı serisi oluşturulmuştur. Oluşturulan çimento harcı serileri XTN-0,2, CTN-0,3 ve CSN-1,0 gibi kısaltmalar ile ifade

edilmiştir. Bu isimlendirmede ilk bölüm katkı tipinin kısaltmasını, ikinci kısım ise katkı dozajını ifade etmektedir. Örneğin XTN-0,2; çimento miktarının %0,2 oranında dozaja sahip zantan gam katkısını temsil eder. Aynı şekilde CTN-0,3 ve CSN-1,0 sırasıyla %0,3 ve %1,0 dozajda kitin ve kitosan biyopolimer katkılı çimento harcı örneklerini ifade eder. Ayrıca yukarıdaki serilerin dışında XTN-0,3/S.A.-1,0 olarak belirtilen çimento harcı serisi, çimento ağırlığının %0,3 oranında dozaja sahip zantan gam biyopolimeri ile çimentonun %1'i kadar süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesinin beraber etkidiği seriyi işaret eder. Farklı tip katkılarla hazırlanan harç örneklerinin karışım miktarları Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Karışım oranları

Seri adı	Standart Kum (gr)	Çimento (gr)	Su (gr)	Biyopolimer Katkı (gr)	Kimyasal Katkı (gr)
Kontrol	2025	675	338	-	-
XTN-0,2	2025	675	338	1,35	-
XTN-0,3/S.A.-1,0	2025	675	338	2,03	6,75
CTN-0,2	2025	675	338	1,35	-
CTN-0,3	2025	675	338	2,03	-
CTN-1,0	2025	675	338	6,75	-
CSN-0,2	2025	675	338	1,35	-
CSN-0,3	2025	675	338	2,03	-
CSN-1,0	2025	675	338	6,75	-

Hazırlanan çimento harcı serileri ASTM C 109'a uygun 5x5x5 cm küp ve TS EN 196-1'e göre hazırlanan 4x4x16 cm boyutlarındaki prizma numunelerden oluşmaktadır. Bu amaçla kullanılacak olan küp ve prizma geometrili metal kalıplar Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Standart küp ve prizma kalıplar

Harç örneklerinde kullanılacak malzemelerin elektronik tartı ile tartımlarının ardından harç haline getirmek amacıyla çimento mikserinde karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Standart bir karıştırma periyodunun ardından elde edilen harç örnekleri yapışmayı engellemek amacıyla önceden iç yüzeyi yağlanmış olan küp ve prizma kalıplar içerisine yerleştirilmelidir.

Elde edilen harç karıştırma kabından alınarak her kalıp bölümüne ayrı ayrı doldurulur. İki tabaka halinde yerleştirilen harç örneği TS EN 12390-2’de belirtildiği gibi daire kesitli çubuk ile her tabakada en az 25 defa şişlenmiştir. Şişleme aşamasında ilk tabakanın sıkıştırılmasında, çubuğun numune kalıbının tabanına hızla çarpması ve diğer tabakanın sıkıştırılması esnasında da alt tabakaya girmemesine dikkat edilmiştir.

Numune kalıplarının doldurulmasının ardından kalıp üst yüzeyinin üzerinde kalan fazla harç çelik mala yardımıyla kesme hareketi yapılarak yüzey tesviyesi gerçekleştirilmiştir. Karıştırıcı beton mikseri ve elde edilen çimento harçlarının görünümü Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Otomatik karıştırıcı



Şekil 2.3 Harç örneklerinin kalıplara yerleştirilmesi

Elde edilen deney numuneleri TS EN 12390-2'de belirtildiği gibi 24 saat şoktan, titreşimden ve kurumadan korunarak $(25 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Deney numuneleri isimlendirilmek amacıyla numuneye zarar verilmeden, görünür ve kalıcı bir şekilde suya dayanıklı mürekkepli kalemle işaretlenmiştir.

İşaretlenen deney numunelerinin deney yapılacak olan güne kadar sağlıklı bir şekilde muhafaza edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla TS EN 12390-2'ye göre deney numunelerinin kalıptan çıkarılmasından itibaren deney yapılacak güne kadar $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde veya sıcaklığı $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nemi $\geq \%95$ olan kür odasında kür tâbi tutulmalıdır.

Ancak $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, $\geq 95\%$ rutubet şartının devam ettirilmesi ve ölçülmesi kolay değildir. Kür odası içerisindeki numune yüzeylerinin sürekli şekilde ıslak kaldığı, düzgün aralıklarla kontrol edilmelidir. Dolayısıyla deney numunelerinin $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su ile dolu kür havuzu içerisinde muhafaza edilmesi daha sağlıklı olacaktır. İşaretlenmiş olan deney numuneleri Şekil 2.4’de gösterilen kür havuzu içerisinde, su numunelerin bütün yüzeyleriyle temas edebilecek şekilde ayrı ayrı yerleştirilmiştir.



Şekil 2.4 Kür havuzu

Farklı tip ve dozajdaki biyopolimer katkı maddelerinin ilavesiyle elde edilen çimento harcı örneklerinin mekanik ve durabilite özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla seçilen günlerde çeşitli deneyler yapılmıştır. Çimento harcı örneklerinin mekanik deneyler kapsamında basınç dayanımı, eğilme dayanımı, eğilme sonrası basınç dayanımı ve yayılma davranışları incelenmiştir. Durabilite özellikleri olarak da asit dayanımı ile donma çözünme dirençleri araştırılmıştır.

2.2.1 Mekanik Deneyler

2.2.1.1 Yayılma Deneyi

Çimento esaslı malzemelerin kolayca karılabilmesi, segregasyona (ayrışma) uğramadan taşınabilmesi, pompalanabilir olması, kalıba daha kolay bir şekilde yerleştirilebilmesi, boşluksuz

olarak elde edilebilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi gibi özelliklere sahip olması betonun işlenebilirlik performansı ile alakalıdır. Çimento esaslı malzemelerin işlenebilirlik performansı, kıvam ölçüsünün elde edilmesiyle belirlenir. Taze betonun kıvamı TS EN 206-1'e göre 4 şekilde tayin edilir.

1. Çökme deneyi, (EN 12350-2'e göre)
2. Vebe deneyi, (EN 12350-3'e göre)
3. Sıkıştırılabilirlik derecesi, (EN 12350-4'e göre)
4. Yayılma tablası deneyi, (EN 12350-5'e göre)

Proje kapsamında taze betonun kıvamını belirleyebilmek amacıyla yayılma tablası deneyi uygulanacaktır. Bu aşamada kullanılacak olan yayılma tablasının görünümü Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5 Yayılma tablası

Yayılma tablası, üzerine çimento harcının konulabileceği hareketli, düzgün yüzeyli bir üst plakadan ve bu plakanın üzerine çevirmeli kol ile belirli yükseklikten düşürülüp sarsmaya sebep olan üstteki plakanın menteşeyle bağlı olduğu destekli alt plakadan oluşmaktadır. Ayrıca üst plaka üzerine gelecek betonun yerleştirilmesi amacıyla metalden yapılmış kesik huni biçiminde kalıp kullanılmaktadır.

Deney aşamasında yayılma tablası düz, yatay, titreşim ve darbe tesiri olmayan bir zemine yerleştirilir. Tabla üst plakası ve metal kalıp temizlendikten sonra kalıp plakanın tam ortasına yerleştirilir. Hazırlanmış olan çimento harcı kalıba iki eşit tabaka halinde ve her tabaka

sıkıştırma çubuğu ile 10 kez şişlenerek sıkıştırılır. Kalıp üst seviyesinden taşan fazla harç sıyrılarak kalıp yüzeyi temizlenir ve harç ile kalıp seviyesi eşitlenir. Kalıp yüzeyinin sıyrılmasından sonra kenarlarından tutularak yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilir. Bir süre bekledikten sonra alt plakadaki kol çevrilerek üst plaka üzerine sarsma etkisi uygulanır. Son olarak üst plaka üzerinde yayılan harç tabakasının genişliği en büyük olan 3 boyutu plaka kenarlarına paralel doğrultuda cetvelle ölçülür ve elde edilen değerlerin matematiksel ortalama değerleri hesaplanarak yayılma değerleri tayin edilir. Bu işlem hazırlanan bütün çimento harcı serileri için ayrı ayrı uygulanır.

2.2.1.2 Basınç, Eğilme ve Eğilme Sonrası Basınç Deneyleri

ASTM C109 standardına uygun 5 cm ayrıtlı küp örnekler doğrudan basınç deneyi, TS EN 196-1'e göre hazırlanan 4x4x16 cm boyutlu prizma örnekler eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyi yapılmak üzere kullanılacaktır.

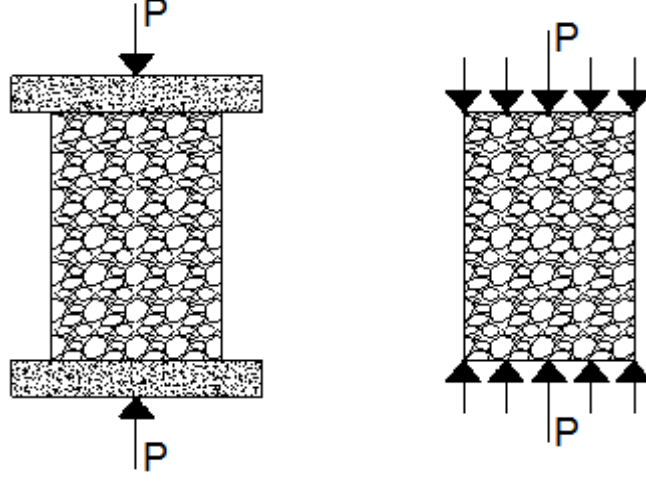
5 cm ayrıtlı küp örnekler ASTM C150 standardına uygun olarak doğrudan basınç deneyine tabi tutulacaktır. Basınç dayanım değerlerinin tespiti amacıyla kullanılacak deney presi yüksekliği ayarlanabilir bir üst başlık ile oynar ve hareketli alt başlıktan oluşmaktadır.

Hazırlanan küp örnekler Şekil 2.6'da görüldüğü gibi pres başlıkları arasına yerleştirildikten sonra alt kısımdaki piston yardımıyla yük verilir. Yük uygulama işlemi örnekler kırılıncaya kadar devam ettirilir. Ardından elde edilen kırılma yükü kaydedilir.



Şekil 2.6 Basınç deneyi

Deney örnekleri Şekil 2.7’de görüldüğü gibi üniform basınç yükü altında kırılmaktadır.



Şekil 2.7 Beton numuneye uygulanan üniform basınç yükü

Basınç dayanımı Bağıntı 2.1’den hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

σ : Basınç dayanımı (kgf/cm^2),

P : Numuneyi kıran maksimum yük (kgf)

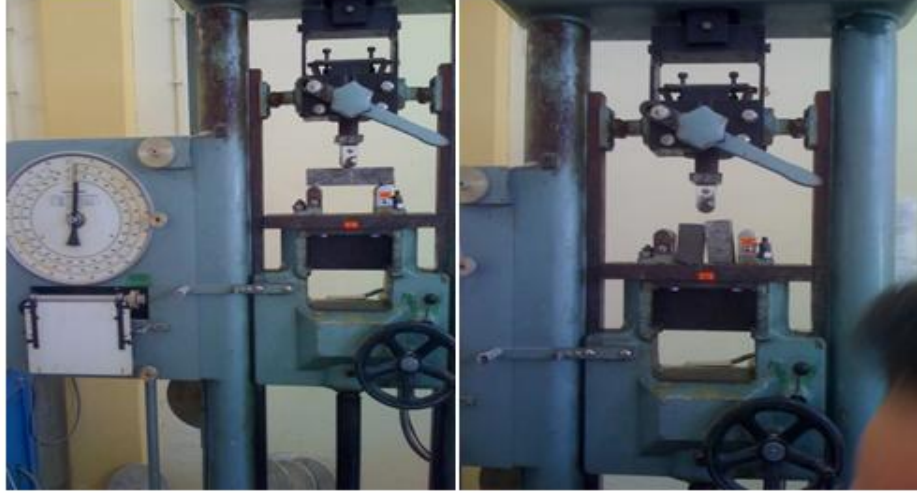
A : Kesit alanı (cm^2)

Not: Elde edilen eğilme dayanımı değerlerinin birimleri kgf/cm^2 ’den MPa’ya çevrilerek verilmiştir.

TS EN 196-1 standardına göre kullanılacak olan prizma kalıplar numunelerin aynı anda hazırlanabilmesi için en kesiti 40 mm x 40 mm ve uzunluğu 160 mm olan üç yatay bölümden oluşmaktadır. Kalıp et kalınlığı 10 mm olan çelik levhadan yapılmalıdır.

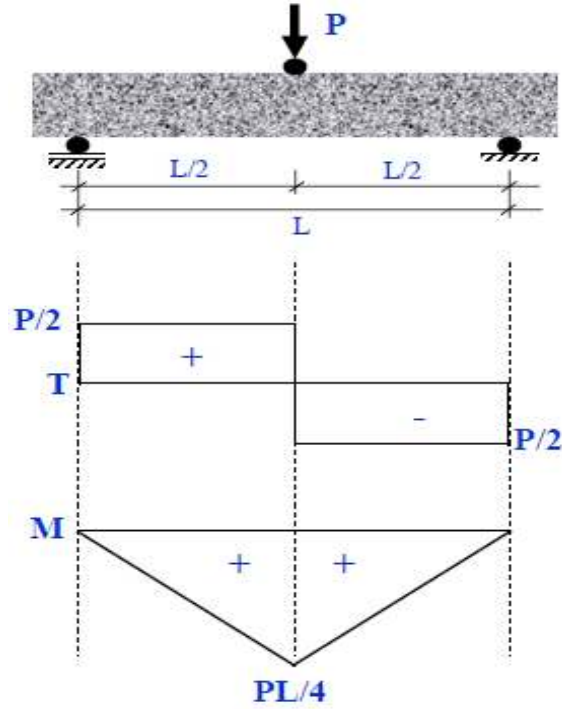
Ayrıca her kalıba ait çelikten imal edilmiş kalıp tabanı bulunmalıdır. Kalıp birleştirildiğinde, parçalar birbirine ve kalıp tabanına sağlam şekilde tutturulmuş, şekil değişikliğine ve sızıntıya uğramayacak şekilde olmalıdır.

4x4x16 cm ayrıtlı prizma örnekler kullanılarak üç nokta eğilme deneyi yapılmıştır. Şekil 2.8'de üç nokta eğilme deneyi ile örneklerin yüklemeden önceki ve kırıldıktan sonraki durumu görülmektedir.



Şekil 2.8 Üç nokta eğilme deneyi

Üç nokta eğilme deneyi sonucu meydana gelen kesit kesme kuvveti ve moment diyagramları Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Kesme kuvveti ve moment diyagramları

3 nokta eğilme deneyi $L=10$ cm açıklıkta uygulanmış ve ardından kırılma yükü okunduktan sonra eğilme dayanımı Bağıntı 2.2'den hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\frac{P \times L}{4}}{\frac{b \times h^2}{6}} \quad (2.2)$$

σ : Eğilme dayanımı (kgf/cm^2),

M : Maksimum moment,

W : Mukavemet momenti,

P : Kırılma yükü (kgf),

b : Kesit genişliği,

h : Kesit yüksekliği

Not: Elde edilen eğilme dayanımı değerlerinin birimleri kgf/cm^2 'den MPa'ya çevrilerek verilmiştir.

Üç nokta eğilme deneyi sonrası iki parçaya ayrılan yarım prizmalar üzerinde eğilme sonrası basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Eğilme sonrası basınç dayanımı deneyini gerçekleştirebilmek amacıyla Şekil 2.10'da görülen sert metalden bir aparat içine yerleştirilen yarım prizma örnekler $40 \times 40 \text{ mm}^2$ lik alanda tek eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.10 Eğilme sonrası basınç deneyi

2.2.2 Durabilite Deneyleri

2.2.2.1 Asit Dayanımı Deneyi

Ağırlıkları ölçülmüş 28 günlük küp deney örnekleri ağırlıkça %3, %5 ve %7'lik HCl (hidroklorik asit) çözeltisi içerisinde atılmış ve 7 gün süreyle asit çözeltisi içerisinde bekletilmiştir. Asit çözeltisi içerisindeki deney örneklerinin görünümü Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11 Hidroklorik asit çözeltisi

7 günün ardından Şekil 2.12'de gösterilen deney örneklerinin ağırlık ölçülmüş, ağırlık değişimleri hesaplanmıştır.



Şekil 2.12 Hidroklorik asite maruz kalan deney örnekleri

2.2.2.2 Donma-Çözünme Deneyi

28 günlük 4x4x16 cm ayrıtlı prizma örnekler donma-çözünme deneyine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda deney örnekleri -25°C'de donma, +25°C'de çözünme deneyi uygulanmak üzere Şekil 2.13'de gösterilen iklimlendirme kabinine koyulmuştur. Deney örnekleri üzerinde 50. ve 100. donma çözünme devirlerinde eğilme ve eğilme sonrası basınç deneyleri yapılmıştır.



Şekil 2.13 İklimlendirme kabini

3. DENEYSEL SONUÇLAR

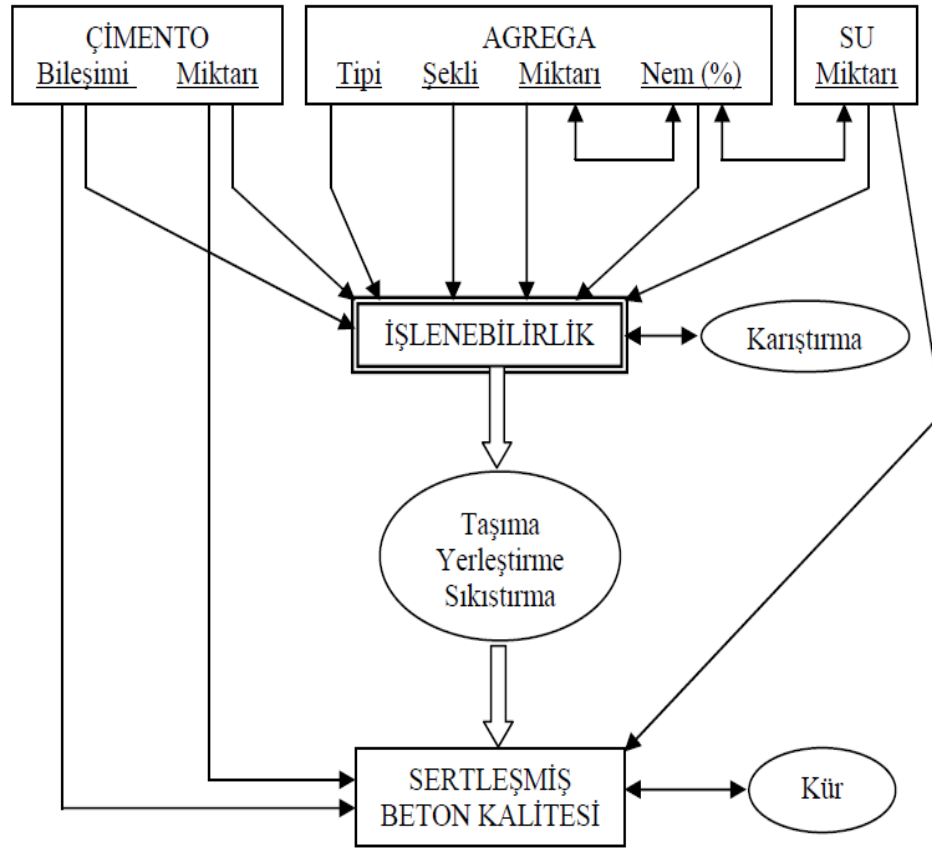
3.1 Mekanik Deney Sonuçları

3.1.1 Yayılma Deneyi Sonuçları

Çimento esaslı malzemelerin işlenebilirliğine; karışımın su içeriği, karışım oranları, sıcaklık, çimento karakteristikleri ve ilave edilen katkıların tür ve miktarı gibi birçok faktör etki eder (Mindess et al, 2002).

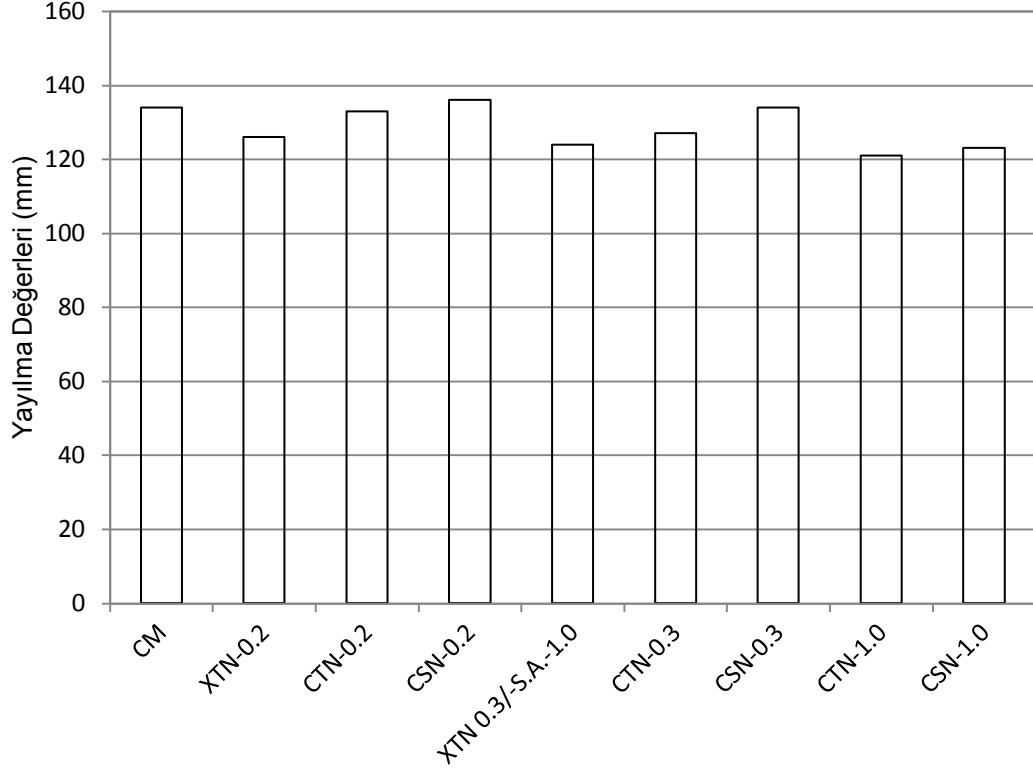
Bu etkenlerin dışında agreganın en büyük tane boyutu, yüzey yapısı, kökeni ve granülometrik dağılımı, beton içindeki hava miktarı, betonun su ile karıştırılmaya başladığı andan itibaren kullanıldığı ana kadar geçen süre ve ortam şartları da beton kalitesini ve işlenebilirliğini etkilemektedir (Özel, 2007).

Şekil 3.1’de beton özelliklerini etkileyen faktörler gösterilmiştir. Burada işlenebilmenin betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve miktarına bağlı olduğu ve sertleşmiş beton kalitesini doğrudan etkilediği görülebilir.



Şekil 3.1 Beton özelliklerine etki eden faktörler (Tattersall, 1991)

Çimento harcı örnekleri hazırlanırken yayılma tablasında hazırlanan örneklerin katkı tipi ve dozajına bağlı olarak akış değerleri belirlenmiştir. Elde edilen akış değerleri aşağıda Şekil 3.2'de verilmiştir.



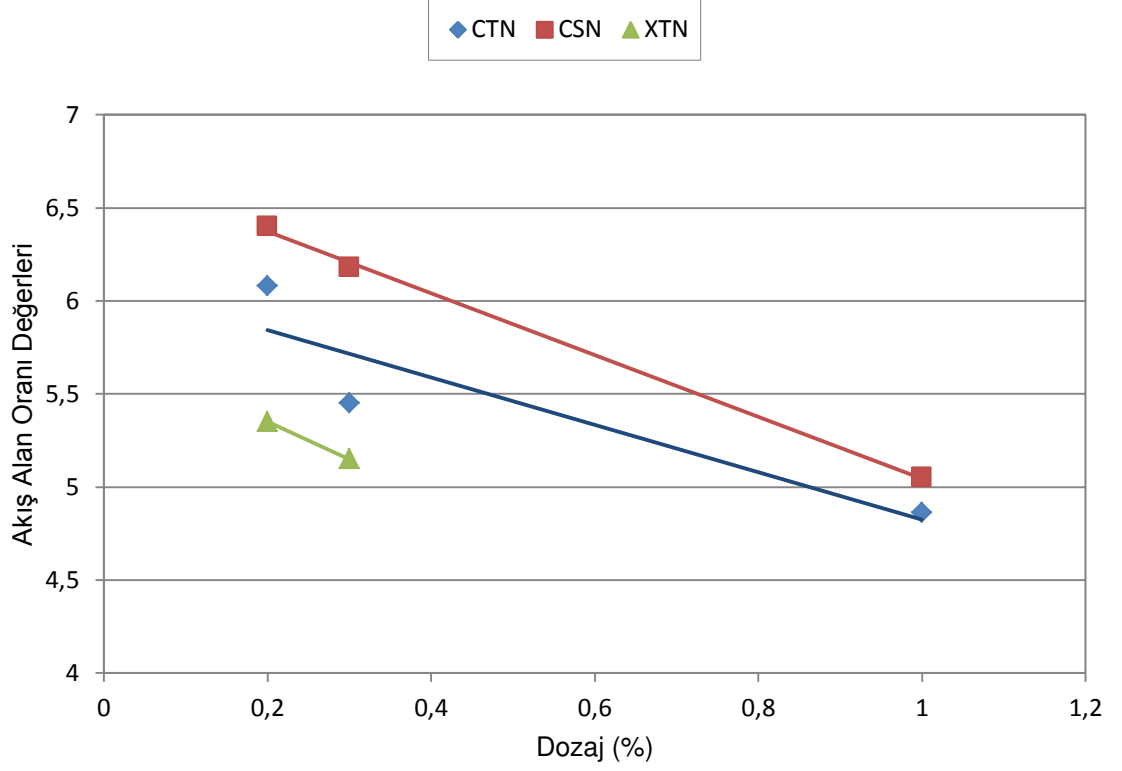
Şekil 3.2 Tüm serilere ait yayılma değerleri

Saptanan akış değerlerine bağlı olarak; kullanılan biyopolimer katkının akış değerleri üzerine etkisinin lineer olup olmadığını saptamaya yardımcı olan akış alan oranı değerleri de hesaplanmış ve grafik halinde verilmiştir.

Akış alan oranı aşağıdaki formüle bağlı olarak; akış değeri ve 50 mm çaplı orijinal akış konisi alanı arasındaki alan farkının orijinal koni alanına bölünmesi ile elde edilir. (Bağıntı 3.1)

$$\text{Akış alan oranı} = \frac{F^2 - 50^2}{50^2} \quad (3.1)$$

F: Yayılma değeri (mm)



Şekil 3.3 Tüm serilere ait akış alan oranı değerleri

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi yalnızca %0,2 dozajlı kitosanı simgeleyen CSN-0,2 serisine ait yayılma değeri kontrol serisine ait değerden büyüktür. CSN-0,3 serisi de kontrol serisi ile aynı yayılma değerine sahiptir. Bunun dışında kalan bütün serilerin yayılma değerleri kontrol serisinden daha küçüktür. En düşük yayılma değerine ait deney serisi CTN-1,0'dır.

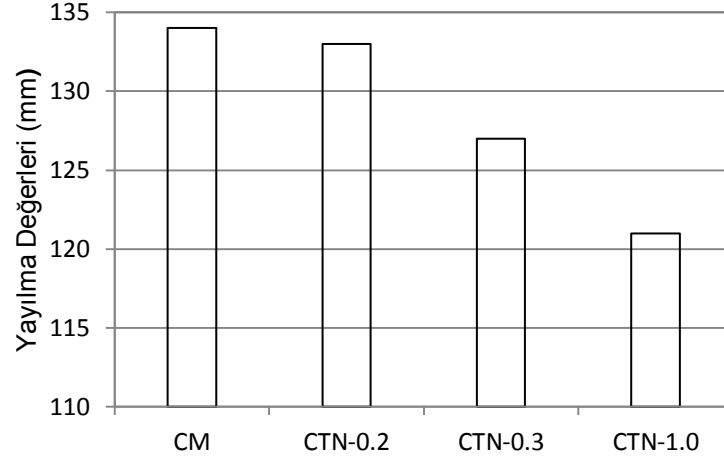
Çimento harcı örneklerine farklı oranlarda ilave edilen kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimerlerinin ayrı ayrı yayılma değerleri sırasıyla Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında kullanılan biyopolimer katkı dozajı arttıkça tüm serilere ait yayılma değerlerinin azaldığı görülmektedir.

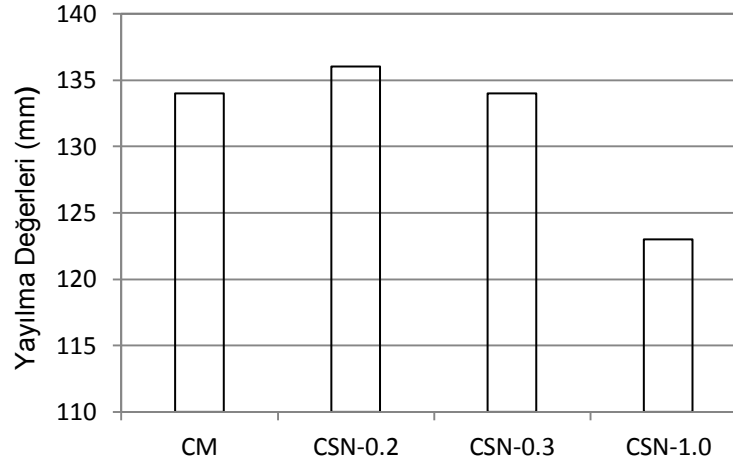
0,2 dozajlı deney serilerine baktığımızda kitosan katkısının olumlu sonuç verdiği kitin ve zantan gam katkılarının kontrol serisinden daha düşük yayılmaya sahip olduğu görülmektedir. CTN-0,2 serisi değeri kontrol serisi yayılma değerine çok yakın çıkmış, XTN-0,2 serisinin yayılma değeri çok düşük kalmıştır. Bu durum zantan gam biyopolimerinin su tutucu

özelliğinden dolayı daha fazla suya ihtiyaç duyması ve buna bağlı olarak da işlenebilirliği düşürmesiyle açıklanabilir.

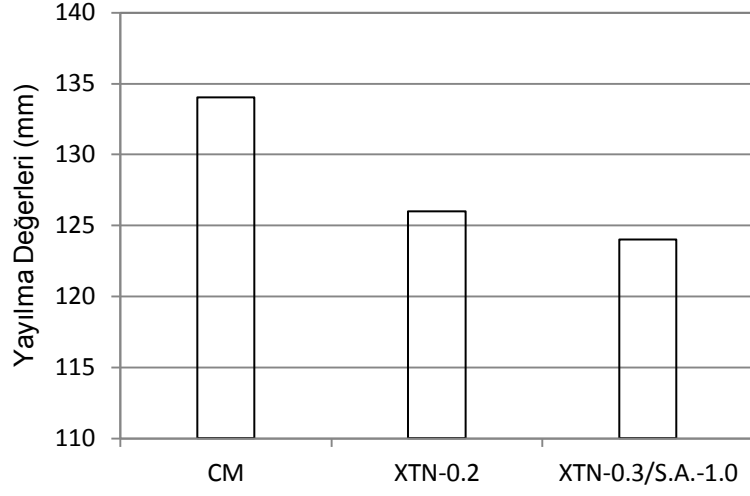
Zantan gam biyopolimerinin işlenebilirliği azaltmasından dolayı süper akışkanlaştırıcı takviyesiyle yayılma özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. 0,3 dozajlı zantan gam serisinin yayılma değerini arttırabilmek için çimento miktarının %1'i kadar süper akışkanlaştırıcı ilavesi yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda süper akışkanlaştırıcı ilaveli XTN-0,3/S.A.-1,0 serisinin yayılma değeri XTN-0,2 serisine ait yayılma değerine çok yaklaşmıştır. Zantan gam dozajı artmasına rağmen yayılma değerinde çok bir azalma görülmemiştir. CTN-0,3 serisinin CTN-0,2 serisiyle arasındaki yayılma değeri farkı daha fazla çıkmıştır. Bu durum süper akışkanlaştırıcı ilavesinin zantan gam serisinin işlenebilirliğine olumlu etkidiğiyle açıklanabilir.



Şekil 3.4 Yalnız kitin serilerine ait yayılma değerleri



Şekil 3.5 Yalnız kitosan serilerine ait yayılma değerleri



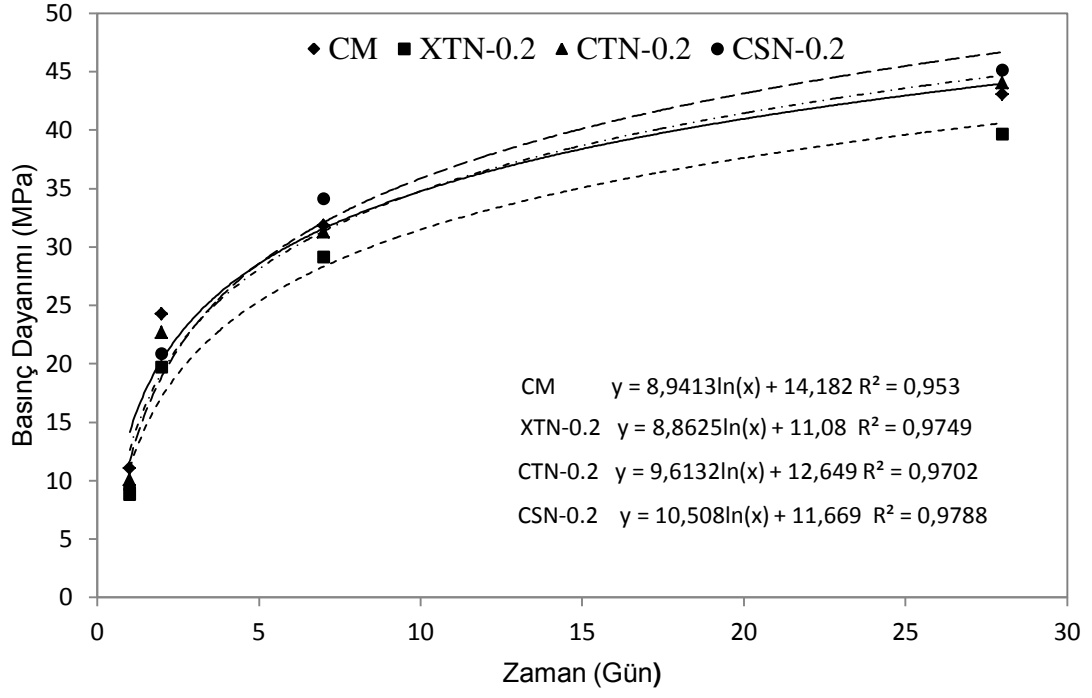
Şekil 3.6 Yalnız zantan gam serilerine ait yayılma değerleri

Kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimer katkılarıyla farklı oranda hazırlanan harç örneklerinin akış değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen akış alan oranı değerleri de Şekil 3.3'de grafik olarak sunulmuştur.

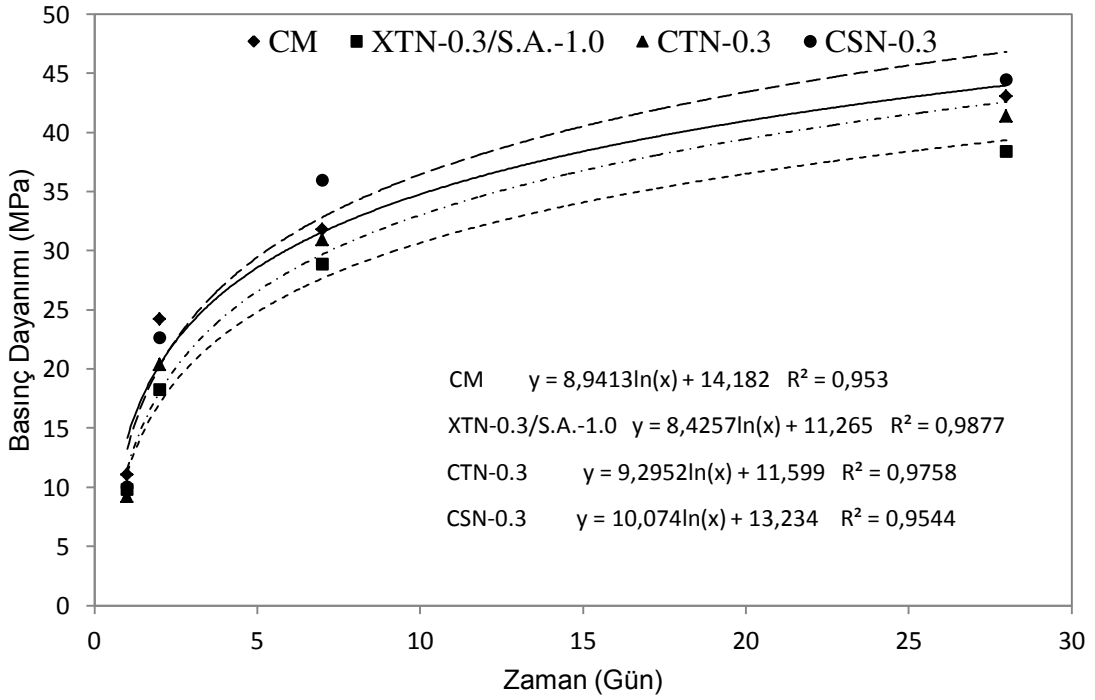
Bu grafik ile 3 farklı biyopolimer katkı kullanılarak hazırlanan harç örneklerinin akış değerlerinin birimsizleştirilmesi ile katkı etkisinin çok daha iyi görülmesi amaçlanmaktadır. Şekil 3.3'den açıkça görülmektedir ki, kullanılan biyopolimer katkı dozajı arttıkça, çimento harcının akış alan oranı değeri azalmaktadır.

3.1.2 Basınç, Eğilme ve Eğilme Sonrası Basınç Deneyleri Sonuçları

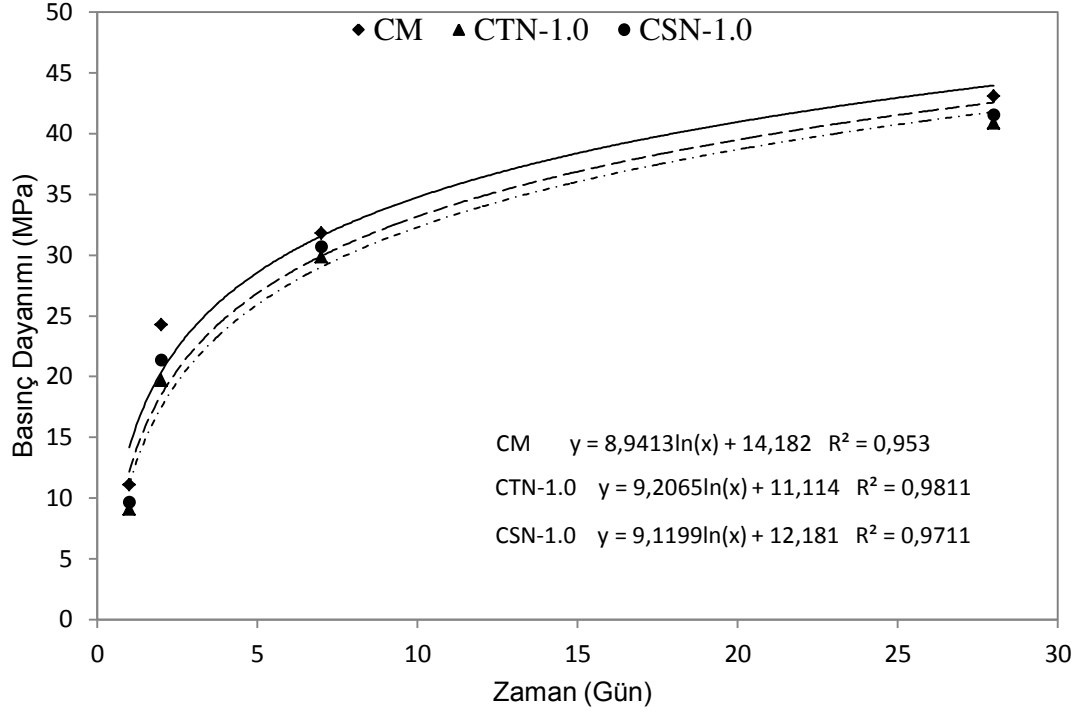
Kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimerleri kullanılarak hazırlanan 5 cm ayrıtlı küp ve 4x4x16 cm ayrıtlı prizma harç örneklerin 1, 2, 7 ve 28 günlük basınç, eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı değerleri saptanmıştır. Elde edilen dayanım değerleri ve dayanım değerlerinin zamana ve dozaja bağlı değişimleri aşağıda grafikler halinde verilmiştir (Şekil 3.7-34).



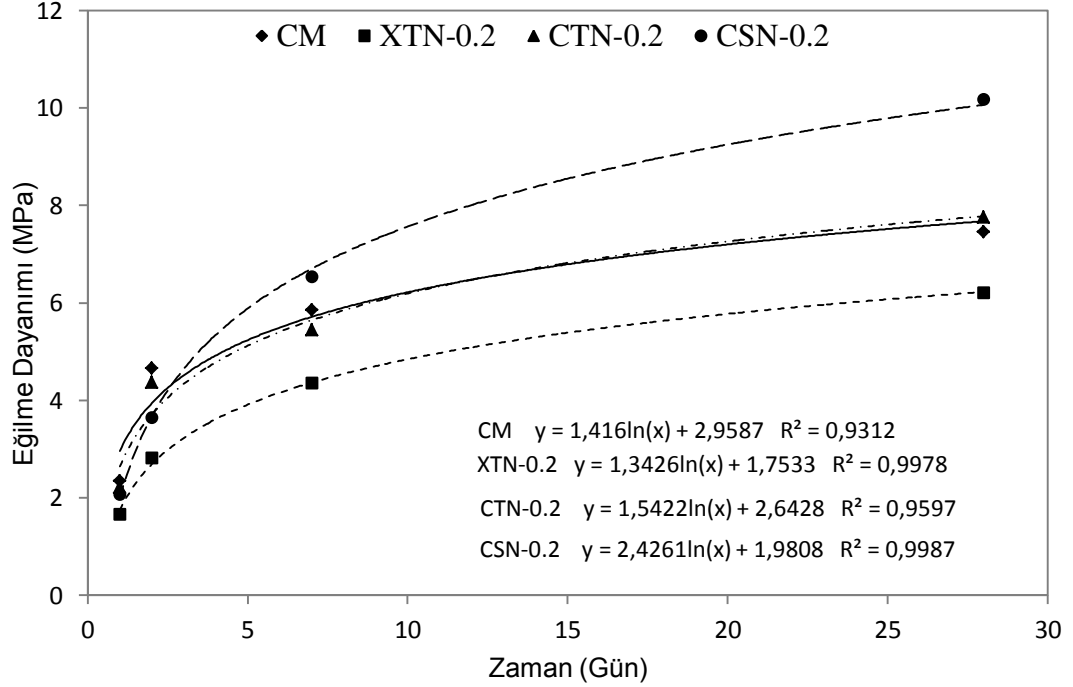
Şekil 3.7 0,2 dozajlı serilerin zamana bağılı basınç dayanımı gelişimi



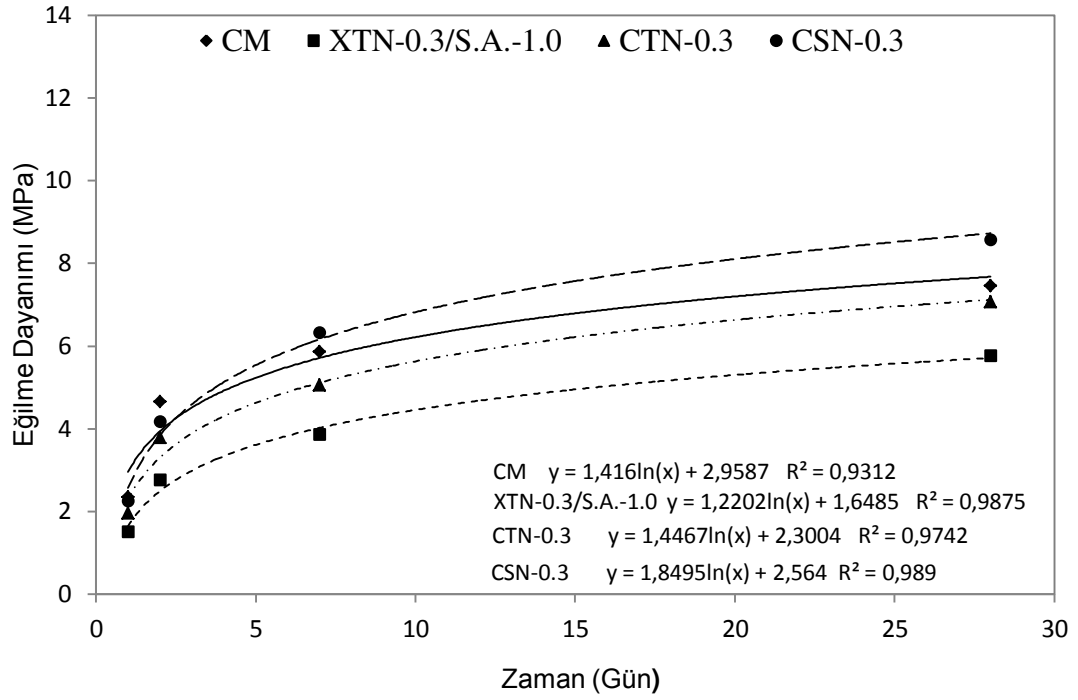
Şekil 3.8 0,3 dozajlı serilerin zamana bağılı basınç dayanımı gelişimi



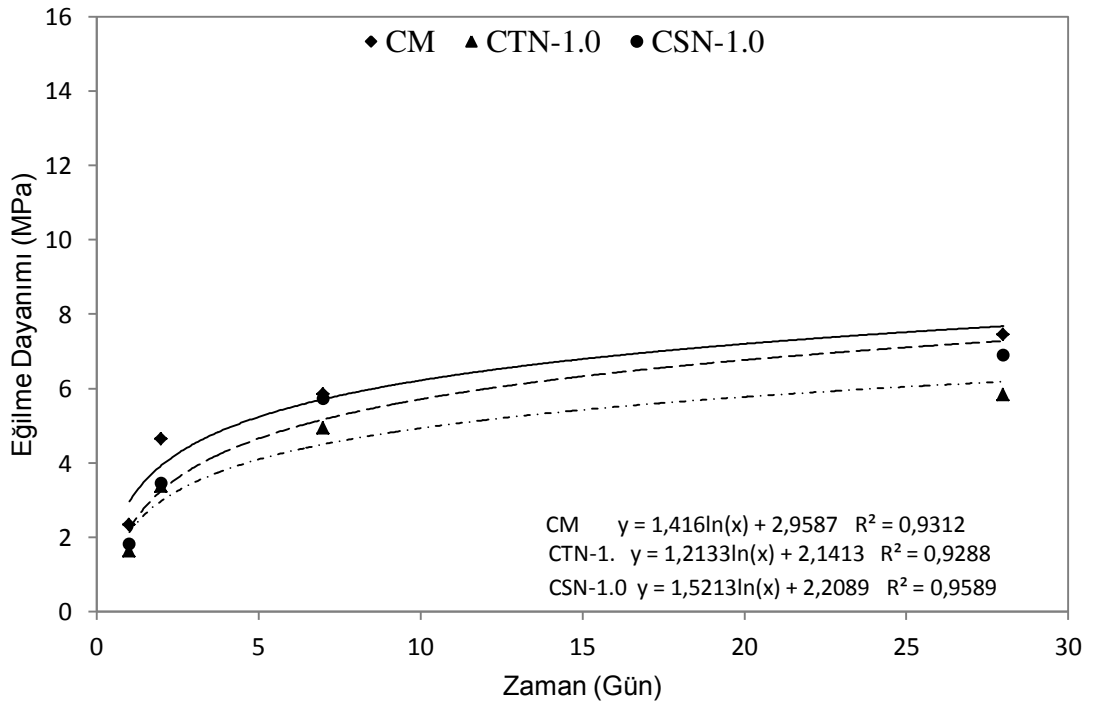
Şekil 3.9 1,0 dozajlı serilerin zamana bağlı basınç dayanımı gelişimi



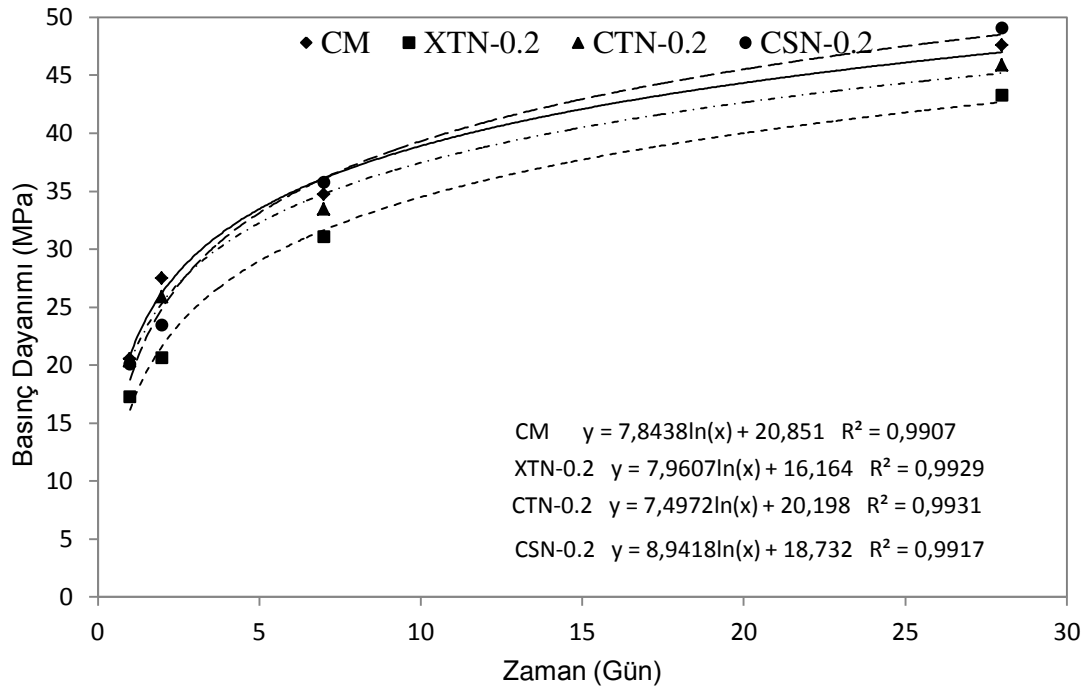
Şekil 3.10 0,2 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı gelişimi



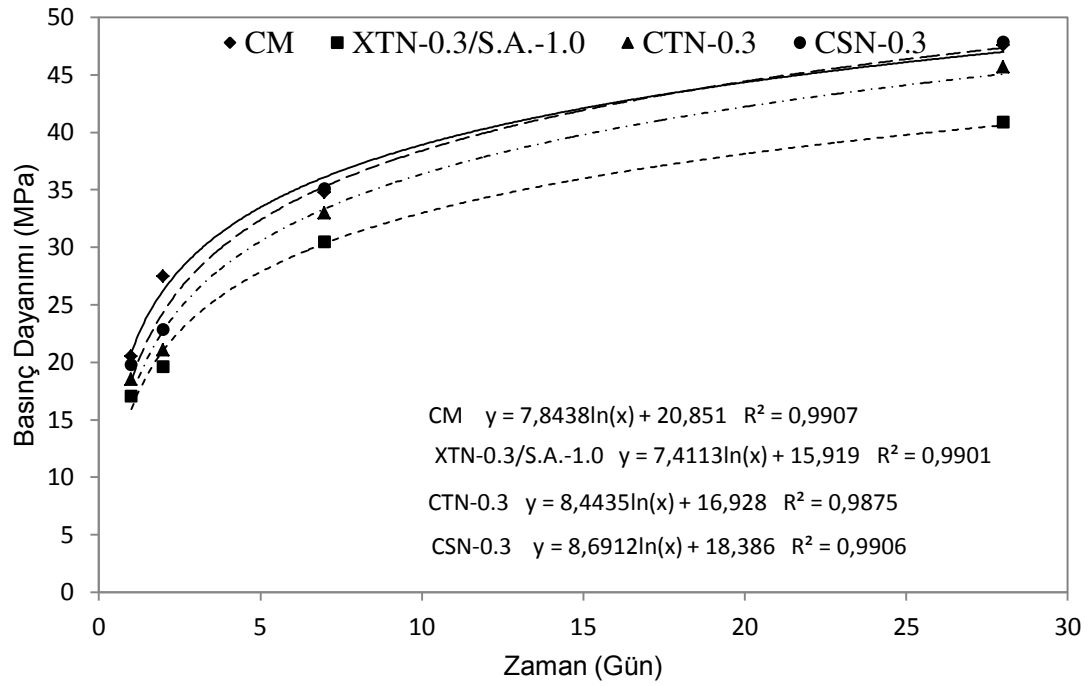
Şekil 3.11 0,3 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı gelişimi



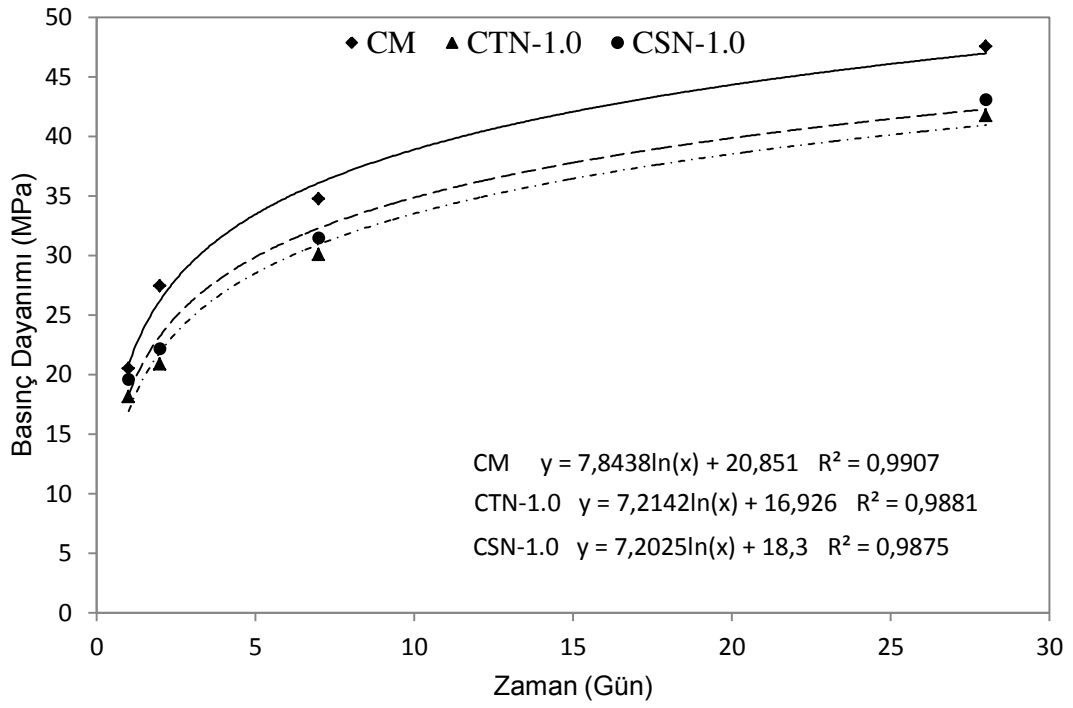
Şekil 3.12 1,0 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme dayanımı gelişimi



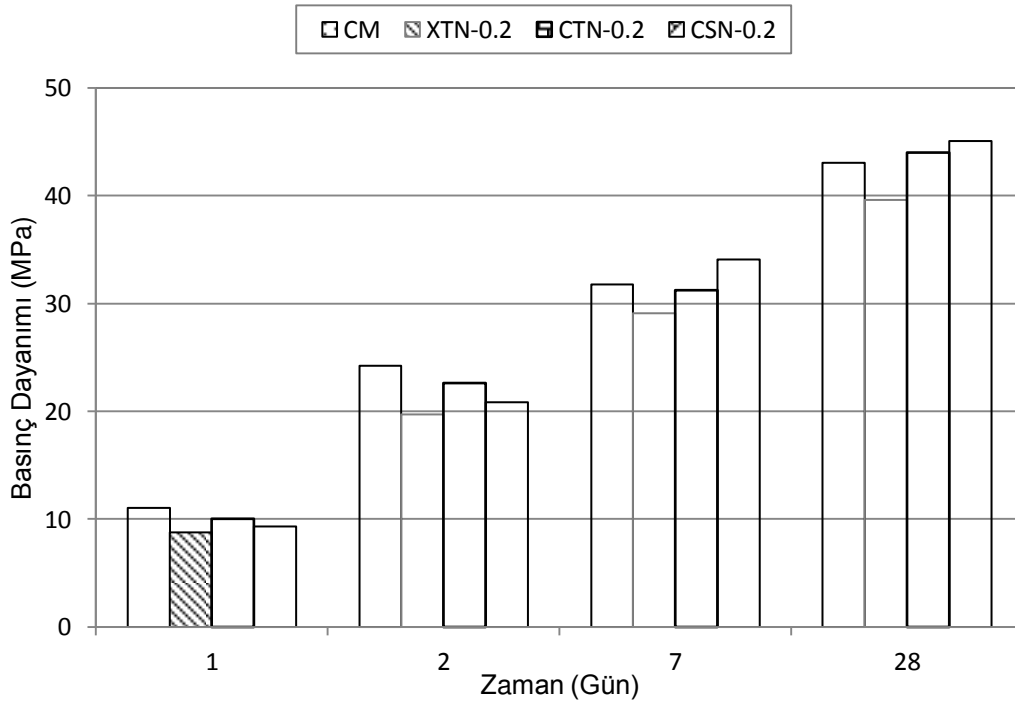
Şekil 3.13 0,2 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



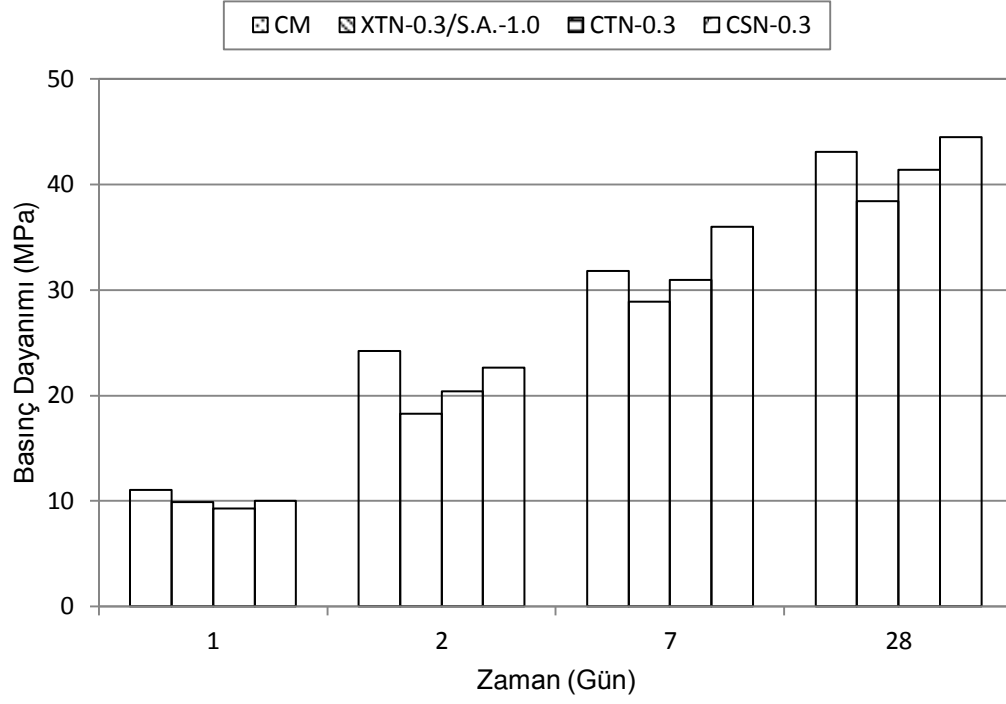
Şekil 3.14 0,3 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



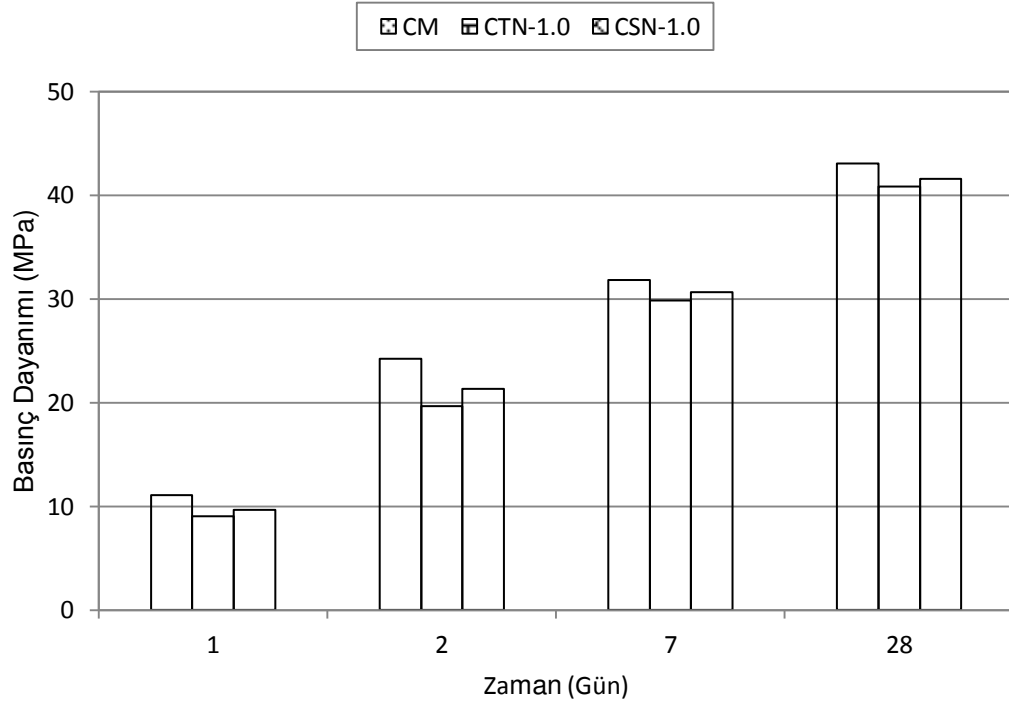
Şekil 3.15 1,0 dozajlı serilerin zamana bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



Şekil 3.16 0,2 dozajlı serilere ait basınç dayanımı gelişimi



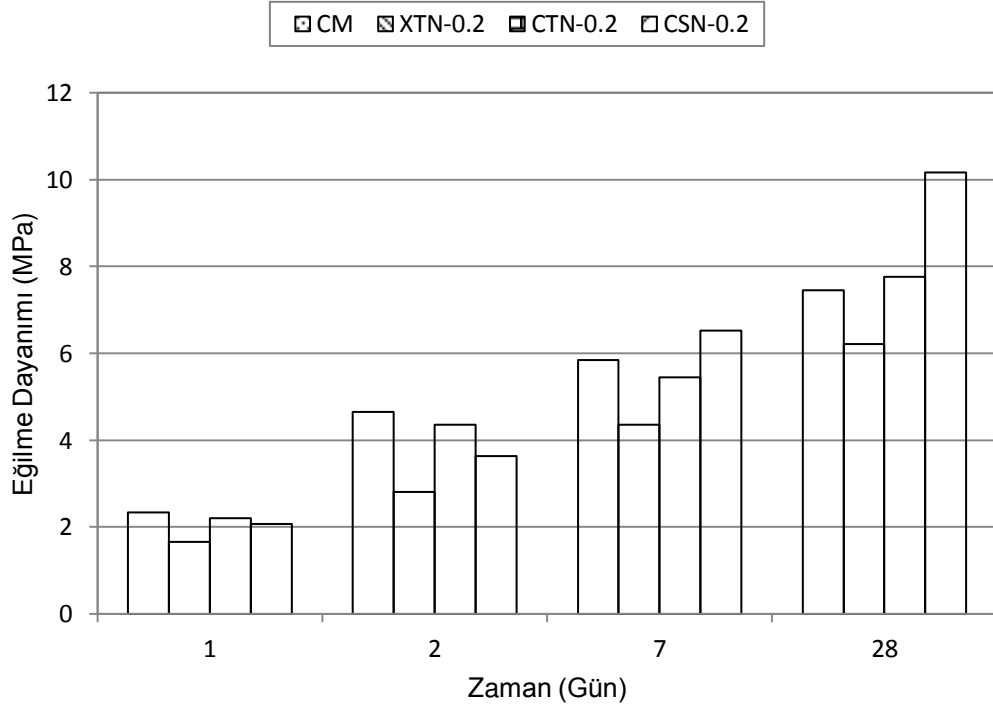
Şekil 3.17 0,3 dozajlı serilere ait basınç dayanımı gelişimi



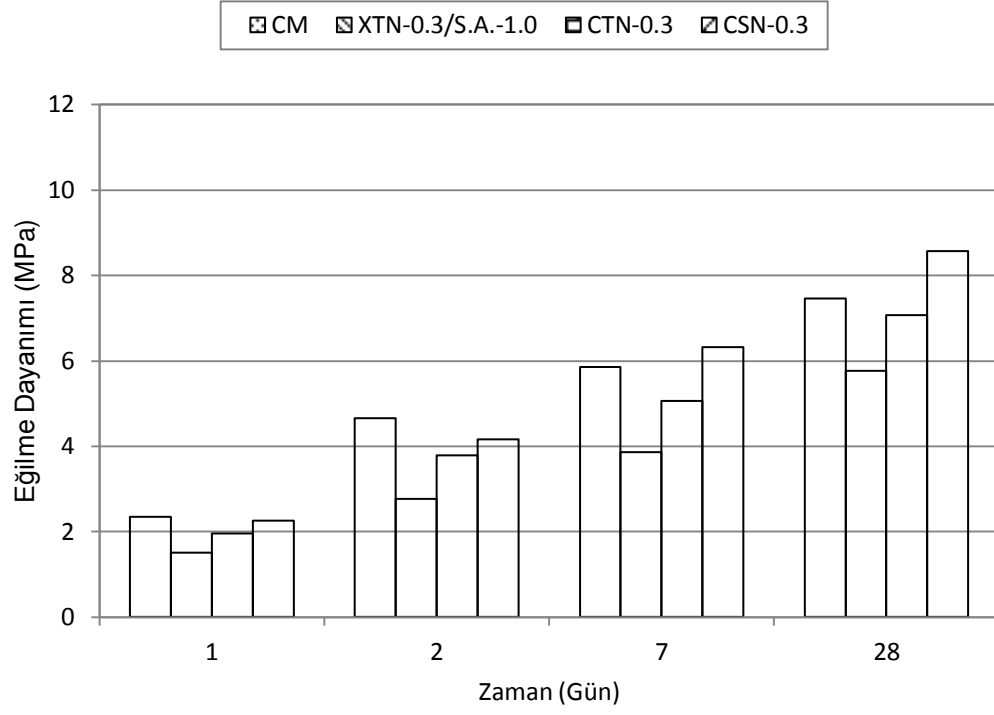
Şekil 3.18 1,0 dozajlı serilere ait basınç dayanımı gelişimi

Farklı tip biyopolimerlerin farklı dozajlarda kullanılmasıyla hazırlanan 5 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan bütün deney serilerinin 1. ve 2. günlerdeki basınç dayanım değerleri kontrol örneklerinin basınç dayanım değerlerinden düşüktür. Ancak CSN-0,2 ve CSN-0,3 serilerine ait 7. ve 28. gündeki basınç dayanım değerleri kontrol örnekleri ile XTN ve CTN katkılı örneklerin basınç dayanım değerlerini aşmıştır. Nitekim düşük erken dayanım gösteren CSN-0,2 ve CSN-0,3 serileri daha yüksek geç dayanımlar sergilemiştir.

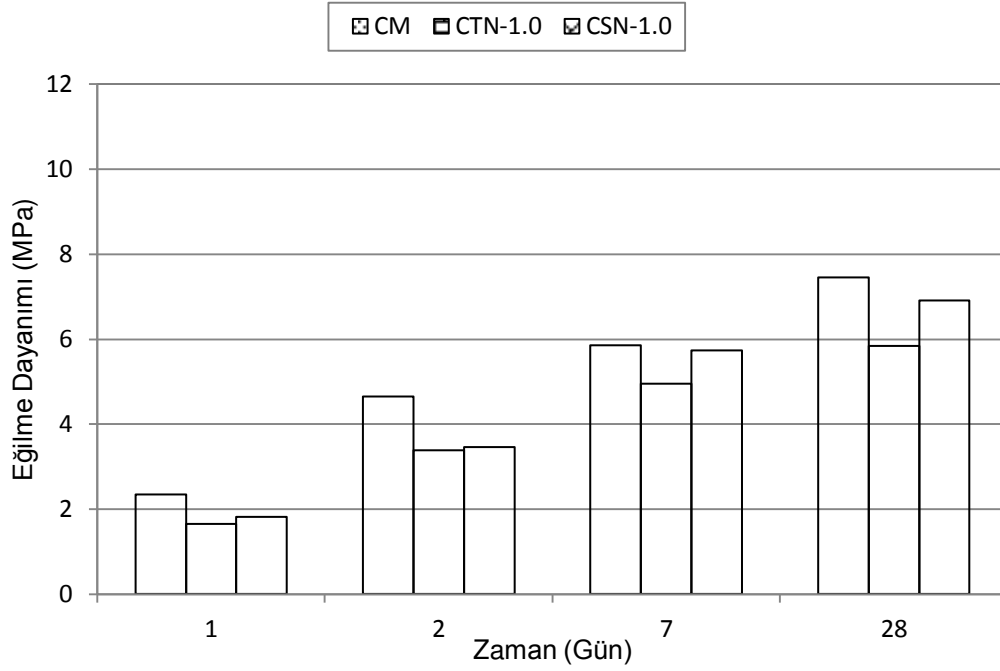
1. ve 2. günlerde CTN-0,2 serisine ait basınç dayanımı CSN-0,2 serisinininkinden büyük olmasına rağmen 7. ve 28. günlerde daha az dayanım gelişimi göstermiştir. Ayrıca CTN-0,2 serisinin 28. gündeki basınç dayanımı kontrol örneğinin üzerinde değere sahiptir. Bunun dışında CTN ve XTN serilerine ait bütün basınç dayanım değerleri tıpkı yayılma deneylerinde olduğu gibi kontrol örneklerinin altında kalmıştır. 1,0 dozajlı deney serilerinde ise elde edilen basınç dayanım değerleri kontrol örneklerinin değerlerinden düşük çıkmıştır. 7. ve 28. gün sonunda elde edilen basınç dayanımlarının 0,2 ve 0,3 dozajlı serilere göre azaldığı görülmüştür. Buna karşın 1. ve 2. gün sonunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde CSN-1,0 serisine ait basınç dayanımı CSN-0,2 serisinden büyük, CSN-0,3 serisinden küçüktür. CTN-1,0 serisi ise CTN-0,2 ve CTN-0,3 serilerine ait basınç dayanım değerlerinin altında kalmıştır.



Şekil 3.19 0,2 dozajlı serilere ait eğilme dayanımı gelişimi



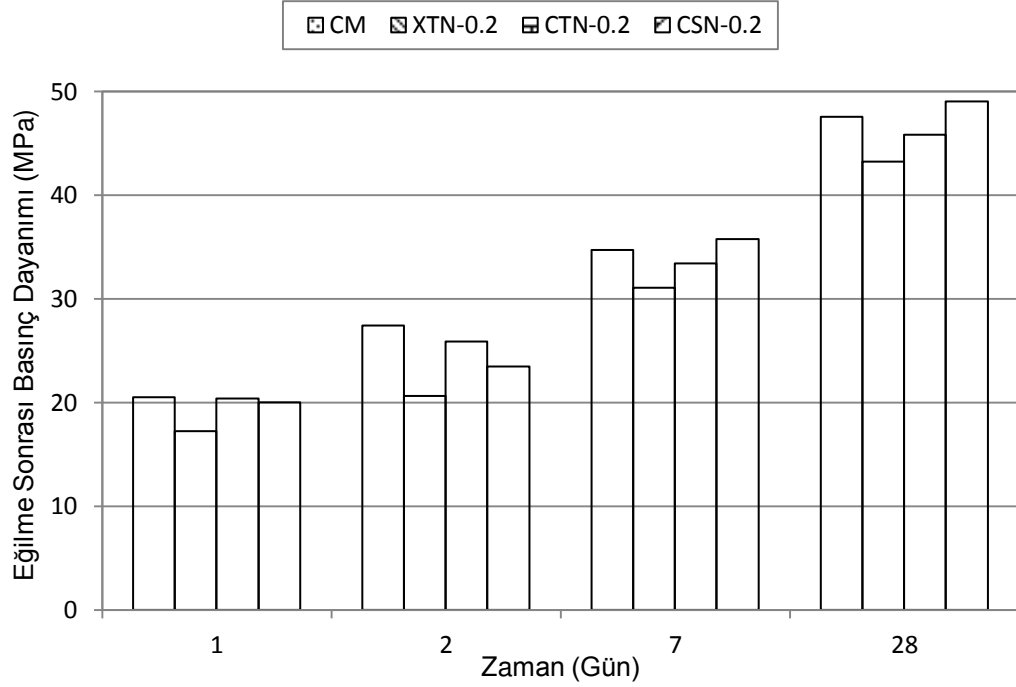
Şekil 3.20 0,3 dozajlı serilere ait eğilme dayanımı gelişimi



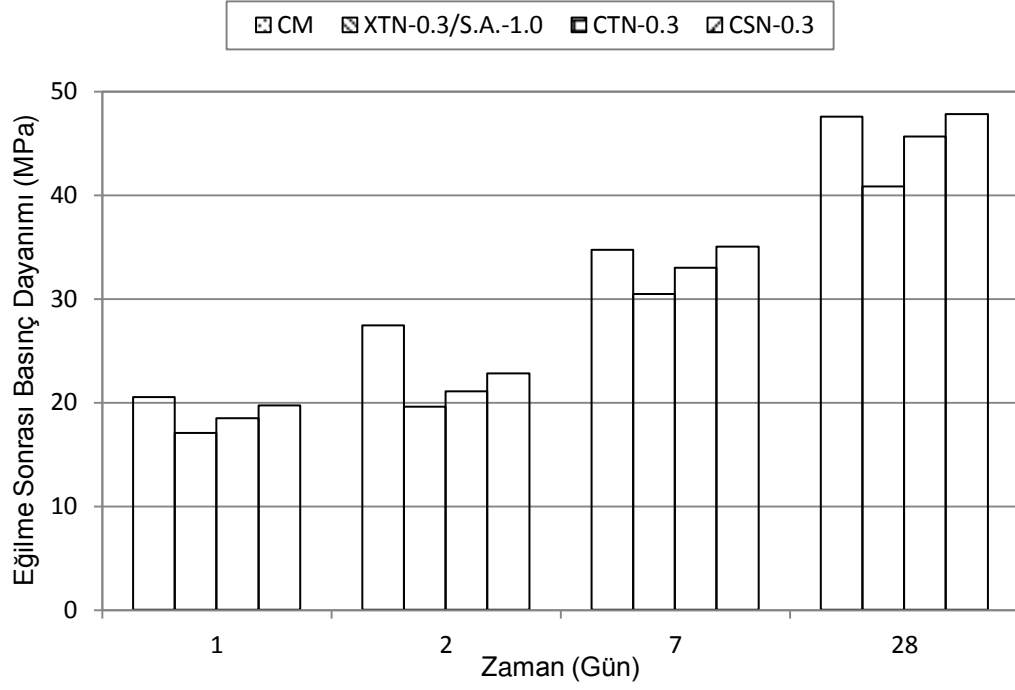
Şekil 3.21 1,0 dozajlı serilere ait eğilme dayanımı gelişimi

Prizma örnekler üzerinde yapılan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen eğilme dayanım değerleri basınç dayanımı değerleriyle benzerlik göstermektedir. CSN-0,2 ve CSN-0,3 serilerinin tıpkı basınç dayanımları gibi eğilme dayanımları da 1. ve 2. günlerde kontrol serilerinden düşük olmasına rağmen 7. ve 28. günde gelişim göstererek yüksek değerlere ulaşmıştır. CSN-0,2 serisinin eğilme dayanımında yüksek bir artış görülmüştür. CTN serilerine ait eğilme dayanımı gelişimi ise basınç dayanımı gelişimindeki gibi sadece 0,2 dozajlı sette 28. gün sonunda kontrol serisini aşmıştır.

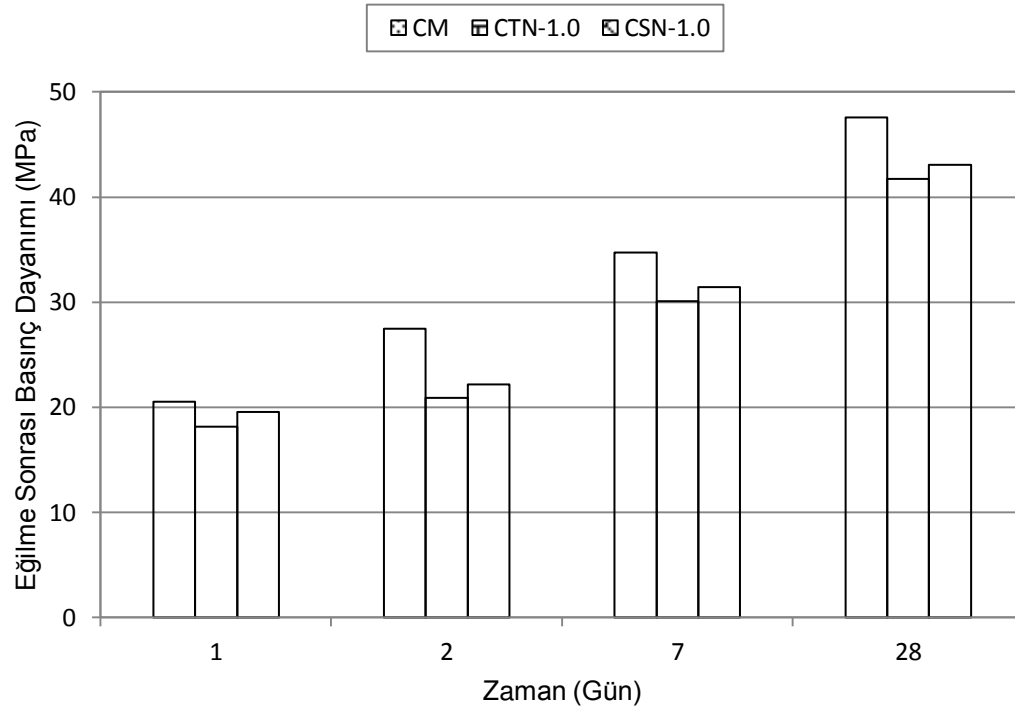
1,0 dozajla hazırlanan bütün CTN ve CSN serilerinin 1., 2., 7. ve 28. günlerdeki eğilme dayanımı değerlerinde azalma görülmüştür.



Şekil 3.22 0,2 dozajlı serilere ait eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi

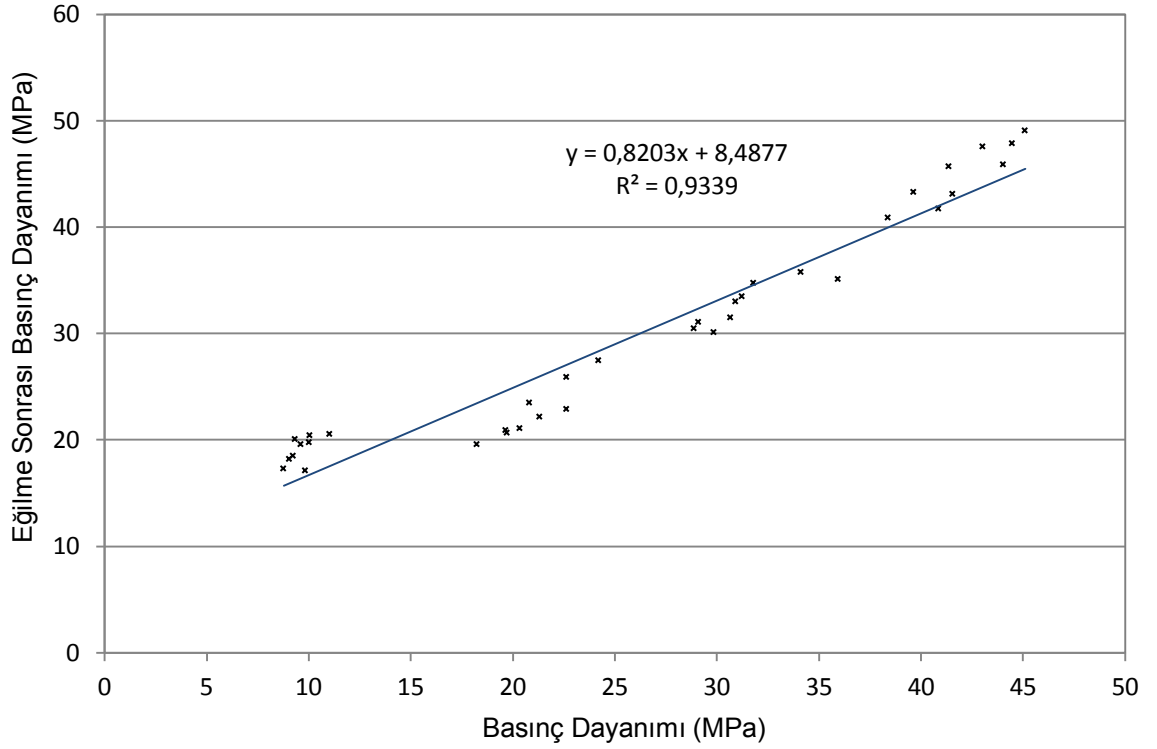


Şekil 3.23 0,3 dozajlı serilere ait eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



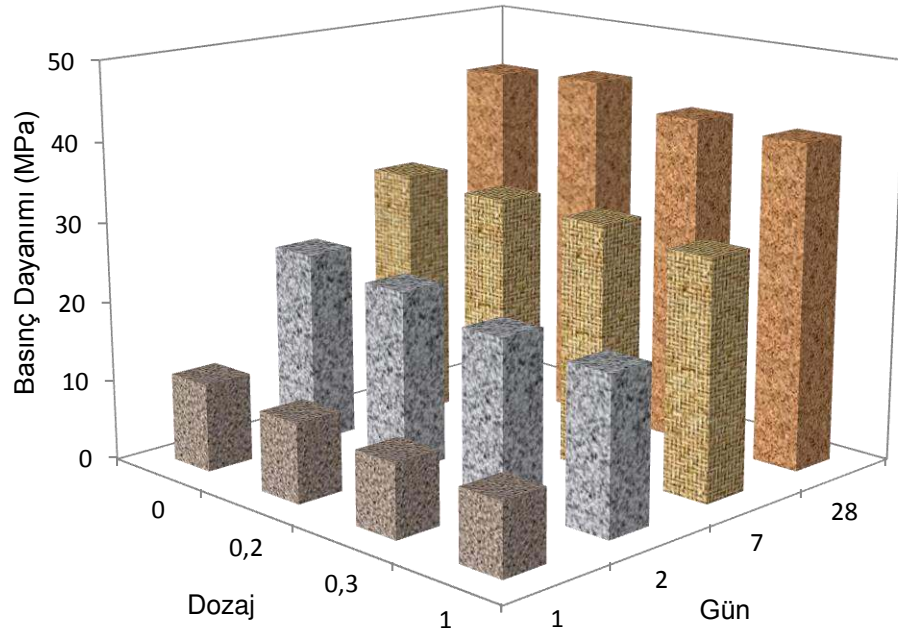
Şekil 3.24 1,0 dozajlı serilere ait eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi

Eğilme dayanımı deneyinde ikiye ayrılan örnekler üzerinde eğilme sonrası basınç dayanımı testi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.25’de görüldüğü gibi eğilme sonrası basınç dayanım değerleri 5 cm’lik ayrıtlı küp örnekler ile elde edilen basınç dayanımı değerlerinden daha büyüktür. Bu durum küçük boyutlu örneklerin büyük boyutlu örneklere kıyasla daha yüksek dayanım değerlerine sahip olmaları büyük örneklerde kusurlu bölge olma olasılığının ve sayısının daha fazla olmasına göre açıklanmaktadır (Ün, 2005).

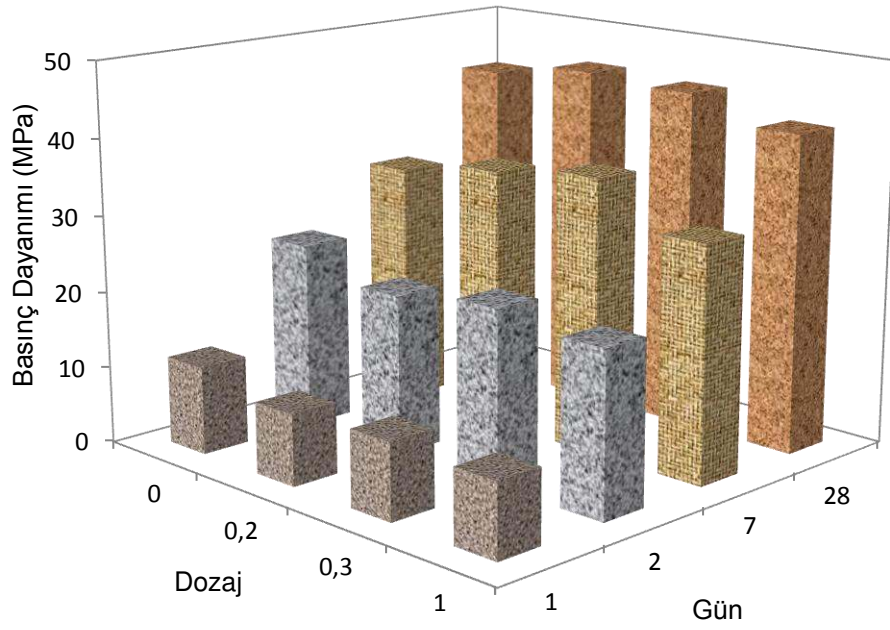


Şekil 3.25 Basınç dayanımı ve eğilme sonrası basınç dayanımı ilişkisi

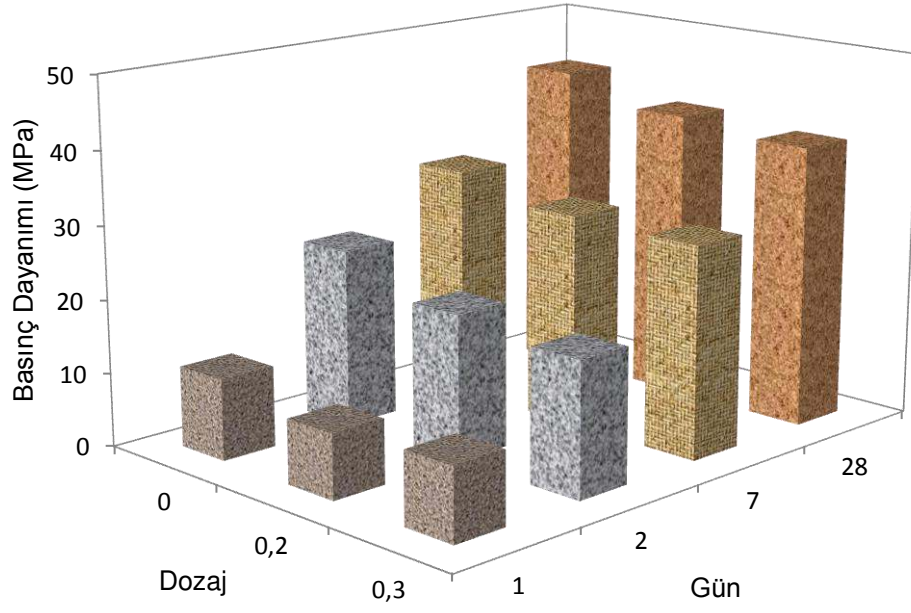
Deney serilerine ait eğilme sonrası basınç dayanım gelişimleri basınç dayanım gelişimleriyle benzerlik göstermektedir. Ancak CTN-0,2 serisinin 28. gündeki eğilme sonrası basınç dayanımı değeri basınç ve eğilme dayanım değerlerinin aksine kontrol serisinin dayanım değerinin altında kalmıştır.



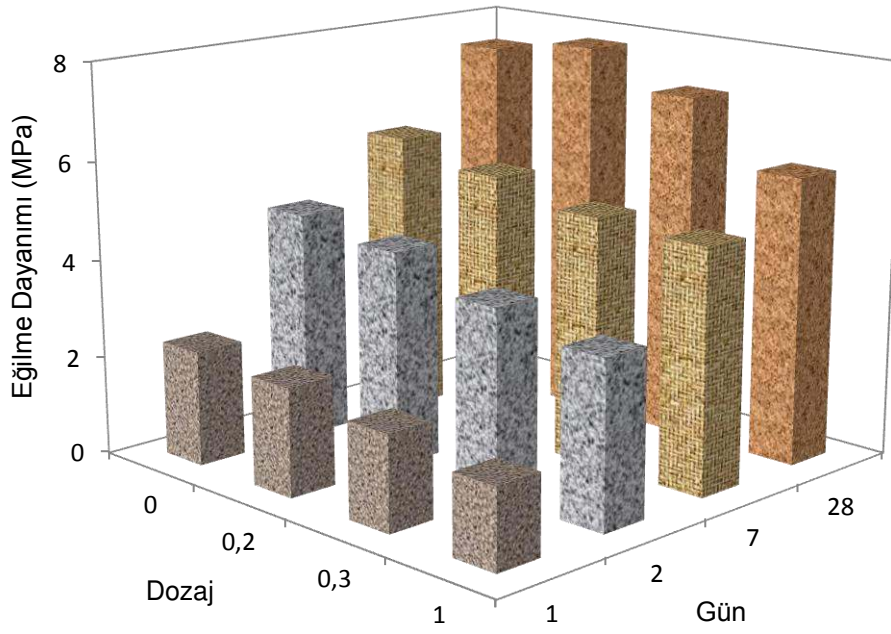
Şekil 3.26 CTN serilerinin dozaja bağlı basınç dayanımı gelişimi



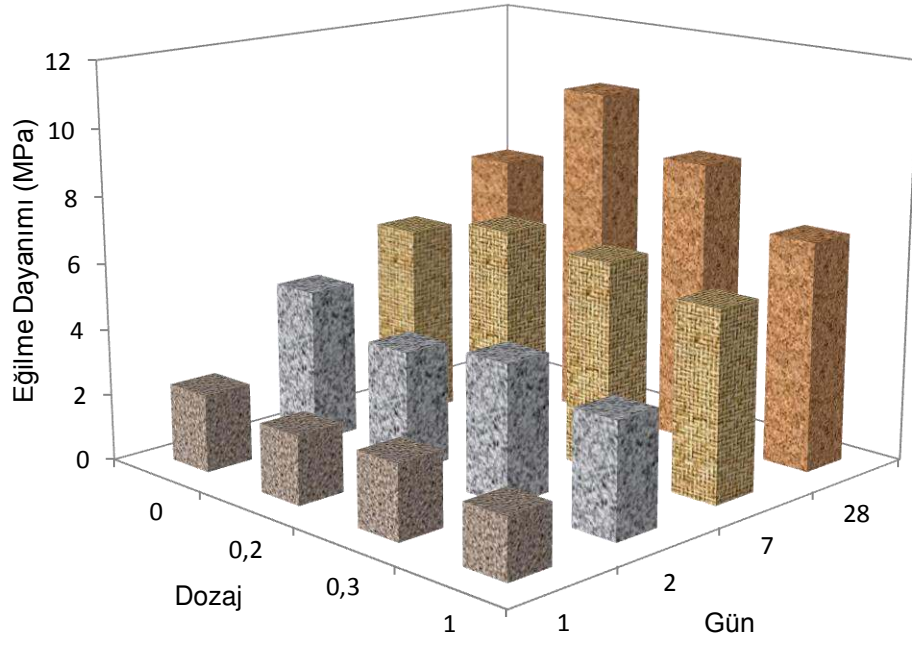
Şekil 3.27 CSN serilerinin dozaja bağlı basınç dayanımı gelişimi



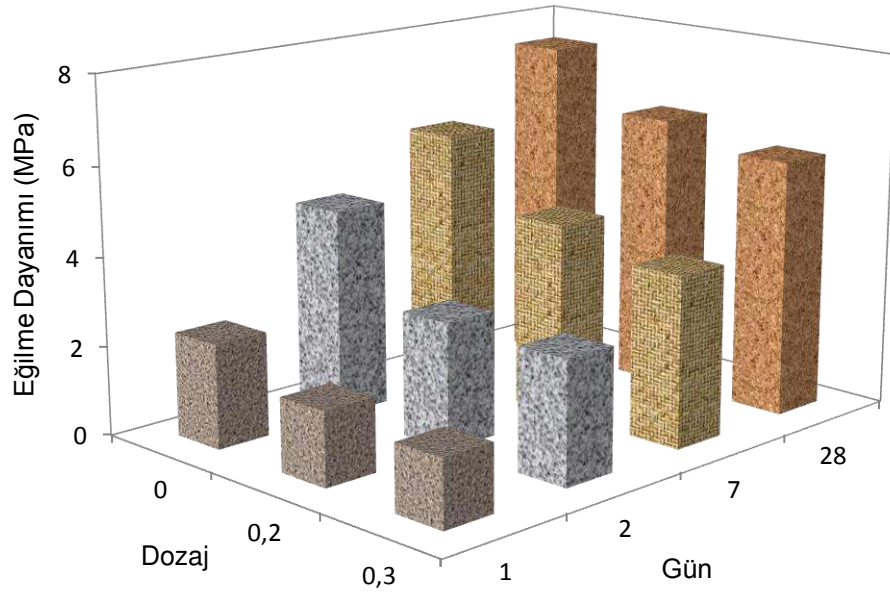
Şekil 3.28 XTN serilerinin dozaja bağlı basınç dayanımı gelişimi



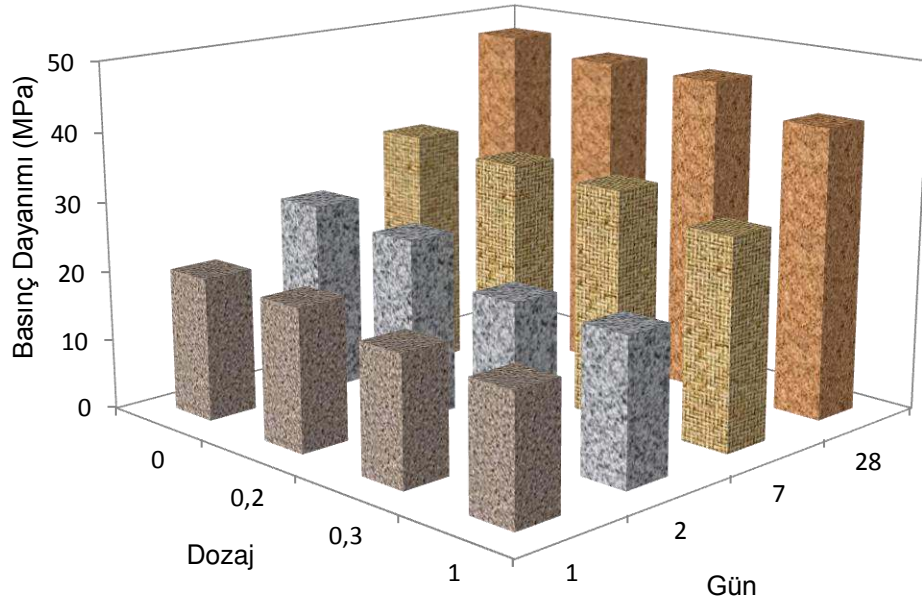
Şekil 3.29 CTN serilerinin dozaja bağlı eğilme dayanımı gelişimi



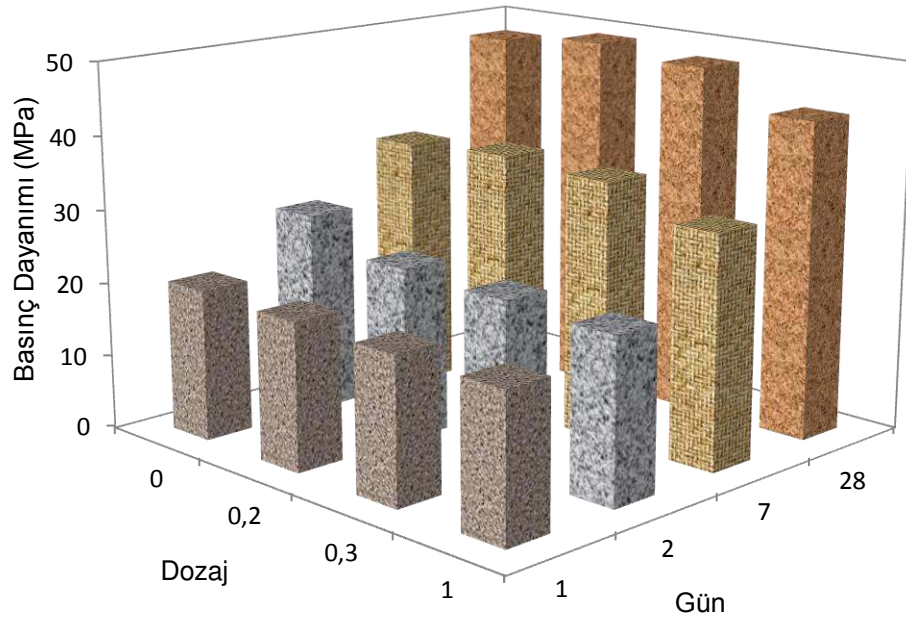
Şekil 3.30 CSN serilerinin dozaja bağlı eğilme dayanımı gelişimi



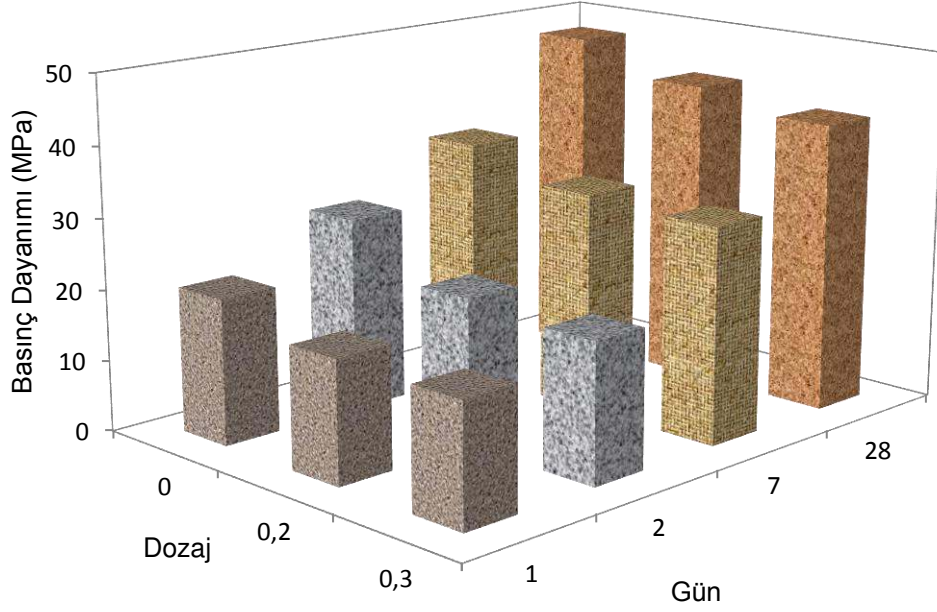
Şekil 3.31 XTN serilerinin dozaja bağlı eğilme dayanımı gelişimi



Şekil 3.32 CTN serilerinin dozaja bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



Şekil 3.33 CSN serilerinin dozaja bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



Şekil 3.34 XTN serilerinin dozaja bağlı eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi

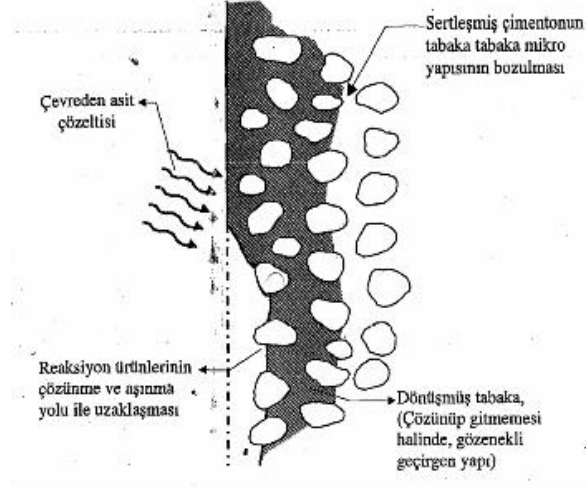
3.2 Durabilite Deney Sonuçları

3.2.1 Asit Dayanımı Deneyi Sonuçları

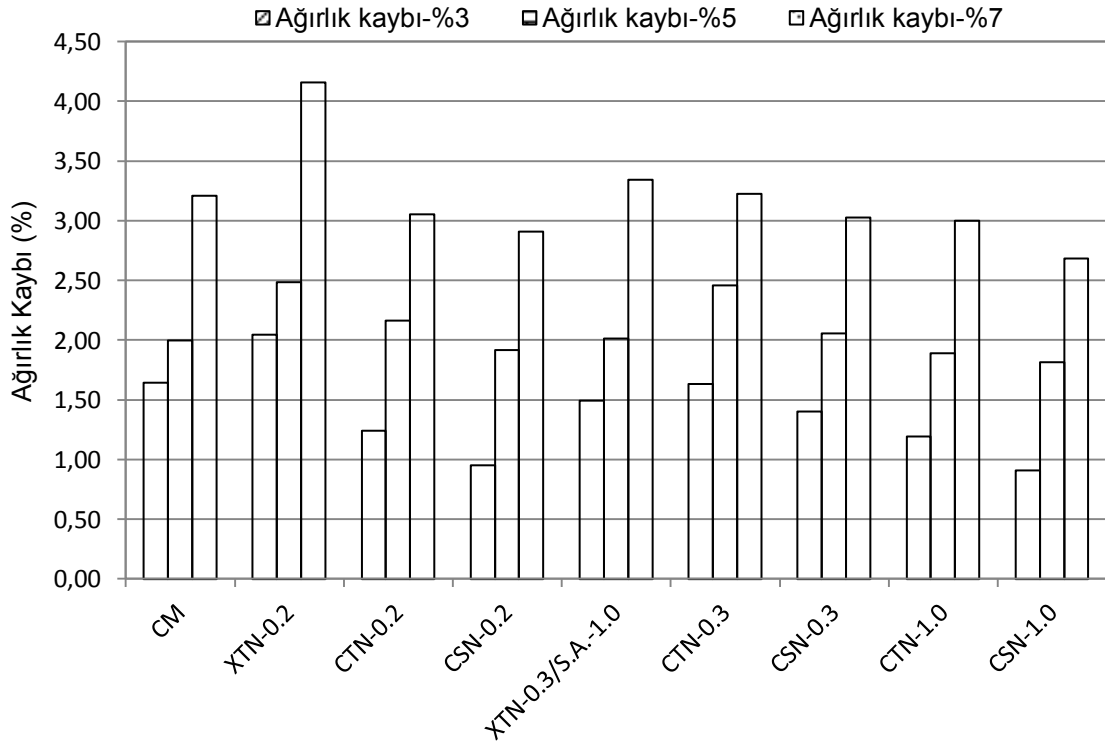
Serbest mineral asitlerinden hidroklorik asit (HCl) kuvvetli bir asit olup sertleşmiş çimento ve agrega içindeki karbonat esaslı tanecikler üzerinde kuvvetli çözücü ve ayrıştırıcı etkiler oluşturur. Asit hücumu sonucunda, sertleşmiş betonun içerisindeki kalsiyum hidroksit ve kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinde çözünme yer almaktadır. Beton yüzeyinde yumuşak (çamur gibi) ince bir tabaka oluşmaktadır. Beton daha gözenekli duruma gelmekte, dayanımı ve dayanıklılığı az olmaktadır (Liman, 2006). Şekil 3.35’de asit etkisiyle betonda oluşabilecek kimyasal değişimler ve bozulmalar gösterilmiştir.

Kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimerlerinin çimento harçlarının asit dayanıklılığı üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla 5 cm ayrıtlı küp numuneler kullanılmıştır. 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılan küp numuneler oda sıcaklığında kurutulduktan sonra ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından bu küp numuneler ağırlıkça %3, %5 ve %7’lik HCl çözeltisi içerisine atılmış ve 7 gün süreyle asit çözeltisi içerisinde bekletilmiştir. 7 günün sonunda çözelti kabından çıkarılan örneklerin ağırlıkları tekrar ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre deney

örneklerine ait yüzdece ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Şekil 3.36'da deney örneklerine ait ağırlık kayıpları gösterilmiştir.



Şekil 3.35 Asit etkisiyle betonun bozulması



Şekil 3.36 Tüm serilere ait HCl etkisinde kütlece yüzde kayıpları

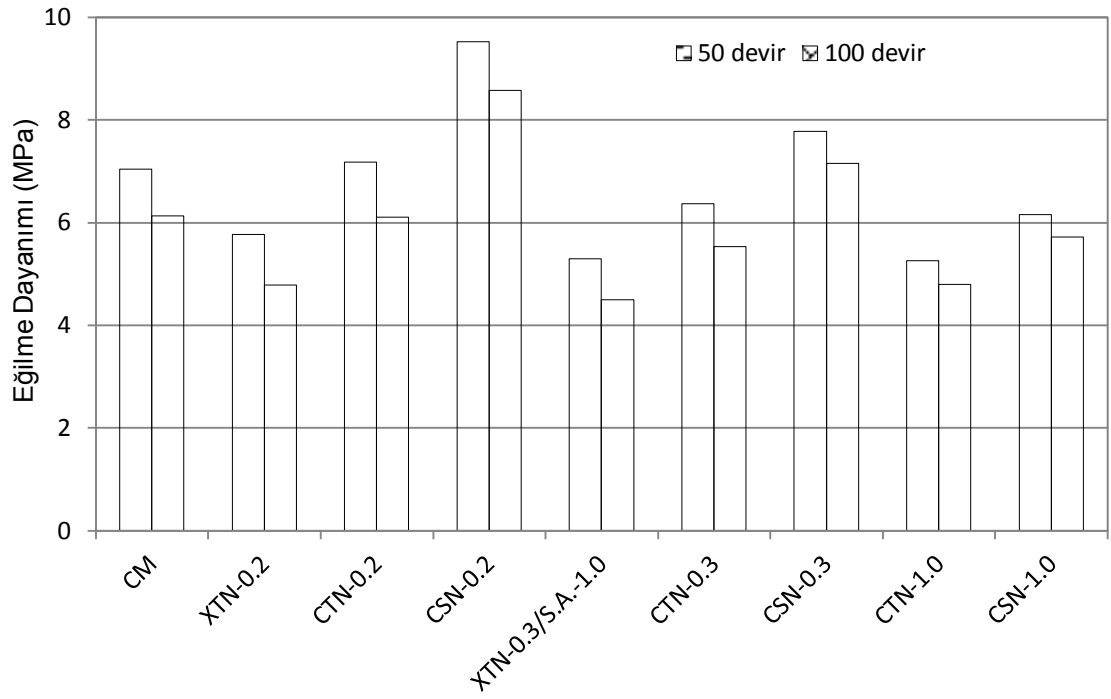
Şekil 3.36'da görüldüğü gibi HCl etkisi altında en fazla ağırlık kayıpları XTN serilerinde gerçekleşmiştir. Süper akışkanlaştırıcı takviyesiyle oluşturulmuş XTN-0,3/S.A.-1,0 serisinin %3 oranında HCl çözeltisine ait ağırlık kaybı kontrol serisinin altındadır. Bunun dışında diğer bütün XTN serilerine ait yüzdece ağırlık kayıpları kontrol serilerini aşmıştır. Özellikle XTN-0,2 serisine ait ağırlık kaybı yüzdeleri yüksek değerlere ulaşmıştır.

Kitin ve kitosanla hazırlanan deney serileri incelendiğinde yayılma, basınç ve eğilme deneylerinde elde edilen sonuçların aksine 1,0 dozajda hazırlanan örnekler olumlu sonuçlar vermiştir. CTN-1,0 ve CSN-1,0 serilerine ait ağırlık kaybı yüzdeleri bu biyopolimerlerin diğer dozajlarda hazırlanan serilerine nazaran daha düşük değerdedir. Özellikle CSN-1,0 serisine ait ağırlık kayıpları en düşük değerlerde çıkmıştır. Diğer kitosan serileri incelendiğinde CSN-0,2 serisinin CSN-0,3 serisinden daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. CSN-0,2 serisine ait ağırlık kayıplarına bakıldığında kontrol örneklerinden daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yalnız CSN-0,3 serisinin %5'lik asit çözeltisine ait ağırlık kaybı kontrol serisinin ağırlık kaybından fazla değerde çıkmıştır.

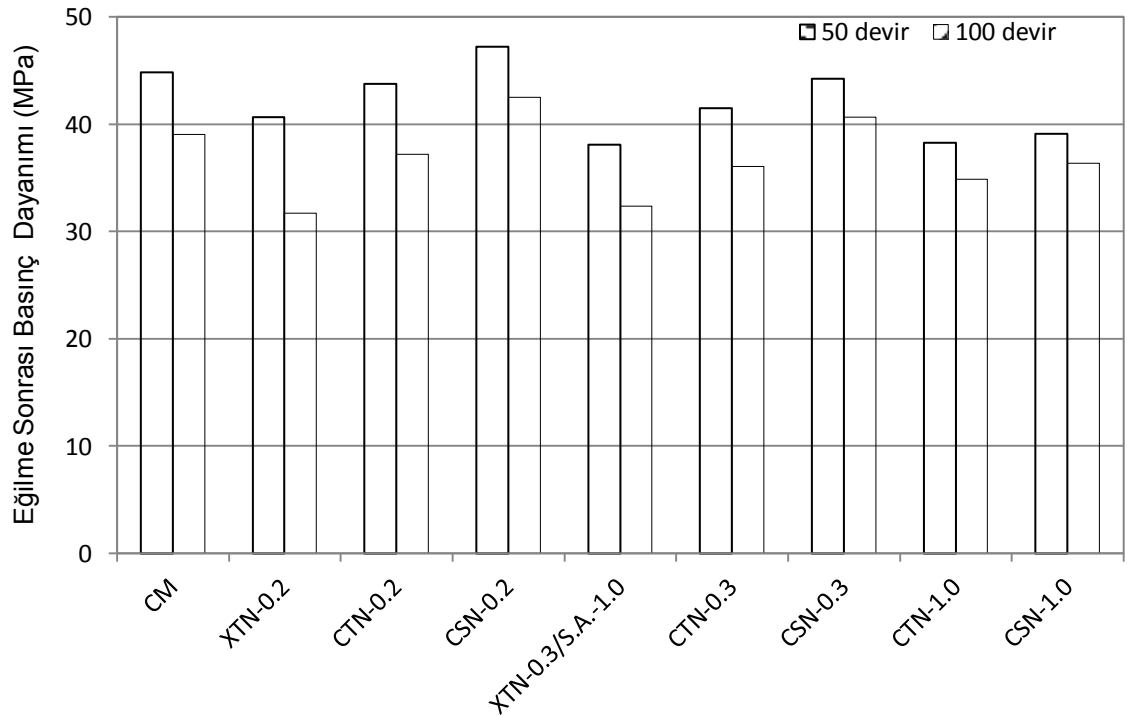
Kitin serilerinde de kitosan serilerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kitosanda olduğu gibi CTN-0,2 serisi CTN-0,3 serisinden daha düşük ağırlık kaybı yüzdesine sahiptir. CSN-0,2 serisine ait %3 ve %7 asit çözeltili ağırlık kaybı sonuçları kontrol örneklerinden daha düşük değerlerde bulunmuştur. CTN-0,3 serilerinde ise elde edilen sonuçlar kontrol örneklerinden daha yüksek değerlere sahiptir.

3.2.2 Donma-Çözünme Deneyi Sonuçları

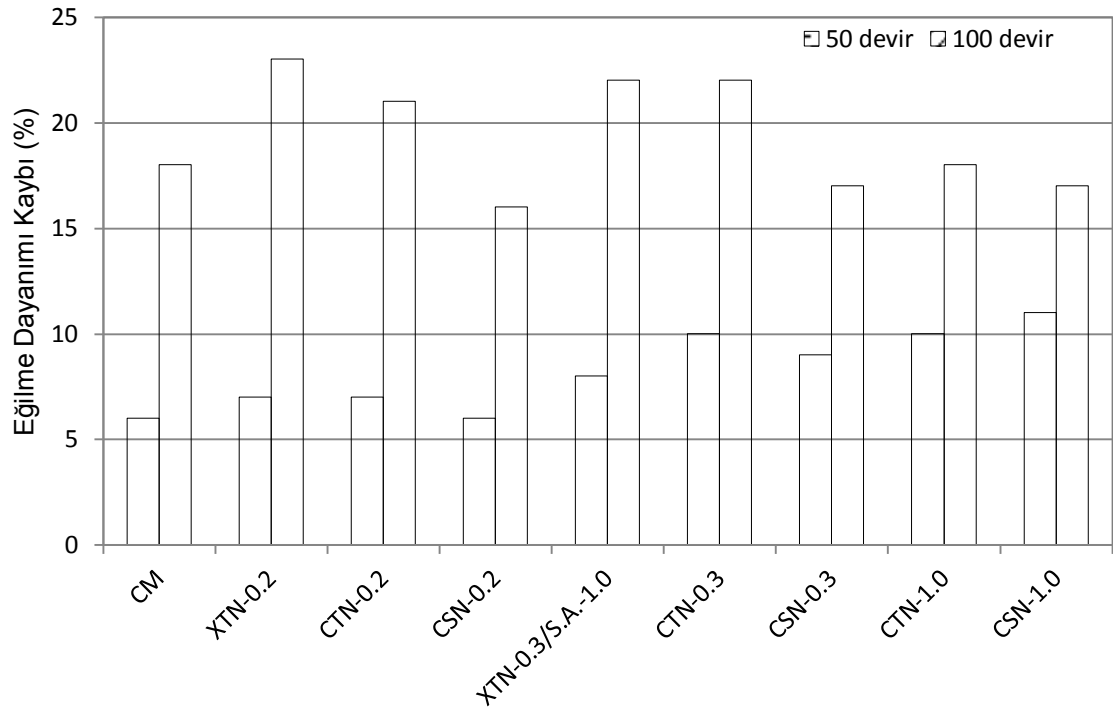
Kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimerleriyle hazırlanan çimento harcı serilerine ait donma çözünme etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla 4x4x16 cm'lik prizma örnekler kullanılmıştır. Tüm serilere ait 28 günlük prizmatik deney örnekleri kür havuzundan çıkarıldıktan sonra iklimlendirme kabininde tutulmaya başlanmıştır. İklimlendirme kabininde donma-çözünme sıcaklıklarında bekletilen deney numuneleri sırasıyla 50. ve 100. devir sonunda kabinden çıkartılarak eğilme ve eğilme sonrası basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerle deney serilerine ait 50 ve 100 devir sonundaki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen dayanım değerleri ışığında deney serilerine ait yüzdece eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpları hesaplanmıştır. 28 günlük deney serilerine ait 50 ve 100 devir sonundaki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımları ile bunlara ait yüzdece dayanım kayıpları sırasıyla Şekil 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'da gösterilmiştir.



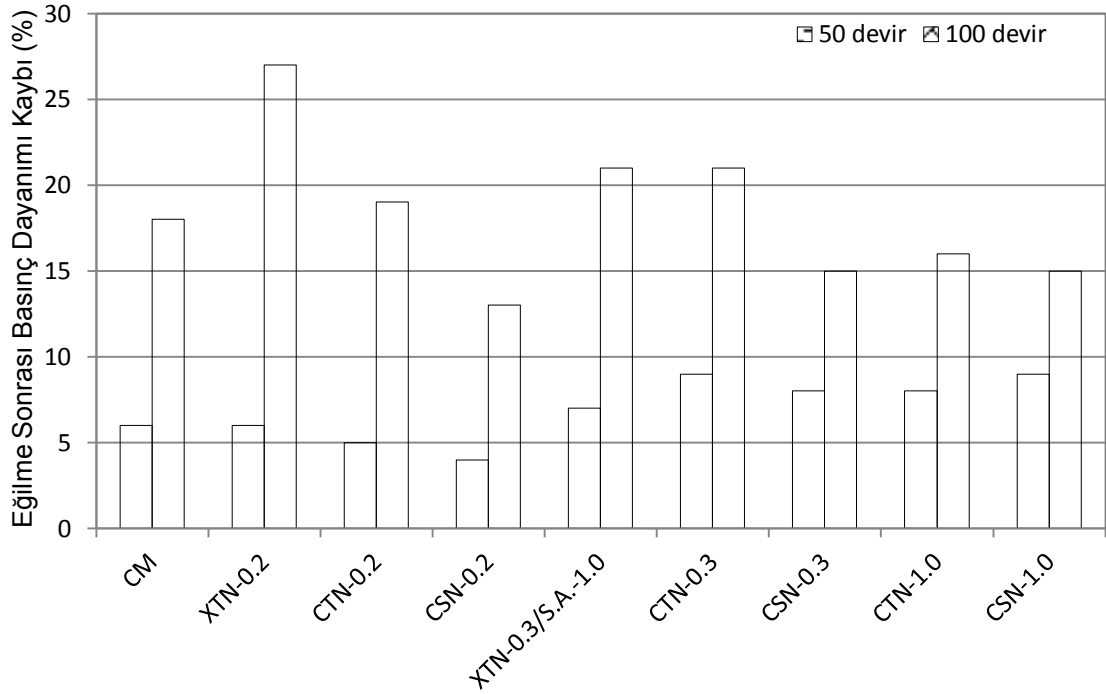
Şekil 3.37 28 günlük deney serilerinin eğilme dayanımı gelişimi



Şekil 3.38 28 günlük deney serilerinin eğilme sonrası basınç dayanımı gelişimi



Şekil 3.39 28 günlük deney serilerinin eğilme dayanımı kaybı (%)



Şekil 3.40 28 günlük deney serilerinin eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı (%)

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'da görüldüğü gibi hazırlanan deney serileri incelendiğinde 50 ve 100 donma çözünme devirlerindeki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanım kayıpları CSN-0,2 serisinde en düşük değerlere sahiptir. Kitosan ile hazırlanan diğer deney serilerine bakıldığında CSN-0,3 ve CSN-1,0 serilerinin 50. devirdeki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpları kontrol örneğinden daha fazladır. Buna karşın bu serilere ait 100. devirdeki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpları kontrol örneklerine çok yakın olmakla beraber daha düşük değerlerdedir.

Kitin ile hazırlanan deney serileri incelendiğinde tüm serilerin 50. ve 100. devirdeki eğilme dayanım kayıpları kontrol örneğinin dayanım kaybından daha fazladır. Sadece CTN-1,0 serisi kontrol örneği ile aynı dayanım kaybına sahiptir. Kitin serilerinin eğilme sonrası dayanım kayıpları incelendiğinde elde sonuçların değişken değerlerde olduğu görülmektedir. Örneğin CTN-0,3 serisinde elde edilen dayanım kaybı 50. ve 100. devirlerde kontrol örneğinden fazla çıkmıştır. CTN-0,2 serisinin eğilme sonrası dayanım kaybı 50 devirde kontrol örneğine ait dayanım kaybı daha düşük, CTN-0,3 ve CTN-1,0 serilerinde ise elde edilen kayıplar daha fazladır. Ayrıca CTN-0,2 ve CTN-0,3 serilerinin 100 devirdeki eğilme dayanımı kaybı kontrol örneğinin dayanım kaybından fazla değere sahipken CTN-1,0 serisinin dayanım kaybı daha düşüktür.

Zantan gam serilerinde ise eğilme dayanımı kayıplarının 50. ve 100. devirlerde kontrol örneğine ait eğilme dayanım kayıplarından daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle 100. deney devirlerinde elde edilen dayanım kayıpları diğer serilere ait değerlerden çok fazla çıkmıştır. Sadece CTN-0,3 serisine ait dayanım kaybı süper akışkanlaştırıcı katkı ilavesiyle hazırlanmış XTN-0,3/S.A.-1,0 serisiyle aynıdır. Zantan gam serilerinin eğilme sonrası basınç dayanımlarına bakıldığında 50. ve 100. devirlerdeki dayanım kayıplarının eğilme dayanım kayıplarında olduğu gibi kontrol örneğine nazaran daha fazla değerlere sahip olduğu görülmektedir. Yalnızca XTN-0,2 serisinin 50. devirdeki dayanım kaybı kontrol örneğinin dayanım kaybıyla aynıdır. XTN-0,2 serisinin 100. devirdeki eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı ise çok yüksek çıkmıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada çeşitli biyopolimer katkılarının çimento harçlarının yayılma, basınç dayanımı, eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı gibi mekanik özellikleri ile asit dayanımı ve donma-çözünme direnci gibi durabilite özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Endüstride yaygın bir şekilde kullanılan, doğada bol miktarda bulunan ve ekonomik biyopolimerler olan kitin, kitosan ve zantan gam biyopolimerleri bu çalışma için seçilmiştir. Biyopolimerlerin çeşitli katkı oranlarında çimento harçları hazırlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

— Yapılan yayılma deneyleri sonucunda yalnızca CSN-0,2 serisine ait yayılma değeri kontrol serisinde elde edilen yayılma değerinden büyük değere sahiptir. Ayrıca CSN-0,3 serisinin yayılma değeri kontrol serisinin yayılma değeriyle aynıdır. Bunun dışında diğer bütün deney serilerinin yayılma değerleri kontrol serisinden düşük değerdedir. Tüm sonuçlar incelendiğinde en olumsuz yayılma değeri CTN-1,0 serisinde elde edilmiştir.

— Elde edilen sonuçlara bakıldığında kullanılan biyopolimer katkı dozajı arttıkça tüm serilere ait yayılma değerlerinin azaldığı görülmektedir. XTN-0,2 serisinin yayılma değeri referans karışımların yayılma değerlerinden çok düşüktür. Bu biyopolimer katkıların viskoziteyi artırıcı özelliği ile paralellik göstermektedir (Lasheras-Zubiate et al, 2012).

— Basınç deneyleri sonucu bütün deney serilerinin 1. ve 2. gün sonundaki basınç dayanım değerleri kontrol serilerinin basınç dayanım değerlerinden düşük çıkmıştır. CSN-0,2 ve CSN-0,3 serilerinin 7. ve 28. gündeki basınç dayanımları gelişme göstererek kontrol serilerinin dayanım değerlerinin üzerine çıkmıştır. Nitekim düşük erken dayanım gösteren CSN-0,2 ve CSN-0,3 serileri daha yüksek geç dayanımlar sergilemiştir.

— CTN-0,2 serisinin 1. ve 2. gün sonunda elde edilen basınç dayanımı CSN-0,2 serisinden daha yüksek dayanıma ulaşmış olmasına rağmen 7 ve 28 gün sonunda daha az gelişme göstererek CSN-0,2 serisinin altında basınç dayanım değeri vermiştir. Ayrıca CTN-0,2 serisinin 28. gün sonunda basınç dayanımı kontrol serisinden daha büyüktür. 1,0 dozajlı deney serileri incelendiğinde ise basınç dayanımlarının daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür.

— CSN-0,2 ve CSN-0,3 serilerinin basınç dayanımlarına benzer şekilde eğilme dayanımları da 1. ve 2. günlerde kontrol serisinden az olmasına rağmen 7 ve 28 sonunda gelişim göstererek daha yüksek dayanımlara ulaşmıştır. Özellikle CSN-0,2 serisinde çok yüksek dayanım gelişimi gözlenmiştir. CTN serilerindeki eğilme dayanımlarında ise basınç

dayanımındaki gibi yalnız 0,2 dozajlı serinin 28 gün sonundaki değeri kontrol serisini aşmıştır. Yine basınç deneyi sonuçlarında olduğu gibi CTN ve CSN serilerinin tüm deney günlerindeki eğilme dayanımı değerlerinde azalma olduğu görülmüştür.

— Deney serilerinin eğilme sonrası basınç dayanım gelişimleri, basınç dayanım gelişimleriyle benzerlik göstermektedir. Ancak CTN-0,2 serisinin 28. gündeki eğilme sonrası basınç dayanımı değeri basınç ve eğilme dayanım değerlerinin aksine kontrol serisinin dayanım değerinin altında kalmıştır.

— HCl etkisi altında en büyük ağırlık kayıpları XTN serilerinde gerçekleşmiştir. Süper akışkanlaştırıcı ilavesiyle oluşturulmuş XTN-0,3/S.A.-1,0 serisinin %3'lük HCl çözeltisindeki ağırlık kaybı kontrol serisine nazaran düşüktür. Bunun dışında diğer bütün XTN serilerinin yüzdece ağırlık kayıpları kontrol serilerini aşmıştır. Özellikle XTN-0,2 serisine ait ağırlık kaybı yüzdeleri yüksek değerlerdedir.

— CTN-1,0 ve CSN-1,0 serilerine ait ağırlık kaybı yüzdeleri bu biyopolimerlerin diğer dozajlarda hazırlanan serilerine nazaran daha düşük değerdedir. Özellikle CSN-1,0 serisine ait ağırlık kayıpları en düşük değerlerde çıkmıştır. Diğer kitosan serileri incelendiğinde CSN-0,2 serisinin CSN-0,3 serisinden daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. CSN-0,2 serisine ait ağırlık kayıplarına bakıldığında kontrol örneklerinden daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Yalnız CSN-0,3 serisinin %5'lik asit çözeltisine ait ağırlık kaybı kontrol serisinin ağırlık kayıptan fazla değerde çıkmıştır.

— Kitin serilerinde de kitosan serilerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kitosanda olduğu gibi CTN-0,2 serisi CTN-0,3 serisinden daha düşük ağırlık kaybı yüzdesine sahiptir. CSN-0,2 serisine ait %3 ve %7 asit çözeltisi ağırlık kaybı sonuçları kontrol örneklerinden daha düşük değerlerde bulunmuştur. CTN-0,3 serilerinde ise elde edilen sonuçlar kontrol örneklerinden daha yüksek değerlere sahiptir.

— 50 ve 100 donma çözünme devirlerindeki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanım kayıpları CSN-0,2 serisinde en düşük değerlere sahiptir. Kitosan ile hazırlanan diğer deney serilerine bakıldığında CSN-0,3 ve CSN-1,0 serilerinin 50. devirdeki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpları kontrol örneğinden daha fazladır. Buna karşın bu serilere ait 100. devirdeki eğilme ve eğilme sonrası basınç dayanımı kayıpları kontrol örneklerine çok yakın olmakla beraber daha düşük değerlerdedir.

— Kitin ile hazırlanan deney serileri incelendiğinde tüm serilerin 50. ve 100. devirdeki eğilme dayanım kayıpları kontrol örneğinin dayanım kaybından daha fazladır. Sadece CTN-1,0 serisi kontrol örneği ile aynı dayanım kaybına sahiptir. Örneğin CTN-0,3 serisinde elde edilen dayanım kaybı 50. ve 100. devirlerde kontrol örneğinden fazla çıkmıştır. CTN-0,2 serisinin eğilme sonrası dayanım kaybı 50 devirde kontrol örneğine ait dayanım kaybı daha düşük, CTN-0,3 ve CTN-1,0 serilerinde ise elde edilen kayıplar daha fazladır. Ayrıca CTN-0,2 ve CTN-0,3 serilerinin 100 devirdeki eğilme dayanımı kaybı kontrol örneğinin dayanım kaybından fazla değere sahipken CTN-1,0 serisinin dayanım kaybı daha düşüktür.

— Zantan gam serilerinde ise eğilme dayanımı kayıplarının 50. ve 100. devirlerde kontrol örneğine ait eğilme dayanım kayıplarından daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle 100. deney devirlerinde elde edilen dayanım kayıpları diğer serilere ait değerlerden çok fazla çıkmıştır. Sadece CTN-0,3 serisine ait dayanım kaybı süper akışkanlaştırıcı katkı ilavesiyle hazırlanmış XTN-0,3/S.A.-1,0 serisiyle aynıdır. Zantan gam serilerinin eğilme sonrası basınç dayanımlarına bakıldığında 50. ve 100. devirlerdeki dayanım kayıplarının eğilme dayanım kayıplarında olduğu gibi kontrol örneğine nazaran daha fazla değerlere sahip olduğu görülmektedir. Yalnızca XTN-0,2 serisinin 50. devirdeki dayanım kaybı kontrol örneğinin dayanım kaybıyla aynıdır. XTN-0,2 serisinin 100. devirdeki eğilme sonrası basınç dayanımı kaybı ise çok yüksek çıkmıştır.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında biyopolimerler katkı kullanılarak hazırlanan çimento harçlarının viskozitelerinin arttığı, işlenebilirliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan kitosana ait dayanım değerlerinin düşük dozajlarda zamana bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir. Durabilite açısından incelendiğinde kitin ve kitosan biyopolimerler katkılarının asit dayanımı altında ağırlık kaybını azalttığı görülmektedir. Özellikle düşük dozajlarda kitosan biyopolimerinin kullanımı ile donma-çözünme devirlerine maruz bırakılmış örneklerin dayanım değerlerinde referans örneklere kıyasla daha düşük bir kayıp yaşanmaktadır. Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında biyopolimerler özellikle akışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile birlikte çimento harçlarının mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirme eğilimine sahiptirler. Bu katkıların kullanımı ile ilgili çalışmalar başka bir çalışma kapsamında yürütülmektedir.

5. KAYNAKLAR

American Standards of Testing Materials (ASTM), Annual book of the American Standards of Testing Materials standards, American Standards of Testing Materials International 04-08, West Conshohocken, PA, USA, 1999.

Agulló, E., Rodríguez, M.S., Ramos, V., and Albertengo, L., 2003. Present and Future Role of Chitin and Chitosan in Food, *Macromol. Biosci.*, 3(10): 521-530, 2003.

Berger, J., Reist, M., Mayer, J.M., Felt, O., Peppas, N.A., and Gurny, R., 2004. Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 57(1): 19-34, 2004.

Cho, Y.W., Cho, Y.N., Chung, S.H., Yoo, G., and Ko, S.W., 1999. Water soluble chitin as a wound healing accelerator, *Biomaterials*, 22: 2139-2145, 1999.

Demir, A., ve Seventekin, N., Kitin, Kitosan ve Genel Kullanım Alanları, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2): 92-103, 2009.

Erdoğan, Ş., ve Kurbetçi, Ş., Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4): 115-120, 2003.

Etemadi, O., Petrisor, I.G., Kim, D., Wan, M.W., and Yen, T.F., Stabilization of metals in subsurface by biopolymers: Laboratory drainage flow studies. *Soil and Sediment Contamination, An International Journal*, 12(5): 647-661, 2003.

Guang, W.Y., 2002. The Effect of Chitosan and Its Derivatives on the Dyeability of Silk. Ph.D. Thesis, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China, 2002.

Harding, N.E., Lelpi, L., and Cleary, J.M., 1995. 'Genetics and biochemistry xanthan gum production by *Xanthomonas campestris*' in *Food Biotechnology Microorganisms*, eds Y. H. Hui and G. C. Khachatourians. VCH Publishers, New York, pp.: 495-514, 1995.

Jansson, P.E., Kenne, L., and Lindberg, B., 1975. 'Structure of the exocellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*' *Carbohydr. Res.*, 45: 275-282, 1975.

Khor, E., 2001. Chitin, Fulfilling a Biomaterials Promise, Dept. Of Chemistry, National University of Singapore, Rep. Of Singapore, 2001.

Kılınç, B., ve Çaklı, Ş., 2004. Marinat Teknolojisi, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 21(1-2): 153-156, 2004.

Kim, J.G., Kim, T.H., Lee, J-S., Ko, K-S., Lee, G.H., Chon, C-M., Cho, C.H., and Cheong, Y.W., 2006. Soil characteristics and phosphorus accumulation in surface soil in relation to geological and land-use conditions. Soil Science and Plant Nutrition, 52: 313-320, 2006.

Knittel, D., and Schollmeyer, E., 1998. Chitosan und seine Derivate für die Textilveredlung Teil 1:Ausgangsposition, Textilveredlung, 33:67-71, 1998.

Lasheras-Zubiate, M., Navarro-Blasco, I., Fernandez, J.M., and Alvarez, J.I., Effects of the addition of chitosan ethers on the fresh state properties of cement mortars. Cement&Concrete Composites, 34: 964-973, 2012.

Liman, C., 2006. Hidroklorik Asit (HCl) Ve Nitrik Asit' in (HNO₃) Beton Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006.

Lim, S.H., 2002. Synthesis Of A Fiber-Reactive Chitosan Derivative And its Application to Cotton Fabric as an Antimicrobial Finish and a Dyeing-Improving Agent, 2002.

Margaritis, A., and Pace, G.W., 1985. Microbial polysaccharide. In: Moo-Young M., editor. Comprehensive biotechnology. Vol 3. New York, Pergamon. p.: 1005–1043, 1985.

Mazeau, K., and Rinaudo, M., 2004. The prediction of the characteristics of some polysaccharides from molecular modelling. Comparison with effective behavior. Food Hydrocolloids, 18: 885-898, 2004.

Mindess, S., Young J.F., and Darwin, D., 2002. Concrete (second edition), New York, Prentice Hall, 2002.

Montazer, M., and Afjeh, G., Simultaneous X-Linking and Antimicrobial Finishing of Cotton Fabric. J. of Appl. Polymer Sci., 103: 178-185, 2007.

Münzberg, J., Rau, U., and Wagner, F., 1995. Investigations on regioselective hidrolisis of a branched β -1,3-glucan, 27: 271-276, 1995.

Özel, C., 2007. Katkılı Betonların Reolojik Özelliklerinin Taze Beton Deney Yöntemlerine Göre Belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2007.

Seviour, R.J., and Kristiansen, B., 1983. Effect of ammonium ion concentration on polysaccharide production by *Aureobasidium pullulans* in batch culture, App. Microbial. Biotechnol., 17: 178-181, 1983.

Shahidi, F, Arachchi, J.K.V., and Jeon, Y-J., 1999. Food applications of chitin and chitosans, Trends in Food Science & Technology, 10: 37-51, 1999.

Stevenson, M.P., 1999. Polymer Chemistry an Introduction, Oxford University Press, New York, 551 s., 1999.

Tattersall, G.H., 1991. Workability and Quality Control of Concrete, E.&F.N. SponPubl., 262 s., London, 1991.

Tharanathan, R.N., and Kittur, F.S., 2003. Chitin-the undisputed biomolecule of great potential. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 43(1): 61-87, 2003.

Ün H., 2005. Değişik Tip Çimentolarla Hazırlanan Harçların Eğilme Sonrası Basınç Dayanımı İle Doğrudan Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen Ve Mühendislik Dergisi, 7(1): 97-109, 2005.

Visch, S.M., 2002. Biopolymers; what is their place in future society in relation with sustainable design, ID 5281, Sustainable design report, 2002.