

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SELÜLOZ FİMLERİN SANDVIÇ LEVHALARDA YÜZEY  
KAPLAMA MALZEMESİ OLARAK KULLANIM OLANAKLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orm. End. Müh. Hüsnü YEL**

**AĞUSTOS 2009  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SELÜLOZ FİLMLEİN SANDVIÇ LEVHALARDA YÜZEY KAPLAMA  
MALZEMESİ OLARAK KULLANIM OLANAKLARI**

**Orm. End. Müh. Hüsnü YEL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Orman Endüstri Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02.07.2009  
Tezin Savunma Tarihi : 06.08.2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. İsmail AYDIN**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. İlhan DENİZ**



**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2009**

## ÖNSÖZ

“Selüloz Filmlerinin Sandviç Levhalarda Yüzey Kaplama Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları” isimli bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans Tez danışmanlığımı üstlenerek, araştırmanın planlanma ve yürütülmesinde, bilimsel desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yardımların esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim.

Avusturya’daki Bodenkultur Wien üniversitesinde, araştırmanın planlanması, yürütülmesi, deney örneklerinin üretimi ve testlerinin yapılmasına imkân sağlayan, bilgi, tecrübe ve yardımlarından faydalandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Wolfgang GINDL’a teşekkür etmeyi zevkli bir görev bilirim.

Yapılan çalışmaya görüş ve önerileriyle katkı sağlayan Sayın Hocam Prof. Dr. İlhan DENİZ’e, selüloz filmlerin yanma mukavemeti testlerinin yapılmasında emeği olan Sayın Hocam Prof. Dr. Halit KANTEKİN’e, Balsa odununun mikroskopik incelenmesinde yardımlarını gördüğüm Sayın Doç. Dr. Bedri SERDAR ve Araş. Gör. Turgay BİRTÜRK’e ve tez yazım aşamasında tecrübesinden faydalandığım Arş. Gör. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR’a teşekkür ederim.

Deney örneklerinin üretim ve testlerinin yapılması için gerekli olan tüm materyali tedarik eden Bodenkultur Wien Üniversitesi’ne ve büyük yardımlarını gördüğüm Odun Bilimi ve Teknolojisi Enstitüsü’nün değerli çalışanlarına, akademik ve idari personeli ve emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Ayrıca, selüloz filmin üretimi için gerekli olan lyocell lifini ücretsiz gönderen İstanbul’daki Topkapı İplik ve Avusturya’daki Lenzing şirketlerine çok teşekkür ederim.

Son olarak, emeklerini asla ödeyemeyeceğim sevgili babama ve rahmetli anneme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Hüsnü YEL  
Trabzon 2009

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar(ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2. Kompozit Materyaller.....	3
1.2.1. Kompozit Materyallerin Sınıflandırılması.....	5
1.3. Hafif Sandviç Levhalar.....	7
1.3.1. Sandviç Levhalarda Yüzey Tabakaları.....	14
1.3.2. Sandviç Levhalarda Orta Tabaka.....	15
1.3.3. Sandviç Levhalarda Deformasyon.....	18
1.4. Selüloz.....	22
1.4.1. Lyocell Lifi.....	26
1.4.1.2. Lyocell Liflerin Özellikleri.....	28
1.4.2. Selülozun LiCl/DMAc İçinde Çözünmesi.....	30
1.4.2.1. Selüloz Filmlerin Gerdirilme İşlemi.....	33
1.5. Biyolojik Olarak Bozunabilen Polimer Tutkallar.....	37
1.6. Bor Bileşikleri.....	38
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	41
2.1. Materyal.....	41
2.1.1. Ağaç Malzeme.....	41
2.1.1.1 Balsa Odunu Hakkında Genel Bilgiler.....	41
2.1.2. Lyocell Lifi.....	47
2.1.3. Etanol.....	47
2.1.4. Aseton.....	48

2.1.5.	N,N-Dimetil Asetamid.....	48
2.1.6.	Lityum Klorür.....	49
2.1.7.	Çinko Borat.....	50
2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi.....	51
2.2.1.	Selüloz Filmlerin Üretimi.....	51
2.2.2.	Çinko Borat Katkılı Selüloz Film Üretimi.....	53
2.2.3.	Selüloz Filmlerin Gerdirilmesi.....	54
2.2.4.	Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	57
2.3.	Araştırma Yöntemi.....	61
2.3.1.	Çekme Direnci.....	61
2.3.2.	Eğilme Direnci.....	63
2.3.3.	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	64
2.3.4.	Yanma Mukavemeti.....	65
2.4.	İstatistik Yöntemler.....	66
3.	BULGULAR.....	67
3.1.	Mekanik Özellikler.....	67
3.1.1.	Eğilme Direnci.....	67
3.1.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	74
3.1.3.	Çekme Direnci.....	81
3.1.4.	Çekmede Elastikiyet Modülü.....	82
3.2.	Yanma Mukavemeti.....	84
4	İRDELEME.....	87
4.1.	Mekanik Özellikler.....	87
4.1.1.	Eğilme Direnci.....	87
4.1.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	91
4.1.3.	Çekme Direnci.....	94
4.1.4.	Çekmede Elastikiyet Modülü.....	98
4.2.	Yanma Mukavemeti.....	99
5.	SONUÇLAR.....	102
5.1.	Eğilme Direnci.....	102
5.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	103
5.3.	Çekme Direnci.....	104
5.4.	Çekmede Elastikiyet Modülü.....	105

5.5.	Yanma Mukavemeti.....	105
6.	ÖNERİLER.....	106
7.	KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Ağırlıkça kalın fakat hafif orta tabaka materyallerin ince yüzey tabaka materyalleri ile kaplanması sonucunda elde edilen sandviç levhalar; güçlü, hafif ve oldukça dayanıklı materyallerdir. Öte yandan petrokimya ürünlerin meydana getirdiği artan çevresel sorunlar, insanların %100 biyolojik olarak bozunabilir çevre dostu ürünlere yönelmesine neden olmuştur. Sandviç levhaların %100 biyolojik olarak bozunabilmesi için bileşenlerinin de % 100 biyolojik olarak bozunabilir olması gerekmektedir.

Bu çalışmada; lyocell liflerinin LiCl/DMAc çözeltisi içinde çözünmesi sonucu elde edilen gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmlerin lif yönüne göre beş farklı açıda (0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°) hazırlanan balsa odunu üzerine PVA tutkalı ile yapıştırılarak üretilen sandviç levhaların bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, selüloz film üretiminde Çinko Borat kullanılarak selüloz filmlerin yanmaya karşı dayanımının artırılması da amaçlanmıştır.

Orta tabaka malzemesi olarak 2 farklı kalınlık (4 ve 6mm) ve 2 farklı özgül ağırlıkta (100 ve 230kg/ m<sup>3</sup>) balsa odunu kullanılmıştır. Yüzey tabaka malzemesi olarak ise gerdirilmiş ve gerdirilmemiş 0.11mm kalınlığında selüloz filmler kullanılmıştır. Çinko borat ise; 5 farklı oranda (%0.35, %0.75, %1.5, %2.5 ve %3.5) lyocell-LiCl/DMAc çözeltisine eklenerek selüloz filmlerin üretiminde kullanılmıştır.

Test sonuçlarına göre, gerdirilmiş selüloz filmler ile kaplı balsa odununda, kontrol örneklerinden liflere dik yönde 2, liflere paralel yönde 5; gerdirilmemiş selüloz filmlerle kaplı balsa odununda ise liflere dik yönde 1.5 kat daha fazla direnç değerleri elde edilmiştir. Çinko boratın ise selüloz film üretiminde %1.5'a kadar kullanılmasının filmin mekanik özelliklerinde önemli bir düşüşe neden olmadığı, aksine artırdığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lyocell, LiCl/DMAc, gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmler, çinko borat, sandviç levha, mekanik özellikler, biyolojik olarak bozunabilirlik

## SUMMARY

### Usage Possibilities of Cellulose Films As Face Material in Sandwich Panels

Because of a rising demand for material features such as renewability, sustainability, and biodegradability, bio-based materials are increasing their importance, particularly with regard to composites. In order to manufacture fully biodegradable sandwich panel, all the constituents of sandwich panel must be fully biodegradable.

Cellulose films were prepared by dissolving lyocell fibers in LiCl/*N,N*-dimethylacetamide solvent and subsequently coagulating and drying them under ambient conditions. Some of the films produced were uniaxially drawn to 1.5 draw ratios. Balsa sheets were coated by the undrawn or drawn cellulose films by using polyvinylacetate (PVAc), biodegradable glue, at ambient conditions. Two type thicknesses and two type densities of balsa wood were used; (4 and 6mm) and (100 and 230kg/m<sup>3</sup>), respectively. According to fiber direction of the balsa wood, the films were glued on balsa wood in five different angles; 0°, 22.5°, 45°, 67.5° and 90°. Flexural properties were characterized by means of bending test with the lightweight sandwich panel. In the sandwich samples coated by the drawn films, in the values of Modulus of Elasticity and Modulus of Rapture at 0 degree to fiber direction were found 2 times higher than those of balsa sheets and 1.5 times higher than those of undrawn films-coated balsa sheets. These values at 90° to fiber direction were found 5 times higher than those of balsa sheets. For 0.11mm of the cellulose film, the best values were found in the samples with 4mm thickness balsa core.

In addition, while lyocell fibers are dissolving in LiCl/DMAc, zinc borate was added to the solution in five different ratios (0.35%, 0.75%, 1.5%, 2.5% and 3.5%). Tensile properties of the cellulose films were determined by means of Zwick Roell universal testing machine. Fire-retardant tests were performed by Thermo Gravimetric Analysis (TGA) device. It is shown that adding zinc borate in 0.35% and 0.75% ratios to the solution increased tensile properties of cellulose films and the fire-retardant of cellulose films with zinc borate increased with increasing the ratios of zinc borate.

**Key Words:** Drawn and undrawn cellulose films, lyocell fibers, LiCl/DMAc solvent, zinc borate, flexural properties, and lightweight sandwich panel, fully biodegradable



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Saman takviyeli kerpiç üretimi ve çam ağacının kompozit yapısı.....	4
Şekil 2. Kompozit materyallerin sınıflandırılması .....	5
Şekil 3. Sandviç panellerde biyotaklit yaklaşımı .....	7
Şekil 4. Eğilme yükü altındaki sandviç panel ve yekpare materyal .....	8
Şekil 5. Sandviç panellerde elastikiyet modülü ve eğilme direncinin kalınlık eksenindeki değişimi.....	8
Şekil 6. Orta tabaka kalınlık artışının eğilme, rijitlik ve ağırlık üzerine etkisi .....	9
Şekil 7. Bal peteği (Honeycomb) sandviç levha .....	10
Şekil 8. Bal peteği orta tabaka ve çok daha az boşluğa sahip orta tabakaların (balsa, köpük, v.s) yüzey tabaka ile birleştirilmesindeki fark .....	11
Şekil 9. DendroLight ve kuşkanadı içyapısı arasındaki benzerlik .....	12
Şekil 10. Lif açısına göre elastikiyet ve makaslama direnci değişimi .....	13
Şekil 11. Sandviç panellerde yüzey tabakadan kaynaklanan deformasyon örnekleri .....	14
Şekil 12. Orta tabakadan kaynaklanan deformasyon örnekleri .....	15
Şekil 13. Hafif sandviç paneller .....	16
Şekil 14. Bazı orta tabaka materyallerin maliyetlerinin karşılaştırılması .....	17
Şekil 15. Yüzey basınç başarısızlığı .....	18
Şekil 16. Aşırı eğilme .....	19
Şekil 17. Levha bükülmesi .....	19
Şekil 18. Makaslama deformasyonu .....	20
Şekil 19. Yüzey tabaka deformasyonu .....	20
Şekil 20. Orta tabaka hücre çökmesi .....	20
Şekil 21. Bölgesel basınç deformasyonu .....	21
Şekil 22. Sandviç panel uygulama yerleri .....	22
Şekil 23. Odun enine kesiti ve lifsi yapısı .....	23
Şekil 24. Selüloz ve odundan üretilen ürünlerin elastik modülü değerleri.....	24
Şekil 25. Bir odun hücresinin bileşenleri .....	24
Şekil 26. Selülozun moleküler zinciri .....	25
Şekil 27. Lyocell lifi üretim şeması .....	26
Şekil 28. N-mthylmorpholine-N-oxide [NMMO]'nın kimyasal yapısı .....	27

Şekil 29. Aminoksit muamelesiyle ile üretilen lyocell'in genel görünümü ve enine kesiti .....	29
Şekil 30. Selülozun DMAc/LiCl çözeltisinde çözünmesi .....	32
Şekil 31. Bir selüloz lifiyle WAXS deneyinin kurulumu .....	34
Şekil 32. Gerdirilmemiş selüloz film ve 1.5 çekme oranına kadar gerdirilmiş selüloz film'in WAXS verisi .....	34
Şekil 33. Gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmlerde yoğunluk dağılımı .....	35
Şekil 34. Farklı çekme oranlarında gerdirilmiş selüloz filmlerinin tek eksenli çekme testinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	36
Şekil 35. Balsa ağacının yaprak ve gövde görünümü .....	42
Şekil 36. Balsa odunun hücre geometrisi .....	43
Şekil 37. Balsa orta tabaka malzemesi ile diğer orta tabaka malzemelerine ait özgül ağırlık- makaslama direnci grafiği .....	46
Şekil 38. Balsa orta tabaka malzemesi ile diğer orta tabaka malzemelerine ait özgül ağırlık-basınç direnci grafiği .....	46
Şekil 39. Selüloz film üretim şeması.....	51
Şekil 40. Selüloz film üretimi .....	53
Şekil 41. Hava kurusu selüloz filmin suya batırılması ve ıslak filmin ebatlarında kesilmiş hali.....	54
Şekil 42. Zwick 20 kN üniversal test makinesine yerleştirilmiş şerit selüloz film .....	55
Şekil 43. ( $D_R$ , çekme oranı 1.5) çekme oranına kadar gerdirilmiş ıslak film ve gerdirilmiş halde kurutulmuş film.....	56
Şekil 44. Gerdirilmiş ve kurutulmuş selüloz film.....	56
Şekil 45. Balsa odunu üzerine yapıştırılmış gerdirilmiş selüloz filmler.....	57
Şekil 46. Üretilen sandviç levha örneklerinin genel görünümü .....	58
Şekil 47. Sandviç levha örneğinin enine kesiti .....	59
Şekil 48. Çekme testi için hazırlanan deney örnekleri .....	62
Şekil 49. Çekme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği.....	62
Şekil 50. Sandviç levha test örnekleri .....	63
Şekil 51. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü üç noktalı test düzeneği.....	64
Şekil 52. A Seiko II Exstar 6000 termogravimetrik cihazı .....	65
Şekil 53. Lif açısı ve yüzey tabaka türünün yüksek yoğunluktaki Balsa odununun eğilme direnci üzerine etkisi.....	87

Şekil 54. Lif açısının ve yüzey tabaka türünün düşük yoğunluktaki Balsanın eğilme direnci üzerine etkisi.....	88
Şekil 55. Orta tabaka kalınlığının ve yüzey tabaka türünün yüksek yoğunluktaki Balsa odunun eğilme direnci üzerine etkisi .....	89
Şekil 56. Kontrol levhanın gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	90
Şekil 57. Gerdirilmemiş film yüzeyli sandviç levhanın gerilme-şekil değiştirme grafiği	90
Şekil 58. Gerdirilmiş film yüzeyli sandviç levhanın gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	90
Şekil 59. Lif açısının ve yüzey tabaka türünün yüksek yoğunluktaki Balsa odunun (230kg/m <sup>3</sup> ) eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi .....	91
Şekil 60. Lif açısının ve yüzey tabaka türünün düşük yoğunluktaki Balsa odununun eğilme direnci üzerine etkisi.....	92
Şekil 61. Orta tabaka kalınlığı ve yüzey tabaka türünün yüksek yoğunluktaki Balsa odununun eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi .....	93
Şekil 62. Çinko Borat oranının selüloz filmlerin çekme direnci üzerine etkisi .....	94
Şekil 63. Kontrol selüloz filmin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	94
Şekil 64. %0.35 Çinko Borat'lı çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği..	95
Şekil 65. %0.75 Çinko Borat'lı selüloz filmlerin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	95
Şekil 66. %1.5 Çinko Borat'lı selüloz filmlerin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	96
Şekil 67. %2.5 Çinko Borat'lı selüloz filmlerin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	96
Şekil 68. %3.5 Çinko Borat'lı selüloz filmin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği .....	96
Şekil 69. Çinko Borat oranının selüloz filmlerin çekmede elastikiyet değerleri üzerine etkisi .....	97
Şekil 70. Çinko Borat oranının selüloz filmlerin yanma mukavemeti üzerine etkisi.....	98
Şekil 71. Selüloz filmlerin yanma mukavemetlerine ait bozunma grafikleri.....	99

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Sandviç panel uygulamasının panel ağırlığı, eğilme direnci ve rijitlik üzerine etkisi.....	9
Tablo 2. Lyocell grubu lifler ve üretici firmalar .....	28
Tablo 3. Lyocell ve diğer selülozik liflerin bazı fiziksel özellikleri .....	30
Tablo 4. Selüloz filmlerin özelliklerinin lyocell lifi ile karşılaştırılması .....	36
Tablo 5. Biyolojik olarak bozunabilen polimer tutkallar .....	37
Tablo 6. Dünya toplam bor rezervinin ülkelere göre dağılımı .....	38
Tablo 7. Dünya bor üretici ülkelerin bor mineralleri ve rafine bor ürünlerinin sekrörel dağılımı .....	40
Tablo 8. Balsa odununun anatomik özelliklerine ait sayısal değerlerin ortalaması ...	44
Tablo 9. Balsa odununun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri .....	45
Tablo 10. Balsa odunu direncinin diğer odun türleriyle karşılaştırılması .....	45
Tablo 11. Lyocell'e ait bazı özellikler.....	47
Tablo 12. Etanol'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler .....	48
Tablo 13. Aseton'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler .....	48
Tablo 14. DMAc'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler .....	49
Tablo 15. Lityum klorür'e ait kimyasal ve fiziksel özellikler .....	49
Tablo 16. Çinko boratın kimyasal ve fiziksel özellikleri .....	50
Tablo 17. Test edilen sandviç levha örnek tipleri .....	60
Tablo 18. Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri .....	67
Tablo 19. Selüloz film türünün, Balsa yoğunluğu ve lif açısının sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları....	68
Tablo 20. Kaplanmamış yüksek yoğunluktaki Balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	69
Tablo 21. Gerdirilmemiş selüloz film ile kaplanmış yüksek yoğunluktaki Balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	69
Tablo 22. Gerdirilmiş selüloz film ile kaplanmış yüksek yoğunluktaki Balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	70
Tablo 23. Kaplanmamış Balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	70

Tablo 24. Gerdirilmemiş selüloz film kaplanmış sandviç levhalarda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	71
Tablo 25. Gerdirilmemiş selüloz film kaplanmış sandviç levhalarda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	71
Tablo 26. Sandviç levhaların eğilme direnci değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları .....	71
Tablo 27. Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri .....	72
Tablo 28. Yüzey tabaka türü ve orta tabaka kalınlığının sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları .....	72
Tablo 29. 6mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç levhanın eğilme direnci üzerine yüzey tabaka türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	73
Tablo 30. 4mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde yüzey tabaka türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	73
Tablo 31. Sandviç levhaların eğilme direnci değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları.....	74
Tablo 32. Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri .....	74
Tablo 33. Selüloz film türü, Balsa odununun yoğunluğu ve lif açısının sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları .....	75
Tablo 34. Deneme levhalarının ortalama eğilme direnç değerleri.....	76
Tablo 35. Gerdirilmemiş selüloz film kaplı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları ..	76
Tablo 36. Gerdirilmiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları...	77
Tablo 37. Kaplanmamış düşük yoğunluktaki Balsa odununda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları...	77
Tablo 38. Gerdirilmemiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	77
Tablo 39. Gerdirilmiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları.....	78
Tablo 40. Sandviç levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin duncan test sonuçları .....	78
Tablo 41. Deneme levhalarının ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	79
Tablo 42. Yüzey tabaka türü ve orta tabaka kalınlığının sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları .....	79
Tablo 43. 6mm kalınlıktaki Balsa odunu ile üretilen sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine yüzey tabaka türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	80

Tablo 44.	4mm kalınlıktaki Balsa odunu ile üretilen sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine yüzey tabaka türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	80
Tablo 45.	Sandviç levhaların eğilmede elastikiyet değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları.....	81
Tablo 46.	Selüloz filmlerin ortalama çekme direnci değerleri .....	81
Tablo 47.	Selüloz film üretiminde çinko borat kullanım oranının çekme direnci üzerine etkilerine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	81
Tablo 48.	Çinko borat katkılı selüloz filmlerin çekme direnci değerlerine ilişkin duncan test sonuçları .....	82
Tablo 49.	Selüloz filmlerin ortalama çekmede elastikiyet modülü değerleri .....	82
Tablo 50.	Selüloz film üretiminde çinko borat kullanım oranının çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	83
Tablo 51.	Selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin duncan test sonuçları.....	83
Tablo 52.	Çinko boratlı selüloz filmlerin ortalama ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri .....	84
Tablo 53.	Selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine çinko borat oranının etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları .....	84
Tablo 54.	Selüloz filmlerin ilk bozunma sıcaklık değerleri üzerine çinko borat kullanım oranının etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	85
Tablo 55.	Selüloz filmlerin ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine çinko borat kullanım oranının etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları .....	85
Tablo 56.	Çinko boratlı selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları .....	86

## SEMBOLLER DİZİNİ

LiCl	: Lityum klorür
DMAc	: N,N-dimetil asetamid
PVA	: Poli vinil asetat
ZnB	: Çinko Borat
K <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	: 6cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + 0° lif açısı
K <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + 90° lif açısı
K <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + 67.5° lif açısı
K <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + 45° lif açısı
K <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + 22.5° lif açısı
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + 0° lif açısı
K <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + 90° lif açısı
K <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + 67.5° lif açısı
K <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + 45° lif açısı
K <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + 22.5° lif açısı
K <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + 0° lif açısı
N <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	: 6cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 0° lif açısı
G <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	: 6cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 0° lif açısı
N <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 90° lif açısı
N <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 67.5° lif açısı
N <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 45° lif açısı
N <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 22.5° lif açısı
N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 0° lif açısı
N <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 90° lif açısı
N <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 67.5° lif açısı
N <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 45° lif açısı
N <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 22.5° lif açısı
N <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmemiş film + 0° lif açısı
G <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 90° lif açısı
G <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 67.5° lif açısı
G <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 45° lif açısı

G <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 22.5° lif açısı
G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	: 4cm ve 230kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 0° lif açısı
G <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 90° lif açısı
G <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 67.5° lif açısı
G <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 45° lif açısı
G <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 22.5° lif açısı
G <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	: 4cm ve 100kg/m <sup>3</sup> balsa + gerdirilmiş film + 0° lif açısı
RZB	: Selüloz film
0.35ZnB	: Selüloz film + %0.75 Çinko borat
0.75ZnB	: Selüloz film + %0.75 Çinko borat
1.5ZnB	: Selüloz film + %0.75 Çinko borat
2.5ZnB	: Selüloz film + %0.75 Çinko borat
3.5ZnB	: Selüloz film + %0.75 Çinko borat



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Tarih boyunca insanlar yaşantılarını kolaylaştırmayı sağlayacak çalışmalar yapmayı ve yenilikler ortaya koymayı hedeflemişlerdir. Bu gelişim odun esaslı levha endüstrisinde de kendini göstermiş, maliyet artışlarına paralel olarak verimliliği artırma gereksinimi, standart levhalarındaki gereksiz ağırlığı azaltma amacı ve hammadde darboğazı, hafif odun kompozitlerin gelişmesini tetiklemiştir.

Hafif sandviç konstrüksiyonlu ürünler, son 40–50 yıl içinde kompozit pazarının temel bileşeni haline gelmiştir. Ağırlıkça hafif ve kalın orta tabaka materyallerin ince yüzey tabaka materyalleri ile kaplanması sonucu; güçlü, hafif ve oldukça dayanıklı materyallerin elde edilmesi büyük oranda pratiklik sağlamıştır. Bu çalışmaların sonucunda, sandviç panellerde sadece %3 oranındaki ağırlık artışı ile eğilme dayanımında 3,5, rijitlikte ise 7 katlık bir iyileşme sağlanabilmiştir [1].

Sandviç panellere basınç yükü uygulandığında; üst yüzey tabakası gerilme kuvvetine maruz kalırken, alt tabaka çekme, orta tabaka ise makaslama kuvvetine maruz kalmaktadır. Eğilme kuvveti altındaki bir sandviç panelde, merkez'e (nötr bölge) doğru gidildikçe basınç ve çekme kuvveti azalmakta ve tam merkezde sıfır olmaktadır. Bu nedenle, orta tabakanın yüzey materyaller kadar basınç ve çekme kuvvetine dayanıklı olmasına gerek yoktur.

Sandviç panellerin son gelişmelerinden biri olan dendrolight sandviç panellerin orta tabakası özel bir tasarıma sahiptir. Maksimum makaslama direncini elde etmek için bu tabaka, 45°'lik bir açıyla çapraz şekilde yerleştirilmiş hücrelerden oluşmaktadır. Bal peteği sandviç panellerde olduğu gibi dendrolight sandviç panelin tasarımında da insan ve doğanın yapısı örnek alınmış olup, benzerliği kuşkanadının kemiklerinin iç kısmında görmek mümkündür. Dendrolight paneller maliyet dezavantajı yanında normal masif odun gibi işlenebilmesi ve yongalevhadan 4–5 kat daha fazla eğilme direncine sahip olması gibi avantajlara sahiptir.

Son yıllarda, düşük fiyatlarda yüksek performanslı yeni materyaller için araştırmalar hız kazanmıştır. Artan çevresel duyarlılıkla birlikte araştırmalar özellikle çevre dostu materyaller üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum, yapısal fonksiyonel materyallere yeni

bir eğilimi işaret etmektedir [1]. Böyle materyallerin gelişmesi sadece bilim adamları için büyük bir eylem faktörü olmamış, aynı zamanda dünya çevresindeki insanların yaşam standardını geliştirmek için önemli bir fırsat kaynağı olmuştur. Çeşitli matris ve doğal veya sentetik takviye (güçlendirici) elemanları kullanarak hazırlanan kompozit materyaller, tasarım ve çok amaçlı optimasyon uygulamaları ile arzu edilen yapısal ve tasarım gereksinimlerini karşılamak için bir materyalin geliştirilmesi veya seçimi bu felsefenin örneklerindedir.

Kompozitlerin biyolojik bozunabilirliği insanoğlu için yeni bir şey değildir. Bu tip materyallerin kullanımı MÖ 200 yıllara dayanmaktadır. Buna, Çin Seddi'nin gözetleme kulelerinin yapımında kullanılan saman takviyeli kerpiçler örnek gösterilebilir. O dönemden günümüze kompozit materyaller; farklı hammadde, üretim ve hatta uygulama yöntemleri ile gelişmeler göstermiştir [2].

Levha ürünlerinin üretiminde doğal polimerlerin kullanımı tarih boyunca devam etmiştir. Bunun yanında 1940'lı yılların başından 1980'li yılların sonuna kadarki süreçte petrol esaslı polimerlerin düşük maliyetleri nedeniyle, doğal polimerlerin kullanımı azalmıştır. Ancak 1990'lı yıllarda tekrar bir diriliş ile doğal polimerler ve lignoselülozik liflerin kullanımına olan ilgi artmıştır. Bunun için pek çok neden söz konusu iken, çevre duyarlılığın artması, petrol kaynaklarının sınırlı olması ve lignoselülozik lifler gibi doğal materyallerin morfolojileri ve özellikleri üzerinin iyileştirilebilmesinin mümkün olması baskın etkenler olarak gözükmektedir. Böylece biyolojik olarak bozunabilir kompozit esaslı yeni materyallerin anlaşılması ve gelişimi büyük oranda artmıştır [1].

Polimer pazarının %80'ini oluşturan ticari polimerlerin çoğu yüksek fiyatlı, biyolojik olarak bozunmayan ve yinelenemeyen petrol esaslı ürünlerdir. Tamamen yinelenebilir ve biyolojik olarak bozunabilir nanokompozitleri üretmek için, hem polimerik matris hem de güçlendirici yinelenebilir kaynaklar kullanılmaktadır.

Sanayi devriminden günümüze kadar insan yaşamının hemen hemen her alanına girmiş olan petrokimya ürünlerinin, bir takım sağlık problemlerinin yanında doğada çok uzun yıllar bozunmadan kalmaları sebebiyle yaptıkları çevresel sorunlar, insanları alternatif kaynaklar aramaya zorlamıştır.

Bu çalışmada; hem bu sakıncaları minimize eden, hem de doğada en çok kullanıma elverişli bir materyal olan selülozun, DMAc/LiCl içinde çözünmesi sonucu elde edilen selüloz filmlerinin, doğada biyolojik olarak bozunabilen PVAc tutkalı ile balsa odunu üzerine yapıştırılarak balsa odunun eğilmede elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri

üzerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Denemelerin başarıya ulaşması ve sanayi boyutunda üretime geçilmesi durumunda üretilecek olan sandviç levhaların kullanım ömrünün tamamlanmasının ardından doğada %100 bozunmasının mümkün olması nedeniyle çevre kirliliğine etkisi olmayacaktır. Böylece üretici ve kullanıcılar için daha çevre dostu ürünlerin üretilebilmesi mümkün olacaktır.

## 1.2. Kompozit Materyaller

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş iki veya daha fazla materyal veya fazlardan oluşan materyal sistemine kompozit materyal denir. En geniş anlamda, bir kompozitler iki veya daha fazla bileşenden meydana gelen materyallerdir. Bu bileşenler makroskobik seviyede bir araya getirilirler ve birbirleri içinde çözünmezler [3].

Kompozit materyaller imalat sanayi ve yeni teknoloji ürünlerinde çok önemli bir rol üstlenmiştir. Bilim adamları gelişmeler paralelinde; ekonomik, yüksek mukavemetli ve hafif materyalleri imal etme yolunu seçmişlerdir. Kompozit materyalallerin oluşum aşamasında doğa ve canlıların yapısı ilham kaynağı ve örnek olmuştur.

İnsan vücudundaki çoğu dokular yüksek eğilme kabiliyeti gösteren liflerden meydana gelmiş olup, zorlanma ve yüklenmelere karşı koyabilmek için düzene konulmuş ve birbirlerinin üstünde kayarak dokunun dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Tüm odunsu dokularda olduğu gibi bambu odununun da yapısı incelendiğinde liflerden oluştuğu görülmektedir. Bu da aslında kompozit materyallerin dünyanın var oluşundan beri hayatiyetinin varlığını ortaya çıkarmaktadır [1].

Kompozit materyaller ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı 20. yüzyılın ikinci yarısından günümüze kadarki zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Tabiatta bulunan ilk doğal kompozit materyal çam ağacıdır [4]. Çünkü çam ağacı temel olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmaktadır. Çam ağacının içi kışın sert ve kırılkan, yazın ise yumuşak ve esnektir. En ilkel yapay kompozit materyal örneği ise saman takviyeli kerpiçlerdir, Şekil 1.



Şekil 1. Saman takviyeli kerpiç üretimi ve çam ağacının kompozit yapısı [5]

Kompozit materyaller uçak tasarımcılarına olağanüstü avantajlar sunmaktadır. Alüminyumla karşılaştırıldığında, odunsu materyaller daha az enerji sarfiyatı ile işlenmesi yanında, uzun süreli yüklemeye ve korozyona karşı da dayanıklıdır. Son 20 yılda, askeri uçaklardaki kullanım bu kompozitlerin gelişimine büyük katkı sağlarken, bugün yeni ticari uçak gelişiminde de kompozitlerin payı büyük oranda artmıştır. Örneğin, Boeing 777'nin ağırlığının % 12'sini kompozitler oluştururken, bu oran Boeing 787 için yaklaşık % 50'lik bir kullanım oranına ulaşmıştır [6].

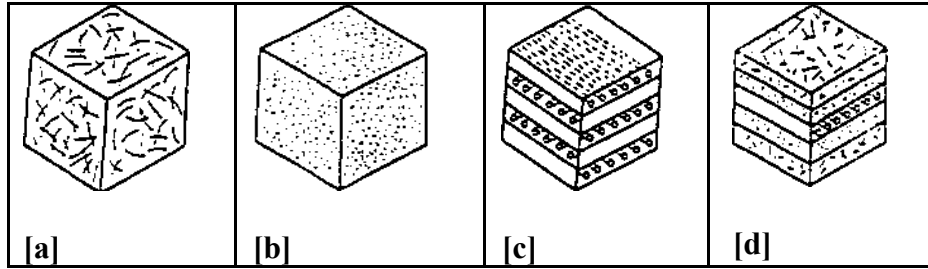
Kompozit materyal kullanımı ile malzemelerin çeşitli özellikleri iyileştirilebilir. Bu özellikler;

- 1) Mukavemet
- 2) Rijidite
- 3) Korozyon direnci
- 4) Aşınma direnci
- 5) Görünüm güzelliği
- 6) Ağırlık
- 7) Yorulma direnci
- 8) İmalat kolaylığı
- 9) Akustik izolasyon
- 10) Isıya dayanıklılık
- 11) Isı izolasyonudur.

Doğal olarak, yukarıda sözü edilen özelliklerin hepsinin aynı anda iyileştirilmesi beklenemez. Ancak; kullanım yeri gereksinimine göre genellikle bir veya iki özelliğin geliştirilmesi hedeflenmektedir [5].

### 1.2.1. Kompozit Materyallerin Sınıflandırılması

Kompozitlerin sınıflandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki materyallerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekli aşağıda verilmektedir.



Şekil 2. Kompozit materyallerin sınıflandırılması [7]; a) Lifli kompozitler, b) Parçacıklı kompozitler, c) Tabakalı kompozitler, d) Karma kompozitler

a) Lifli kompozitler: Bu kompozit tipi ince liflerin (elyaf) matris yapıda yer almasıyla meydana gelmektedir. Liflerin matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun liflerin matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile lifler doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, liflere dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş lif takviyeleri her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa lifler ile de izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Liflerin mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, liflerin uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından liflere iletilen yük miktarı artmaktadır. Lif yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise lif matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise liflerle temas azalacaktır. Nem absorpsiyonunda lif ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

b) Parçacıklı kompozitler: Bir matris materyal içinde başka bir materyalin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılarıdır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tipi plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlik ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksek olup, uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler.

c) Tabakalı kompozitler: Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı lif yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isı ve neme dayanıklı yapılarıdır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen materyallerdir. Sürekli lif takviyeli tabakalı kompozitler uçak sanayinde, kanat ve kuyruk grubunun üretiminde yüzey kaplama materyali olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

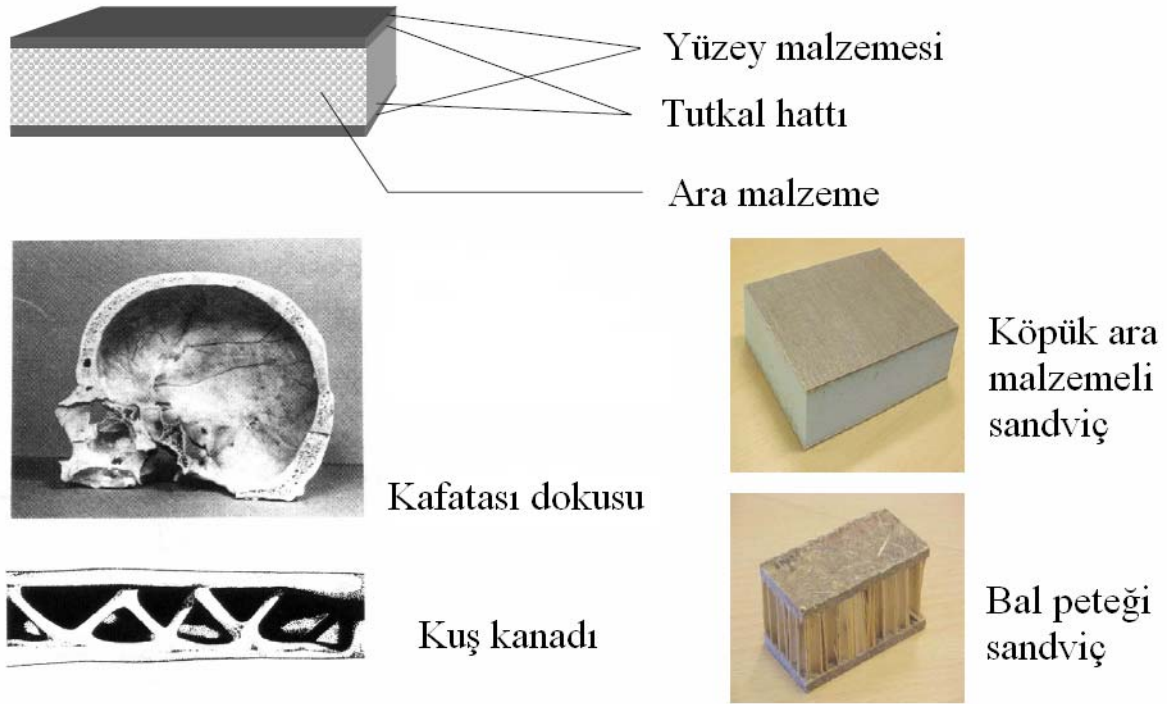
Uçak sanayinde, yaygın bir kullanım alanı olan sandviç paneller tabakalı bir kompozit materyal örneğidirler. Sandviç paneller, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir orta tabaka materyalinin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.

d) Karma (Hibrid) kompozitler: Aynı kompozit yapıda iki yâda daha fazla lif çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denilir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir liftir, ancak basınç mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basınç mukavemeti olan bir liftir. Bu iki lifin kompozit yapısında yer almasıyla üretilen hibrid kompozitin, tokluğu grafit kompozitten iyi, maliyeti düşük ve basınç mukavemeti de kevlar lifli kompozitlerden daha yüksektir [8].

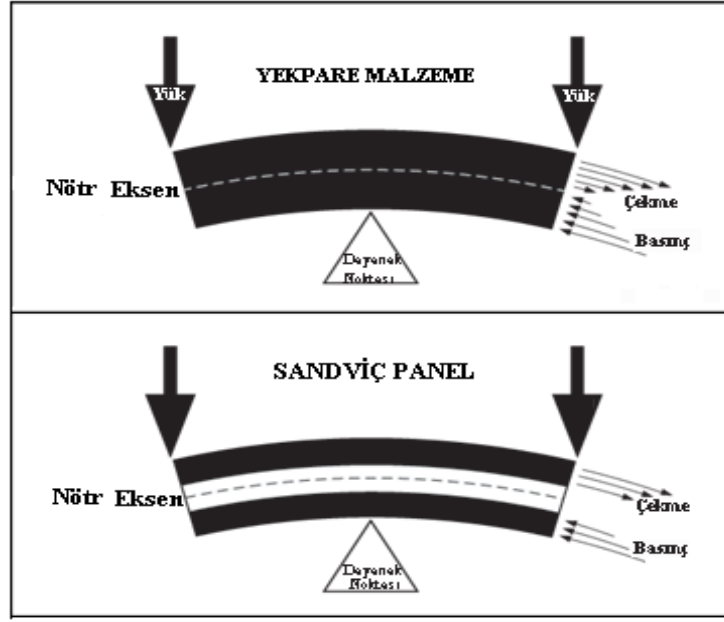
### 1.3. Hafif Sandviç Paneller

Sandviç paneller, bileşenlerinin en iyi özelliklerini alarak oluşan, hafif ama dayanıklı yapı materyalleridir. Bu sandviç sistemin ilk kullanımı II. Dünya Savaşı sırasında uçak sanayisinde olmuştur. O günden sonra bu teknoloji önemli gelişmeler göstermiştir. Günümüzde uzay mekiğinden, daire iç kapılarına kadar çok değişik alanlarda sandviç panel sistemi uygulanmaktadır [9].

Sandviç paneller, dirençli, rijit ve hafif yapıların gerekli olduğu taşıma, inşaat ve uçak gibi çeşitli ileri uygulamalarda kullanılmaktadır [10]. Sağlam materyaller üretmek isteyen bilim adamları doğaya yönelmektedir. Sandviç panellerin oluşum aşamasında da doğa ve insanın yapısı ilham kaynağı ve örnek olmuştur. Şekil 3’de doğada var olan sandviç yapı örnekleri ve bu örneklerden taklit edilen panellere örnekler verilmiştir.



Şekil 3. Sandviç panellerde biyotaklit yaklaşımı [11]



Şekil 4. Eğilme yükü altındaki sandviç panel ve yekpare materyal [11]

Şekil 4’de görüldüğü üzere, yekpare materyalin yüzeyinden nötr eksenine yaklaştıkça basınç veya çekme gerilimi azalmakta ve nötr ekseninde sıfır olmaktadır. Bu nedenle, orta kısmındaki materyalin yüzey materyaller kadar dirençli ve kaliteli olmasına gerek yoktur. Bu durum Şekli 5’de daha iyi anlaşılmaktadır. Orta tabakada daha hafif ve düşük dirençli materyal kullanılarak çok az ağırlık artışıyla yüksek elastikiyet modülü ve eğilme direnci elde edilebilmektedir.


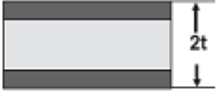



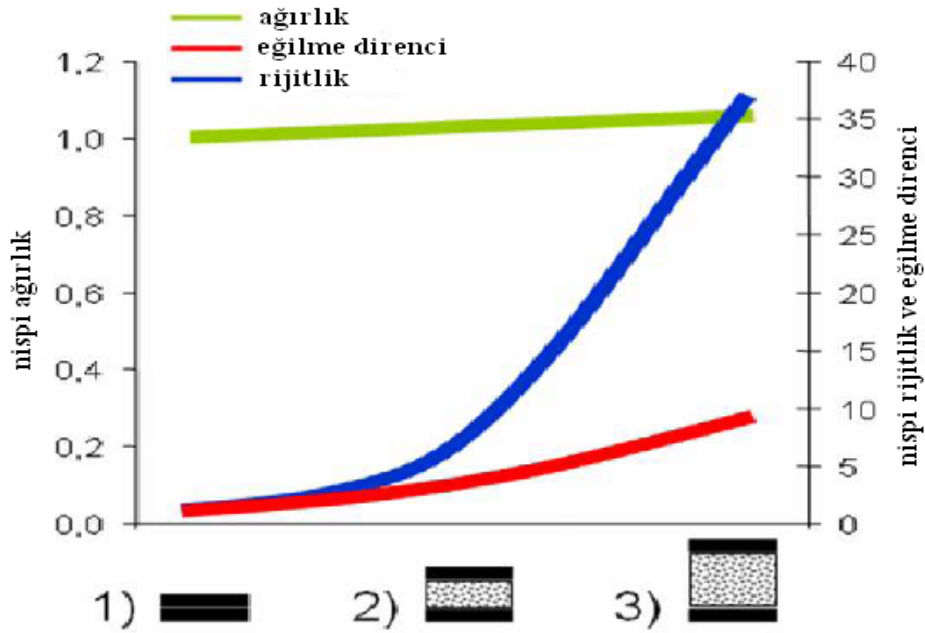
Şekil 5. Sandviç panellerde elastikiyet modülü ve eğilme direncinin kalınlık eksenindeki değişimi [11].



Sandviç konstrüksiyonlu ürünler, geçen 45 yıl içinde kompozit pazarının temel bileşeni haline gelmiştir. İnce yüzey tabaka materyallerin, ağırlıkça hafif ve kalın orta tabaka materyallerine yapıştırılması sonucunda güçlü, hafif ve oldukça dayanıklı materyallerin elde edilmesi, büyük bir pratiklik sağlamıştır. Sandviç konstrüksiyon kullanılarak, %3 oranında bir ağırlık artışı ile eğilme dayanımında 3,5 kat, rijitlikte ise 7 katlık bir artış sağlanabilmektedir, Tablo 1[12].

Tablo 1. Sandviç panel uygulamasının panel ağırlığı, eğilme direnci ve rijitlik üzerine etkisi [11]

			
Nispi Rijitlik	100	700	3700
Nispi E. Direnci	100	350	925
Nispi Ağırlık	100	103	106



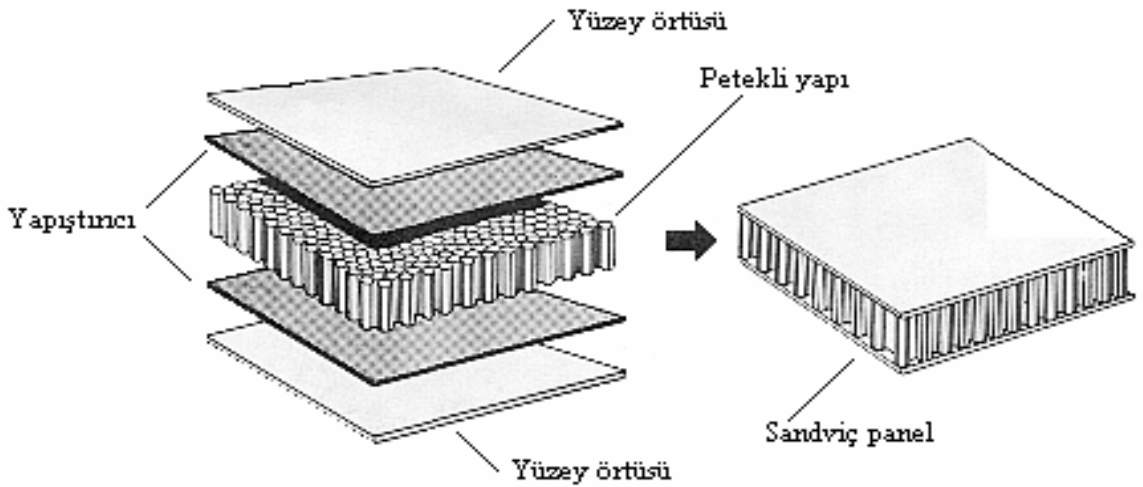
Şekil 6. Orta tabaka kalınlık artışının eğilme, rijitlik ve ağırlık üzerine etkisi [11]

Sandviç levhaların önemli özellikleri; yüzey tabaka materyalinin elastikiyet modülü (young's modülü), orta tabakanın mekanik özellik ve kalınlığına ve panelin işlevini yerine getirmesi için tekniğine uygun yapışma ve presleme ana faktörlerine bağlıdır.

Bir sandviç panelin mekanik özellikleri, yüzey ve orta tabakanın özelliklerine ve geometrisine bağlıdır [13].

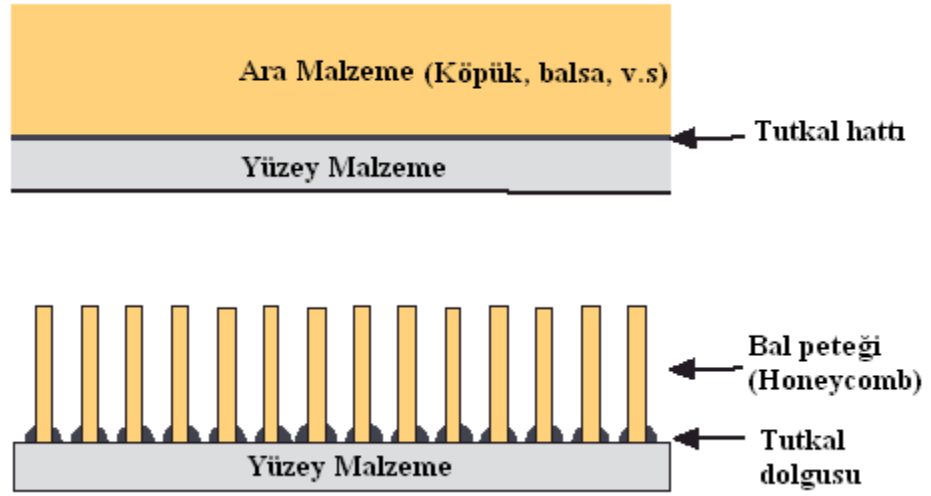
Sandviç levha üretimi düşük ağırlıkta yüksek eğilme rijitliği sağlamanın etkili bir yoludur [14]. Sandviç paneller birden fazla materyalin değişik teknikler kullanılarak birleştirilmesiyle ortaya çıkarlar. Genelde kullanım amacına uygun iki yüzey tabaka materyalinin arasında amaca uygun olarak seçilmiş orta tabaka bulunur [15]. Sandviç panellerde orta tabakalar makaslama yüklerine karşı koyarken, güçlü ve rijit olan yüzey tabaka materyaller eğilme yüklerini taşımaktadır. Ayrıca orta tabaka kalınlığı arttıkça sandviç panellerin rijitlik ve eğilme dirençlerinde önemli oranda artış gerçekleşmektedir (Şekil 4).

Bal peteği [Honeycomb]: Kompozit imalatında kullanılan petekli yapı, çok ince tabakaların şekillendirilmesi sonucu elde edilen hücrelerin birleştirilmesi ile oluşturulur. Petekli kompozit yapılar yaklaşık olarak 1940'dan sonra havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde kullanılmaya başlanılmıştır. Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşturulurlar [13]. Şekil 7'de bal peteği sandviç yapı örneği yer almaktadır.



Şekil 7. Bal peteği (Honeycomb) sandviç levha örneği [16]

Sandviç panellerde kullanılan bal peteği orta tabakalar metalik veya kompozit esaslı olabilir. Metalik bal peteği çok ince alüminyumdan, kompozit bal peteği ise kâğıt veya nylon/aramid lifleri ve epoksi veya fenolik bir reçineden üretilirler. Ataşe dayanıklı Nomex en yaygın kullanılan bal peteği sistemlerinden biridir. Bal peteği sistemleri dış tabakalara yapıştırılması oldukça zordur. Ancak üstün mukavemet/ağırlık oranları sağlayan çekirdek yapıları oluştururlar [17].



Şekil 8. Bal peteği orta tabaka ve çok daha az boşluğa sahip orta tabakaların (balsa, köpük, v.s) yüzey tabaka ile birleştirilmesindeki fark [18]

Tüm orta tabaka materyallerinin özgül ağırlığının artmasıyla mekanik özelliklerinde de bir artış gözlemlenmektedir. Fakat orta tabaka materyalinin özgül ağırlığı ne kadar düşük olursa, hücre boşluk hacmi de o kadar büyük olmakta ve bu da tutkal hattında fazla tutkalın emilmesine neden olmaktadır. Ayrıca, bu daha az yapışma yüzeyine neden olacağı için yüzey-orta tabaka ayrılma problemine neden olabilir.

Sandviç panellerde, balsa, köpük gibi orta tabaka materyalleri geniş yüzeylere sahip oldukları için bal peteği orta tabaka materyallere göre yüzey tabaka materyallerle çok daha iyi yapışma performansı sağlamaktadır (Şekil 8).

Hafif Sandviç Panellerde Yeni Bir Ürün Dendrolight: Son günlerde, DendroLight adında hafif sandviç panellerin yeni bir türü, Avusturya orman ürünleri şirketi olan Dendro Light Holzwerkstoffe GmbH tarafından geliştirilmiştir. Çalışmalar henüz tamamlanmamıştır. DendroLight, işlenmesi ve kullanımı masif odun veya yongalevhadan hala daha

karışık (komplike) olan bal peteği panellere alternatif bir çözüm olarak planlanmaktadır. Panel tipi ahşap yapı materyalleri alanında yeni bir gelişme olup, hafif levha talebini karşılayacağı tahmin edilmektedir.

DendroLight üç tabakalı bir levhadır. İnce dış tabaka materyali uygulama yerine göre değişmekte olup, genelde masif odun, kontrplak veya ince yonga veya lif levhadan oluşmakta ve levhanın temel rijitliğini sağlamaktadır.

Orta tabakada tüm ağaç türleri kullanılabilir, fakat öncelikli olarak ladin odunu tercih edilmektedir. Bu tabaka; 45° meyilli çapraz şekilde yerleştirilmiş küçük hücrelerden oluşmaktadır. Hücreler dik açıda birbirleriyle kesişmektedir. Orta tabakanın üretiminde yaklaşık %50 oranında bir testere artığı oluşmaktadır. Bu testere artıkları liflevha ve yongalevha üretiminde değerlendirilebilir. Levhaların mekanik özellikleri ve bu özelliklerin optimizasyonu için farklı tabaka kalınlığı, farklı toplam levha kalınlığı ve farklı materyaller ile çoklu bir dizaynın geliştirilmesi çalışmaları Avusturya Boden Kultur Wien Üniversitesi, Materyal Bilimi ve Proses Teknolojisi Bölümü, Odun Bilimi ve Teknolojisi Enstitüsü'nde devam etmektedir.



Şekil 9. DendroLight ve kuşkanadı içyapısı arasındaki benzerlik [11, 18]

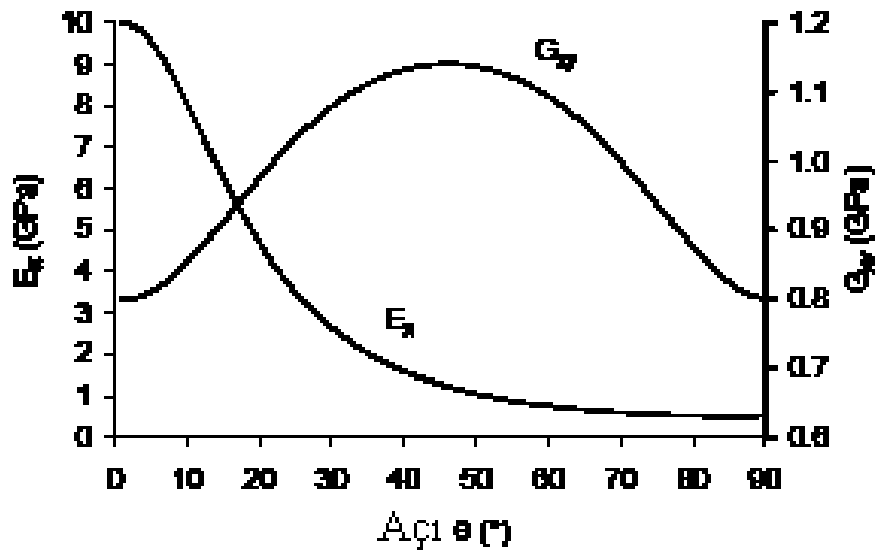
Şekil incelendiğinde kuşkanadının yapısı ile dendroLight levhanın yapısının birbirine benzediği görülmektedir. İnsanoğlu mükemmel ürünler elde etmek için bilinçli yada bilinçsiz olarak doğadaki varlıkların yapısını örnek almıştır. Hafif sandviç yapılu materyallerin orta tabakalarının makaslama direncinin yüksek olması istenmektedir. Burada, amaç orta tabakada makaslama direncini maksimum değere ulaşmasını

sağlamaktır. Yapılan araştırmalara göre, maksimum makaslama direncinin liflerin yzeyeye 45°'lik bir açıyla dizilmesi durumunda elde edildiği belirlenmiştir. Kuşkanadının orta kısmındaki kemiklerin rastgele değil makaslama direncini maksimum yapacak şekilde dizildiği düşünülebilir. Bu mantıktan hareketle, kompozit panellerin üretiminde maksimum direnç elde etmenin yanında düşük özgül ağırlığa sahip levha üretimi günümüz araştırmalarının yönünü belirlemiştir.

Bu rnnler maliyet dezavantajı yanında aşağıdaki avantajlara sahiptir;

- Masif odun gibi işlenebilir (zel makineler, yapıştırıcılar veya birleştirme aparatları gerekmez),
- Diğer ürünlerden oldukça daha düşük ağırlığa sahiptir (zgl ağırlık: 250–300 kg/m<sup>3</sup>),
- Yongalevhadan 4–5 kat daha fazla eğilme direncine sahiptir,
- Isı izolasyonuna sahiptir (ladin odunundan daha iyidir),
- Yanma dayanımına sahiptir.

şekil 10'da lif açısına göre elastikiyet ve makaslama direnci değişimini gösteren grafik verilmiştir. Grafikte maksimum makaslama direnci değerinin 45°'lik lif açısında elde edildiği görülmektedir.



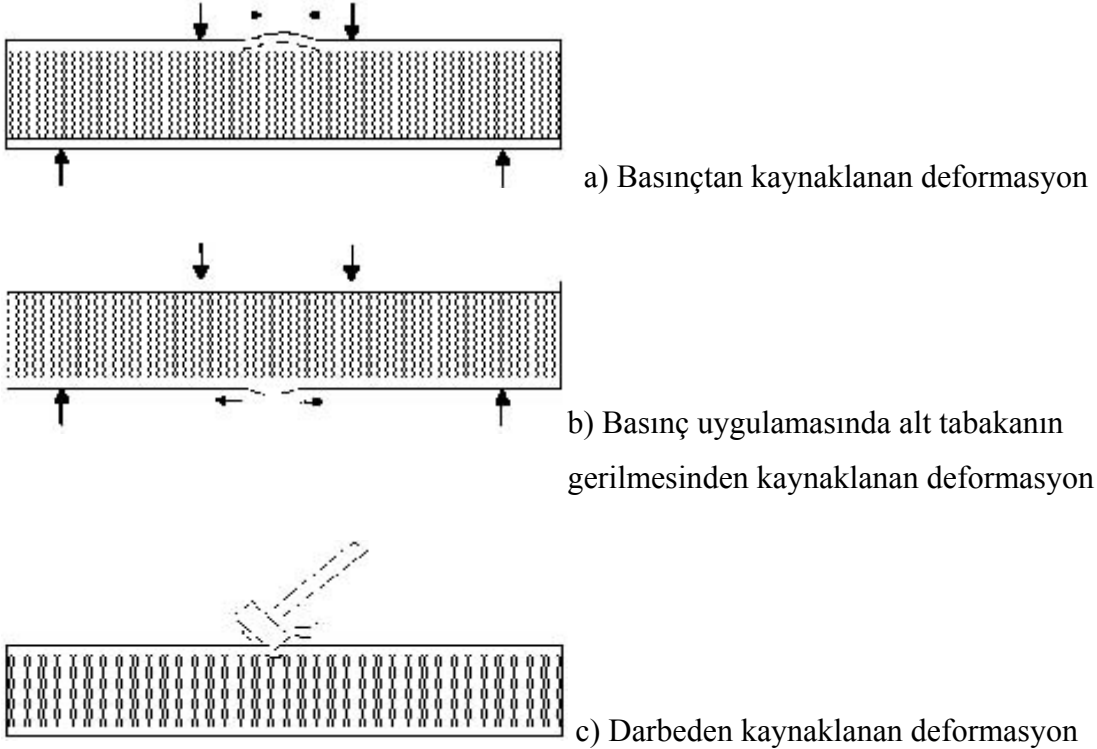
şekil 10. Lif açısına göre elastikiyet ve makaslama direnci değişimi [5]

### 1.3.1. Sandviç Levhalarda Yüzey Tabakaları

Yüzey tabakayı oluşturan materyal, orta tabaka materyalinin her iki tarafına yapıştırılan ve çekme ve basınç kuvvetlerine maruz kalan kısımdır. Sandviç panellere basınç yükü uygulandığında üst yüzey tabakası gerilme kuvvetine maruz kalırken, alt tabaka çekme kuvvetine maruz kalmaktadır. Yüzey tabaka olarak; kontrplak, masif kaplama, tutkal emdirilmiş bir kâğıtla kaplı kontrplak, OSB, MDF, HDF, yongalevha, cam lifi güçlendirmeli polimer veya laminat, metale yapıştırılmış kaplamalar ve metaller (alüminyum, çelik magnezyum) kullanılmaktadır. Kompozit endüstrisinde en çok kullanılan yüzey materyalleri cam ve karbondur.

Sandviç panellere yük uygulandığında yüzey kaplama materyallerinde bazı deformasyonlar oluşabilir. Bu deformasyonlar; kaplama tabakasının kabarak orta tabakadan ayrılması, bollaşarak yüzey buruşukluğu oluşması veya kopmalar şeklinde görülür.

Şekil 11’de yüzey materyali deformasyon örnekleri verilmiştir. Bu kusurların oluşmaması için kullanılan yüzey tabaka materyallerinin çekme ve basınç kuvvetlerine karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

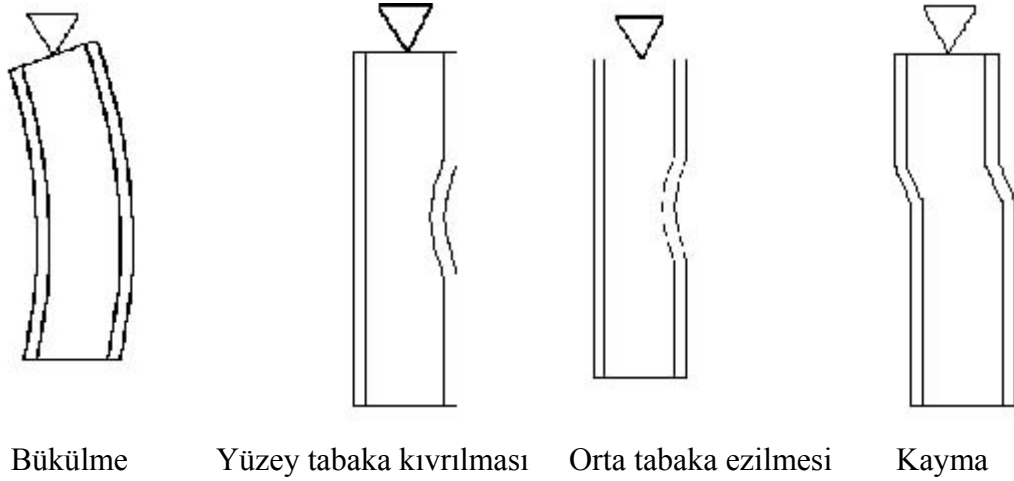


Şekil 11. Sandviç panellerde yüzey tabakadan kaynaklanan deformasyon örnekleri [18]

### 1.3.2. Sandviç Levhalarda Orta Tabaka

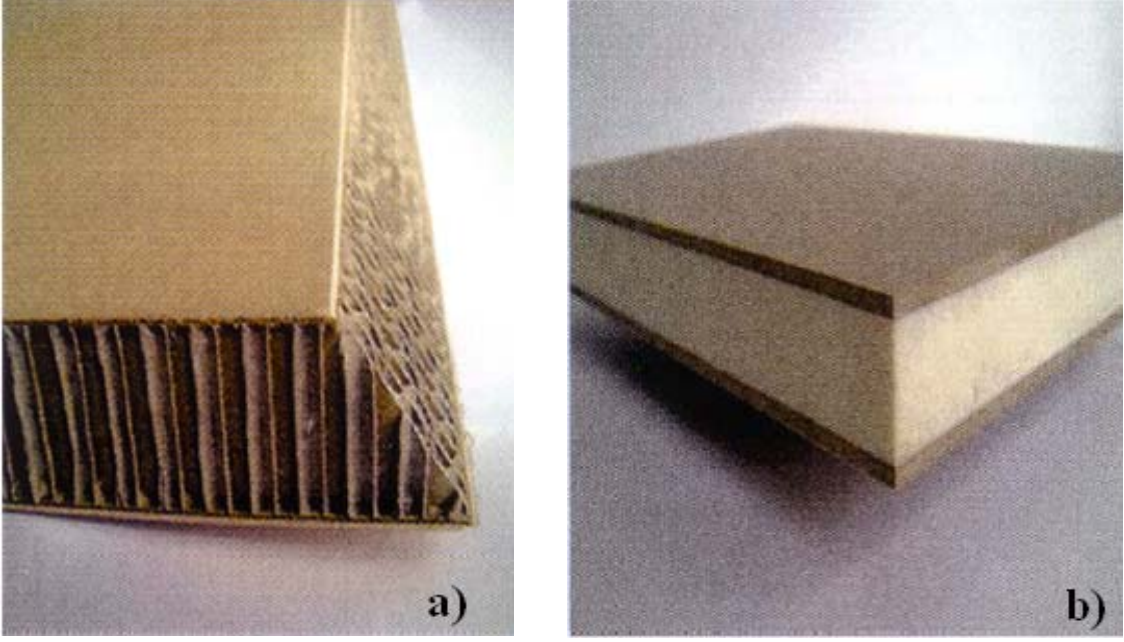
Mühendislik teorisinde, herhangi bir panelin eğilme rijitliğinin kalınlığının küpü ile doğru orantılı olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, bir sandviç paneldeki orta tabaka materyali kullanımının amacı, düşük özgül ağırlıklı orta tabaka materyal ile kalınlığı artırarak sandviç panelin rijitliğini arttırmaktır. Bu şekilde çok az bir ağırlık artışıyla çok yüksek bir rijitlik artışı sağlanabilir.

Orta tabakanın makaslama direnci ve dayanım değerleri sandviç panelde en önemli kriterleridir. Sandviç panellere dar yüzeyden uygulanan yükün etkisiyle meydana gelen deformasyonları (Şekil 12) en aza indirmek için orta tabaka materyalleri yüzey tabaka materyallerini destekler ve itme ve çekme kuvvetlerine karşı dayanıklılık sağlar [18].



Şekil 12. Orta tabakadan kaynaklanan deformasyon örnekleri [18]

Orta tabaka olarak; balsa gibi hafif odunlar, kauçuk köpükler, bal peteği esaslı tutkal emdirilmiş kâğıtlar, güçlendirilmiş plastikler, delikli yongalevhalar, genişletilmiş plastikler, köpüklü camlar, hafif beton ve kil ürünleri, metaller kullanılmaktadır [11]. En yaygın kullanılanlar ise sentetik köpük, bal peteği ve balsa odunudur. Bazı orta tabaka materyalleri, sandviç panelden arzu edilen mekanik özellikleri elde edebilmek için oluklu olarak hazırlanırlar [12]. Bunlara ait bazı örnekler Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 13. Hafif sandviç paneller (11);

- a) SWAP levha (orta tabaka materyal: kâğıt bal peteği, yüzeyler: kontrplak),  
 b) Kapa levha (orta tabaka materyal: PUR köpüğü, yüzeyler: HDF) .

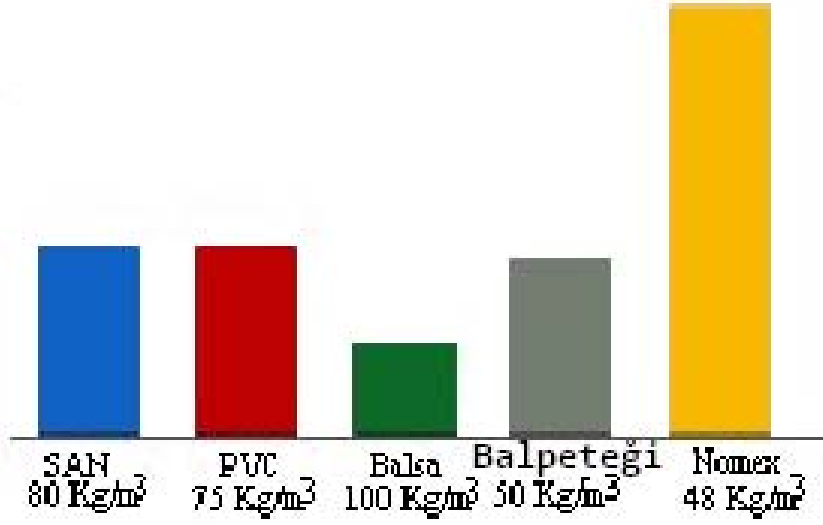
Orta tabaka (çekirdek materyal) birkaç önemli fonksiyona sahiptir;

İyi bir hafif sandviç panelde;

1. Yüzey tabaka materyalleri arasındaki mesafenin korunması ve bir biri üzerinde kaymaması için orta tabaka yeterince rijit olmalıdır.
2. Bu durum gerçekleştirilemez ise, yüzey tabaka materyalleri iki bağımsız panel gibi hareket etmekte ve sandviç etkisi kaybolmaktadır.
3. Orta tabaka materyalleri; yüzey tabaka materyallerin paralellliğini koruyabilmesi için yeterince rijit olmalıdır. Aksi takdirde, basınç kuvvetinin yüzey ile temas ettiği bölgelerde çökmeler meydana gelebilir. Orta tabaka materyali yeterince rijit olursa, bir bütün olarak panelin eğilme rijitliğine önemli katkı sağlayabilir [2].

Orta tabakayı oluşturan materyaller maliyet bakımından da farklılıklar göstermektedir. Yapılan araştırmalara göre bu materyallerin en ucuzu Balsa odunu olurken, en pahalısı ise Nomax'tır. Buda Balsa odununun daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır.





Şekil 14. Bazı orta tabaka materyallerin maliyetlerinin karşılaştırılması [19]

#### Sandviç Panellerin Avantajları;

- Yüksek ağırlık–direnç ve rijitlik oranı: çok az ağırlık artışına (sadece orta tabaka materyal ile karşılaştırıldığında) karşı yüksek hacim artışı olmaktadır. Materyal eğme ve bükme kuvvetlerine karşı yüksek performans göstermektedir [11].
- Renk seçenekleri vardır.
- Diğer yapı materyalleri ile birlikte kullanıma uygun olduğundan dizayn kolaylığı sağlar.
- Yangına dayanıklı olan seçenekleri vardır.
- Uzun ömürlüdürler.
- Montajı, yerinde yapılan sandviç sistemlere göre %50 daha hızlıdır.
- Isı yalıtımı yüksektir, enerji sarfiyatından tasarruf sağlar.
- Akustik ve ses kontrol özelliği olan tipleri vardır.
- Hafif olduklarından taşıyıcı sistem ve temel maliyetinde tasarruf sağlanır.
- Aksesuarları ile paket olarak satışa sunulur.
- Estetiktir.

Dezavantajları ise;

- Yüksek maliyetlidirler [üretim ve üretim dizaynı].
- Geri dönüşümü zordur.
- Bağlayıcı materyallerle birleştirmek zordur (vidalar, çiviler ve cıvatalar kullanılamaz).
- Kenar problemi: orta tabakanın boşluklu ve dayanıksız materyalden oluşması kenarların kaplanmasını zorlaştırmaktadır [11].

### 1.3.3. Sandviç Panellerde Deformasyon

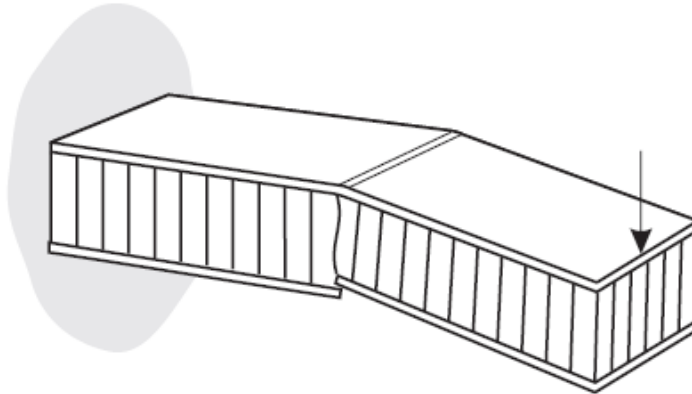
Sandviç panellerde üretim esnasında dikkat edilmediği takdirde esas olarak iki tip sorun ortaya çıkmaktadır.

Bunlardan birincisi, doğru teknik kullanılmaması ve ilgili parametrelerin tam kontrollü uygulanmaması halinde ortaya çıkacak olan ayrılma (Tabakaların birbirine yapışmamış olması) yani delaminasyon sorunudur.

İkinci husus ise; yüzey ve orta tabaka materyallerin yanlış veya amacına uygun olarak seçilmemesi sonucu ortaya çıkan sorunlardır [15].

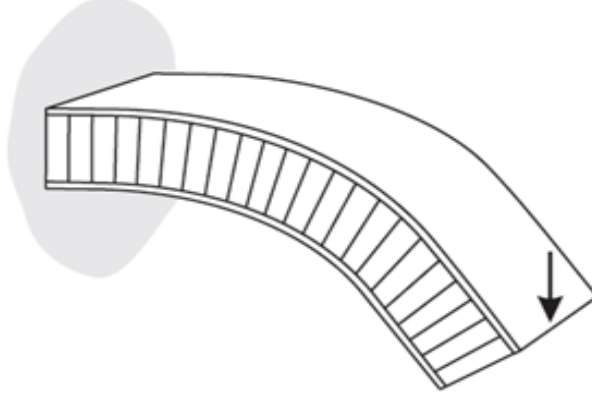
Hafif Sandviç panellerde çeşitli faktörler etkili rol oynarlar. Bunlar;

**Direnç (dayanım):** Yüzey ve orta tabakalar çekme, basınç ve makaslama gerilimlerine karşı koyabilmelidir. Yüzey ile orta tabaka arasındaki tutkal hattı, yüzey ve orta tabaka arasındaki makaslama gerilimi tüm levhaya yayabilmelidir [20].



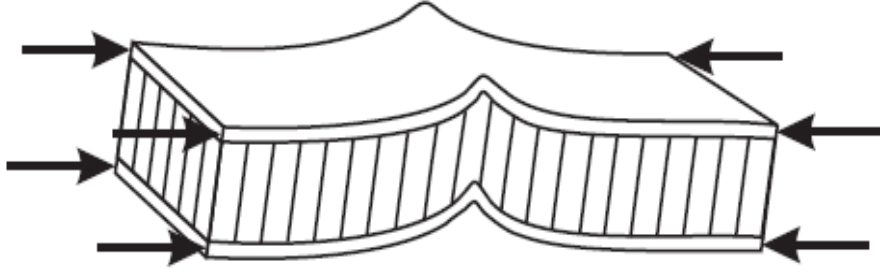
Şekil 15. Yüzey basınç başarısızlığı [20]

Rijitlik: Sandviç paneller, aşırı eğilmeleri önlemek için yeterli eğilme ve makaslama rijitliğine sahip olmalıdır [20].



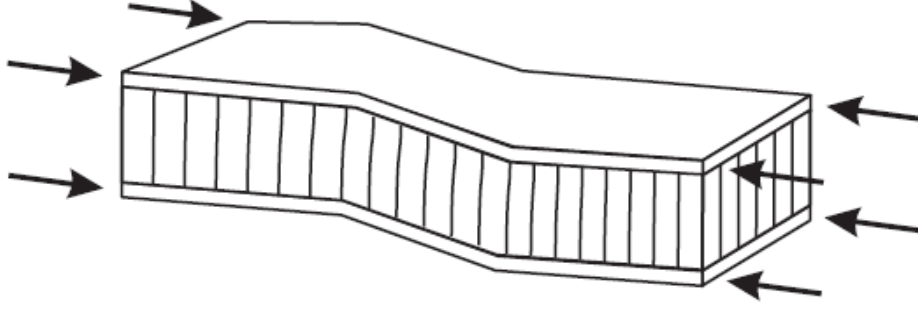
Şekil 16. Aşırı eğilme [20]

Panel Bükülmesi: Orta tabaka kalınlığı ve makaslama modülü, uç basınç yükleri altında paneli bükülmekten koruyabilecek kadar güçlü olmalıdır [20].



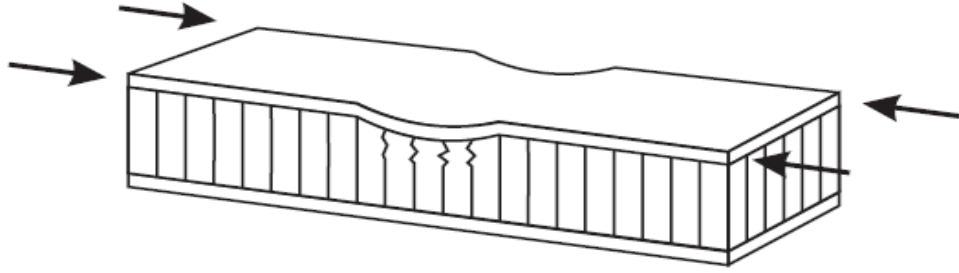
Şekil 17. Panel bükülmesi [20]

Makaslama Kıvrılması (kayma): Uç basınç yükleri altında erken makaslama başarısızlığına karşı orta tabakayı koruyabilmek amacıyla bu tabakanın kalınlığı ve makaslama modülü, yeterli olmalıdır [20].



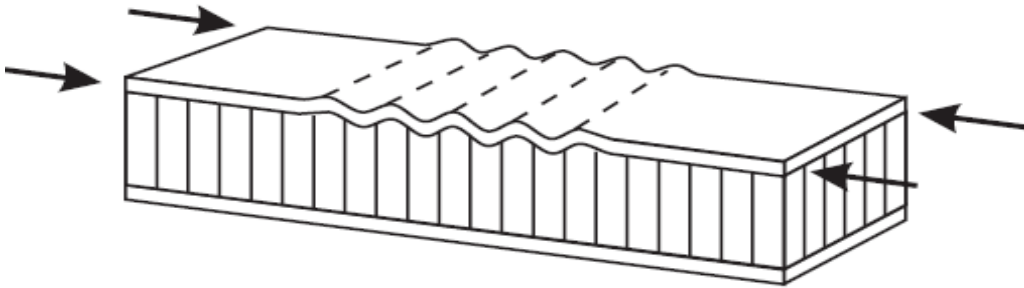
Şekil 18. Makaslama deformasyonu [20]

Yüzey Buruşması (yüzey tabaka kıvrılması): Üst yüzey tabakanın basınç modülü ve orta tabakanın basınç direnci, yüzey buruşma deformasyonunu önleyebilecek kadar yüksek olmalıdır [20].



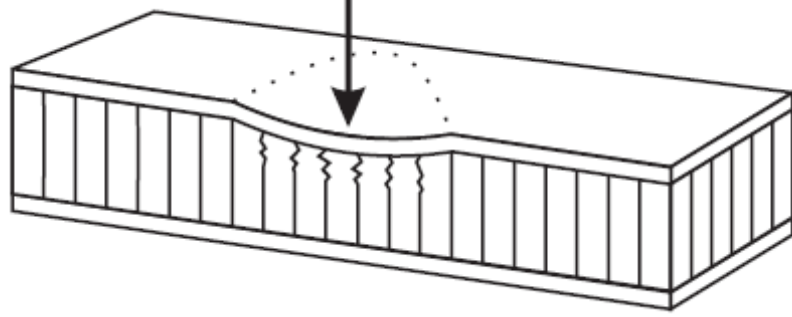
Şekil 19. Yüzey tabaka deformasyonu [20]

Hücre Çökmesi (orta tabaka ezilmesi): Belirli bir yüzey materyali için, orta tabaka hücre büyüklüğü, hücre çöküşlerini önleyebilecek kadar küçük olmalıdır [20].



Şekil 20. Orta tabaka hücre çökmesi [20]

Lokal Basınç: Orta tabakanın direnci, panel yüzeyi üzerindeki lokal yüklere karşı koyabilecek kadar yüksek olmalıdır [20].



Şekil 21. Bölgesel basınç deformasyonu [20]

Sandviç panellerin kullanım alanları aşağıda verilmiştir [18];

Sandviç Panellerin Kullanım Alanları;

Bölme ve dış duvar kaplamaları ve paravanlar ve kapılar	Yük taşıyan sandviç paneller
İç ve dış duvar giydirmeleri	Hijyenik hastane duvarları
Kapı ve pencere doğramalarındaki dolu yüzey	Duş kabinleri ve bölmeleri
Prefabrik yapılar, şale ve kulübeler	Çatılar
Yüzme havuzları	Soğuk hava deposu çeperleri
Elektro manyetik dalgaları geçirmeyen paneller ve odalar	Soğuk hava araçlarının kasaları
Akustik paneller ve odalar	Karavanlar
Mobilya	Fuar ve reklam levhaları
Döşeme, tavan kaplamaları ve asma tavan	Tarımsal binalar
Yangına dayanıklı duvarlar, bölmeler ve odalar	Tavukçuluk sektörü [kümes, kuluçka odaları, v.s]



[a]



(b)



(c)

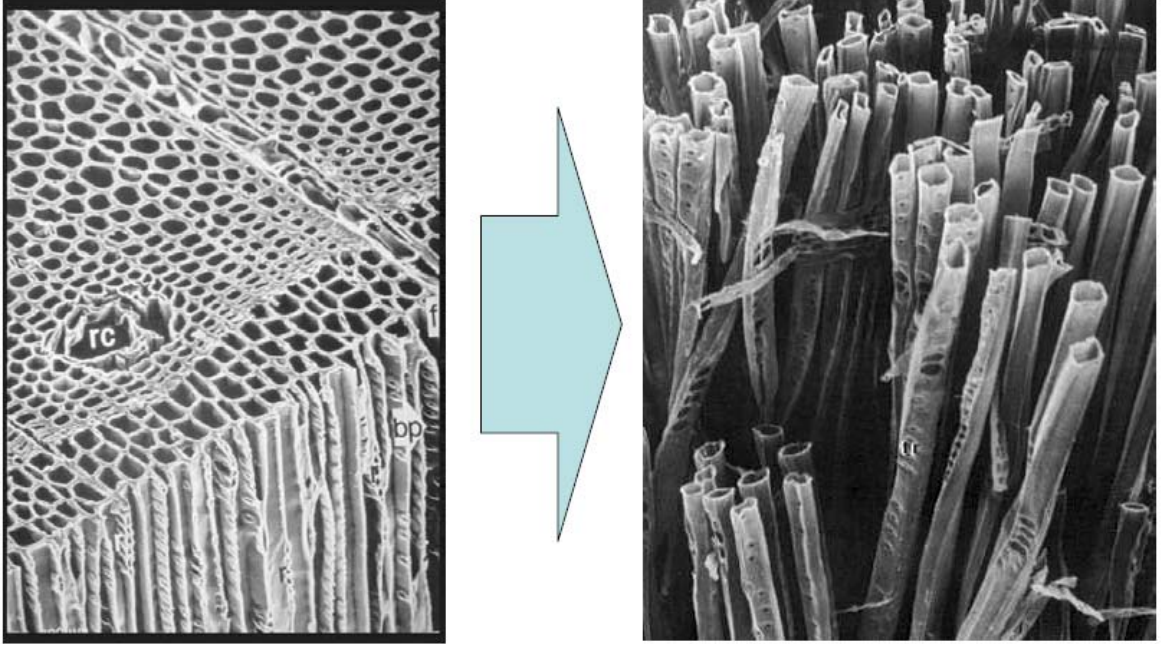


(d)

Şekil 22. Sandviç panel uygulama alanları [18]; a) Prefabrik yapı, b) Soğuk hava aracının kasası, c) Çatı panelleri, d) Dış duvar kaplaması

#### 1.4. Selüloz

Odun lifleri en önemli doğal liflerdir. Lifsi formda odun çoğunlukla kâğıt üretimi için kullanılırken, aynı zamanda lif levha gibi geleneksel odun kompozitleri üretiminde de kullanılmaktadır. Sert ağaçlarda yaklaşık olarak 1mm, yumuşak ağaçlarda 2–4mm uzunluktaki liflerden oluşan farklı odun türlerinden elde edilmektedir [5]. Şekil 23’de odun ve lifsi yapısı verilmiştir.



Şekil 23. Odun enine kesiti ve lifsi yapısı [5]

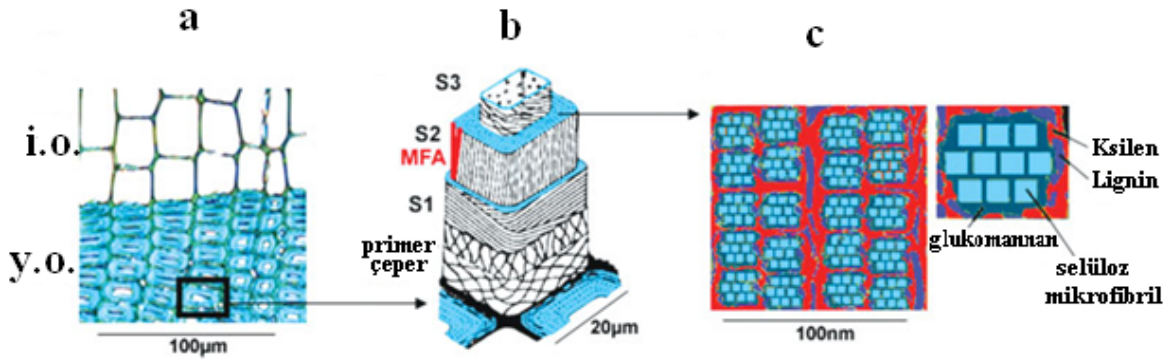
Odunun kendisi doğada en çok bulunan doğal lif kompozitidir. Odun esaslı kompozitler mobilya ve ev endüstrisi için önemli hammaddelerdir. Odun, onu oluşturan liflerden önemli derecede daha az rijittir. Yönlendirilmiş yongalevha ve MDF gibi odun kompozitleri ise odundan daha az rijittir. Odun kompozitlerindeki rijitlik azalması, tüm malzemeyi daha homojen hale getirirken özellikle odunun karakteristik özelliği olan anizotropinin azalmasını da beraberinde getirmektedir [5]. Odun selülozunun elastiklik modülü değerleri, odun ve odundan üretilen tüm ürünlerden daha yüksektir (Şekil 24).



Selüloz	167	kN/mm <sup>2</sup>
↓		
Kağıt hamuru	40	kN/mm <sup>2</sup>
↓		
Odun	10	kN/mm <sup>2</sup>
↓		
OSB	5-8	kN/mm <sup>2</sup>
↓		
MDF	3-4	kN/mm <sup>2</sup>

Şekil 24. Selüloz ve odundan üretilen ürünlerin elastikiyet modülü değerleri [5]

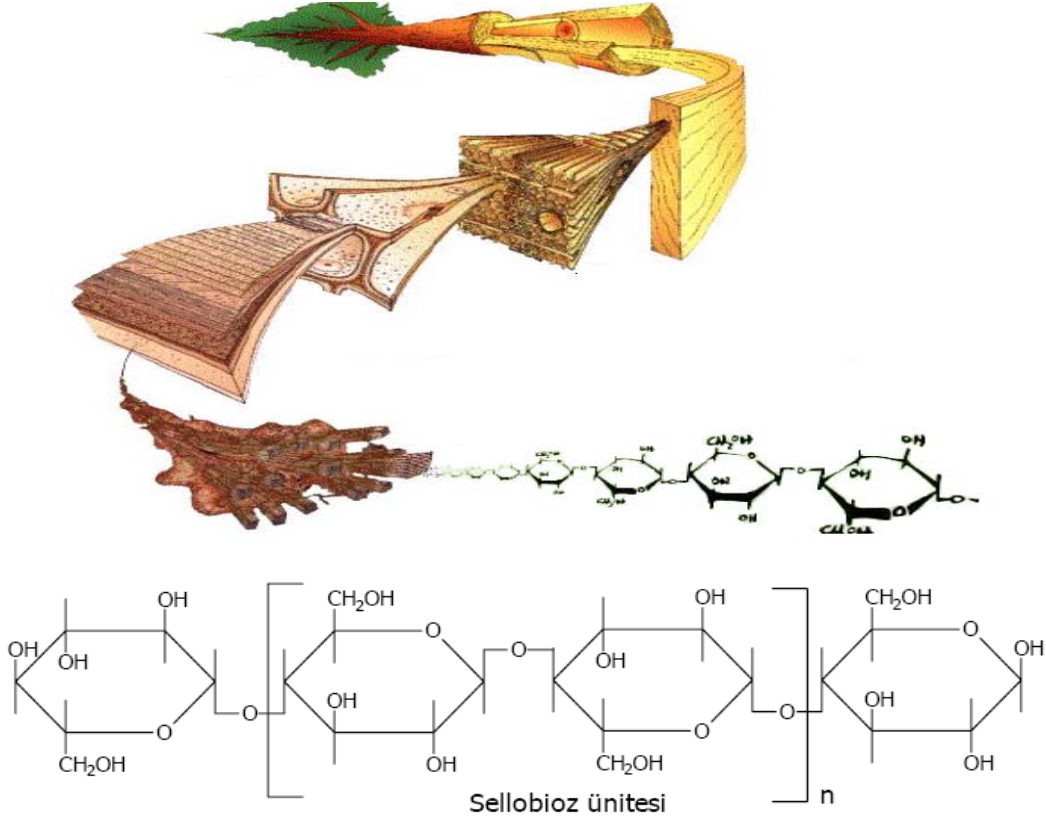
Hücre çeperinin temel bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Bu bileşenlerden selüloz hücre çeperinin iskeletini hemiselüloz, lignin ve pektin ise bu iskeleti çevreleyen ve boşlukları dolduran ara maddeyi meydana getirmektedir [21].



Şekil 25. Bir odun hüresinin bileşenleri [22]

- Su iletimi için ilkbahar odunu ve mekanik destek için yaz odunu (Enine kesit)
- Odunsu bir hücrenin mikroskopik görüntüsü,
- Sekonder çeperin S2 tabakası içindeki kompozit yapı: bir hemiselüloz (ksilen ve glukomannan) ve lignin matrisi içine gömülmüş mikrofibriller.





Şekil 26. Selülozun moleküler zinciri [23]

Polimerler, monomerlerden oluşan zincir halindeki moleküllerdir. Moleküller bir arada bir takım çekim kuvvetleri sayesinde dururlar [24]. Selüloz, glukoz ünitelerinin birbirine 1,4-β glikozidik bağı ile bağlanarak oluşturulduğu polimerlerdir. Ünitelerin her biri diğerine göre 180°'lik bir dönüş yapmaktadır. Bunun sonucu olarak da gerilimsiz lineer bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bir anhidroglukoz ünitesinin kütlesi 162gr'dır [25].

Selüloz molekülü doğrusal ve doğal bir polimer olup, üzerinde oksitlenme ve diğer kimyasal reaksiyonlara karşı hassas olan hidroksil grupları (OH) ve köprü oksijen atomu bulunur. Bu OH grupları bir başka selüloz zincirininin OH grupları ile bağlanma özelliğine sahiptir. Bu gruplar aracılığı ile gerçekleşen bağlara hidrojen bağları denir. Hidroksil gruplar benzer şekilde su moleküllerini de çekebilirler. Bundan dolayı selüloz hidrofil (suyu seven) madde olarak adlandırılmaktadır. Selüloz oda sıcaklığındaki havadan %10–12, nemle doymuş havada ise %15–30 oranında rutubet alır [25].

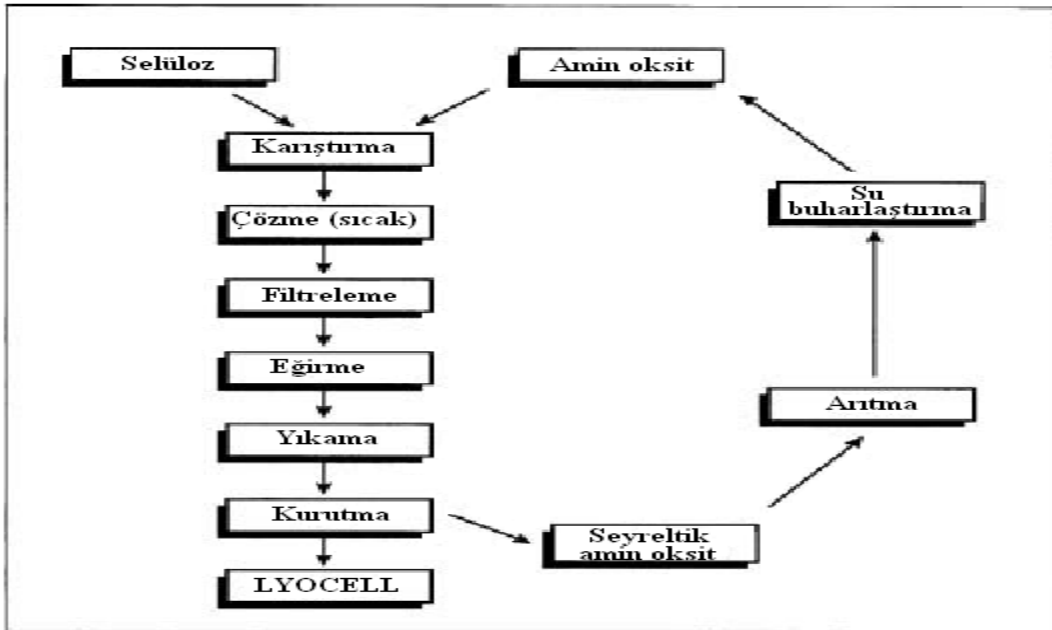
Selüloz zincirindeki  $[C_6H_{10}O_5]_n$  anhidro glukoz birimi sayısının ortalama değerine selülozun polimerizasyon derecesi denir. Bu değer çok yüksek olup pamuk selülozu için 10.000–15.000 arasında değişir. Selüloz molekülleri düzenli ve düzensiz olmak üzere ard

arda dizilen iki farklı yapı gösteren bölgeden oluşur. Düzenli kısımdan düzensiz kısma geçiş belirgin olmayıp, tedricidir. Selüloz moleküllerinin aynı yönlü ve birbirine sıkı kenetlendiği kısımlara kristalin yapı gösteren kısımlar denir. Kristalin kısımlar arasında kalan ve selüloz moleküllerinin düzensiz olarak bir araya geldiği bölgelere de amorf bölge denilmektedir [26].

#### 1.4.1. Lyocell Lifi

Lyocell çok yönlü kullanım alanları olan rejenere (değişime uğratılmış) selüloz liflerinin gelişmiş bir türüdür. Bu lifler değişik özelliklerinden dolayı geniş bir alanda rahatlıkla kullanılmakta olup, %100'e varan geri dönüş oranlarına sahiptir. Bu nedenle de ekolojik bir alternatif oluşturmaktadır.

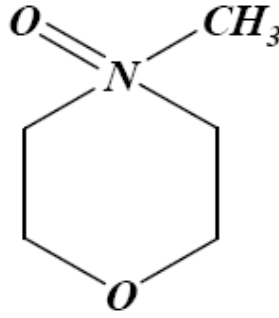
Lyocell, selüloz hammaddesinden organik bir çözücü yardımı ile lif halinde çekilen rejenere bir lif olup, NMMO (N-metil-morfolin-N-oksit) adı verilen bir yöntemle aminoksidin belirli koşullar altında selülozu çözdürme esasına dayanmaktadır. Bu çözücüden selüloz maddesi rejenere edilmektedir [27]. Bu yöntemde çözücü olarak kullanılan aminoksidin zehirli olmaması, bu yöntemin en önemli özelliğidir [28]. Bu liflerin elde edilmesinde iş akışı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 27. Lyocell lifi üretim şeması [28]

Odun Hamurunun Hazırlanması: Lyocell üretimi için yapraklı ağaçlar kesilip, fabrikaya taşınmaktadır. Fabrikada 6.1m uzunluğundaki tomruklar şeklinde boyutlandırılmakta ve yüksek basınçlı su jetleri ile kabukları soyulmaktadır. Daha sonra, tomruklar yongalayıcılarda 2x4 cm boyutlarında büyük yongalar olacak şekilde yongalanmaktadır. Elde edilen yongalar pişirme kazanına doldurulur ve orada yumuşayıp, hamur haline gelmesi için pişirilir. Hamur yıkanır ve gerekirse beyazlatma (ağartma) işlemine tabi tutulmaktadır. Safiha haline getirilmek üzere sonsuz eleklerle serilir. Sonsuz eleklerde fazla su basınç ile uzaklaştırılır. Belli bir rutubete getirilen selüloz safihası kurutucularda kurutulmakta ve makaralara sarılmaktadır [28]. Daha sonra istenilen boyutlarda kesilerek satışa sunulur.

Selülozun Çözündürülmesi: Lyocell fabrikasında, selüloz makaraları ve paketleri açılır ve 2.4 cm<sup>2</sup>'lik boyutlarda parçalanır. Daha sonra bu parçalar, içi aminoksit ile doldurulmuş, sıcak, basınçlı kazana yüklenmektedir [28].



Şekil 28. N-methylmorpholine-N-oxide [NMMO]'nın kimyasal yapısı [28]

Filtreleme: Çözücüye daldırdıktan kısa bir süre sonra, selüloz parçaları çözelti haline getirilir. Tüm selüloz parçalarının çözündüğünden emin olmak için çözelti bir süzgeçten geçirilmektedir [28].

Üretim: Sonra çözelti spinneret başlıklarına pompalanmaktadır. Spinneret başlıklarından filament şeklinde elde edilen lifler, diğer bir aminoksit çözeltisine batırılmakta ve saflaştırılmaktadır. Daha sonra lifler minerali giderilmiş suyla yıkanmaktadır [28].

Kurutma ve Son İşlemler: Islak lyocell lifleri suyu buharlaştırmak için bir kurutma ünitesinde geçirilmektedir. Bu noktada, lifler içinde yağ bulunan bir son işlem ünitesinden geçirilmektedir. Bu yağlayıcı madde, lifin gelecekte kullanım özelliğine bağlı olarak bir sabun, silikon veya başka bir madde olabilir [28].

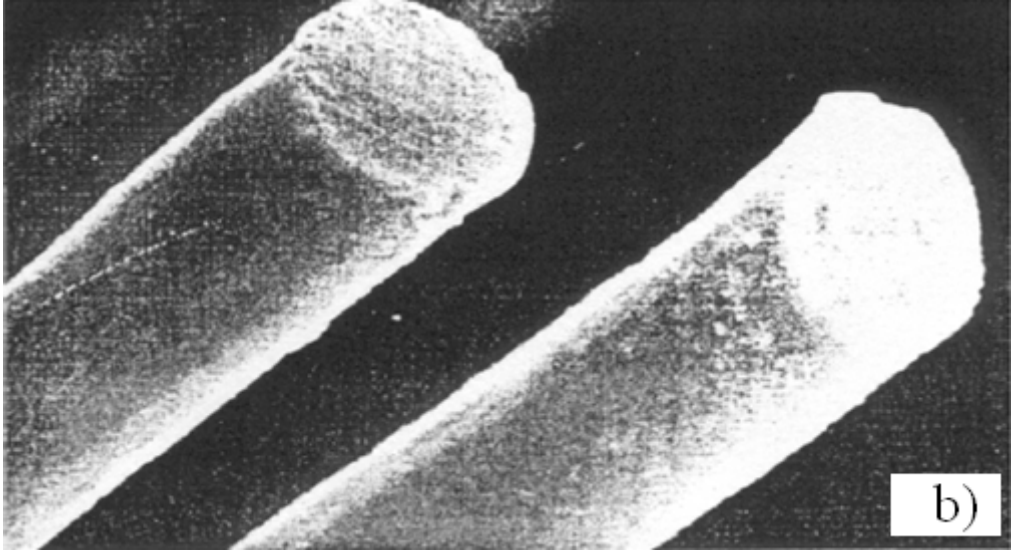
Çözücünün Geri Kazanımı: Selülozu çözmek ve üretme ile lifleri hazırlamak için kullanılan aminoksit geri kazanılmakta ve üretim prosesinde tekrar kullanılmaktadır. Bunun için seyreltik çözelti buharlaştırılarak su uzaklaştırılmakta ve aminoksit tekrar kullanım için 2. adımdaki basınçlı hücrelere gönderilmektedir. Aminoksidin %99'u normal bir lyocell üretim hattında geri kazanılabilmektedir [28].

Tablo 2. Lyocell grubu lifler ve üretici firmalar [29]

Lifin Adı	Üretici Firma	Lif Tipi	Özellikler
TENCEL	Courtaulds Fibres Ltd. İngiltere/ABD	Kısa	Lif görünüşü parlak PA veya PES'e benzer. Enine kesiti yuvarlaktır.
LYOCELL	Lenzing Lyocell GmbH & CoKG, Avusturya	Kısa	Kesiti biraz düzensizdir. Pamuğa benzer. Enine kesiti oval bazen de yuvarlaktır.
NewCell	Akzo Nobel FASER AG, Almanya	Uzun	Parlak filamentler boyuna düzgün uzanır. PA ve PET'e benzer. Mat filament de ise vizkozdaki gibi koyulaşmalar vardır.
ALCERU	Thuringian Texile and Plastic Research Institute, Almanya	Kısa	PA ve PET'e benzeyen yapıya sahiptir. Enine kesiti yuvarlak olup şeffaftır.

#### 1.4.1.1. Lyocell Liflerin Özellikleri

Liflerin enine kesiti yuvarlak veya ovale yakındır (Şekil 29). Yaklaşık 40–42cN/tex'lik kuru mukavemeti ile diğer selülozik lifler içerisinde en mukavemetli olanıdır. Islak halde mukavemeti yalnız %15 azalarak 34–36cN/tex'lik değeri ile mukavemet kaybı en az olan selüloz kökenli liftir. Tablo 3'te ilgili lifin bazı fiziksel özellikleri, diğer liflerle mukayeseli olarak verilmiştir [29].



Şekil 29. Aminoksit muamelesi ile üretilen lyocell'in genel görünümü ve enine kesiti [5]

Lyocell lifler, lif ekseni boyunca yayılmış olan oldukça fazla kristal yapıya sahiptir. Bu durum lyocell liflere mükemmel kuru direnç yanında iyi ıslak dayanım sağlamaktadır. Ayrıca, lyocell lifleri suyla ıslatıldığında ve kurutulduğunda, pamuk ve viskos reyon gibi selüloz liflerinden daha az daralma (çekme) göstermektedir [30].

Lyocell lifler [29]:

- Diğer selülozik liflere göre mükemmel kuru direnç yanında iyi ıslak dirence sahiptir.
- İşlenmesi kolaydır.
- Diğer lifler ile uyumlu karışımlar verir.
- Filament şeklinde eğirmek kolaydır
- Yıkamada ve kurutmada çok stabildir.
- Isıya karşı dayanıklıdır.
- Mükemmel şekiller vermek için son işlem teknikleri uygulanabilir.
- Tekstil üretiminde kullanıldığında rahatsızlık vermez.

Tablo 3. Lyocell ve diğer selülozik liflerin bazı fiziksel özellikleri [29]

Özellikler	Lyocell	Pamuk	Polinozik	Modal	Standart viskoz	Kupro
Mukavemet[cN/tex]	40–44	20–24	35–40	24–30	20–24	15–20
Uzama [%]	14–16	7–9	10–15	20–25	20–25	7–23
Islak mukavemet [cN/tex]	34–38	25–30	27–30	12–16	10–15	9–12
Islak uzama [%]	16–18	12–14	10–15	25–35	25–30	16–43
Su emme kapasitesi [%]	65–70	45–55	55–70	90–100	90–100	100
PD [polimerizasyon derecesi]	550–600	2–3000	500–600	250–350	250–300	450–550
Islak başlangıç modülü	250–270	200	200–500	40–60	40–50	30–50

#### 1.4.2. Selülozun LiCl/DMAc (Lithium Chloride and N,N-dimethylacetamide) İçinde Çözünmesi

Yeryüzünde en çok bulunan doğal bir polimer olan selüloz, lif, film, ayırma zarı gibi birçok üretimde kullanılmaktadır. Selüloz genellikle katı halde kullanılmakta olup, bu nedenle şimdiye kadar selülozun katı yapısı üzerine sayısız araştırma yapılmıştır. Diğer taraftan, stabilitesi yüksek, zehirliliği düşük, renksiz uygun çözücünün eksikliğinden dolayı, selüloz çözücüleri için yapılan çalışmalar, selülozun katı yapısı için yapılan araştırmalardan çok daha azdır. Buna rağmen, homojen kimyasal modifikasyon, üretme gibi selülozun ileri kullanımı için selüloz çözücülerinin çalışılması çok büyük önem arz etmektedir [31].

Materyallerin, yinelenabilir, sürdürülebilir (süreklilik) ve biyolojik olarak bozunabilirlik gibi özelliklerine artmakta olan talepten dolayı, biyolojik esaslı materyaller özellikle kompozitlerle ilgili olanlar, büyük önem kazanmaktadır [32, 33]. Bu bağlamda, en fazla bulunan biyopolimer olan selüloz özel bir ilgiye sahiptir [34]. Selülozun yüksek rijitlik ve direnci, biyopolimer kompozitler için keten, kenevir, rami (ramie) gibi önemli takviye (güçlendirme) seçeneklerinin kullanımına imkan vermektedir [35]. Bu, mikrofibrilli selülozlar örnek, selüloz whiskerleri ve bakteriyel selüloz gibi nano boyuttaki selülozik takviyelerdir [36]. Nano ölçekteki selüloz takviyeleri (güçlendiricileri) 28 kN/mm<sup>2</sup>'e kadar elastikiyet modülü ve 400 N/mm<sup>2</sup>'e kadar ise mükemmel dirençli kompozitlerin üretilmesine imkan vermektedir [37]. Doğal liflerin ve onların takviye için; nano ölçekteki bileşenlerinin direkt kullanımı yanında, selüloz çözülebilir ve filmlere dönüştürülebilir veya eğirmek suretiyle lif oluşturulabilir [38]. Rejenere selülozdan elde edilen ürünler şekil ve özellik bakımından doğal selüloz liflerinden daha az çeşitlilik avantajlarına sahiptir ve genellikle daha dirençli olurken, daha az rijittir. Proses parametrelerini kontrol ederek, rejenere selüloz liflerinin mekanik özellikleri geniş bir oranda değiştirilebilir [39,40]. Örneğin 1300 N/mm<sup>2</sup> çekme direnci ve 45 kN/mm<sup>2</sup> çekmede elastikiyet modülü laboratuvar ortamında elde edilebilmektedir [41]. Rejenere selüloz liflerle karşılaştırıldığında, rejenere selüloz filmlerin özellikleri, özellikle elastikiyet modülü, daha düşüktür. Selofan filmlerin elastik modülü ve gerilim değerleri, sırasıyla, 5.4 GPa ve 125 MPa'dır. Bu değerler, tercih edilen yönlendirme derecesine bağlı olarak *N*-methylmorpholine-*N*oxide (NMMO) çözeltilisinden (Lyocell prosesi) elde edilen selüloz filmlerin elastik modülü ve çekme direnci değerleri sırasıyla 8 GPa ve 300 N/mm<sup>2</sup>'e kadar çıkabilmektedir [42]. Son zamanlarda, rejenere selüloz filmlerin rijitliğinin çözünmemiş selüloz-I'in katılımıyla önemli bir şekilde artırılabilineceği görülmektedir [43]. Bu filmler selüloz I (138 kN/mm<sup>2</sup>)'in selüloz II (88 kN/mm<sup>2</sup>)'den daha yüksek elastikiyet modülünden faydalanmaktadır [44].

Selülozun kristal yapısı moleküller içi ve arası hidrojen bağı tarafından korunmaktadır. Moleküler arası hidrojen bağlarının çokluğu ve selülozun yoğun kristal yapısı çoğu yaygın çözücüde selülozu neredeyse çözünmez kılmaktadır [45].



Şekil 30. Selülozun DMAc/LiCl çözeltisinde çözünmesi

Son yıllarda, lityumklorür/N,N-dimetilasetamid (LiCl/DMAc) çözücüsü yaygın kullanılmaktadır. Selüloz için iyi bir çözücü olan n,n-dimethylacetamide [DMAc] ve lityum klorür [LiCl] karışımı; selülozun çözelti özellikleri ve moleküler karakterizasyonun belirlenmesi için kullanılmaktadır [31].

İlk olarak 1972 yılında kitin ve poliamidleri çözmek için keşfedilmiştir [46,47]. LiCl/DMAc kullanımı hızlı bir şekilde yaygınlaşmış ve selülozu çözmek için ilk defa McCormick [48] ve Turbak tarafından kullanılmıştır [49]. Mc Cormick ve Dawsey LiCl/DMAc'in eşsiz bir çözücü sistemi olduğunu göstermişlerdir. McCormick ve arkadaşları bu çözeltide selülozun seyreltik çözelti özelliklerini incelemiştir [50]. Schule ve arkadaşları SEC ve MALLS kullanarak selülozu karakterize etmek için çalışmalar yapmışlardır [51].

LiCl/DMAc içerisinde selülozun çözünmesini, özellikle çözelti-lityum etkileşimi ve klorür iyonlarının kritik (önemli) rolünü tam olarak açıklayabilmek için genel kabul gören bir mekanizma hala geçerliliğini korumaktadır. Biraz farklı açıklamalar Mc Cormick ve arkadaşları [52,54], Turbak [53], ve Morgenstern ve arkadaşları [54] tarafından yapılmıştır. Tüm araştırmalar temel prensip olarak klorür iyonları serbest kalırken lityum iyonlarının DMAc'in karbonil grubuyla sıkı bir şekilde bağlandığı konusunda hemfikir olmuşlardır. Bu suretle, Cl<sup>-</sup> nükleofil bazı oldukça aktif olup, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlarını kırarak büyük bir rol oynamaktadır. Bazı araştırmacılar, çözelti kompleksinin, [Li DMAc]<sup>+</sup> makro katyonu, daha gevşek bağlandığına inanılırken, klorür iyonunun [Cl<sup>-</sup>] anhidroglukoz biriminin üç hidroksil grubunu hidrojen bağlanmasıyla karmaşık hale getirme yeteneğine sahip olduğuna inanılmaktadır [50]. Daha yakın yıllarda, selülozun

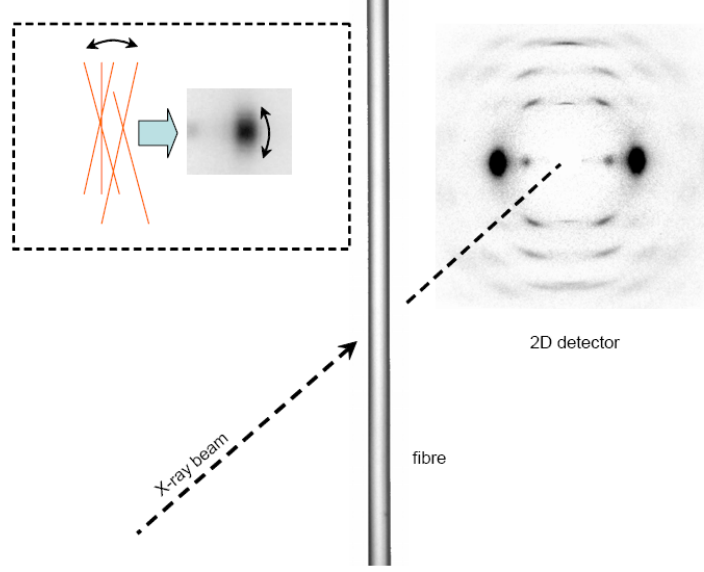


lityum iyonun koordinasyon alanında yer aldığı ve bunun da polimerin çözünmesinde harekete geçen güçlerden biri olduğu ileri sürülmüştür [54].

Selülozu LiCl/DMAc içinde çözmeden önce, aktivasyon işlemine tabi tutulması çok önemlidir. Aktivasyon işlemi daha az ulaşılabilir olan sıkı bir şekilde paketlenmiş kristal bölgelere çözücünün difüzyon kinetiğini artırmak için polimer zincirlerinin daha gevşek bir yapıya dönüştürülmesinde kilit rol oynamaktadır. Polimerlerin çoğu için bu çoğunlukla zincirlerin açılması için yeterli zamanı sağlaması anlamına gelmektedir. Molar kütle  $[M_r]$  ve kristallik ne kadar fazla olursa, tam bir çözelti elde edebilmek için gerekli zaman da o kadar uzun olmaktadır [55]. Literatür [55, 56]'de tanımlanan en etkili aktivasyon metotları; polar ılımlı şişirme (merserizasyon) ve sıcak DMAc ile aktivasyondur.

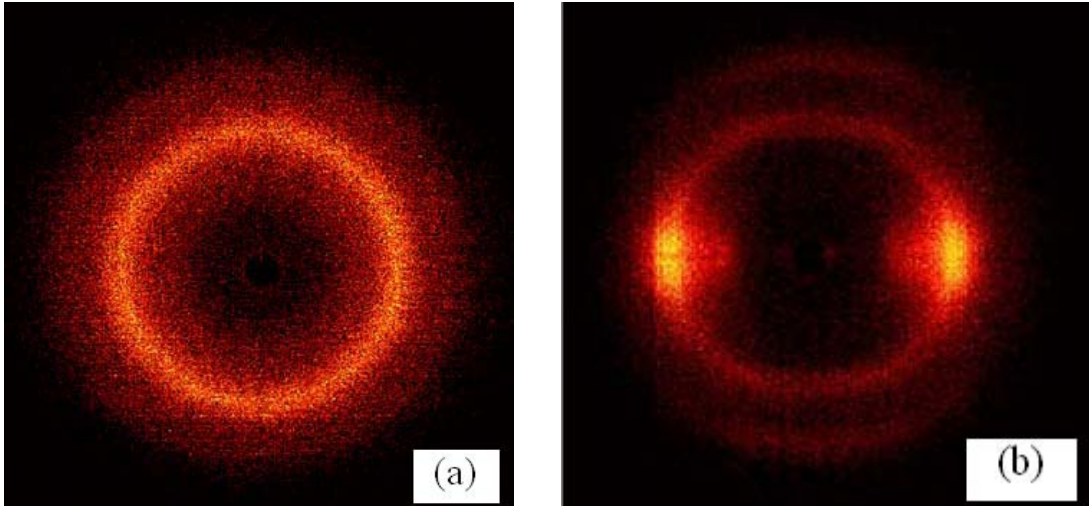
#### 1.4.2.1. Selüloz Filmlerinin Gerdirilme İşlemi

Polimer film ve liflerin üretiminde, eğer istenirse, mekanik anizotropi elde edebilmek için istenilen yönlendirme, üretimin bazı aşamalarında gerçekleştirilmektedir [57]. Lifler için yüksek derecede bir yönlendirme arzu edilmektedir. Zira lifler, ağırlıklı olarak boyuna eksenine boyunca meydana gelen yüklere dayanmak zorundadır. Bu genel ifade, istenilen yönlendirmenin selüloz çözünürken gerdirilmesiyle elde edildiği şişmiş selüloz filmleri ve selüloz liflerinin eğrilmesinde (spinning) doğruluğunu sürdürmektedir. Çekme oranı (Draw ratio,  $D_R$ , gerdirmeden önceki uzunluk ile gerdirmeden sonraki uzunluk arasındaki oran) arttıkça, istenilen yönlendirmenin derecesi rejenere selüloz lif ve filmlerde artmakta ve buna paralel olarak (aynı zamanda), kopma anındaki uzama azalırken, elastikiyet modülü ve gerilim değeri artmaktadır [58, 59]. Rejenere selüloz liflerin elastikiyet modülünde önemli bir gelişme, katılaşmış yapılı liflerin plastik deformasyonu ile başarılacağı anlaşılmıştır [60]. Gindl ve arkadaşlarının bir çalışmasında, rastgele yönlendirilmiş ve katılaşmış yapılı rejenere selüloz filmlerine tek yönlü gerdirme (çekme) işlemi uygulamışlar ve bu prosesle elde edilen selüloz makro moleküllerin katı olarak yeniden yönlendirilmesinin elastikiyet modülü ve dirençte önemli gelişmeye neden olduğunu kanıtlamışlardır.



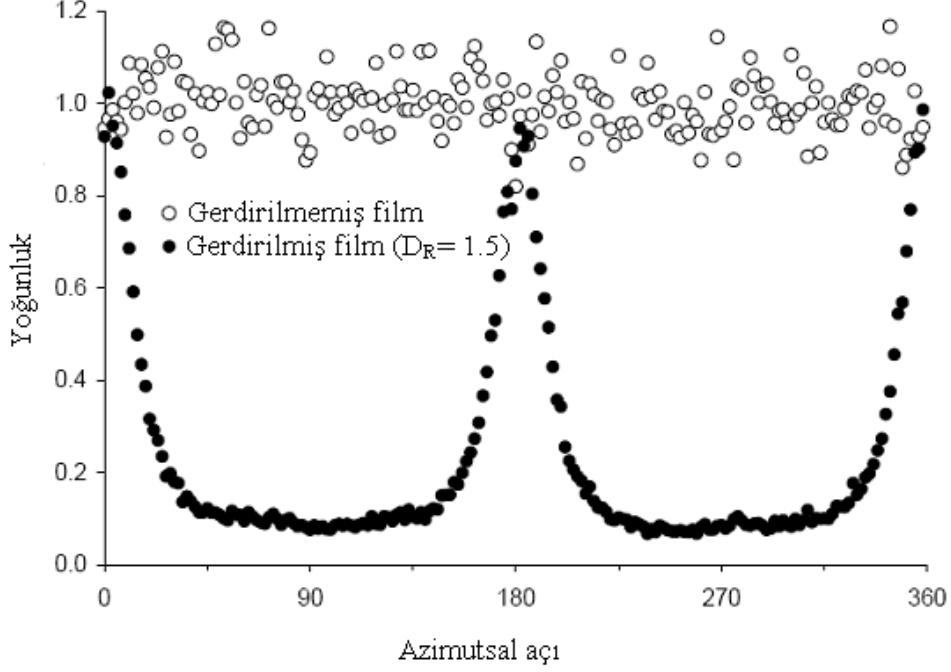
Şekil 31. Bir selüloz lifiyle WAXS deneyinin kurulumu [5]

Kristal bölgelerin yönlendirme çeşitliliği (güçlü veya zayıf yönlendirme) ilgili kristal yansımalarının dairesel genişliği ile tespit edilmektedir. Rastgele dağılmış kristal yönlendirmeli bir lif için yansıma,  $0^{\circ}$ 'den  $360^{\circ}$ 'ye kadar eşit yoğunluklu bir halka şeklinde olacaktır (Şekil 32a). Fakat iyi yönlendirilmiş bir lifin yansıması ise farklı uç noktalı (Pik) bir halka olacaktır (Şekil 32b). Bu uç noktalar ne kadar dar olursa, lifteki yönlendirme de o kadar yüksek olmaktadır [61].



Şekil 32. Gerdirilmemiş selüloz film (a) ve 1.5 çekme oranına kadar gerdirilmiş selüloz film (b)'in WAXS verisi [62]

Tam halka boyunca yoğunluk dağılımlarını birleştirilerek, Şekil 33'deki gibi bir grafik meydana gelmektedir.



Şekil 33. Gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmlerde yoğunluk dağılımı [62]

Gindl ve arkadaşları değişik çekme oranlarında gerdirilmiş selüloz filmlerin bazı özelliklerinin gerdirilmemiş selüloz film ve lyocell lifi ile karşılaştırılmış, sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere lyocell lifine göre gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmlerin özellikleri daha düşük değerlere sahiptir. Kuru filme göre, yaş filmlerde daha fazla germe oranı elde edilmektedir. Çünkü su selülozun moleküller arası ve içi bağlarını zayıflattığı için sulu gerdirmede selüloz zincirleri daha fazla plastik deformasyona maruz kalmakta ve bu nedenle daha yüksek çekme oranları elde edilebilmektedir. Buna bağlı olarak da çekme oranı arttıkça elastikiyet modülü ve gerilim değeri artmaktadır. Fakat kırılma noktasındaki uzama değeri azalmaktadır.

Tablo 4. Selüloz filmlerin özelliklerinin lyocell lifi ile karşılaştırılması [60, 62]

Materyal	$\Delta n$	$f_t$	$fc$	$fa$	$E$ [GPa]	$\sigma_f$	$\epsilon_f$
Gerdirilmemiş film			0.00		8.5	201	19.6
Islak gerdirilmiş film [ $D_R = 1.1$ ]	0.013	0.21	0.08	0.32	15.6	301	8.4
Islak gerdirilmiş film [ $D_R = 1.25$ ]	0.024	0.38	0.14	0.59	21.3	358	6.8
Islak gerdirilmiş film [ $D_R = 1.5$ ]	0.037	0.60	0.23	0.92	26.4	396	4.3
Kuru gerdirilmiş film [ $D_R = 1.06$ ]	0.008	0.14	0.05	0.21	9.9	199	8.3
Lyocell lifi	0.039	0.63	0.96	0.43	24.5	585	8.2

$\Delta n$ : Germe oranı

$\sigma_f$ : Gerilim değeri

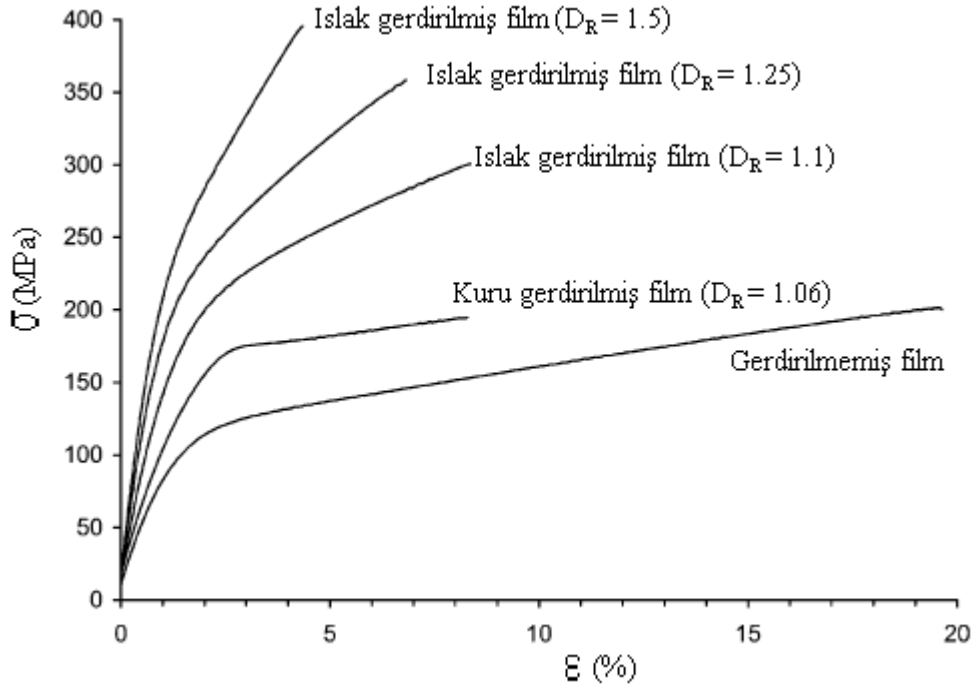
$\epsilon_f$ : Kırılma noktasındaki uzama

$fa$ : Amorf yönlendirme parametresi

$E$ : Elastikiyet modülü

$f_t$ : Çiftkırılma

$fc$ : Kristal yönlendirme parametresi



Şekil 34. Farklı çekme oranlarında gerdirilmiş selüloz filmlerinin tek eksenli çekme testinde elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği [62]

### 1.5. Biyolojik Olarak Bozunabilen Polimer Tutkallar

Albertson ve Karsson'a göre, biyolojik bozunma canlı organizmalar (bakteri, mantar, v.s) ve onların salgı ürünleri ile ilgili olan enzimlerin hareketinin yer aldığı bir olay ve/veya kimyasal bozulma olarak tanımlanmaktadır [63].

Yinelenemeyen petrol yanında bitkiler gibi yinelenebilir kaynaklar çeşitli polimer materyallerin ana maddesidir. Bu nedenle, biyolojik bozunabilir polimer materyaller onların orijinlerine bağlı olarak doğal veya sentetik diye ikiye ayrılmaktadır.

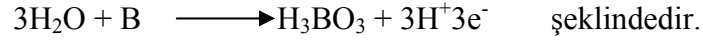
Tablo 5. Biyolojik olarak bozunabilen polimer tutkallar [63 ]

Doğal	Sentetik
1. Polisakkaritler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nişasta</li> <li>• Selüloz</li> <li>• Kitin</li> </ul>	1. Poliamidler
2. Proteinler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalojen/ Jelatin</li> <li>• Kazein, Albümin, fibrogen, ipekler, elastinler</li> <li>• Tahıllardan protein</li> </ul>	2. Polianhidritler
3. Polyesterler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poli-hidroksi alkonat</li> </ul>	3. Poliamid enaminler
4. Diğer Polimerler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lignin</li> <li>• Lipitler</li> <li>• Gomalak</li> <li>• Doğal kauçuk</li> </ul>	4. Polivinil alkol
	5. Poliethilen kovinil alkol
	6. <b>Polivinil asetat</b>
	7. Polyesterler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poliglikolik asit</li> <li>• Polilaktik asit</li> <li>• Polikaprolaktam</li> <li>• Poliorto esterler</li> </ul>
	8. Polietilen oksit
	9. Bazı poli üretanlar
	10. Polifosfazinler
	11. Bazı poli akrilatlar

## 1.6. Bor Bileşikleri

Bor elementi doğada serbest halde bulunmaktadır. Yapay bor ise amorf ve kristal yapısında olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. Amorf bor, siyah veya kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise siyah, sert ve kırılmandır. Üç değerli bor, iyonik yarıçapının dört değerli silisten daha küçük olması nedeniyle, magmanın ilk kristalleşmesi sırasında oluşan minerallerin kristal kafeslerinde yer almaz. Turmalin, danburit, dumortiyerit gibi borosilikatlar, granit pegmatitleri içinde ve granit dokularından oluşan pnönatolitik cevherlerde bulunmaktadır.

Bor havada 100°C'de yavaşça okside olmakta ve yüksek sıcaklıklarda yeşil alev vererek yanmaktadır. Su ile yarım reaksiyonu:



Bor elementi asit içinde kolayca çözünmektedir.

Bor oksijenle kolayca birleşerek B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşturmaktadır. Ayrıca bileşikleri arasında tetraborik asit H<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, Boraks Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, sodyum borat tuzu NaBO<sub>3</sub>·4H<sub>2</sub>O, çinko borat 2ZnO·3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3,5H<sub>2</sub>O, magnezyum ve alüminyum borid, bor malojen bileşimleri [bor florür, bor klorür, bor bromür, bor iyodür gibi] bulunmaktadır [63]. Yer kabuğunun yaklaşık %0.001 kısmını bor bileşikleri oluşturmakta olup, toprakta 3–10, okyanus sularında 4.5, suda ise 0.01 mikrogram/gram konsantrasyonlarında bulunmaktadır [64].

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında 885 milyon ton olan dünya bor rezervinin ve ülkelere göre dağılımı Tablo 6'de verilmiştir [65].

Tablo 6. Dünya toplam bor rezervinin ülkelere göre dağılımı (1000ton B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Ülke	Topl. Rezerv Miktarı	Toplam rezerv oranı [%]
Türkiye	563.000	64
Rusya	100.000	11
ABD	41.000	9
Şili	36.000	4
Çin	22.000	4
Bolivya	15.000	3
Kazakistan	15.000	2
Arjantin	9.000	1
<b>Toplam</b>	<b>885.000</b>	<b>100</b>

İlave edildiği ürünlerin katma değerlerini arttıran bor madeninin yaklaşık 250'yi aşkın kullanım alanı mevcuttur. Şekilde görüleceği gibi, özellikle bor ürünleri hafifliği, gerilmeye olan direnci ve kimyasal etkilere dayanıklılığı nedeniyle;

- Plastiklerde,
- Sanayi lifi üretiminde,
- Lastik ve kâğıt endüstrisinde,
- Isıya dayanıklı cam gereçleri üretiminde,
- Nükleer enerji santrallerinde,
- Roket yakıtlarında,
- Sert çelik üretiminde,
- Emaye ve porselen sırlarının üretiminde,
- İlaç, kimya ve kozmetik endüstrisinde,
- Fotoğrafçılıkta,
- Boya, dericilik ve çimento

Yanmaya dayanıklı;

- Kablolar
- Boyalar
- Kumaşlar
- Elektrik/elektronik parçalar
- Halı kaplamaları
- Otomobil/uçak iç aksamaları
- Tekstil ve kâğıt endüstrisinde kullanılmaktadır.

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ekonomik olarak kullanılan bor mineral ve bileşikleri günlük yaşantı ve sanayinin her alanına girerken, kullanım alan ve miktarı da bölgelere göre önemli farklılıklar göstermektedir. Dünyada üretilen bor cevherinin ancak %10'u direkt olarak kullanım alanı bulurken, geriye kalan kısmı rafine ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Dünya bor kullanımının yaklaşık olarak %80'ini ABD ve Batı Avrupa ülkeleri gerçekleştirmektedir. Örneğin, Avrupa'da en fazla bor madeni kullanımı ağırlıklı olarak deterjan sanayinde kullanılan sodyum perborat üretiminde olurken, Kuzey ve Orta Amerika'da ise izolasyon cam yününde (fiberglas) olmaktadır.

Ülkemizde bor mineralinin %80–90'ı rafine bor ürünlerinin üretiminde geriye kalanı ise en çok kimya ve cam sanayinde kullanılmaktadır. Genel olarak ülkemizde bor tüketimi çok düşük seviyelerde olup, üretilen bor cevherleri ve ürünlerinin büyük bir kısmı ihraç edilmektedir. Türkiye, Batı Avrupa içinde değerlendirilirken Türkiye'nin bor madeni kullanım miktarı ancak dünya üretiminin %1-2'si civarında gerçekleşmektedir. Dolayısıyla Türkiye dünya çapında bor üreticisi olmasına rağmen, bor'a dayalı ya da bor kullanan endüstrilerde tamamen dışa bağımlıdır [66]. Dünya bor üretici ülkelerin bor mineralleri ve rafine bor ürünlerinin sektörel dağılımı Tablo 7'de verilmiştir [67].

Tablo 7. Dünya bor üretici ülkelerin bor mineralleri ve rafine bor ürünlerinin sektörel dağılımı

<b>Kullanım Alanı [%]</b>	<b>ABD</b>	<b>Türkiye</b>	<b>AB Ülkeleri</b>	<b>Japonya</b>
İzolasyon fiberglas	46	-	14	15
Tekstil fiberglas	18	-	20	31
Cam	7	30	7	24
Sabun, deterjan	7	26	12	-
Tarım	4	-	-	-
Emaye, frit	4	16	23	10
Alev geciktirici	4	-	-	-
Diğer	10	28	24	20
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Ülkemizde ticari boyutta üretimi olmayan çinko borat; alev geciktirici, duman bastırıcı, korozyon geciktirici olarak polimerlerde ve kaplamalarda kullanılmaktadır. Değişik bileşimlerde çinko borat bulunmaktadır.

Alev geciktirici katkı maddesi olarak çinko borat tek başına veya katkı maddeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Çinko borat'ın alev geciktiriciliği üzerine PVC, EVA, MDF, ahşap, kablo ve yalıtım materyalleri alanında yapılan bazı çalışmalar mevcuttur. Bu konuda yapılan çalışmalarda alev geciktirici katkı maddesi olarak ürüne çinko borat, magnezyum hidroksit ve antimon oksit karışımları eklenmiştir. Sonuçta ürünün mekanik özellikleri değişmeden istenilen yanmazlık özelliklerine ulaşıldığı belirlenmiştir [68].



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Ağaç Malzeme

Deneme sandviç levhaların üretiminde orta tabaka olarak Balsa (*Ochroma lagopus*, *O. pyramidalis*) odunu kullanılmıştır. Balsa odunu kalınlık (4;5;6)x10x1000cm boyutlarında Viyana/Avusturya'daki BAUHAUS'dan temin edilmiştir.

#### 2.1.1.1. Balsa (*Ochroma lagopus*, *O. pyramidalis*) Odunu Hakkında Genel Bilgiler

Balsa *Bombacacea* familyasına ait olup, latince ismi *Ochroma lagopus*, *O. pyramidalis* 'tir. Balsa kelimesi İspanyolcadan gelmekte olup, anlamı "sal"dır. Ekvador'da ise "boya" olarak adlandırılmakta ve bu da "şamandıra" anlamına gelmektedir.

Balsa ağaçları meşcere oluşturacak sıklıkta büyümekte, yani balsa ormanı diyebileceğimiz bir şekilde yetişmemektedir. Yağmur ormanı içinde ferdi veya küçük gruplar şeklinde bulunur. Uzun yıllardır ormanda istenmeyen ağaç olarak bakılmıştır. Rüzgâr ile ormanın her yanına taşınan tohumlar uygun şartlar oluştuğunda hemen çimlenmekte ve ince fidanlar hızla büyümekte, baskın olan fertler gelişimine devam ederken, daha zayıf olanlar ölmektedir [69].

Balsa doğal olarak orta ve güney Amerika'nın (Batı Hind Adaları, Ekvador, Meksika, Brezilya, Bolivya, Peru, Guyana, Surinam) yağmur ormanlarında yetişmektedir. Balsa ağacı bol yağışlı ve sıcak iklim koşullarında yetişmektedir [70].



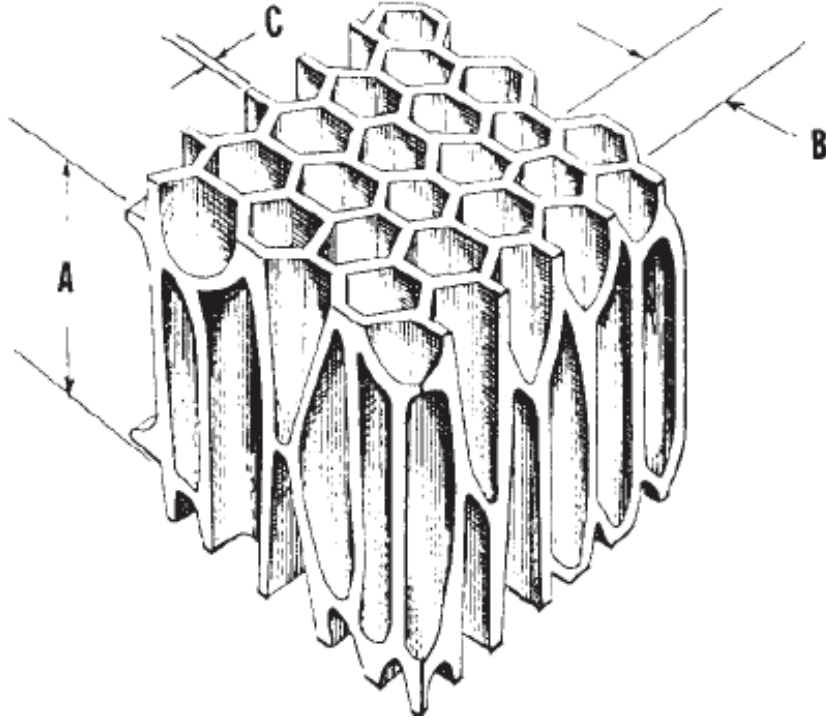
Şekil 35. Balsa ağacının yaprak ve gövde görünümü [71]

Balsa hızlı büyüyen bir ağaçtır. Çimlenmesinden altı hafta sonra 1.5–2.5cm çap ve 35cm boya ulaşabilmektedir. 8 ila 10 yıl içinde ağaç 20–30m boya ve 0.5 – 1.0m çapa ulaştığında kesim'e hazır hale gelmektedir. Daha uzun yaşayan ağaçlarda dış yıllık halkalar daha yoğun olur ve içten çürüklük başlamaktadır. Balsa yaprakları asma yaprağına benzemekte olup, biraz daha büyüktür. Balsa öncü bir ağaçtır. Hızlı gelişmesi ve büyük yaprakları ile diğer büyük orman ağaçları için bir siper vazifesi görmektedir [69].

Balsa el aletleri ve makinelerde, keskin bıçaklarla ve bileme açısı küçük olmak şartıyla çok kolay işlenir. Körleşmiş ve büyük açılı planya makinelerinde pürüzlü yüzeyler meydana gelir. Çivi ve vida tutma kabiliyeti yoktur. Fakat iyi yapışma kabiliyetine sahiptir. Renk verilebilir ve cilalanabilir. Ancak fazla madde sarfiyatına neden olmaktadır. Kesim zamanı ve yaşa bağlı olarak ağacın özgül ağırlı inanılmaz derecede farklılıklar göstermektedir [70, 72].

Balsa odununu oluşturan doku (ksilem) libroform liflerinden ve trahelerden oluşmaktadır. Traheler iletim borularıdır ve çapları diğer hücrelere kıyasla daha büyüktür. Balsanın enine kesitine baktığımızda çıplak gözle bile fark edebiliriz. Balsa dağınık traheli ağaçlara dâhildir ve yıllık halkalar net olarak fark edilmemektedir. Örneğin meşede traheler yıllık halka sınırında sıralanmış olup yıllık halka sınırı rahatlıkla görülmektedir. Balsa ağacının esas sırrı libriform lifleri denilen hücrelerin çeperlerinin (duvarları) ince

olmasına bağlıdır. Liflerin boyları ülkemizde de yetişen hızlı gelişen kavak gibi ağaç türlerine yakındır (1-2mm), ancak çeperleri daha incedir (yaklaşık 1–2  $\mu\text{m}$ ). Hücre çeperinde yapıştırıcı vazifesi gören lignin miktarı minimum seviyededir. Odun hacminin % 60'ını hava oluşturmaktadır. Tam yaş haldeki Balsa ağaçlar odun ağırlığının 5 katı kadar su içermektedir. Keresteler kurutma fırınında iki haftalık bir süre kurutulduktan sonra yaklaşık % 6 rutubete ulaşmaktadır. Bakteri ve mantarların gelişimi için uygun koşullardan da uzaklaşmış olur [69].



Şekil 36. Balsa odunun hücre geometrisi (A:ortalama hücre uzunluğu; 635 $\mu\text{m}$ , B:ortalama hücre çapı; 32 $\mu\text{m}$ , C:ortalama hücre duvarı kalınlığı;1.52 $\mu\text{m}$ ) [73].

Bu çalışmada kullanılan balsa odunun mikroskobik yapısı Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Anatomi Laboratuvarı'nda incelenmiş ve ölçümler 25 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Balsa odununun anatomik özelliklerine ait sayısal değerlerin ortalaması

<b>Balsa (<i>Ochroma pyramidale Urb.</i>)</b>		$\bar{X}$	S	V
<b>TRAHELER</b>	Teğetsel Çap( $\mu\text{m}$ )	<b>148.2</b>	<b>27.9</b>	<b>18.9</b>
	Radyal Çap( $\mu\text{m}$ )	<b>198.7</b>	<b>38.7</b>	<b>19.2</b>
	Trahe Hücre Uzunluğu( $\mu\text{m}$ )	<b>635.7</b>	<b>162.1</b>	<b>25.5</b>
	1mm <sup>2</sup> de Trahe Sayısı (Adet)	<b>1.36</b>	<b>0.99</b>	<b>72</b>
<b>LİFLER</b>	Lif Uzunluğu( $\mu\text{m}$ )	<b>1713.1</b>	<b>220.3</b>	<b>12.8</b>
	Lif Genişliği( $\mu\text{m}$ )	<b>36.2</b>	<b>5.6</b>	<b>15.5</b>
	Lümen Genişliği( $\mu\text{m}$ )	<b>29.6</b>	<b>6.1</b>	<b>21</b>
	Lif Çeper Kalınlığı( $\mu\text{m}$ )	<b>3.3</b>	<b>0.6</b>	<b>18.2</b>
<b>ÖZİŞİNİ</b>	1 mm <sup>2</sup> de Özışını Sayısı(Adet)	<b>4.2</b>	<b>.83</b>	<b>19.7</b>
	Mültiseri Özışını Yüksekliği( $\mu\text{m}$ )	<b>1537</b>	<b>368.7</b>	<b>24</b>
	Mültiseri Özışını Genişliği( $\mu\text{m}$ )	<b>73.7</b>	<b>16.3</b>	<b>22</b>

\*  $\bar{X}$  = Aritmetik Ortalama; S= Standart Sapma; V= Varyasyon Katsayısı

Kurutulmuş balsanın özgül ağırlığı genellikle 50 kg/m<sup>3</sup> civarındadır. Ancak 350 kg/m<sup>3</sup> balsa bulmakta mümkündür. Genellikle kullanılan 80 ila 280kg/m<sup>3</sup> arasında olanlardır. Balsa direnç-ağırlık oranı en yüksek ağaçlardan birisidir (69).

Fiyat olarak en uygun ve yüksek kaliteli sandviç levhalarda balsa odunu kullanılmaktadır. Bu malzeme mükemmel direnç/rijitlik ve hafiflik özellikleri yanında, olağanüstü yapışma, yüksek şok ve yorulma dayanımına sahiptir. Balsa odunu tabiat ananın bir bal peteği materyalidir (13). Balsa yüksek bir en-boy oranına ve maksimum gerilme yönünde yönlendirilmiş hücrelere sahiptir.

Balsa odununun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 9'da verilmektedir.

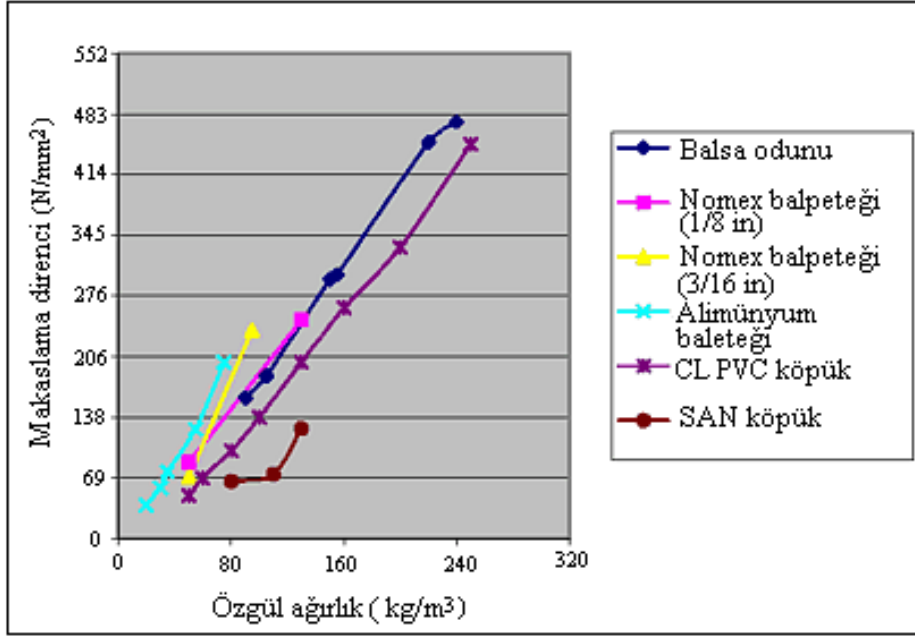
Tablo 9. Balsa odununun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri [70]

Mekanik Özellikler		Fiziksel Özellikler		Kimyasal Özellik	
$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	9.4	$D_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	13	Selüloz (%)	50–54
$\sigma_E$ (N/mm <sup>2</sup> )	19	$D_{12}$ (kg/m <sup>3</sup> )	16	Lignin (%)	22–27
E.Mod (N/mm <sup>2</sup> )	2600	$W_T$ (kg/m <sup>3</sup> )	270–360	Pentozan (%)	19
$\sigma_M$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.1	$\beta_r$ (%)	3.0	Çöz. Eks. Madde Alkol-benzolde (%)	2.6
a (kN/cm)	0.22	$\beta_t$ (%)	7.6	pH	6.7
$\sigma_Y$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.2–2.9	$\beta_v$ (%)	10.8		
$B_{s//}$ (N/mm <sup>2</sup> )	7				
$B_s \perp$ (N/mm <sup>2</sup> )	2–3				

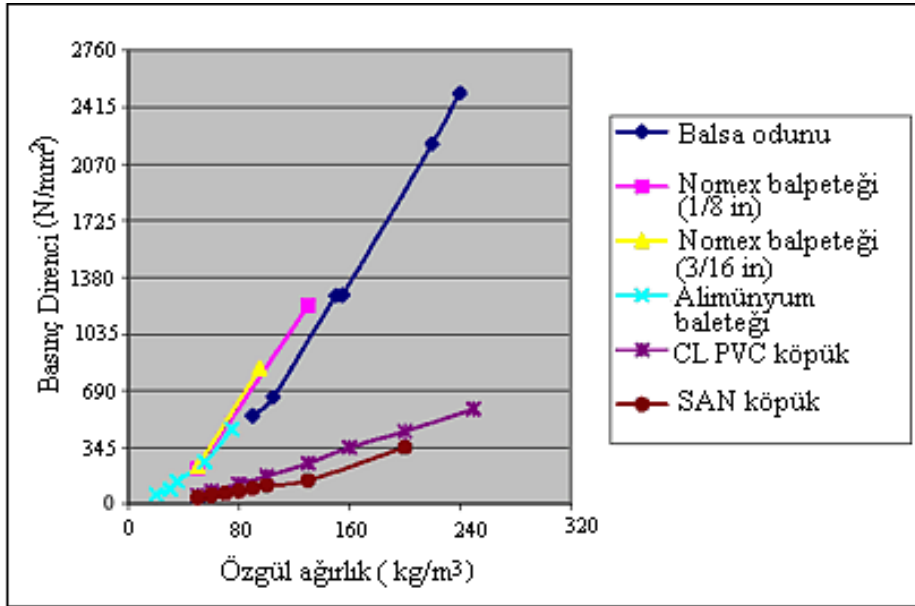
Tablo 10. Balsa odunu direncinin diğer odun türleri ile karşılaştırılması (69)

Odun Türleri	Ağırlık (Kg/m <sup>3</sup> )	Rijitlik Değişimi (%)	Eğilme Direnci Değişimi (%)	Basınç Direnci Değişimi (%)
Balsa	128	72	70	75
<b>Balsa</b>	<b>160</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Balsa	224	156	161	149
Ladin	448	230	260	289
Sarıçam	448	222	277	288
Duglas göknarı	480	241	291	341
Ceviz	800	379	638	514
Meşe	768	295	430	366
Ihlamur	416	261	288	288
Karaceviz	592	301	506	512

**Not:** Yukarıdaki tabloda 160 kg/m<sup>3</sup> özgül ağırlığa sahip balsa odunun rijitlik, eğilme direnci ve basınç direnci değerlerine göre oransal olarak diğer odunların direnç değerleri verilmiştir.



Şekil 37. Balsa orta tabaka malzemesi ile diğer orta tabaka malzemelerine ait özgül ağırlık- makaslama direnci grafiği (74)



Şekil 38. Balsa orta tabaka malzemesi ile diğer orta tabaka malzemelerine ait özgül ağırlık- basınç direnci grafiği (74)

Balsa orta tabaka malzemesinin özgül ağırlığına göre makaslama ve basınç direnci değerleri alternatif diğer orta tabaka malzemeler ile kıyaslandığında, oldukça iyi gözükmetedir (Şekil 37 ve 38).

Balsa odunları 1.2–5.0m boylarında, 0.4–0.8m orta çapta yuvarlak halde ve genellikle kereste halinde satılır. Balsa izolasyon malzemesi olarak her çeşit soğutma tesisinde, özellikle buzdolapları, gemiler, vagonlar ve uçaklarda kullanılır. Sandviç konstrüksiyonlarda metallerle birlikte, ses, vibrasyon ve elektriğe karşı izolatör olarak, ambalaj malzemesi, model, oyuncak, protes olarak ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır [70,73].

### 2.1.1.2. Lyocell lifi

Deneme levhalarının üst yüzey kaplaması amacıyla kullanılacak olan Lyocell lifleri; Avusturya'daki Lenzing Lyocell Gmbh & CoKG firmasından temin edilmiştir. Bu lifler aşağıdaki özelliklere sahiptir.

Tablo 11. Lyocell'e ait bazı özellikler

Lineer Özgül Ağırlığı (dtex)	1.3
Çekme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	585
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	24500
Kopma Anındaki Uzama (%)	8.2
Amorf Yönlenme Parametresi	0.43
Kristal Yönlenme Parametresi	0.96
Toplam Yönlenme Parametresi	0.63

### 2.1.1.3. Etanol

Denemelerde Lyocell liflerinin aktive edilmesi işlemlerinde kullanılacak olan Etanol Avusturya'daki Sigma-Aldrich Handels Gmbh&CoKG firmasından tedarik edilmiştir. Aşağıdaki tabloda Etanol'un bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 12. Etanol'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Formül	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Molekül Ağırlığı	46.07
Kaynama Noktası (°C)	78.5
Erime Noktası (°C)	-114.1
Özgül Ağırlık	0.789
Suda Çözünürlük (g/100 g)	Karışabilir
Dielektrik Sabiti	24.6
Alev Alma Noktası	13

#### 2.1.1.4. Aseton

Denemelerde Lyocell liflerinin aktive edilmesi işlemlerinde kullanılacak olan Aseton Avusturya'daki Sigma-Aldrich Handels Gmbh&CoKG firmasından tedarik edilmiştir. Aşağıdaki tabloda Etanol'un bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 13. Aseton'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Formül	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
Molekül Ağırlığı	58.08
Kaynama Noktası (°C)	56.2
Erime Noktası (°C)	-94.3
Özgül Ağırlık	0.786
Suda Çözünürlük (g/100 g)	Karışabilir
Dielektrik Sabiti	20.7(25)
Alev Alma Noktası	-18

#### 2.1.2.4. N,N-Dimetil Asetamit

Denemelerde Lyocell liflerinin aktive edilmesi ve çözündürülmesi işlemlerinde kullanılacak olan N,N-dimetil asetamit (DMAc) Avusturya'daki Sigma-Aldrich Handels Gmbh&CoKG firmasından tedarik edilmiştir. DMAc, kapalı sistemde asetik asit ve



dimetilamin kimyasallarından üretilmektedir. DMAc'in kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 14. DMAc'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Formül	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NO
Şekil	Sıvı, berrak
Renk	Renksiz
Koku	Amonyak kokusu
Molekül Ağırlığı (g/mol)	87,12
pH Değeri (200 g/l, 20 °C)	4
Erime Noktası (°C)	-20
Kaynama Noktası (°C) (1.013 hPa'da)	164,5 – 166
Alevlenme Noktası (°C)	70
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	490
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0,937
Suda Çözünürlük	Tamamen karışabilir.

#### 2.1.2.5. Lityum Klorür

Lyocell liflerinin çözündürülme reaksiyonunda kullanılacak olan N,N-dimetil asetamid (DMAc)-Lityum klorür (LiCl) çözeltisinin hazırlanmasında gerekli olan Lityum klorür (LiCl) Avusturya'daki Sigma-Aldrich Handels GmbH & CoKG firmasından tedarik edilmiştir. LiCl'in kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 15'te verilmektedir.

Tablo 15. Lityum klorür'e ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Şekil	Kristal
Renk	Beyaz
pH Değeri	6
Erime Noktası (°C)	605
Kaynama Noktası (°C)	1360
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2,070
Suda Çözülebilirliği	Çözülebilir
Zehirlilik (mg/kg)	526

### 2.1.2.6. Çinko Borat

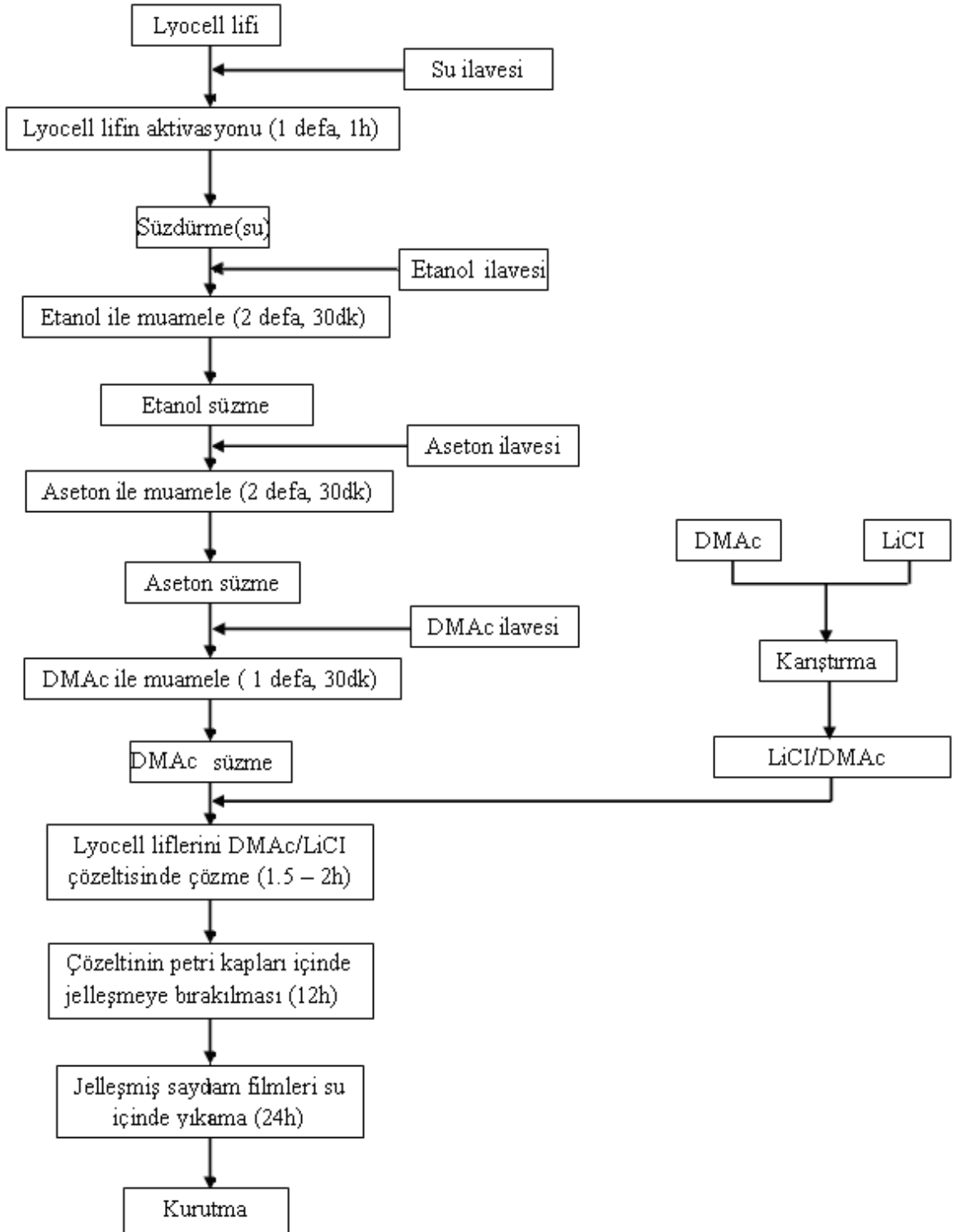
Sandviç levhaların yangına karşı direnç kazandırabilmesi amacıyla kullanılacak olan çinko borat (ZnB) Avusturya'daki Sigma-Aldrich Handels GmbH & CoKG firmasından tedarik edilmiştir. Tablo 16'da kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 16. Çinko boratın kimyasal ve fiziksel zellikleri

Formül Yapısı	$2ZnO.3B_2O_3.5H_2O$
Moleköl Ağırlığı	434.66
Kristal Yoğunluk (g/cc)	2.79
Görünüm	Beyaz, kokusuz toz
Çözünürlük (oda sıcaklığında suda, %)	< 0.28
Ortalama Tane Boyutu	7 mikron
Stabilite	290 °C'ye kadar termal olarak stabil

### 2.1.3. Deneme Levhalarının Üretimi

### 2.1.4. Selüloz Filmlerinin Üretimi



Şekil 39. Selüloz film üretim şeması

Her bir selüloz filmi üretimi için 2gr lyocell lifi kullanılmıştır. Liflerin hazırlanmasında aşağıdaki iş akışı izlenmiştir.

— 2gr'lık lyocell lifi 100ml damıtık su içerisinde ve oda sıcaklığında 1saat süreyle aktive edilmiştir. Selülozun su içerisinde aktivasyonu boyunca su molekülleri selülozun hidrojen bağları arasına girerek hidrojen bağlarını zayıflatmış ve liflerin şişmesine neden olmuştur.

— Selüloz önce 200ml etanol, sonra 200ml aseton ve en son olarak da 200ml N,N-dimetil asetamit (DMAc) içerisinde her biri için 30 dakika süreyle muamele edilerek sudan arındırılmıştır.

— Aynı zamanda, 8gr lityum klorür ile 100ml DMAc karıştırılmış ve lityum klorür (LiCl) DMAc içinde tamamen çözününceye kadar manyetik bir karıştırıcıyla oda sıcaklığında karıştırılarak çözelti hazırlanmıştır.

— Suyu uzaklaştırılmış selülozdan DMAc süzildükten sonra 2gr selüloz lifi, hazırlanan LiCl/DMAc çözeltisi içerisine konulmuştur. Daha sonra selüloz tamamen çözününceye kadar çözelti manyetik bir karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılmıştır.

— Selüloz tamamen çözüldükten sonra çözelti 20cm çapındaki bir petri kabı içine dökülmüş ve çözeltinin jelleşmesi için 12 saat normal şartlar altında bekletilmiştir. Bu süre sonunda, ortamdaki suyun alınmasının bir sonucu olarak ki bu su selülozun çözünmemesine neden olmaktadır, 5mm kalınlığında şeffaf (transparan) bir jel elde edilmiştir.

— Jelleşmiş filmler damıtılmış su içerisinde çok iyi bir şekilde yıkanmıştır.

—Yıkama işleminden sonra filmler ortam sıcaklığında iki adet kurutucu kâğıt arasına sıkıştırılmak suretiyle kurutulmuştur.

— Kurutucu kâğıtlar 1–2 saatte bir değiştirilerek, hazırlanan filmler hava kurusu rutubete ulaşınca kadar kurutulmuştur. Kuruma işlemi sonrası filmler ortalama 0.11mm kalınlığa ulaşmaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 40. Selüloz film üretimi; a) Lyocell lifin su içinde aktive edilmesi, b) Selülozun DMac/LiCl içinde çözünmesi, c) Selüloz-DMac-LiCl çözeltisinin petri kabı içinde jelleşmesi, d) Jelleşmiş selüloz filmlerin damıtık su içinde yıkanması

### 2.1.5. Çinko boratlı Selüloz Film Üretimi

Çinko boratlı selüloz filmlerin üretiminde; Çinko borat'ın reaksiyona hangi aşamada ilave edilmesi gerektiği araştırmaları sonucunda, çözeltiye reaksiyonun 4. aşamasında 2gr selüloz lifi ile beraber ilave edilmesinin uygun olduğu belirlenmiştir. Bu aşamada 5 farklı oranda (% 0.35, %0.75, %1.5, %2.5 ve %3.5) Çinko borat, LiCl/DMAc çözeltisi içerisine konulmuştur. Reaksiyonun diğer aşamalarında bir değişiklik yapılmamıştır.

### 2.1.6. Selüloz Filmlerin Gerdirilmesi

Selüloz filmlerini istenilen derecede yönlendirebilmek amacıyla; hava kurusu hale gelen filmler kusursuz ve kolay bir şekilde kesilebilmesi için önce bir miktar su içerisinde 5dakika bekletilmişlerdir (Şekil 41a). Daha sonra filmler bir bisturi yardımıyla 5x10cm boyutlarında şeritler halinde kesilmişlerdir (Şekil 41b).



(a)



(b)

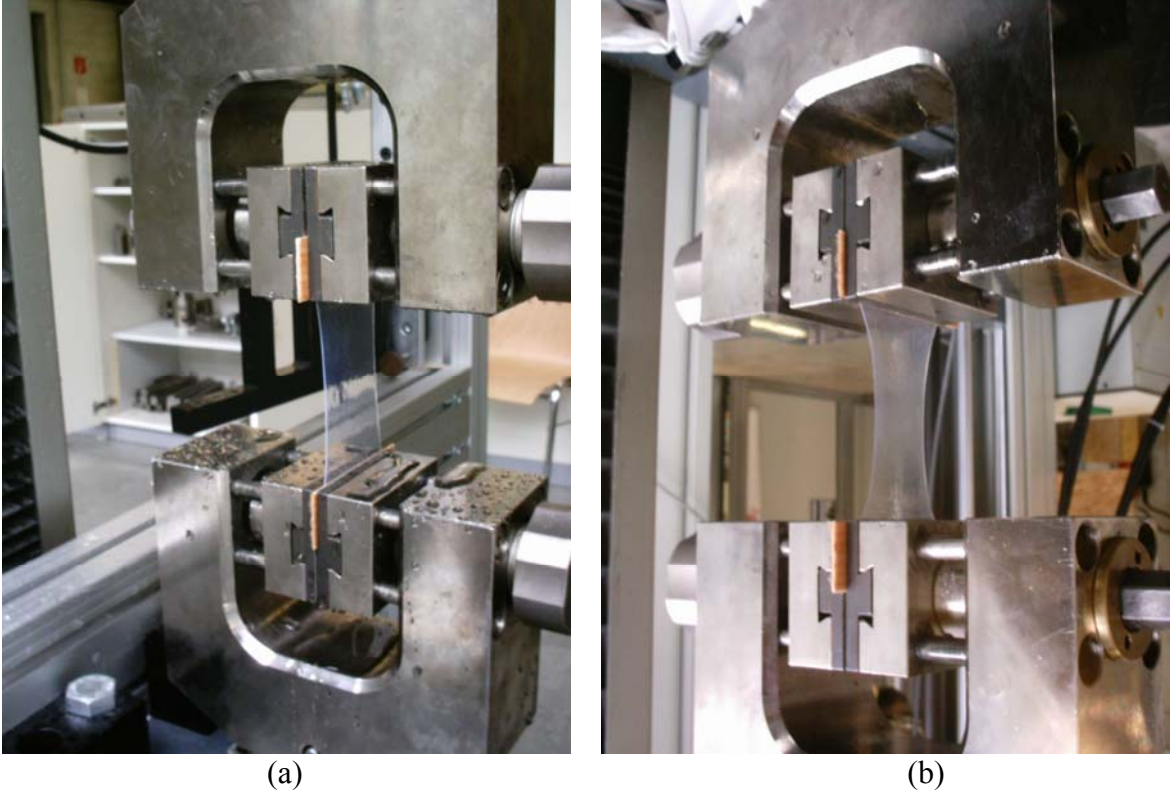
Şekil 41. Hava kurusu selüloz filmin suya batırılması (a) ve ıslak filmin 5x10cm ebatlarında kesilmiş hali (b)

Şerit şeklinde kesilen selüloz filmler gerdirme işlemi için kullanılacak olan Zwick 20 kN üniversal test makinesine yerleştirilmiş (Şekil 42) ve 10 mm/dk hız uygulanarak başlangıç boyunun %50'sine kadar ( $D_R$ , çekme oranı 1.5) gerdirilmiştir (Şekil 43a). Gerdirme süresi boyunca filmler sürekli ıslatılarak filmlerin hidrojen bağı gevşetilmiş ve böylelikle daha fazla deformasyon sağlanmıştır.



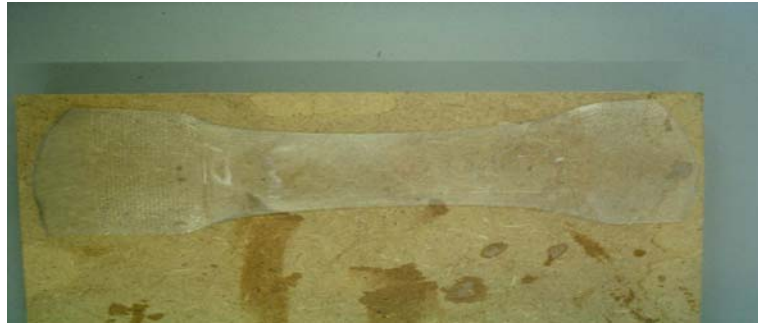
Şekil 42. Zwick 20 kN üniversal test makinesine yerleştirilmiş şerit selüloz film

Yapılan çalışmalarda yönlendirme derecesi arttıkça filmlerin elastikiyet modülü ve gerilim değerinde (tensile stretch) artış olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar literatüre uygun bulunmuştur (62). Ancak gerdirmenin başlangıç boyunun %50'sinden fazla uygulanması durumunda filmde küçük çatlaklar ve hatta kopmalar meydana gelebilmiştir. Bu nedenle maksimum %50'lik ( $D_R$ , çekme oranı 1.5) gerdirme uygulanmıştır.



Şekil 43. ( $D_R$ , çekme oranı 1.5) çekme oranına kadar gerdirilmiş ıslak film (a) ve gerdirilmiş halde kurutulmuş film (b)

Yaş filmlerin (Şekil 43a) geri çekmesini önlemek için, filmlere üniversal test makinesinin çeneleri arasında gerdirilmiş halde iken sıcak hava vantilatörü (fan) ile ön kurutulma işlemi uygulanmıştır (Şekil43b). Üniversal test makinesinin çeneleri arasından alınan yönlendirilmiş filmler ütü yardımıyla iyice kurutulmuşlardır. Şekil 44'ta makineden çıkartılmış ve ütü ile kurutulmuş selüloz film görülmektedir. Daha sonra, bu filmlerin normal hava şartlarına (%60 rutubet, 20°C sıcaklık) bırakılarak denge rutubetine ulaşması sağlanmıştır.

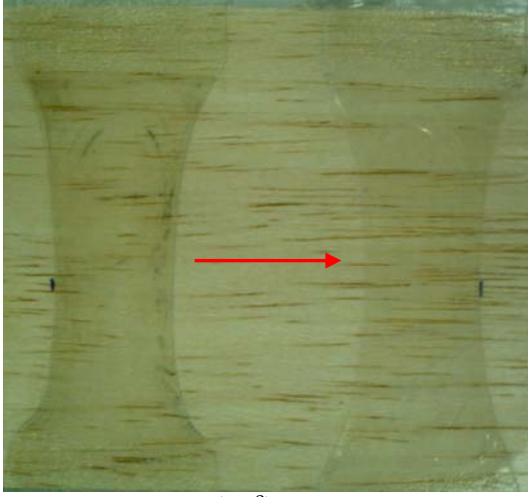


Şekil 44. Gerdirilmiş ve kurutulmuş selüloz film

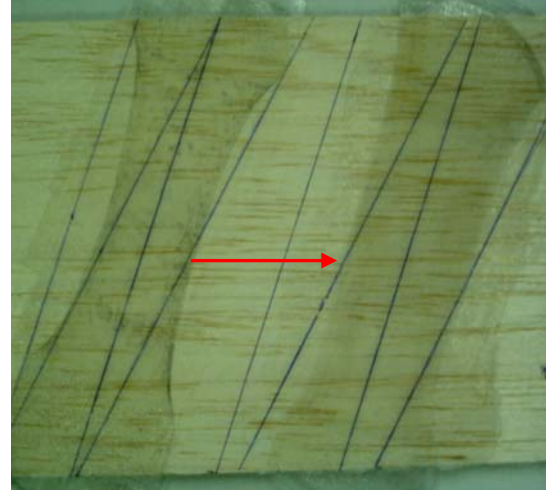


### 2.1.7. Deney Örneklerinin Hazırlanması

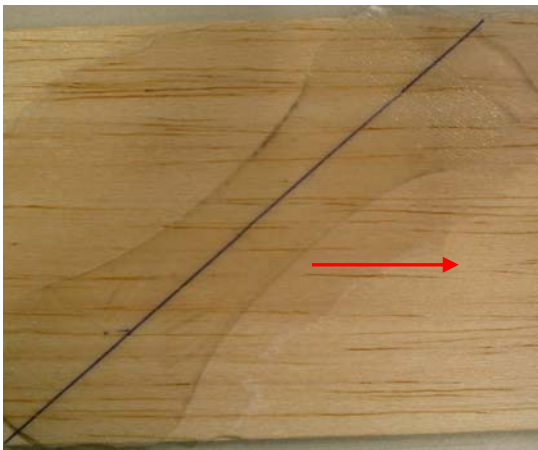
Üretilen gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmleri polivinil asetat (PVAc) tutkalı vasıtasıyla balsa odunu örnekleri üzerine yapıştırılmıştır. Bu amaçla; 4 ve 6mm kalınlığında hazırlanan balsa odunlarının yüzeylerinde, filmlerin yapıştırılacağı alanlara PVAc tutkalı sürülmüştür. Daha sonra tutkal sürülen bölgelere hazırlanan selüloz filmler, oda sıcaklığında ve  $20\text{N/mm}^2$ , gösterge basıncı uygulanan tek katlı bir preste 30 dakika süre ile preslenmiştir. Selüloz filmleri gerdirildikten sonra balsa odunun lif yönüne göre  $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $67.5^\circ$ ,  $90^\circ$  açılarda olmak üzere 5 farklı şekilde yönlendirilmiştir (Şekil 45).



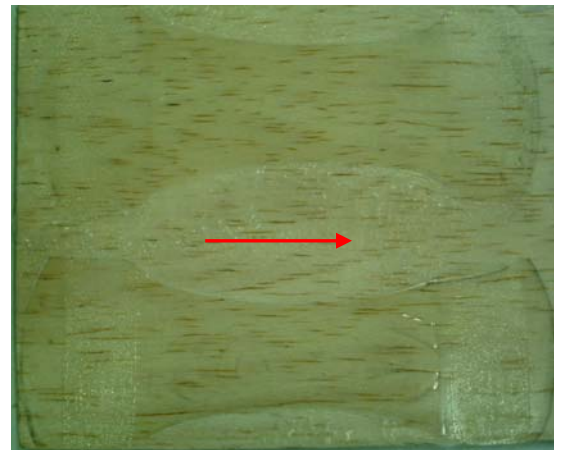
( $90^\circ$ )



( $67.5^\circ$ )



( $45^\circ$ )



( $0^\circ$ )

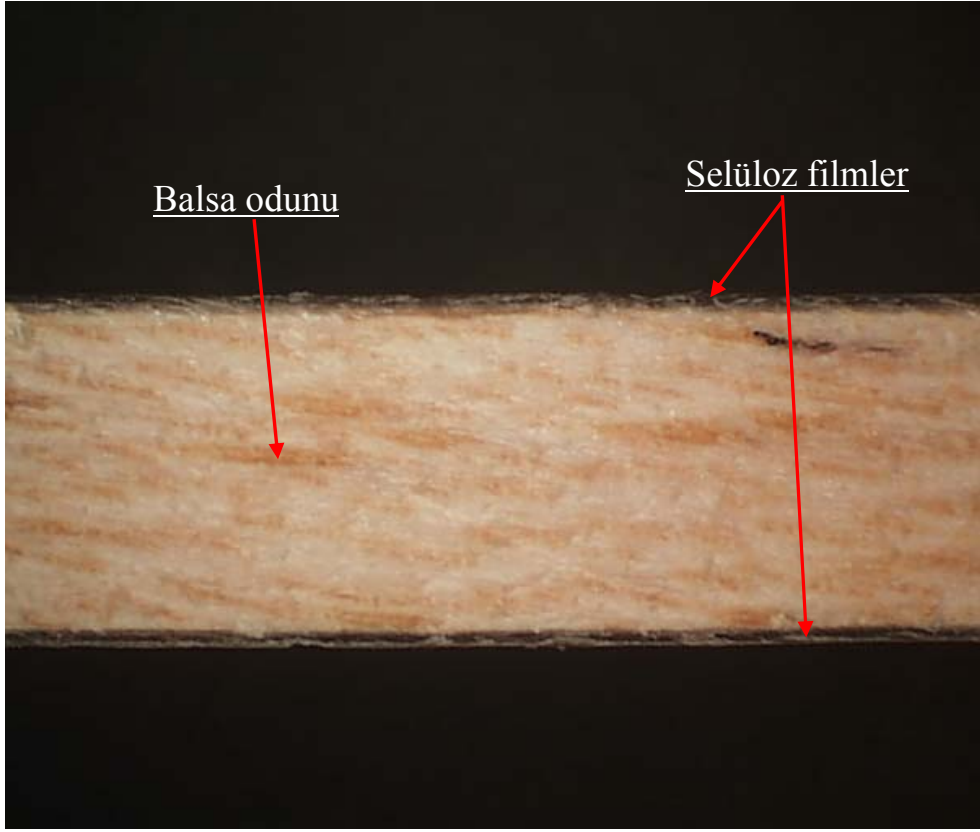
Şekil 45. Balsa odunu üzerine yapıştırılmış gerdirilmiş selüloz filmler

Soğuk presleme işleminden sonra deney örnekleri 12 saat ortam koşullarında (%60–70 bağıl nem, 18-22°C sıcaklık) bekletilmişlerdir. Şekil 46’da balsa odunu üzerine PVAc tutkalı ile yapıştırılmış olan, gerdirilmiş ve gerdirilmemiş selüloz filmleri görülmektedir.



Şekil 46. Üretilen sandviç levha örneklerinin genel görünümü

Daha sonra, deney örnekleri daire testere ile 10x80xörnek kalınlığı mm boyutlarında kesilmiştir. Kesim esnasında kenarlarda meydana gelen bozukluklar el zımparası ile düzeltilip, örnekler numaralandırılmıştır.



Şekil 47. Sandviç levha örneğinin enine kesiti (Yüzey tabaka: selüloz film, orta tabaka: balsa odunu)

Tablo 17. Test edilen sandviç levha örnek tipleri

Örnek Kodu	Yüzey Malzeme Tipi	Çinko borat Oranı (%)	Lif Açısı	Orta Tabaka Kalınlığı (mm)	Orta Tabakanın Özgül Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )
K <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	--	--	0°	4	100
K <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	--	--	22.5°	4	100
K <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	--	--	45°	4	100
K <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	--	--	67.5°	4	100
K <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	--	--	90°	4	100
N <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	NSF	--	0°	4	100
N <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	NSF	--	22.5°	4	100
N <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	NSF	--	45°	4	100
N <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	NSF	--	67.5°	4	100
N <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	NSF	--	90°	4	100
G <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	GSF	--	0°	4	100
G <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	GSF	--	22.5°	4	100
G <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	GSF	--	45°	4	100
G <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	GSF	--	67.5°	4	100
G <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	GSF	--	90°	4	100
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	--	--	0°	4	230
K <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	--	--	22.5°	4	230
K <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	--	--	45°	4	230
K <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	--	--	67.5°	4	230
K <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	--	--	90°	4	230
N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	NSF	--	0°	4	230
N <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	NSF	--	22.5°	4	230
N <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	NSF	--	45°	4	230
N <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	NSF	--	67.5°	4	230
N <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	NSF	--	90°	4	230
G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	GSF	--	0°	4	230
G <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	GSF	--	22.5°	4	230
G <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	GSF	--	45°	4	230
G <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	GSF	--	67.5°	4	230
G <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	GSF	--	90°	4	230
K <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	--	--	0°	6	230

Tablo 17'nin devamı

N <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	NSF	--	0°	6	230
G <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	GSF	--	0°	6	230
Kontrol	NSF	--	--	--	--
0.35ZnB	NSF	0.35	--	--	--
0.75ZnB	NSF	0.75	--	--	--
1.5ZnB	NSF	1.5	--	--	--
2.5ZnB	NSF	2.5	--	--	--
3.5ZnB	NSF	3.5	--	--	--

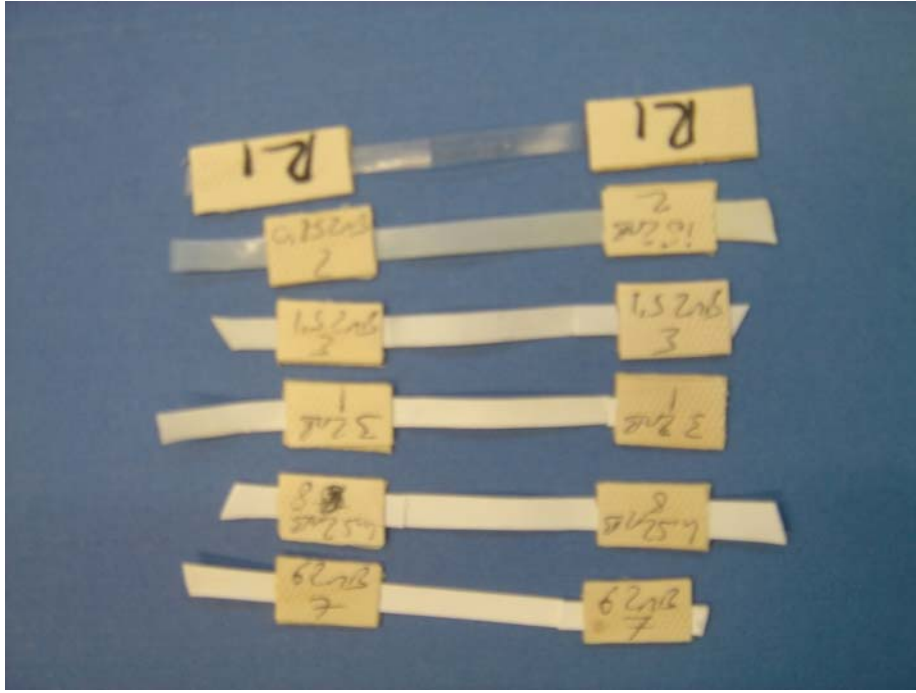
\* NSF: Normal Selüloz Film

\*\* GSF: Gerdirilmiş Selüloz Film

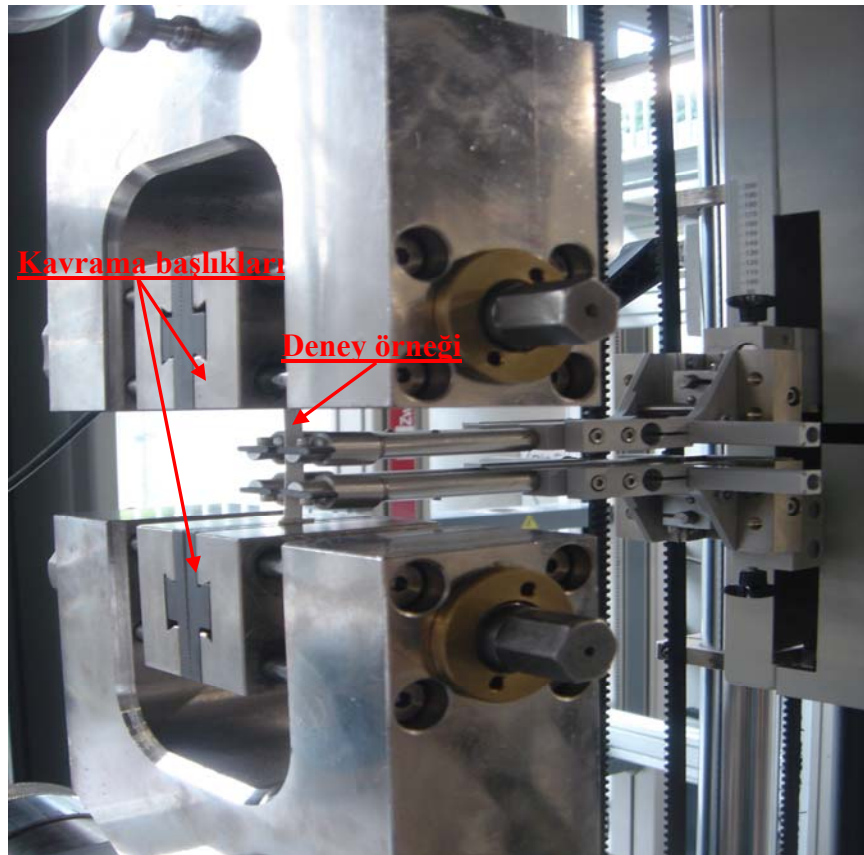
### 2.3. Araştırma Yöntemi

#### 2.3.1. Çekme Direnci

Çekme direnci denemeleri literatüre uygun olarak gerçekleştirilmiştir [62]. Çekme direnci sadece normal selüloz filmler ve çinko boratlı selüloz filmler üzerinde gerçekleştirilmiş olup, sandviç levha örneklerine uygulanmamıştır. Çinko borat kullanılarak ve kullanılmadan hazırlanan selüloz film örnekleri 5x70mm boyutlarında kesilmiş ve sıcaklığı 18-22°C ve bağıl nemi % 60–70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmişlerdir. Örneklerde genişlik dijital kumpas ile kalınlık ise dijital mikrometre ile ölçülmüştür. Deney örneklerinin test esnasında deney tertibatından zamansız ayrılmaları önlenmek için örneklerin her iki ucuna 15x30mm boyutlarında odun parçaları yapıştırılarak örneklerin test makinesinin çeneleri arasında iyi tutunmaları sağlanmıştır. İki odun parçası arasında, açıklık 40mm olacak şekilde hazırlanan deney örnekleri şekil 45'deki Zwick-Z100 tipi universal test makinesine yerleştirilmektedir. 1–2dk. içerisinde kopmanın meydana gelmesini sağlayacak şekilde 1mm/dk hızla çalıştırılmıştır.



Şekil 48. Çekme testi için hazırlanan deney örnekleri



Şekil 49. Çekme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği



### 2.3.2. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deney örnekleri selüloz filmlerinin boyutlarına uygun ölçüde modifiye edilmiş olarak hazırlanmış ve deneyler EN 310 (1993) standardı esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [75]. 5-7x20x100mm boyutlarındaki örnekler sıcaklığı 18–22°C ve bağıl nemi %60–70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletildikten sonra genişlik dijital kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlıklar ise; yüklemenin yapıldığı hat üzerinde iki noktanın ortalaması alınarak 0.01mm duyarlıklı mikrometre ile ölçülmüştür. Denemeler Zwick-Z025 tip universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 50. Sandviç levha test örnekleri

Üniversal test makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1–2 dakika içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 10mm/dk hızla çalıştırılmıştır. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği Şekil 51’de verilmiştir. Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3xFxL}{2xbxd^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{eşitliğinden hesaplanmıştır.} \quad (1)$$

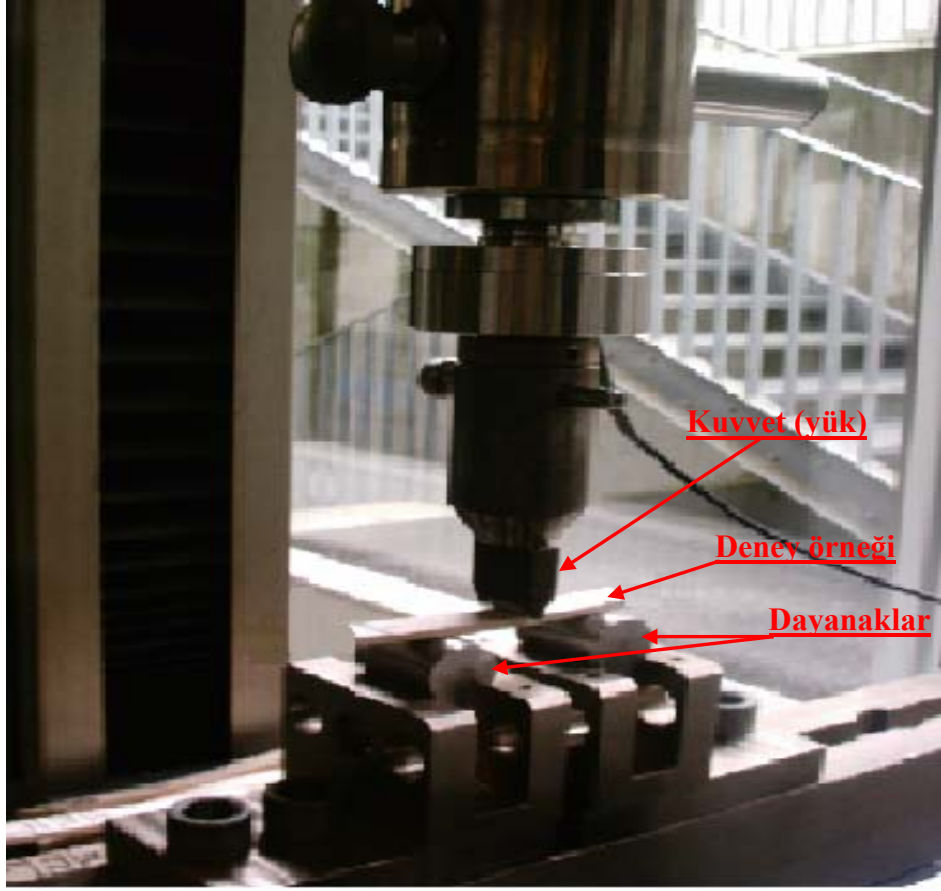
Burada,

$F$ = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

$L$ = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

$d$ = Örnek kalınlığı (mm)

$b$ = Örnek genişliği (mm)



Şekil 51. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü üç noktalı test düzeneği

### 2.3.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü selüloz filmlerinin boyutlarına uygun ölçüde modifiye edilmiş olarak deney örnekleri hazırlanmış ve deneyler EN 310 (1993) standardı esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [75]. 5-7x20x100mm boyutlarında sıcaklığı 18–22°C ve bağıl nemi % 60–70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilen örneklerde genişlik dijital kumpas ile 0.01mm



hassasiyetle yükleme hattında bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde iki noktanın ortalaması alınarak 0.01mm duyarlıklı mikrometre ile ölçülmüştür. Deneme makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2dk. İçerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 10mm/dk hızla çalıştırılmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü;

$$E = \frac{F \times I^3}{4 \times b \times d^3 \times \Delta} \quad (N/mm^2) \quad (2)$$

Eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Burada,

$F$ = Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

$I$ = Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

$d$ = Örnek kalınlığı (mm)

$\Delta$ = Eğilme miktarı (mm)

#### 2.3.4. Yanma Mukavemeti

Çinko boratlı selüloz filmlerin yanma dayanımı değerini belirlemede yanmayı belirleyici önemli bir analiz olan TGA (Termogravimetrik Analiz) kullanılmıştır.

Test örneklerinin TGA ölçümleri için, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü laboratuvarlarında bulunan A Seiko II Exctar 6000 termal analiz cihazı kullanılmıştır. Bu amaçla, çinko boratlı selüloz filmler parçalara ayrılarak KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarındaki Willey değirmeninde toz haline getirilmiş ve elenmişlerdir. 40mesh'lik elek altında kalan toz deneme materyali olarak kullanılmıştır. Ögütülmüş örneklerden yaklaşık 0,2mg kadar deneme örneği alınmış ve azot atmosferi altında ve 30-900°C aralığında dakikada 20°C'lik sıcaklık artışıyla platin kapsül kullanılarak test edilmiştir.



Şekil 52. A Seiko II Exstar 6000 Termogravimetrik Cihazı

#### 2.4. İstatistik Yöntemler

Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla ikiden fazla örnek ve bir faktör söz konusu olduğunda basit varyans analizi, ikiden fazla örnek ve iki faktör söz konusu olunca da çoğul varyans analizi kullanılarak değişkenlerin etkili olup olmadıkları belirlenmiştir. Etkilenmenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler DUNCAN testi ile karşılaştırılmıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Mekanik Özellikler

##### 3.1.1. Eğilme Direnci

Deneme panellerinin eğilme direnci değerlerine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 18’de verilmiştir. Denemeler 6’şar adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 18. Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	24.68	1.28	5.18
K <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	21.94	0.35	1.59
K <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	9.21	0.34	3.69
K <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	5.04	0.15	2.98
K <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	3.86	0.05	1.29
N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	35.49	1.41	3.97
N <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	27.28	1.34	4.91
N <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	20.87	1.06	5.07
N <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	15.47	0.69	4.46
N <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	18.31	1.67	9.12
G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	64.63	1.06	1.64
G <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	35.39	2.49	7.03
G <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	28.84	0.60	2.08
G <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	19.20	0.15	0.78
G <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	18.84	0.095	0.50
K <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	13.68	0.74	5.4
K <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	7.64	0.25	3.2
K <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	2.62	0.074	2.8
K <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	1.35	0.08	5.9
K <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	1.00	0.02	0.02

Tablo 18'in devamı

N <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	16.51	0.80	4.8
N <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	13.74	0.61	4.4
N <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	11.29	0.85	7.5
N <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	8.95	0.27	3.0
N <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	5.95	0.31	5.0
G <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	22.05	0.78	3.5
G <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	16.86	0.36	2.1
G <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	14.81	0.32	2.1
G <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	12.70	0.69	5.4
G <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	11.41	0.71	6.2

\*  $\bar{X}$  = Aritmetik Ortalama; S= Standart Sapma; V= Varyasyon Katsayısı

Sandviç levhaların eğilme direnci üzerine, kullanılan selüloz film tipi, orta tabaka yoğunluğu ve balsa odununun lif açısının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. Selüloz film türünün, balsa yoğunluğu ve lif açısının sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Lif Açısı (A)	9667.69	4	2416.92	3256.48	***
Film Tipi (B)	7102.93	2	3551.47	4785.15	***
Yoğunluk (C)	7106.76	1	7106.76	9575.40	***
A*B (Etkileşim)	1054.11	8	131.76	177.53	***
A*C (Etkileşim)	1997.04	4	499.26	672.69	***
B*C (Etkileşim)	772.43	2	386.22	520.37	***
A*B*C (Etkileşim)	1089.87	8	136.23	183.56	***
Hata	111.33	150	0.74		
Toplam	80840.78	180			

Yapılan çoğul varyans analizi sonucuna göre, selüloz film türü, balsa lif açısı ve yoğunluğunun, ve bu faktörlerin karşılıklı etkilerinin eğilme direnci üzerine etkisinin %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.

Yüksek yoğunluktaki balsa ile üretilen sandviç levhalarda lif açısı ve yüzey tabaka türünün eğilme direnci üzerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 20, Tablo 21 ve Tablo 22’de verilmektedir. Buna göre, her üç selüloz film türünde de lif açısının etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Film tabakasının balsa odununa yapıştırılmasında balsa lif yönünün eğilme direncine etkisinin belirlenebilmesi için öncelikle masif odun örneklerinin lif yönünün eğilme direnci değerlerine etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikli olarak masif haldeki balsa odunun lif yönünün eğilme direnci üzerindeki etkisinin belirlenmiş. Veriler basit varyans analizi ile irdelenmiş ve sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir. Ardından balsa odunun lif yönünün gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmler ile kaplanmış levhalar üzerindeki etkisinin belirlemek için denemeler yapılmış veriler varyans analizi ile irdelenmiş ve sonuçlar Tablo 21 ve Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 20. Kaplanmamış yüksek yoğunluktaki balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	2266.64	4	566.66	1484.86	***
Gruplar İçi	9.54	25	0.38		
Toplam	2276.18	29			

Tablo 21. Gerdirilmemiş selüloz film ile kaplanmış yüksek yoğunluktaki balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	1538.55	4	384.64	234.51	***
Gruplar İçi	41.01	25	1.64		
Toplam	1579.55	29			

Tablo 22. Gerdirilmiş selüloz film ile kaplanmış yüksek yoğunluktaki balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	8480.37	4	2120.09	1364.99	***
Gruplar İçi	38.83	25	1.55		
Toplam	8519.19	29			

Düşük yoğunlukta balsa ile üretilen sandviç levhalarda lif açısı ve yüzey tabaka türünün eğilme direnci üzerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 23, Tablo 24 ve Tablo 25’de verilmiştir. Buna göre, her üç selüloz film türünde de lif açısının etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Film tabakasının balsa odununa yapıştırılmasında balsa lif yönünün eğilme direnci üzerine etkisinin belirlenebilmesi için öncelikle masif odun örneklerinin lif yönünün eğilme direnci değerlerine etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle eğilme direnci değerleri 5 farklı lif açısında hazırlanmış balsa odun örneklerinde belirlenmiş, veriler basit varyans analizi ile irdelenmiş ve sonuçlar Tablo 23’de verilmiştir. Ardından balsa odunun lif yönünün gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmler ile kaplanmış levhalar üzerindeki etkisini belirlemek için varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 24 ve Tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 23. Kaplanmamış balsa odununda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	701.22	4	175.30	1387.50	***
Gruplar İçi	3.16	25	0.13		
Toplam	704.38	29			

Tablo 24. Gerdirilmemiş selüloz film kaplanmış sandviç levhalarda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	403.07	4	100.77	261.97	***
Gruplar İçi	9.62	25	0.39		
Toplam	412.69	29			

Tablo 25. Gerdirilmiş selüloz film kaplanmış sandviç levhalarda lif açısının eğilme direnci üzerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	418.88	4	104.72	285.24	***
Gruplar İçi	9.18	25	0.37		
Toplam	428.06	29			

Deneme levhalarındaki farklılığın hangi parametreden kaynaklandığının belirlenmesi için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 26'da verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır.

Tablo 26. Sandviç levhaların eğilme direnci değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları

Yüksek Yoğunluktaki Balsa (230 kg/m <sup>3</sup> )					
Kontrol		Gerdirilmemiş Film		Gerdirilmiş Film	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	24.68 a	N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	35.49 a	G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	64.63 a
K <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	21.94 b	N <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	27.28 b	G <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	28.84 b
K <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	9.21 c	N <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	20.87 c	G <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	28.84 c
K <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	5.04 d	N <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	18.31 d	G <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	19.20 d
K <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	3.86 e	N <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	15.47 e	G <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	18.85 d
Düşük Yoğunluktaki Balsa (100kg/m <sup>3</sup> )					
Kontrol		Gerdirilmemiş Film		Gerdirilmiş Film	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
K <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	13.68 a	N <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	16.51 a	G <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	22.05 a
K <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	7.64 b	N <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	13.74 b	G <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	16.86 b
K <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	2.62 c	N <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	11.29 c	G <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	14.81 c
K <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	1.35 d	N <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	8.95 d	G <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	12.70 d
K <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	1.00 d	N <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	5.96 e	G <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	11.41 e

Orta tabaka kalınlık ve selüloz film türünün sandviç levhanın eğilme direnci değerlerine etkisine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 27’de verilmiştir. Denemeler 12’şer adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 27. Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
K <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	26.58	0.58	2.2
N <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	24.91	0.35	1.4
G <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	29.75	0.43	1.4
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	24.68	1.28	5.2
N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	35.49	1.41	3.9
G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	64.63	1.06	1.6

Sandviç levhaların eğilme direnci üzerine kullanılan orta tabaka kalınlığı ve selüloz film türünün etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28. Yüzey tabaka türü ve orta tabaka kalınlığının sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
O. Tabaka Kalınlığı (A)	3795.04	2	3795.04	3783.65	***
Selüloz Film Türü (B)	6193.44	1	3096.72	4636.88	***
A*B (Etkileşim)	4195.20	2	2097.60	2562.90	***
Hata	54.02	66	.82		
Toplam	99143.58	72			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre selüloz film türü, orta tabaka kalınlığı ve bu faktörlerin karşılıklı etkilerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkisinin %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.



Selüloz film türünün sandviç levhanın eğilme direnci özellikleri üzerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için orta tabaka kalınlığına göre ayrı ayrı yapılmış basit varyans analizi sonuçları Tablo 29 ve Tablo 30'de verilmiştir. Buna göre, her iki orta tabaka kalınlığında da selüloz film türünün levhanın eğilme direnci üzerine etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Tablo 29. 6mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç levhanın eğilme direnci üzerine selüloz film türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	144.98	2	72.49	373.81	***
Gruplar İçi	6.40	33	0.19		
Toplam	151.38	35			

Tablo 30. 4mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde selüloz film türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	10243.66	2	5121.83	3549.49	***
Gruplar İçi	47.62	33	1.44		
Toplam	10291.28	35			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre selüloz film türünün her iki orta tabaka kalınlığı için eğilme direnci değerleri üzerine etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Deneme levhalarındaki farklılığın hangi parametreden kaynaklandığının belirlenmesi için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 31'de verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır.

Tablo 31. Sandviç levhaların eğilme direnci değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları

Orta Tabaka (6mm)		Orta Tabaka (4mm)	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
K <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	26.58 a	K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	24.68 a
N <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	24.91 b	N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	35.49 b
G <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	29.75 c	G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	64.63 c

### 3.1.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisine ait ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 32’de verilmiştir. Denemeler 6’şar adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 32. Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri(N/mm<sup>2</sup>)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	2424.99	231.91	9.5
K <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	1692.56	5.42	0.3
K <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	514.64	24.61	4.7
K <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	240.33	12.49	5.1
K <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	171.26	4.41	2.5
N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	4075.16	324.81	7.9
N <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	2788.22	80.19	2.8
N <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	1807.01	58.63	3.2
N <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	1475.13	81.84	5.5
N <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	1341.16	50.92	3.7
G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	5683.79	190.53	3.3
G <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	4177.81	110.74	2.6
G <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	3120.93	119.36	3.8
G <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	2205.92	87.94	3.9
G <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	1826.53	197.97	10.7

Tablo 32'nin devamı

$K_4Y_0$	1488.33	76.24	5.1
$K_4Y_{22.5}$	552.69	5.43	1.0
$K_4Y_{45}$	125.25	5.02	4.0
$K_4Y_{67.5}$	45.33	3.58	7.7
$K_4Y_{90}$	12.68	0.98	7.2
$N_4Y_0$	1739.95	162.61	9.3
$N_4Y_{22.5}$	1525.43	70.25	4.5
$N_4Y_{45}$	1005.31	50.68	4.9
$N_4Y_{67.5}$	614.61	14.89	2.4
$N_4Y_{90}$	219.19	11.81	5.3
$G_4Y_0$	3869.87	145.35	3.7
$G_4Y_{22.5}$	3031.39	86.53	2.8
$G_4Y_{45}$	1854.39	88.42	4.7
$G_4Y_{67.5}$	1740.89	28.03	1.6
$G_4Y_{90}$	1140.88	18.19	1.5

Eğilmede elastikiyet modülü üzerine; kullanılan selüloz film türü, orta tabaka yoğunluğu ve balsa odununun lif açısının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlenmesi için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 33'de verilmiştir.

Tablo 33. Selüloz film türü, balsa odununun yoğunluğu ve lif açısının sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerinde etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Lif Açısı (A)	142605368.31	4	35651342.08	2995.78	***
Film Türü (B)	137883653.50	2	68941826.75	5793.17	***
Balsa Yoğunluğu (C)	42803166.66	1	42803166.66	3596.74	***
A*B (Etkileşim)	8751637.78	8	1093954.72	91.93	***
A*C (Etkileşim)	8090506.06	4	2022626.52	169.96	***
B*C (Etkileşim)	4141336.57	2	2070668.29	173.99	***
A*B*C (Etkileşim)	2202807.35	8	275350.92	23.14	***
Hata	1785079.91	150	11900.53		
Toplam	900807774.91	180			

Yapılan çoğul varyans analizi sonucuna göre, selüloz film türü, balsa odununun yoğunluğunun ve lif açısı ile bu faktörlerin karşılıklı etkilerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi % 0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.

Yüksek yoğunluktaki balsa ile üretilen sandviç levhalarda lif açısı ve yüzey tabaka türünün eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 34, Tablo 35 ve Tablo 36'da verilmiştir. Buna göre, her üç selüloz film türünde de lif açısının %0,1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Film tabakasının balsa odununa yapıştırılmasında balsa lif yönünün eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisinin belirlenebilmesi için öncelikle masif odun örneklerinin elastikiyet modülü değerlerine etkisinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle eğilmede elastikiyet modülü değerleri 5 farklı lif açısında hazırlanmış balsa odun örneklerinde belirlenmiş, veriler basit varyans analizi ile irdelenmiş ve sonuçlar Tablo 34'de verilmiştir. Ardından balsa odunun lif yönünün gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmler ile kaplanmış levhalar üzerindeki etkisini belirlemek için varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 35 ve Tablo 36'da verilmiştir.

Tablo 34. Kaplanmamış yüksek yoğunluktaki balsa odununda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	24056052.36	4	6014013.09	550.75	***
Gruplar İçi	272989.77	25	10919.59		
Toplam	24329042.13	29			

Tablo 35. Gerdirilmemiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ait basit varyans analizi sonuçları (yüksek yoğunluktaki balsa için)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	30918764.00	4	7729691.01	336.93	***
Gruplar İçi	573542.64	25	22941.71		
Toplam	31492306.64	29			

Tablo 36. Gerdirilmiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları (yüksek yoğunluktaki balsa için)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	58801005.78	4	14700251.44	669.73	***
Gruplar İçi	548739.39	25	21949.58		
Toplam	59349745.17	29			

Düşük yoğunlukta balsa ile üretilen sandviç levhalarda lif açısı ve yüzey tabaka türünün eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisini belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 37, Tablo 38 ve Tablo 39'da verilmiştir. Buna göre, her üç yüzey tabaka türünde de lif açısının etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Düşük yoğunluktaki balsa odunun lif yönünün eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisinin belirlenmesi için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 37'de verilmiştir. Ardından düşük yoğunluktaki balsa odunun lif yönünün gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmler ile kaplanmış levhalar üzerindeki etkisinin belirlemek için varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 38 ve Tablo 39'da verilmiştir.

Tablo 37. Kaplanmamış düşük yoğunluktaki balsa odununda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	9294341.93	4	2323585.48	1904.26	***
Gruplar İçi	30505.05	25	1220.20		
Toplam	9324846.98	29			

Tablo 38. Gerdirilmemiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları (düşük yoğunluktaki balsa için)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	9477853.83	4	2369463.46	345.29	***
Gruplar İçi	171552.44	25	6862.10		
Toplam	9649406.27	29			

Tablo 39. Gerdirilmiş selüloz film kaplamalı sandviç levhalarda lif açısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları (düşük yoğunluktaki balsa için)

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	29102301.62	4	7275575.40	968.78	***
Gruplar İçi	187750.62	25	7510.03		
Toplam	29290052.23	29			

Levha tipleri arasında, eğilme direnci bakımından homojenlik derecesini belirlemek için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 40'da verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır.

Tablo 40. Sandviç levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin DUNCAN testi sonuçları

Yüksek Yoğunlukta (230kg/m <sup>3</sup> ) Balsa Orta Tabakalı Sandviç Levha					
Kontrol		Gerdirilmemiş Film		Gerdirilmiş Film	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	2424.99 a	N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	4075.16 a	G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	5683.79 a
K <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	1692.56 b	N <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	2788.22 b	G <sub>4</sub> S <sub>22.5</sub>	4177.81 b
K <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	514.64 c	N <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	1807.01 c	G <sub>4</sub> S <sub>45</sub>	3120.93 c
K <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	240.33 d	N <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	1475.13 d	G <sub>4</sub> S <sub>67.5</sub>	2205.92 d
K <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	171.26 d	N <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	1341.16 d	G <sub>4</sub> S <sub>90</sub>	1826.53 e
Düşük Yoğunlukta (100Kg/m <sup>3</sup> ) Balsa Orta Tabakalı Sandviç Levha					
Kontrol		Gerdirilmemiş Film		Gerdirilmiş Film	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
K <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	1488.33 a	N <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	1739.95 a	G <sub>4</sub> Y <sub>0</sub>	3869.86 a
K <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	552.69 b	N <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	1525.43 b	G <sub>4</sub> Y <sub>22.5</sub>	3031.39 b
K <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	125.25 c	N <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	1005.31 c	G <sub>4</sub> Y <sub>45</sub>	1854.39 c
K <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	45.33 d	N <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	614.61 d	G <sub>4</sub> Y <sub>67.5</sub>	1740.89 c
K <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	12.63 d	N <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	219.19 e	G <sub>4</sub> Y <sub>90</sub>	1140.87 d

Orta tabaka kalınlık ve selüloz film türünün sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri

Tablo 41’de verilmiştir. Denemeler 12’şer örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 41. Deneme levhalarının ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Levha Tipi	$\bar{X}$	S	V
K <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	2312.23	22.3	0.9
N <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	2604.46	49.9	1.9
G <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	2766.99	23.2	0.8
K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	2424.99	221.1	9.1
N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	4075.16	309.7	7.5
G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	5683.79	181.6	3.2

Sandviç levha eğilme direnci üzerine orta tabaka kalınlığı ve selüloz film türünün etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 42’de verilmiştir.

Tablo 42. Selüloz film türü ve orta tabaka kalınlığının sandviç levhanın eğilme direnci üzerinde etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
O. Tabaka Kalınlığı (A)	40504385.12	1	20700566.50	684.91	***
Selüloz Film Türü (B)	41401133.00	2	40504385.12	1340.14	***
A*B (Etkileşim)	23595577.83	2	11797788.92	390.35	***
Hata	1994784.48	66	30224.01		
Toplam	896941566.89	72			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, selüloz film türü, orta tabaka kalınlığı ve bu faktörlerin karşılıklı etkilerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.

Selüloz film türünün sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü özellikleri üzerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için orta tabaka kalınlığına göre ayrı

ayrı basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 43 ve Tablo 44’de verilmiştir. Buna göre, her iki orta tabaka kalınlığında da yüzey tabaka türünün levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Tablo 43. 6mm kalınlıktaki balsa odunu ile üretilen sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine selüloz film türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S D	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	1274531.26	2	637265.63	541.48	***
Gruplar İçi	38837.64	33	1176.89		
Toplam	1313368.90	35			

Tablo 44. 4mm kalınlıktaki balsa odunu ile üretilen sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine selüloz film türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	63722179.58	2	31861089.79	537.55	***
Gruplar İçi	1955946.84	33	59271.15		
Toplam	65678126.41	35			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre selüloz film türünün her iki orta tabaka kalınlığı için eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.

Deneme levhalarındaki farklılığın hangi parametreden kaynaklandığının belirlenmesi için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 45’de verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır.



Tablo 45. Sandviç levhaların eğilmede elastikiyet değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları

Orta Tabaka Kalınlığı (6mm)		Orta Tabaka Kalınlığı (4mm)	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Tipi	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
K <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	2312.23 a	K <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	2424.99 a
N <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	2604.46 b	N <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	4075.16 b
G <sub>6</sub> S <sub>0</sub>	2766.99 c	G <sub>4</sub> S <sub>0</sub>	5683.79 c

### 3.1.3. Çekme Direnci

Çinko borat katkılı selüloz filmlerin çekme direnci değerlerine etkisine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 46’da verilmiştir. Denemeler 10 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 46. Selüloz filmlerin ortalama çekme direnci değerleri

Örnek Grupları	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	S	V
Kontrol	101.93	14.25	13.9
0.35ZnB	144.99	15.32	10.5
0.75ZnB	135.64	12.95	9.5
1.5ZnB	95.85	8.91	9.2
2.5ZnB	90.94	5.98	6.6
3.5ZnB	76.23	3.49	4.6

Selüloz filmlerin çekme dayanımı değerleri üzerine çinko borat kullanım oranının etkisini belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 47’de verilmiştir.

Tablo 47. Selüloz film üretiminde çinko borat kullanım oranının çekme direnci üzerine etkilerine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	36166.99	5	7233.40	59.23	***
Gruplar İçi	6595.24	54	122.13		
Toplam	42762.24	59			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, çinko borat kullanım oranının selüloz filmlerin çekme direnci üzerine etkisi, % 0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Çinko borat katkıli selüloz filmler arasındaki farklılığın hangi parametreden kaynaklandığının belirlenmesi için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 48’de verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile selüloz filmler farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır

Tablo 48. Çinko borat katkıli selüloz filmlerin çekme direnci değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları

Selüloz Film Türü	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	101.92 c
1.5ZnB	95.85 bc
3.5ZnB	76.23 a
2.5ZnB	90.94 b
0.75ZnB	135.64 d
0.35ZnB	144.99 d

### 3.1.4. Çekmede Elastikiyet Modülü

Çinko borat katkıli selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 49’da verilmiştir. Denemeler 10’ar adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen gruplar değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 49. Selüloz filmlerin ortalama çekmede elastikiyet modülü değerleri

Örnek Grupları	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	<i>S</i>	<i>V</i>
Kontrol	6632.22	1260.99	19.01
0.35ZnB	8867.87	667.99	7.53
0.75ZnB	8711.72	1241.84	14.25
1.5ZnB	7177.72	776.41	10.82
2.5ZnB	7430.64	688.27	9.11
3.5ZnB	7267.61	1072.10	15.44

Selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine çinko borat kullanım oranının etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 50’de verilmiştir.

Tablo 50. Selüloz film üretiminde çinko borat kullanım oranının çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	40578485.67	5	8115697.14	8.39	***
Gruplar İçi	52239771.87	54	967403.18		
Toplam	92818257.54	59			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, çinko borat kullanım oranının selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü üzerene etkisi % 0.1 yanılma olasılığı ile önemli bulunmuştur.

Çinko boratlı selüloz filmler arasındaki farklılığın hangi parametreden kaynaklandığının belirlenmesi için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 51’de verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile selüloz filmler farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır.

Tablo 51. Selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları

Selüloz Film Türü	$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	6632.22 a
1.5ZnB	7177.72 a
3.5ZnB	7267.61 a
2.5ZnB	7430.64 a
0.75ZnB	8711.72 b
0.35ZnB	8867.87 b

### 3.1.5. Yanma Mukavemeti

5 farklı oranda çinko borat katılarak üretilen selüloz filmlerin ilk bozunma sıcaklığı ve ana bozunma sıcaklığına ilişkin ortalama değerleri Tablo 52’de verilmiştir. Denemeler 10’ar adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler değerlendirmeye alınmamıştır.

Tablo 52. Çinko boratlı selüloz filmlerin ortalama ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri

Örnek Türü	İlk Bozunma Sıcaklığı $\bar{X}$ (°C)	Ana Bozunma Sıcaklığı $\bar{X}$ (°C)
Kontrol	286.6	304.8
0.35ZnB	287.2	321.2
0.75ZnB	311.6	331.6
1.5ZnB	339.8	350.7
2.5ZnB	355.8	373.2
3.5ZnB	367.8	404.3

Selüloz filmin ilk bozunma ve ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine kullanılan çinko borat oranının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 53’de verilmiştir.

Tablo 53. Selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine çinko borat oranının etkisine ilişkin çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
ZnB Miktarı (A)	62444.19	5	12488.84	25183.93	***
Bozunma Sıcaklığı (B)	7835.72	1	7835.72	15800.85	***
A*B (Etkileşim)	1294.68	5	258.94	522.15	***
Hata	23.80	48	0.496		
Toplam	6853969.46	60			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre, Çinko borat kullanım oranının selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine etkisi %0.1 yanılma olasılığı ile anlamlı bulunmuştur.

Çinko borat oranının selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine etkisinin önemli olup olmadığını belirlemek için ilk ve ana sıcaklık değerlerine göre ayrı ayrı yapılmış basit varyans analizi sonuçları Tablo 54 ve Tablo 55’de verilmiştir.

Tablo 54. Selüloz filmlerin ilk bozunma sıcaklık değerleri üzerine çinko borat kullanım oranının etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar Arası	30397.74	4	6079.55	10095.82	***
Gruplar İçi	14.452	25	0.602		
Toplam	30412.19	29			

Tablo 55. Selüloz filmlerin ana bozunma sıcaklık değerleri üzerine çinko borat kullanım oranının etkisine ilişkin basit varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	S.D.	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Ö.D.
Gruplar Arası	33341.14	4	6668.23	17114.48	***
Gruplar İçi	9.351	25	0.390		
Toplam	33350.49	29			

Çinko borat katkılı selüloz filmler arasındaki farklılığın hangi parametreden kaynaklandığının belirlenmesi için DUNCAN testi yapılmış ve sonuçlar Tablo 56’da verilmiştir. Buna göre, %0.1 yanılma olasılığı ile selüloz filmler farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır.

Tablo 56. Çinko boratlı selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerlerine ilişkin DUNCAN test sonuçları

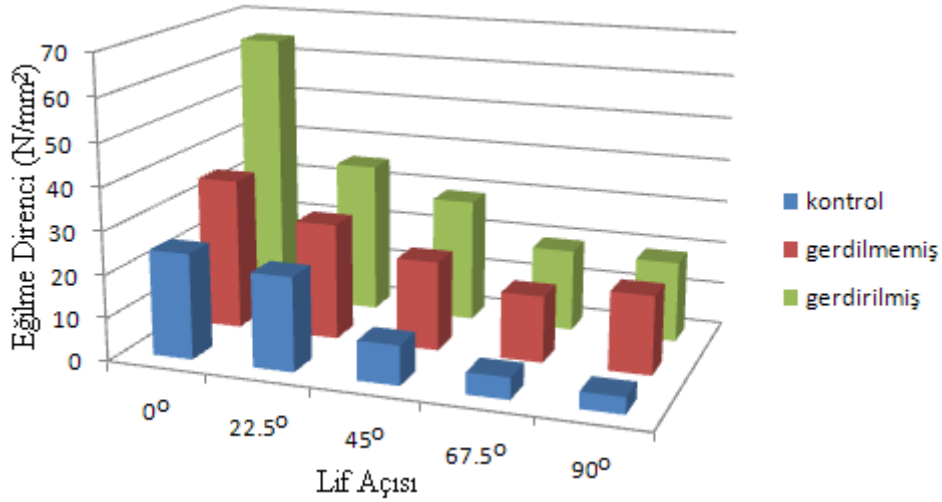
İlk Bozunma Sıcaklığı (°C)		Ana Bozunma Sıcaklığı (°C)	
Levha Tipi	$\bar{X}$ (°C)	Levha Tipi	$\bar{X}$ (°C)
Kontrol	286.61 a	Kontrol	304.79 a
0.35ZnB	287.16 a	0.35ZnB	321.24 b
0.75ZnB	311.59 b	0.75ZnB	331.59 c
1.5ZnB	339.83 c	1.5ZnB	350.67 d
2.5ZnB	355.76 d	2.5ZnB	373.21 e
3.5ZnB	367.76 e	3.5ZnB	404.34 f

## 4. İRDELEME

### 4.1. Mekanik Özellikler

#### 4.1.1. Eğilme Direnci

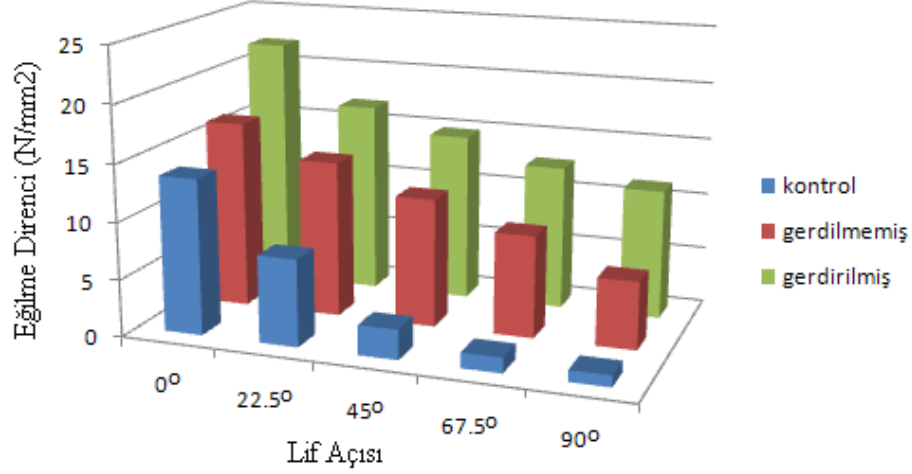
Genel olarak ortalama eğilme direnç değerleri Şekil 53 ve Şekil 54’de görüldüğü gibi, kontrol örneklerine göre gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmlü levhalarda daha yüksek bulunmuştur. En yüksek direnç değerleri yüksek ve düşük yoğunlukta balsa orta tabakalı levhalarda gerdirilmiş film yüzey tabakalı ve 0° lif açılı levha gruplarından ( $G_4S_0$ : 64.63 N/mm<sup>2</sup>,  $G_4S_0$ : 22.5 N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir. En düşük eğilme direnç değerleri ise yüksek yoğunlukta ve düşük yoğunlukta balsa sandviç levhalarda 90° lif açılı kontrol grubu levhalarda ( $K_4S_{90}$ : 3.86 N/mm<sup>2</sup>,  $K_4Y_{90}$ : 1.00 N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir.



Şekil 53. Lif açısı ve selüloz film türünün yüksek yoğunlukta balsa odununun eğilme direnci üzerine etkisi

Yüksek yoğunlukta balsa orta tabakalı sandviç levhalarda, lif açısı arttıkça, gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmler ile kaplanmış ve kaplanmamış masif balsa levhalarında eğilme direnç değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir. Kontrol levhalarına göre, gerdirilmemiş filmlü levhalar (90°’de %374, 67.5°’de %207, 45°’de %127, 22.5°’de %24 ve 0°’de %44) ve gerdirilmiş levhalardan (90°’de %388, 67.5°’de

%281, 45°'de %213, 22.5°'de %61 ve 0°'de %162) daha yüksek değerler vermiştir (Şekil 53).

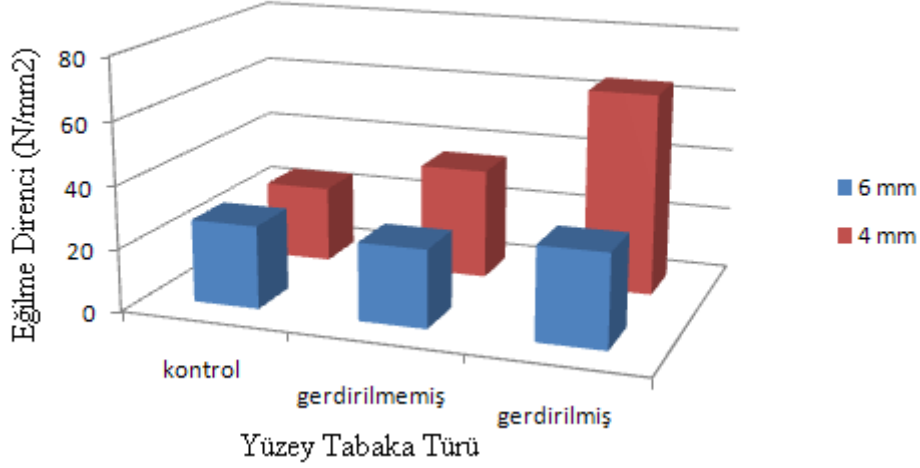


Şekil 54. Lif açısının ve yüzey tabaka türünün düşük yoğunluktaki balsa odunun eğilme direnci üzerine etkisi

Düşük yoğunlukta balsa orta tabakalı sandviç levhalarda, lif açısı arttıkça, gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmler ile kaplanmış ve kaplanmamış levhalarda eğilme direnç değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir. Kontrol levhalarına göre, gerdirilmemiş filmlerle kaplanmış levhalar (90°'de %495, 67.5°'de %562, 45°'de %331, 22.5°'de %80 ve 0°'de %21) ve gerdirilmiş filmlerle kaplanmış levhalar (90°'de %1040, 67.5°'de %841, 45°'de %565, 22.5°'de %120 ve 0°'de %61) daha yüksek değerler vermiştir (Şekil 54).

Şekil 53 ve Şekil 54 incelendiğinde, selüloz filmin balsa odununun direncini çok yüksek derecede artırdığı görülmektedir. Dirençli ve rijit olan selüloz filmleri, hafif ve dayanıksız olan balsa odununun direncini önemli derecede artırmıştır. Ayrıca, sandviç levhanın lif açısı arttıkça eğilme direnci üzerindeki etkisinde artışı görülmektedir. Çünkü lif açısı arttıkça balsa odununun eğilme direnci çok belirgin bir şekilde düşmekte ve bu aşamada rijit ve dirençli olan selüloz filmin etkinliği de artmaktadır.

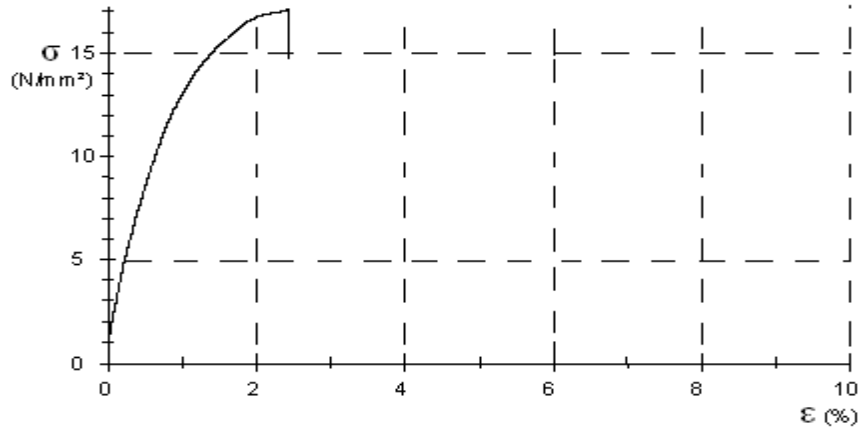




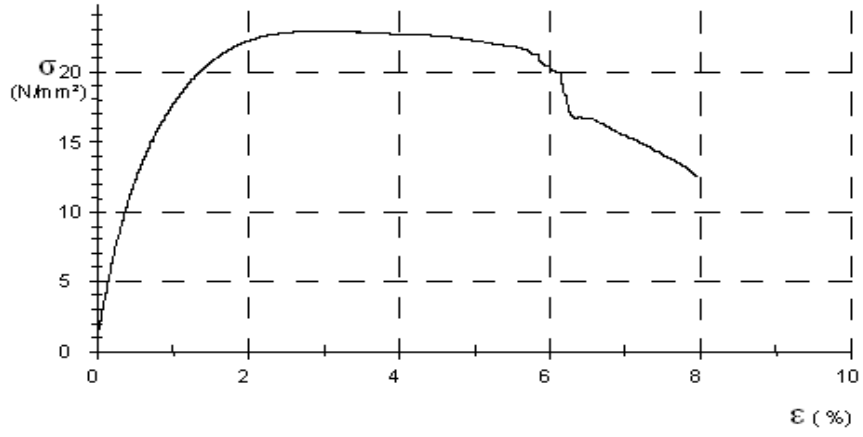
Şekil 55. Orta tabaka kalınlığının ve selüloz film türünün yüksek yoğunluktaki balsa odunun eğilme direnci üzerine etkisi

0°'de lif açısı ve yüksek yoğunlukta balsa orta tabakalı sandviç levhaların eğilme direnci üzerine kalınlık ve selüloz film türünün etkisine bakıldığında, 6mm kalınlıkta balsa orta tabakalı levhalara göre, 4mm kalınlıkta balsa için gerdirilmemiş filmlerde %42, gerdirilmiş filmlerde ise %117'den daha yüksek değerler bulunmuştur (Şekil 55). Şekil 55 incelendiğinde, 6mm kalınlıkta orta tabakalı levhalarda gerdirilmemiş filmle kaplı levha grubunun ortalama eğilme direnci değeri kontrol levhalarından daha düşük bulunmuştur. Bu, yüzey tabakanın orta tabakaya uygun olmadığını göstermektedir. Yani yüzey tabaka orta tabakadan daha önce deforme olmuştur. Eğilme direncinin artırılabilmesi için yüzey tabakanın kalınlığı yâda direncinin artırılması gerekmektedir. Gerdirilmiş film gerdirilmemiş filmde daha yüksek dirence sahip olduğundan bu filmle kaplanmış 6mm kalınlıkta balsa odununda kontrol'e göre daha yüksek direnç elde edilmiştir. Fakat bu direncin 4mm kalınlıkta orta tabakalı sandviç levha ile karşılaştırıldığında yeterli olmadığı görülmektedir.

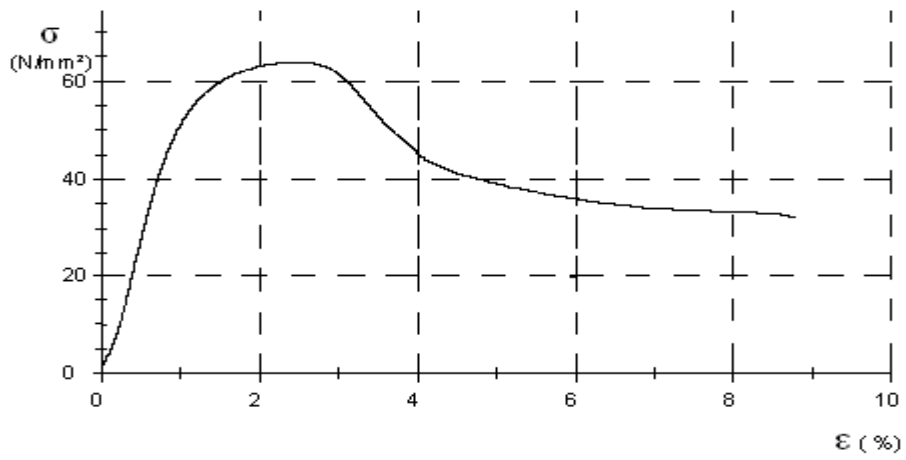
Sandviç levhalar test edilirken gerilme-şekil değiştirme grafikleri kaydedilmiş ve sonuçlar Şekil 56, Şekil 57 ve Şekil 58'de verilmiştir. Şekil 56 incelendiğinde kontrol örneğinin çok kısa sürede kırılarak çok kısa bir eğri oluşturduğu görülmektedir. Selüloz film yüzey tabakalı levhaların grafikleri incelendiğinde (Şekil 57 ve Şekil 58) ise kırılmanın çok daha uzun sürede gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum kullanım yerinde levhaya büyük bir avantajlar sağlamaktadır.



Şekil 56. Kontrol levhanın gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 57. Gerdirilmiş film yüzeyli sandviç levhanın gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 58. Gerdirilmiş film yüzeyli sandviç levhanın gerilme-şekil değiştirme grafiği

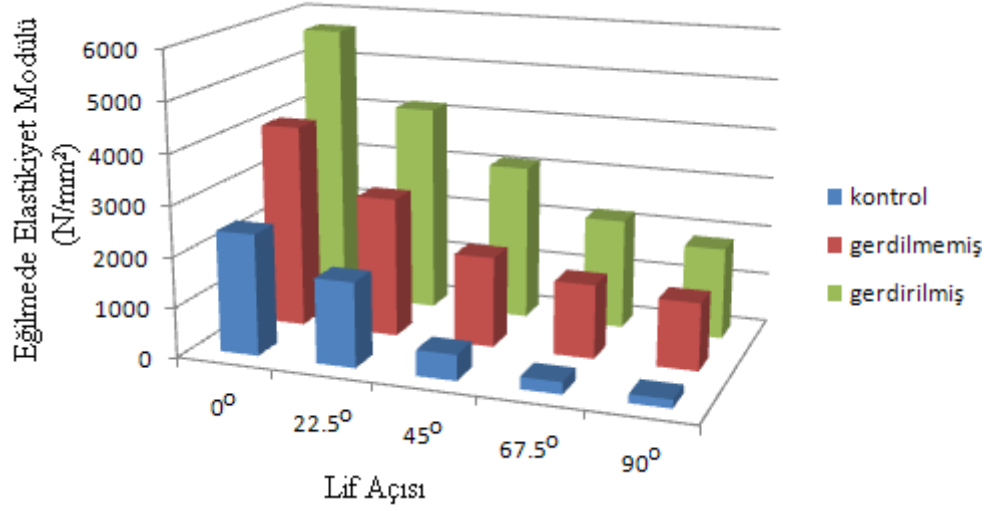
W. Gindl ve arkadaşları [62]'nin yapmış oldukları çalışmada; selüloz filmlerindeki çekme oranı artıkça çekme direnç değerlerinin de arttığını ve en yüksek değer %50 oranında gerdirilmiş filmlerde elde edildiğini tespit etmişlerdir. S. Park ve arkadaşları'nın [76] yapmış olduğu çalışmada ise; %30 oranında gerdirmiş ve gerdirilmiş selüloz filmlerde yüksek oranda moleküler bir yönelmenin olduğu tespit edilmiştir. K. Matsumoto ve arkadaşları [77, 78] ile W. Zhao ve arkadaşları [79]'nin yapmış olduğu çalışmaların sonuçlarında da gerdirme oranı artıkça çekme direncinin arttığı, ancak kopma anındaki uzama değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Denemelerin sonuçları literatür ile uyumluk göstermiş olup, %50'ye kadar gerdirilmiş filmlerle kaplı sandviç levhaların gerdirilmemiş filmlerle kaplı levhalardan çok daha yüksek eğilme direnci değeri verdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, sandviç levhalardan elde edilen eğilme direnci değerleri; U. Müller [12]'in yapmış olduğu çalışmada elde edilen yekpare malzemeye göre sandviç levhalardaki eğilme direnci artışlarıyla da uyumluluk göstermiştir. Fakat gerdirilmiş film yüzey tabakalı sandviç levhalardan elde edilen eğilme direnci değerleri bahsi geçen çalışmadaki değerlerden çok daha yüksek bulunmuştur.

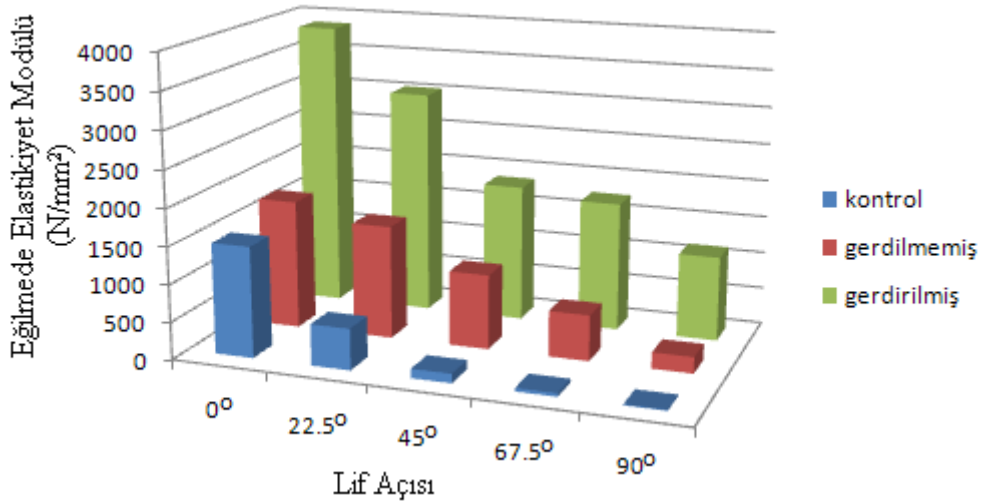
#### 4.1.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Genel olarak ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri (Şekil 59 ve Şekil 60), kontrol örneklerine göre gerdirilmiş ve gerdirilmemiş filmlerle kaplı levhalarda çok daha yüksek bulunmuştur. En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri yüksek ve düşük yoğunlukta balsa orta tabakalı sandviç levhalarda, gerdirilmiş film yüzey tabakalı ve  $0^\circ$  lif açılı levha gruplarından ( $G_4S_0$ :  $5683.79\text{N/mm}^2$ ,  $G_4Y_0$ :  $4075.16\text{N/mm}^2$ ) elde edilmiştir. En düşük eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise yüksek ve düşük yoğunlukta balsa orta tabakalı sandviç levhalar ve  $90^\circ$  lif açılı kontrol grubu levhalarda ( $K_4S_{90}$ :  $171.26\text{N/mm}^2$ ,  $K_4Y_{90}$ :  $12.68\text{N/mm}^2$ ) elde edilmiştir.



Şekil 59. Lif açısının ve selüloz film türünün yüksek yoğunluktaki balsa odunun ( $230\text{kg/m}^3$ ) eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi

Yüksek yoğunluktaki balsa odunu kullanılan levhalarda lif açısı arttıkça, eğilme direnç değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir. Kontrol levhalarına göre, gerdirilmemiş filmlili levhalar ( $90^\circ$ 'de %683,  $67.5^\circ$ 'de %513,  $45^\circ$ 'de %251,  $22.5^\circ$ 'de %65 ve  $0^\circ$ 'de %68) ve gerdirilmiş filmlili levhalardan ( $90^\circ$ 'de %966,  $67.5^\circ$ 'de %817,  $45^\circ$ 'de %506,  $22.5^\circ$ 'de %146 ve  $0^\circ$ 'de %134) daha yüksek değerler vermiştir (Şekil 59).

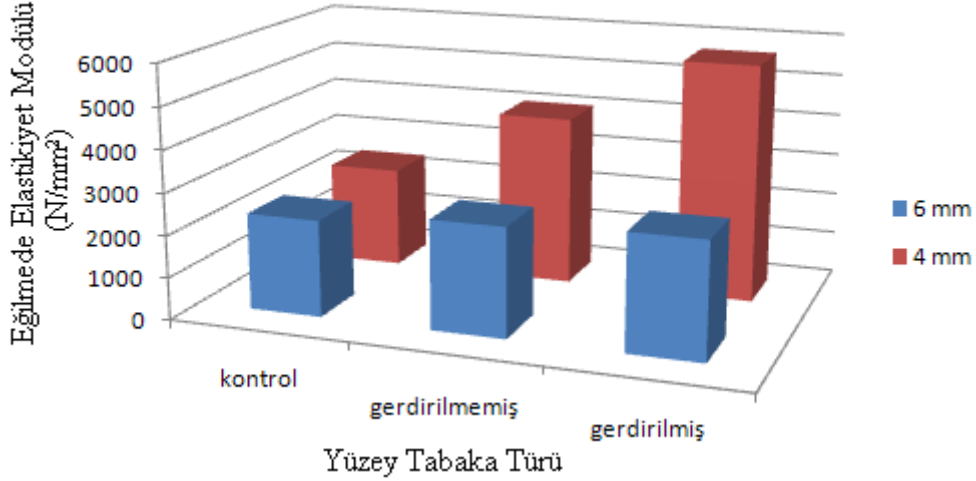


Şekil 60. Lif açısının ve yüzey tabaka türünün düşük yoğunluktaki balsa odununun ( $100\text{kg/m}^3$ ) eğilme direnci üzerine etkisi

Düşük yoğunlukta balsa odunu kullanılan levhalarda, lif açısı arttıkça, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde önemli düşüşler meydana gelmiştir. Kontrol levhalarına

göre, gerdirmemiş filmlı levhalar (90°de %1628, 67.5°de %1255, 45°de %702, 22.5°de %176 ve 0°de %17) ve gerdirilmiş levhalar (90°de %8897, 67.5°de %3740, 45°de %1380, 22.5°de % 448ve 0°de %160) daha yüksek değerler vermiştir (Şekil 60).

Şekil 59 ve Şekil 60 incelendiğinde, selüloz film tabakasının balsanın direncini çok yüksek oranda artırdığı görülmektedir. Dirençli ve rijit olan selüloz filmler, hafif ve dayanıksız olan balsa odununun direncini önemli derecede artırmıştır. Ayrıca, lif açısı artıkça selüloz filmin sandviç levhanın eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerindeki etkisinde artığı görülmektedir. Çünkü lif açısı artıkça balsa odununun eğilmede elastikiyet modülü çok belirgin bir şekilde düşmekte ve bu aşamada rijit ve dirençli olun selüloz filmin etkinliği de artmaktadır.



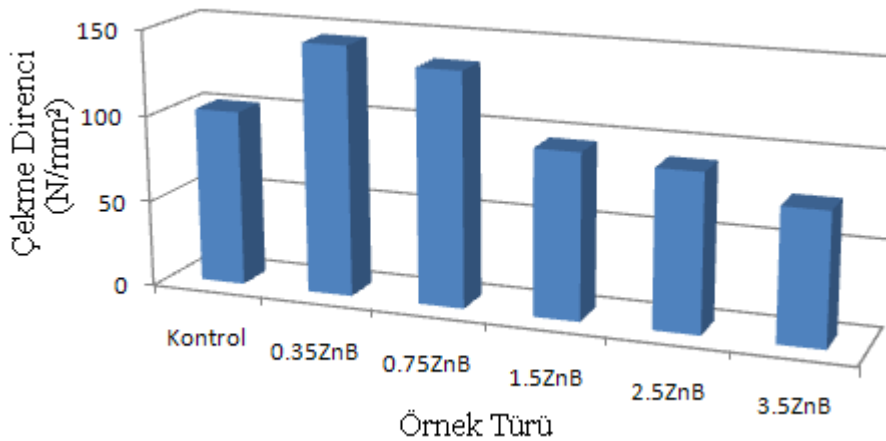
Şekil 61. Orta tabaka kalınlığı ve selüloz film türünün yüksek yoğunluktaki balsa odununun eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi

0°de lif açısı ve yüksek yoğunlukta balsa orta tabakalı sandviç levhaların eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine tabaka kalınlık ve türünün etkisi incelendiğinde, 6mm kalınlıkta balsa orta tabakalı levhalara göre, 4mm kalınlıkta orta tabaklı sandviç levhalarda gerdirilmemiş filmlerde %56, gerdirilmiş filmlerde ise %1054'den daha yüksek değerler belirlenmiştir (Şekil 61). Şekil 61 incelendiğinde, 6mm kalınlıkta orta tabakalı levhalarda gerdirilmemiş filmle kaplı levha grubunun ortalama eğilmede elastikiyet modülü değeri kontrol levhalarından, direnç değerlerinin aksine daha yüksek bulunmuştur.

W. Gindl ve arkadaşları'nın [62] yapmış olduğu çalışmada çekme oranı artıkça selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinin de arttığı ve en yüksek değer  $D_R=1.5$  çekme oranında elde edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca, K. Matsumoto ve arkadaşları [76] ile W. Zhao ve arkadaşları'nın [77] yapmış olduğu çalışmanın sonuçlarında da gerdirme oranı artıkça çekmede elastikiyet modülünün arttığı, ancak kopma anındaki uzama değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Denemeler sonucu elde edilen değerler literatür ile uyumluk göstermiş olup, %50'ye kadar gerdirilmiş filmlerle kaplı sandviç levhalar gerdirilmemiş filmlerle kaplı olanlardan çok daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri vermiştir. Bu çalışmada sandviç levhalardan elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri; U. Müller'in [12] yapmış olduğu çalışmada verilen yekpare malzemeye göre sandviç levhalardaki eğilmede elastikiyet modülü yüzde artışlarıyla da uyumluluk göstermiştir. Fakat gerdirilmiş film yüzey tabakalı sandviç levhalardan elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri söz konusu çalışmada verilen değerlerden çok daha yüksek bulunmuştur.

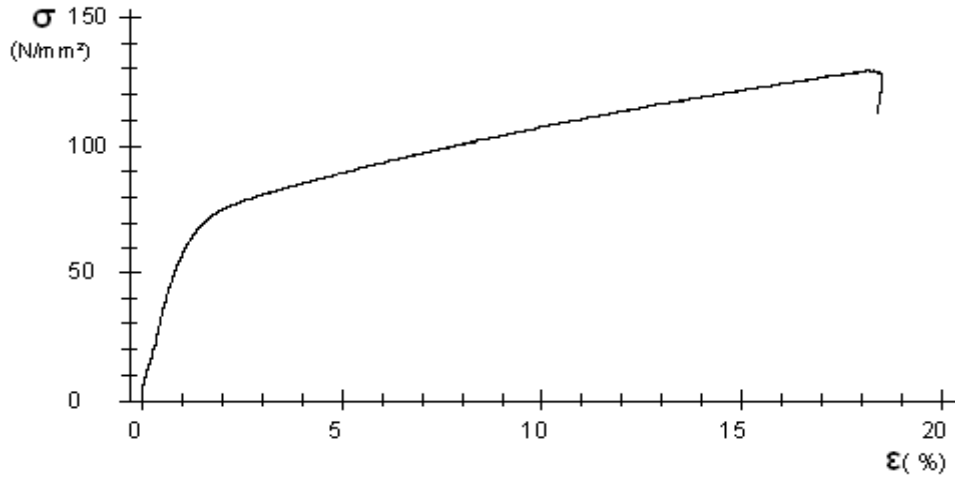
#### 4.1.3. Çekme Direnci

Genel olarak ortalama çekme direnç değerleri Şekil 62'de görüldüğü gibi, önce bir artmış sonra Çinko borat oranı artıkça azalmıştır. En yüksek direnç değerleri, %0.35 ve %0.75 çinko borat katkıli selüloz filmlerden (0.35ZnB: 144.996, 0.75ZnB: 135.64) elde edilmiştir. En düşük çekme direnç değeri ise %3.5 Çinko borat katkıli selüloz film örneklerinden (0.35ZnB: 76.231) elde edilmiştir.

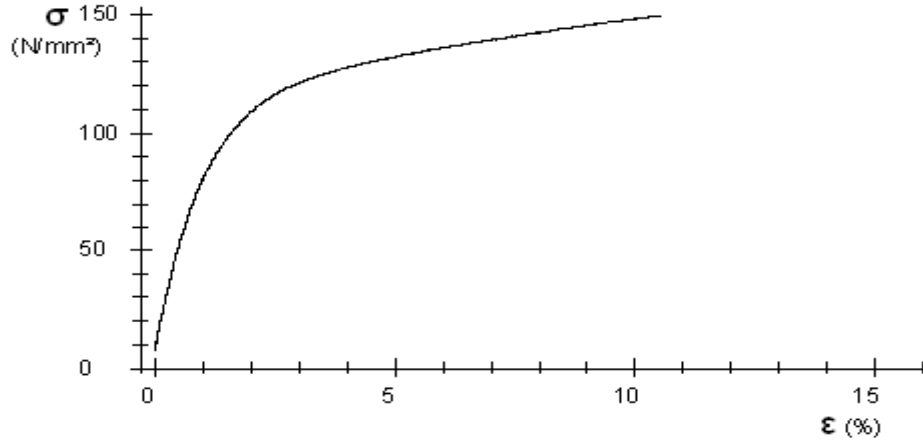


Şekil 62. Çinko borat oranının selüloz filmlerin çekme direnci üzerine etkisi

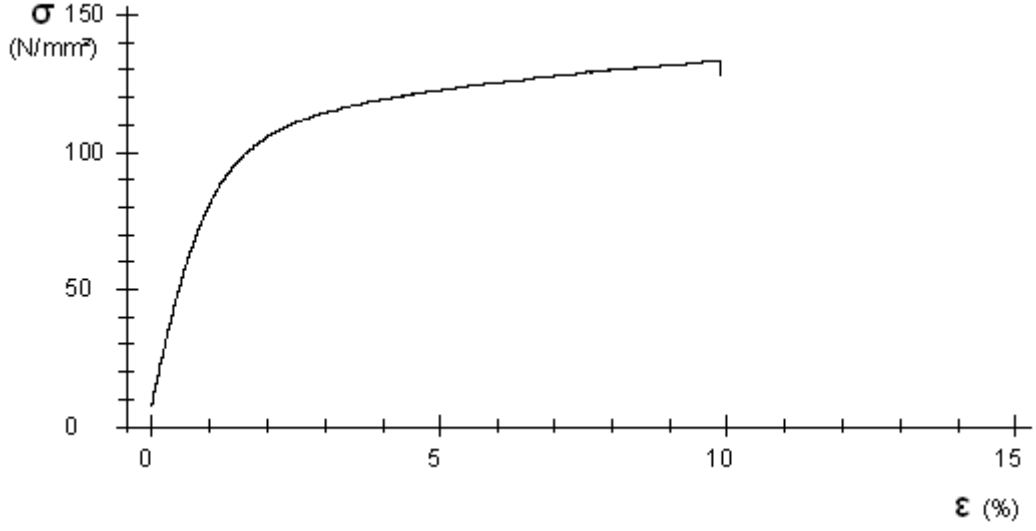
%0.35 ve %0.75 Çinko borat katkılı selüloz filmde çekme direnci değerleri, kontrol örneklerine göre sırasıyla %42 ve %33 daha yüksek bulunmuştur. Bu beklenen bir durum değildir. Az miktarda eklenen Çinko borat yumuşak ve sünek olan selüloz filmin rijitliğini artırarak onları daha stabil hala getirmiştir. Bu durum Şekil 63 ve 64'deki gerilme-şekil değiştirme grafiklerinde de görülmektedir. Şekil 63 incelendiğinde, gerilme-şekil değiştirme eğrisi kontrol örneklerinin çinko boratlı selüloz film grafiklerine göre (Şekil 64, Şekil 65, Şekil 66, Şekil 67 ve Şekil 68) çekme yükü altında çok sünek bir yapı sergilediği görülmektedir.



Şekil 63. Kontrol selüloz filmin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği

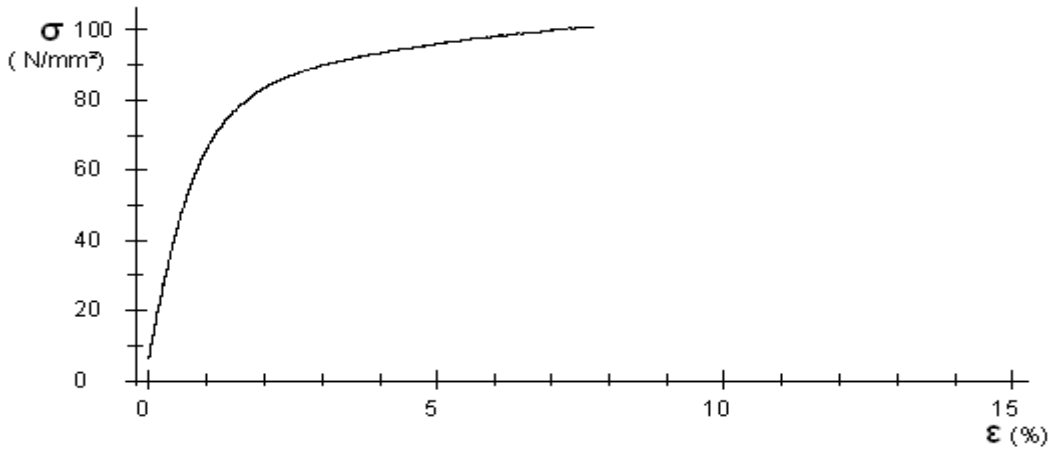


Şekil 64. %0.35 Çinko borat'lı çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği



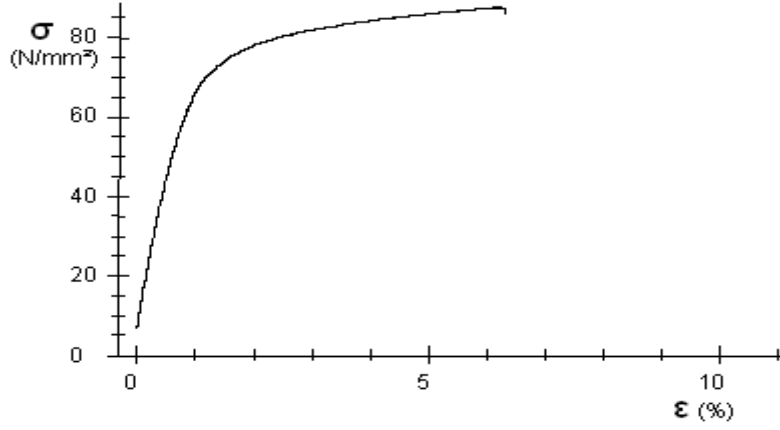
Şekil 65. %0.75 Çinko borat'lı selüloz filmlerin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği

Kontrol örneklerine göre, %1.5, %2.5 ve % 3.5 Çinko borat katkılı selüloz filmlerin çekme direnci değerleri sırasıyla %6, %12 ve %33 daha az bulunmuştur (Şekil 62). %2.5 ve % 3.5 Çinko borat katkılı selüloz filmler ile kontrol örnekleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunurken, %1.5 Çinko borat'lı selüloz filmler ile kontrol örnekleri arasındaki fark ise önemsiz bulunmuştur. Gerilme-şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde, kullanılan Çinko borat oranı arttıkça, selüloz filmlerin rijitliğinin arttığı ve çekme yükü altında daha kısa sürede kırıldığı görülmektedir.

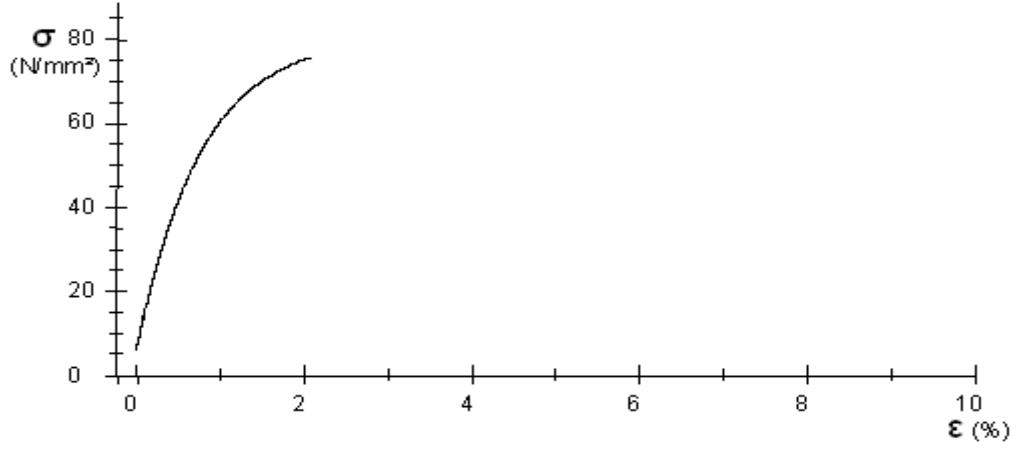


Şekil 66. %1.5 Çinko borat'lı selüloz filmlerin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği





Şekil 67. %2.5 Çinko borat'lı selüloz filmlerin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği



Şekil 68. %3.5 Çinko borat'lı selüloz filmin çekme yükü altındaki gerilme-şekil değiştirme grafiği

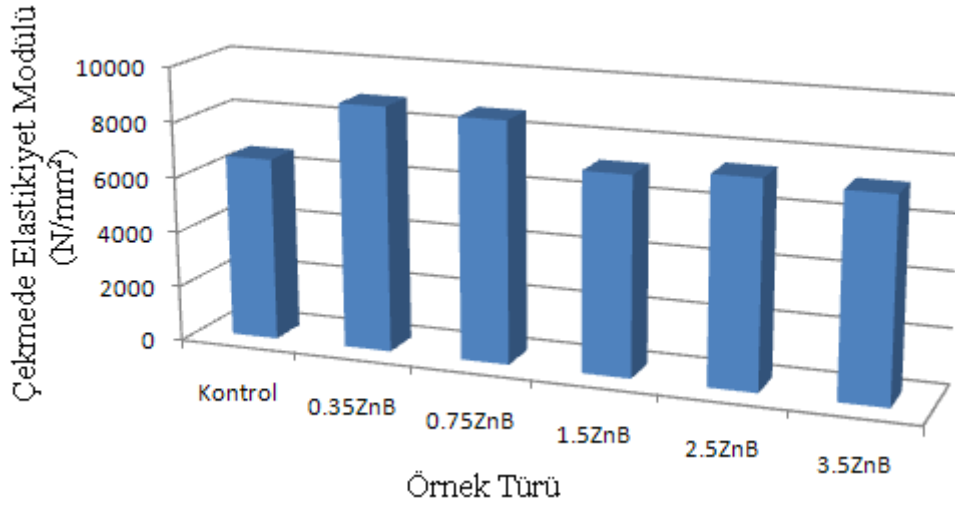
Literatürde, malzemenin yanma dayanımını artırmak için kullanılan çinko boratın malzemenin direnç özellikleri azalttığı belirlenmiştir [80, 81, 82 ve 83].

Bu çalışmada ise; durum biraz farklı olmuştur. Çinko borat LiCl/DMAc çözücüsü içerisinde çözülmüş ve sıvı halde selüloz-DMAc/LiCl çözeltisine katılmıştır. %0.75 oranına kadar çinko borat kullanımı arttıkça direnç özelliklerinde %42'ye varan bir artış elde edilmiştir. Daha yüksek kullanımlarda ise sonuçlar literatür ile uyumluluk göstermiştir.

Çinko boratın ilavesi ile filmlerin çekme direnci değerlerinde sünek bir yapıya sahip olan selüloz filmler'e çinko borat daha rijit bir yapı kazandırmış ve buda selüloz filmlerin çekme direnci değerlerinde artışa neden olmuştur.

#### 4.1.4. Çekmede Elastikiyet Modülü

Genel olarak ortalama çekmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 69'da görüldüğü gibi, önce bir artmış sonra çinko borat oranı artıka azalmıştır. En yüksek çekmede elastikiyet modülü değerleri %0.35 ve %0.75 çinko borat katkıli selüloz filmlerden (0.35ZnB: 8867.9N/mm<sup>2</sup>, 0.75ZnB: 8711.7N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir. En düşük çekmede elastikiyet modülü değeri ise kontrol grubu selüloz film örneklerinden (Kontrol: 6632.2N/mm<sup>2</sup>) elde edilmiştir.



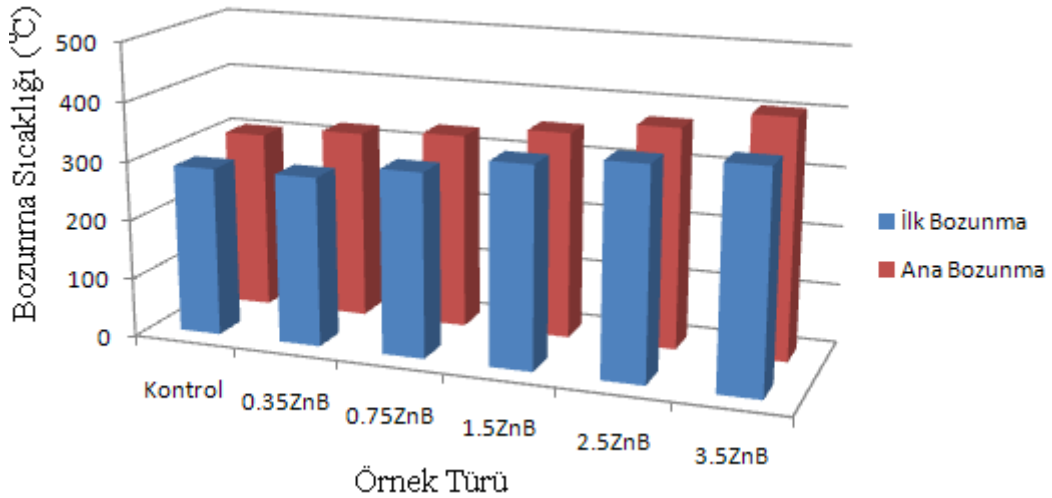
Şekil 69. Çinko borat oranının selüloz filmlerin çekmede elastikiyet değerleri üzerine etkisi

Şekil 69 incelendiğinde, çinko borat katkıli örnek gruplarının hepsinin çekmede elastikiyet modülü değerleri kontrol grubu örneklerinkinden yüksek olduğu görülmektedir. %0.35 ve %0.75 Çinko borat katkıli selüloz filmlerde çekmede elastikiyet değerleri, kontrol örneklerine göre sırasıyla %34 ve %31 daha yüksek bulunmuştur. Diğer oranlardaki Çinko borat katkıli selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri ise kontrol örneklerinden yaklaşık olarak %10 daha yüksek bulunmuştur. Şekil 69'da görüldüğü gibi, %0.1.5, %2.5 ve %3.5 Çinko borat katkıli selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmamaktadır. İstatistik analiz sonuçlarına göre, kontrol, 1.5ZnB, 2.5ZnB ve 3.5ZnB örnek grupları arasında fark bulunmayıp, aynı grupta yer almışlardır. 0.35ZnB ve 0.75ZnB örnek grupları ise aynı homojenlik grubunda yer almıştır.

Literatürde, yanma dayanımını artırmak için kullanılan çinko boratın; malzemenin eğilimde elastikiyet modülü değerlerini azalttığı tespit edilmiştir [80, 81, 82 ve 83]. Bu çalışmada ise; durum biraz farklı olmuştur. Çinko borat LiCl/DMAc çözücüsü içerisinde çözülmüş ve %0.75 oranına kadar çinko borat kullanımı arttıkça filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinde %34'e varan bir artış elde edilmiştir. Sünek bir yapıya sahip olan selüloz filmlere çinko borat daha rijit bir yapı kazandırmış ve bu da selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinde artışa neden olmuştur. Burada çekme direnci değerlerinin aksine çinko borat katkılı tüm örnek gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerleri kontrol grubundan daha yüksek çıkmıştır.

#### 4.1.5. Yanma Mukavemeti

Genel olarak selüloz filmlerin ortalama yanma mukavemeti değerleri incelendiğinde Şekil 70'de görüldüğü gibi, çinko borat oranı arttıkça hem ilk hem de ana bozunma sıcaklık değerleri artmıştır. Selüloz filmlerin en yüksek ilk ve ana bozunma sıcaklık değerleri %3.5 Çinko borat katkılı selüloz film grubunda (3.5ZnB, İlk Bozunma: 367.8°C; Ana Bozunma: 404.3°C) ve ana bozunma sıcaklığı yine %3.5 Çinko borat katkılı selüloz film grubunda (3.5ZnB: 404°C) belirlenmiştir. En düşük değerler ise kontrol grubu ve %0.35 çinko borat katkılı örneklerden (İlk Bozunma: Kontrol, 286.6°C, 0.35ZnB: 287.2°C; Ana Bozunma: Kontrol, 304.8°C, 0.35ZnB: 321.2°C) elde edilmiştir.



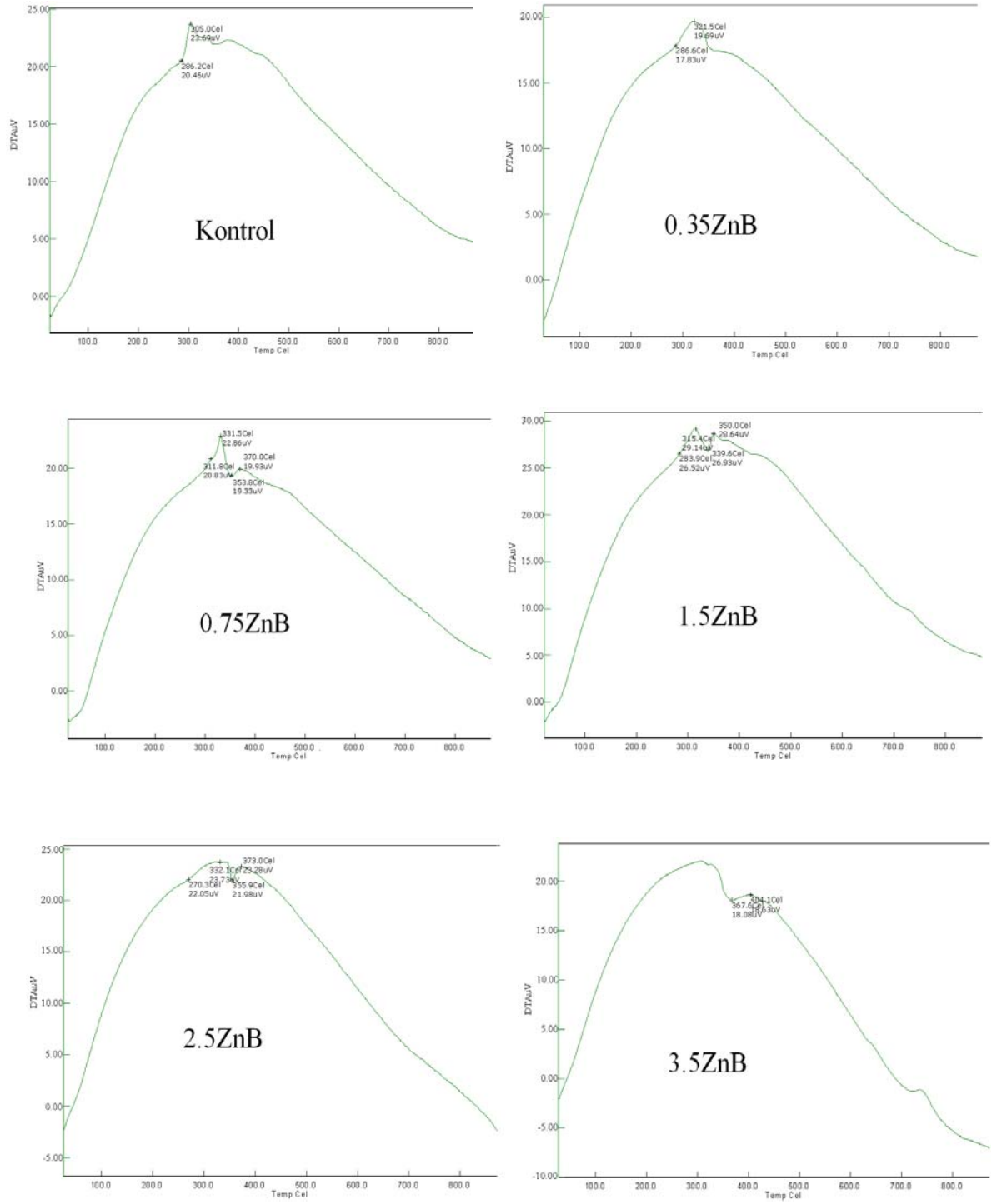
Şekil 70. Çinko borat oranının selüloz filmlerin yanma mukavemeti üzerine etkisi

Örneklerde ilk bozunma sıcaklıkları, kontrol'e göre, 0.35ZnB filmlerde %0.2, 0.75ZnB filmlerde %9, 1.5ZnB filmlerde %19, 2.5ZnB filmlerde %24 ve 3.5ZnB filmlerde %28 daha yüksek ve ana bozunma sıcakları ise 0.35ZnB filmlerde %5, 0.75ZnB filmlerde %9, 1.5ZnB filmlerde %15, 2.5ZnB filmlerde %22 ve 3.5ZnB filmlerde %33 daha yüksek değerler vermiştir.

Çinko borat kullanım oranının artmasıyla ilk ve ana bozunma sıcaklık değerlerindeki artış, Çinko borat'ın yanmayı önleyici etki yaptıklarını, dolayısı ile selüloz filmlerin yanma mukavemetinin iyileştirdiğini göstermektedir.

Literatürde, odun esaslı levhaların yanma dayanımını artırmak için kullanılan çinko boratın olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [80, 81, 82 ve 83]. Bu çalışmada, sözkonusu literatüre uygun sonuçlar elde edilmiştir. Çinko borat kullanım oranı artıkça selüloz filmlerin yanma mukavemet değerleri de artmıştır.

Şekil 71'de selüloz filmlerin yanma mukavemetine ait ilk ve ana bozunma grafikleri verilmiştir.



Şekil 71. Selüloz filmlerin yanma mukavemetlerine ait bozunma grafikleri

## 5. SONUÇLAR

### 5.1. Eğilme Direnci

1. Selüloz filmler, balsa lif açısı artıkça balsa odununun eğilme direnci üzerinde daha fazla etkili olmuştur.

2. En yüksek eğilme direnci değerleri gerdirilmiş filmlerle kaplı sandviç levhalardan elde edilmiştir. En düşük eğilme direnci değerleri ise kontrol örneklerinden elde edilmiştir.

3. Gerdirilmiş filmler gerdirilmemiş filmlere göre balsa odunun eğilme direnci üzerinde daha fazla etkili olmuştur.

4. Selüloz filmler, düşük özgül ağırlıkta orta tabakalı sandviç levhalarda, yüksek özgül ağırlıkta orta tabakalı sandviç levhalardakinden daha fazla etkili olmuştur.

5. Tüm levha gruplarında lif açısı artıkça eğilme direnci değerleri azalmıştır

6. Selüloz filmlerin kullanımıyla (özellikle gerdirilmiş selüloz filmler) hafif ama yüksek dirençli sandviç levha üretmenin mümkün olduğu anlaşılmaktadır.

7. 4mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç paneller 6mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç panellerden daha yüksek değerler vermiştir. Bu durum, direnç bakımından 4mm kalınlıktaki orta tabakanın 0.11mm kalınlığındaki yüzey tabaka için daha uygun olduğunu göstermektedir. Buradan, sandviç levhalarda yüzey tabaka ile orta tabakanın direnç bakımından uyumlu olmasının çok önemli olduğu sonucuna varılabilir.

8. Sandviç levhaların üretiminde kullanılan tüm materyaller (tutkal dâhil) biyolojik olarak bozunabilir nitelikte olduğundan üretilen sandviç levhalar %100 biyolojik olarak bozunabilir, yani çevre dostu bir üründür.

9. Denemelerin sonuçları literatür [62] ile uyumluk göstermiş olup, %50'ye kadar gerdirilmiş filmlerle kaplı sandviç levhaların gerdirilmemiş filmlerle kaplı levhalardan çok daha yüksek eğilme direnci değeri verdiği tespit edilmiştir.

10. Bu çalışmada, sandviç levhalardan elde edilen eğilme direnci değerleri; U. Müller [12]'in yapmış olduğu çalışmada elde edilen yekpare malzemeye göre sandviç levhalardaki eğilme direnci artışlarıyla da uyumluluk göstermiştir. Fakat gerdirilmiş film yüzey tabakalı sandviç levhalardan elde edilen eğilme direnci değerleri bahsi geçen çalışmadaki değerlerden çok daha yüksek bulunmuştur.

11. İstatistiksel analiz sonucuna göre, yüksek yoğunluktaki orta tabakalı sandviç levhalarda; 67.5° ve 90° orta tabaka lif açılı ve gerdirilmiş selüloz film yüzey tabakalı sandviç levhalar arasında fark önemsiz bulunmuş olup, diğerleri arasındaki fark önemli bulunmuştur. Düşük yoğunlukta orta tabakalı sandviç levhalarda ise; kontrol grubundaki 67.5° ve 90° orta tabaka lif açılı sandviç levha grupları arasındaki fark önemsiz bulunmuş olup, diğer tüm gruplar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur.

## 5.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

1. Tüm levha gruplarında lif açısı artıkça eğilmede elastikiyet modülü değerleri azalmıştır.

2. En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri gerdirilmiş filmlerle kaplı sandviç levhalardan elde edilmiştir. En düşük eğilmede elastikiyet değerleri ise kontrol grubu örneklerinden elde edilmiştir.

3. Gerdirilmiş filmler; gerdirilmemiş filmlere göre balsa odunun eğilmede elastikiyet modülü üzerinde daha fazla etkili olmuştur. Bu, gerdirilmiş selüloz filmlerin daha rijit ve sağlam olmasından kaynaklanmaktadır.

4. Selüloz filmler, düşük özgül ağırlıkta orta tabakalı sandviç levhalarda, yüksek özgül ağırlıkta orta tabakalı sandviç levhalardakinden daha fazla etkili olmuştur.

5. Selüloz filmler, balsa lif açısı artıkça balsa odunun eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerinde daha fazla etkili olmuştur.

6. Selüloz filmlerin kullanımıyla (özellikle gerdirilmiş selüloz filmler) hafif ama yüksek elastikiyet modüllü sandviç levha üretmenin mümkün olduğu anlaşılmaktadır.

7. 4mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç paneller 6mm kalınlıktaki orta tabakalı sandviç panellerden daha yüksek değerler vermiştir. Bu da 0.11mm kalınlıktaki film için 4mm kalınlıktaki balsa orta tabakanın daha uygun olduğunu göstermektedir.

8. Denemeler sonucu elde edilen değerler literatür [62] ile uyumluk göstermiş olup, %50'ye kadar gerdirilmiş filmlerle kaplı sandviç levhalar gerdirilmemiş filmlerle kaplı olanlardan çok daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri vermiştir.

9. Bu çalışmada sandviç levhalardan elde edilen eğilmede elastikiyet modülü değerleri; U. Müller'in [12] yapmış olduğu çalışmada verilen yekpare malzemeye göre sandviç levhalardaki eğilmede elastikiyet modülü yüzde artışlarıyla da uyumluluk göstermiştir. Fakat gerdirilmiş film yüzey tabakalı sandviç levhalardan elde edilen

eğilmede elastikiyet modülü değerleri söz konusu çalışmada verilen değerlerden çok daha yüksek bulunmuştur.

10. İstatistiksel analiz sonucuna göre, yüksek yoğunlukta orta tabakalı sandviç levhalarda; 67.5° ve 90° orta tabaka lif açılı ve gerdirilmiş selüloz film sandviç levha grupları ile 67.5° ve 90° lif açılı kontrol levha grupları arasındaki fark önemsiz bulunmuştur. Diğer levha grupları arasındaki fark önemli bulunmuştur. Düşük yoğunlukta orta tabakalı sandviç levhalarda ise; kontrol grubundaki 67.5° ve 90° orta tabaka lif açılı sandviç levha grupları ve 45° ve 67.5° orta tabakalı ve gerdirilmiş film yüzey tabakalı sandviç levha grupları arasındaki fark önemsiz bulunmuş olup, diğer tüm gruplar arasındaki fark ise önemli bulunmuştur.

### 5.3. Çekme Direnci

1. Çinko borat'ın belli bir değere kadar kullanılması selüloz filmlerin çekme direncini önemli derecede artırmış, belli bir değeri aşınca direnç azalmalar olmuştur.

2. En yüksek çekme direnci %0.35 Çinko borat katkılı selüloz filmde elde edilmiş ve en düşük çekme direnci değeri ise %3.5 çinko borat katkılı selüloz film örnek grubundan elde edilmiştir. Bu da az miktarda Çinko borat kullanımının selüloz filmlerin çekme direnci değeri üzerinde olumlu etki yaptığını göstermektedir.

3. Çinko borat katkılı selüloz filmler, şeffaf bir yapıdan Çinko borat'tan dolayı beyaz bir renge dönüşmüştür. Bu, bazen bir avantaj bazen de bir dezavantaj olabilmektedir.

4. Çinko borat'ın selüloz film içinde çözünmüş halde bulunmasından dolayı Çinko boratlı selüloz filmlerin yüzeylerinde herhangi bir pürüzlülük oluşmamaktadır.

5. %0.75 oranına kadar çinko borat kullanımı arttıkça direnç özelliklerinde %42'ye varan bir artış elde edilmiştir. Daha yüksek kullanımlarda ise sonuçlar literatür'e uyumluluk göstermiştir.

6. İstatistik analiz sonuçlarına göre, kontrol grubu ile %1.5 Çinko borat katkılı selüloz film grubu ve %0.35 ile %0.75 Çinko borat katkılı selüloz film örnek grupları farklı homojenlik gruplarında yer almışlardır. %2.5 Çinko borat katkılı selüloz filmler ise farklı bir grupta yer almıştır.



#### 5.4. Çekmede Elastikiyet Modülü

1. Çinko borat'ın belli bir değere kadar kullanılması selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülünü önemli derecede artırmış, belli bir değerden sonra ise sabit seyretmiştir.

2. En yüksek çekmede elastikiyet modülü %0.35 Çinko Borat katkılı selüloz filmlerden elde edilmiş ve en düşük değerler ise kontrol grubundan elde edilmiştir. Çekme direnci değerlerinin aksine, eğilmede elastikiyet modülü değerlerde Çinko Borat katkılı selüloz filmlerin hepsi kontrol grubundan daha yüksek değer vermiştir. Çinko Borat esnek (sünek) bir yapısı olan selüloz filmlere rijitlik katarak filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir.

3. Sünek bir yapıya sahip olan selüloz filmlere çinko borat daha rijit bir yapı kazandırmış ve bu da selüloz filmlerin çekmede elastikiyet modülü değerlerinde artışa neden olmuştur. Burada çekme direnci değerlerinin aksine çinko borat katkılı tüm örnek gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerleri kontrol grubundan daha yüksek çıkmıştır.

4. İstatistik analiz sonuçlarına göre, %0.35 ile %0.75 Çinko borat katkılı selüloz film grupları arasındaki fark önemsiz bulunmuş olup, aynı homojenlik grubunda yer almışlardır. Diğer örnek gruplarının hepsi ise homojenlik grubunda yer almışlardır.

#### 5.5. Yanma Mukavemeti

1. Çinko borat kullanım oranı arttıkça selüloz filmlerin ilk ve ana bozunma sıcaklık değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.

2. En yüksek bozunma sıcaklık değerleri %3.5 Çinko borat katkılı selüloz film örnek grubundan elde edilmiştir. Buradan Çinko borat kullanımını selüloz filmlerin yanma mukavemet değerleri üzerine olumlu etki yaptığı sonucu çıkarılabilir.

3. İstatistik analiz sonuçlarına göre, ilk bozunma sıcaklık değerlerinde kontrol örnekleri ile %0.35 Çinko borat katkılı selüloz film örnekleri arasındaki fark önemsiz bulunmuş olup, aynı homojenlik grubunda yer almışlardır. Diğerleri ise farklı homojenlik grubunda yer almışlardır.

4. Bu çalışmada, literatüre [80, 81, 82 ve 83] uygun sonuçlar elde edilmiştir. Çinko borat kullanım oranı artıkça selüloz filmlerin yanma mukavemet değerleri de artmıştır.

## 6. ÖNERİLER

Günümüzde; yinelenabilir, sürdürülebilir ve biyolojik bozunabilirlik gibi özelliklerine duyulan büyük ilgiye paralel olarak biyolojik esaslı materyaller, özellikle kompozitlerle ilgili olanlar, büyük önem kazanmaktadır.

Hafiflik ve dayanıklılık yanında biyolojik bozunabilirlik sandviç levhalarda aranan en önemli özelliklerdendir. Bu çalışmada; kullanılan hammaddelerin (tutkal dâhil) %100 biyolojik olarak bozunabilir nitelikte olmasından dolayı üretilen sandviç levhalar biyolojik olarak bozunabilir niteliktedir. Denemelerin tam anlamıyla başarıya ulaşması ve sanayi boyutunda üretime geçilmesi durumunda üretilen sandviç levhaların kullanım ömrünün tamamlanmasının ardından doğada yüksek oranda bozunmasının mümkün olması nedeniyle çevre kirliliğine etkisi olmayacaktır. Böylece üretici ve kullanıcılar için daha çevre dostu ürünlerin üretilmesi mümkün olacaktır.

Selüloz filmler balsa odunun mekanik özelliklerini yüksek oranlarda artırmıştır. Özellikle lif yönüne göre örneğin açısı artıkça selüloz filmlerin balsa üzerindeki etkinliği de artmıştır. Çok düşük ağırlık artışıyla çok yüksek oranlarda direnç artışları elde edilmiştir. Fakat burada dikkat edilmesi gereken konu, yüzey tabaka ile orta tabakanın direnç bakımından uyumlu olmasıdır. Aksi takdirde sandviç levhadan tam olarak faydalanılamaz.

Üretilen sandviç levha denemelerinin test sonuçları değerlendirildiğinde; bu materyalin çeşitli kullanım alanlarında özellikle de, ağırlığın sorun olduğu ve yüksek direnç gerektiren uçak, gemi, uzay araçları gibi özellikli kullanım alanlarında vazgeçilmez bir ürün olarak başarıyla kullanılabilmesi ve yapılacak ilave çalışmalarla kullanım alanlarının genişleyeceği düşünülmektedir.

Üretilen sandviç levhaların eğilme direnci denemeleri esnasında kırılma sürelerinin oldukça uzun olması, çeşitli kullanım yerleri düşünüldüğünde özellikle güvenliğin sağlanması açısından büyük bir avantaj sağlayacaktır. Örneğin deprem bölgesi inşaatlarında kullanım için özellikle tercih edilecektir.

%0.35 ve %0.75 oranlarında Çinko borat katılmasıyla selüloz filmlerin hem çekme direnci hem de çekmede elastikiyet modülü değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan çinko boratın hem direnç özelliklerini hem de yanma mukavemetini artırmak için %0.75 oranına kadar kullanılabilmesi anlaşılmaktadır. Ayrıca, çinko borat

kullanımı artıkça, selüloz filmlerin yanma mukavemet değerleri de artmıştır. Ancak çalışmaların genişletilerek geliştirilmesinde fayda olduğu görülmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

1. GÜVEN. Ş.Y., Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları, Ders Notları, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, SDÜ, Isparta, 1990.
2. Allen, H.G., Analysis and Design of Structural Sandwich Panels, Department of Civil Engineering, Pergamon Press, University of Southampton, UK, 1969.
3. Kinet, A., Tabakalı Kompozit Malzemelerin Serbest Titreşim Analizi, Araştırma Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1980.
4. Sayman, O. ve Aksoy, S., Kompozit Malzemeler, Ege Üniversitesi, Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bornova/İzmir, 1980.
5. Gindl, W., Composites and Compounds, Institute of Wood Science and Technology, Dept. of Material Science and Process Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria, 2007.
6. <http://www.engr.washington.edu/epp/cmc/>, 22 Mart 2009
7. <http://w3.balikesir.edu.tr/~demirhan/malzeme%20II.htm>, 25 Mart 2009
8. Gibson, J.G. ve Ashby, M.F., Cellular solids-structure and properties, Cambridge University Press, UK, 1997.
9. Unal, O., Yapı Malzemesi Ders Notları-6. Bölüm Kompozit Malzemeler, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
10. Karasu, T., Sandviç Panellerin Özellikleri ve Uygulama Esasları, Teknik, s. 35-37 (<http://izoder.org.tr/izolasyon/PDF/1137506637.pdf>), 27 Mart 2009.
11. Zenkert, D., The Handbook of Sandwich Construction, Engineering Materials Advisory Services Ltd. (EMAS), London, 1997.
12. Müller, Ü., Engineered Wood Products, Institute of Wood Science and Technology, Dept. of Material Science and Process Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria, 2007.
13. <http://www.oneoceankayaks.com/Sandcore.htm>, 30 Mart 2009
14. Bäcklund, E.J., Zenkert, D. and Aström, B.T., Composites and Sandwich Structures, ISBN 0947817948, Engineering Materials Advisory Services (EMAS), Warley, UK, 1997.

15. <http://www.demiriz.net/tkhc/sp-tr.html>, 01 Nisan 2009.
16. [www.marinecomposites.com](http://www.marinecomposites.com), 15 Mayıs 2009.
17. Kompozit Malzemeler, Bölüm 1,  
[http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme\\_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf](http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/malzeme_bilgisi/kompozit%20malzemeler.pdf),  
17 Mayıs 2009
18. Reyer, E., Trends and Novelities in the Wood Industry, Wood Digest, LIGNA 2007:  
Part One, p. 44-47.
19. <http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=86>, 19 Mayıs 2009
20. Honeycomb Sandwich Design Technology, Hexcel Composites,  
[http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/80127A98-7DF2-4D06-A7B3-7EFF685966D2/0/7586\\_HexWeb\\_Sand\\_Design.pdf](http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/80127A98-7DF2-4D06-A7B3-7EFF685966D2/0/7586_HexWeb_Sand_Design.pdf), 20 Haziran 2009
21. Hafızoğlu, H., Orman Ürünleri Kimyası Ders Notları. KTÜ, Orman Fakültesi Yayın  
No:52, Trabzon, 1987.
22. Fahlén, J. ve Salme'n, L., Pore and Matrix Distribution in The Fiber Wall Revealed  
by Atomic Force Microscopy and Image Analysis, Journal of Biomacromolecules, 6  
(2005), 433–438.
23. Wimmer, R., Wood and Fiber Quality, Ders Notları, Institute of Wood Science and  
Technology, Dept. of Material Science and Process Engineering, University of  
Natural Resources and Applied Life Sciences, Viyana, Avusturya, 2007.
24. Fink, H. P., POLYSACCHARIDES Structural Diversity and Functional Versatility,  
2<sup>nd</sup> Edition, ISBN: -8247-5480-8, p.1204, CRC Press, 2004.
25. Eroğlu, H. ve Usta, M., Liflevha Üretim Teknolojisi, KTÜ Orman Fakültesi Yayın  
No: 200/30, K.T.Ü. Matbaası, Trabzon, 2000.
26. Eroğlu, H., Lif Levha Endüstrisi Ders Notları. K.T.Ü. Basımevi, yayın no: 112/11,  
Trabzon, 1994.
27. Albrecht W, Reintjes M. ve Wulfhorst B., Lyocell Fibers, 1st edition, Institut für  
Textiltechnik der RWTH Aachen, 1997.
28. <http://www.madehow.com/Volume-5/Lyocell.html>, 21 Mayıs 2009.
29. Yükseloğlu, S.M. ve Canoğlu, S., Lyocell Lifleri, Marmara Üniversitesi Teknik  
Eğitim Fakültesi, Tekstil Eğitimi Bölümü, Göztepe-İstanbul
30. Borbély, É., Lyocell, The New Generation of Regenerated Cellulose, Department of  
Packaging and Paper Technology, Journal of Acta Polytechnica Hungarica, Vol.5,  
No.3, Budapest, Hungary, 2008.

31. Aono, H., Tatsumi, D. ve Matsumoto, T., Scaling Analysis of Cotton Cellulose/LiCl-DMAc Solution Using Light Scattering and Rheological Measurements, Division of Forest and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, 2006.
32. Gross, R.A. ve Kalra, B., Biodegradable Polymer for the Environment, Science 2, vol.297, no:5582, pp. 803-807, USA, 2002.
33. Mohanty, A.K., Misra, M. ve Drzal, L.T., Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources in the Green Materials World, Journal of Polymers and the Environment, vol. 10, p. 19-26, USA, 2002.
34. Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P. ve Bohn, A., Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material, Angew. Chem. Int. Ed., vol.44, p. 2-37, 2005.
35. Bledzki, A.K. ve Gassan, J., Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres, Progress in Polymer Science, vol.24, p.221-274, Kassel, Germany, 1999.
36. Berglund, L., Cellulose-based Nanocomposites. In Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites; Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T., Eds.; Taylor and Francis: Boca Raton, FL, 807-832, 2005.
37. Nakagaito, A.N., Iwamoto, S. ve Yano, H., Bacterial Cellulose: The Ultimate Nano-Scalarcellulose Morphology for the Production of High-strength Composites Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process., vol.80, p. 93-97, 2005.
38. Woodings, C., Regenerated Cellulose Fibres, Woodhead Publishing, Ltd.: Cambridge, UK, 2001.
39. Lenz, J., Schurz, J. ve Wrentschur, E., On the Elongation Mechanism of Regenerated Cellulose Fibres, Holzforschung, vol.48, p.72-76, Austria, 1994.
40. Kong, K. ve Eichhorn, S.J., Crystalline and Amorphous Deformation of Process-Controlled Cellulose-II Fibres, Polymer, vol.46, Issue: 17, p.6380-6390, Manchester, UK, 2005.
41. Northolt, M.G., Boerstoel, H., Maatman, H., Huisman, R., Veurink, J. ve Elzerman, H., The structure and Properties of Cellulose Fibres Spun from an Anisotropic Phosphoric Acid Solution, Polymer, vol.42, p. 8249-8264, Arnhem, The Netherlands, 2001.
42. Fink, H.P., Weigel, P., Purz, H.J. ve Ganster, J., Structure Formation of Regenerated Cellulose Materials from NNMO-solutions, Progress in Polymer Science, vol.26, p.1473-1524, Golm, Germany, 2001.
43. Gindl, W. ve Keckes, J., All-Cellulose Nanocomposite, Polymer, 46, 10221-10225, Vienna, Austria, 2005.

44. Nishino, T., Takano, K. ve Nakamae, K. J., Elastic Modulus of the Crystalline Regions of Cellulose Polymorphs, *Polym. Sci., Polym. Phys.*, vol.33, p.1647-1651, 1995.
45. Nevell, T.P. ve Zeronian, S.H., *Cellulose Chemistry and its Applications*, Polytechnic Institute of Brooklyn, 552 pp., New York, 1985.
46. Huglin, M., *Light Scattering from Polymer Solutions*, Academic Press, New York, 1972.
47. McCormick C.L. ve Lichatowich, D.K., *Journal of Polymer Science*, Polymer Lett. Ed., vol.17, p.479, 1979.
48. McCormick, C.L., A New Cellulose Solvent For Prepar Derivatives Under Homogeneous Conditions, US Patent No. 4, 278,790, 1981.
49. Woodings, C.R., The devolopment of Advanced Cellulose Fibres, International Journal of Biological Macromolecules, vol.17,p. 305-309, 1981.
50. McCormick, C.L., Callais, P.A. ve Hutchinson, B.H., Solution Studies of Cellulose in Lithium Chloride and N,N-Dimethylacetamide, Journal of Macromolecules, 18, 2394-2401, 1985.
51. Schult, T., Hjerde, T., Optun, O.G., Kleppe, P.J. ve Moe, S., Characterization of Cellulose by SEC-MALLS, Journal of Cellulose, 9, 149-158, 2002.
52. El-Kafrawy, A. J., Investigation of the Cellulose/LiCl/Dimethylacetamide and Cellulose/LiCl/N-methyl-2-pyrrolidinone Solutions by <sup>13</sup>C NMR spectroscopy, Applied Polymer Science, vol.27, p.2435-2443, 1982.
53. Takaragi, A., Minoda M., Miyamoto, T., Liu, H.Q., ve Zhang, L.N., Reaction Characteristics of Cellulose in the LiCl/1,3-dimethyl-2-imidazolidinone Solvent System, Cellulose, vol.6, p.93-102, 1999.
54. Morgenstern, B., ve Kammer, H.W., Solvation in Cellulose–LiCl–DMAC solutions, Trends in Polymer Science, vol.4, p.87-92, 1996.
55. Brendler, E., Fischer, S. ve Leipner, H., <sup>7</sup>Li NMR as Probe for Solvent-Cellulose Interactions, Cellulose, vol.8, p.283, 2001.
56. Dupont, A.L., Cellulose in Lithium Chloride/N,N-Dimethylacetamide, Optimisation of A Dissolution Method Using Paper Substrates and Stability of the Solutions, Polymer, vol. 44, iss. 15, Paris, France, 2003.
57. McCormick, C.L., A New Cellulose Solvent For Prepar Derivatives Under Homogeneous Conditions, US Patent No. 4, 278,790, 1981.
58. Dawsey, T.R. ve McCormick C.L., *Macromolecular Science—Reviews in Macromolecular Chemistry & Physics*, C30(384), p.405, 1990.

59. Ward, I.M., Structure and Properties of Oriented Polymers, Applied Science, vol.1, p.44, London, UK, 1975.
60. Fink, H.P., Weigel, P., Purz, H.J. ve Ganster, J., Structure Formation of Regenerated Cellulose Materials from NNMO-solutions, Progres in Polymer Science, vol.26, p.1473-1524, Golm, Germany, 2001.
61. Ward, I.M., Mechanical Anisotropy of Highly Oriented Polymers, Journal of Computer-Aided Material Design, vol.4, p.43-52, UK, 1997.
62. Gindl, W., Martinschitz, K.J., Boesecke, P. ve Keckes, J., Changes in the Molecular Orientation and Tensile Properties of Uniaxially Drawn Cellulose Films, Biomacromolecules, vol.7, p.3146-3150, Vienna, Austria, 2007.
63. Albertson, A.C. ve Karlsson, S., Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers, P. 48 Blackie, Glasgow, 1994.
64. Sümer, G., Boron Compounds, 2nd International Boron Symposium, 23-25 September, Proceedings of Symposium, p.153-164, Eskişehir, 2004.
65. Lloyd, J.D., International Status of Borate Preservative Systems, The Second International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides, Forest Products Society, Madison, WI, Proceeding of Symposium, 41-54, 1997.
66. Anonim 1, Roskill Information Services, Economics of Boron, 1999.
67. Evcin, A., Bor Teknolojisi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, 2007.
68. Anonim 2, Roskill Information Services, Economics of Boron, 2002.
69. <http://www.sentex.net/~mec1995/hobby/sigbal.htm>, 28 Mayıs 2009.
70. Bozkurt, Y. ve Erdin, N., Ticarete Önemli Yabancı Ağaçlar, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İ.Ü. yayın no:4024, F.B.E. yayın no:12, ISBN No: 975-404-467-8, İstanbul, 1998.
71. <http://www.tropicriverwoods.org/Photojournal/Mar05.htm>, 30 Mayıs 2009.
72. Merev, N., Odun Anatomisi ve Odun Tanımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, KTÜ Yayın No: 210, Fakülte Yayın No:32, S: 395, Trabzon, 2003.
73. [www.marinecomposites.com](http://www.marinecomposites.com), 15 Haziran 2008.
74. <http://www.boatdesign.net/articles/foam-core-properties/index.htm>, 21 Haziran 2009.
75. EN 310, Wood Based Panels, Determination of Modulus of Elasticity in Bending and Bending Strength, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1993.



76. Park, S., Harper, D., ve Rials, T., Characterization of Drawing Effect on the Properties of Cellulose Films, Forest Products Society, 61<sup>th</sup> International Convention, University of Tennessee, 2007.
77. Matsumoto, K., Tachibana, Y., ve Kawamura, T., Uni-and-Bi-Axial Stretching of Cellulose Acetate Films by Swell-Wet Process [Studies on The Swell-Wet Process Stretching of Polymer Materials (Part 7)], Sen'i Gakkaishi, Vol.56, Iss. 1, Japan, 1999.
78. Matsumoto, K., Tachibana, Y., ve Kawamura, T., Preparation and Structure-Properties of Simultaneous-biaxially Stretched Cellulose Film, Former Faculty Of Textile Science, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto 606-09620, 2001.
79. Zhao, W., Kloczkowski, A., ve Mark, J.E., Novel High-Performance Materials from Starch. 2.Orientation and Mechanical Properties of Lightly Cross-Linked Starch-Ether Films, 1998.
80. Lee, S., Fundamental Properties of Borate-Modified Oriented Strandboard Manufactured from Southern Wood Species, Doctor of Philosophy in The School of Renewable Natural Resources, Louisiana State University, 2003.
81. Lee, S., Wu, Q. ve Strickland, B., The Influence Of Flake Chemical Properties and Zinc Borate On Gel Time Of Phenolic Resin For Orientep) Strandboard, Wood Fiber Science, 33(3), 425-436, 2001.
82. JapanDönmez, A., ve Kalaycıoğlu, H., Fenol Formaldehit Tutkalı Kullanılan Yönlendirilmiş Yongalevhelerde (OSB) Çinko Borat Kullanımı, I. Ulusal Bor Çalıştay1, Ankara, 27-31, 2005.
83. Wu, Q., Lee, S., ve Lee, J.N., Mechanical, Physical and biological Properties of Borate-Modified Oriented Strandboard, In Proc. International Conference on Advances in Building Technology, Hong Kong, China, 2002.

## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Mersin'in Silifke ilçesinde doğdu. 2001 yılında Silifke Lisesi'nde eğitimini tamamladıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2005 yılında bölüm üçüncüsü olarak lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2005-2006 eğitim-öğretim yılında bir yıl KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce hazırlık okudu. Eylül 2007 ve Mart 2008 tarihleri arasında Sokrates-Erasmus programıyla Avusturya/Viyana Bodenkultur Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Proses Mühendisliği Bölümü'ne Erasmus öğrencisi olarak gönderildi. Mayıs 2008 ve Ekim 2008 tarihleri arasında yüksek lisans tezi için gerekli olan testleri yapmak üzere Avusturya/Viyana Bodenkultur Üniversitesi, Malzeme Bilime ve Proses Mühendisliği Bölümü'ne Erasmus staj öğrencisi olarak gönderildi. 15 Ocak 2009 tarihinde Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir. İyi derecede İngilizce ve orta derecede Almanca bilmektedir.