

**İNŞAAT ENDÜSTRİSİNE YÖNELİK DOĞAL ELYAF
KATKILI KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI**

**THE PREPARATION OF NATURAL-FIBER REINFORCED
COMPOSITE MATERIALS FOR CONSTRUCTION
INDUSTRY**

AHMET CENGİZ

PROF. DR. NURSEL PEKEL BAYRAMGİL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
KİMYA Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2015

AHMET CENGİZ'in hazırladığı “**İnşaat Endüstrisine Yönelik Doğal Elyaf Katkılı Kompozit Malzemelerin Hazırlanması**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından KİMYA ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Belma IŞIK

Başkan :.....

Prof. Dr. Nursel PEKEL BAYRAMGİL

Danışman :.....

Doç. Dr. Murat KAYA

Üye :.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. FATMA SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Kıymetli Eşime...

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuz yönergesine uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

beyan ederim.

15/06/2015

Ahmet CENGİZ

ÖZET

İNŞAAT ENDÜSTRİSİNE YÖNELİK DOĞAL ELYAF KATKILI KOMPOZİT MALZEMELERİN HAZIRLANMASI

Ahmet CENGİZ

Yüksek Lisans, Kimya Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nursel PEKEL BAYRAMGİL

Haziran 2015, 93 sayfa

Beton; binlerce yıldır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. İnsanlar yapılarının fiziksel dayanımına çok önem vermişler ve kullandıkları betonun da dayanıklılığını sürekli geliştirmişlerdir. Betonun fiziksel dayanımını arttırmada uygulanan en pratik yol; beton harcının içerisine fiber malzemeler eklemektir. Kendi başına kırılğan olan beton, fiber malzemeler ile esnek bir özellik kazanır ve çatlamadan daha fazla yükü bünyesinde taşıyabilir. Bu çalışmada **Cladophora sp.** su yosunundan elde edilen nanoselüloz fiberler muhtelif oranlarda inşaat endüstrisinde kullanılan çimento harcının içerisine karıştırıldı. Bir hafta sonra sertleşen beton numunelerin üç nokta eğilme testi ile eğilme dayanımları ölçüldü. İçeriğinde 1,0 g nanoselüloz fiber bulunan 121,0 g beton numunenin, aynı şartlardaki fiber içermeyen betondan 2,7 kat daha fazla eğilme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacı ile; selüloz, hidroksietilselüloz (HEC), hidroksipropilmetil selüloz (HPMC), pamuk, poliüretan (PU) ve polikaprolakton (PCL) malzemeler laboratuvar ortamında hazırladığımız beton harcının içerisine belirli oranlarda karıştırılmış ve 3 nokta eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Bu malzemeler, nanoselülozdaki gibi sürekli fiberler şeklinde olmayıp daha kısa süreksiz ve düzensiz fiberler şeklinde olduğu için betonun eğilme dayanımının düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: nanofiber, kompozit, eğilme gerilmesi, *Cladophora sp.*, selüloz

ABSTRACT

THE PREPARATION OF NATURAL-FIBER REINFORCED COMPOSITE MATERIALS FOR CONSTRUCTION INDUSTRY

Ahmet CENGİZ

Master of Science, Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Nursel PEKEL BAYRAMGİL

June 2015, 93 pages

Concrete has been used for thousands of years as a construction material. People have been paid much attention to the physical strength of the structure and the strength of the concrete which they used continuously developed. The most practical way to increase the physical strength of concrete is adding fiber materials into the concrete mortar. Actually without additives concrete is a brittle material, but with fibers which are added to concrete mortar, concrete gains a flexible feature and can carry more load on the structure without cracking. In this study *Cladophora sp.* cellulose nano-fibers obtained from algae were mixed in various ratios into the cement mortar used in the construction industry. Flexural stresses of the concrete samples were measured after curing for a week with three-point bending test. 121,0 g of concrete sample which includes 1,0 g nano-cellulose fibre has 2.7 time higher flexural stress from reference concrete. Also by comparison purposes; cellulose, hydroxyethylcellulose (HEC), hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), cotton, polyurethane (PU) and polycaprolactone (PCL) materials were mixed in specific proportions into the concrete mortar prepared in the laboratory and 3 point bending test was applied. Since these materials are not continuous as in nanocellulose fiber, concrete flexural strength was found to be low because it is shorter as discontinuous fibers.

Keywords: nanofiber, composite, flexural stress, *Cladophora sp.*, cellulose

TEŞEKKÜR

Üniversitedeki lisans yıllarımdan itibaren bana bir anne Őefkati ile yaklaşan, bilgi ve tecrübelerinden azami derecede faydalandığım kıymetli hocam Sayın **Prof. Dr. Nursel PEKEL BAYRAMGİL**'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamızın en önemli kısımlarında yapmış olduğu destekleri sebebiyle Aksaray Üniversitesi Biyoteknoloji ve Moleküler Biyoloji Bölümü Başkanı Sayın **Doç. Dr. Murat KAYA** hocama teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Gece yaralarına kadar laboratuvarında süren çalışmalarımında hep yanımda olan kıymetli eşim **Uzm. Dr. Tuba İNAL CENGİZ**'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu sürecin tamamında desteklerini esirgemeyen ve çalışmalara bizzat katılan arkadaşlarım **Uzm. Fatma Özge GÖKMEN** ve **Uzm. Esra KILIÇ**'a çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER.....	vi
ŞEKİLLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Beton.....	7
2.1.1. Betonun Tarihi	7
2.1.2. Beton üretimi	8
2.1.3. Betonda Dayanıklılık.....	9
2.1.3.1. Betonun Kalite Kontrol Testleri.....	11
2.1.4. Yapısına Göre Betonun Çeşitleri	14
2.1.5. Beton Çatlakları	16
2.1.6. Beton Güçlendirme Yöntemleri.....	17
2.1.6.1. Sürekli Fiber Güçlendirmeleri.....	18
2.1.6.2. Süreksiz Fiber Güçlendirmeleri.....	19
2.1.7. Fiberle Güçlendirilmiş Beton [28].....	20
2.1.7.1. Fiber Çeşitleri.....	22
2.1.7.2. Fiberli Beton Bileşimindeki Parametrelerin Betona Etkisi.....	24
2.2. Kompozit Malzemeler.....	29
2.2.1. Biyokompozit Malzemeler.....	30
2.2.2. Nanokompozit Malzemeler	33
2.3. SELÜLOZ.....	36
2.3.1. Selüloz Kaynakları	39
2.3.2. Selüloz Nanotanecik Çeşitleri	40
2.3.3. Nanoselüloz.....	44
2.3.3.1. Nanoselülozun Kullanım Alanları	47
3. DENEYSEL KISIM.....	50

3.1. Kullanılan Malzemeler.....	50
3.2. Su Yosunundan (<i>Cladophora</i> sp.) Nanoselüloz İzolasyonu	51
3.3. Poliüretan ve Polikaprolakton Nanofiberlerin Hazırlanması	53
3.4. Selülozik ve Diğer Malzemelerin Beton Harcına Karıştırılması	54
3.5. Üç Nokta Eğilme Deneyleri	56
3.6. Karakterizasyon Çalışmaları	57
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	58
4.1 Nanoselülozun Karakterizasyonu.....	58
4.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi Sonuçları	69
KAYNAKÇA.....	74
ÖZGEÇMİŞ	79

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Kristalin selüloz ve diğer kuvvetli malzemelerin bazı özellikleri.....	4
Çizelge 2.1. Betonun iç ve dış etkenlerle bozulması.....	9
Çizelge 2.2. Beton Sınıfları.....	10
Çizelge 2.3. Betonun Kalite Kontrol Testleri.....	11
Çizelge 2.4. Bazı fiberlerin özellikleri.....	23
Çizelge 2.5. Bazı fiber çeşitlerinin özgül katsayı değerleri.....	31
Çizelge 2.6. Nanofiberleri elde etme yöntemleri ve ilgili çalışmalar.....	35
Çizelge 2.7. Nanofiber üretim yöntemleri.....	35
Çizelge 2.8. Bazı selüloz kaynaklarının kimyasal bileşimi.....	37
Çizelge 2.9. Selüloz türevleri.....	38
Çizelge 2.10. Selüloz tanecik çeşitleri.....	41
Çizelge 2.11. Selüloz ve uygulamalarıyla ilgili gelişmeler.....	42
Çizelge 2.12. NFC izolasyonu, modifikasyonu ve uygulamalarının tarihsel sıralaması.....	43
Çizelge 2.13. Farklı metodlarla farklı kaynaklardan elde edilen selüloz fiberlerin çapları.....	45
Çizelge 2.14. Bazı nanoselülozik lif kaynakları.....	47
Çizelge 2.15. Betonun güçlendirilmesinde nanoselüloz fiber kullanılan çalışmalar	48
Çizelge 3.1. Kullanılan madde ve malzemeler.....	50
Çizelge 4.1. Beton mumunelerinin harçtaki lif miktarlarına göre eğilme gerilmeleri.....	70

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonda lifler aracılığı ile gerilmenin dağıtılması.....	6
Şekil 2.2. Betonda basınç deneyi.....	12
Şekil 2.3. Betonda çekme deneyi	12
Şekil 2.4. Üç nokta eğilme deneyi	13
Şekil 2.5. Yapısına göre beton çeşitleri.....	15
Şekil 2.6. Fazla su ilave edilen betonda donatı ile beton arasında çekme gerilmesi	16
Şekil 2.7. Yeni dökülmüş beton harcında oluşan terleme ve buharlaşma.....	17
Şekil 2.8. Beton yapılar için güçlendirme çeşitleri.....	18
Şekil 2.9. Şekillendirilmiş süreksiz fiberler.....	20
Şekil 2.10. Fiberli betonların şekil değiştirme-gerilme grafiği.....	21
Şekil 2.11. Beksa İzmit Fabrikası dış saha yol betonlarında bir tür çelik fiber olan Dramix'in kullanılması.....	25
Şekil 2.12. İnşaatta kullanılan beton-demir kompozit.....	30
Şekil 2.13. Kompozit malzeme türleri.....	30
Şekil 2.14. Doğal fiberler.....	31
Şekil 2.15. Bazı bitkisel lif kaynakları.....	32
Şekil 2.16. Selüloz nanokompozit alanında yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı.....	33
Şekil 2.17. Mikro ölçekten nano ölçeğe kadar nanofiberlerin gerilme dayanımı ve elastisite modülü değişimi	34
Şekil 2.18. Selüloz β -D glikoz polimeri.....	36
Şekil 2.19. Selülozun hidrojen bağlarından kaynaklanan katlı yapısı.....	36
Şekil 2.20. Selüloz nanofiberlerin ve selüloz nanokristallerin SEM görüntüleri..	41
Şekil 2.21. Ağacın selüloz nanofibere kadar olan yapısı.....	46
Şekil 3.1. <i>Cladophora</i> sp.'nin sudan çıkarılmış hali.....	52
Şekil 3.2. <i>Cladophora</i> sp.'den elde edilen nanoselüloz.....	53
Şekil 3.3. Plastik kalıp içerisindeki beton numune.....	55
Şekil 3.4. Beton mumunenin 3 nokta eğilme deneyi.....	56

Şekil 4.1. <i>Cladophora</i> sp. su yosunundan elde edilen nanoselülozun 5,000 büyütme ile farklı cihazlardan alınan SEM görüntüleri.....	58
Şekil 4.2. <i>Cladophora</i> sp. su yosunundan elde edilen nanoselülozun 100,000 büyütme ile SEM görüntüsü.....	59
Şekil 4.3. Selülozun 5,000 büyütme ile alınan SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.4. HEC (a), HPMC (b), pamuk (c), PU (d) ve PCL (e) fiber yapıların SEM görüntüleri.....	62
Şekil 4.5. Nanoselüloz ve selülozun FT-IR spektrumu.....	63
Şekil 4.6. Nanoselüloz ve selülozun TG eğrileri	65
Şekil 4.7. Nanoselüloza ait DSC termogramı.....	66
Şekil 4.8. Selüloza ait DSC termogramı	67
Şekil 4.9. Nanoselüloz ve ticari selülozun XRD grafiği.....	68
Şekil 4.10. Mekanik test cihazından alınan eğilme gerilme eğrisi.....	71
Şekil 4.11. Eğilme Gerilmeleri/Kullanılan Malzemeler Grafiği.....	71
Şekil 4.12. Beton numunelerin içerdiği nanoselüloz miktarının eğilme gerilmesine etkisi.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g/m^3	gram/metreküp
GPa	Gigapaskal
MPa	Megapaskal
f_{cf}	Eğilme dayanımı
ksi	Kilopound per square inch
μm	Mikrometre
nm	Nanometre
M	Molar
$^{\circ}C$	Derece Celcius
KV	Kilo volt
g	Gram
mL	Mililitre
mm	Milimetre

Kısaltmalar

HEC	Hidroksietil selüloz
HPMC	Hidroksi propil metil selüloz
PU	Poliüretan
PCL	Polikaprolakton
İMO	İnşaat Mühendisleri Odası
PET	Polietilentereftalat
PVA	Polivinilalkol
NCC	Nanokristal selüloz
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ACIC	Amerika Beton Enstitüsü Komitesi
FRCA	Amerikan Fiberle Güçlendirilmiş Beton Birliği
MC	Metil selüloz
CMC	Karboksimetil selüloz
EC	Etil selüloz

NFC	Nanofibrillenmiş Selüloz
CNC	Selüloz Nanokristal
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spektroskopi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X-Işınları Kırınımı
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
TGA	Termogravimetrik Analiz

1. GİRİŞ

Yıllardır en yaygın yapı malzemesi olarak kullanılan beton; çimento, kum, agrega, su, hava ve kimyasal katkı maddelerinin karışımından oluşan kompleks bir yapıya sahiptir. Betonun yapısal özellikleri; çimento, su ve diğer karışım malzemeleri arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Beton yapımında bu maddelerin (çimento + kum + agrega + su + katkılar + takviye) kullanılmasındaki amaç betonda karşılaşılan problemleri (*Çatlaklar, tozuma, yüzeyde kabarcık oluşumu, beton yüzeyinden parça kırılması, beton yüzeyinde renk düzensizliği, çiçeklenme, dökülme, beton yüzey harcında bozulma, soğuk derz, petek dokusu, tabakalaşma, beton yüzeyinde boşluklar...*) ortadan kaldırmak, kullanım amacına uygun yeni özellikler kazandırmaktır [1].

Beton = Çimento + Kum + Agrega + Su + Katkılar + Takviye [2].

Son yıllarda dünyadaki çeşitli betonarme yapılarda meydana gelen hızlı hasar oluşumu önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle hareketli ortamlarda (köprü, yol, stadyum, fabrika vb.) bulunan betonarme yapılarda, betonun dayanıklı olması son derece önemlidir. Amerika'da bulunan 581000 adet köprünün yaklaşık 1/3'ünün korozyon nedeniyle yapısal olarak zayıfladığı ve fonksiyonel olarak işlevini yerine getiremediği düşünülmektedir. Bu köprülerin büyük çoğunluğunun onarımları ve güçlendirilmeleri gerekmektedir [3].

Bir deprem ülkesi olan Türkiye'nin betonarme yapılarının durumu ise tehlike alarmı vermektedir. İnşaat Mühendisleri Odası'nın (İMO) Ekim 2011'de yayınlamış olduğu çalışma raporunda; inşaat stoğunun yüzde 40'ının dayanıksız binalardan oluştuğunu, Japonların yaptığı bir araştırmaya göre, Türkiye'deki binaların yüzde 10'unun yıkılıp yeniden yapılması, yüzde 30'unun ise güçlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir [4].

Yıkıcı depremler Türkiye'nin 2/3'ünde görülebilmektedir. Ülkemizin son yüz yıllık tarihinde meydana gelen 193 yıkıcı depremde 100000 kişi hayatını kaybetmiş, 495000 bina yıkılmıştır. 20000 insanımız hayatını kaybettiği 1999 yılındaki Kocaeli ve Düzce depremlerinde; 124000 yıkık-ağır hasarlı konut, 110000 orta hasarlı konut ve 100000 az hasarlı konut olmak üzere toplam 334000 konutta hasar

saptanmıştır. Kocaeli ve Düzce depremlerinin maddi zararı 20 milyar TL' ye ulaşmıştır [5].

Betonun en önemli özelliği olan yüksek fiziksel dayanım, yani tonlarca yükü taşıyabilmesi sebebiyle köprü, yol, gökdelen, stadyum, apartman gibi yapılarda en yaygın kullanılan yapı malzemesi beton olmuştur. Betonun bu fiziksel direnci, harçtaki çimento, kum, agrega, su ve havanın kimyasal olarak tepkimeye girip sertleşmesi ve bu yeni yapının bütünlüğünü devam ettirmesine bağlıdır.

Betonun bütünlüğünün sağlanması için çelik fiberler, doğal fiberler (talaş, yün, keten, pamuk) yapay fiberler (cam yünü, plastik kökenli fiberler) gibi malzemeler beton harcında kullanılmaktadır.

Yapıların güçlendirilmesi için çok önceleri at kılları ve saman, harcın içerisinde kullanılırken, 1853'ten itibaren demir çubuklar betonarme yapılarda kullanılmaya başlandı. 1950'lerde beton harcında asbest fiber kullanımı başlamıştır. Asbest fiberin sağlığa olumsuz etkilerinden (kanserojen) dolayı 1960'larda cam ve çelik fiberlerin yanısıra polipropilen gibi sentetik fiberler de kullanılmaya başlanmıştır. 1965'ten sonra çarpıcı gelişmeler elde edilmiş olup bu alandaki araştırmalar günümüzde de güncelliğini korumaktadır [6].

Fiber ile güçlendirilmiş beton; çelik fiberler, doğal fiberler (talaş, yün, keten, pamuk) yapay fiberler (cam yünü, plastik kökenli fiberler) gibi malzemelerin betonun içerisine eklenmesiyle elde edilen, yapısal dayanıklılığı artırılmış betondur. Betonu fiber ile güçlendirmek; oldukça kırılğan olan betonun liflerle donatılarak istenilen oranda esnek hale getirilmesidir [6].

Malzemelerin güçlendirilmesi için kullanılan fiberlerde aranan özellikler;

- Güç ve sertlik gibi mekanik özellikler bakımından matrise (ana faz) uygunluk
- Büyük uzunluk/çap oranı
- Büyük yüzey alanı/hacim oranı
- İyi fiber-matris bağlanması
- Matris içerisinde iyi dağılma ve emilme
- Matrise yüksek uyum sağlama

Kompozit malzemelerdeki özellikleri incelendiğinde nanofiberlerin bu koşulları çok iyi bir şekilde sağladığı görülecektir. Beton içerisindeki fiberlerin boyutlarında mikro metre uzunluktan nanometre uzunluğa gidildikçe esneklik katsayısının ve esneklik dayanımının arttığı görülecektir. Buna ek olarak fiberlerde büyük çap demek fiber içerisindeki çatlakların bulunma olasılığının yüksek olması demektir. Nanofiberlerin bir diğer avantajı da yüksek uzunluk/çap oranıdır [7].

Naylon 6 ve Naylon 66, Poliüretan, Poliakrilonitril, PET, PVA, Polistiren, Naylon-6-ko-poliamid, Polibenzimidazol, Poliamit, Poliimit gibi doğal olmayan polimerlerden nanofiber elde edildiği gibi odun, mısır, palmye ağacı, pamuk, muz, keten, bambu ağacı gibi tamamen doğal kaynaklardan da nanofiber elde edilebilmektedir. Doğal nanofiberler, yenilenebilir kaynak olmaları, çevreye zararlı etkilerinin olmaması, dünya çapında elde edilmelerinin mümkün olması, üretimde düşük maliyet ve enerji gereksinimlerinin olması, sağlığa zararlı etkilerinin olmaması gibi birçok sebepten dolayı tercih edilmektedirler [8].

Doğal fiber kaynaklı polimer kompozitlerin diğer kompozitlerle aynı hatta daha iyi özellikler göstermesi daha fazla üzerinde çalışılmasına sebep olmaktadır. Doğal nanofiber kompozitlerde en fazla kullanılan polimer selülozdur. Bunu; düşük yoğunluk, biyobozunurluk, büyük uzunluk/çap oranı, yüksek fiziksel mukavemet, doğada fazla miktarda bulunma, kolay elde edilme, sağlığa zararsızlık, yüksek kimyasal ve termal kararlılık, saydam ve geçirgen yapılabilme gibi birçok sebebe bağlayabiliriz [9].

Selüloz; yapısındaki hidrojen bağlarından dolayı oldukça kararlı yapıya sahip doğal bir polimerdir, öyle ki suda çözünmez ve bir erime noktası da yoktur. Selüloz fiberler cam veya karbon fiberlerin aksine daha esnek bir yapıya sahiptirler ve bu esneklik selüloz fiberlerin üretiminde büyük uzunluk/çap oranını korumasını sağlar. Çok büyük uzunluk/çap oranına sahip selüloz nano fiberlerin kompozit malzemelerde kullanılmasının en büyük sebebi yapısal sağlamlığıdır [10].

Selüloz nanotaneceklerin özellikleri anlaşıldıkça biyopolimer kompozit endüstrisi için ideal bir kaynak haline gelmiştir. Nano boyutlarda selülozun mekanik ve diğer özelliklerinde üstün özellikler gözlenmiştir, öyle ki; Nanokristalin Selülozun (NCC) eğilme dayanımı Kevlardan daha büyük olduğu ve mekanik özelliklerinin Kevlar, çelik tel, karbon fiber gibi güçlü malzemelere yakın olduğu saptanmıştır (Çizelge 1.1). Selüloz nanofiberler yüksek uzunluk/çap oranına, $1,6 \text{ gr/cm}^3$ değerlerinde

düşük bir yoğunluğa ve aktif hidroksil yan grup içeren yüzeylere sahiptir. Bu yüzey özellikleri, birçok matris polimerlerle kendiliğinden birleşme, homojen dağılım gibi yüzey kimyası uygulamalarını kolaylaştırmakta; tanecik-tanecik, tanecik-matris bağ kuvvetlerinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Birçok çalışmaya konu olan farklı selüloz nanotaneciklerin mekanik özellikleri incelendiğinde; dökme demirden daha güçlü gerilme dayanımı ve çok düşük ısıl genleşme katsayısı gibi özellikler göstermişlerdir. Üstün özelliklerinden dolayı selüloz nanotanecikler kullanım alanlarının sınırlarını belirlemek mümkün olmamakla birlikte; bariyer filmler, antimikrobiyal filmler, şeffaf filmler, esnek ekranlar, polimerler için takviye dolgu malzemeleri, biyomedikal implantlar, farmasötikler, ilaç, fiber ve iplikler, membranlar, bataryalar, süperkapasitörler, elektroaktif polimerler ve daha birçok alan örnek verilebilir.

Çizelge 1.1. Kristalin Selüloz ve diğer kuvvetli malzemelerin bazı özellikleri [11]

Malzeme	Yoğunluk (g/m ³)	Gerilme direnci (GPa)	Eksenel elastisite modülü (GPa)
Kevlar-49 Fiber	1,4	3,5	124-130
Karbon Fiber	1,8	1,5-5,5	150-500
Çelik tel	7,8	4,1	210
NCC (nanokristalinselüloz)	1,6	7,5-7,7	110-220
NFC (nanoselüloz fiber)	1,01-1,64	6,0-15,0	-

Bu çalışmanın amacı selüloz türevlerinin ve özellikle nanoselüloz fiberlerin mekanik güçlerinden yararlanarak günümüz inşaatlarında kullanılan betonun dayanımını artırmaktır. Bunun için; *Cladophora sp.* türündeki su yosunundan elde ettiğimiz **nanoselüloz fiberler** başta olmak üzere, **selüloz**, **hidroksietilselüloz (HEC)**, **hidroksipropilmetilselüloz (HPMC)**, **pamuk** laboratuvar ortamında hazırladığımız beton harcının içerisine belirli oranlarda karıştırılmış ve 3 nokta eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca karşılaştırma amacı ile poliüretan (PU) ve polikaprolakton (PCL) nanofiberler eklenmiş betonların dayanımları da incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

5000 yıldır yapı malzemesi olarak kullanılan beton; çimento, kum, agrega, su, hava ve kimyasal katkı maddelerinin karışımından oluşan kompozit bir malzemedir. Bilindiği üzere kompozit malzemelerde birden fazla malzemenin biraraya getirilmesindeki amaç üstün özellikli yeni bir malzeme elde etmektir. Betonun günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmasının en önemli sebeplerini maddeler halinde sıralayacak olursak;

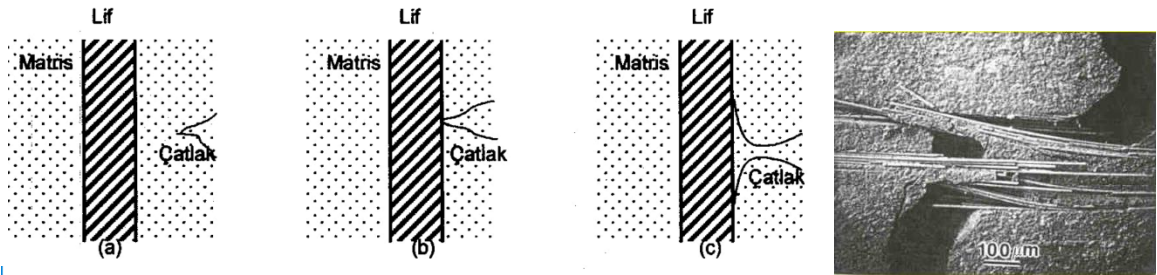
- Üstün mekanik özelliklere sahip olması,
- Düşük maliyeti,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük bir alt yapısının olması,
- Hazırlanılan kalıba rahat bir şekilde uygulanabilmesi,
- Çeşitli katkılar ve donatılar ile istenilen özelliğin verilebilmesi,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı,
- Hafif agrega ile hafifletilmesi ve pigmentlerle renklendirilmesidir.

Günümüzde çok katlı binaların, uzun köprülerin, stadyumlar gibi büyük yapıların geleneksel beton sağlamlığından ve esnekliğinden çok daha fazlasına ihtiyaçları olduğu için yapı güçlendirmesi ihmal edilemez bir konu haline gelmiştir. Betonun mukavemetinin artırılması için çimento, kum, agrega, su, hava bileşenlerinin yanında en fazla fiber malzemelerden faydalanılmaktadır. Bu ilk zamanlar at kılları, saman, asbest fiberler daha sonraları cam, çelik, polipropilen, kalsiyum silikat, naylon ve doğal fiberler olmuştur.

Beton içerisinde homojen olarak dağılan lifler; betonun üzerine aldığı yükten sonra meydana gelen gerilmeleri karşılamakta, betonun çatlamasını engelleyerek eğilme dayanımlarını artırmaktadırlar. Ayrıca, kırılmadan bir darbeye dayanma yeteneğini yani tokluğunu sağlamaktadırlar. **Yapılan çalışmalar sonucunda çimentolu sistemler içine katılan fiberlerin başlıca görevinin; kırılğan olan betonun içten veya dıştan gelen şekil değiştirici kuvvetleri bünyesine aktararak, çatlamaları önlemesi olduğu anlaşılmıştır [12].**

Betonun içerisindeki ve yüzeyindeki çatlaklar betonun fiziksel dayanımını zayıflatmaktadır. Bu çatlaklar; kuruma sürecindeki büzülmelemlerden, ısı büzülmelemlerden, zemin çökmesinden, aşırı yüklenmelemlerden veya kimyasal etkilerelemlerden dolayı olabilmektedir. Betonun kırılma mekanizması ilk çatlağın oluşmasıyla başlamaktadır. Fiberlerle donatılmış betonda ise kırılma, fiberin üzerine aldığı yüke dayanamayıp kopmasıyla oluşan kırılma çizgisine paralel birçok çatlak ile neticelenmektedir [13].

Betonun fiziksel dayanımını zorlayan kuvvetler kırılğan olan yapıyı çatlatmaya başlayacaktır. Çatlak, beton içerisinde ilerlerken, çatlağın ilerlemesini sağlayan gerilme enerjisi fiberlere aktarılacak ve fiberler tarafından karşılanmaya başlanacaktır. Fiber bu enerjii karşılayamadığı anda ya kopacak ya da betondan sıyrılacaktır. Fiber koptuktan ya da sıyrıldıktan sonra, gerilme enerjisi tekrar betona aktarılarak çatlağı devam ettirecektir. Çatlak bir sonraki fiberle karşılaşınca kadar ilerlemeye devam edecektir (Şekil 2.1). Bu durum yük alındıkça devam edecek ve betonda paralel çatlaklar oluşturacaktır. Kırılma gerçekleşinceye kadar betonda oluşan paralel çatlaklar betonun esnekleştiğinin göstergesidir [6].



Şekil 2.1. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonda lifler aracılığı ile gerilmenin dağıtılması [6]

2.1. Beton

Beton; çakıl, kum gibi "agrega" denilen maddelerin bir çimento ve su ile birleştirilmesinden meydana gelen inşaat ana malzemesidir [14].

Beton çok yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir öyleki; Dünyada kişi başına yıllık beton üretimi bir ton civarındadır. Baraj, kanal gibi su yapılarının yanında yol, bina, köprü ve diğer yapıların inşaatında da kullanılır. Hem bir taşıyıcı eleman ve hem de dekoratif malzeme olarak ortaya çıkar. Yangına dayanıklılığı, su geçirmezliği ve ses yalıtımı bakımından da tercih edilir. Beton; günümüzde radyasyonun etkilerini azaltmak için de kullanılmaktadır [15].

2.1.1. Betonun Tarihi

Beton yaklaşık olarak 5000 yıldan beri kullanılmaktadır. Eski Mısırlılar piramitlerin yapımında kil harcı kullanmışlardır. Harç; kireç taşının (CaCO_3) ısıtılması sonucu karbondioksit gazının (CO_2) açığa çıkarılması ile elde edilmekteydi. Elde edilen kireç, agrega ile karıştırılarak bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktaydı. Su ile hidratasyona uğrayan (sertleşen) çimentonun bulunuşu, Romalılara kadar uzanır. Romalılar kireç harcını, pozolanik volkanik külle karıştırmaktaydılar. Amorf silisten oluşan pozolan, suyun varlığında alkali ile kimyasal olarak reaksiyona girerek silis jeli yapısında sertleşiyordu [16].

Pozolan kelimesi, Pozzuoli isimli İtalyan kasabasından gelmektedir. Bu konuda ilk patent 1796'da İngiliz James Parker'a verilmiştir. 1824'te de İngiliz duvarcısı Joseph Aspdin kireç taşını kille yakarak bir bağlayıcı madde olarak çimentoyu elde etti. Portland Adası'ndaki kireç taşına benzerliği Portland çimentosu olarak anılmasına sebep oldu. Bundan sonra yapılan binalar, barajlar, yollar, çimento ve agregalardan oluşan harçla yapılmaya başlandı [17].

Hazır Betonun Dünyadaki gelişimini şu şekilde sıralayabiliriz;[18]

1848 İlk çimento fabrikasının kurulması (İngiltere)

1857 Betonarmenin sisteminin keşfi (Fransa)

1865 Fırın cürufunun Portland çimentosu ile birlikte betonda kullanımı (Almanya)

1903 Hazır beton endüstrisinin başlangıcı (Almanya)

1936 Beton harcında kimyasal katkıların kullanımı (Amerika)

- 1950 Mikrosilisin deneysel olarak kullanımı (Norveç)
- 1965 Süper akışkanlaştırıcıların beton harcında kullanımı (Amerika)
- 1971 Mikrosilisin taşıyıcı sistemlerde kullanımı (Norveç)
- 1981 Çimento+mikrosilis+uçucu kül karışımının harçta ilk kez kullanımı (İzlanda)
- 1992 Dünyanın en yüksek betonarme yapısı olan Bank of America Plaza'nın inşaaası (Amerika)
- 1993 Mikrofiberlerin betonda kullanımı (Amerika)
- 2009 Burj Dubai, Dubai'nin yapımı (828m) (Birleşik Arap Emirlikleri)

2.1.2. Beton üretimi

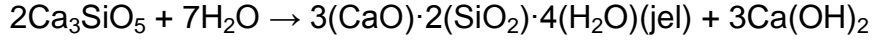
Beton harcında kullanılan çimento, agrega ve diğer malzemeler farklı sanayi bölümlerinde hazırlanır. Ekonomi, işlenebilme, dayanıklılık ve görünüş gibi özelliklerin dengeli olması için uygun karışım oranının seçilmesi şarttır. Karışım oranı betonun kullanıldığı yere göre değişir. Çimento özelliğine, agreganın durumuna, kimyasal katkı maddelerinin çeşitlerine göre pekçok karışım oranı hesabı vardır. Bu oranlar, Türk Standartları Enstitüsü'nün (TSE) vermiş olduğu TS802 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları'nda da belirtilmiştir.

Son 30 yıllık süreçte inşaat endüstrisinin aşırı derecede büyümesi hazır beton sektörünü ihtiyaç haline getirmiştir. Beton harcının karıştırılması ve hazır hale getirilmesi inşaat yerindeki betoniyerlerle veya küreklerle yapılırken bu işlemler sayesinde oldukça kolay hale gelmiştir.

Homojen bir şekilde elde edilen harç inşaat alanındaki kalıplara yerleştirilmeye hazırdır. Kalıplara yerleştirilen harçta bulunan hava boşlukları vibratörler kullanılarak giderilir ve betonun iyi yerleşmesi sağlanır. Küçük işlerde, şişleme de tekniği de uygulanabilir.

Kalıba dökülmüş beton için son aşama, sertleşmesi istenen betonun bakımudur. Sertleşme Portland çimentosunun hidratasyonu yani su ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu meydana gelir. Çatlama için önüne geçebilmek için kalıptaki betonu ilk birkaç gün nemli tutmak gerekir. Bunun için beton su ile ıslatılabileceği gibi, ıslak örtüler de kullanılabilir. Tam sertleşme için çimento türü ve ortam sıcaklığına bağlı olarak uzun bakım süresi gerekebilir. Tam sertleşme için yedi gün

genellikle yeterlidir. Çoğu insan harç içerisindeki suyun kurumasiyla betonun sertlestigi zanneder, ancak bu dogru degildir. Ortamda su olmazsa ne hidratasyon ne de sertlesme olabilir. Su, çimento ile olan hidratasyon sonucu kaybolur ve ancak fazla suyun buharlasmasına müsaade edilebilir. Betonun hidratasyonu (sertlesmesi) sürecinde karmaşık birçok kimyasal reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyonlar ilerledikçe harcın içerisindeki agrega malzemeleri ile sert bir yapı oluşturmaktadırlar. Bu reaksiyonları genel olarak;



denklemleri ile gösterebiliriz [19].

2.1.3. Betonda Dayanıklılık

İnşaat malzemelerinin işlevlerini hizmet ömürleri boyunca, bozulmadan yerine getirmelerine dayanıklılık adı verilir [20].

Beton hasara uğraması; beton üretiminden betonun kullanımına kadar geçen sürede yanlış beton bakımından kaynaklanır. Yapıların bozulmasına yol açan fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik kökenli etmenler Çizelge 2.1'de görülmektedir. Mekanik yolla oluşan hasarlar arasında, darbe, aşınma, erozyon ve oyulma (kavitasyon) etkileri sayılabilir. Kimyasal etkenler dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında alkali-agrega reaksiyonları, sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir. Bozulmanın fiziksel nedenleri; donma-çözülme, buz çözücü tuzlar, yüksek sıcaklıklar vb. etkilere [1].

Çizelge 2.1. Betonun iç ve dış etkenlerle bozulması

Fiziksel ve Mekanik Etkenler	Kimyasal ve Biyolojik Etkenler
Aşırı yükleme	Karbonatlaşma
Darbe etkisi	Asitlerin çimento bileşenleri ile reaksiyonu
Boy ve hacim değişimi	Sülfat etkisi
Islanma-kuruma	Alkali-agrega reaksiyonları
Donma-çözünme	CaO ve MgO hidratasyonu
Buz çözücü tuzlar	Biyolojik oluşumlar
Aşınma, erozyon, oyulma	

Betonun dayanıklılığında, kalıba dökülmüş harcın içerisindeki hava kabarcığı oranını en aza indirmek de çok önemlidir. Hava kabarcıklarının yarıçapları 10^{-7} - 10^{-3} m, yani kapiler (kılcal) boşluklardır ve betonun mekanik dayanımının azalmasında önemli rol oynar [21].

Betonun standart basınç dayanımı; 20(+/-2)°C sıcaklıkta ve %100 nemli ortam olan kireçli suda 28 gün boyunca bekletilen, çapı 15 cm, boyu 30 cm olan silindir numunelerin eksenel basınç altındaki dayanımıdır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, kırılma anındaki kuvvetin, silindir alanına bölünmesi ile elde edilir. Beton sınıfları "concrete" kelimesinin baş harfi olan "C" ile ifade edilir. Örneğin C20/25, 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı 20 MPa yani 200 kgf/cm² olan betondur. Betonun basınç dayanımına göre sınıflandırması Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Beton Sınıfları [22]

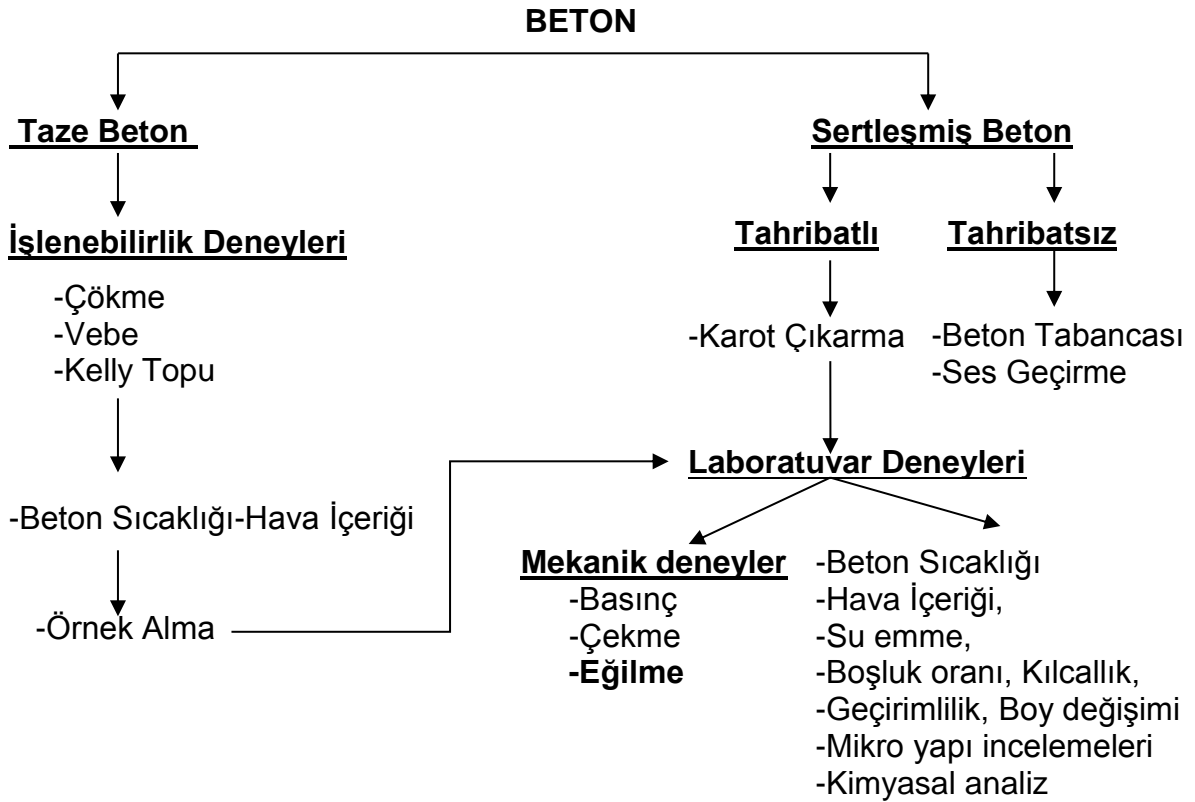
Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Küp Basınç Dayanımı (MPa)	Eksenel Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
C16/20	16.0	20.0	1,4	27000
C18/22	18.0	22.0	1,5	27500
C20/25	20.0	25.0	1,6	28000
C25/30	25.0	30.0	1,8	30000
C30/37	30.0	37.0	1,9	32000
C35/45	35.0	45.0	2,1	33000
C40/50	40.0	50.0	2,2	34000
C45/55	45.0	55.0	2,3	36000
C50/60	50.0	60.0	2,5	37000

Günümüzde dayanıklılık konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Artık yeni beton standardı TS EN206-1 ve bu standardın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standard TS13515'de dayanımın yanısıra çevresel etki sınıfları da devreye girmiştir. Söz konusu standartlara göre ülkemizde inşa edilecek bir bina en az C30/37 sınıfında olmalıdır [22].

2.1.3.1. Betonun Kalite Kontrol Testleri

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı Denetimi Uygulama Usul ve Esasları Yönetmeliğine göre yapı malzemelerinin testleri Yapı Denetim Kuruluşları ve Laboratuvarlarında TSE standartlarında gerçekleştirilir. Bu testler beton ve bileşenleri (agrega, su, katkıları vb.) ile ilgili birçok uygulamayı içerir. Bu testlerden beton ile ilgili olanlar en başta sertleşme olmadan ve sertleşme olduktan sonra diye ikiye ayrılır. Aşağıdaki çizelgede (Çizelge 2.3) özet olarak beton ile ilgili deneyler verilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 2.3. Betonun Kalite Kontrol Testleri [23]



2.1.3.1.1. Sertleşmiş Betonda Mekanik Deneyler

Sertleşmiş betonda mekanik deneyler; betonun bütünlüğünü bozmadan üzerine aldığı yüklere ne kadar dayanabileceğini ölçmek için yapılan deneylerdir.

Basınç deneyinde; silindir şeklindeki beton numuneye yukarıdan ve aşağıdan kuvvet uygulanır. Beton numunenin çatlamadan bütünlüğünü koruduğu son kuvvetin silindir alanına bölünmesiyle basınç dayanımı ölçülmüş olur. Birçok yapıda betonun önemli büyüklükte, yorulma, çekme, eğilme, gibi değişik kuvvetlere

maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır (Şekil 2.2).

Çekme deneyinde; betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin sebep olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnç ölçülür. Deney, iki ucundan sabitlenmiş numunenin zıt yönlerde kuvvetlere maruz bırakılması esasına dayanır. Beton numunelerin çekme dayanımları, basınç dayanımlarına göre çok daha düşüktür. Beton numune ne kadar çatlağa sahipse, çekme dayanımı da o kadar zayıftır (Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Betonda basınç deneyi [24]

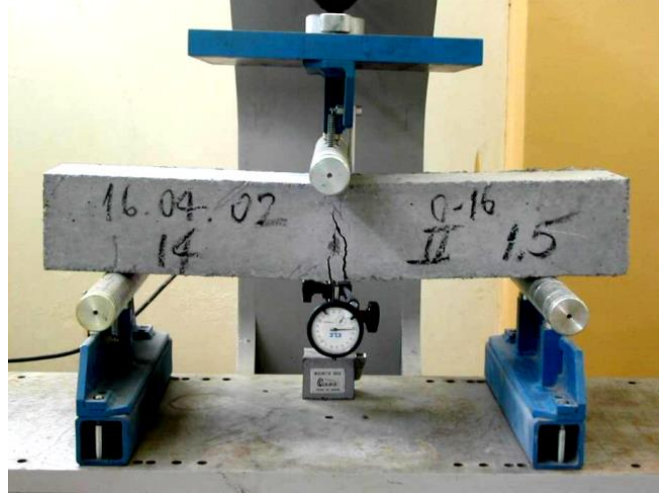


Şekil 2.3. Betonda çekme deneyi [25]

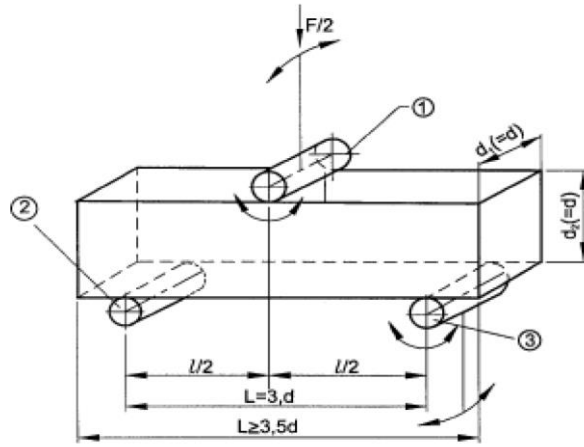
Eğilme deneyi, literatürdeki fiberli betonların mekanik dayanımının ölçülmesi için en fazla kullanılan metoddur. Beton içerisine katılan fiberin rolü; oldukça kırılğan olan betonu sünekleştirmek, betonun üzerine yük aldığı zaman kırılmadan esnemesini sağlamaktır. Fiberlerin betona olan etkisini incelemek için eğilme deneylerinden faydaniılmaktadır. Eğilme deneyleri üç nokta ve dört nokta olmak üzere ikiye ayrılrsa da en fazla kullanılan deney metodu üç nokta eğilme deneyidir. Bizim de çalışmamızda kullanmış olduğumuz bu deney metodu hakkında bilgi vermek yerinde olacaktır.

Üç Nokta Eğilme Deneyi

Bu deney, sertleşmiş beton deney numunelerinin eğilme dayanımını belirlemek için yapılır. Prizma şekilli deney numuneleri, mesnet (alt) ve yükleme (üst) silindirleri tarafından yük uygulanarak eğilme momentine maruz bırakılır. Ulaşılan en büyük yük kaydedilir ve eğilme dayanımı hesaplanır. Deney, TS EN 12390-4'e uygun deney makinası kullanılarak yapılır (Şekil 2.4 (a) ve (b))



(a)



(b)

Şekil 2.4. Üç nokta eğilme deneyi [24]

Numunelerin hazırlanması ve yerleştirilmesi [26]

Üç nokta eğilme testi için hazırlanan dikdörtgenler prizması şeklindeki beton numunelerinin boyutları, mekanik test cihazına uygun olmalıdır. Harç olarak kalıba dökülüp sertleşmesi için 1 gün beklenen beton, bütünlüğünü sağladıktan sonra kalıpla beraber 28 gün su içinde tutulur. Beton numunenin çatlamadan en yüksek fiziksel sağlamlığa ulaşması için bu süre önemlidir. Su içinden çıkarılan beton

numunelerinin ıslaklığı giderilip mekanik test cihazının ayakları üzerine ortalanarak yerleştirilir. Yükleme hızı, 0,04 MPa/s (N/mm².s) ile 0,06 MPa/s (N/mm².s) arasında sabit gerilme artış hızı sağlanacak şekilde ayarlanmalıdır. Yük, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen hız $\pm\%$ 1 sapma sınırları içerisinde sağlanarak, numune kırılıncaya kadar, sabit hızda artırılmak suretiyle uygulanmalıdır. Eğilme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$f_{cf} = \frac{3FL}{2d_1d_2^2}$$

Burada;

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm²)

F : En büyük yük, N

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık, mm

d_1, d_2 : Numunelerin en kesit boyutları, mm dir.

2.1.4. Yapısına Göre Betonun Çeşitleri

Yapısına göre betonu; yalın beton,

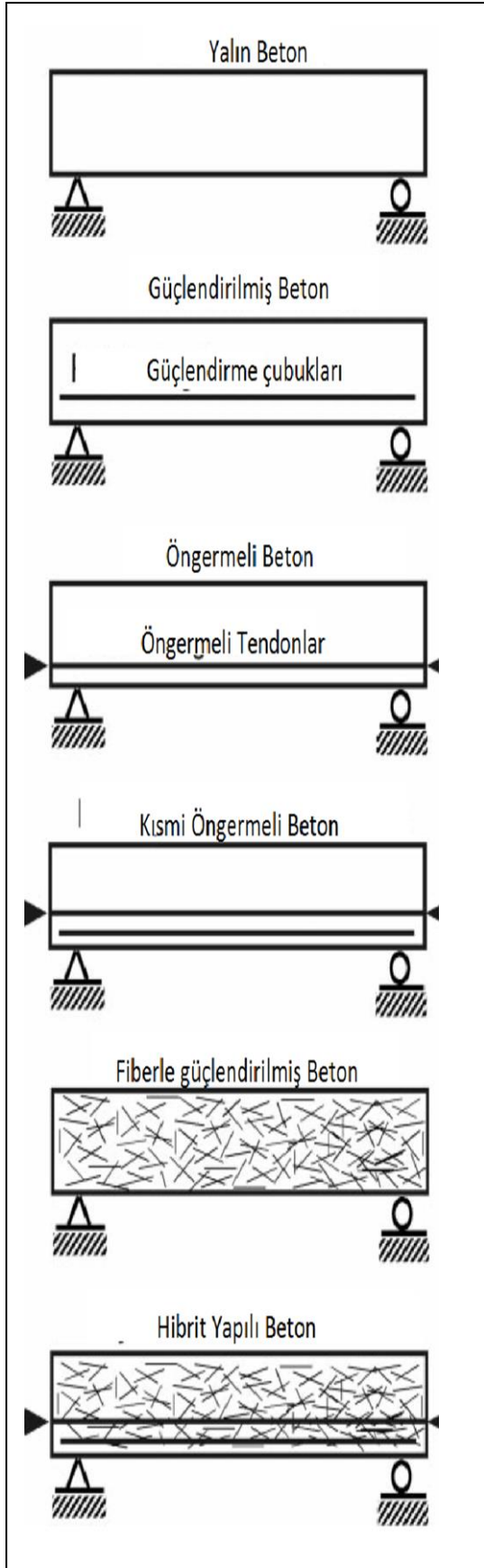
güçlendirilmiş beton,

öngermeli beton,

kısmi öngermeli beton,

fiberle güçlendirilmiş beton,

hibrit yapılı beton olarak gruplandırabiliriz (Şekil 2.5) [27].



Kaldırımlar, patikalar gibi güçlü olmasına gerek olmayan alanlarda kullanılan beton yalın betondur. Çimento ve agregadan oluşan bir yapıya sahiptir.

Betonun boyutlarına yakın uzunluğu olan genellikle demir çubuk, çelik hasır gibi yapıların kullanıldığı betonlardır.

Betonarme yapılarda, büyük açıklıkları ekonomik şekilde kapatmak için kesiti dolayısıyla ölü yükü artırmak yerine, betona öngerme kuvveti vererek, işletme yükleri altındaki betonda çekme gerilmesini yok etmek ya da belli bir seviyeye kadar azaltma düşüncesi ile ortaya çıkmış bir tekniktir.

Fiberle güçlendirilmiş betonda, uzunluk/çap oranı yüksek, beton içerisine rastgele ve süreksiz dağılan doğal ve sentetik fiberler kullanılır.

Öngermeli ve fiberle güçlendirilmiş betondur.

Şekil 2.5. Yapısına göre beton çeşitleri [27].

2.1.5. Beton Çatlakları

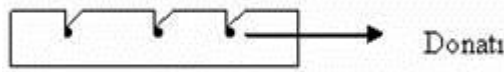
Betonda; sertleşmeden önce ve sertleştikten sonra fiziksel, kimyasal, termal ve yapısal etkenler sonucunda oluşan ayrılmalara çatlak denir. İstenmeyen bu ayrılmalar oluştuğu zamana göre iki grupta incelenebilir.

A) Hidratasyondan önce görülen çatlaklar

B) Hidratasyondan sonra görülen çatlaklar

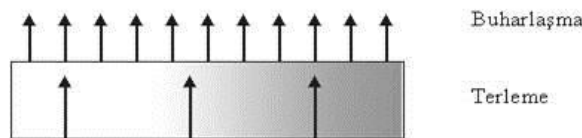
A) Hidratasyondan önce görülen çatlaklar;

a) Plastik Oturma: Beton harcının kalıba dökülmesinden itibaren üç saate kadar görülen çatlamlardır. Kalıba dökülen harçta iri agrega taneleri zemine doğru çökerken, su harcın yüzeyine doğru hareket eder. Üst yüzeydeki donatılar bu harekete karşı koyarak, donatı ile harç arasında çekme gerilmesi oluştururlar. Bu süreçte sertleşmesi tamamlanmamış beton, donatının doğrultusunda çatlaklar (Şekil 2.6). Tedbir olarak karışım suyu oranı fazla olmamalı ve sıkıştırma (vibrasyon) çok iyi yapılmalıdır.



Şekil 2.6. Fazla su ilave edilen betonda donatı ile beton arasında çekme gerilmesi

b) Plastik Büzülme: Plastik büzülme ayrılmaları; çimentonun sertleşmesi (çimento-su arasındaki kimyasal reaksiyonları) sırasında, sıcaklık ve rüzgardan kaynaklanan erken kurumalardır. Harcın kalıba dökülmesinden hemen sonra (rüzgar ve sıcaklığın etkisiyle) başlayarak ilk altı saatlik süreçte görülür. İlk altı saatlik süreçte, hidrasyon için gerekli su harçta kullanılır, tepkimeye girmeyen su betonun yüzeylerine doğru terleyerek, buharlaşmayla uzaklaşır. Yüzeydeki buharlaşma hızı, suyun terleme hızından fazla olursa yüzey kuruyacak ve büzülmeyle oluşacaktır. Bu büzülmelere uyum sağlayamayan betonda çatlaklar oluşmaya başlayacaktır (Şekil 2.7). Tedbir olarak, beton yüzeyinin nemli tutulması gerekmektedir.



Şekil 2.7. Yeni dökülmüş beton harcında oluşan terleme ve buharlaşma

c) Sabitliğin bozulması: Yeni kalıba dökülmüş harcın kalıp hareketleri ve zemin oturmaları çatlamalara neden olabilir.

B) Hidratasyondan sonra görülen çatlaklar:

a) Kuruma Büzülmesi: Hidratasyondan sonra oluşan kuruma nedeniyle görülen büzülme çatlaklarıdır. Tedbir olarak, su kürü süresini uzatmak ve düşük su/çimento oranında harç dökümü yapılmalıdır.

b) Donatı Korozyonu: Görülmeleri iki yılı geçer. Korozyona uğrayan donatının betonla birleştiği yerlerde genişleme etkisiyle oluşturduğu çatlaklardır. Tuzlu ve asitli sulara maruz betonlarda görülür. Tedbir olarak demir donatının betonun dış yüzeyinde kalması önlenmeli, çok iyi sıkıştırma geçirimsizlik sağlanmalıdır.

c) Alkali Silika Tepkimesi: İlk beş yıllık süreçten sonra ortaya çıkan çatlaklara sebep olur. Çimentodaki alkali oksitlerin, agregadaki aktif silislerle tepkimeye girerek su absorplama kapasitesi çok yüksek olan jelleri oluşturması; bu jellerin ise su emerek şişmeleri çatlaklar oluşturur.

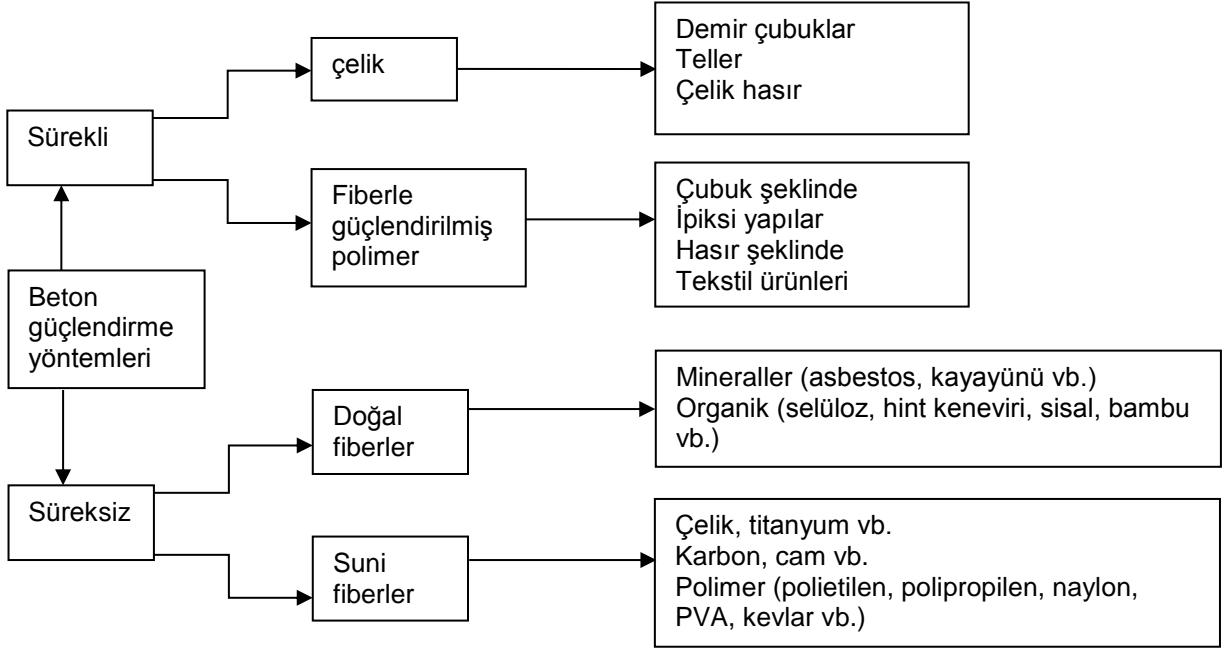
d) Donma-Çözülme: Beton içerisinde suyun donma-çözülmeyle ilgili olarak genişlemeyle oluşan çatlaklardır. Tedbir olarak, suyun beton içerisine girmesinin önlenmesi ve hava sürükleyici katkıları sayılabilir.

e) Isıl Büzülme: Hidratasyon ısı ve ortam sıcaklığı etkileriyle görülen büzülme çatlaklarıdır. Harcın dökümünden itibaren üç haftaya kadar görülebilir. Tedbir olarak düşük hidratasyon ısısına sahip çimento, donatı dağılımının artırılması, çelik veya diğer liflerin kullanımı sayılabilir.

f) Diğer Çatlaklar: Betondaki aşırı yük, zemin hareketleri, tasarım hataları gibi etkilerin sebep olduğu tehlikeli çatlaklardır. Betonun bakımı ile alakası yoktur.

2.1.6. Beton Güçlendirme Yöntemleri

Betonun güçlendirilmesi "sürekli" ve "süreksiz" veya bu iki yöntemin kombinasyonundan oluşmaktadır. "Sürekli" ifadesi güçlendirici malzemelerin betonun içerisinde kesintisiz bir şekilde kullanıldığını gösterirken, süreksiz uygulamalarda güçlendiriciler, betonun boyutlarından daha kısa bir şekilde bulunur. Şekil 2.8'de betonun güçlendirme yöntemleri verilmiştir.



Şekil 2.8. Beton yapılar için güçlendirme çeşitleri [27]

2.1.6.1. Sürekli Fiber Güçlendirmeleri

a) Çelik çubuklar ve öngermeli tendonlar: Beton güçlendirmesinde en fazla kullanılan fiberler demir ve çelik çubuklardır. Ayrıca çelik hasırlar da kullanılmaktadır. Öngermeli betonlarda ise; çelik halatlar, çelik hasırlar ve çelik çubuklar kullanılmaktadır. Elastikiyet modülü; kullanılan çelik çubuklar için yaklaşık olarak 200 GPa, öngermeli halatlar için 193 GPa, çelik hasırlar için 186 GPa'dır.

Çeliğin betonda güçlendirme için kullanılmasının birçok avantajları vardır. Çelik sünek ve güçlüdür, elastikiyet modülü oldukça yüksektir. Ancak korozyona çok müsait olması ve elle taşınmasının zor olması en büyük dezavantajlarıdır. Bu dezavantajların üstesinden gelmenin en iyi yolu da yüksek performanslı fiberler kullanmaktan geçmektedir.

b) Fiber ile güçlendirilmiş polimerler: Fiber ile güçlendirilmiş polimerler, karbon, cam, aramid veya diğer yüksek performanslı fiberlerin polimer matrisin içerisine gömülmesiyle elde edilen çubuk, tendon ve kafes sistemlerdir. Fiber ile güçlendirilmiş polimerler en başta korozyonu önlemektedir. Ayrıca manyetik olmamaları sebebiyle radar istasyonları, baz istasyonları, hızlı tren platformları gibi özel uygulamalarda istenilen sonucu vermektedirler. Fiber ile güçlendirilmiş

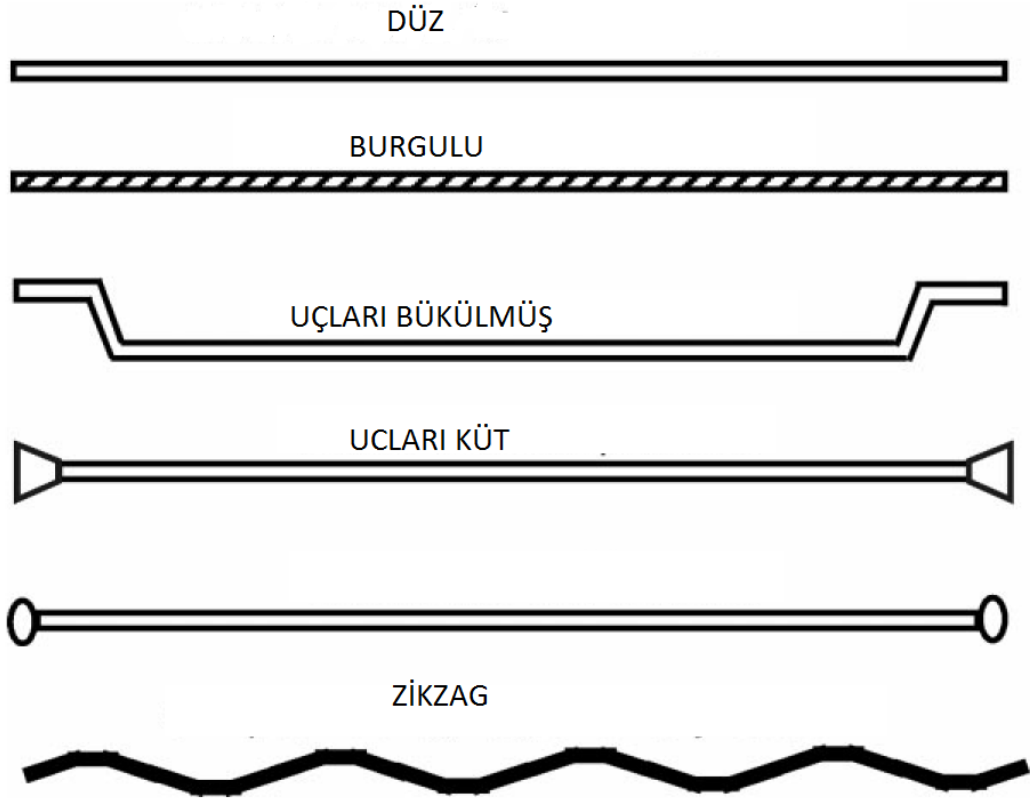
polimerlerin döşenmesi ve elde taşınması kolaydır. Gevşeme kaybı az, yorulmaya karşı dirençleri fazladır.

Fiber ile güçlendirilmiş polimerlerin de elbette dezavantajları olabilmektedir; yüksek maliyet, düşük kesilme dayanımı, hassas gerilim-kopma etkisi, az süneklik bazı polimer fiberlerin problemi olabilmektedir.

2.1.6.2. Süreksiz Fiber Güçlendirmeleri

Beton içerisinde kullanılan kısa fiberler farklı şekilde gruplandırılabilir. Başta, doğal organik (selüloz, sisal, hint keneviri, bambu vb.), doğal mineral (asbest, taş yünü vb.) ve sentetik (çelik, titanyum, cam, karbon, polimerler, sentetik fiberler) olarak gruplandırabiliriz. Bu kısa fiberleri, yoğunluk, yüzey sertliği, kimyasal kararlılığı, çimento ile reaktivitesi, ısıya karşı direnci, alevlenebilirliği gibi kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre gruplamak da mümkün olduğu gibi, gerilme direnci, elastikiyet modülü, sertliği, sünekliği, uzama katsayısı, yüzey gerilimi gibi mekanik özelliklerine bakarak da gruplandırabiliriz.

Beton içerisindeki kısa fiberlerin; kesit şekilleri, uzunlukları, geometrik şekilleri ile ayarlama yapılarak çimentonun matrise sağlam bir şekilde bağlanması sağlanılmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Şekillendirilmiş süreksiz fiberler

2.1.7. Fiberle Güçlendirilmiş Beton [28]

Fiberle güçlendirilmiş beton; çimento, agrega ve çoğunlukla süreksiz dağılmış fiberlerin su ile karıştırılmasıyla meydana gelen beton olarak tanımlanmaktadır.

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan fiberler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam fiberlerdir. Fiberli betonlarda, bütün fiber çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik fiberlerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Düzenli bir şekilde dağılan fiberler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir. Bu özelliğinden dolayı fiberli betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını artıran faktörler darbe etkisine karşı dayanımını da artırır.

1960'lı yıllarda beton içerisinde cam fiberlerin kullanılmasıyla fiberli betonlar alanında ilk çalışmalar yapılmıştır. Betonun dayanımına fiberlerin etkisi üzerine yapılan araştırmalar neticesinde; beton harcına eklenen süreksiz veya sürekli

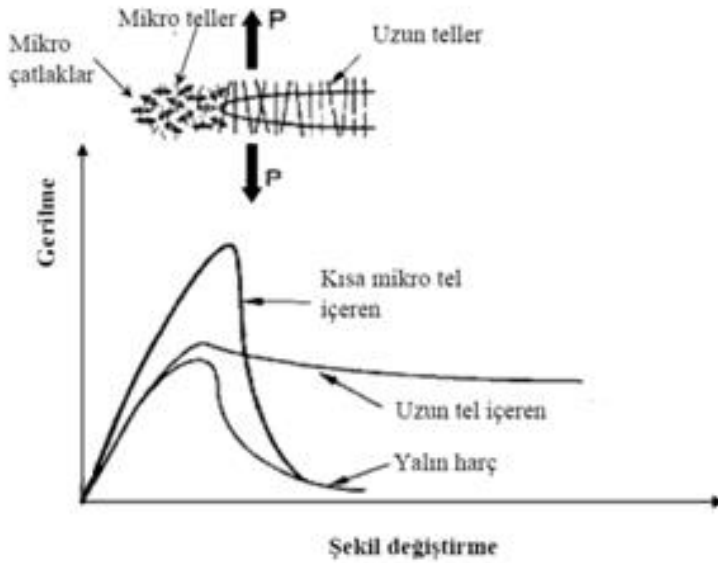
fiberlerin kırılğan olan betonu snekleştirdiği (esneme kabiliyeti) ve çatlamaları azalttığı belirlenmiştir.

Fiberin Tanımlanması

Her türlü maddeyi oluşturan ince-uzun parçalara, ipliksi yapılara fiber denilmektedir. Lif, fibril, elyaf gibi terimler de aynı anlama gelmektedir.

Amerika Beton Enstitüsü Komitesi (ACIC), bir fiberi tanımlayan en iyi özelliğin fiber boyunun, fiber çapına bölünmesiyle elde edilen “uzunluk/çap” (aspect ratio) oranı olduğunu belirtmektedir. Uzunluk/ap oranına “**narinlik oranı**” denilmektedir. Narinlik oranı arttıa fiberin beton matrisi ile olan bağı artacak, hacim olarak betonun içerisinde az yer kapladığı için çatlamalar zorlaşacaktır [7].

Normal beton ile fiberli betonların gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin yer aldığı grafiğe bakıldığında (şekil 2.10.) ilk çatlak oluştuktan sonra normal beton derhal kırılacak, ancak fiberli beton yk almaya devam edecek, hatta eğilme dağılımının arttığı görülecektir [29].



şekil 2.10. Fiberli betonların şekil değiştirme-gerilme grafiği [13]

Ayrıca fiberle güçlendirilmiş beton çalışmalarında sık sık karşılaşılan terimler aşağıdaki gibidir:

Elastisite modülü: Malzemelerin kuvvet altında elastik şekil değiştirmesinin ölçüsüdür. Tanımı gereği birim kesit alanına sahip bir malzemede (genellikle 1 mm²) birim boyu bir kat arttırmak için (örneğin 1m lik teli 2m yapmak için) uygulanması gerekli kuvveti gösterir. Kimi kaynaklarda Young modülü olarak da geçer.

Süneklik: Malzemelerin enerji emme kapasiteleridir. Malzemelere uygulanan kuvvet neticesinde bütünlüğün bozulmadan esneme kabiliyetidir.

Çekme-Eğilme-Basınç dayanımı: Malzemelerin mekanik deneylerdeki ilgili kuvvetlere yapı bütünlüğünü bozmadan dayandıkları en yüksek kuvvetler.

2.1.7.1. Fiber Çeşitleri

Genel olarak fiberler aşağıdaki sınıflara ayrılırlar:

1. Metalik fiberler
2. Sentetik polimerik fiberler
3. Mineral fiberler
4. Doğal elde edilen fiberler

Metalik fiberler; genellikle çelikten fiberlerdir.. Polimerik fiberler; aramid, naylon, polyester, akrilik, polipropilen, polietilen vb. fiberlerdir. Cam fiberler, camın eriyik haldeyken kılcal deliklerden akıtılarak elde edilen mineral fiberlerdir. Selüloz, hindistan cevizi, hint kamışı, keten, akwara, şeker kamışı posası, jut, kenevir gibi doğal fiberlerin tipleri de betonun güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Çizelge 2.4'te bazı fiberlerin özellikleri verilmiştir.

Amerika'daki Fiberle Güçlendirilmiş Beton Birliği (FRCA) ise betonda kullanılan fiberleri şu şekilde belirtmiştir.

- **Çelik Fiberler**
- **Mikro-sentetik fiberler:** Uzunlukları 30-80 mm arasında değişen polipropilen, polietilen, polyester, naylon, karbon, aramid, akrilik vb. fiberler.

- **Makro-sentetik fiberler:** Yoğunluğu 1,8-12 kg/m³ polipropilen ve diğer polimerlerden oluşur.
- **Cam fiberler**
- **Selüloz fiberler** (Doğal fiber olmasına rağmen FRCA ayrı olarak vermiştir)
- **Doğal fiberler:** Hindistan cevizi, sisal, hint keneviri, şeker kamışı, bambu vb.
- **PVA Fiberler**
- **Özel fiberler**
- **Çelik mikro-makro harman fiberler**
- **Diğer fiberler**

Çizelge 2.4. Bazı fiberlerin özellikleri [30]

	Fiber	Çap (0,001inç)	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Elastikiyet (ksi.1000)	Gerilme kuvveti (ksi)	Kırılma deformasyonu (%)
Çelik	yumuşak çelik	4-40	7,8	29	50-250	3,5
	paslanmaz çelik	4-13	7,8	23,2	300	3
Cam		4-5	2,5-2,7	10,44-11,6	360-500	3,6-4,8
Polimerik	polipropilen	20-160	0,9	0,5	80-110	8
	polietilen	1-40	0,96	0,725-25	29-435	3-80
	poliester	4-3	1,38	1,45-2,5	80-170	10-50
	amarid	4-47	1,44	9-17	525	2,5-3,6
Asbestos		0,0008-1,2	2,6-3,4	23,8-28,4	29-500	2-3
Karbon		0,30-0,35	1,9	33,4-55,1	260-380	0,5-1,5
Doğal	ağaç selülozu	0,8-4,7	1,5	1,45-5,8	44-131	-
	sisal	<8	0	1,89-3,77	41-82	3-5
	hindistan cevizi lifi	4-16	1,12-1,15	2,76-3,77	17-29	10-25
	bambu	2-16	1,5	4,79-5,8	51-73	-
	hintkeneviri	4-8	1,02-1,04	3,7-4,64	36-51	1,5-1,9
	akwata	40-160	0,96	0,076-0,464	-	-
	çimen	17		0,716	26	3,6

2.1.7.2. Fiberli Beton Bileşimindeki Parametrelerin Betona Etkisi

a) Narinlik Oranı ve Fiber Miktarı

Fiberlerin betona olan etkisini inceleyen çalışmalarda narinlik oranı ve fiber miktarının çok önemli olduğu belirtilmiştir.

Fiberli beton çalışmaları genellikle fiber miktarı hacimce % 0,5 ve % 2,5 olmuştur. Hacimce % 2,5 fiber miktarına kadar betonun eğilme dayanımının arttığı bilinmektedir. Narinlik oranı arttıkça; fiberin matrisle olan fiziksel ve kimyasal bağlarını sağladığı yüzey alanı artmış, ayrıca fiber matris içerisinde daha az yer kapladığı için bütünlük korunmuştur.

b) Fiber Tipinin Etkisi

Çelik fiberlerin değişik şekildeki tipleriyle yapılan çalışmalarda uçları bükülü fiberlerin daha fazla eğilme dayanımı sağladığı görülmüştür. Ancak fiber tipinde önemli olan fiberlerin matris içerisine homojen olarak dağılması ve bu homojen dağılımın bozulmamasıdır. Fiberlerin belirli bölgelerde toplanması kompozitin bütünlüğünü bozacaktır.

1987 yılında Beksa İzmit Fabrikası dış saha yol betonlarına çelik hasırla başlanmış, daha sonra %50 ortak olan Bekaert'in önerisi doğrultusunda kalan bölgelerde beton harcına Dramix (kısa çelik fiber) eklenmiştir. Her gün onlarca ağır tonajlı aracın geçtiği bu yolda çelik hasırlı yol deforme olurken dramix'li yol bütünlüğünü korumuştur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Beksa İzmit Fabrikası dış saha yol betonlarında bir tür çelik fiber olan dramix'in kullanılması [12].

c) Fiber İle Güçlendirilmiş Betonlarla İlgili Literatür Çalışmaları

Binlerce yıldır beton içeriğinde kullanılan fiberlerin çeşiti, teknolojinin gelişmesiyle yerini daha farklı malzemelere bırakmış ve bu alanda yapılan çalışmaların sayısında olağanüstü artış olmuştur. Yapılan çalışmalarda betonun mekanik özellikleri, işlenebilirliği gibi konular daha ön plana çıkmıştır. Özellikle fiber miktarı, fiber türleri ve mikro-nano fiberlerin etkileri incelenmiştir.

Mohamed ve ark. [31] mikroselülozun betonun fiziksel özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Beton harcına mikrofiber eklemenin (% 21 ağırlık/hacim), betonun sıkışma ve gerilme dayanımını arttırdığını görmüşlerdir. Peters [32] ağırlıkça % 3'lük mikro ve nanoselüloz eklemenin eğilme dayanımını % 53 artırdığını belirtmiştir. Claramunt ve ark. [33] nanoselülozun betona olan mekanik etkisini incelerken ağırlıkça % 3'lük nanoselüloz ilavesinin, eğilme gerilimini % 50'den fazla arttırdığı sonucuna varmışlardır. Bu alanda yapılan en yeni çalışmalardan bir tanesi Nilsson ve Sargenius'e [34] aittir: Ağırlıkça % 0,11, 0,22 and 0,33 selüloz mikrofiberler çimento harcına eklenmiş, betonun mekanik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Diğer çalışmaların aksine selüloz nanofiberlerin betonun mekanik özelliklerine ve kuruma büzülmesine bir etkisinin olmadığını, su absorplama özelliğinin ise arttığını söylemişlerdir.

P. Sardushian ve Z. Bayasi, lif tiplerinin betonun mekanik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Bu deneylerde değişik şekillerdeki fiber tiplerinin betona olan etkisi belirlenmiştir. Narinlik oranı 60 ve hacimce % 2,0 oranında olan uçları bükülü (hooked) liflerle hazırlanan betonun eğilme dayanımı ve sünekliğinin, diğer liflere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir [35].

Betona fiber eklenmesinin, harcın işlenebilme özelliği üzerine etkilerini inceleyen araştırmalarda; fiberlerin betona eklenmesiyle beton harcının işlenebilirliğinin, kullanılan fiber miktarıyla ters orantılı olduğu görülmüştür. Fiberlerin narinlik oranlarının artması, harcın işlenebilme özelliğini azaltmıştır.

Swamy, çelik fiberli betonlar üzerine yaptığı çalışmada, fiber-matris bağlanmasının eğilme dayanımına olan etkisinden bahsetmiştir. Ayrıca, beton üretiminde; fiberli betonun hazırlanmasında işlenebilirliği kolaylaştırmak için karışıma uçucu kül katılmasının etkili olduğu ve fiberli betonun gerilme geçişi dayanımını (aderans) artırdığını belirtmiştir [36].

Fiberin takviye olarak kullanılmasında sağladığı avantajlardan en önemlileri; aşırı yük altındaki kiriş ve kolonları daha esnek bir hale getirip çatlakları önlemesi olduğu belirtilmektedir.

Romualdi ve Mandel, 1963 yılında betonun çekme dayanımını arttırmak için çalışmalar yapmışlardır. Betonun çekme bölgesinde birbirine paralel olarak

yerleştirilmiş ince tellerin kırışın çekme dayanımının arttırdığı ve kırılma gerçekleşinceye kadar çatlakların fazla büyümediği ifade edilmiştir [37].

Yapılan eğilme deneylerinde, maksimum eğilme yükündeki esnemenin artan fiber miktarı ve fiber boyutuna bağılı olarak değiştiiğini belirtilmektedir [37].

Shah ve Rangan, fiberlerin kırışım içerisindeki dağılımı, fiber miktarı, fiber boyu gibi faktörlerin betonun basınç ve eğilme dayanımına olan etkilerini incelemiştir. Yapısındaki fiber miktarları % 0,25–1,25 arasında değişen betonların eğilme dayanımlarının fiber miktarıyla arttığını belirtmişlerdir [37].

Eğilme dayanımına etki eden faktörler Snyder ve Lankart tarafından da incelenmiştir. Fiberli beton harcında, ilk çatlak dayanımına ve eğilme dayanımına, fiberin miktarı ve narinlik oranının etkili olduğu görülmüştür. [38].

Harç içerisindeki fiberlerin birbirlerine olan yakınlıkları "fiber aralığı" olarak isimlendirilir ve eğilme dayanımında fiber aralığı da etkilidir. Bu konuda Romualdi ve Mandel, harç içerisinde süreksiz dağılmış fiberlerin geometrik merkezleri arasındaki ortalama aralığı veren bağıntıyı aşığıdaki şekilde ifade etmişlerdir:

$$S = 13,8 d (1/p)^{1/2}$$

Burada;

S: Ortalama lif aralığı (mm)

d: Lif çapı (mm)

p: Hacimsel olarak lif miktarı (%)

olarak verilir.

Buna göre aralık, fiber çapına bağılı olarak artmakta ve fiber miktarı arttıkça da azalmaktadır.

Betonun mekanik deneylerinde basınç deneyleri Williamson tarafından da fiberli betonlar için yapılmış; en fazla agrega tane büyüklükleri 19,00 mm ve 9,50 mm olan kırışımlara hacimsel olarak % 1,0 ile % 2,5 arasında değişen fiber eklemenin betonun basınç dayanımını önemli bir şekilde arttırdığı sonucuna varmıştır [39].

Wubs, fiberli betonların eğilme dayanımı üzerine yaptığı çalışmada maksimum en fazla agrega tane büyüklüğü 16,00 mm ve su/çimento oranı 0,53 olan harca 60/0,80 mm boyutlarındaki fiberleri ekleyerek çalışmıştır. Çalışmalarının sonucunda; fiberli betonların ilk çatlaktan sonra bile belli bir yük taşıma

dayanımına sahip olduğunu ve eğilme dayanımının fiber miktarıyla arttığını belirtmiştir.

Betonun kırılma davranışlarını inceleyen Harris, Varlow ve Ellis. kiriş numuneleri üzerinde eğilme deneyleri yapmışlar ve elde edilen sonuçlara göre kırılmanın; beton içerisindeki liflerin miktarına, fiber dağılımına ve fiber tipine bağlı olduğunu belirtmişlerdir [40].

Tanigawa, fiberli betonun gerilme kuvvetleri altında şekil değiştirme davranışını incelemiştir. Yaptığı deneylerde narinlik oranı 60 ve 90 olan iki tip fiber, hacimce % 0,50 ile % 2,0 arasında değişen oranlarda betona eklenmiştir. Elde edilen sonuçlardan matematiksel bir fonksiyon elde edilmiş ve gerilme–deformasyon eğrilerinin geliştirilen fonksiyonla örtüştüğü ifade edilmiştir [41].

Taylor, Tai ve Roney, fiberle güçlendirilmiş beton numunelerinin aksenal basınç dayanımlarını incelemiştir. Aksenal basınç deneyinde yüklerin aynı anda veya birbiri ardına uygulamanın sonuçları etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca numunelerin basınç dayanımlarının, eğilme dayanımlarından yüksek çıktığını ifade etmişlerdir.[42].

Betonların gerilme-şekil değiştirme davranışları ve gerilme hallerinde basınç dayanımlarını inceleyen Trainee ve Mansur, karışımlarda narinlik oranı 33 ve 60 olan iki tip fiber, hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında kullanmıştır. Tek aksenli gerilme deneylerinde narinlik oranı 60 ve fiber miktarı %1,5 olan betonlarda basınç dayanımı % 22 oranında artmıştır [43].

İki aksenli gerilme halinde ise bütün beton numunelerinde fiberli betonun dayanımı normal betonun dayanımından daha yüksek bulunmuştur. Fiber miktarı % 1,5 ve narinlik oranı 60 olan betonlarda basınç dayanımındaki artış oranı % 78 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu artışların fiberlerin etkinliğine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Kısaca betonda takviye olarak kullanılan fiberlerin, narinlik oranı, tipi, harç içerisinde dağılımı, elastikiyet modülü ve yapısı gibi özelliklerine bağlı olarak yüksek yüksek performanslı beton üretilebilmekte ve bunun sonucunda ekonomik, uygulanabilir ve sağlıklı betonlar yapılarda kullanılabilir. İncelediğimiz birçok çalışmaya dayanarak, fiberli betonların mekanik özelliklerine etkileyen en önemli hususlar; fiber miktarı, fiber dağılımı ve narinlik oranı olduğunu söyleyebiliriz. Bu sonuçlara göre;

- Hacimce % 0,25–2,00 arasında değişen fiber miktarları ile hazırlanan betonların eğilme dayanımları fiber miktarının artışıyla doğru orantılı olarak artmaktadır,
- Kırılma; fiber miktarına, karışım içerisindeki liflerin dağılımına ve fiber tipine bağlıdır,
- Betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için nanoselüloz fiber kullanımı henüz çok yeni bir uygulama olup, çalışmalar olumlu sonuçlar vermektedirler,
- Fiberlerin beton içerisine eklenmesiyle, beton harcının işlenebilme özelliği kullanılan fiber miktarının artmasıyla azalmaktadır,
- Maksimum eğilme yükündeki şekil değiştirmeler artan fiber miktarı ve fiber boyutuna bağlı olarak önemli bir artış göstermektedir,
- Fiberle güçlendirilmiş betonda ilk çatlak dayanımı ve maksimum eğilme dayanımına, fiberin narinlik oranı ve miktarı etkilidir,
- Fiberin çapı arttıkça ortalama fiber aralığı da artmaktadır, fiber miktarı arttıkça ortalama fiber aralığı da azalmaktadır, diyebiliriz.

2.2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemidir (Şekil 2.12). Cam elyafı polyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomobil lastikleri ve seramik metal karışımı olan kompozitler bunlara örnektir.

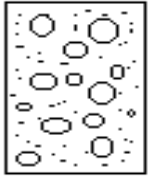

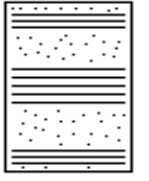
Kompozitler, çok fazlı malzemelerdir. Yapılarında bir ana faz ile onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı faz bulunur.

Faz: Bir malzemenin içyapı yönünden farklı olan kısımlarına denir.



Şekil 2.12. İnşaatta kullanılan beton-demir kompozit [44]

Kompozit malzemeler; donatı veya pekiştirilme türüne göre üç gruba ayrılır (Şekil 2.13):

Taneli Kompozitler	Fiberli Kompozitler	Tabakalı Kompozitler
		

Şekil 2.13. Kompozit malzeme türleri

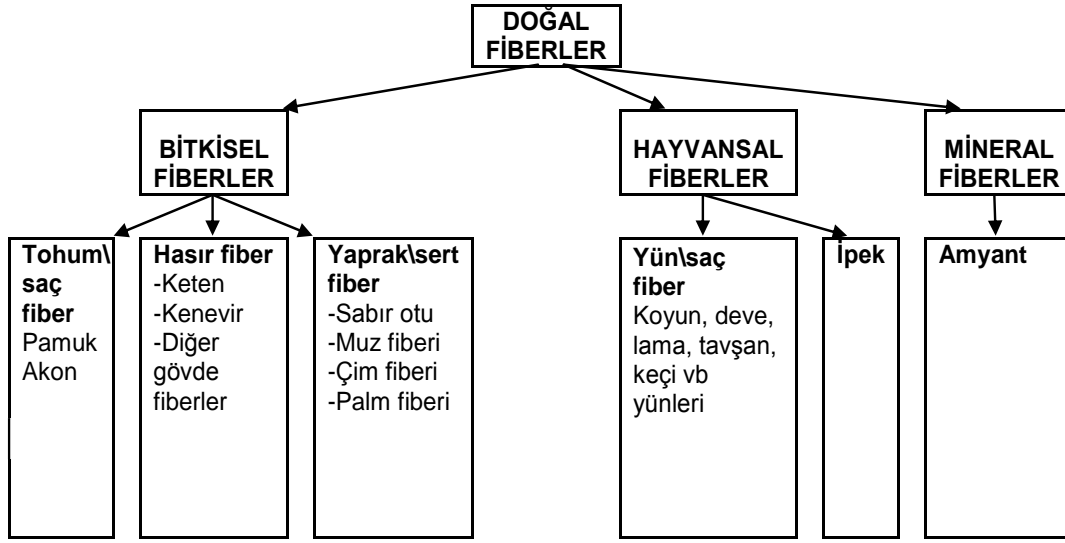
Fiberli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki artış, taneli kompozitlere göre daha yüksektir. Kompozit malzemelere çok iyi bir örnek olan betonda, güçlendirme amacıyla fiberler kullanılmaktadır.

2.2.1. Biyokompozit Malzemeler

Biyokompozit; matrisi veya fiber (donatı) kısmı doğal olan kompozitlere denir. Yeşil kompozit; tamamen doğal kompozitlerdir, matris ve fiber kısmı doğada çözünebilir ve yenilenebilirdir. Şekil 2.14 ve 2.15'te doğal fiberlerin çeşitleri, Çizelge 2.5'te de fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı fiber çeşitlerinin özgül katsayı değerleri [30]

Fiber Çeşidi	Yoğunluk (g/cm ³)	Esneklik katsayısı (GPa)	Özgül katsayı (esneklik/yoğunluk)
E-Cam	3	73	29
Kendir	1	70	47
Keten	1	60-80	43-57
Hint keneviri	1	10-30	7-21
Sisal	1	38	29
Hindistancevizi lifi	1	6	5
Pamuk	2	12	8



Şekil 2.14. Doğal fiberler [30]



- Şeker kamışı
- Bambu ağacı
- Muz
- Süpürge kökü
- Hint keneviri
- Kenevir muzu
- Hindistan cevizi
- Hurma ağacı
- Keten
- Kenevir
- Su kabağı
- Ağaç gövdeleri
- Pamuk
- Isırgan otu

Şekil 2.15. Bazı bitkisel lif kaynakları [28]

Biyokompozit Malzemelerin Avantajları

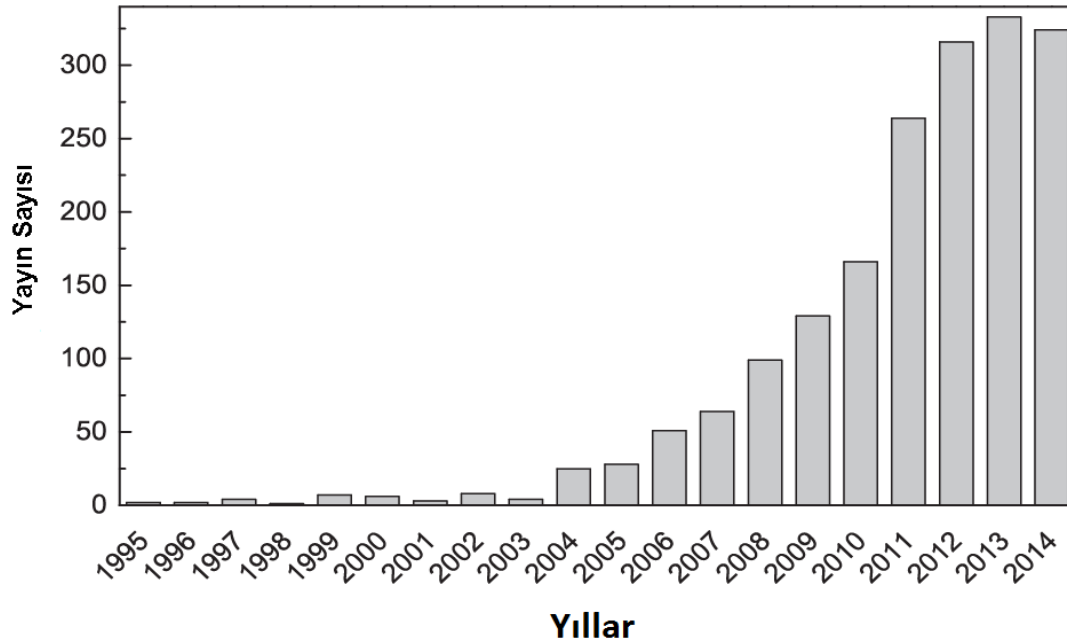
- Yenilenebilir kaynak
- Dünya çapında elde edilmesi
- Üretimde düşük maliyet-enerji gereksinimi
- Düşük özgül ağırlık, yüksek özgül mukavemet ve yüksek sertlik
- Sentetik kompozitlere göre daha sağlıklı işleme ve üretim
- Üretim makinalarını daha az aşındırıcı
- Yüksek elektrik direnci
- İyi akustik yalıtım özelliği
- “Karbon nötr”e uygunluk [45] (atmosfere yaydığımız karbondioksit miktarı ile aynı miktarda karbondioksiti ortadan kaldırma durumu)

2.2.2. Nanokompozit Malzemeler

Kompoziti oluşturan matris veya fiber fazlardan en az birinin bir, iki veya üç boyutunun 100 nanometreden küçük olduğu kompozitlerdir [46].

Bileşenlerin boyutları değiştiğinde nanokompozitin; mekanik, elektrik, termal, optik, manyetik, elektrokimyasal, katalitik özellikleri de değişmektedir [47].

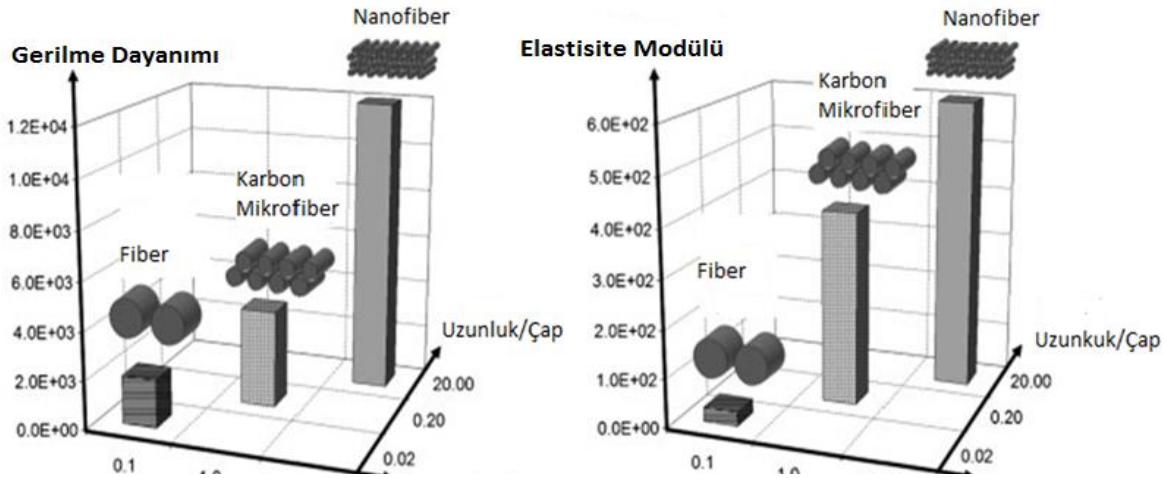
Nanokompozitler doğada yaygın olarak bulunmaktadır. Nanokompozit malzemelerin kimyasal ve fiziksel üstünlükleri sebebiyle eski medeniyetler dahi bu malzemeleri kullanmışlardır. Mayaların kullandığı maya mavisi boyasının koyu rengini biyolojik ve kimyasal korozyonlara karşı uzun yıllar koruması buna güzel bir örnektir. 1950'lerin ortalarında nano ölçekte organik killer; polimer çözeltilerinin viskozitelerinin ayarlanmasında ve kozmetik ürünlerde homojenlik kontrolü için kullanılmaya başlanılmıştır. 1970'lerde polimer/kil kompozitler makale başlıklarına girmiştir. Doğada bol miktarda bulunan selüloz da nanofiber çalışmalarında 90'lı yıllardan itibaren popülerliğini sürekli arttırmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Selüloz nanokompozit alanında yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı [48]

Nanokompozit malzemelerin geleneksel diğer kompozit malzemelerden üstün olmasının en temel sebebi kompozit bileşenlerinden birinin yüzey alanı/hacim oranının çok yüksek olmasıdır. Bu özellik nano malzemenin matrisle fiziksel ve kimyasal etkileşimlerini arttırmaktadır.

Rozman vd. yaptığı araştırmada; nanoselüloz fiber yapısındaki hidroksil gruplarının afinitesinin çok yüksek olması, poliüretan matrisle kovalent bağ yaptığını ortaya çıkarmıştır [49]. Nanokompozitler içerisindeki nano boyutlu malzemeler parçacıklar halinde (örn. mineraller), tabakalar halinde (pul haline getirilmiş killer), elyaf halinde (karbon nanotüpler, elektrospin fiberleri) olabilir [46]. Nanokompozit malzemelerin yapısında çapı nanometre boyutlarında fiberler kullanılması kompozit malzemenin eğilme dayanımını arttırmak için çok iyi bir tercihtir. Nanofiberler, çaplarına göre uzunlukları çok fazla olduğu için; matrisin içerisinde çok az yer kaplamalarına rağmen matrisle maksimum oranda yüzey alanlarını birleştirirler. Bu durum kompozit malzemeye; daha fazla eğilme dayanımı, daha az çatlama olasılığı, daha fazla matris malzemesi kullanma olanağı getirecektir. Şekil 2.17'de gösterildiği gibi kompozit malzemelerin içerisinde kullanılan fiberin çapı nano ölçeğe doğru gittikçe elastikiyet katsayısı ve azami eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.17. Mikro ölçekten nano ölçeğe kadar nanofiberlerin gerilme dayanımı ve elastisite modülü değişimi [7]

Nanofiberlerin bünyesinde buldukları ana yapıdan ekstrakte edilmeleri için fiziksel, kimyasal, biyolojik yöntem mevcut olup; bu yöntemler birçok çalışmada kullanılmıştır. Çizelge 2.6'da bu yöntemler ve ilgili çalışmalar verilmiştir.

Çizelge 2.6. Nanofiberleri elde etme yöntemleri ve ilgili çalışmalar

ELDE ETME YÖNTEMLERİ	REFERANS
Mekanik uygulamalar (soğuk ezme gibi)	Chakraborty, Sain, ve Kortschot (2005), Chakraborty, Sain, ve Kortschot (2006)
Öğütme	Abe vd. (2007), Abe, Nakatsubo, ve Yano (2009), Abe ve Yano (2009), Abe ve Yano (2010), Nogi, Iwamoto, Nakagaito, ve Yano (2009)
Yüksek basınçta homojenizasyon	Herrick vd. (1983), Nakagaito ve Yano, 2004, Nakagaito ve Yano, 2005, Nakagaito ve Yano, 2008, Turbak vd. (1983)
Kimyasal uygulamalar (örn asit hidrolizi)	Araki, Wada, Kuga, ve Okano (2000), Elazzouzi-Hafraoui vd. (2007), Liu, Liu, Yao, ve Wu (2010)
Biyolojik uygulamalar (örn enzim ile hidroliz)	Hayashi, Kondo, ve Ishihara (2005), Henriksson, Berglund, ve Lindstrom (2007), Paakko vd. (2007)
TEMPO-eşliğinde oksidasyon	Iwamoto vd. (2010), Saito vd. (2009), Saito, Kimura, Nishiyama, ve Isogai (2007), Saito, Nishiyama, Putaux, Vignon, ve Isogai (2006)
Sentetik ve elektrospin uygulamaları	Frenot, Henriksson, ve Walkenstrom (2007), Kim, Kang, Marquez, ve Joo (2006), Ma, Kotaki, ve Ramakrishna (2005)
Ultrasonik teknikler	Cheng, Wang, ve Han (2010), Cheng, Wang, ve Rials (2009),

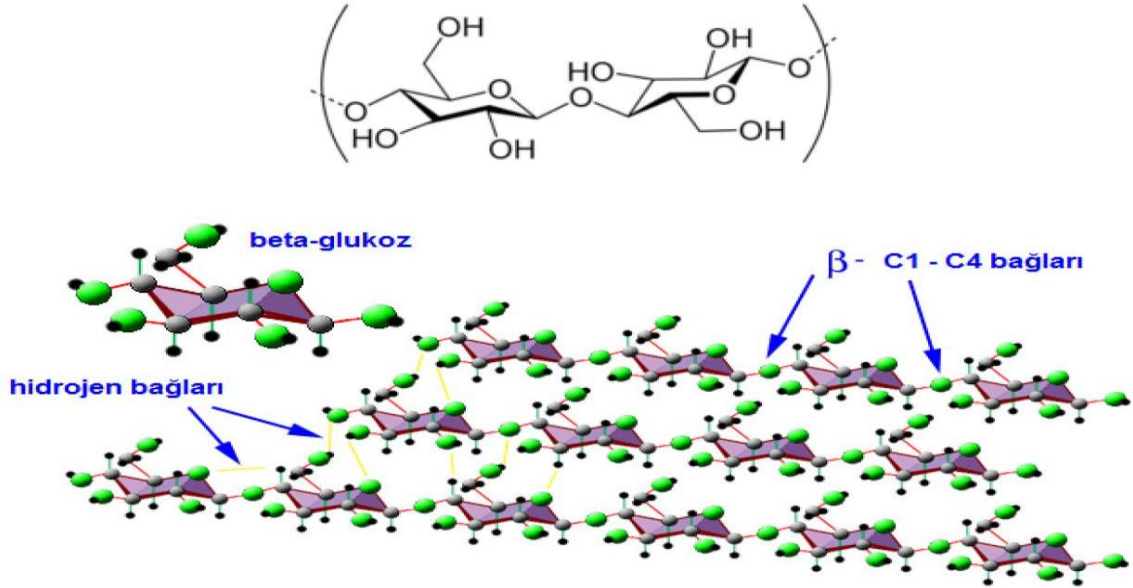
Yapısında nanofiber bulunmayan bir malzemedan nanofiber elde etmek için ise Çizelge 2.7'deki yöntemler kullanılmaktadır.

Çizelge 2.7. Nanofiber üretim yöntemleri [50]

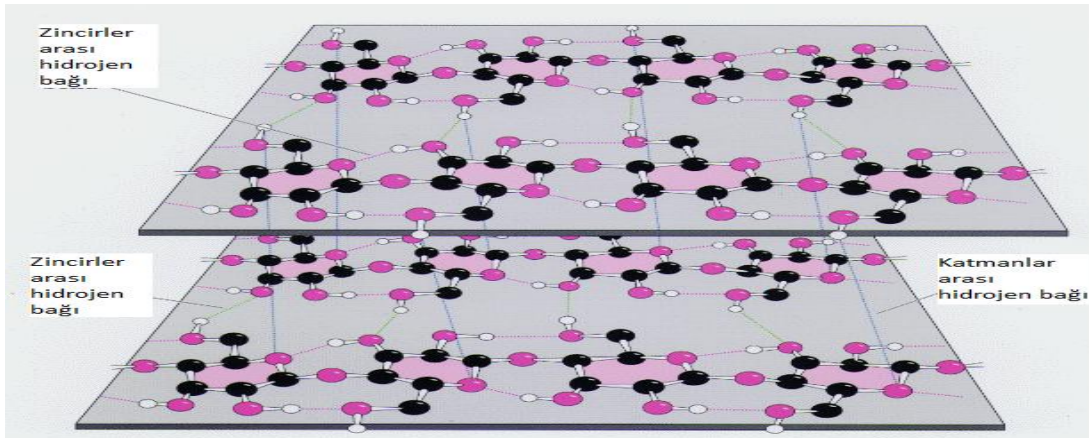
Meltblowing	Eriyik haldeki polimer veya reçinenin dar bir alandan geçerken çok güçlü hava jeti ile fiberleşmesine dayanır.
Bikomponent lifler	Aynı lifi oluşturacak iki farklı kimyasal ve fiziksel özellikteki polimerin aynı düze deliğinden akıtılarak elde edilmesi olarak tanımlanır.
Spunbond	Meltblowing yöntemiyle olan farkı filamentleri inceltmek için kullanılan havanın hacmi ve sıcaklığıdır.
Elektrostatik eğirme	Polimer çözeltilerinden ve eriyiklerinden elektrostatik kuvvetler yardımı ile nanofiber tülbent elde edilmesine dayanır.

2.3. SELÜLOZ

Selüloz, yeryüzünde en fazla bulunabilen ve yenilenebilir bir polimer kaynağıdır. Bu doğal polimer; çoğunlukla bitkilerin hücre duvarındaki lignin ve diğer polisakkaritler (hemiselüloz) ile beraber bulunmaktadır. Selülozun yıllık üretim miktarı 10^{10} ton olarak tahmin edilmektedir [51]. Kimyasal yapı olarak selüloz; belirli sayıda glikoz moleküllerinin bir eter köprüsü ile bağlanması sonucunda meydana gelmiş düz zincirli doğal bir polimerdir. Bitkilerde 2-20 nm çapında 100-40 000 nm uzunluğunda mikrofiber, lifler halinde bulunmaktadır. Selüloz molekülleri intra- ve inter- moleküler H-bağları ile oluşan sarmal yapıya sahiptir. Selülozda kovalent bağlarla oluşan doğrusal yapı, hidrojen bağlarının varlığı ile üç boyutlu ve kolay çözünmeyen bir yapıya ulaşır (Şekil 2.18-19) [52].



Şekil 2.18. Selüloz β -D glikoz polimeri [53]



Şekil 2.19. Selülozun hidrojen bağlarından kaynaklanan katlı yapısı [54]

Selüloz kaynakları büyük oranda; selüloz, yarı selüloz, lignin ve ekstrakt maddelerden oluşmaktadırlar (Çizelge 2.8)

Çizelge 2.8. Bazı selüloz kaynaklarının kimyasal bileşimi [55]

BİYOFİBRİL ÇEŞİDİ	KAYNAK	BİLEŞİM (%)			
		SELÜLOZ	YARI SELÜLOZ	LİGNİN	EKSTRAKT
Odun	Sert Ağaç	43–47	25–35	16–24	2–8
	Yumuşak Ağaç	40–44	25–29	25–31	1–5
Odun dışı ürünler	Bagasse	40	30	20	10
	Hindistan cevizi Lifi	32–43	10–20	43–49	4
	Mısır Koçanı	45	35	15	5
	Mısır Sapı	35	25	35	5
	Pamuk	95	2	1	0.4
	Meyve Posası	50	30	17	3
	Yaş Keten	71	21	2	6
	Kuru Keten	63	12	3	13
	Kenevir	70	22	6	2
	Heneguen	78	4–8	13	4
	Sabırotu	73	4–8	17	2
	Hint Keneviri	71	14	13	2
	Kenaf	36	21	18	2
	Rami	76	17	1	6
	Sisal	73	14	11	2
<i>Crotalaria Juncea</i>	80	10	6	3	
Buğday Samanı	30	50	15	5	

Selüloz molekülündeki üç tür hidroksil grubunun, tüm primer ve sekonder alkolik gruplar ile kimyasal reaksiyonlara, esterifikasyon, eterifikasyon ve benzer reaksiyonlara maruz kalması sonucu selüloz türevleri meydana gelmektedir. Selüloz esterler, selüloz eterler, okside olmuş selüloz, çözünmüş selüloz olarak selüloz türevlerini gruplandırabiliriz [56] (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.9. Selüloz türevleri

Selüloz Eterler		Organik esterler	İnorganik esterler
Metil selüloz	MC	Selüloz asetat	Selüloz Nitrat (Nitroselüloz)
Metil hidroksi propilselüloz	MHPC	Selüloz triasetat	Selüloz Sülfat
Karboksimetilselüloz	CMC	Selüloz propiyonat	Selüloz Fosfat
Hidroksipropil selüloz	HPC	Selüloz asetat propiyonat	
Etil hidroksietil selüloz	EHEC	Selüloz asetat bütirat	
Hidroksietil selüloz	HEC		
Etil selüloz	EC		
Hidroksietil metil selüloz	HEMC		

Selüloz 1838 yılında, Fransız kimyager Anselme Payen'in kimyasal yapısını belirlemesiyle keşfedilmiştir. Selüloz $(C_6H_{10}O_5)_n$ genel formülü ile gösterilen organik bir bileşiktir. Sayısı onbinlere varan $\beta(1\rightarrow4)$ bağlarıyla bağlı D-glükoz birimlerinin oluşturduğu düz zincirli homopolisakkarittir [57].

Selüloz, hemen hemen bütün bitkilerde bulunan bir maddedir. İngilizce'de "hücrelerden yapılmış" anlamına gelen selüloz, bitki hücrelerinin çeperlerinde bulunur. Selüloz bitki yapılarının esneklik ve sağlamlığında büyük rol oynar. Selüloz bir karbonhidrattır; karbon, hidrojen ve oksijen elementlerinden oluşmuştur. Bitkiler havadan ve sudan sağladıkları bu elementleri yapraklarında gerçekleşen fotosentez süreciyle şekere dönüştürür ve bunu besisuyu olarak bütün diğer dokularına taşır. Bitkiye enerji veren, bitkinin gelişmesini ve kendini onarmasını sağlayan özsuundaki şekerin bir bölümü selüloza dönüşür. Bu selüloz yeni oluşan hücrelerin çeperlerinde ve bitkinin zedelenen bölümlerinin onarımında kullanılır.

Doğada çok bulunan bir madde olan selüloz yapay olarak elde edilemez, özellikle kâğıt ve dokuma sanayisinde çok kullanılan değerli bir hammaddedir. Bir bitki öldükten ve bütün nemi kuruduktan sonra geriye selüloz kalır. İplik, kumaş yapılan pamuk ve keten liflerinin; halat, sicim yapılan başka bitkisel liflerin büyük bölümü selülozdur. Odunun yüzde 50'sini, pamuğun yüzde 90'ını selüloz oluşturur.

Selüloz su, benzen, alkol, aseton, kloroform gibi organik çözücülerde çözünmez. Odun selülozunun % 85'i, % 75,5'lik sodyum hidroksit çözeltisinde çözünmez.

Buna keyfi olarak “alfa selüloz” ismi verilmiş olup, bu kısım rejenere selüloz ve çeşitli selüloz türevlerinin üretiminde geniş çapta kullanılır. Selülozun seyreltik sodyum hidroksitle muamelesinden merserize pamuk elde edilir.

Selüloz sanayide kâğıt yapımında, nitro selüloz ve ürünlerini hazırlamakta, suni ipek yapımında, gıda endüstrisinde (kıvam artırıcı), ilaç endüstrisinde (salım ajanı/film kaplama/yoğunlaştırıcı), kozmetikte (yoğunlaştırıcı) kullanılır.

Bilimsel araştırmalarda selülozu cazip kılan özellikleri; biyobozunur olması, bol bulunması, ucuz olması, yenilenebilir bir kaynak olması, biyoyumlu olmasıdır.

2.3.1. Selüloz Kaynakları

Odunsu bitkiler

Selüloz kaynağı olarak odunsu bitkilerin birçok avantajı vardır. Öncelikle doğada bol miktarda bulunur. Ayrıca hasatının, işlenmesinin ve imalatının bir altyapısı mevcuttur.

Genel olarak selüloz nanofiberlerin eldesi, odunun diğer maddelerden arındırılması ile başlar. Odunun yapısındaki lignin, yarı selüloz ve diğer yabancı maddeler uzaklaştırılır. Ağartılmış kraft hamuru nano selüloz eldesi için uygun bir kaynaktır.

Bitkiler

Odun gibi bitkiler de birincil selüloz kaynaklarıdır. Çünkü bol miktarda doğada bulunmakta olup tekstil endüstrisinde, hasat işleme ve imalat alt yapısı mevcuttur. Selüloz eldesi için bitkilerin de saflaştırılması gerekmektedir. Pamuk, rami, sisal, keten, buğday samanı, şeker pancarı, patates, soya fasülyesi, muz gibi birçok bitkiden nanoselüloz eldesi çalışmaları yapılmaktadır.

Tunikatlar

Tunikatlar, selüloz fiber üreten tek hayvanlar olarak bilinmektedir. Tunikatlar, dış yapılarında protein matrisin içerisine gömülmüş selüloz fiberlere sahiptirler. Tunikatların yaklaşık 2300 çeşidi olup çoğu araştırmalar tunikatların bir çeşiti olan deniz üzümünün (*Ascidacea*) üzerinde yoğunlaşmıştır. Farklı tulumlulardan farklı boyutlarda selüloz fiber elde edilse de *Halocynthia roretzi*, *Halocynthia papillosa* ve *Metandrocarpa uedai* türleri en çok çalışılan tunikatlardır.

Algler

Birçok su yosununun (yeşil, gri, kırmızı algler) hücre duvarında selüloz mikrofiberler mevcuttur. Her alg türünün farklı biyosentez faaliyetleri olduğu için hücre duvarlarındaki selüloz mikrofiberlerin yapısı da farklılık göstermektedir. Birçok mikrofiber selüloz araştırmacıları farklı türdeki yeşil algleri kullanmaktadırlar. Sıklıkla kullanılan bazı yeşil alg türleri;

Micrasterias denticulata, *Micrasterias rotate*, *Valonia*, *Caldophora* ve *Boergesenia*'dır. Yeşil alglerin selüloz biyosentez faaliyetleri aynı olduğu için selüloz mikrofiberlerin yapıları da aynı olmaktadır.

Bakteriler

Üzerinde en fazla çalışılan selüloz sentezleyen bakteri türü *Gluconacetobacter xylinus*'dür. (Acetobacter xylinum' den türetilmiştir.) Özel kültür ortamında selüloz mikrofiberler salgılayan bakteriler sulu ortamda, su ve selülozdan oluşan kalın jel tabakası oluşturmaktadırlar. Bakterilerin neden selüloz sentezlediği net olarak bilinmese de; ultraviyole ışık, mantarlar, mayalar gibi etkenlere karşı hayatta kalmak için sentezledikleri düşünülmektedir. Bakterilerden elde edilen selülozun avantajı; kültür ortamının şartlarını değiştirerek mikrofiberlerin oluşumu ve kristallenmesi de değişmektedir.

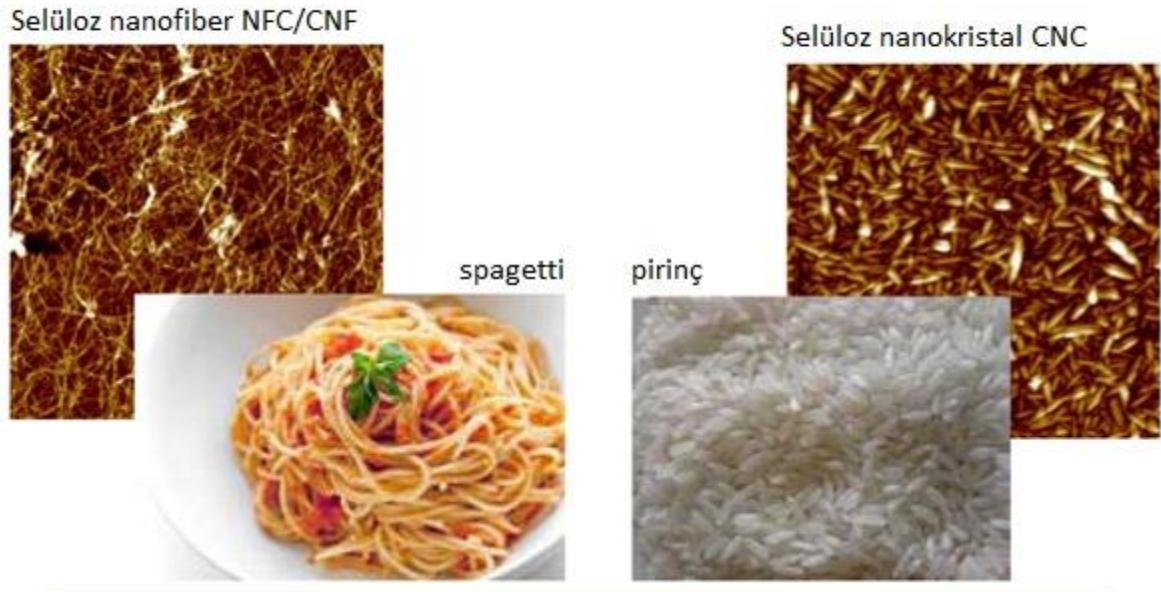
2.3.2. Selüloz Nanotanecik Çeşitleri

Selüloz tanecik çeşitlerinin isimlendirilmesi literatürdeki birbiriyle uyumlu olmayan terimler ve standart bir kural olmaması nedeniyle sağlıklı yapılamamaktadır. Selüloz kaynağının veya taneciğinin elde edilme yönteminin farklı olması isimlendirmeyi etkileyen faktörlerdir. Ancak, taneciğin en az bir boyutundaki nano ölçüyü kullanan güncel terminoloji ile türevler belli bir kalıpta isimlendirilmekte ve birbirinden farklı kristallik, morfoloji vb. gibi özellikleri listelenebilmektedir. Mikrofibrillenmiş Selüloz (MFC), Nanofibrillenmiş Selüloz (NFC) ve Selüloz Nanokristal (CNC), Selüloz nanotaneciklerin ana gruplarıdır. Bunun dışında alglerden, tunikatlardan ve bakteriden elde edilen mikrofibril çeşidi sayılan selülozlarda ara çeşit olarak farklı yapısal özellikler gösterdiği için sınıflandırmada kullanılmaktadırlar. Çizelge 2.8'de bu tanecik çeşitlerinin boyut olarak değerleri verilmektedir. Ayrıca kıyaslamaların kolay yapılması için mikron boyuttaki odun/bitki lifleri (WF/PF) ve Mikrokristalin Selüloz da (MCC) karşılaştırmada kullanılmıştır.

Şekil 2.20.'de selüloz nanofiber ve selüloz nanokristal taneciklerin SEM görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 2.10. Selüloz tanecik çeşitleri [9]

Tanecik Tipi	Tanecik Boyutu		
	Boy(μm)	En (nm)	Yükseklik (nm)
WF/PF (mikron boyuttaki odun/bitki lifleri)	>2000	20-50 (μm)	20-50 (μm)
MCC (Mikrokristalin Selüloz)	0,5-10	10-50 (μm)	10-50 (μm)
MFC (Mikrofibrillenmiş Selüloz)	0,5-10	10-100	10-100
NFC (Nanofibrillenmiş Selüloz)	0,5-2	420	420
CNC (Selüloz Nanokristal)	0,05-0,5	35	35
t-CNC tünikat selülozu	0,1-4	20	8
Su yosunu selülozu (AC)(Valonia, Micrasterias)	>1	20-30	5-20
Asetobakter	>1	30-50	610



Şekil 2.20. Selüloz nanofiberlerin ve selüloz nanokristallerin SEM görüntüleri [9]

Selüloz ve selüloz taneciklerinin üstün özellikleri bilim adamlarının dikkatini çok çabuk çekmiştir, Çizelge 2.11 ve Çizelge 2.12'de selüloz ve NFC (nanofiber selüloz) izolasyonu ile ilgili gelişmeler verilmiştir.

Çizelge 2.11. Selüloz ve uygulamalarıyla ilgili gelişmeler [51]

YIL	İLERLEME	REFERANS
1832	Selüloz nitratin sentezi	Braconnot, H. (1833). Ann, 1, 242, 245
1839	Payen'nin ağaçtan selülozu izole etmesi	Zugenmaier (2008)
1845	Selüloz esterlerin keşfi	Schonbein, C. F. (1847). Philos. Mag., 31, 7
1983	Mikrofibril selülozun sert ağaçtan mekanik homojenizasyon ile izole edilmesi	Herrick vd. (1983)
1998	Güvenlik kâğıtları gibi optik uygulamalarda kullanılan katılaştırılmış kristallerinin geliştirilmesi	Revol, J. F., Godbout, L., & Gray, D. (1998).
2004	Organik ortam süspansiyonlarında kullanılmak üzere selüloz kılların yapılması	Azizi Samir vd. (2004)
2004	Selüloz mikrofiber bazlı nanokompozitler çalışıldı	Nakagaito ve Yano (2004)
2004	Lityum bataryalarında çok ince polimer elektrolitlerde güçlendirici ajan olarak selüloz kullanılması	My Ahmed Said Azizi Samir, Fannie Alloin, Wladimir Gorecki, Jean-Yves Sanchez, & Alain Dufresne. (2004). J. Phys. Chem. B 108, 10845–10852
2005	Optikçe saydam nanokompozitler	Yano, H., Sugiyama, J., Nakagaito, A. N., Nogi, M., Matsuura, T., Hikita, M., & Handa, K. (2005). Adv Mater 17:153
2006	Sisal selülozundan polivinil asetat nanokompozitleri yapılması	Nancy Lis Garcia de Rodriguez, Wim Thielemans, & Alain Dufresne. (2006). Cellulose 13, 261–270
2007	Kâğıt hamurundan selüloz nanofiberler elde edilmesi	Svagan, A. J., Samir, M., & Berglund, L. A. (2007). Biomacromolecules 8, 2556
2008	Selülozun nişasta ile güçlendirilmiş biyokompoziti	Pratheep Kumar, A., & Raj Pal Singh. (2008). Bioresource Technology 99, 8803–8809
2008	Freze drying metodu ile selüloz nanofiber / su süspansiyonundan sağlam köpüklerin üretilmesi	Paakko, M., Vapaavuori, J., Silvennoinen, R., Kosonen, H., Ankerfors, M., Lindstrom, T., Berglund, L. A., & Ikkala, O. (2008). Soft Matter 4, 2492

2008	Selüloz nanofiber süspansiyonundan nanokağıt üretimi	Henriksson, M., Berglund, L. A., Isaksson, P., Lindstrom, T., & Nishino, T. (2008). <i>Biomacromolecules</i> 9, 1579
2008	Selüloz nanofiberlerden güçlü yapıştırıcı üretimi	Gardner, D. J., Oporto, G. S., Mills, Ryan, Samir, My Ahmed Said Aziz. (2008). 22 (5/6), 545–567(23)
2009	Muzdan selüloz mikrofiber eldesi	Zuluaga vd. (2009)
2010	Hindistan cevizinden selüloz nanofiberlerin eldesi	Rosa vd. (2010)
2010	steam explosion ile ananas yapraklarında nanoselüloz fiber eldesi	Bibin Mathew Cherian, Alcides Lopes Leao, Sivoney Ferreira de Souza, Thomas, S., Pothan, L. A. & Kottaisamy, M. (2010). <i>Carbohydrate Polymers</i> , 81(3), 720–725

Çizelge 2.12. NFC izolasyonu, modifikasyonu ve uygulamalarının tarihsel Sıralaması [51]

YIL	GELİŞME	REFERANS
1983	Kağıt hamurundan homojenizasyon ile nanofiber izolesi	Herrick vd. (1983) ve Turbak vd. (1983)
1998-	Patates hücrelerinden elde edilen selüloz nanofiber ile	Dufresne ve Vignon (1998)
2000	Nişasta bazlı film geliştirilmesi	ve Dufresne vd. (2000)
2004	Selüloz nanofiber yüzeyinde silan modifikasyonu	Goussé vd. (2004)
2004	Selüloz nanofiber-fenolik reçine kompozitleri	
2005	Asit/baz ön uygulamalı, cryocrushing ve mekanik Yöntemler ile selüloz nanofiber üretimi	Bhatnagar ve Sain (2005)
2005	Homojenizasyon ve öğütme yöntemleri ile izole edilen selüloz nanofiberlerin eldesi	Iwamoto vd. (2005)
2006	Enzimatik ön uygulamalı cryocrushing yöntemi ile ağaçtan selüloz nanofiber eldesi	Janardhnan ve Sain (2006)
2006	Hidrofobik Selüloz nanofiber	Andresen (2006)
2007	Ağaçtan kuru olmayan öğütme ile selüloz nanofiber izolasyonu	Abe vd.(2007)
2007	Gelişmiş amilopektin-NFS film üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi	López-Rubio vd. (2007)
2008	TEMPO oksidasyonu ile kağıt hamurundan NFS izolasyonu	Lasseguette vd. (2008)
2009	Hint incirinden NFS izolasyonu	Habibi vd. (2009)
2009	Kenaftan NFS izolasyonu	Jonoobi vd. (2009)
2010	Kayın ağacından karboksimetilli NFS eldesi	Eyholzer vd. (2010)

2010	Kurutma işlemlerinin NFS'nin ısı kararlılığına etkisinin incelenmesi	Quiévy vd. (2010)
2010	Asetillenmiş ve asetillenmemiş kenaf bitkisinden elde edilen NFS'nin karşılaştırılması	Jonoobi, Harun, Mathew, Hussein, vd. (2010), Jonoobi, Harun, Mathew, ve Oksman (2010) ve Jonoobi, Harun, vd. (2010)
2011	Karboksümetillenmiş NFS biyokompozitler	Eyholzer vd. (2011)
2011	Okaliptus ve çam ağacından TEMPO-oksidasyonu ile NFS izolasyonu	Besbes, Alila, vd. (2011)
2011	NFS eldesinde mekanik yöntemlerin enerji yönünden karşılaştırılması	Rei Vilar, vd. (2011), Spence vd. (2011)
2012	Mikro akışkanlaştırıcı ile NFS izolasyonu ve nano kağıt için kullanılması	Ferrer et al. (2012)
2012	Polilaktik asitin içerisinde asetillenmiş NFS'nin sertleştirici olarak kullanılması	Bulota vd. (2012)
2012	Bakteriyel selülozda enzim deformasyonunun incelenmesi	Tanpichai vd. (2012)
2012	İyonik sıvı ön uygulamalı şeker kamışından NFS izolasyonu	Li vd. (2012)
2012	Bambu ağacından NFS izolasyonunda NaOH etkisi	Zhang vd. (2012)

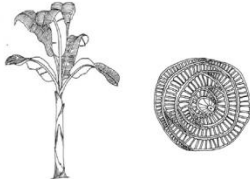
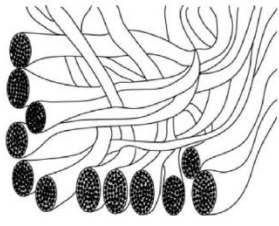
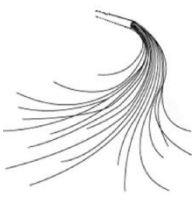
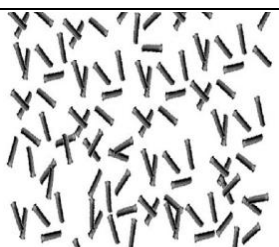
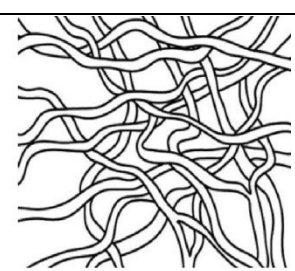
2.3.3. Nanoselüloz

Selüloz gibi doğal fiberlerin esneklik, dayanıklılık gibi mekanik özellikleri nano boyutlarda değişmektedir. Selülozun ilk dönem ürünleri olan odun, pamuk, saman gibi mühendislik malzemeleri yapısal boyutlarına göre değişik kullanım alanlarında uygulandılar. Fakat sonraki dönemde selüloz temelli ürünlerde fonksiyon, sağlamlık ve homojenlik gibi özellikler geleneksel selülozik malzemeler ile elde edilememiştir. Geleneksel orman ürünleri günlük hayattaki kullanım alanını korurken; daha üstün özellikler gerektiren yerlerde ihtiyaçları karşılayamamışlardır. Selüloz nanotaneciklerin keşfi, malzeme biliminde yeni bir süreç başlatmıştır. Nanoboyutta ekstrakte edilen selüloz, ilk nesil selülozların yapısal hiyerarşik boyutlarındaki düzensel hataları içermediğinden, selüloz temelli kompozit malzemelerin geliştirilmesinin önünü açmıştır [56].

Nanoselüloz; çapı 5-20 nm, boyu mikro metre cinsinden ölçülebilecek kadar uzun olan selüloz fiberlerdir (Çizelge 2.13./Şekil 2.21.). Nanoselüloz kelimesi ilk olarak 1970 lerin sonunda Turbak, Snyder ve Sandberg tarafından Whippany, New Jersey de ITT Rayonier laboratuvarlarında ortaya çıktı. Turbak ve arkadaşları ilk nanoselülözü kâğıt hamurunu bir süt homojenizerinden yüksek ısı ve basınçtan geçirip sert bir yüzeye çarptırarak elde ettiler. Turbak ve arkadaşları 1983'e kadar nanoselülozu üzerine birçok çalışma yaptılar. ITT şirketi 1982-1984 te Rayonier Whippany laboratuvarını kapattı ve Heric Shelton, Washington daki Rayonier laboratuvarlarında toz halinde nanoselüloz üretmeyi başardı [58]. 1990'ların başında bu alan Japon araştırmacıların eline geçti ve Taniguchi ve arkadaşları daha sonra da Yano ve arkadaşları birçok çalışma yaptılar [48].

Çizelge 2.13. Farklı metodlarla farklı kaynaklardan elde edilen selüloz fiberlerin çapları [48]

KAYNAK	İZOLASYON METODU	FİBER	
		ÇAPI	REFERANS
Mikrokristalin ağaç selülozu	Sono kimyasal method	21,5 nm	Filson vd.
Kâğıt hamuru	Sono kimyasal method	23 nm	Filson vd.
MCC	Yüksek basınçlı homojenizer	28-100 nm	Lee vd.
MCC	Asit hidrolizi	10 nm	Bondenson vd.
Bezelye kabuğu	Asit hidrolizi	7-12 nm	Chen vd.
Bakteriyel selüloz	Asit hidrolizi	12,5 nm	Grunert ve Winter
Çim	Alkali asit ve mekanik yöntemler	12-20 nm	Pandey vd.
Su yosunu	Asit hidrolizi ve mekanik Öğütme(refining)	10-15 nm	Moon vd.

Yapı	Parça	Elastikiyet Katsayısı (Gpa)	Referans
	Canlı Kütle	20	(Wu, Wang, Zhou, King, Zhang, Chai, 2010)
	Tek Fiberli Ağ Örgüsü	40	(Kalia vd. 2009)
	Mikrofiber	70	(Shi, Shi, Barnes ve Pittman, 2011)
	Selüloz Nanokristal	50-143	(Tanpichai et al, 2012)
	Selüloz Nanofiber	145-150	(Iwamoto, Kai, Isogai ve Iwata, 2009)

Şekil 2.21. Ağacın selüloz nanofibere kadar olan yapısı [59]

2.3.3.1. Nanoselülozun Kullanım Alanları

Birçok bitkiden elde edilebilen nanoselüloz (Çizelge 2.14) üstün özellikleriyle birçok uygulama için ilgi çekici bir malzeme olmaktadır.

Çizelge 2.14. Bazı nanoselülozik lif kaynakları

KAYNAK	REFERANS
Odun	Abe, Iwamoto, ve Yano (2007), Chen vd. (2011)
Pamuk	de Morais Teixeira vd. (2010)
Patates	Dufresne vdl. (2000)
Limon ve darı	Rondeau-Mouro vd. (2003)
Soya fasülyesi	Wang and Sain (2007a)
Buğday samanı	Alemdar and Sain (2008)
Kenevir	Wang and Sain (2007b)
Hindistan cevizi kabuğu	Rosa vd. (2010)
Dut ağacı kabuğu	Li vd. (2009)
Ananas yaprağı	Cherian vd. (2010)
Muz ağacı	Zuluaga vd. (2009)
Sisal	Moran, Alvarez, Cyras, ve Vazquez (2008)
Bezelye kabuğu	Chen, Liu, Chang, Cao, Anderson (2009)
Şeker pancarı	Dinand, Chanzy, ve Vignon (1999), Dufresne, Cavaille, ve Vignon (1997)
Palmiye	Fahma, Iwamoto, Hori, Iwata, ve Takemura (2010)
Su Yosunu	S. J. Hanley, J. Giasson, J. F. Revol and D. G. Gray, Polymer, 1992, 33, 4639–4642

Kompozit malzemelerde

Üstün özellikli malzeme olan kompozitler için nanoselüloz fiber kullanımı çok iyi bir tercihtir. Nanoselülozun; polimer kompozitler, film, köpük, jel, boya, kaplama elemanları, reçineler, kurşun geçirmez yelekler gibi birçok uygulama alanı vardır. Bu alanların belki de en yenisi beton harcında nanoselüloz fiber kullanımınıdır. Yaptığımız literatür incelemeleri sonucunda yeşil alglerin bir türü olan *Cladophora* sp. isimli su yosunundan elde edilen nanoselüloz fiberin betonun eğilme gerilimine etkisini inceleyen bir akademik çalışmaya rastlanmamıştır. Diğer nanoselüloz

kaynaklardan elde edilen nanoselüloz fiber takviyeli beton çalışmaları ise Çizelge 2.15'te verilmiştir.

Çizelge 2.15. Betonun güçlendirilmesinde nanoselüloz fiber kullanılan çalışmalar

ÇALIŞMA	AÇIKLAMA
Properties of nanofibre reinforced cement composites (Daman K. Panesar, Mohini Sain) <i>Construction and Building Materials, Volume 63, 30 July 2014, Pages 119-124</i> Obinna Onuaguluchi	Ağartılmış odun hamurundan elde edilen nanoselüloz fiberi beton numunelerde kullanılmış, ağırlıkça %1'lik nanoselüloz fiber ile gerilme dayanımı 1 kat arttırdığı belirlenmiştir.
Fracture toughness investigations of micro and nano cellulose fiber reinforced ultra high performance concrete (S.J. Peters) University of Maine (2009)	Mikro ve nano selüloz fiberleri bir arada kullanılmış, hacimce % 0.1, 3.0, 5.0 'lik karışımlar kullanmış ve en fazla %53'lük gerilme dayanımı elde edilmiştir.
Mechanical performance of ductile cement mortar composites reinforced with nanofibrillated cellulose. (Claramunt J, Ardanuy M, Arevalo R, Pares F, Tolêdo Filho RD.) In: 2nd international RILEM conference. Strain hardening cementitious composites; 2011. p. 131–8.	Sisal ve Pamuk linterinden High intensity refining metodu ile mikro fiberler elde etmiş, ağırlıkça %3.3'lük karışım yapılmıştır. Mikro ve nano selüloz fiberlerin gerilme dayanımına katkısını incelemiştir. Nanoselüloz fiberlerin 14.0 Mpa mikroselüloz fiberlerin 10.5 Mpa'lık maksimum eğilme dayanımlarının olduğunu belirtmiştir.

Kâğıt ve kartonlarda

Nanoselülozun kâğıt malzemelerde kullanılması etkili bir dayanıklılığa sebep olmaktadır. Ayrıca kâğıtların yağa ve ıslanmaya karşı dayanımında kullanılabilir [60]

Yiyeceklerde

Nanoselüloz, cips, gofret, hazır çorba, puding gibi birçok yiyecekte; kıvam artırıcı, kalori düşürücü, aroma taşıyıcı yerine kullanılmaktadır.

Hijyen ve Absorban Malzemeler

Çocuk bezleri, doku örtüleri, antimikrobiyal filmler

Emülsiyon ve Dispersiyon

Emülsiyon ve dispersiyon alanlarında nanoselüloz kullanılmaya başlanılmıştır. Suların içerisindeki yağın uzaklaştırılması için kullanıldığı gibi çökeltme olmayan süspansiyonlarda (örn. boyalar) da kullanılmaya başlanılmıştır [61].

Petrol Kazanımı

Hidrokarbon uygulamalarında petrol kazanımı için nanoselüloz önerilmiştir.

Medikal, Kozmetik ve Eczacılık

Hijyenik pedler, tamponlar, alt-bezlerinde ya da yara sargısı olarak,

Kozmetikte saç, kirpik, tırnak, kaş kaplama ajanı olarak,

Lökositsiz kan transfüzyonu için filter olarak,

Toz haline getirilmiş nanoselüloz da farmasötik bileşimler içinde bir yardımcı madde olarak önerilmiştir,

Biyomedikal ve biyoteknolojik uygulamalar için esnek yapıda jeller olarak önerilmiştir [62].

Diğer Uygulamalar

Çözücü içerisinde selülozun çözünmesini aktive etmek için,

Selüloz türevleri üretmek için,

Sigara firtresinde,

Pil ayrıçalarında (pillerin ince ve esnek olması için)

İletken malzemelerin güçlendirilmesinde,

Hoparlör membranlarında,

Esnek ekranlarda,

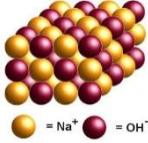
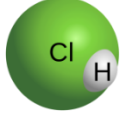
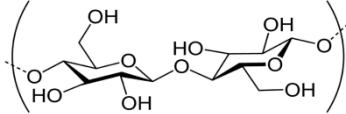
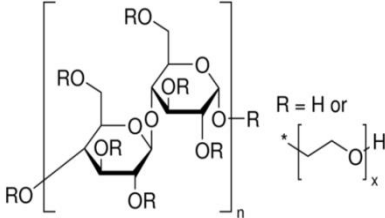
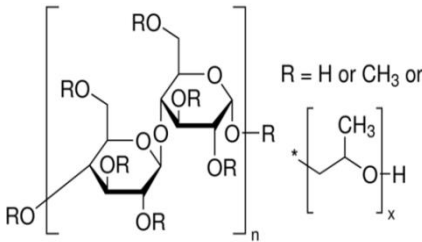
Bilgisayar parçalarında kullanılmaktadır.

3. DENEYSEL KISIM

3.1. Kullanılan Malzemeler

Bu tez çalışmasında kullanılan kimyasal madde ve malzemelerin tamamı analitik saflıkta olup, aşağıda liste halinde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan madde ve malzemeler

Sodyum hipoklorit, NaOCl	$\text{Na}^+ \left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{Cl} \\ \\ \text{O} \end{array} \right]^-$
Sodyum hidroksit, NaOH	 ● = Na ⁺ ● = OH ⁻
Hidroklorik asit, HCl	
Selüloz (Pamuk)	
2-Hidroksietil selüloz, HEC	
Hidroksipropil metil selüloz, HPMC	
Poliüretan, PU	$\left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{N} - \text{R}_1 - \text{N} - \text{C} - \text{O} - \text{R}_2 - \text{O} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$
Polikaprolakton, PCL	$\left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ (\text{CH}_2)_5 - \text{C} - \text{O} \end{array} \right]_n$

3.2. Su Yosunundan (*Cladophora* sp.) Nanoselüloz İzolasyonu

Bu çalışmada *Cladophora* sp. yeşil algi nanoselüloz kaynağı olarak kullanılmıştır. *Cladophora* sp., tatlı ve tuzlu sularda bulunan yeşil alglerdir ve bilinen 20 türü mevcuttur. Sularda fosfor, azot ve diğer besin malzemelerinin artması neticesinde ötrifikasyon oluşur ve alglerin varlığı aşırı derecede artar. Bu alglerin üzerinde insan sağlığına zararlı birçok bakteri türü barınmaktadır. Ayrıca yeşil algler su yüzeyinde çoğalarak, suyun derinliklerine güneş ışığının geçmesini engellemekte ve ekosistemin bozulmasına sebep olmaktadır. *Cladophora* sp. algleri doğal atık olarak tanımlanabilir. Bu algleri nanoselüloz kaynağı olarak kullanmakla; hem çevre temizliğine fayda sağlanacak, hem de diğer yararlı bitkilerin bu sebeple kullanılmasının önüne geçilmiş olacaktır. *Cladophora* sp., algler içerisinde hücre duvarında en fazla selüloz bulunduran türdür. Mihranyan [63] tarafından yapılan çalışmada *Cladophora* sp.'den elde edilen selülozun yoğunluğunun $1,64 \text{ g/cm}^3$, yüzey alanının $92 \text{ m}^2/\text{g}$, gerilme dayanımının 9 Mpa ve kristalitesinin % 94 olduğu belirtilmektedir. Kristalitesinin yüksek olması havadan nem absorplamasını zorlaştırmaktadır, çünkü havadaki nem daha çok amorf bölgelerin absorplanmaktadır.

***Cladophora* sp. örneklerinin toplanması:**

Çalışmada kullanılan selüloz örnekleri *Cladophora* sp. adlı yeşil algden izole edilmiştir. *Cladophora* sp.'ya ait örnekler Kasım 2013'te Aksaray Mamasın Barajı'nın set çıkışından elle toplanmıştır (Şekil 3.1). Toplanan örnekler oda sıcaklığında uzun süre bekletilerek kurutulmuştur.



Şekil 3.1. *Cladophora* sp.'nin sudan çıkarılmış hali

***Cladophora* sp.'den selüloz izolasyonu**

Sodyum hipoklorit (NaOCl) uygulaması

20,0 g toz haldeki *Cladophora* sp., % 4,0'lük 200 mL NaOCl çözeltisinde 150°C' da 20 dakika geri soğutmaya (reflux) maruz bırakılmıştır. Ardından saf su ile defalarca yıkanarak NaOCl ortamdan uzaklaştırılmıştır. Örnekler kurutma kağıdı üzerine serilerek 30 dakika havalandırılmıştır. Havalandırmanın ardından örnekler tekrar % 4,0'lük 200 mL NaOCl çözeltisinde 150°C' da 20 dakika reflux yapılmıştır. Kuvvetli bir kimyasal olan NaOCl hücre zarına ve proteinlere etki eder. Ayrıca yükseltgen olduğu için ağartma özelliğine sahiptir böylece yosun örneklerinin yeşil renginin beyaza dönmesini sağlar.

Proteinlerin uzaklaştırılması (Deproteinizasyon)

Ağartma işleminin ardından örnekler 2,0 M sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinde 150°C' da 2 saat reflux yapılmıştır. Ardından pH nötr olana kadar saf su ile defalarca yıkanmıştır. Bu işlemin ardından yapıda bulunan proteinlerin ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Yağ ve pigmentlerin uzaklaştırılması

Proteinleri uzaklaştırılmış numuneden yağ ve pigmentlerin uzaklaştırılması için; kloroform, metanol ve destile su (hacimce 4:2:1 oranında) karışımında oda sıcaklığında 20 dakika reflux yapılmıştır. Reflux işleminin ardından pH nötr olana kadar saf su ile yıkanmıştır.

Minerallerin Uzaklaştırılması (Demineralizasyon)

Son olarak örnekler 2,0 M 100 mL HCl çözeltisinde 100°C' da 10 saat reflux yapılmıştır. Bu işlemin ardından tekrar saf su ile pH nötr olana kadar yıkanarak yapıda bulunan mineraller uzaklaştırılmıştır.

Son olarak elde edilen ıslak örnekler oda sıcaklığında 1 hafta kurumaya bırakılmış ve beyaz renkli nanoselüloz elde edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. *Cladophora sp.*'den elde edilen nanoselüloz

Elde edilen nanoselülozun karakterizasyonu FT-IR, SEM, XRD ve TGA, DSC analiz yöntemleri kullanılarak yapılmış ve ticari selülozdan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.3. Poliüretan ve Polikaprolakton Nanofiberlerin Hazırlanması

Etil asetat-DMF çözücü karışımında hazırlanmış % 13,0'lük poliüretan ve diklorometan-DMF çözücü karışımında hazırlanmış % 5,0'lik polikaprolakton çözeltileri ayrı ayrı, 1,20 mL/saat debi, 27 kV gerilim ve 18,5 cm plaka yüksekliği

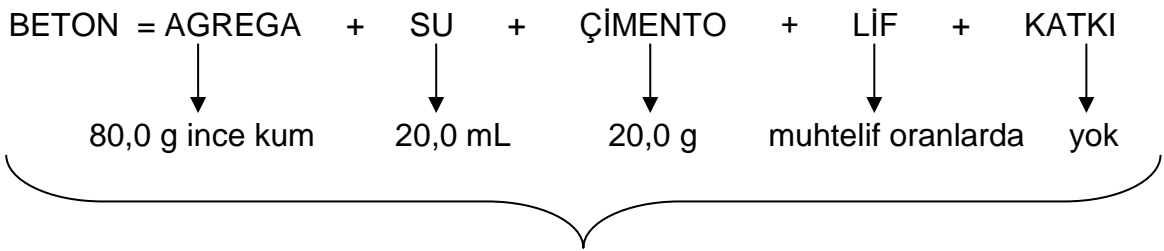
parametrelerinde elektrostatik eğirme cihazında püskürtülerek alüminyum toplama levhasında nanofiberler elde edilmiştir.

3.4. Selülozik ve Diğer Malzemelerin Beton Harcına Karıştırılması

Türk Standartları Enstitüsü'nün vermiş olduğu TS802 beton karışım tasarımı hesap esaslarına göre inşaatlarda en fazla kullanılan C25 betonunun 1 m³ içeriği şöyledir;

Çimento	420 kg
Su	135,9 kg
Kimyasal katkı	6,3 kg
İri çakıl	499,6 kg
İnce çakıl	445,7 kg
İnce agrega	851,2 kg
Toplam	2361,8 kg

Laboratuvar ortamında bizim yaptığımız beton harçlarında ise Mohamed vd. [31] çalışmalarında kullandığı malzeme oranlarından faydalanılarak uygun bir kıvam hazırlanmıştır. Her bir beton harcımızda 80,0 g ince kum, 20,0 mL su, 20,0 g çimento miktarı değişmezken, harç içerisindeki lif miktarı ise muhtelif miktarlarda eklenmiştir.



Bütün harçlar eğilme deneyinden 7 gün önce hazırlanmış ve oda sıcaklığında bekletilmişlerdir.

Bu karışım oranı dikkate alınarak hazırlanan beton harcına sırasıyla pamuk, ticari selüloz, *Cladophora sp*'den elde edilen nanoselüloz, 2-HEC, HPMC, PU ve PCL ilave edilerek fiberli beton elde edilmiştir.

0,1 g *Cladophora* sp., hassas terazide tartılarak bir behere alınmış ve üzerine 20 mL oda sıcaklığında saf su eklenmiştir. Cam baget ile karıştırılan nanoselüloz birkaç dakika içerisinde jel kıvamına gelmiş ve beton harcına karıştırılmak üzere ayrılmıştır. Hassas terazide; 20,0 g Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş' nin üretmiş olduğu PÇ 40,0 çimento ve 80,0 g ince sıva kumu (mıcır ocağından alınan, sıfır diye tanımlanan taş unu) tartıldıktan sonra 500 mL'lik beherde cam baget ile karıştırılıp üzerine daha önce hazırladığımız jel kıvamındaki nanoselüloz eklenmiştir. Bütün bileşenler iyice karıştırılıp beton harcı hazır hale geldikten sonra 38x13x120 mm boyutlarındaki plastik kalıba dökülmüştür. Islak harcın kalıbın her yerine eşit bir şekilde dağılımı sağlandıktan sonra, harcın üzeri tamamen su ile kaplanacak şekilde saf su ilave edilmiştir (çatlamları önlemek için). Aynı işlem 0,25, 0,50, 0,75 ve 1,00 gramlık nanoselüloz örnekler için de tekrarlanmıştır. Ayrıca mukayese için içerisinde hiç lif konulmayan harç da hazırlanıp kalıba dökülmüştür (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Plastik kalıp içerisindeki beton numune

Bir hafta sonunda sertleşen beton plastik kalıplardan çıkarılmış ve mekanik test cihazı ile üç nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur.

3.5. Üç Nokta Eğilme Deneyleri

Betonun dayanımını ölçebilmek için laboratuvarımızda bulunan Baehr Universal Mekanik Test Cihazı, 3 nokta eğilme deneyi için kullanılmıştır. Bu test için cihazın alt iki ayağının üzerine konulan beton numunesinin üzerine 100 mm/dk sabit hızda betonun orta noktasına kuvvet uygulanmıştır. Beton numunenin kırılmadan önceki en fazla dayandığı kuvvet Newton cinsinden okunmuş ve eğilme gerilmesi $f_{cf} = \frac{3FL}{2d_1d_2^2}$ eşitliği ile hesaplanmıştır.

F: Mekanik test cihazının beton numuneyi kırmadan önceki uyguladığı maksimum kuvvet

L: Mekanik test cihazının alttaki iki ayağının (üzerine beton numunenin koyulduğu) arasındaki mesafe 76 mm

d_1 : Beton numunenin genişliği 38 mm

d_2 : Beton numunenin yüksekliği 13 mm

Beton harcının içerisine 0,1 g, 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g ve 1,00 g olarak farklı oranlarda karıştırılan nanoselülozun ve diğer malzemelerin betonun dayanımına olan etkisini belirlemek için deneyler 3 defa tekrarlanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Beton numunenin 3 nokta eğilme deneyi

Mekanik test cihazına yerleştirilen beton numunelerin en son dayandığı kuvvet Newton cinsinden cihazdan okunmuş ve eğilme gerilmeleri hesaplanmıştır.

3.6. Karakterizasyon alışmaları

Beton harçlarına eklenen nanoselüloz, selüloz, HEC, HPMC ve PU ile PCL'nin SEM görüntüleri FEI/Quanta FEG 250 marka/model cihaz ile elde edilmiştir.

Nanoselüloz ve selülozun FT-IR spektrumları Perkin Elmer, Spectrum 100 marka/model cihazı ile çekilmiştir. Dalga boyu aralığı $400-4000\text{ cm}^{-1}$ ve hassasiyeti 4 cm^{-1} şartları kullanılmıştır.

Nanoselüloz ve selülozun kristalinitesi, Panalytical, Empyrean XRD cihazı ile incelenmiştir. Deney şartları 45 kV ve 40 mA olup, 2Θ taraması $5-80^\circ$ arasında yapılmıştır.

Nanoselüloz ve selüloz numunelerin TGA ve DSC analizleri SETARAM, Labsys EVO cihazında yapılmıştır. Analiz şartları; yaklaşık 10 mg numune alınmış ve 20 mL/dk Argon ortamında 25°C ' dan 700°C ' a $10^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızıyla analiz edilmiştir.

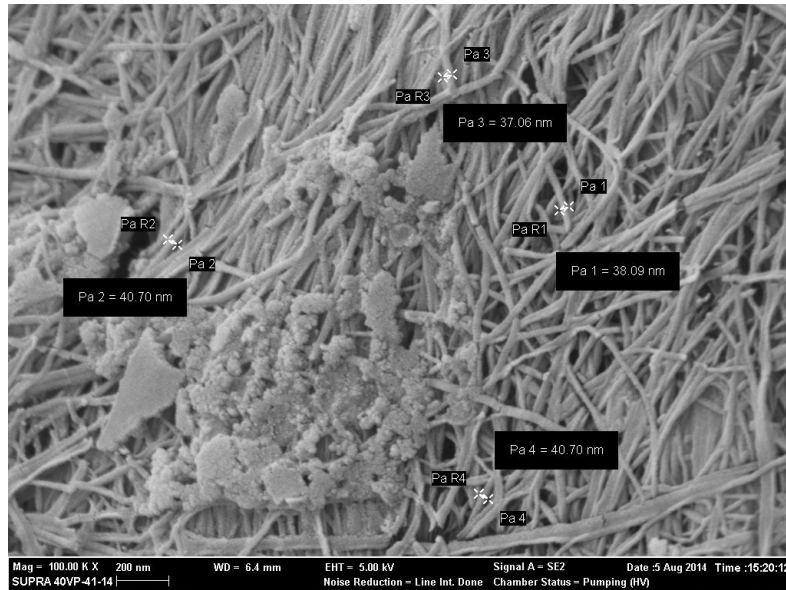
4. SONUÇ VE TARTIŞMA

4.1 Nanoselülozun Karakterizasyonu

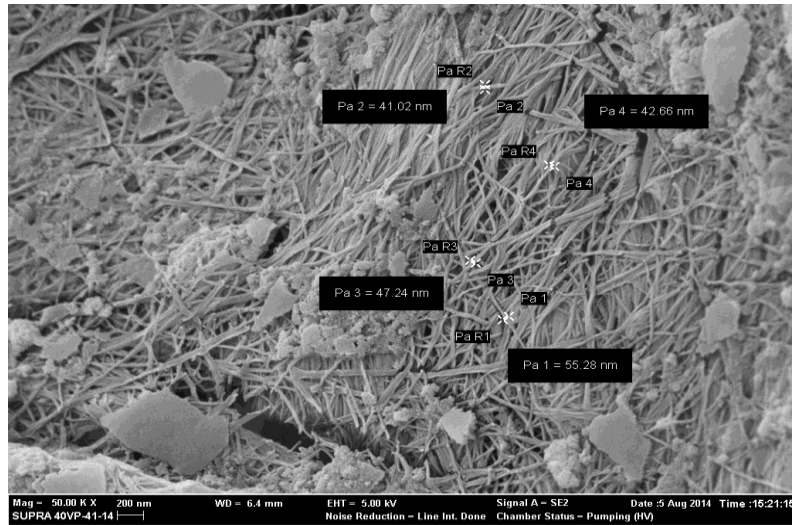
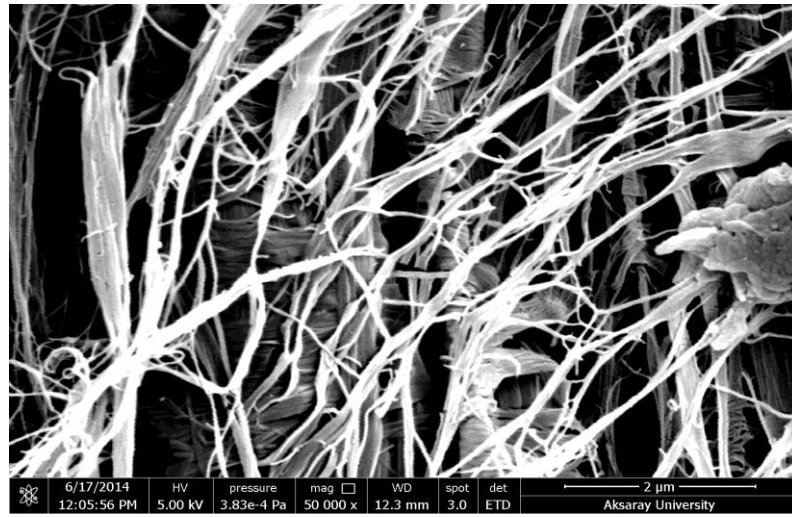
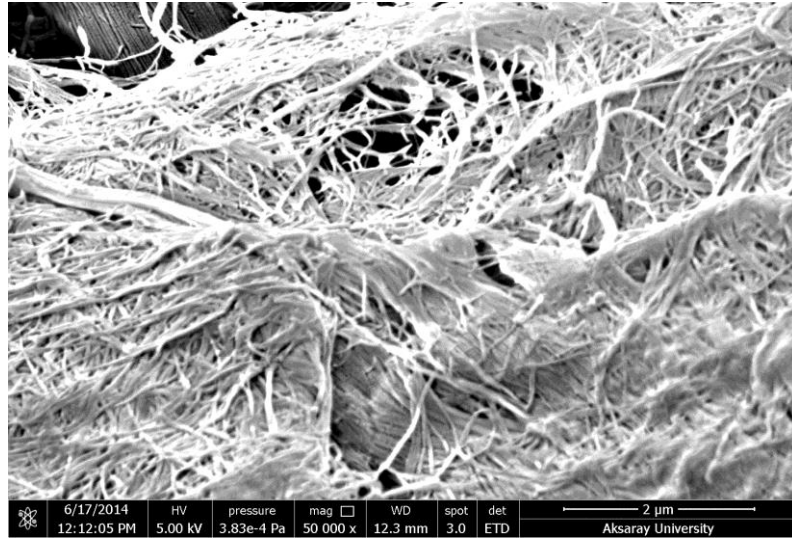
Su yosunlarından elde edilen nanoselüloz, yapı, yüzey ve ısıl karakterizasyonlara tabi tutulmuş, elde edilen sonuçlar ticari olarak satılan selüloz ile karşılaştırılmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM)

Çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Manfred von Ardenne öncülüğünde 1930'lu yıllarda geliştirilmiştir. Yüzeyden yayılan ikincil elektronlarla yapılan ölçüm, özellikle yüzeyin engebeli (topografik) yapısıyla ilişkili bir görüntü oluşturur. Yüksek enerjili elektronların, numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron olarak tanımlanır. İkincil elektronlar numune odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır.



Şekil 4.1. *Cladophora* sp. su yosunundan elde edilen nanoselülozun 100,000 büyütme ile SEM fotoğrafı

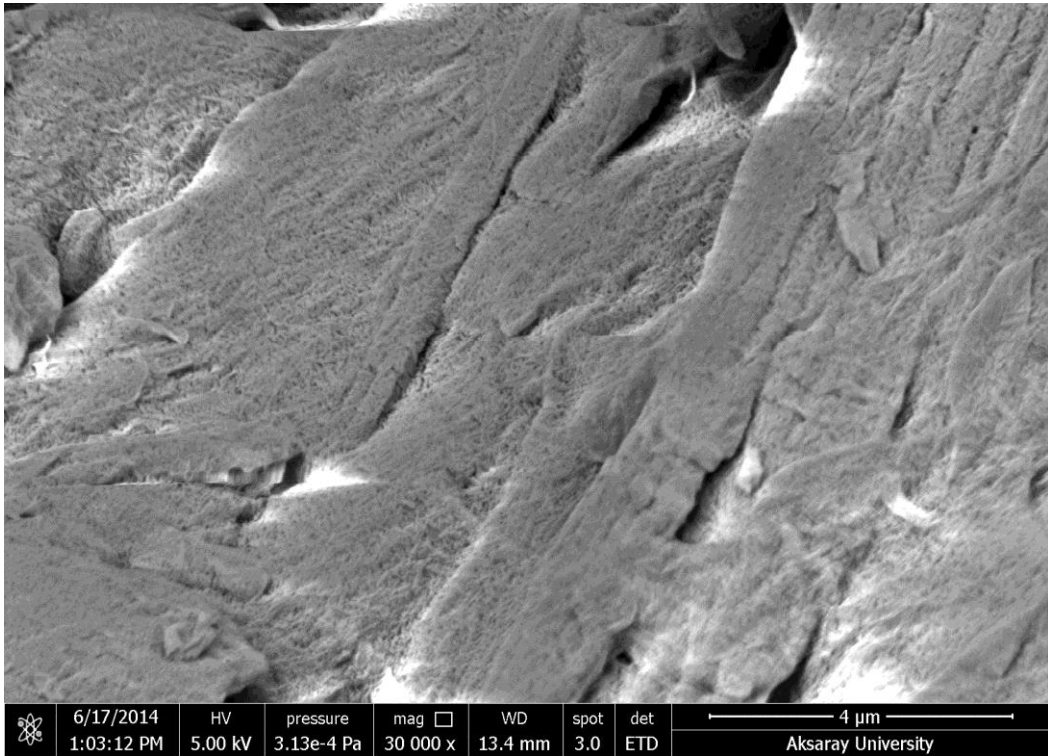


Şekil 4.2. *Cladophora* sp. su yosunundan elde edilen nanoselülozün 5,000 büyütme ile farklı cihazlardan alınan SEM fotoğrafları

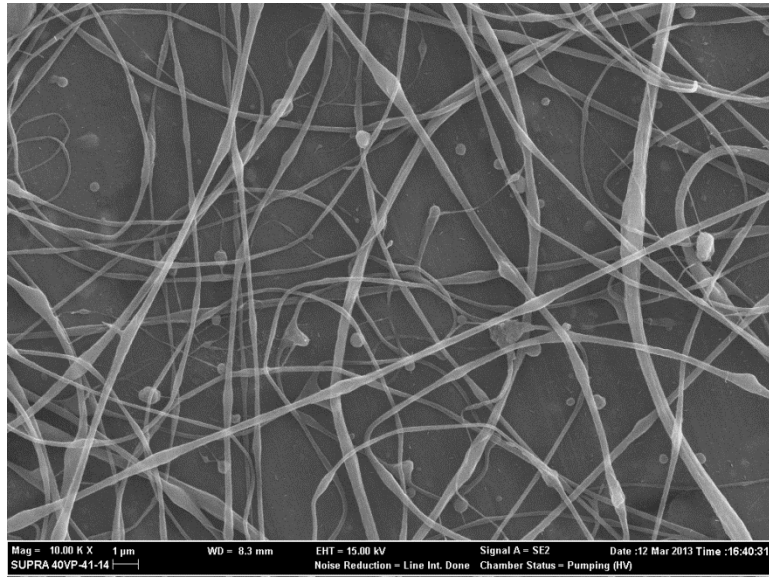
Cladophora sp. su yosunundan elde edilen nanoselülozun SEM fotoğraflarında yaklaşık olarak 37-55 nm aralığında değişen fiber çapları net bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.1-4.2).

Karşılaştırma amaçlı olarak ticari selüloz ile alınan SEM fotoğrafları Şekil 4.3'de verilmiştir. Nanoselüloz yapısında gözlenen fiber yapısı, çok belirgin olmasa da ticari selüloz yapısında da bulunmaktadır. Ancak ticari selülozda yapı süreksiz kısa fiberler şeklinde görülmüştür.

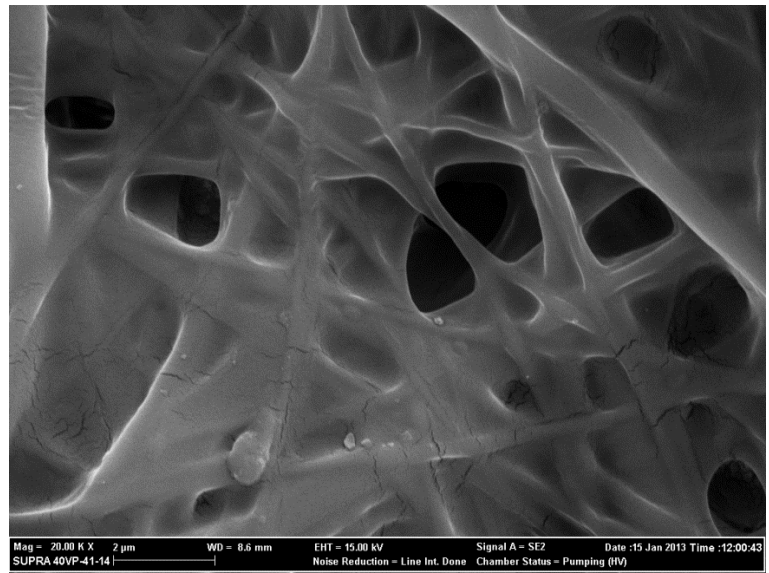
Şekil 4.4'de elektrostatik eğirme ile elde edilen HEC, HPMC, pamuk, PU ve PCL fiberlerin SEM fotoğrafları verilmiştir. Fotoğraflardan, HEC ve HPMC'de süreksiz ve daha çok düzensiz lifsi yapıların, pamuk, PU ve PCL'de ise sürekli fiber yapıların yoğunlukta olduğu görülmektedir.



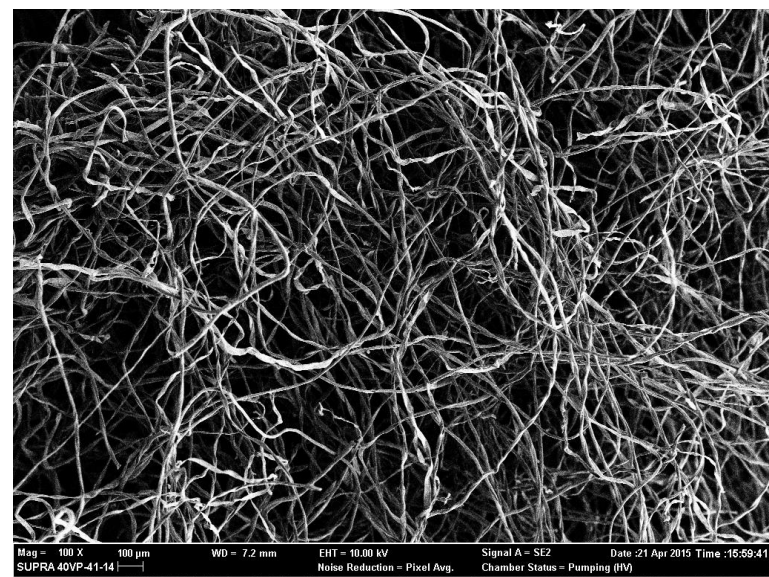
Şekil 4.3. Selülozun 5,000 büyütme ile alınan SEM fotoğrafı



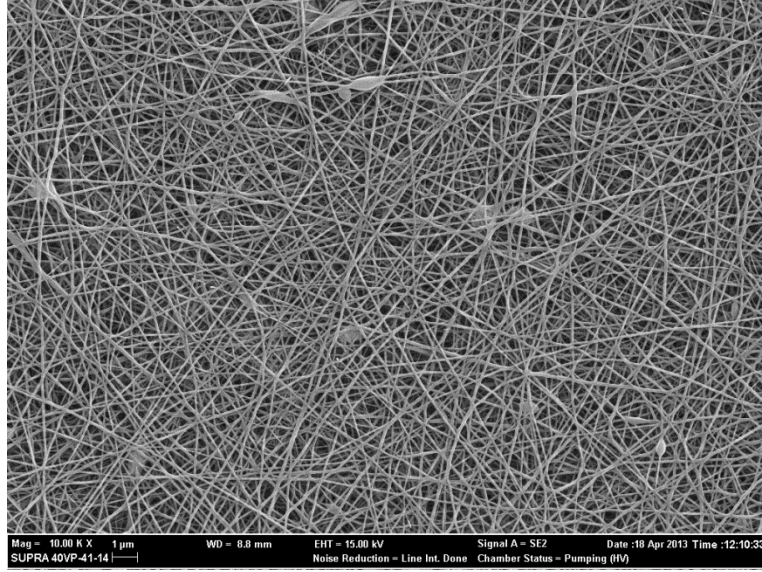
(a)



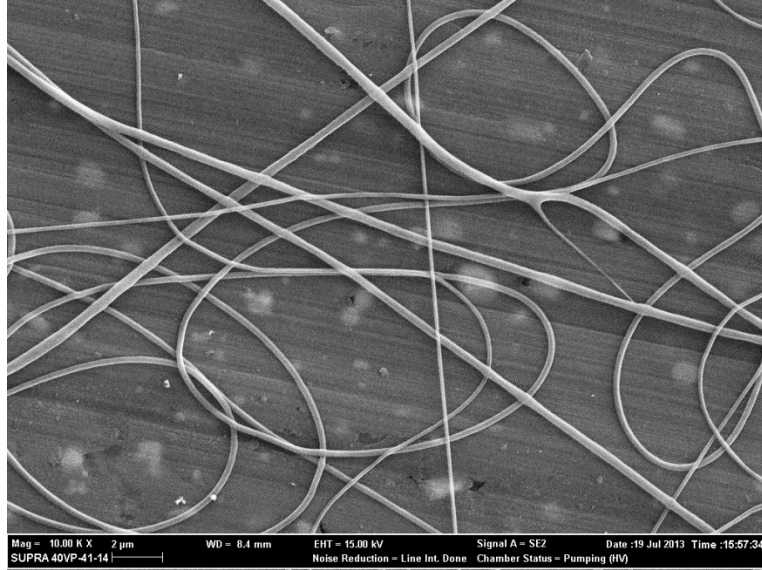
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.4. HEC (a), HPMC (b), pamuk (c), PU (d) ve PCL (e) fiber yapılarının SEM fotoğrafları

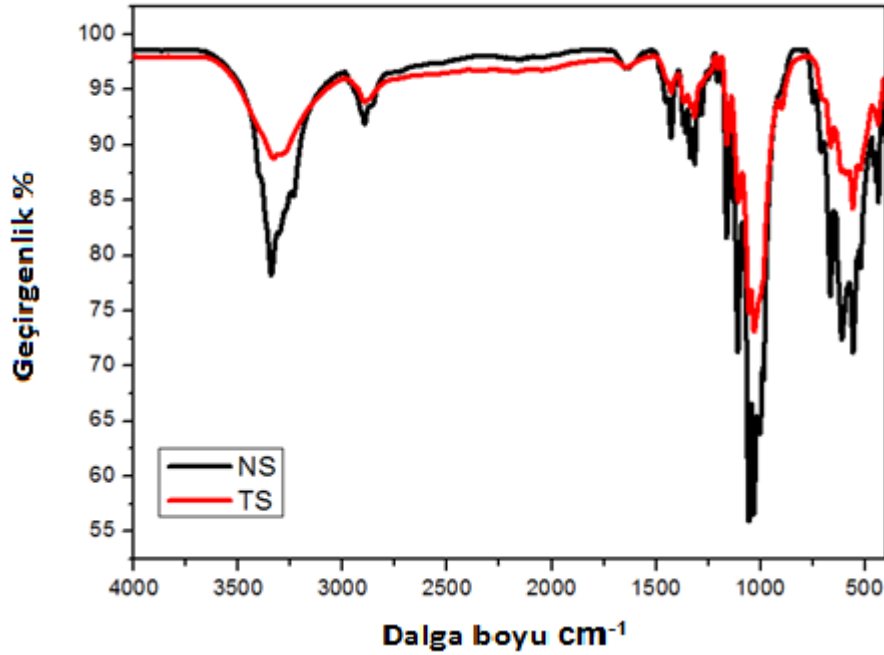
Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR)

İncelenmek istenen örneğin fonksiyonel gruplarının titreşimlerinden kaynaklanan yapısal, kompozisyonel ve fonksiyonel bilgilerin elde edilmesini sağlayan bir tekniktir. FT-IR, matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçer. Elektromanyetik ışık dizisinin kızıl ötesi bölgesi 14000 cm^{-1} ile 10 cm^{-1} arasındadır ve yakın dalga boylu kızıl ötesi (NIR;

4000~14000 cm^{-1}), orta dalga boylu kızıl ötesi (MIR; 400~4000 cm^{-1}) ve uzak dalga boylu kızıl ötesi (FIR; 4~400 cm^{-1}) olmak üzere üç ana bölgeden oluşmaktadır [64].

FT-IR analizleri Perkin Elmer, Spectrum 100 marka/model cihazı ile yapılmıştır.

Dalga boyu aralığı 400-4000 cm^{-1} ve hassasiyeti 4 cm^{-1} olarak belirlenmiştir. Selüloz numuneleri ATR modülü kullanılarak çekilmiştir. Nanoselüloz (NS) ve ticari selülozun (TS) FT-IR spektrumu Şekil 4.5'de verilmiştir. Görüldüğü üzere selüloz yapısında farklılık olmadığı için her iki örnekte de aynı pikler mevcuttur. Küçük farklılıkların, nano yapının hassas molekül özelliğinden ve az da olsa ticari selülozdaki muhtemel safsızlıklardan kaynaklanmış olduğu söylenebilir. Her yapıda olduğu gibi bu iki numunede de nano malzemenin pik şiddeti daha fazladır. Işığı daha iyi absorbe edebildiği için pik şiddetleri daha belirgin görünmektedir.



Şekil 4.5. Nanoselüloz ve selülozun FT-IR spektrumu

Piklere bakıldığında, 3345 cm^{-1} deki keskin pik ve hemen yanındaki 3300 cm^{-1} deki omuz ayrıca 3230 cm^{-1} deki pikler selüloz yapısındaki OH gruplarının, serbest O-H ların gerilme titreşimlerinden meydana gelmiştir. Bunun dışında karakteristik C-H gerilme titreşimleri 2900 cm^{-1} civarında kendini göstermiştir [65]. 1636 cm^{-1} deki hafif şiddetli pik yapıya adsorbe olmuş suyun varlığındaki O-H eğilmeleri gösterir. 1270 – 1390 cm^{-1} arasındaki pikler düzlem dışı C-O gerilme titreşimlerini belirtmektedir. 1171 cm^{-1} deki pik halka boşluklarındaki C-C etkileşimlerini

gösterir. Selüloz yapısındaki C-O-C glikozidik ester bağlarının varlığı 1107 cm^{-1} de kanıtlanmıştır. Ayrıca 1055 cm^{-1} deki keskin pik C-O-C bağlarının faz halkalarının antisimetrik fazda olduklarının bir göstergesidir. 892 cm^{-1} selülozdaki glükoz birimleri arasındaki beta-glikozidlerle ilişkilidir.

Termogravimetri, TGA

Termogravimetrik Analiz, kontrollü ısıtma programına tabi tutulan bir numunenin ağırlığının sıcaklıkla değişiminin ölçüldüğü bir tekniktir. TGA yöntemi ile polimer bazlı numunenin kimyasal bileşimi analiz edilebilir. TGA analizi sırasında bir numunenin kütlesinin, numunenin sıcaklığına ve zamana göre değişimi, kontrollü atmosfer altında ölçülür. TGA analizlerinin en sık kullanım amacı bir numunenin ısı ve oksidatif dengesinin ölçülmesi ve bileşen özelliklerinin karakterize edilmesidir. TGA tekniği ile malzemenin bozunmasına, oksidasyonuna ya da bileşenlerinden uçucu moleküllerin kaybına bağlı olan kütledeki artış ya da azalış değerleri elde edilir. Termoplastik, termoset, elastomerik, kompozit, film, elyaf, boya ve kaplama gibi malzemelerin analizi için kullanılır. TGA tekniğinin özellikle faydalı olduğu ölçümler:

Çok bileşenli malzemelerin ve alaşımların bileşim analizi,

Isıl denge,

Oksidatif denge,

Ürün ömrünü öngörme,

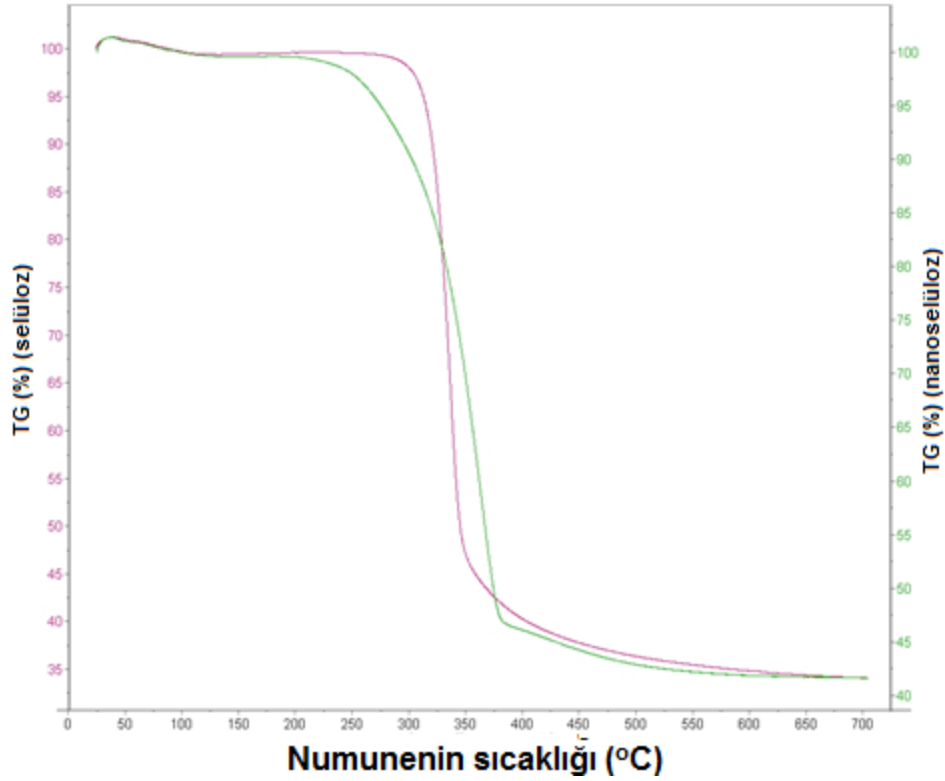
Bozunma kinetiği,

Malzemelerin reaktif ortamlarda verdiği tepkiler,

Malzemenin içindeki katkı maddeleri,

Malzeme içindeki nem ve uçucu bileşen oranı

olarak sıralanabilir.



Şekil 4.6. Nanoselüloz ve selülozun TG eğrileri

Numunelerin TG analizleri SETERAM, Labsys EVO cihazında yapılmıştır.

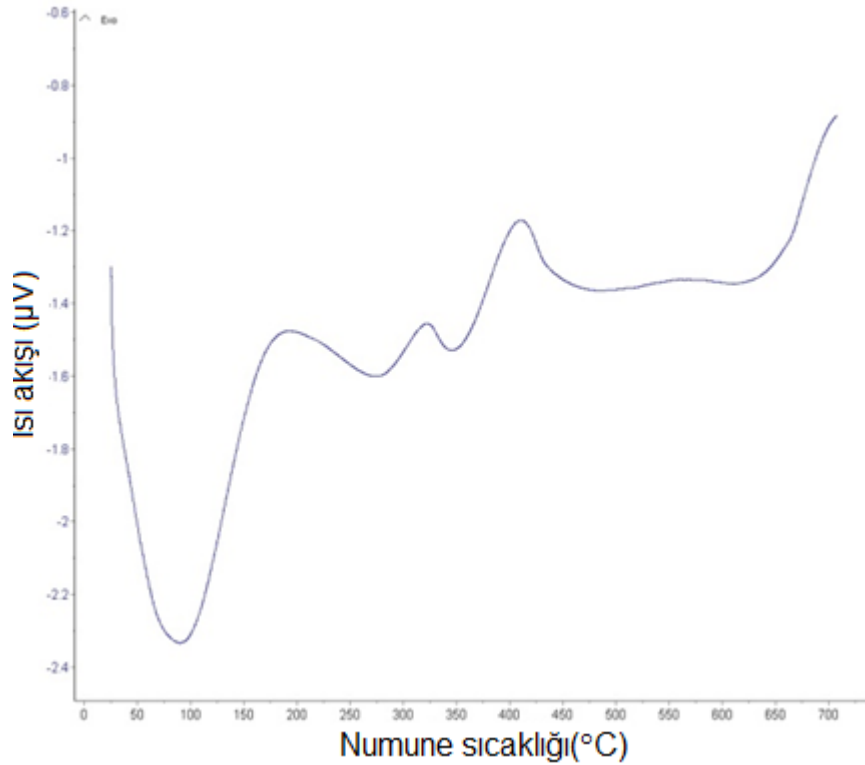
Analiz şartları; yaklaşık 10 mg numune alınmış ve 20 mL/dk Argon ortamında 25°C'dan 700°C'a kadar 10°C/dk ısıtma hızı kullanılmıştır.

NS ve TS ye ait termogramlar Şekil 4.6'da verilmiştir. İlk kütle kaybı 100°C a ulaşmadan önce absorbe suyun uzaklaşması sonucu gözlemlenmiştir. Her iki selülozda da aynı gözlem mevcuttur. Her iki selüloz için maksimum bozunma sıcaklığı yaklaşık 330-350°C sıcaklık aralığında gözlenmiş ve 700°C'a kadar yapılan ısıtma sonrasında nanoselüloz için % kütle kaybı 58 (%42 kömürleşmiş artık) ve ticari selüloz için % kütle kaybı 65 (%35 kömürleşmiş artık) olarak kaydedilmiştir. Selülozun ısıl analizinde, yapıya absorbe olan suyun uzaklaşmasını müteakip gözlenen tek bozunma glükoz birimlerinden oluşan selüloz homopolimerinin bozunmasına aittir. Selüloz yarı kristalin bir polimer olup oldukça dar bir aralıkta bozunması tamamlanan (polimerin saflığına işaret eden) bir polimerdir. Nanoselülozdaki bozunma aralığının ve kalıntı miktarının ticari selüloza göre daha yüksek olması, nanoselülozun *Cladophora* sp. su yosunundan ekstrakte

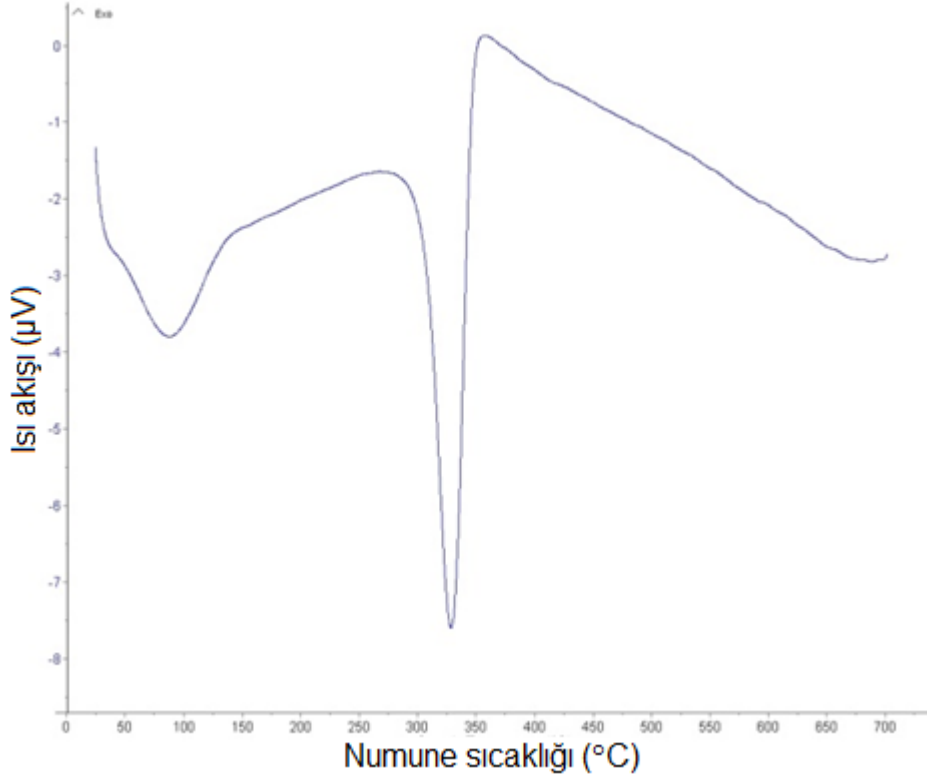
edilirken yapısında kalmış olan muhtemel hemiselüloz, lignin vb. safsızlıklardan kaynaklanmış olabilir.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri, DSC

Malzemelerin ısı analizi için kullanılan termoanalitik bir yöntemdir. Kısaca, polimerleri ısıttığımız zaman ne gibi fiziksel değişimlere uğrayacağını gösteren bir yöntemdir. DSC, biri referans diğeri ise numunenin konulduğu iki ısıtıcıdan, bu sistemi ısı kaybı olmadan tutan bir hücreden ve ısı akışını kontrol eden bilgisayardan oluşur. DSC yönteminde test edilen numunenin ve referansın sıcaklığını arttırmak için gerekli olan ısı miktarı, sıcaklığın zamana bağlı fonksiyonu olarak ölçülür. Numune ve referans, deney boyunca aynı sıcaklıkta tutulmaya çalışılarak ve aynı hızda ısıtılarak, numunenin ve referansın üzerindeki ısı akışının hızı ölçülür ve karşılaştırılır. Aradaki fark, malzeme bileşimi, kristalinite ve oksidasyon gibi özelliklerin tayininde kullanılır. DSC ölçümü sonunda *Sıcaklık-Isı Akışı* grafiği elde edilir.



Şekil 4.7. Nanoselüloza ait DSC termogramı



Şekil 4.8. Selüloza ait DSC termogramı

DSC grafikleri bize yapının erime ve kristallenme sıcaklıklarını verir. Şekil 4.7-4.8'de basitçe gösterildiği gibi DSC termogramları çalışılan sıcaklık aralığında çok belirgin iki adet endotermik değişim göstermektedir. Bunlardan birincisi 100°C civarındaki suyun uzaklaşma reaksiyonudur. İkinci endotermik reaksiyon bize genellikle erime tepkimelerini ya da kristalin bozulduğu reaksiyon sıcaklığını gösterir. Selülozda 325°C'da çok net bozunma reaksiyonu meydana gelmiştir.

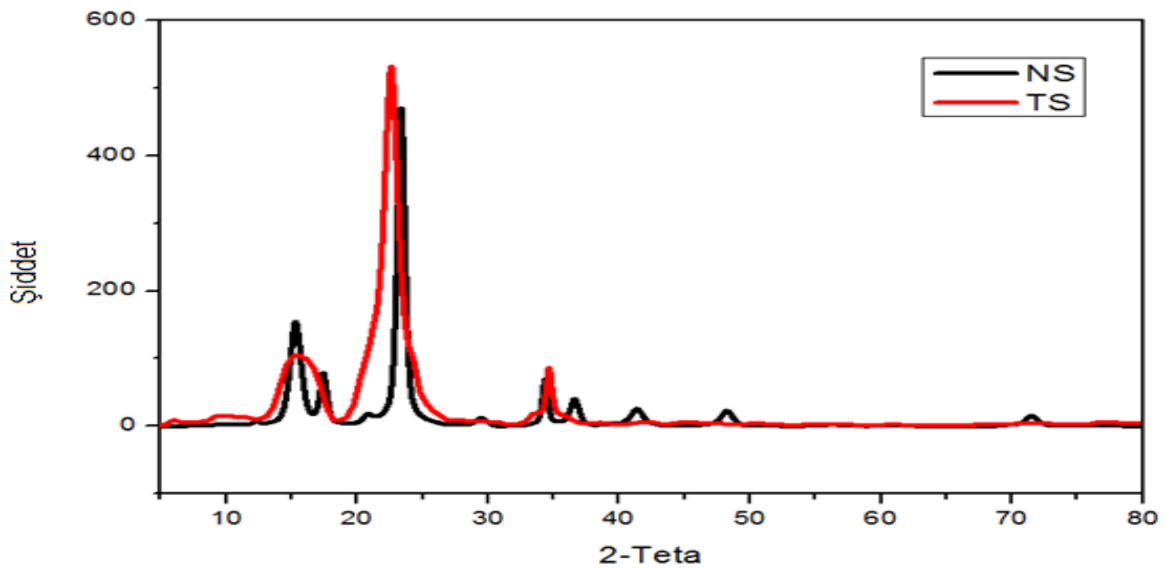
40-120°C arasında görülen küçük kütle kaybı; selüloz içerisindeki nemin buharlaşmasından veya izolasyon prosedürü sırasında arta kalan maddelerden kaynaklanmaktadır. Daha önceden de belirttiğimiz gibi selüloz; yarı selüloz, selüloz ve ligninin oluşturduğu yapıda bulunmaktadır. Bu üç yapının da kimyasal yapılarındaki farklılıklar, termal analiz sırasındaki parçalanmalarını da farklı kılacaktır. Termal analizde, selüloz 310°C'da parçalanmaya başlayıp 400°C'a kadar varlığını sürdürecektir. 355°C'da en fazla kütle kaybına uğrayacaktır. 400°C'da selüloz piroliz olur. Şekil 4.7'de nano selülozun DSC termogramında yarı selülozun bozunması 220°C'da başlayıp 300°C'un üzerine kadar devam eder. 268°C'da maksimum bozunmaya ulaşır, 700°C'a kadar varlığını sürdürür. 700°C'da

ağırlığının %20 si oranında katı artık bırakır. Lignin 200-700°C arasında bozunmaya uğrar. Ligninden geriye ağırlıkça % 46 oranında katı kısım kalır. Genellikle doğal fiberlerden elde edilen nanoselüloz, yüksek termal kararlılığa sahiptir. Bunun sebebi lignoselülozik yapılarda bulunan α -selülozdur. Bununla birlikte nanoselüloz yapılarda yarı selüloz ve ligninden kaynaklanan katı artıklar fazla miktarda bulunur [66].

X-Işını Kırınım (X-Ray Diffraction, XRD) Yöntemi

Bir kristalin atomik ve moleküler yapısını incelemek için kullanılan ve kristal haldeki yapılara yönlendirilen X-ışını demetindeki ışınların, kristale özel çeşitli yönlerde kırınımı olayına dayanan bir yöntemdir. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. Kırınıma uğrayan bu demetlerin açılarını ve genliklerini ölçerek bir kristalografi uzmanı kristaldeki elektronların yoğunluğunun üç boyutlu bir görüntüsünü elde edebilir.

Bu elektron yoğunluğundan kristaldeki atomların kimyasal bağları, kristal yapıdaki düzensizlikler ve bazı başka bilgilerle birlikte ortalama konumları tespit edilebilir. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasına olanak sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir [67].



Şekil 4.9. Nano selüloz ve ticari selülozun XRD grafiği

Selülozun kristal yapısı, Panalytical, Empyrean XRD cihazı ile incelenmiştir.

Deney şartları 45 kV ve 40 mA olup, 2 θ taraması 5-80° arasında yapılmıştır.

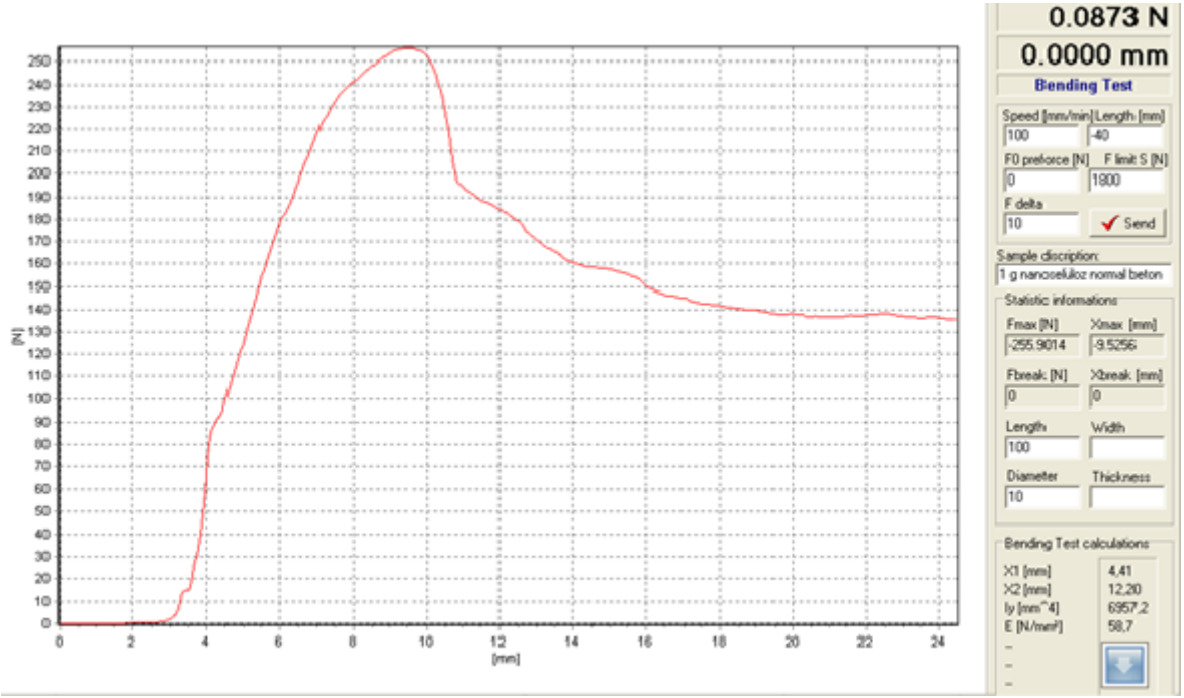
Şekil 4.9'a bakıldığında NS ve TS nin çok net iki bölgede pikleri belirgindir. Bunlardan bir tanesi 2 θ = 15° ve diğeri selülozun karakteristik piki olan 2 θ = 22,5° . Piklerden kristalliğin nanoselülozda daha fazla olduğunu, ticari selülozun daha amorf olduğunu söyleyebiliriz. NS ye ait 2 θ = 15°, 2 θ = 17°, 2 θ = 22,5° temel pikler ASTM-selüloz kartları ile karşılaştırıldığında bire bir uyuşmaktadır. NS deki kristal yüzdesi, TS ye göre daha fazla olması kullanım alanlarını bu özelliğe göre belirleyebilmemizi sağlar (Şekil 4.9.). Nanoselülozun ekstrakte edilmesi esnasında yapısında kalmış muhtemel lignin ve yarı selüloz yapılarından kaynaklanan yüksek kristallik söz konusu olabilir. XRD grafiğinden nanoselülozun kristalitesi %90,3, selülozun kristalitesi % 78,2 hesaplanmıştır.

4.2. Üç Nokta Eğilme Deneyi Sonuçları

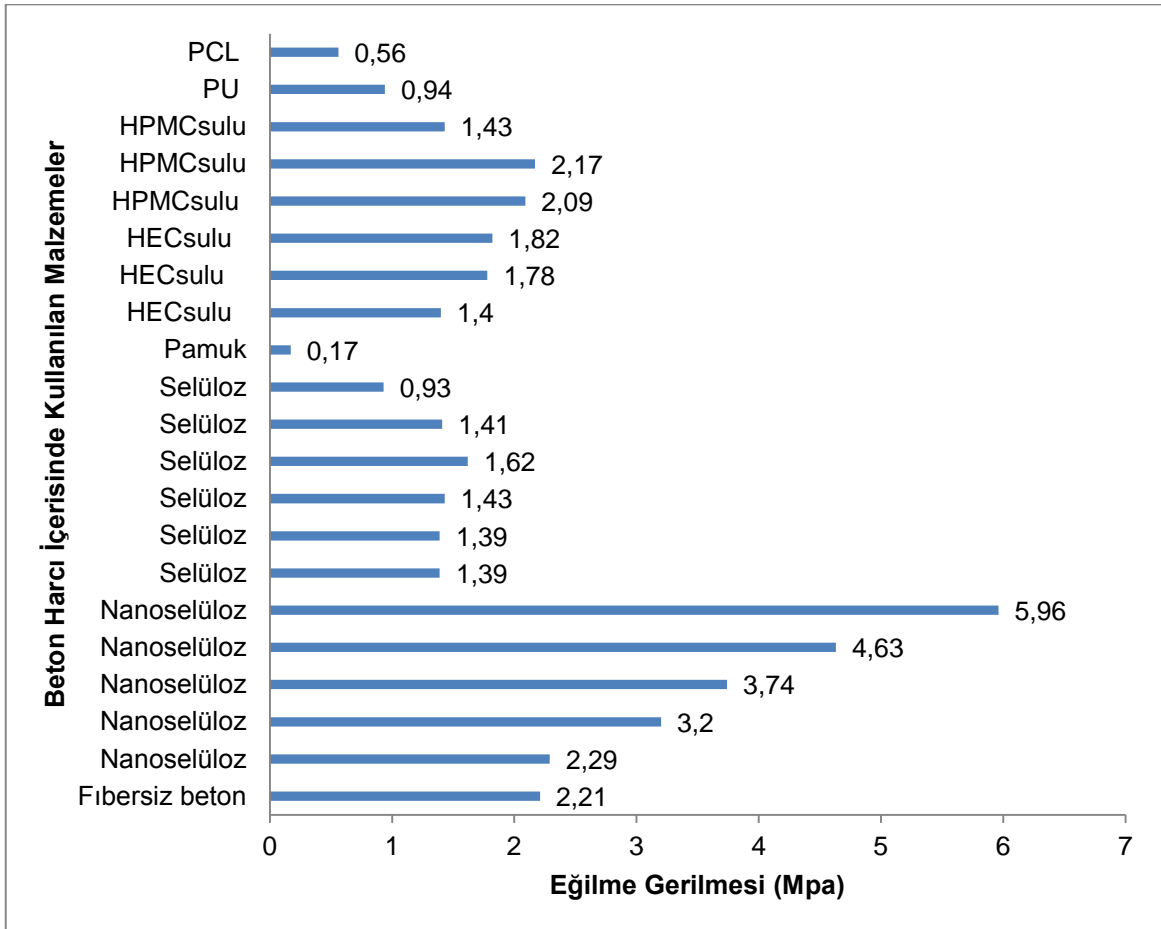
Aşağıdaki Çizelge 4.1'de; elde ettiğimiz nanoselüloz ve diğer malzemelerin, beton harcının içerisine çeşitli oranlarda eklenmesi ile oluşan 38x13x120 mm boyutlarındaki beton numunelerinin üç nokta eğilme testinde dayandıkları maksimum kuvvetlerin ortalaması ve $f_{cf} = 3FL/2d_1d_2^2$ formülünden eğilme gerilmelerinin sonuçları gösterilmiştir. Sonuçların değerlendirildiği mekanik test cihazı çıktısı bir örnek olması bakımından Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.11'deki grafikte, beton numunelerinin eğilme değerlerinin katkı malzemeleri ile değişimi verilmektedir.

Çizelge 4.1. Beton mumunelerinin harçtaki lif miktarlarına göre eğilme gerilmeleri

Mukavemet artırıcı olarak kullanılan malzeme	Harçtaki miktarı (g)	Numunenin dayandığı maksimum kuvvetlerin ortalaması (N)	Eğilme gerilmeleri (MPa)
Fibersiz beton	Fibersiz beton	125	2,21
Nanoselüloz	0,10	129	2,29
Nanoselüloz	0,25	180	3,20
Nanoselüloz	0,50	211	3,74
Nanoselüloz	0,75	261	4,63
Nanoselüloz	1,00	336	5,96
Selüloz	0,10	79	1,39
Selüloz	0,25	78	1,39
Selüloz	0,50	81	1,43
Selüloz	0,75	91	1,62
Selüloz	1,00	80	1,41
Selüloz	1,50	104	0,93
Pamuk	0,10	20	0,17
HEC _{sulu}	0,40 (%2 m/m)	158	1,40
HEC _{sulu}	0,60 (%3 m/m)	200	1,78
HEC _{sulu}	0,80 (%4 m/m)	205	1,82
HPMC _{sulu}	0,40 (%2 m/m)	157	2,09
HPMC _{sulu}	0,60 (%3 m/m)	245	2,17
HPMC _{sulu}	0,80 (%4 m/m)	162	1,43
PU	0,7	96	0,94
PCL	0,7	64	0,56

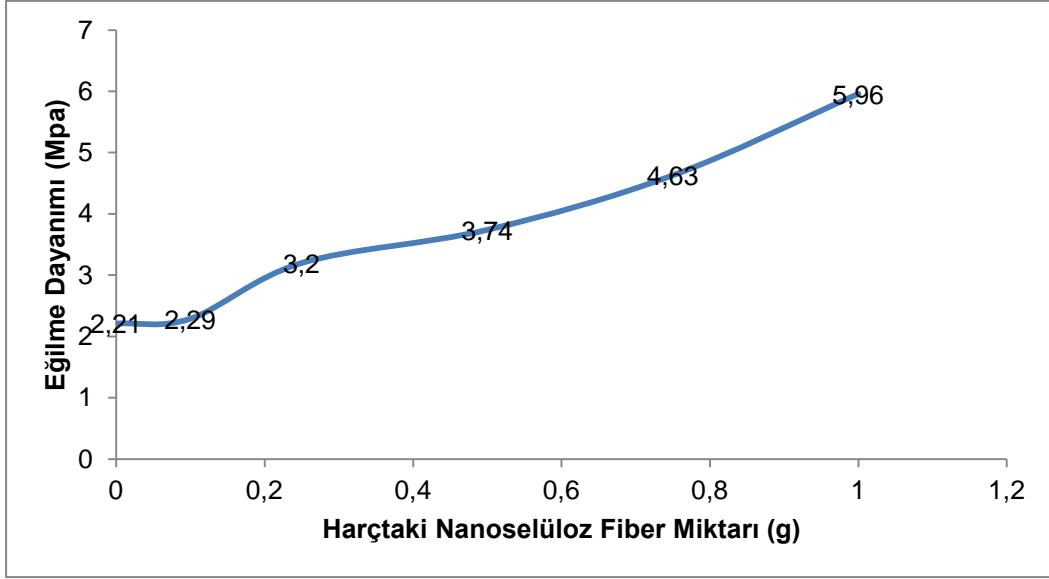


Şekil 4.10. Mekanik test cihazından alınan eğilme dayanımı eğrisi.



Şekil 4.11. Eğilme Gerilmeleri/Kullanılan Malzemeler Grafiği

Şekil 4.12'de beton harcındaki nanoselüloz miktarının eğilme gerilimine etkisi verilmiştir.



Şekil 4.12. Beton numunelerin içerdiği nanoselüloz miktarının eğilme gerilmesine etkisi

Eğilme dayanımı, bir malzemenin kullanılabilirliğinin araştırılmasında en önemli özelliklerin başında gelmektedir [68]. Bu çalışmada; laboratuvar ortamında hazırlanan ve her defasında aynı özellikte olmasına dikkat edilen beton harçlarının içerisine yüksek oranda fiber içeren nanoselüloz veya diğer fiber / fiber olmayan malzemeler eklenerek betonun eğilme dayanımı arttırılmaya çalışıldı. Nanoselüloz içeren beton numunelerinin eğilme gerilmelerinin yine laboratuvarda hazırlanan fibersiz/katkısız betondan çok daha fazla olduğunu (2-3 kat fazla) tespit edildi. Hazırlanan nanoselüloz içerikli betonlarda nanoselüloz miktarı arttıkça eğilme dayanımı arttığı, içerisinde 1,00 g nanoselüloz bulunan betonun en fazla eğilme gerilimine sahip olduğu görüldü. Harç hazırlarken, katı haldeki nanoselülozlar 20,0'şer gram su ile karıştırıldığında, nanoselülozlar suyu kendi bünyelerine alarak jel kıvamına geçmişlerdir. Nanoselüloz miktarı arttıkça harç daha katı bir hal almış ve en fazla 1,00 g nanoselüloz ile harç karılabilmektedir. 1,00 g'ın üzerinde nanoselüloz kullanılan beton harçları çok katılaştığı için istenilen kıvam sağlanamamıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus nanoselülozun hem fiber yapıda olması hem de su ile karıştırıldığında jel kıvamına geldiği için çok homojen bir şekilde harcın her tarafına dağılmasıdır.

Öte yandan nanoselüloz haricinde kullanılan malzemeler ancak fibersiz beton kadar eğilme dayanımı göstermiştir. Beton numunelerimizin içerisine eklenen fiber yapıdaki pamuk, harç içerisinde topaklandığı için, gerilme dayanımına etkisi olamamıştır. Aynen pamuk gibi fiber yapıda olan PCL, PU gibi malzemeler de su ile etkileşime giremediklerinden harcın içerisine homojen bir şekilde dağılamamış ve betonun bütünlüğünü sağlayamadıkları için eğilme gerilmeleri küçük kalmıştır. PU, selüloz ve türevleri moleküler anlamda zincir yapısında olmalarına rağmen bu zincirler uzun fiberler oluşturmadığı için beton harcının içerisinde fiber etkisi meydana getirememişlerdir. HPMC, HEC sulu çözelti olarak harcın içerisine homojen olarak karıştırılabilmesine rağmen bozuk ve süreksiz fiber yapıda oldukları için eğilme dayanımına olumlu yönde etkileri olmamıştır.

Bu sonuçlara göre beton içerisine katılan fiber yapıdaki malzemeler eğer harcın içerisinde homojen bir şekilde dağıtılabiliyorsa çok küçük miktarlarda dahi betonun eğilme gerilimini arttırabilmektedirler. Betonun üzerine aldığı yüke karşı fiziksel dayanımını arttırmak için bizim de faydalandığımız gibi nanoselüloz kullanmak aşağıdaki nedenlerden dolayı avantajlı olabilir;

Nanoselüloz doğaldır ve tabiatta en fazla bulunan malzemelerden bir tanesi de selülozdur.

Nanoselüloz yenilenebilir, doğaya zararı olmayan bir malzemedir.

Nanoselülozun aksenel elastikiyet ölçüsü çelik tel ve Kevlara yakın olduğu için çok dayanıklı bir malzemedir.

Nanoselülozun üretimi ucuz ve kolaydır.

Nanoselüloz sulu ortamda jel halinde olduğu için beton harcına homojen bir şekilde dağılır.

Betona katılan diğer kimyasalların aksine nanoselülozun bilinen sağlığa zararlı bir etkisi yoktur.

Nanoselülozun yoğunluğu düşük olduğu için, beton harcı içerisinde kullanılması, malzemeye aşırı bir yük yüklemeyecektir.

Selülozun yüksek kimyasal ve termal kararlılığa sahip olması, uzun yıllar beton içerisinde güçlendirici eleman olarak yapısı bozulmadan kalmasını sağlayabilir.

Selüloz saydam olduğu için beton içerisindeki varlığı fark edilmez, Kristalitesi yüksek ve hava geçirgenliği fazla olduğu için beton içinde rutubete neden olmayabilir.

KAYNAKÇA

- [1] *Polymers in Concrete*, CRC Press, s. 539. **1997**.
- [2] P. Patel, N. Patel, A Literature Review on Use of Cellulose Fibres and Supplementary Material Silica Fume in Concrete: *Global Research Analysis, Volume : 2 Issue : 5* ,63-64, **2013**.
- [3] G. Yavuz, Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı: *New World Sciences Academy*, Volume: 6, Number: 4, 1001-1015 **2011**.
- [4] A. IŞIK, Depreme dayanıklı Türkiye'nin maliyeti: *Gazete Habertürk* <http://ekonomi.haberturk.com/emlak/haber/683291-depreme-dayanikli-turkiyenin-maliyeti>.(Mart **2013**).
- [5] TUBİTAK, Türkiyede Ulusal Deprem Araştırmaları Programı: http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/ARDEB/kamag/Turkiye_Ulusal_Deprem_Arastirmalari_Programi.pdf. (Şubat **2014**).
- [6] A. AKKAŞ, L. ALPASLAN, S. ARABACI, C. BAŞYİĞİT, Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri: *SDU International Technologic Science, Vol. 2, No 1, pp. 9-14, 2010*.
- [7] A. Zucchelli, M. L. Focarete, C. Gualandi, and S. Ramakrishna, Electrospun nanofibers for enhancing structural performance of composite materials: *Polym. Adv. Technol.*, vol. 22, no. 3, pp. 339–349, Mart. **2011**.
- [8] Z. Huang, Y. Zhang, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, A Review On Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications In Nanocomposites: vol. 63, pp. 2223–2253, **2003**.
- [9] R. J. Moon, A. Martini, J. Nairn, J. Simonsen, and J. Youngblood, Cellulose Nanomaterials Review: Structure, Properties And Nanocomposites: *R. Soc. Chem.*, no. 40, pp. 3941–3994, **2011**.
- [10] A. N. Frone, D. M. Panaitescu, and D. Donescu, Some Aspects Concerning The Isolation Of Cellulose Micro- And Nano- Fibers: *U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 73, Iss. 2, 2011*.
- [11] R. J. Moon, A. Martini, J. Nairn, J. Simonsen, and J. Youngblood, Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites., *Chem. Soc. Rev.*, vol. 40, no. 7, pp. 3941–94, Jul. **2011**.
- [12] D. D. H. YAZICI, Lifli Beton: Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü: <http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/OZEL%20BETON/ozelbetonders4-LIFLI.pdf> (Mayıs **2014**).
- [13] A. Bentur, S. Mindess, *Fibre Reinforced Cementitious Composites*: 2nd ed. pp. 345--346, **2006**
- [14] Zongjin Li, *Advanced Concrete Technology*: pp.328-339, **2011**.
- [15] D.Moore, *ThePantheon*: <http://www.romanconcrete.com/docs/chapt01/chapt01.htm>. (Ekim **2014**).

- [16] L. C. Lancaster, *Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome: Innovations in Context. The Journal of Roman Studies* Vol. 97 (2007), pp. 361-364, **2007**.
- [17] C. Mukerji, The Lowdown on Concrete: Pozzolane and Heroism in the History of Science: *Science and Technology Studies*, **2012**.
- [18] H.Usta, Hazır Beton Sektör Araştırması: *İstanbul Ticaret Odası*, <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-38.pdf>. **2005**.
- [19] T. Ayuba, N. Shafiqa, M. Nuruddina, Mechanical Properties of High-Performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers: Fourth International Symposium on Infrastructure Engineering in Developing Countries, *Procedia Engineering* 77 131 – 139, **2014**.
- [20] H. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*. İstanbul: *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları*, **2010**.
- [21] İ. M. B. Doç. Dr. F.KİLİNÇKALE, İstanbul Üniversitesi, Betonda Dayanıklılık: *Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri*, vol. 5, no. 427, pp. 32–33, **2003**.
- [22] B. Baradan and S. Aydın, Betonun Durabilitesi: *Hazır Bet.*, vol. Kasım-Aral, p. 54, **2013**.
- [23] H. ÜN, Yapı malzemesi Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri: *Pamukkale Üniversitesi, Yapı Malzemesi* **2007**.
- [24] Protest Yapı Araştırma ve Test Merkezi, Sertleşmiş Betonda Karot Basınç Dayanımı Testi: http://www.protest.com.tr/?page=deney_detay&grupid=4. (Haziran **2015**)
- [25] İnşaattv, <http://i.ytimg.com/vi/OTqiTx6HSMo/hqdefault.jpg>. (Haziran **2015**)
- [26] ISO 527–2. Plastics – determination of tensile properties – Part 2: test conditions for moulding and extrusion plastics. *Int Organ Stand.* **1993**.
- [27] A. E. Naaman, Reinforced Concrete: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. pp. 8095–8110, **2006**.
- [28] O. ÜNAL, G. KÜRKLÜ, Öngermeli Beton Teknolojisi: *Yapı Teknolojileri Eğitim Dergisi, cilt 3, sayı 2, sayfa 26-35*, **2007**.
- [29] L. R. Betterman, C. Ouyang, and S. P. Shah, Fiber-matrix interaction in microfiber-reinforced mortar: *Adv. Cem. Based Mater.*, vol. 2, no. 2, pp. 53–61, Mar. **1995**.
- [30] A. Hodzic and R. Shanks, Natural Fibre Composites: Woodhead Publishing S: 145-154, **2014**.
- [31] M. A. S. Mohamed, E. Ghorbel, and G. Wardeh, Valorization of micro-cellulose fibers in self-compacting concrete: *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 12, pp. 2473–2480, **2010**.
- [32] S. J. Peters, Fracture toughness investigations of micro and nano cellulose fiber reinforced ultra high performance concrete,” *Univ. Maine*, **2009**.
- [33] T. F. R. Claramunt J, Ardanuy M, Arevalo R, Pares F, Mechanical performance of ductile cement mortar composites reinforced with

- nanofibrillated cellulose, in *2nd international RILEM conference*, pp. 131–8. **2011**.
- [34] P. S. J. Nilsson, Effect of microfibrillar cellulose on concrete equivalent mortar fresh and hardened properties: *Swedish Cem. Concr. Res. Inst.*, **2011**.
- [35] H. Toutanji and Z. Bayasi, Effects of Manufacturing Techniques on the Flexural Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete: *Cem. Concr. Res.*, vol. 28, no. 1, pp. 115–124, **1998**.
- [36] R. N. Swamy and A. H. Jojagha, Impact resistance of steel fibre reinforced lightweight concrete: *Int. J. Cem. Compos. Light. Concr.*, vol. 4, no. 4, pp. 209–220, **1982**.
- [37] A. M. Brandt, *Cement-Based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance, Second Edition*. CRC Press, p. 535, **2009**.
- [38] *Concrete Under Severe Conditions 2: Environment and Loading: Proceedings of the Second International Conference on Concrete Under Severe Conditions, CONSEC '98, Tromsø, Norway, June 21-24, Volume 2*. CRC Press, p. 2208. **1998**.
- [39] *Advanced Concrete Technology 3: Processes*. Butterworth-Heinemann, p. 704, **2003**.
- [40] B. Harris, J. Varlow, and C. D. Ellis, The fracture behaviour of fibre reinforced concrete: *Cem. Concr. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 447–461, **1972**.
- [41] Y. Tanigawa, K. Yamada, S. Hatanaka, and H. Mori, A simple constitutive model of steel fibre reinforced concrete: *Int. J. Cem. Compos. Light. Concr.*, vol. 5, no. 2, pp. 87–96, May **1983**.
- [42] K. K. Sagoe-Crentsil, T. Brown, and A. H. Taylor, Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate,: *Cem. Concr. Res.*, vol. 31, no. 5, pp. 707–712, **2001**.
- [43] M. Rahman, M. . Mansur, L. . Lee, and J. . Lum, Development of a polymer impregnated concrete damping carriage for linear guideways for machine tools: *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 41, no. 3, pp. 431–441, **2001**.
- [44] BOSFA - Projects - Case Studies: <http://www.bosfa.com.au/projects/casestudies.aspx?id=44>. (Haziran **2015**).
- [45] B. Davis, Natural Fiber Reinforced Concrete: <http://people.ce.gatech.edu/~kk92/natfiber.pdf> **2007**.
- [46] P. M. Ajayan, L. S. Schadler, and P. V. Braun, Eds., *Nanocomposite Science and Technology*. Weinheim, FRG Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. **2003**.
- [47] Kamigaito, What can be improved by nanometer composites?: *Concise Encycl. Compos. Mater. Elsevier Sci. Ltd*, vol. 38, no. J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall., pp. 315–21, **1994**.
- [48] E. Suddell B, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. CRC Press, p. 896, **2005**.

- [49] E. Rozman, Tay, Abubakar, Kumar, Tensile Properties Of Oil Palm Empty Fruit Bunch-Polyurethane Composites, *Eur. Polym. J.*, vol. 37, p. 1759, **2001**.
- [50] E. KILIÇ, Elektrostatik Eğirme Yöntemi İle Polibütlen Süksinat Esaslı Nanoliflerin Hazırlanması, Karakterizasyonu Ve Doxorubicin Salımında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üni., **2012**.
- [51] H. P. S. Abdul Khalil, A. H. Bhat, and A. F. Ireana Yusra, Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review, *Carbohydr. Polym.*, vol. 87, no. 2, pp. 963–979, **2012**.
- [52] D. Klemm, *Comprehensive Cellulose Chemistry*. Wiley, vol: 2, pp: 385, **1998**.
- [53] J. Blamire, Polysaccharides: *BIOdotEDU*:
http://www.brooklyn.cuny.edu/bc/ahp/LAD/C4c/C4c_polysaccharides.html, **2004**, (Mayıs **2014**)
- [54] Garret-Grissham, Chemistry 420 - Principles of Biochemistry Structure of Cellulose, *Sunders College Publishing*.
<https://www3.nd.edu/~aseriann/cellulose.html>. (Haziran **2015**)
- [55] H. P. S. Abdul Khalil, Y. Davoudpour, M. N. Islam, A. Mustapha, K. Sudesh, R. Dungani, and M. Jawaid, Production And Modification Of Nanofibrillated Cellulose Using Various Mechanical Processes: A Review, *Carbohydr. Polym.*, vol. 99, pp. 649–65, **2014**.
- [56] H. DOĞAN, Doğal Bir Polimer Olan Selüloz Ve Türevleri, *Türkiye Kimya Sanayicileri Derneği Kimyasal Forum E-Bülten Eylül* **2013**.
- [57] E. Sjöström, *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. pp: 125 **1993**.
- [58] A. Sarko and C. of E. S. and F. C. R. Institute, *Proceedings of the 9. Cellulose Conference: Symposium on cellulose and wood as future chemical feedstocks and sources of energy, and general papers*. Wiley, p. 1118, **1983**.
- [59] R. H. Atalla, C. S. International, A. Isogai, S. Studies, N. S. Methods, R. Spectroscopy, I. Spectra, E. M. Studies, and C. Modeling, 6.16 Celluloses, **2010**.
- [60] E. E. Brown, D. Hu, N. Abu Lail, and X. Zhang, Potential of nanocrystalline cellulose-fibrin nanocomposites for artificial vascular graft applications., *Biomacromolecules*, vol. 14, no. 4, pp. 1063–71, Apr. **2013**.
- [61] K. Khanari, K. Syverud, and P. Stenius, Emulsions Stabilized by Microfibrillated Cellulose: The Effect of Hydrophobization, Concentration and O/W Ratio, *J. Dispers. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 3, pp. 447–452, **2011**.
- [62] K. Syverud, H. Kirsebom, S. Hajizadeh, and G. Chinga-Carrasco, Cross-Linking Cellulose Nanofibrils For Potential Elastic Cryo-Structured Gels, *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 6, no. 1, p. 626, **2011**.

- [63] Albert MIHRANYAN, Cellulose from Cladophorales Green Algae: From Environmental Problem to High-Tech Composite Meterials, *Nanotechnol. Funct. Mater.*, vol. 119, no. 4, pp. 2449–2460, **2010**.
- [64] T. Skoog, Holler, *Principles of Instrumental Analysis*, 5. ed. p. 850, 1998,
- [65] E. Abraham, B. Deepa, L. Pothan, J. Cintil, S. Thomas, M J. John, R. Anandjiwala, and S. Narine, Environmental friendly method for the extraction of coir fibre and isolation of nanofibre., *Carbohydr. Polym.*, vol. 92, no. 2, pp. 1477–83, **2013**.
- [66] E. Abraham, B. Deepa, L. a. Pothan, M. Jacob, S. Thomas, U. Cvelbar, and R. Anandjiwala, Extraction Of Nanocellulose Fibrils From Lignocellulosic Fibres: A Novel Approach, *Carbohydr. Polym.*, vol. 86, no. 4, pp. 1468–1475, **2011**.
- [67] S. C. Mojumdar and L. Raki, Synthesis, Thermal And Structural Characterization Of Nanocomposites For Potential Applications In Construction, *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 86, no. 3, pp. 651–657, Oct. **2006**.
- [68] Y. ESEN, “Poliakrilonitril Lifi Takviyeli Betonlarda Süneklik ve Rötire Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi.” *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, MUŞ, pp. 108–112, **2003**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Ahmet CENGİZ

Doğum Yeri: Konya

Medeni Hali: Evli

E-posta: ahmetcengiz323@gmail.com

Adresi: Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölüm, Fizikokimya ABD, 06800, Beytepe, Ankara/TÜRKİYE

Eğitim

Lise: Selçuklu Anadolu Lisesi, Konya (2002-2004)

Lisans: Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü (2005-2010)

Y.Lisans: Hacettepe Üniversitesi, Kimya Bölümü (2010-2015)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce-Orta

İş Deneyimi

2013-.....: Subay, Jandarma Eğitim Komutanlığı/ANKARA

Deneyim Alanları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

