

T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BOR VE KARBON NANOTÜPÜN YONGA LEVHA
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Muhammed Zakir TUFAN

Danışman
Prof. Dr. Cengiz ÖZEL

II. Danışman
Prof. Dr. Birol ÜNER

ISPARTA - 2024



© 2024 [Muhammed Zakir TUFAN]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

31/01/2024

Muhammed Zakir TUFAN

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. Önceki Çalışmalar	6
2.1.1. Bor ile ilgili yapılan çalışmalar	6
2.1.2. Karbon nanotüplerle ilgili yapılan çalışmalar	16
2.2. Ahşap Kompozit Malzemeler	22
2.2.1. Yonga levha	24
2.2.1.1. Yonga levhanın tanımı ve sınıflandırılması	24
2.2.1.2. Yonga levha üretiminde kullanılan hammaddeler	25
2.2.1.2.1. Ağaç malzeme	25
2.2.1.2.2. Yıllık bitkiler	26
2.2.1.3. Ahşap esaslı kompozit malzemelerde kullanılan tutkallar.....	27
2.2.1.3.1. Ürefoaldehyit	27
2.2.1.3.2. Melamin ürefoaldehyit.....	30
2.3. Nanoteknoloji.....	32
2.3.1. Nanoteknolojinin tanımı ve kullanım alanları.....	32
2.3.2. Nanoteknoloji ve ahşap endüstrisi	33
2.3.3. Karbon nanotüp	34
2.3.3.1. Mekanik özellikler	35
2.3.3.2. Termal özellikler	36
2.3.3.3. Kimyasal özellikler	36
2.3.3.4. Tek duvarlı karbon nanotüpler	37
2.3.3.5. Çok duvarlı karbon nanotüpler	37
3. MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1. Materyal	40
3.1.1. Ağaç malzeme	40
3.1.2. Ürefoaldehyit	40
3.1.3. Melamin ürefoaldehyit	41
3.1.4. Sertleştirici madde.....	41
3.1.5. Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)	42
3.1.6. Çinkoborat ($2ZnO.3B_2O_3.3,5H_2O$)	42
3.1.7. Sodyum tetraborat dekahidrat ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)	43
3.1.8. Disodyum oktaborat tetrahidrat ($Na_2B_8O_{13}.4H_2O$)	43
3.1.9. Dikalsiyum hegzaborat pentahidrat ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)	44
3.2. Yöntem.....	44
3.2.1. Levhaların üretimi.....	49
3.2.1.1. Yonga levhaların üretime hazırlanması	50
3.2.1.2. Tutkallama.....	51
3.2.1.3. Yonga levha taslağının hazırlanması	51
3.2.1.4. Presleme	52

3.2.2. Yonga levhalara uygulanan fiziksel özellikler	52
3.2.2.1. Yonga levhaların yoğunluğu	52
3.2.2.2. Su alma tayini.....	53
3.2.2.3. Kalınlık artımı tayini	53
3.2.3. Yonga levhalara uygulanan mekanik özellikler	54
3.2.3.1. Eğilme direnci	54
3.2.3.2. Eğilmede elastikiyet modülü.....	54
3.2.3.3. Yüzeye dik çekme direnci	55
3.2.4. Temas açısı ölçümleri	55
3.2.5. Kimyasal analizler.....	56
3.2.5.1. Termo gravimetrik analizi (TGA).....	56
3.2.5.2. Tarayıcı elektron mikroskobu-enerji dağılımlı x ışını analizi (SEM-EDS).....	57
3.2.5.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi	57
3.2.6. İstatistiksel değerlendirme	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
4.1. Fiziksel Özellik Sonuçları	59
4.1.1. Yoğunluk sonuçları	59
4.1.1.1. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı yonga levhalara ait sonuçlar	59
4.1.1.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların yoğunluklarına ait sonuçlar	61
4.1.1.3. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların yoğunluklarına ait sonuçlar	62
4.1.2. Su alma tayini sonuçları	65
4.1.2.1. UF tutkallı bor içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları	65
4.1.2.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları.....	67
4.1.2.3. MUF tutkallı bor içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları.....	70
4.1.2.4. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları.....	72
4.1.3. Kalınlık artımı tayini sonuçları	76
4.1.3.1. UF tutkallı bor içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları	76
4.1.3.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları.....	78
4.1.3.3. MUF tutkallı bor içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları	82
4.1.3.4. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları	84
4.2. Mekanik Özellik Sonuçları	88
4.2.1. UF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri	88
4.2.1.1. Eğilme direnci	88
4.2.1.2. Eğilmede elastikiyet modülü	90
4.2.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri	93
4.2.2.1. Eğilme direnci	93
4.2.2.2. Eğilmede elastikiyet modülü	96
4.2.3. MUF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri	99
4.2.3.1. Eğilme direnci	99
4.2.3.2. Eğilmede elastikiyet modülü	101
4.2.4. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri ..	103

4.2.4.1. Eğilme direnci	103
4.2.4.2. Eğilmede elastikiyet modülü	106
4.2.5. UF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri	109
4.2.5.1. Yüzeye dik çekme direnci	109
4.2.6. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri	111
4.2.6.1. Yüzeye dik çekme direnci	111
4.2.7. MUF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri	115
4.2.7.1. Yüzeye dik çekme direnci.	115
4.2.8. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri...	117
4.2.8.1. Yüzeye dik çekme direnci	117
4.3. Temas Açısı Ölçümleri	120
4.4. Kimyasal Analiz Sonuçları	122
4.4.1. Termogravimetrik (TGA) analiz	122
4.4.2. SEM-EDS analizi	128
4.4.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi	130
4.5. DeneySEL Sonuçların İstatistiksel Analizi	135
4.5.1. İstatistiksel analiz.	136
4.5.1.1. Design expert programı ile model seçiminin yapılması ve varyans (ANOVA) analizinin gerçekleştirilmesi	137
4.5.1.2. Yoğunluk deneyi sonuçlarının analizi	138
4.5.1.3. Su alma deneyi sonuçlarının analizi	143
4.5.1.4. Kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının analizi	151
4.5.1.5. Eğilme direnci deneyi sonuçlarının analizi	159
4.5.1.6. Eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının analizi	163
4.5.1.7. Yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının analizi	168
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	172
5.1. Yonga levhaların Fiziksel Özelliklerine ait Deney Sonuçları.....	172
5.1.1. Yoğunluk deneyi sonuçları	172
5.1.1. Su alma oranı deneyi sonuçları	173
5.1.2. Kalınlık artım oranı deneyi sonuçları.....	174
5.2. Yonga Levhaların Mekanik Özelliklerine ait Deney Sonuçları.....	175
5.2.1. Eğilme direnci deneyi sonuçları.....	175
5.2.2. Eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçları	176
5.2.3. Yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçları.....	177
5.3. Temas açısı ölçümlerinin analiz sonuçları	178
5.4. Yongalevhaların Kimyasal Analiz Sonuçları ait Deney Sonuçları	179
5.4.1. Termogravimetrik (TGA) analiz sonuçları	179
5.4.2. SEM-EDS analiz sonuçları	180
5.4.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi sonuçları.....	180
KAYNAKLAR	183
EKLER.....	197
EK A. Fiziksel özelliklere ait deney sonuçları.....	198
EK B. Mekanik özelliklere ait deney sonuçları	208
EK C. Yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları.....	214
ÖZGEÇMİŞ	220

ÖZET

Doktora Tezi

BOR VE KARBON NANOTÜPÜN YONGA LEVHA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Muhammed Zakir TUFAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cengiz ÖZEL

II. Danışman: Prof. Dr. Birol ÜNER

Bu çalışmada, iki farklı tutkal türü (Ürefoormaldehit (UF) ve Melamin ürefoormaldehit (MUF)), dört farklı bor türü (Çinkoborat (ÇB), Boraks Dekahidrat (BD), Etidot (ED), Eticol (EC)), üç farklı oranda (%3, %7, %11), ve üç farklı karbon nanotüp (KNT) oranı (%0.5, %1, %1.5) kullanılarak üretilen yonga levhaların fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Kimyasal özellikleri belirlemek için TGA, SEM-EDS ve FTIR analizleri kullanılmış, ayrıca yüzey temas açısı ölçümleri yapılmıştır.

KNT oranı arttıkça, su alma oranı ve kalınlık artım oranlarında iyileşme gözlemlenmiştir: Su alma oranı (%4-22 (UF), %5-37 (MUF)), kalınlık artım oranları ise (%4.19-6.63 (UF), %3.65-5.84 (MUF)) arasında değişmiştir. Genel olarak, UF tutkallı levhaların fiziksel özellikleri MUF tutkallı levhalardan daha iyi olduğu belirlenmiştir.

KNT kullanım oranı arttıkça, mekanik özelliklerdeki iyileşme %1'e kadar devam ederken, %1.5 KNT kullanımında düşüş eğilimi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, UF tutkallı levhalardan elde edilen mekanik değerlerin MUF tutkallı levhalardan daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

TGA analizi, bor ve KNT kullanımıyla yonga levhalarının ilk bozunma sıcaklıklarında artış olduğunu göstermiştir. Yüzey temas açısı ölçümleri, KNT kullanımının artmasıyla yonga levhalarının hidrofobik özellik kazandığı belirlenmiştir. FTIR analizi, OH-CH₂-CH₃ ve ester gruplarında belirgin değişikliklerin meydana geldiği tespit edilmiştir. EDS analizi ile yonga levhalarda C, Na, Ca ve Zn elementlerinin yüksek oranda bulunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yonga levha, Bor, Karbon nanotüp, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler, Kimyasal özellikler

2024, 220 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Dissertation

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BORON AND CARBON NANOTUBE ON PARTICLEBOARD PROPERTIES

Muhammed Zakir TUFAN

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Forest Product Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz ÖZEL

Co-Supervisor: Prof. Dr. Birol Üner

In this study, the physical, mechanical and chemical properties of particleboards produced using two different types of glue (Ureaformaldehyde (UF) and Melamine ureaformaldehyde (MUF)), four different types of boron (Zincborate (ÇB), Borax decahydrate (BD), Etidot (ED), Eticol (EC)), three different proportions (%3, %7, %11), and three different carbon nanotube (CNT) ratios (%0.5, %1, %1.5) were investigated. TGA, SEM-EDS and FTIR analyses were used to determine the chemical properties and surface contact angle measurements were also performed.

As the CNT ratio increased, water uptake rate and thickness increase rates improved: Water absorption rate (%4-22 (UF), %5-37 (MUF)) and thickness increase rates (%4.19-6.63 (UF), %3.65-5.84 (MUF)). In general, the physical properties of UF glued boards were better than MUF glued boards.

It was determined that as the CNT usage rate increases, the improvement in mechanical properties continues up to %1, while there is a decreasing trend at %1.5 CNT usage. In addition, it was determined that the mechanical values obtained from UF glued boards were better than MUF glued boards.

TGA analysis showed that the initial decomposition temperatures of the particleboards increased with the use of boron and CNT. Surface contact angle measurements showed that the particleboards gained hydrophobic properties with the increase in the use of CNT. FTIR analysis showed that significant changes occurred in OH-CH₂-CH₃ and ester groups. EDS analysis revealed that C, Na, Ca and Zn elements were highly present in the particleboards.

Key Words: Particleboard, Boron, Carbon nanotube, Physical properties, Mechanical properties, Chemical properties

2024, 220 pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışması boyunca beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan, her konuda sonsuz desteğini hissettiğim ve hep örnek aldığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Cengiz ÖZEL ve Prof. Dr. Birol ÜNER'e sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Kamil Özdağ Fen Fakültesi Laboratuvarındaki çalışmalarında yardımcı olan Prof. Dr. İbrahim YILMAZ'a ve doktora sürecinde ve tez çalışmalarımın her aşamasında katkılarıyla yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ali Nadi KAPLAN'a teşekkür ederim.

Deneylerin yapılmasında yardımlarından dolayı; ORMA A.Ş. ve Kastamonu Entegre (Adana) yetkili ve çalışanlarına, ISUBÜ İnşaat Mühendisliği ve Orman Endüstri Laboratuvarındaki çalışmalarında yardımlarından dolayı Mustafa ÇAĞLAYAN, Şenel SÜNER ve Murat ARIN'a teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca YÖK 100/2000 Doktora Bursu kapsamında maddi desteğinden dolayı Yükseköğretim Kurumu'na teşekkür ederim.

Manevi desteklerini esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük katkısı olan aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Zakir TUFAN
ISPARTA, 2024

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ahşap esaslı kompozit malzemeler.....	23
Şekil 2.2. Üre ve Formaldehit	28
Şekil 2.3. Üre ve formaldehitin alkali kondenzasyonu	28
Şekil 2.4. Düşük molekül ağırlıklı metilüreler.....	29
Şekil 2.5. Monometilolürelerin kopolimerizasyonu.....	29
Şekil 2.6. Melamin tutkalı üretimi	30
Şekil 2.7. Melamin ve formaldehite ait kondenzasyon reaksiyonu	31
Şekil 2.8. Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüplerin gösterimi	38
Şekil 3.1. Araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal oranının belirlenmesinde üretile yonga levhalara ait iş akış şeması	45
Şekil 3.2. Araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal (UF) oranının belirlenmesi	45
Şekil 3.3. Araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal (MUF) oranının belirlenmesi	46
Şekil 3.4. Araştırma deneylerinde kullanılacak bor oranının belirlenmesi için yonga levha üretim iş akış şeması.....	47
Şekil 3.5. Araştırma deneylerinde kullanılacak bor oranlarının belirlenmesi.....	47
Şekil 3.6. Borlu, üç tabakalı yonga levhalara ait üretim planı	48
Şekil 3.7. Borlu ve karbon nanotüplü üç tabakalı yonga levhalara ait üretim planı.....	49
Şekil 3.8. Yonga levhalarda üretim aşamaları	50
Şekil 4.1. UF ve MUF’lu yonga levhaların yoğunlukları	59
Şekil 4.2. Bor türü ve oranına bağlı UF ve MUF’lu yonga levhaların yoğunlukları	60
Şekil 4.3. UF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait yoğunlukların karşılaştırılması	61
Şekil 4.4. UF’lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre yoğunluk değişimi	62
Şekil 4.5. MUF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait yoğunlukların karşılaştırılması	63
Şekil 4.6. MUF’lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre yoğunluk değişimi	63
Şekil 4.7. UF’lu yonga levhalara ait su alma oranlarının karşılaştırılması	65
Şekil 4.8. UF’lu yonga levhaların bor türüne göre 2 ve 24 saat su alma sonuçları	65
Şekil 4.9. UF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait 2 saat su alma oranlarının karşılaştırılması	67
Şekil 4.10. UF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait 24 saat su alma oranlarının karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.11. UF’lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat su alma sonuçları.....	68
Şekil 4.12. MUF’lu borlu yonga levhalara ait su alma oranlarının karşılaştırılması	70
Şekil 4.13. Farklı bor türleri kullanılarak MUF’lu yonga levhalara ait 2 ve 24 saat su alma sonuçları.....	70
Şekil 4.14. MUF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait 2 saat su alma oranlarının karşılaştırılması.....	72

Şekil 4.15. MUF'lu yonga levhalara ait 24 saat su alma oranlarının karşılaştırılması	73
Şekil 4.16. MUF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat su alma sonuçları	73
Şekil 4.17. KNT-Bor ve Selüloza ait beklenen mekanizma.....	76
Şekil 4.18. UF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait kalınlık artımı oranlarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.19. Farklı bor türleri kullanılarak UF'lu yonga levhalara ait 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları	77
Şekil 4.20. UF'lu yonga levhalara ait 2 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması	79
Şekil 4.21. UF'lu yonga levhalara ait 24 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması	79
Şekil 4.22. UF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları	80
Şekil 4.23. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait kalınlık artımı oranlarının karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.24. Farklı bor türleri kullanılarak MUF'lu yonga levhalara ait 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları	82
Şekil 4.25. MUF'lu yonga levhalara ait 2 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması	84
Şekil 4.26. MUF'lu yonga levhalara ait 24 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması	85
Şekil 4.27. MUF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları	85
Şekil 4.28. UF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması	88
Şekil 4.29. UF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilme dirençleri sonuçları	89
Şekil 4.30. UF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilme dirençlerindeki (%) değişim	89
Şekil 4.31. UF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.32. UF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modül sonuçları.....	91
Şekil 4.33. UF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modüllerindeki (%) değişim	92
Şekil 4.34. UF'lu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması.....	93
Şekil 4.35. UF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilme direnci sonuçları.....	94
Şekil 4.36. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalara ait eğilme direnci değişimi (%).....	95
Şekil 4.37. UF'lu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması	96
Şekil 4.38. UF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları	97

Şekil 4.39. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü değişimi (%)	98
Şekil 4.40. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması	99
Şekil 4.41. MUF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilme direnci sonuçları	100
Şekil 4.42. MUF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilme dirençlerindeki (%) değişim	100
Şekil 4.43. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması.....	101
Şekil 4.44. MUF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları	102
Şekil 4.45. MUF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modüllerindeki (%) değişim	102
Şekil 4.46. MUF'lu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması ..	103
Şekil 4.47. MUF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilme direnci sonuçları	104
Şekil 4.48. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF tutkalı yonga levhalara ait eğilme direnci değişimi (%).....	105
Şekil 4.49. MUF'lu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması	106
Şekil 4.50. MUF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları	107
Şekil 4.51. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF tutkalı yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü değişimi (%)	108
Şekil 4.52. UF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 4.53. UF tutkalı ile borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri sonuçları	110
Şekil 4.54. UF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençlerindeki (%) değişim	110
Şekil 4.55. UF'lu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması	112
Şekil 4.56. UF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları.	112
Şekil 4.57. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü değişimi (%)	114
Şekil 4.58. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması.....	115
Şekil 4.59. MUF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri	115
Şekil 4.60. MUF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençlerindeki (%) değişim	116
Şekil 4.61. MUF'lu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması	117

Şekil 4.62. MUF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları	118
Şekil 4.63. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF tutkallı yonga levhalara ait yüzeye dik çekme direnci değişimi %	119
Şekil 4.64. UF ve MUF tutkallı yonga levhalara ait temas açısı ölçümleri sonuçları	121
Şekil 4.65. UF tutkallı BD-EC-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları	123
Şekil 4.66. UF tutkallı ED-BD-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları	124
Şekil 4.67. UF tutkallı ÇB-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları	124
Şekil 4.68. MUF tutkallı ED-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları .	126
Şekil 4.69. MUF tutkallı ED-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları .	126
Şekil 4.70. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların EDS sonuçları.....	128
Şekil 4.71. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların FTIR analiz sonuçları..	132
Şekil 4.72. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların FTIR analiz sonuçları	134
Şekil 4.73. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yoğunluk deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler.....	141
Şekil 4.74. UF tutkallı bor ve KNT kullanımının yonga levhaların yoğunlukları üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri.....	142
Şekil 4.75. MUF tutkallı bor ve KNT kullanımının yonga levhaların yoğunlukları üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	143
Şekil 4.76. UF tutkallı yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler.....	146
Şekil 4.77. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri.....	146
Şekil 4.78. MUF tutkallı yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler.....	150
Şekil 4.79. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri.....	150
Şekil 4.80. UF tutkallı yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler.....	154
Şekil 4.81. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	154
Şekil 4.82. MUF tutkallı yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler.....	158
Şekil 4.83. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	158
Şekil 4.84. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilme direnci deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler.....	162
Şekil 4.85. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların eğilme direnci üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	162
Şekil 4.86. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların eğilme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri.....	163
Şekil 4.87. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler	166

Şekil 4.88. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	166
Şekil 4.89. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların eğilme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri.....	167
Şekil 4.90. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler	170
Şekil 4.91. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	170
Şekil 4.92. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri	171
Şekil A.1. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların yoğunluk değerleri	198
Şekil A.2. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların yoğunluk değerleri....	199
Şekil A.3. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik su alma oranları	200
Şekil A.4. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik su alma oranları	201
Şekil A.5. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik su alma oranları	202
Şekil A.6. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik su alma oranları	203
Şekil A.7. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik kalınlık artım oranları	204
Şekil A.8. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik kalınlık artım oranları.....	205
Şekil A.9. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik kalınlık artım oranları.....	206
Şekil A.10. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik kalınlık artım oranları	207
Şekil B.1. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilme dirençleri.....	208
Şekil B.2. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülleri	209
Şekil B.3. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilme dirençleri.....	210
Şekil B.4. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülleri	211
Şekil B.5. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri	212
Şekil B.6. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri	213
Şekil C.1. UF tutkallı boraks ve boraks+KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları.....	214
Şekil C.2. UF tutkallı boraks-eticol ve boraks-eticol-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları	215
Şekil C.3. UF tutkallı etidot-çinkoborat ve etidot-çinkoborat-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları	216
Şekil C.4. UF tutkallı KN ve KN-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları	217
Şekil C.5. MUF tutkallı etidot ve etidot-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları.....	218
Şekil C.6. MUF tutkallı etidot-KN ve etidot-KN-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları	219

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Karbon nanotüplerin mekanik özelliklerinin farklı malzemelerle karşılaştırılması	35
Çizelge 2.2. TDKNT ve ÇDKNT'lerine ait özelliklerin karşılaştırılması	38
Çizelge 3.1. Üreformatdehit tutkalının özellikleri	41
Çizelge 3.2. Melamin üreformatdehit tutkalının özellikleri	41
Çizelge 3.3. Çok duvarlı karbon nanotüpe ait özellikler	42
Çizelge 3.4. Çinkoborat'a ait özellikler	42
Çizelge 3.5. Sodyum tetraborat dekahidrat'a ait özellikler	43
Çizelge 3.6. Disodyum oktaborat tetrahidrat'a ait özellikler	43
Çizelge 3.7. Dikalsiyum hekzaborat pentahidrat'a ait özellikler	44
Çizelge 4.1. Çalışma kapsamında IR spektrumunda belirlenen dalga boylarına karşılık gelen fonksiyonel grupların gösterimi	131
Çizelge 4.2. Design Expert paket programında kullanılan modeller	138
Çizelge 4.3. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yoğunluk deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	139
Çizelge 4.4. Yoğunluk verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler ..	139
Çizelge 4.5. Yoğunluk deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler	140
Çizelge 4.6. UF tutkallı yonga levhaların su alma deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	144
Çizelge 4.7. UF tutkalları seriler için su alma verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	144
Çizelge 4.8. UF tutkallı seriler için su alma deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler	145
Çizelge 4.9. Su alma deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	148
Çizelge 4.10. MUF tutkallı levhalar için su alma verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	148
Çizelge 4.11. MUF tutkallı yonga levhaların su alma deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler	149
Çizelge 4.12. UF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	152
Çizelge 4.13. UF tutkallı levhalar için kalınlıkta artım verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	153
Çizelge 4.14. UF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler	153
Çizelge 4.15. MUF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	156
Çizelge 4.16. MUF tutkallı levhalar için kalınlıkta artım verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	157
Çizelge 4.17. MUF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler	157
Çizelge 4.18. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilme direnci deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	160
Çizelge 4.19. UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilme direnci verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	161

Çizelge 4.20. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilme direnci deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklem	161
Çizelge 4.21. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	164
Çizelge 4.22. UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilmede elastikiyet modülü verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	165
Çizelge 4.23. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklem	166
Çizelge 4.24. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi	168
Çizelge 4.25. UF ve MUF tutkallı levhalar için yüzeye dik çekme direnci verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler	169
Çizelge 4.26. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler	170

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANOVA	Varyans analizi
BD	Boraks dekahidrat
ÇB	Çinkoborat
ÇKDNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
EC	Eticol
ED	Etidot
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GPa	Giga pascal
Ka	Kalınlık artımı
KN	Kontrol Numunesi
KNT	Karbon nanotüp
MDF	Orta yoğunlukta levha
MF	Melamin formaldehit
MOE	Eğilmede elastikiyet modülü
MOR	Eğilme direnci
MPa	Mega pascal
MUF	Melamin üreformaldehit
PF	Fenolik reçine
pMDI	İzosiyanat
Sa	Su alma
SEM-EDS	Tarayıcı elektron mikroskobu-enerji dağılımlı x ışını analizi
TDKNT	Tek duvarlı karbon nanotüp
TGA	Termogravimetrik analiz
TPa	Tera pascal
UF	Üreformaldehit
Ydc	Yüzeye dik çekme direnci
δ	Yoğunluk

1. GİRİŞ

Yüzlerce alt sektörü bünyesinde barından inşaat sektörü ulusal kaynaklarla (finans, malzeme, işçilik vb.) yapılabilmesi ve %30'a yaklaşan GSMH içindeki payı ile ülkemiz ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Teknolojik gelişmeler, artan nüfus ve toplumsal ihtiyaçlar ile beraber inşaat sektöründeki gelişmelerde hızla devam etmektedir. Bu gelişmeler ve ihtiyaçlar doğrultusunda, sınırlı kaynaklara sahip olduğumuz yeraltı kaynaklarından elde edilen yapı malzemeleri her ne kadar ekolojik sorunlara neden olsa da yapı malzemesi ihtiyacı her geçen gün artmakta birlikte yapı malzemelerinden de ilave ve/veya artan performans özellikleri beklenmektedir. Yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra, inşaat malzemelerinin düşük maliyetli, fonksiyonel, çevre dostu, enerji verimliliği yüksek, sürdürülebilir, yenilenebilir olması temel beklentileri oluşturmaktadır. Yapı malzemelerini kısaca, bina yapımı ve diğer inşaat mühendisliği işleri dâhil olmak üzere, tüm yapı işlerinde kullanılmak üzere üretilen, demir-çelik, çimento, cam, seramik, boya, metal strüktür, ahşap vb. ürünler olarak tanımlamak mümkündür.

Kullanımı ilk çağlarda barınma gereksinimiyle başlayan ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlaması, beton ve çeliğe oranla çok daha eskilere dayanır. Günümüzde taşıyıcı sistemler olarak betonarme ve çelik sistemler yaygın olarak kullanılsa da insan sağlığına zarar vermemesi, alternatifi olan malzemelerden daha yüksek ısı yalıtımı sağlaması, yaşam ömrünün uzun olması, ısıya karşı neredeyse hiç genleşmemesi tam tersine ısının etkisiyle kuruyup güç kazanması, eko ve gürültüyü emerek engel olması, ses izolasyonundaki üstünlüğü, üretiminde atık gaz olarak saf oksijen salınan tek yapı malzemesi olması, üretiminde ve işlenmesinde kullanılan fosil enerji miktarı düşüklüğü, bünyesinde CO₂ depolayabilmesi, hammaddesi ahşap olan elemanlar ömürleri bitince yeniden kullanılabilmesi (doğal yenilenebilir malzeme olması), biyolojik yolla yok edilebilir olması, enerji veya hammadde olarak değerlendirilebilmesi, ahşap yapıların üretiminin hızlı olması, hafif olan parçaların kolayca depolanabilir, nakledilebilir olması vb. nedenlerle ahşap sadece inşaat sektöründe taşıyıcı olarak değil betonarme sistemlerin üretiminde, yalıtım malzemesi, detay malzemeleri olarak yaygın kullanılmakta, sektör içinde her geçen gün artan öneme sahip olmaktadır. Ekolojik açıdan çözüm yaratma potansiyeli çok yüksek ve yenilenebilir bir hammadde olan ahşabın sürdürülebilir yapı malzemesi olarak

kullanımı endüstrinin gelişmesiyle de kullanım alanı sürekli genişleyerek yeni boyutlar ve esneklik kazanmaktadır.

Sanayi devriminden önce buharlı makinelerin kullanılmaması, nüfusun savaşlardan dolayı az olması gibi nedenlerden dolayı dünyada çevresel sorunlar en düşük seviyede kalmıştır. Ancak 1970’lerde üçüncü sanayi devriminin gerçekteşmesiyle beraber buharlı makinelerin ortaya çıkması, sanayi kollarının artması, dünyanın plansız bir şekilde büyüme göstermesi, nüfusta meydana gelen hızlı artışa paralel olarak doğal kaynakların azalması, yenilenemeyen enerji ve malzemelerin kullanılması üretilmesi sonucunda küresel ısınma, çevre kirliliği gibi çevre ve insanlığı tehdit eden sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların etkilerini azaltmak için uluslararası kuruluşlar çeşitli konferanslar gerçekteştirmeye başlamışlardır. Bunun sonucunda sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır.

Sürdürülebilirlik kavramı için farklı tanımlamalar olup en genel tanımı brundlant komisyonunun 1987’de yaptığı ‘‘Sürdürülebilirlik gelişme mevcut insan ihtiyaçlarının, gelecek kuşaklara kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyetini riske atmadan yani gelecek kuşakların yaşamlarına zarar vermeden bugünkü ihtiyaçlarımızı karşılayabilmektir’’ şeklindeki tanımıdır.

Sürdürülebilir yapı, var olan malzemenin özelliğinde herhangi bir bozulma meydana gelmeden, onu besleyen malzemede azalma gerçekteşmeksizin, sürekli var olacak bir sürecin özelliklerini taşıyan sistem olarak tanımlanmaktadır (Nicholson, 2004). Sürdürülebilir yapı malzemeleri ise kullanıldıkları süre boyunca en az seviyede enerji harcayan, hammaddelerin elde edilmesi, işlenmesi, bakım-onarım ve atık meydana gelmesi sırasında çevreye ve insan sağlığına zarar vermeyen malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Sayar vd., 2009). Sürdürülebilir yapı malzemelerinin tanımında bahsedilen özelliklere ilaveten;

- ✓ Durabilite ‘‘Kalıcılık’’ (malzemenin dayanıklı ve uzun ömürlü olması) olmalı
- ✓ CO₂ emisyonunu azaltmalı
- ✓ Geri dönüştürülebilir özelliğine sahip olmalı
- ✓ Doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiş olmalıdır.

Sürdürülebilir yapı malzemesi olarak kullanılan ahşap, insanoğlunun yararlandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Ahşap malzeme hem masif halde hem de kompozit ürünlere dönüştürülerek kullanılabilir. Ahşap, ender bulunan bir malzemedir ve dışarıdan fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyokimyasal müdahalelere açık bir yapıya sahiptir. Aynı zamanda anizotrop bir karakteristik gösteren ahşap, farklı kullanım alanlarına göre değişen fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir. Bu özellikler, kullanım yerine bağlı olarak uygun önlemlerin alınmasını gerektirir.

Yonga levhanın doğal ve organik bir malzeme olması nedeniyle zamanla dış etkilere karşı savunmasız kalmakta fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz etkilenmektedir. Bu nedenle kullanımı sınırlı kalmaktadır. Bu dezavantajları gidermek için çeşitli emprenye maddeleri kullanılmaktadır. Ancak her ne kadar günümüzde farklı emprenye maddeleri kullanılıyor olsa da hala istenilen hedeflere ulaşılamamış olup farklı emprenye maddeleri ile denemeler devam etmektedir.

Bu tez kapsamında bor ve karbon nanotüp (ÇDKNT) maddeleri farklı oranlarda iki farklı tutkal çeşidi ile kullanılarak ahşap esaslı kompozit (yonga levha) malzemede meydana gelecek mekanik, fiziksel ve kimyasal değişimlerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda sürdürülebilir bir malzeme olan ahşap esaslı (yonga levha) kompozit malzemenin dayanım ve dayanıklılığını artırmaya yönelik olarak aşağıda belirtilen amaçlar belirlenmiştir;

- ✓ Yonga levha malzemesinde emprenye maddeleri olarak kullanılacak karbon nanotüp (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp “ÇDKNT”) ve borun malzemede meydana getirdiği kimyasal değişiklikleri belirlemek,
- ✓ Farklı bor türleri kullanıldığında malzemenin mekanik değerlerindeki değişim (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci) ile güçlü mekanik özelliklere sahip karbon nanotüp (ÇDKNT) ile birlikte kullanıldığında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi,
- ✓ Karbon nanotüp (ÇDKNT) ve bor maddelerinin yonga levha malzemesinin fiziksel özelliklerinde; (yoğunluk, su alma miktarı, kalınlık artımı) meydana getirdiği etkileri belirlemektir.

Bor'un yonga levha malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak malzemenin içyapısında meydana getirdiği değişikliklere karbon nanotüp (ÇDKNT) maddesinin bu performans üzerindeki etkisini belirlemek yukarıda belirtilen amaçlar doğrultusuna ulaşmak istenen sonuçlardır. Bu doğrultuda istenen özelliklere ulaşmak için aşağıda verilen aşamalar gerçekleştirilecektir.

En uygun tutkal oranını belirlemek, bor türü ve oranının karbon nanotüp ile kullanıldığında;

- ✓ Karbon nanotüp (ÇDKNT) ve borun yonga levha malzemesinin içyapısında meydana getirdikleri değişiklikleri çeşitli analizler (TGA, FTIR, SEM-EDS ve Temas açısı (gonyometre)) yardımıyla incelemek,
- ✓ Karbon nanotüp (KNT) ve bor türlerinin (Çinkoborat (ÇB), Boraks Dekahidrat (BD), Etidot (ED), Eticol (EC)) iki farklı tutkalla birlikte malzemede kullanılması durumunda birbirlerine göre eksiklikleri ve artıları meydana getirdikleri bağlanmalar veya etkileşimler belirlenen analizler yardımıyla açıklığa kavuşturulması hedeflenmektedir.
- ✓ Birlikte kullanılan bu emprenye maddelerinin (KNT, ÇB, BD, ED, EC) yonga levha malzemesinin yanmaya karşı direncinde meydana getirdiği değişiklikleri Termogravimetrik analizi (TGA) yardımıyla inceleyip, malzemedeki yangın geciktirici etkileri ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.
- ✓ Sadece bor türleri (ÇB, BD, ED, EC) yonga levhada kullanıldığında mekanik özelliklerinde (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci) meydana gelen kayıpların eğilimini karbon nanotüp (ÇDKNT) kullanılarak artırma veya iyileştirilmesi hedeflenmektedir.
- ✓ Bor ile yapılan çalışmalara göre literatürde borun malzemeden su ile teması sonrası çabuk yıkandığı belirlenmiştir. Karbon nanotüp (ÇDKNT) yonga levhada bor ile birlikte kullanıldığında fiziksel özelliklerinde (yoğunluk, su alma miktarı, kalınlık artımı) meydana gelen etkileri deneysel yöntemlerle belirlenmesi hedeflenmektedir.

- ✓ Bor'un karbon nanotüp (ÇDKNT) emprenye maddesiyle birlikte kullanılması durumunda bu var olan özelliklerde iyileşme gerçekleşip gerçekleşmediği ve bu etkileşim sonucunda hidrofil olan yonga levhanın fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimin belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece elde edilen verilerle literatüre katkı sağlanmış olacaktır.
- ✓ Ayrıca, bu çalışma sonucunda, bu konuyla ilgili literatürde var olan boşluğa katkıda bulunmak, ele aldığımız malzemenin dezavantajlarını azaltarak kullanım alanlarını genişletebilecek, başka ahşap esaslı kompozit malzemelerde kullanılabilirliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Böylece, ilgili endüstrilerde çevresel bakımdan sürdürülebilir üretimin sağlanmasına da katkıda bulunulacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Önceki Çalışmalar

2.1.1. Bor ile ilgili yapılan çalışmalar

Yalınkılıç vd. (1995), fungusit, insektisit ve yangın önleyici olumlu etkileri bilinen borlu maddelerden borik asit ve sodyum perborat'ın, odunda higroskopisiteye etkisinin belirlenmesi için bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada borlu maddelerin higroskopitede neden oldukları artışın engellenebilmesi için borik asit ve sodyum perborat yanında polietilen glikol çözündürülerek hazırlanmış preparatları parafinle birlikte hazırlanan %15'lik sulu çözeltisi ve su itici maddelerden olan stiren, metilmetakrilat ve izosiyanat ile birlikte kullanarak değişik oranlarda çözeltiler hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda borik asit ve sodyum perborat'ın tam kuru oduna oranla 0.69-4.60 gibi düşük retensiyonlarına karşılık, bunlardan anlamlı derecede ($P \leq 0.05$) farklı olmak üzere polietilen glikollü çözeltiler ve su itici maddelerde %20-60 gibi yüksek retensiyon oranları elde edildiğini göstermiştir. Retensiyon oranları üzerindeki belirleyici etkenin çözücü madde olduğu ortaya çıkarken, higroskopisite açısından 4 farklı homojenlik grubu oluştuğunu belirlemiştir. Bunlar, higroskopisiteyi en çok artıran maddelerden başlayarak; (1) polietilen glikol, (2) polietilen glikol+borik asit veya sodyum perborat, kontrol, (3) su itici madde, borik asit veya sodyum perborat+su itici madde ve (4) parafin+borik asit+boraks olarak gruplandırmıştır. Ayrıca, polietilen glikol dışında hiçbir uygulamanın odunda kontrole oranla higroskopisiteyi önemli derecede ($P \leq 0.05$) artırmadığı belirlenmiştir.

Yalınkılıç (1998), duglas göknarını biyotik ve abiyotik zararlılara karşı korumak amacıyla kullanılan emprenye maddelerinin yanma özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada borlu bileşiklerden borik asit ve boraksın sulu çözeltilerinin önemli derecede yanmayı geciktirdiği ancak polietilen glikol ile birlikte kullanıldığında borik asitin yanmayı önleyici etki göstermediği belirlenmiştir. Ayrıca yanmayı artırıcı özellikleri ile bilinen su itici maddeler borlu bileşiklerle emprenye edilen oduna ikinci işlem olarak uygulanması durumunda yanma özelliklerinde iyileşme elde etmişlerdir.

Lebow ve Winandy (1999), yanmayı geciktirici kimyasallarla muamele edilen kontrplağın direnç özellikleri ile pH değeri arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Denemelerde kullandıkları kimyasalların (monoamonyum fosfat (MAF), %75 MAF+%25 Timbor, %90 MAF+%10 fosforikasit) tamamının büyük ölçüde (kontrol örneklerinde pH değeri 5.5 iken, kullanılan kimyasalların dâhil edilmesi sonucu pH değeri 4.2 olarak ölçülmüş) ve hızlı bir şekilde tutkal pH'sını düşürdüğünü, özellikle fosforik asit içeren bileşiklerde (kontrol örneklerinde pH değeri 4.2 fosforik asitin dâhil edilmesiyle birlikte bu değer 2.8 ölçülmüş) bunun belirgin bir şekilde görüldüğünü tespit etmişlerdir. Kontrplak pH'sındaki değişim ile odundaki direnç azalmaları asidite değerinin değişimine bağlı olarak elde edilen değerlere bakılarak aralarında güçlü bir ilişkinin olduğunu belirlemişlerdir. Yine aynı çalışmada monoamonyum fosfatlı kontrplaklara borlu bileşikler katıldığında numunelerin asiditelerinde bir azalma olduğu ve buna bağlı olarak direnç değerlerinde iyileşme olduğu görülmüştür (Ayrılmış, 2006).

Wang ve Rao (1999), yanmayı geciktirici kimyasallarla muamele edilen *Shorea macroptera* (Red Meranti) ve *Pinus radiata* kaplamalarından üretilen kontrplağın yapısal performansı üzerine yüksek sıcaklıkların etkisini araştırmışlardır. 2 farklı bileşik ile (1. bileşik: amonyumhidrojen fosfat, amonyum dihidrojen fosfat, amonyum sülfat, amonyum bromid karışımı, 2. bileşik: bor, klorit, amonyum sülfat ve fosfat karışımı) ile muamele edilen kaplamalardan üretilen 3 katlı kontrplaklarda 77°C ve %50 bağıl nemde 80 gün bekletildiğinde eğilme direncinde %6.5'den %33.4'e, yapışma direncinde ise %12.8'den %42.3'e kadar bir azalma olduğu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, yanmayı geciktirici kimyasalların sulu çözeltisi ile muamele edilen kaplama veya kontrplaklar işlem后会 hemen sonra kurutmaya tabi tutulduklarında, mekanik özelliklerinde belirgin bir azalma olduğu belirlemişlerdir. Buna neden olarak yanmayı geciktirici kimyasallarla muamele edilen kontrplaklar yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında sıcaklık etkisiyle odunun asidik hidrolizinin hızlanarak daha kısa sürede bozunması sonucuna varmışlardır (Ayrılmış, 2006).

Var (2000), farklı yanmayı geciktirici kimyasallarla emprenye edilmiş yongalardan ürettiği yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini tespit etmek için bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada boraks içeren levhaların borik asit içeren levhalara oranla eğilme direnci ve levha yüzeyine dik yönde çekme direnci bakımından daha

yüksek değerler verdiğini belirlemiştir. 24 saat süreli kalınlığına şişme oranında ise borakslı levhaların, borik asit içeren levhalara oranla daha fazla kalınlığında şişme oranı elde edildiği belirlemiştir (Ayrılmış, 2006).

Çolak vd. (2002), boraks ve borik asitle emprenye edilen kızılâğaç odunu ve kontrplağının yanma özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada boraks ve borik asit kontrplağa üç yöntemle uygulanmış olup bunlar; a) kaplama levhalarına emprenye etme b) tutkal içerisine katma ve c) kontrplağa vakumla emprenye etme yöntemleridir. Çalışma sonucunda, boraks grubu odun ve kontrplak numunelerindeki ağırlık azalmasının borik asit grubundan daha fazla olduğu dolayısıyla ağırlık kaybından borik asidin borakstan daha etkili olduğu belirlenmiştir. Buna karşın, boraksın genel olarak ısı kaynaklı ve ısı kaynaksız yanma sıcaklığı ve ışık yoğunluğunu (lüks) düşürdüğünü ancak korlu yanma sıcaklığını arttırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca kimyasal maddeyi uygulama yöntemi ile ilgili olarak, borik asidin kontrplak üretiminden önce tutkala katılmasının veya kaplama levhalarına uygulanmasının levhanın yanma özellikleri üzerine belirgin bir etkisi olduğu ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, kontrplağa vakum yöntemiyle uygulama yönteminin levhanın yanmaya karşı dayanımını arttırmada önemli ölçüde etkili olduğunu, bu üç yöntem içerisinde en etkili olanın kontrplak levhalarının vakumla uygulamanın olduğunu belirlemişlerdir (Ayrılmış, 2006).

Aslan ve Özkaya (2004), odun esaslı lif levhaların yanma özellikleri üzerinde kimyasal katkı maddelerinin ve uygulama şeklinin etkisinin belirlenmesi için bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada yöntem olarak; fırça ile sürme ve daldırma, kimyasal madde olarak; potasyum karbonat, boraks ve wolmanit-CB, levha olarak da kontrplak, OSB ve MDF kullanılmıştır. Sonuç olarak, yanmaya karşı en uzun süre dayanıklı kalan levha MDF olmuştur. Bu sonuç daldırma yönteminde elde edilmiştir. Alevli yanmanın en kısa sürdüğü levhalar ise MDF ve kontrplakta ortaya çıkmıştır. Burada kullanılan kimyasal madde potasyum karbonat ve kullanılan yöntem ise daldırmadır. Alevli yanması biten deney parçalarının kor halde yanma süreleri incelendiğinde, kor halde yanmanın en kısa sürdüğü levhaların kontrplak ve OSB, kimyasal maddelerin boraks ve potasyum karbonat, uygulama yönteminin daldırma olduğu belirlenmiştir. Alevli yanma süresi az olan MDF'nin kor halde içten yanması çok uzun sürmesinin

sonucunda dış yüzeyde yanmaya karşı dirençli iken iç kısımlara nüfuz ettiğinde direncinin zayıf olduğunu belirlemişlerdir.

Wang vd. (2004), ıhlamur ağacı üzerinde borik asidin alev geciktirici özelliğini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Araştırmada borik asit ve guanilüre fosfatın etkisini incelemek için koni kalorimetre, gaz kromatografisi ve FTIR analizleri yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre ağırlık kaybı borik asit ile emprenye edilen örneklerde daha fazla gerçekleşmiştir. Koni kalorimetre sonuçları borik asit ve guanilüre fosfatın malzemenin alev geciktirici özelliğinde önemli oranda (420°C) iyileştirme meydana getirdiği belirlemişlerdir. Borik asidin, ahşabın dehidrasyonunu ve diğer oksijen giderici reaksiyonlarını nispeten düşük bir sıcaklıkta (yaklaşık 100 - 300 °C) katalize ettiği sonucuna varmışlardır.

Dönmez (2005), borlu bileşikler (çinkoborat ve boraks) ile emprenye edilen melez kavak yongalarının, fenol formaldehit ve kraft lignin fenol formaldehit tutkalları ile üretilen yönlendirilmiş yonga levhaların fiziksel, mekanik ve bazı biyolojik özelliklerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre yönlendirilmiş yonga levha üretiminde borlu bileşiklerin kullanılması OSB levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenmiştir. Diğer taraftan, yapılan çürüklük ve yanma özelliklerinde borlu bileşiklerin kullanımının olumlu bir etki yaptığını belirlemiştir.

Ayrılmış vd. (2005), disodyum oktaborat (DOT), borik asit, DOT/borik asit ve melamin fosfatın tam kuru yonga ağırlığına göre %2, %4 ve %6 oranlarında OSB levhasına katılması durumunda meydana gelen mekanik ve fiziksel özelliklerindeki etkisini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmada en iyi eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve levha yüzeyine dik yönde çekme direncini melamin fosfat ile üretilmiş levhaların verdiğini belirlemişlerdir. Borlu bileşiklerden olan DOT grubu levhalar eğilme direnci ve levha yüzeyine dik yönde çekme direnci bakımından borik aside göre daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Eğilmede elastikiyet modülü ise genel olarak DOT ve borik asitte birbirine yakın olduğunu tespit etmişlerdir. Kalınlığında şişme ve su alma oranlarında ise mekanik özelliklerin tam tersine borik asit grubu levhalarda DOT grubundan daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Yalınkılıç vd. (2007), atık çay yapraklarından yonga levha üretimi esnasında üre formaldehit reçinesine borlu bileşik (borik asit+boraks) ilavesinin yanı sıra levhanın yanıcılığını daha da azaltmak ve borik asit+boraks'ın yüzeye tutunması amacıyla yüzeyine ilave bir kimyasal olarak trimetilolmelamin (TMM) etkisini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, yonga levhanın kalınlığına şişme ve su alma oranı üre formaldehit tutkalına boraks ve borik asidin yüksek oranda (%4.7) katılmasıyla kayda değer oranda (kontrol grubunda %15.9 bor ilave edildikten sonra %19.2) değişmemesine karşın, eğilme direnci ve levha yüzeyine dik yönde çekme direncinde bir dereceye (kontrol grubunda %9.82 bor ilave edildikten sonra %7.64) kadar azalma olduğunu belirlemişlerdir. Tutkala boraks ilavesi borik asidin asidik pH'sını nötralize etmesi suretiyle borik asidin direnç özellikleri üzerindeki olumsuz etkisinin en az olduğunu belirlemişlerdir.

Çakmak (2008), emprenye edilmiş yongalardan elde edilen yonga levhalara borik asit, boraks ve çinko fosfatın emprenye maddesi olarak levhanın yanma direncine etkilerini incelemiştir. Yonga levhaların üretiminde %23 kızılçam, %14 karaçam, %19 sedir, %12 meşe, %18 kavak ve %14 diğer ağaç türlerinden (talaş, kapak kenarları vb.) yararlanmıştır. Emprenye maddesi olarak borik asit, boraks, çinko fosfat, %50 borik asit ve %50 boraks kullanmıştır. Tutkalla karıştırılan kimyasallarla yongaların emprenye işlemi püskürtme ile gerçekleştirmiştir. Tam kuru tutkal ağırlığına oranla %5-%10 borik asit, %5- %10 boraks, %5-%10 çinko sülfat, %5-%10 boraks+borik asit karışımı uygulamıştır. Elde edilen verilere göre emprenyeli levhaların yoğunlukları, kontrol örneği levhalarından daha fazla bulmuştur. En yüksek yoğunluk %10 konsantrasyonlu borik asit ile emprenye edilen yonga levhalarda, en düşük %5 konsantrasyonlu çinko sülfat ile emprenye edilen yonga levhalarda bulmuştur. Emprenye maddesi kullanım miktarı arttıkça yonga levhanın rutubet miktarının arttığı, bu artmanın kullanılan kimyasal maddeler için yanma direnci açısından önemsiz olduğunu belirlemiştir. Yanma işleminde en fazla yanma kontrol örneğinde, en az yanma %5'lik boraks ile işlem gören yonga levha örneklerinde olduğunu belirlemiştir. İlk ağırlığa oranla en fazla yanma kontrol örneğinde belirlemiştir. Buna göre tüm emprenye maddeleri kontrol örneğine göre yanmayı azaltıcı etki gösterdiğini belirlemiştir.

Ustaömer vd. (2009), MDF levhalarının bor bileşikleri ile birlikte kullanıldığında çürüklük mantarlarına karşı meydana gelen değişimleri belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada bor bileşikleri olarak %10 boraks-borik asit, tutkal olarak da %10, %15 ve %20 melamin üre formaldehit kullanılmıştır. Üretilen levhaların mantar çürüklüklerine karşı dirençlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak borla muamele edilmiş örneklerde çürüklük direncinde artış meydana geldiğini ve tutkal artışına bağlı olarak örneklerin ağırlık kaybı değerlerinde azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Demirci vd. (2009), orman ürünleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılan sarıçam, doğu kayını, doğu ladini, Uludağ göknarı, sapsız meşe ve kızılçam ağaç türleri sodyum borat ile emprenye edildikten sonra meydana gelen bazı değişimleri belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında kimyasal maddenin malzemenin mekanik özelliklerine etkisini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda sodyum boratın malzemenin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, liflere paralel çekme direnci ve liflere paralel basınç direnci üzerinde iyileştirici etkisi olduğunu belirlemişlerdir.

Topgül (2009), borlu bileşiklerle emprenye edilen ağaç malzemenin (sarıçam odunu) biyolojik direnç, tutuşma, hızlandırılmış yaşlandırma, üst yüzey ve borun odundan yıkanma özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada borlu bileşik olarak, borik asit, boraks, çinkoborat, disodyum oktaborat tetrahidrat ve sodyum pentaborat kullanmıştır. Sonuç olarak, borlu bileşiklerle emprenye edilen deney örneklerinde çürüklük testi sonucu meydana gelen kütle kaybı değerleri emprenyesiz kontrol örneklerine oranla istatistiksel anlamda daha düşük değerler belirlemiştir. Genellikle konsantrasyon miktarı arttıkça, kütle kaybı değerlerinde düşüşler belirlemiştir. Tutuşma testi sonuçlarına göre, borlu bileşiklerle emprenye edilen deney örneklerinin LOI (Limiting oxygen index) değerleri emprenyesiz kontrol örneklerine göre daha yüksek değerler belirlemiştir. Çalışmada borlu bileşiklerle emprenye edilen deney örneklerinin sertlik ve parlaklık değerlerinde düşüş, yüzey pürüzlülük değerlerinde ise artış belirlemiştir. Borun odundan yıkanma oranı ilk periyotta yüksek olurken, ileriki yıkanma periyotlarında yıkanan madde (bor) miktarında düşme gözlemlenmiştir.

Özçifçi ve Batan (2010), uludağ göknarı, doğu kayını ve sarıçam odunları sanayi atığı bor ile emprenye edilerek bazı fiziksel özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada emprenye yöntemi olarak dolu hücre ve daldırma metodu kullanılmıştır. Sonuç olarak, en yüksek retensiyon miktarı, yanmamış parça ve kül basınç metoduyla sarıçam örneklerinde belirlenmiştir. En yüksek yoğunluklar ve sıcaklık, CO₂ ve CO basınç metoduyla kayın odunu örneklerinde, ağırlık kaybı kayın kontrol örneklerinde, O₂ göknar kontrol örneklerinde belirlenmiştir.

Kaya (2011), inşaat sektöründe önemli bir yeri olan sarıçam odunu yanma mukavemetini artırmak için disodyum pentaborat dekahidrat bor bileşiklerinin etkilerini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada hazırlanan örnekler %5-%10-%15 oranında disodyum pentaborat dekahidrat ile üç farklı çözelti hazırlayarak emprenye işlemini gerçekleştirmiştir. Emprenye metodu olarak daldırma yöntemini seçmiştir. Sonuç olarak, yanma kayıpları incelendiğinde yanma sonrası kalan malzeme miktarı emprenye süresi (3 dk, 10 dk, 2 saat ve 1 hafta) ve çözelti yoğunluğu arttıkça yanma sonrasında kalan malzeme miktarında önemli ölçüde artış meydana geldiğini belirtmiştir. 3 dk ve %5'lik çözeltide %10, 1 hafta ve %15'lik çözelti yoğunluğunda %70 kalan malzeme miktarı olduğunu belirlemiştir.

Nagieb vd. (2011), alev geciktirici üre formaldehit levhasının testere tozu elyaflarından yapılmış levhaların özelliklerini araştırmışlardır. Levhaların imalatı için testere tozu alev geciktirici katkı maddeleri olarak da borik asit ve boraks kullanılmıştır. Katkı maddeleri olarak borik asit ve boraks %0.5, 1 ve 5 oranında kullanılırken üre-formaldehit ise %10 oranında belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik özelliklerden su emme, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü deneylerini yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre alev geciktirici kimyasallar arttıkça su emme ve eğilme direncinde azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir. Levhanın alev gecikme özelliği borik asit+boraks katkı maddesinin en yüksek konsantrasyonunda gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Çakır (2012), bor katkılı zeytin karasuyu ile muamele edilen bağ çubuklarından üretilen yonga levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Araştırmasında yonga levhaları %1 ve %4 bor çözeltileri ile emprenye etmiştir. Sonuç olarak, yapılan fiziksel (yoğunluk, rutubet miktarı ve kalınlıkta şişme) ve mekanik

(eğilme direnci elastikiyet modülü, levha yüzeyine dik ve paralel çekme direnci, kenardan ve yüzeyden vida tutma direnci) deneylerine tabi tutulan örneklerde genelde bor konsantrasyonunun artması sonucunda eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve levha yüzeyine paralel çekme direncinde azalma meydana gelirken çürüklük direncinde artış meydana geldiğini belirlemiştir.

Mutlu (2013), doğu kayını sarıçam ve sapsız meşe odunları kullanılarak bazı teknolojik (yoğunluk, basınç direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve yanma) özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Aratırmasında boraks, borik asit amonyum sülfat, sodyum asetat ve alüminyum klorür yanmayı engelleyici kimyasallarını kullanarak örneklerin yoğunluk, basınç direnci, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü ve yanma özelliklerini belirlemiştir. Sonuç olarak, basınç değerlerinde azalma, eğilme direncinde boraks örneklerinde artış, kayın-boraks örneklerinde eğilmede elastikiyet modülünde artış sarıçam odunu örneklerinde azalma meydana geldiğini belirlemiştir. Yanma özelliklerinde ise genelde borlu örneklerde artış meydana geldiğini gözlemlemiştir. Ağırlık kaybında meydana gelen değişikliklerde ise borlu örneklerde iyileşme yönünde olduğunu gözlemlemiştir.

Taşcıoğlu vd. (2014), çalışmalarında çinkoborat ilave edilerek tek tabakalı üretilen yonga levhaların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Üretilen yonga levhalarda %1, %1.5 ve %2 oranlarında çinkoborat kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre çinkoborat oranı arttıkça eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü dirençlerinde artış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Yalçinkaya (2014), yanmayı geciktirici olarak kullanılan borlu bileşiklerden boraks, borik asit ve çinkoborat ilave edilerek üretilen yonga levhaların özellikleri üzerine bir araştırma yapmıştır. Yonga levha üretiminde %3, %5 ve %7 oranlarında yanmayı geciktirici katkı maddeleri kullanmıştır. Üç tabakalı olarak üretilen yonga levhaların yüzey tabakalarında %10, orta tabakalarında %8 oranında üre formaldehit tutkalı kullanmıştır. Üretilen yonga levhaların fiziksel, mekanik ve yanma performanslarını incelemiştir. Yapılan testler sonucunda fiziksel özelliklerden su alma ve kalınlığında şişme oranlarında yanmayı geciktirici kimyasal maddeler olumsuz etkilediğini belirlemiştir. Yanmayı geciktirici madde kullanım oranı arttıkça su alma ve kalınlığında şişme oranlarında olumsuz etkilendiğini gözlemlemiştir. Mekanik

özelliklerden eğilme direnci ve yüzeye dik çekme direncinde yanmayı geciktirici kimyasal maddelerin olumsuz etkilediği; kullanım oranları arttıkça direnç değerlerinde azalma meydana geldiğini belirlemiştir.

Adanur (2015), borlu bileşiklerden boraks ve borik asit, doğal emprenye maddesi olarak ise tanenlerde tara ve kebrako kayın odunu üzerindeki etkilerini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Bu çalışmada tam kuru yoğunluk, retensiyon oranı, eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, liflere paralel yapışma direnci ve vida tutma direnci gibi malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışma sonucunda yapılan testlerde retensiyon, tam kuru yoğunluk, liflere paralel basınç ve vida tutma dirençleri kontrol örneklerinden daha yüksek değerler sağladığını belirlemiştir. Eğilme direnci, elastikiyet modülü ve liflere paralel yapışma dirençlerinde ise kontrol örneklerinden daha düşük çıktığını belirlemiştir. Emprenye sonrası deney örneklerinde borlu bileşiklerin konsantrasyonları arttıkça mekanik özelliklerde düşüş, fiziksel özelliklerde ise artış olduğunu belirlemiştir.

Çiçek (2015), ladin odunu barit ve borlu bileşiklerden hazırlanan üç farklı (%1, %3, %5) çözelti konsantrasyonu ile emprenye edilmiş ve bazı fiziksel-mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Araştırmada hava kurusu özgül ağırlık, tam kuru özgül ağırlık, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, basınç direnci ve yapışma direnci değerlerinde meydana gelen değişimleri belirlemiştir. Çalışma sonucunda en yüksek hava kurusu özgül ağırlık değeri barit+borik asit (0.80 g/cm^3), tam kuru özgül ağırlık barit+borik asitte (0.98 g/cm^3) gerçekleşirken mekanik özelliklerde en yüksek eğilme direnci değeri barit+borik asit (100 N/mm^2), eğilmede elastiklik modülü barit+boraks (55 N/mm^2), basınç direnci barit+borik asit (65 N/mm^2), yapışma direnci barit+boraks'ta (8.47 N/mm^2) gerçekleşmiş olup; en yüksek su alma oranı boraks'ta %121.9 konsantrasyonda olduğunu belirlemiştir.

Visakh vd. (2015), farklı oranlarda borik asit toz şeklindeki epoksi reçinesi ile birlikte kullanılarak elde edilen epoksi kompozitlerin termal özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Araştırmada epoksi kompozitlerini, epoksi reçinesi kullanılarak hazırlamışlardır. Alev geciktirici olarak borik asit ve bağlanmanın daha iyi sağlanması için hekzametildiamini kullanmışlardır. Hazırlanan örnekler ve

başlangıç malzemeleri termal analiz, taramalı elektron mikroskobu ve FTIR kullanılarak analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre borik asidin ilavesiyle birlikte termal özelliklerde iyileşme meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

İstek vd. (2017), çalışmalarında borik asit, boraks ve çinkoborat %3, %5 ve %7 oranlarında kullanılarak üretilen yonga levhanın mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre yüzeye dik çekme direncinde en yüksek değer kontrol numunesinde 0.40 N/mm^2 olurken en düşük değer ise %7 borik asit ve %7 çinkoborat kullanıldığında 0.22 N/mm^2 olarak belirlemişlerdir. Eğilme direncinde en yüksek değer kontrol numunesinde 15.52 N/mm^2 olurken, en düşük değer %7 boraks kullanıldığında 11.52 N/mm^2 olarak belirlemişlerdir. Eğilmede elastikiyet modülünde ise en yüksek değer kontrol numunesinde 2024 N/mm^2 olurken en düşük değer %5 çinkoborat kullanıldığında 1803 N/mm^2 olarak tespit etmişlerdir.

Terzi vd. (2017), çinkoborat ve boraks + borik asit birlikte yonga levhada kullanılarak üretilen levhaların su alma ve kalınlıkta artım özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre %2 ve %10 çinkoborat kullanıldığında oran arttıkça su alma miktarına kontrol numunesine göre azalma meydana geldiği sonucuna varmışlardır.

Khalili vd. (2019), alev geciktirici olarak çinkoborat (ZB), amonyum polyfosfat (APP) ve alüminyumtrihidrat kullanılarak boş meyve demetleri lifleriyle güçlendirilmiş epoksi kompozit malzemesinin yanıcılık, kalorimetrik, ısı ve mekanik performansları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada çinkoborat %5, 10, 15, amonyum polyfosfat/çinkoborat %15 ve alüminyumtrihidrat %15 oranlarında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %10 APP ve %5 ZB oranlarında alev geciktirici özellik performansında artışın olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca eğilme direnci özelliklerinde APP ve ZB katkı maddelerinin eklenmesiyle önemli bir değişiklik meydana gelmezken, yüzeye dik çekme direncinde belirgin bir azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Çamlıbel ve Akgül (2021), MDF levhaların yangına karşı direncini artırmak için kalsit mineralinin MDF üretiminde kullanılabilirliğini incelemişlerdir. MDF üretimindeki lignoselülozik liflerin yerine kalsit minerali, üre formaldehit tutkalı ve sertleştirici ile karıştırarak blowlinedan liflere %3, %6 veya %9 oranlarında ilave etmişlerdir. Üretilen

MDF'lerin yangına karşı direncini arttırmak için yaptıkları testler arasında FIC, SC, ESC, FIC lux, SC lux, ESC lux, IST, ESCS ve ağırlık kaybı testleri bulunmaktadır. Yapılan bu testler sonucunda elde edilen veriler, kalsit minerallerinin MDF'nin yangına karşı direncini artırmada başarılı bir performans sergilediğini belirlemişlerdir.

2.1.2. Karbon nanotüplerle ilgili yapılan çalışmalar

KNT'nin ahşap esaslı kompozitlerde kullanılması ile ilgili ulaşılabilir çalışmalar sınırlı olduğu için benzer kimyasal yapıları çalışmalarda literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Fu vd. (2010), propilen/odun unu kompozitlerinin alev geciktirici ve termal kararlılığını iyileştirmek için saf ve hidroksillendirilmiş halde karbon nanotüpün, katkı maddesi olarak kullanıldığı malzemede meydana getirdikleri değişimleri belirlemek için araştırma yapmışlardır. Elde edilen verilere göre, karbon nanotüp katkı maddesi oranının artmasıyla birlikte malzemede termogravimetrik analiz gerçekleştirildiğinde ısıya karşı dayanımda artış meydana geldiğini belirlemişlerdir. Koni kalorimetre ölçümleri, kompozit malzemede kullanılan karbon nanotüpün ısı salınım oranını önemli derecede azalttığını (%16.7-25) gözlemlemişlerdir. Malzemenin alev geciktirme özelliğinde ise karbon nanotüp oranı %1 olduğunda en yüksek değere ulaştığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, karbon nanotüp, ahşap unu ve propilen ile daha iyi arayüz yapışması sağladığı için fonksiyonellendirilmiş karbon nanotüplerin kompozit malzemede daha iyi alev geciktirme özelliği kazandığı taramalı elektron mikroskobu (SEM) gözlemleriyle açıklamışlardır.

Zaman (2010), KNT'nin alümina seramiklerin eğilme dayanımı ve tokluk özellikleri ile elektriksel ve termal iletkenlikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. KNT'nin etkisini belirlemek için kompozit karakterizasyon yöntemlerinden DTA, TG, XRD, TEM ve FTIR analizlerini yapmıştır. DTA ve TG analizleri ile elde edilen verilere göre 100–200 °C arasında ilk aşamada gerçekleşen %8'lik kütle kaybı fiziksel olarak bağlı suyun yapıdan uzaklaşması sonucu gerçekleştiğini belirlemiştir. 400 ve 500 °C arasındaki kütle kaybı ise böhmitin gama alüminaya dönüşümü ve kristal bağlı suyun uzaklaşması sonucu olduğunu belirlemiştir. Böhmit ve alüminaların XRD analizleri standart verilerine göre yabancı maddelere işaret eden artık piklerini gözlemlememiştir. FTIR analizinde ÇDKNT/böhmit tozlarının geldikleri bantları

belirlemiştir. TEM analizinde ise karbon nanotüplerin etrafının böhmit partikülleri ile çevrelendiği; böylelikle fonksiyonelleşmenin gerçekleştiği; gözlemler sonucunda nanotüplerin yapısal hatalara sahip olmadıkları ve böylece uygulanan 84 hidrotermal koşullarda karbon nanotüplerin hasara uğramadıkları sonucuna varmıştır. Elde edilen görüntüler nanotüplerin sentezleme esnasında yapıda bulunan fonksiyonel gruplar ile etkileşime girerek elektriksel olarak yüklendikleri ve böylelikle birbirlerini itip ve böhmit partiküllerini yüzeylerine çeker hale geldiklerini belirlemiştir.

Arslan (2011), çok duvarlı karbon nanotüp ve polilaktik asit kullanılarak üretilen nanotüp/polilaktik asit kompoziterinin mekanik, elektriksel ve termal özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Araştırmada karbon nanotüpü dolgu maddesi olarak kullanmıştır. Kloroform içinde iyi dağılım elde etmek için ÇKDNT yüzeyi maleik anhidrit ile modifiye etmiştir. Nanokompozitlere ait sonuçlar FTIR ve ATR spektroskopisi, DSC, TGA, DMA, AFM, temas açısı ölçümleri ve elektriksel iletkenlik testleri ile karakterize etmiştir. Karakterizasyon işlemleri sonucunda elde edilen verilere göre karbon nanotüp takviyesi ile özelliklerde iyileşme meydana geldiğini belirlemiştir.

Farsheh vd. (2011), çok duvarlı karbon nanotüpleri bir karıştırıcı yardımıyla polivinil klorür (PVC), odun unu ve köpükleştirici bir madde ile birleştirmişlerdir. Odun miktarı %40 olarak almışlardır. Karbon nanotüp (KNT) %0, %1 ve %2, köpükleştirici maddeyi ise %0, %3 ve %6 oranında kullanmışlardır. Numuneleri 180°C de pres yardımıyla elde etmişlerdir. Elde edilen köpüklü kompozitlerin morfoloji, yoğunluk, su alma miktarı, kalınlıkta meydana gelen artış ve çekme özellikleri üzerinde, KNT ve köpüklendirilen madde kullanıldığında meydana getirdikleri değişiklikleri araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre KNT varlığında hücre yoğunluğu artarken hücrenin hacminin azaldığını, kompozit malzemenin yoğunluğunda değişiklik meydana gelmediğini, KNT içermeyen odun plastik kompozit malzemesiyle karşılaştırıldığında ise su alma miktarı ve kalınlıkta meydana gelen artışta azalma meydana geldiği, aynı zamanda çekme direncinde %20 den %23 artış olduğunu belirlemişlerdir.

Küçükyıldırım (2012), farklı oranlarda karbon nanotüp (KNT) takviyesi ile üretilen 6063 alüminyum matrisli kompozit malzemelerin sertlik ve basma yükleri altındaki

özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Araştırmada KNT takviyesinin artışı ile sertlik değeri ve basma dayanımının artmakta olduğunu belirlemiştir. Meydana gelen kimyasal değişimleri belirlemek için kompozit karakterizasyon yöntemlerinden XRD, SEM analizleri yapmıştır. SEM analizinde elde edilen verilere göre KNT'nin homojen olarak malzeme içinde dağılmaması basınç değerlerinin düşük çıkmasına neden olduğunu belirtmiştir. XRD analizinde ise KNT ve KNT-Al ile güçlendirilmiş kompozitlerin desenleri olduğunu gözlemlemiştir.

Sahimi (2012), karbon nanotüpün (KNT) emprenye maddesi olarak kullanıldığı MDF levhasının mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimi belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Çalışmada farklı oranlarda (%2.5-5) KNT kullanılarak MDF levhaları üretmiştir. Ayrıca, levhaları uygun deneysel boyutlara getirerek işlemleri gerçekleştirmiştir. Deneysel sonuçlara göre KNT miktarı arttıkça eğilme direnci, iç bağlanma ve kalınlıkta şişmede artış meydana geldiğini belirlemiştir. Bu artışlar Karbon nanotüp %5 oranında kullanıldığında en yüksek değerlere ulaştığını gözlemlemiştir.

Farsi vd. (2014), çok duvarlı karbon nanotüp ve maleik anhidrit aşılınmış polietilenin yüksek yoğunluklu polietilen/odun unu nanokompozit malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde meydana getirdikleri değişimleri belirlemek için bir araştırma yapmışlardır. Araştırmada meydana gelen kimyasal değişimleri belirlemek için SEM analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yüzeye dik çekme direnci ve elastikiyet modülünde artış meydana gelirken su emilim değerinde azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Kumar vd. (2015), çok duvarlı karbon nanotüplerin (ÇDKNT) katkı maddesi olarak üre formaldehit (UF) tutkalında kullanıldığında, orta yoğunlukta üretilen lif levhanın (MDF) özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. ÇDKNT, UF'e iki farklı oranda (% 0.2 ve 0.52) eklenmiş ve üre formaldehit tutkalı üzerindeki etkileri diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve dinamik mekanik termal (DMA) analizleri kullanılarak kürlenme ve viskoelastik özelliklerde meydana gelen değişiklikler incelemişlerdir. ÇDKNT varlığında UF tutkalının aktivasyon enerjisi düşmüş, depolama modülleri ve termal iletkenliklerinin arttığını belirlemişlerdir. ÇDKNT'nin UF tutkalında

kullanılmasından sonra formaldehit emisyonu azalmış ve mekanik özelliklerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Tüzemen (2015), karbon nanotüp (KNT) ve nanokilin belirli oranlarda karbon/epoksi nanokompozit malzemeye katıldığına mekanik özellikler üzerindeki etkisini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Araştırmada fiber olarak karbon, matris olarak epoksi katkı maddesi olarak da KNT ve nanokil kullanmıştır. Numunelere yakma, eğme, çekme ve cıvatalı çekme testleri uygulamıştır. Sonuç olarak, nanopartikül katkısının mekanik özelliklere genelde katkısı olumlu olduğunu gözlemlemiştir.

Pıçak (2015), karbon nanotüp (KNT) katkılı alumina/epoksi nanokompozit malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Araştırmada gözenekli matris mikroyapısının mekanik özelliklerini ve ısıl direncini artırmak için epoksi reçine matrise ağırlıkça %0.1, %0.3, %0.5, %0.7, %1 oranlarında çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ilavesi yapmıştır. Sonuç olarak, reçine içerisinde KNT miktarı arttıkça nanokompozit malzemelerin gözenek miktarında artış meydana geldiğini belirlemiştir. Viskozite %50 arttığı için ısıl yalıtkanlık %28 oranında artış sağladığı belirlemiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde çekme, eğilme, düşük hızlı darbe ve dinamik analiz deneyleri yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre verilerde genellikle artış olduğunu belirlemiştir.

Kaymakçı (2016), propilen, çam unu ve karbon nanotüp (KNT) kullanılarak elde edilen ahşap polimer nanokompozit malzemenin fiziksel özelliklerinden biri olan su alma davranışını 6 ay süreyle takip ettikleri bir araştırma yapmıştır. Sonuç olarak, KNT katkı maddesinin ahşap polimer nanokompozitin fiziksel özelliğini iyileştirdiğini belirlemiştir.

Kulaç (2016), akrilonitril butadiene kauçuk ve doğal kauçuk-butadien kompozit malzemeler, çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ve karbon siyahı ile güçlendirilerek reolojik ve mekanik özelliklerini belirlemek için araştırma yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kompozit malzemelerin eğilme direnci, aşınma dirençleri ve rijitlik modülü KNT ilavesi ile arttığını belirlemiştir.

Kumar vd. (2017), çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT) ile güçlendirilmiş ürefoformaldehit (UF) reçinesi kullanılarak orta yoğunlukta levha (MDF) üretilmiştir. MDF üretiminde presleme süresi, UF reçine yüzdesi ve ÇDKNT yüzdesi olmak üzere üç farklı değişkeni kullanmışlardır. Bu üç farklı değişken arasındaki ilişkiyi optimize etmek için tepki yüzey metodolojisini kullanmışlardır. Aynı zamanda bu üç farklı değişkenin MDF levhasının iç bağ ve eğilme direnci üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre iç bağ direncinde optimum değerler UF reçinesinde %8.18, presleme süresinde 232 saniye ve %3.5 ÇDKNT olarak elde etmişlerdir. Benzer şekilde aynı değerler eğilme direnci içinde geçerli olduğunu belirlemişlerdir.

Sancak (2017), kauçuk-izosiyanat kompozisyonu silikon oksit nano tozları ve karbon nanotüpler (KNT) ile güçlendirilme yapılarak malzemenin akustik özelliklerinde meydana gelen değişimi belirlemek için araştırma yapmıştır. Araştırmada %5'i geçmeyecek şekilde farklı oranlara sahip 10'dan fazla numunenin birbiriyle kıyaslanacak şekilde akustik ölçümlerini yapmıştır. Sonuç olarak, kauçuk-izosiyanat tabanlı malzemelerin hem ses iletim kaybı özelliğinde hem de ses yutma katsayısında önemli derecede iyileştirme olduğunu belirlemiştir.

Güğü (2018), yüksek yoğunluklu polietilen ile ağırlıkça %0.5, %0.1 ve %1.5 oranlarında karbon nanotüp (KNT), aseton ile karıştırmıştır. Ultrasonic karıştırıcı ve manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra asetonu buharlaştırmıştır. YYPE ve KNT karışımı, çift vidalı ekstruderden geçirilerek tamamen homojen hale getirilmiştir. Granül haldeki bu malzemeye cam elyaf takviyesi yaparak pres makinası altında kompozit plaklar üretmiştir. Elde edilen bu numunelerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Sonuç olarak, cam elyaf ve KNT takviyesinin mukavemet değerlerini artırdığını tespit etmiştir.

Günaydın (2018), cam elyaf takviyeli, epoksi matrisli ve KNT'li (püskürtülmüş ve püskürtülmemiş olmak üzere) kompozit plakalar üretilerek, KNT takviyesinin darbe sonrası basma özelliklerine etkisini belirlemek için bir araştırma yapmıştır. Sonuç olarak, KNT takviyesinin mekanik özellikleri iyileştirdiğini belirlemiştir.

Wang vd. (2018), sıcak presleme işlemi yardımıyla lignoselülozik çapraz bağlanmış kitosan ve çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)'den oluşan kompozit üretmişlerdir. Kitosan ve ÇDKNT'ün lignoselülozik kompozit malzemenin mekanik dayanım, boyutsal kararlılık ve yangın geciktirici özelliklerinde meydana getirdikleri değişimleri incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre üretilen kompozitte 35.3 MPa eğilme direnci, 2789.1 MPa eğilmede elastikiyet modülü ve 1.2 MPa bağlar arası kuvvet elde etmişlerdir. Ayrıca kalınlıkta artış oranı %22.4 elde edilerek boyutsal karlılıkta iyileşme meydana geldiğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte kompozit malzemenin yangın geciktirme (%29) özelliğinde de iyileşme meydana geldiğini, en yüksek ısının serbest oranı %15.9, salınan toplam ısı %10.7, toplam ortaya çıkan duman miktarı %45.5 ve maksimum duman oranında ise %20.7 oranında azalma meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Lukawski vd. (2019), KNT'lerin yonga levhanın fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için araştırma yapmışlardır. Deneyi iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk aşamada yongalar, bir dağıtıcı olarak sulu bir KNT (%0.2 w/w) süspansiyonu ve sodyum dodesilbenzensülfonat (%0.2 w/w) ile emprenye etmişlerdir. Daha sonra sabit ağırlığa gelene kadar kurutulduktan sonra, KNT tarafından modifiye edilen yongaların yangına karşı dayanımını belirlemek için deneyi gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deney sonucunda modifiye edilmiş yongaların bozulma hızında önemli derecede azalma meydana geldiğini aynı zamanda yanma işlemini tamamlama süresinde sırasıyla 18 dakikadan 22.5 dakikaya çıktığını belirlemişlerdir. Deneyin ikinci aşamasında fenol formaldehit tutkalı kullanılarak yonga levha üretilmişlerdir ve birinci aşamada gerçekleştirilen işlemi, yongaları modifiye etmek için kullanmışlardır. Gerçekleştirilen bu işlemlerden sonra üretilen levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Elde edilen araştırma sonuçlarına göre önemli oranda bir iyileşme gözlemlenmediğini belirtmişlerdir.

Kaymakçı vd. (2019), ÇDKNT'nin ahşap/propilen nanokompozitlerde katkı maddesi olarak kullanıldığında malzemenin yüzey pürüzlülüğü, ıslanabilirlik ve sertlik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek için araştırma yapmışlardır. Araştırmada çam ağacı unu, propilen, maleik anhidrit ve ÇDKNT kullanmışlardır. Sonuç olarak, yapılan testlerde yüzey pürüzlülüğünde artış, ıslanabilirlikte azalma ve yüzey sertliğinde artış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

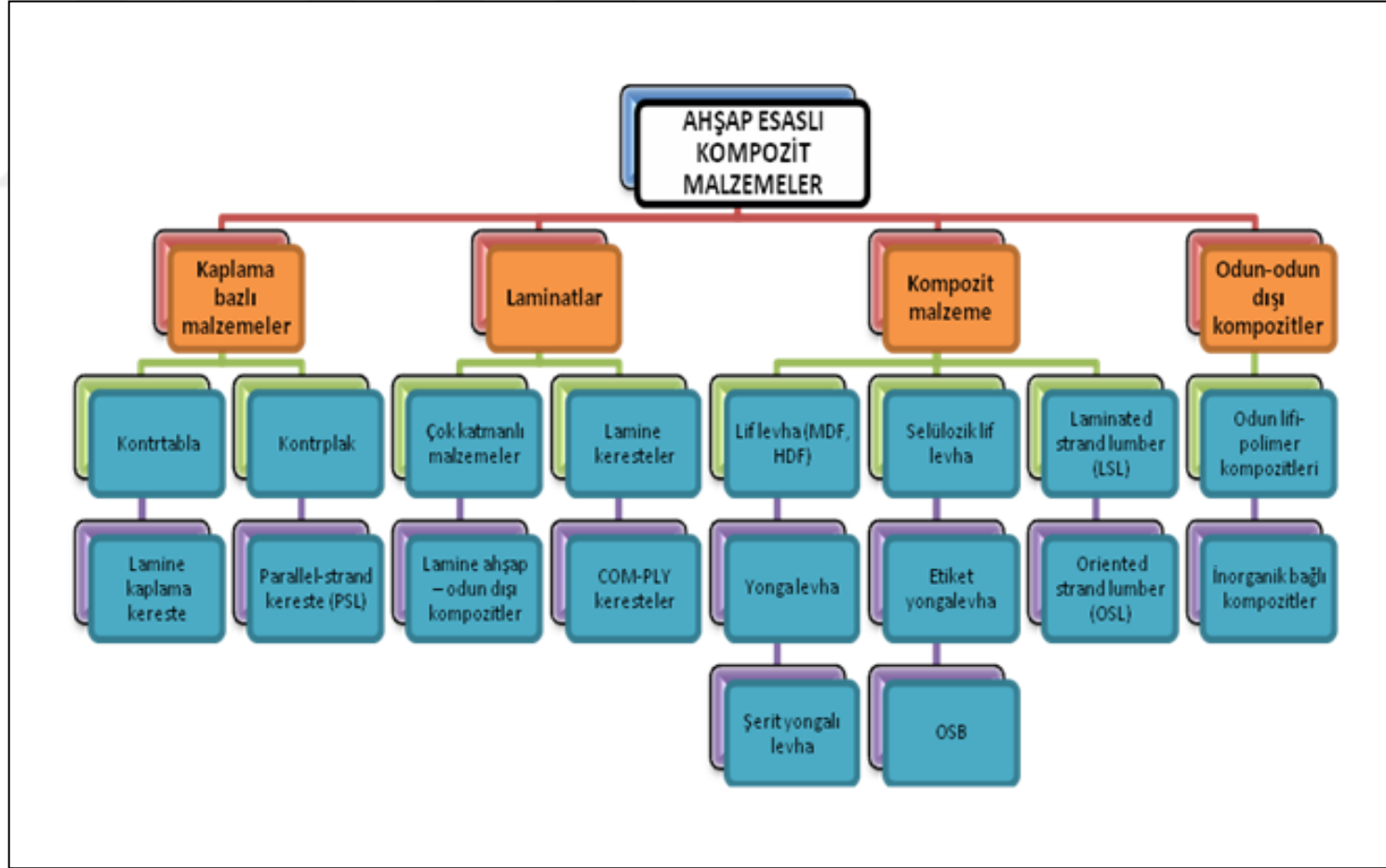
Lee vd. (2019), grafit ve karbon nanotüpün (KNT) poliketon nanokompozit malzemesinde katkı maddesi olarak kullanıldığında mekanik ve alev geciktirici özelliklerdeki etkisini belirlemek için araştırma yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre araştırılan özelliklerde iyileşme meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Gul vd. (2020), çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT'ler) tutkal içerisinde kullanıldığında, üretilen orta yoğunlukta lif levhanın (MDF) fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. ÇDKNT'ler, nano-MDF üretimi için ağırlıkça %0, %1.5, %3 ve %5 konsantrasyonlarında üre formaldehit reçinesinde (UF) kullanmışlardır. Bu nanoparçacıkların katkı olarak kullanılması termal iletkenliği %24.2 artırdığı, sertleşme süresini %20 azalttığı ve formaldehit emisyonunu %59.4 oranında kontrol altına aldığını belirlemişlerdir. Yüzeye dik çekme (I.B), elastikiyet modülü (MOE), eğilme direnci (MOR), kalınlıkta şişme (Ts) ve su emme (WA) özellikleri sırasıyla MDF nin kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında %21.15, %30.2, %28.3, %44.8 ve %29 oranında iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

2.2. Ahşap Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler doğal (ahşap esaslı kompozitler) veya yapay (polimer esaslı kompozitler) kökenli olabilir (Zanuttini ve Negro, 2021). Kompozit malzemeler, kendisini oluşturan bileşenlerin ayrı ayrı kullanımına göre daha üstün özellikler veren iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda kompozit malzemeler, bileşimini oluşturan her bir malzemenin ayrı ayrı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini korumaktadır (Campbell, 2010). Başka bir tanımlamada ise kompozit terimi, yapıştırıcılarla birbirine bağlanmış ahşap malzemelerin tanımlanması için kullanılmaktadır (Cai, 2010).

Günümüzde kullanılan ahşap esaslı kompozit malzemeleri genel olarak kullanılan hammadde tipi ve uygulanan üretim yöntemlerine göre Şekil 2.1'deki gibi sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 2.1. Ahşap esaslı kompozit malzemeler (Ross, 2010)

2.2.1. Yonga levha

2.2.1.1. Yonga levhanın tanımı ve sınıflandırılması

Yonga levha, kereste fabrikalarında büyük miktarlarda ortaya çıkan talaşın değerlendirme ihtiyacının bir sonucudur (Rowell, 2005).

Yong levha tutkal ile kaplanmış ahşap yongalardan (levhanın yaklaşık %85'ini oluşturur) üretilir ve levha malzemesini elde edilmesi rastgele yönlendirilmiş yongaların sıcak pres altında preslenmesi ile sağlanır (Cogswell vd., 2016).

Yonga levha, düşük değerli ahşap hammaddesinden (örneğin talaş) veya diğer lignoselülozik malzemelerden elde edilen, sentetik tutkallarla yapıştırılmış ve yüksek basınç ve sıcaklık altında preslenmiş ağaç parçacıklarından yapılan bir ahşap esaslı kompozit malzemedir (Křišťák ve Réh, 2021).

Yonga levha, başta üreformatdehit (UF), melamin üreformatdehit (MUF), fenol formaldehit (PF) ve izosiyanatlar (pMDI) olmak üzere termoset yapışkan tutkallar kullanılarak sıcak pres altında yapıştırılan rastgele yönlendirilmiş ahşap yongalarından oluşan düz, sıcak preste preslenmiş ahşap kompozit malzemedir (Papadopoulos, 2021).

Yonga levha genel itibarıyla üç farklı katmandan oluşur; yüzey katmanları yüksek yoğunluklu ince talaştan oluşurken, orta katmanı ise daha düşük yoğunluklu iri talaşlardan oluşmaktadır (Rowell, 2005; Papadopoulos, 2021). Yonga levhalar genellikle $650-700 \text{ kg/m}^3$ yoğunluğa sahip olup kalınlıkları ise genellikle 6 ile 40 mm arasında değişim göstermektedir (Cogswell vd., 2016; Papadopoulos, 2021). Özgül ağırlıklarına göre yonga levhalar;

- ✓ $X < 0.59 \text{ g/cm}^3 \rightarrow$ Hafif yoğunluktaki levhalar
- ✓ $0.59 < X < 0.80 \text{ gr/cm}^3 \rightarrow$ Orta yoğunluktaki levhalar
- ✓ $X > 0.80 \text{ g/cm}^3 \rightarrow$ Yüksek yoğunluklu levhalar şeklinde sınıflandırılmaktadır (Sancar, 2019).

Farklı gereksinimleri karşılamak için P1–P7 olarak sınıflandırılan yedi tip yonga levha üretilmektedir (Cogswell vd., 2016). Bu sınıflandırma TS EN 312 (2012)’ye göre;

P1: Kuru koşullarda kullanılan genel kullanım amaçlı levhalar

P2: Kuru koşullarda kullanılan iç donanım uygulamaları için levhalar.

P3: Nemli koşullarda kullanılan yükleri taşıma amaçlı olmayan levhalar.

P4: Kuru koşullarda kullanılan yükleri taşıma amaçlı levhalar.

P5: Nemli koşullarda kullanılan yükleri taşıma amaçlı levhalar.

P6: Kuru koşullarda kullanılan ağır yükleri taşıma amaçlı levhalar.

P7: Nemli koşullarda kullanılan ağır yükleri taşıma amaçlı levhalar şeklinde yapılmaktadır (Cabbar, 2019).

Yonga levha, maliyeti düşük olup mobilya ve iç mekân uygulamalarında döşeme, duvar ve tavanlar, düz paket mobilyalar, dolaplar ve hoparlör kutuları, dikiş makinesi kapakları vb. gibi çalışma yüzeylerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Rowell, 2005; Křišťák ve Réh, 2021).

2.2.1.2. Yonga levha üretiminde kullanılan hammeddeler

2.2.1.2.1. Ağaç malzeme

Yonga levhada kullanılacak hammedde yeterince bulunmalı, maliyeti düşük ve sürdürülebilir özellikte olmalıdır. Yonga levha üretimi için ilkbaşlarda hammadde olarak küçük çaplı ahşaplar kullanılmıştır. Ancak günümüzde hammadde seçimi dahada genişlediği için ormanlardan ve fabrikalardan gelen odun atıkları, inşaatlarda sökülmüş odunlar da kullanılmaktadır (Nishimura, 2015).

Yonga levha üretiminde kullanılacak odunda çürüklük ve fazla kabuğun bulunması istenmemektedir. Odun kusurlarından budak, lif kıvrıklığı ve çatlakların bulunması ise önem arzetmemektedir. Levha üretiminde kullanılacak oduna ait yoğunluk, ekstraktif oranı, asitlik değeri ve rutubet levha üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır. İğne yapraklı ağaçların kullanımı ilkbaşlarda daha fazla iken, daha sonraları geniş yapraklı ağaçların maliyetlerinin düşük olması ve kolay birşekilde temin edilebilmeleri nedeni ile levha üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak iğne yapraklı ağaçlardan elde

edilen yongalar düzgün, ince ve uzun lifleri barındırdıkları için geniş yapraklılara göre direnç değerleri daha yüksek elde edilmiştir. Bünyelerinde bulunan ekstraktif oranından dolayı ise üretilen levhaların su alma, kalınlıkta artış ve kullanılan tutkal miktarını azaltarak maliyetini düşürmüşlerdir (Aras, 2021).

Yonga levha sektöründe odun atıkları önemli oranda kullanılır. Ancak kullanılan odun atıklarında kabuk ve ibre miktarının fazlalığından dolayı yongalama işleminden önce yeterli derecede eleme işleminden geçirilmelidir. Kereste fabrikalarında elde edilen büyük parçalı atıklar odun atıklarına göre daha yongalama işlemine uygundur. Küçük atıklar ve talaşlarda ise enerji tasarrufu ve rutubet oranının az olmasından dolayı kurutmada enerji ihtiyacını azaltmaktadır. Geri dönüştürülmüş odun atıkları levhada kullanıldığı zaman ise taş, plastik, kumaş vb. farklı hammaddelerinin karışmasından dolayı temizleme işlemi yapılması gerekir. Yonga levha yüzeyinde ince yongalar kullanıldığında daha düzgün ve yoğun bir yüzey amaçlanır. Orta tabakada ise kullanılan iri yongaların miktarı arttıkça yüzeye dik çekme direncinde azalma meydana gelirken, levhanın fiziksel özelliklerindeki olumsuz yönde etkilemektedir (Rowell, 2005; Aras, 2021).

2.2.1.2.2. Yıllık bitkiler

Fosil yakıtlarının atmosfere olan olumsuz etkileri ve küresel çapta meydana gelen atık sorunlarından dolayı yenilenebilir kaynaklara yönelim gittikçe artmaktadır (Santos vd., 2014). Gelişmekte olan ülkelerde ise aşırı hasattan dolayı ormansızlaşma beraberinde odun kıtlığı ve birçok çevre sorununu ortaya çıkarmıştır (Azizi vd., 2011). Bu yüzden dünya çapında tarımsal atıklar ahşap esaslı kompozit malzemelerde kullanılmak üzere araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucu pirinç samanı, hindistan cevizi lifleri, şeker kamışı, buğday samanı, fındık kabuğu, domates sapları vb birçok tarımsal atık değerlendirilmeye başlanmıştır (Nishimura, 2015; Mahieu vd., 2021; Pedzik vd., 2021; Pedzik vd., 2022; Lee vd., 2022; Banaszak vd., 2023).

2.2.1.2.3. Ahşap esaslı kompozit malzemelerde kullanılan tutkallar

2.2.1.2.3.1. Üreformaldehit

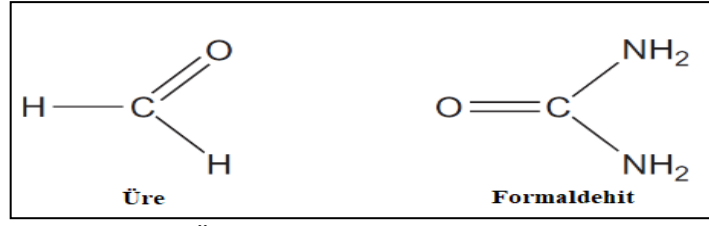
Üreformaldehit (UF) tutkalı 1930’larda geliştirilmiştir (Ormondroyd, 2015). UF tutkalları, düşük maliyet, düşük kurlenme sıcaklığı, iyi mekanik özellik göstermesi ve kısa presleme süresi gibi birçok olumlu özelliği sunan bir tutkal türü olup ahşap esaslı kompozitlerin imalatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yang vd., 2023). Bununla birlikte, UF tutkalı ahşap esaslı kompozitlerde kullanıldığında serbest formaldehit emisyonundan dolayı, insan sağlığı için hala risk teşkil etmeye devam etmektedir (Wang vd., 2023). UF tutkallarının avantajları aşağıda verilen şekilde sıralanabilir;

- ✓ Tutkalın sertliği,
- ✓ Tutkalın düşük yanıcılık özelliğinin olması,
- ✓ Tutkalın iyi termal özellikler göstermesi,
- ✓ Sertleşen polimerde renksiz olması,
- ✓ Tutkalın çeşitli sertleştirme koşullarına uyarlanabilirliği (Song vd., 2021).

UF tutkallarının başlangıçta suda çözünebilir özellikte olması, UF tutkallarının toplu ve ucuz bir şekilde üretilmesine olanak sağlamıştır. Bununla birlikte, UF tutkalının en büyük dezavantajı; nem ve/veya asit varlığında hidrolitik bozunmaya maruz kalmasıdır. Bu bozunmanın temel sebebi amino plastiğin ve metilen köprülerinin hidrolizinden kaynaklanmaktadır (Ormondroyd, 2015; Cogswell vd., 2016).

UF tutkalının üretimi karmaşık bir yapıya sahip olup, 135–200 °C sıcaklıkta ve 70–230 atmosfer basınçta karbondioksit ve amonyağın bir araya gelmesi sonucu üretilmektedir. Formaldehit, karbondioksitin hidrojen ile reaksiyon sonucu üretilebilir veya petrolden türetilen metanolün oksidasyonu ile de üretilir (Ormondroyd, 2015).

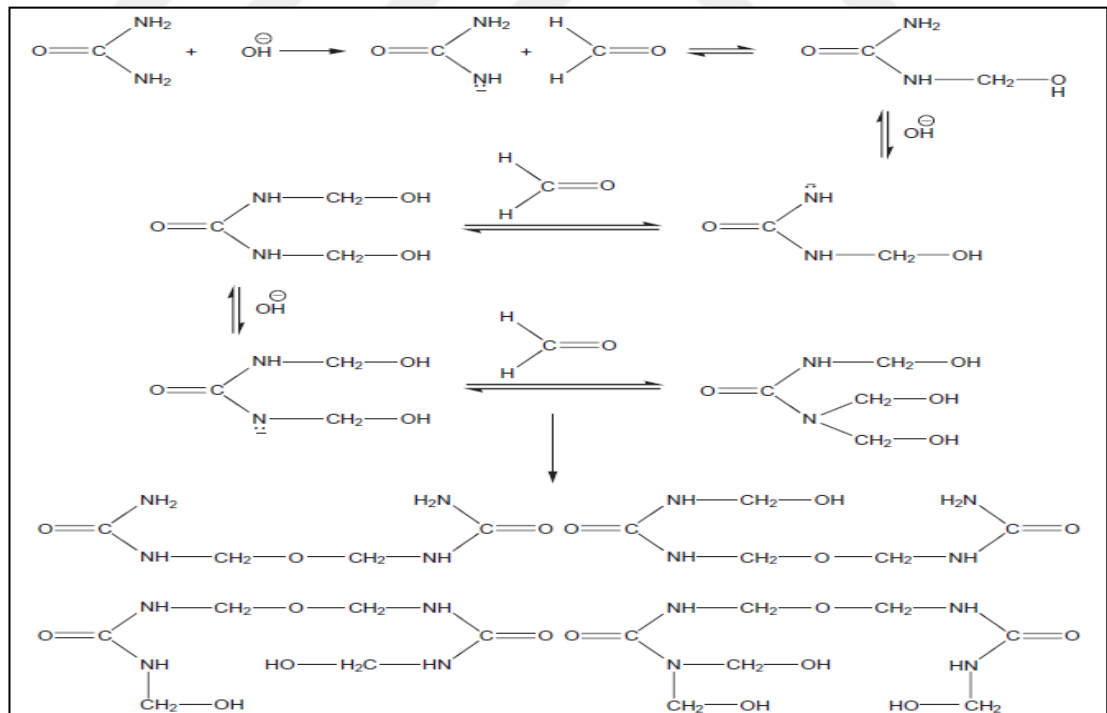
Üre ve formaldehit bir araya gelmesi, hem dallanmış hem de doğrusal polimerlerin yanı sıra kurlenmiş tutkalda bulunabilen üç boyutlu matrisi vermektedir. Üre dört işlevselliğe sahip iken, (dört değiştirilebilir hidrojen atomunun varlığından dolayı) formaldehit iki işlevselliğe sahiptir (Ormondroyd, 2015). Üre ve formaldehite ait yapılar Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Üre ve Formaldehit (Cogswell, 2016)

Reaksiyonda elde edilecek ürünlerinin özelliklerini etkileyen en önemli faktörler: molarite değeri, tepkimeye giren maddeler, reaksiyona ait sıcaklık ve kondensasyonun pH değeri önemli derecede etkiler ve elde edilecek tutkalın moleküler ağırlığını artırır. Bu nedenle reaksiyondaki ürünler, reaksiyon ölçütlerindeki değişikliklerle büyük oranda değişir. Çözünürlük, viskozite, su tutma özelliği ve nihai sertleşme hızı moleküler ağırlığına göre değişir (Ormondroyd, 2015).

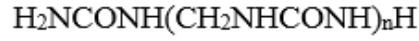
Üre ve formaldehitin reaksiyonu iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada, alkali kondenzasyonu yardımı ile mono-, di- ve trimetilolüreler oluşmaktadır (Şekil 2.3) (Ormondroyd, 2015).



Şekil 2.3. Üre ve formaldehitin alkali kondenzasyonu (Cogswell, 2016)

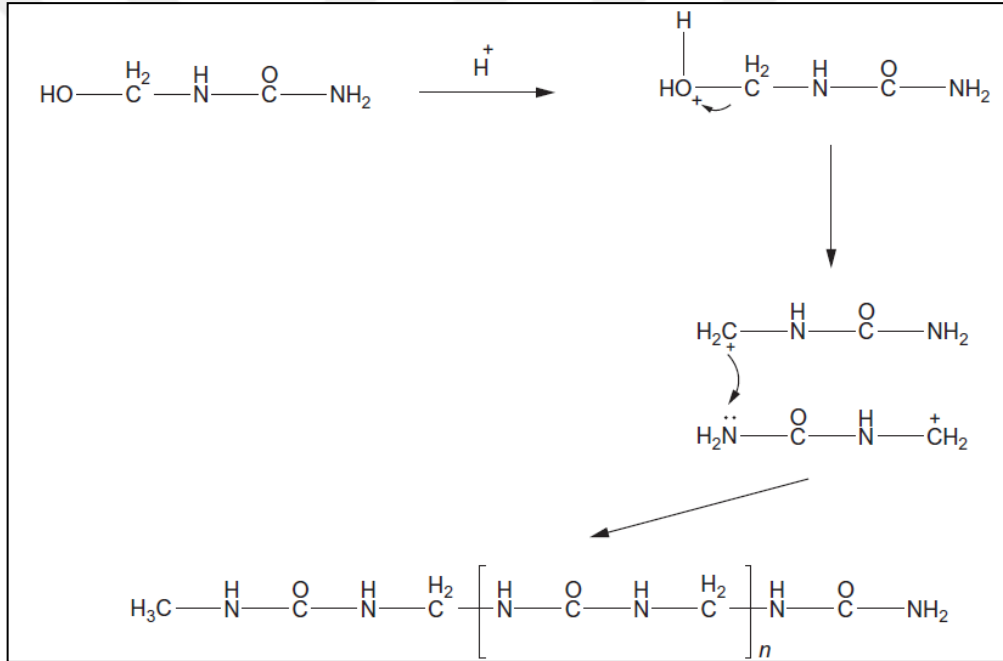
İkinci aşamada ise, önce çözünebilir ve sonra çözünmez çapraz bağlı tutkallar oluşturmak için metilolürelerin asitle kondenzasyon işlemi gerçekleştirilir. Asit

kondenzasyonu gerçekleştiğinde, sulu bir üre ve formaldehit çözeltisinden veya metilolürelerden çökelen ürünlerden, düşük moleküler ağırlıklı metilen üreler meydana gelir (Şekil 2.4) (Ormondroyd, 2015).



Şekil 2.4. Düşük molekül ağırlıklı metilüreler (Cogswell, 2016)

Bunlar, bazı durumlarda sertleştirme işlemine devam etmenin mümkün olduğu metilol uç grupları içerir. Monometilolüreler, asit katalizi ile kopolimerleşme meydana getirir ve polimerler ardından yüksek oranda dallanmış ve iyileştirilmiş bağları üretir (Şekil 2.5) (Ormondroyd, 2015).



Şekil 2.5. Monometilolürelerin kopolimerizasyonu (Cogswell, 2016)

Reaksiyon hızı, sistemin pH'ına göre değişir. Minimum reaksiyon hızı 1:1 üre/formaldehit oranı için 5-8 pH ve 1:2 mol oranı için ± 6.5 pH değeri ile elde edilir. Hem ürenin monometilenüre ile yoğunlaştırılması hem de metilenbisurea moleküllerinin oluşum hızı pH'a bağlıdır. Reaksiyon hızının pH değeri 2-3 ten nötr durumuna düşer (Ormondroyd, 2015).

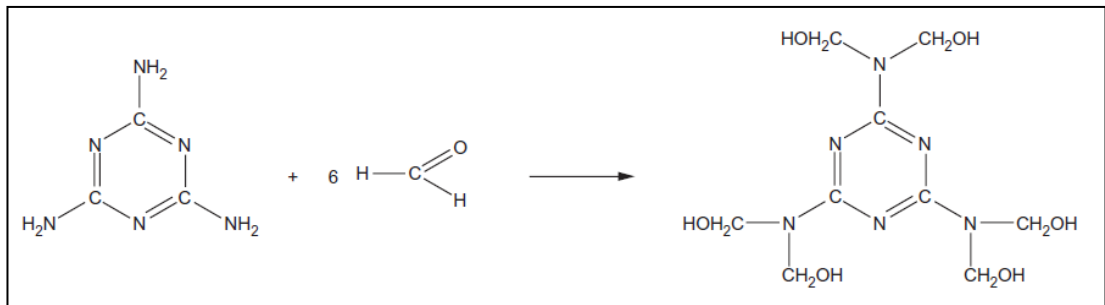
Üreformaldehit tutkalına oda sıcaklığında asit katalizörler (formik asit, sitrik asit vb.) ilave edilerek sertleşme sağlanabilir. Fakat üretilecek levhada tutkalın reaksiyon hızı

ve kalitesini istenilen seviyelerde tutmak için sıcaklık ve sertleştiricilerden yararlanır. Tutkal sertleşmeye başlayınca, ilkönce viskozite değeri artar ve daha sonra tamamen çapraz bağlanma oluşuncaya kadar jelleşme son olarak sertleşme işlemi gerçekleşir (Aras, 2021).

2.2.1.2.3.2. Melamin üreformaldehit

Melamin formaldehit (MF) tutkalları, dış cephede kullanılan panel ürünleri ve mutfak mobilyaları gibi ürünün suyla temas edebileceği uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, üreformaldehit (UF) tutkalına göre melamin üreformaldehit tutkallarının suya karşı yüksek direncidir. Bununla birlikte, melamin formaldehit pahalı olduğu için (üreformaldehit fiyatının yaklaşık 2.5 katı) tutkala değişen miktarlarda üre eklenir, böylece maliyet ve performans arasında bir denge sağlanır (Pizzi, 2003; Cogswell, 2016).

MF tutkalının oluşumundaki ilk reaksiyon, formaldehit ile melaminin kondenzasyonudur. Formaldehit önce melamin amino gruplarına saldırarak metilol bileşikleri oluşturur. Bu reaksiyon formaldehitin üre ile ilk reaksiyonuna benzer, ancak formaldehit ve melamin arasındaki reaksiyon, üre ile reaksiyona göre daha serbest ve tam olarak gerçekleşir. Yoğunlaşma, bağlı iki ila altı metilol grubuna sahip bir dizi metilol bileşiğine yol açacaktır (Şekil 2.6) (Cogswell, 2016).

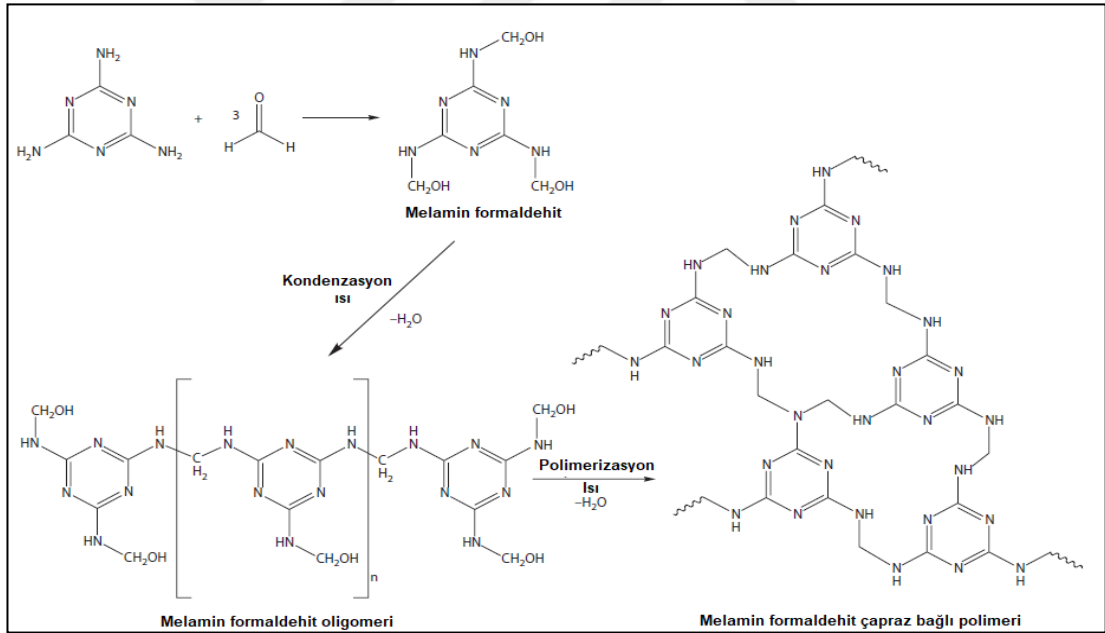


Şekil 2.6. Melamin tutkalı üretimi (Cogswell, 2016)

Melaminin sudaki çözünürlüğünün azalması nedeniyle üre ile karşılaştırıldığında, reaksiyonun hidrofilik aşaması MF oluşumunda UF oluşumuna göre daha hızlı ilerler, bu nedenle hidrofobik araçlar reaksiyonun ilk başlarında ortaya çıkar. MF tutkalının yoğunlaşması (ve kirlenmesi) ile UF tutkalının yoğunlaşması arasındaki önemli bir fark,

reçinenin yalnızca asit koşullarında değil, aynı zamanda nötr ve alkali koşullarda da yoğunlaşmasıdır (Cogswell, 2016).

Üreformatdehitte olduğu gibi reaksiyon mekanizması devam eder, metilen ve eter köprüleri oluşur ve reçinenin moleküler ağırlığı hızla artar. Reaksiyonun bu aşamasında oluşan ara ürünler, ticari olarak temin edilebilen tutkalların büyük bir kısmını oluşturur. Nihai sertleştirme işlemi, reaksiyon için hala mevcut olan amino ve metilol gruplarının reaksiyonu yoluyla ara ürünleri arzu edilen çözünmez, eriyemez reçinelere dönüştürür. Bunun nedeni, MF reçinesinin 100°C'ye kadar olan sıcaklıklarda kürlendiğinde önemli miktarda formaldehit açığa çıkmamasına karşın üreformatdehitin önemli miktarlarda serbest kalmasıdır (Cogswell, 2016). Ticari amaçla kullanılan melamin formaldehit, standart karıştırmalı reaktörler yardımıyla ısı polimerizasyonu sonucu üretilen bir oligomer karışımıdır (Aras, 2021). Melamin ve formaldehite ait kondenzasyon reaksiyonu Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Melamin ve formaldehite ait kondenzasyon reaksiyonu (Frihart, 2005)

2.3. Nanoteknoloji

2.3.1. Nanoteknolojinin tanımı ve kullanım alanları

Nano ölçek, nanoteknolojiyi, temelde yeni özelliklere ve fonksiyonlara sahip malzemeleri, cihazları ve sistemleri anlamak ve tasarlamak için, atomik ve moleküler seviyelerde, yaklaşık 1-100 nm uzunluk ölçeğine sahip aralıkta çalışmak olarak tanımlanmaktadır (Mansoori ve Soelaiman, 2005; Bowman ve Hodge, 2006; Stevens vd., 2009; Cacciato vd., 2011; Jasmani vd., 2020).

Yunancada nano kelimesi cüce anlamında kullanılmakta olup fiziksel büyüklüğün milyarda birine (10^{-9} m) tekabül etmektedir. Nanoteknoloji, metrenin milyarda biri ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) boyutlarına sahip maddenin çeşitli yapılarıyla ilgilenir (Poole ve Owens, 2003; Saeed, 2013; Hulla vd., 2015). Nano düzeyde yani atomik seviyede gerçekleştirilen iyileştirmeler özel bilimsel amaçlar için üretilmiş araçların yardımıyla yapılmaktadır. Bu nanoteknolojik alanda meydana gelen gelişmelerin popüler haline gelmesi ise son yıllarda gerçekleşmiştir (Saeed, 2013).

İlk defa “Nanoteknoloji” kelimesi 1974 yılında Japon bilim adamı Norio Taniguchi tarafından kullanılmaya başlanmıştır (Saeed, 2013). Taniguchi’ye göre nanoteknoloji temel olarak malzemelerin bir atom veya bir molekül tarafından ayrıştırılması, birleştirilmesi ve deformasyonu gibi işlem basamaklarından oluştuğunu belirtmiştir. Nanoteknoloji, malzemelerin yapıları ve özellikleri hakkında birçok gerçeği ortaya çıkaran geniş bir alanı kapsamaktadır (Saeed, 2013). Nanoteknolojinin en çok kullanıldığı alanlar ise;

- | | |
|--|--|
| ✓ Bilgisayar endüstrisi | ✓ Ulaşım ve otomobil endüstrisi |
| ✓ Biyoişlem endüstrileri | ✓ Sağlık ve medikal endüstrisi |
| ✓ Tarımsal sanayi | ✓ Endüstriler ve çevre |
| ✓ Gıda endüstrisi | ✓ Petrol ve gaz endüstrisi |
| ✓ Ambalaj endüstrileri | ✓ Yenilenebilir enerji (güneş) sektörü |
| ✓ İnşaat sanayi ve inşaat mühendisliği | ✓ Kimya endüstrileridir |
| ✓ Tekstil endüstrisi | |

2.3.2. Nanoteknoloji ve ahşap endüstrisi

Ahşap endüstrisi, orman alanlarının fazla olduğu ve ağır endüstriyel kurulumların çoğunun ahşap esaslı ürünlerin üretimine ve satışına dayandığı çeşitli ülkelerde (Malezya vb.) ana ekonomik itici güçlerden biridir (Jasmine vd., 2020). Bununla birlikte, ormansızlaşmaya karşı artan çevresel endişeler, araştırmacıların ahşap ürünlerin sürdürülebilir kullanımına yönelik farklı yöntemleri düşünmeleri için önemli bir nedendir. Bu sebeple nanoteknoloji, kâğıt ve kâğıt hamuru endüstrisinde biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin üretimi, kereste ve mobilya endüstrisi, ahşap koruyucular, ahşap kompozitler ve lignoselülozik bazlı malzemelerdeki uygulamalar gibi çeşitli uygulamalarda ahşap endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Sonuç olarak, geliştirilmiş performans (daha güçlü ancak daha hafif ürünler), artan ekonomik potansiyele ve azaltılmış çevresel etkiye sahip yeni ürünler pazara sunulmaya devam edecektir (Malik vd., 2023).

Ahşap endüstrisinde nano-bazlı uygulamanın bir yöntemi, artık nanoselüloz malzeme olarak adlandırılan ve genel olarak sürdürülebilir özellikleriyle bilinen, doğrudan ormandan elde edilen nanomalzemelerin türetilmesidir (Taghiyari vd., 2020; Malik vd., 2023). Bu faktör, ahşap endüstrisini selülozik malzemeyi daha büyük bir yüzey alanı ile birlikte artan mukavemet, düşük ağırlık ve artan elektromanyetik tepki ile nanoselüloza dönüştürmeye itmiştir (Norizan vd., 2022; Malik vd., 2023). Bu özellikler daha sonra substrat, stabilizatör, elektronik, piller, sensör teknolojileri, gıda, ilaç ve kozmetik endüstrileri dahil olmak üzere ahşap bazlı endüstrilerin farklı alt kategorilerinde takviye edici maddeler olarak kullanılmaktadır (Norizan vd., 2022; Omietimi vd., 2023). Ayrıca, ahşap bazlı biyolojik olarak parçalanabilir ürünlerin dayanıklılığı, UV emilimi, yangın direnci ve azaltılmış su emilimi gibi fonksiyonel özellikleri de nanoçinko oksit veya nanotitanyum oksit gibi nanomalzemelerin uygulanmasıyla iyileştirilmektedir (Omietimi vd., 2023; Malik vd., 2023). Benzer şekilde, uygulanan kimyasalların artan penetrasyonu ve azaltılmış yıkanma etkisi ile ahşabın emprenye edilmesini iyileştirmek için nano kapsüllü koruyucuların uygulanması yoluyla ahşabın biyolojik olarak parçalanabilir özellikleri azaltılabilir (Jasmine vd., 2020; Malik vd., 2023).

Selülozik nanomalzemeler, inşaat, mobilya, gıda, ilaç ve diğer ahşap bazlı endüstrilerde uygulama için çok işlevli hale getirilebilen nanofibriler yapılar ortaya çıkarmaktadır. Üretilen ahşap ürünlerin potansiyel avantajlarını artırmak için nanolifler, nano dolgu maddeleri, nanoemülsiyonlar, nanokompozitler ve nano ölçekli kimyasal malzemelerin kullanıldığı farklı endüstrilerde umut verici sonuçların öngörüldüğü araştırmalar ortaya çıkmaktadır. Nanoselülozik malzemelerin olağanüstü özellikleri, potansiyel yenilenebilir özellikleri, kendi kendini bir araya getirme özellikleri ve iyi tanımlanmış mimarileri şeklinde ahşap endüstrisindeki çevresel kaygıları büyük ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte, maliyet/fayda analizleri, uygun ticarileştirme eksikliği nedeniyle halk tarafından uyumluluk ve kabul edilebilirlik eksikliği ve bazı yerlerde kalıcı bilgi eksikliği gibi bu tür endüstrilerle ilgili birkaç dezavantaj mevcuttur. Bu nedenle, dünya çapındaki pazarlarda nano bazlı ahşap ürünlerin uygulamalarını ve kabul edilebilirliğini artırmak için daha fazla çaba gerekmektedir (Malik vd., 2023).

2.3.3. Karbon nanotüp

1991 yılında Japon bilim adamı Iijima tarafından keşfedilen uzun, ince ve içi boş silindirik şeklindeki karbon nanotüpler (KNT'ler), akademik araştırmalarda ve çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (He vd., 2013; Nasrollahzadeh vd., 2019; Thakur vd., 2023). Bu nanomalzemeler, uzunluk-çap oranı 1 000 000'den fazla olan karbonun allotropları olup, grafitten yapılmıştır (He vd., 2013; Pandey ve Dahiya, 2016). Bunlar, boyutları, şekilleri ve dikkat çekici fiziksel özellikleri bakımından benzersiz olan büyük makro moleküllerdir. Bir silindire sarılmış bir grafit levha (karbonun altıgen bir kafesi) olarak düşünülebilir. Bu ilginç yapılar son yıllarda çok fazla ilgi çektiği için onların yapıları üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Halen, fiziksel özelliklerini keşfedilmeye yönelik çalışmalar yapılmakta ve bilim adamları arasında tartışılmaktadır. Nanotüpler, farklı nanotüp türlerine bağlı olarak değişen (çapı, uzunluğu ve kirallığı veya bükümüyle tanımlanan) çok geniş bir elektronik, termal ve yapısal özellik yelpazesine sahiptir (Scoville vd., 1991).

Bu özelliklerinden dolayı fizikçilerden, kimyagerlerden, malzeme bilimcilerinden ve elektronik cihaz mühendislerinden büyük ilgi görmüştür (Suzuki, 2013; He vd., 2013; Camilli, 2018). Ayrıca karbon nanotüpler ile ilgili çalışmalar yoğunlaştıkça farklı

(elektronik, optik, plastik, kompozit malzemeler ve diğer nanoteknoloji alanlarında) alanlarda katkı maddesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Scoville vd., 1991; Thostenson vd., 2001; He vd., 2013; Saeed, 2013).

2.3.3.1. Mekanik özellikler

KNT'lerin kimyasal bağları (kovalent) tamamen sp^2 C-C (uzaklık yaklaşık 0.14 nm) bağlarından oluşmaktadır. Elmasta bulunan sp^3 C-C (uzaklık yaklaşık 0.15 nm) bağlarına nazaran daha güçlü olan bu bağ yapısı KNT'lere son derece yüksek mekanik özellikler kazandırmaktadır (Ma vd., 2010). KNT'lerin küçük boyutları ve kütlelerinden dolayı, mekanik özellikleri mevcut herhangi bir malzeme özelliği ile karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin daha iyi olduğu yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. KNT'lerin mekanik özellikleri konusunda ortak bir fikir birliği olmamasına rağmen, yapılan teorik ve deneysel verilere göre, elastikiyet modülü 1.2 TPa kadar bir değer elde edilirken, çekme dayanımında ise 50–200 GPa'lık bir değer elde edilmiştir. Bu sonuçlar bize KNT'lerin (Suzuki, 2013) olağandışı mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir (Çizelge 2.1). Bu değerler KNT'leri dünyadaki en güçlü ve en sert malzemeler yapmaktadır. Aynı zamanda karbon nanotüplerin fiziksel özelliklerinde de (elektriksel ve termal iletkenlikleri açısından) bu kapsamda önemli değerler elde edilmiştir (Saeed, 2013; Suzuki, 2013; He vd., 2013; Varshney, 2014; Camilli, 2018).

Çizelge 2.1. Karbon nanotüplerin mekanik özelliklerinin farklı malzemelerle karşılaştırılması (Eklund vd., 2007; Varshney, 2014)

Malzemeler	Elastikiyet Modülü (GPa)	Çekme Direnci (GPa)	Yoğunluk (g/cm ³)
Tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT)	1054	150	0.7-1.7
Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)	1200	150	2.6
Çelik	208	0.4	7.8
Epoksi	3.5	0.005	1.25
Kevlar	60	3.6	1.44
Cam lifi	22	3.4	2.6

2.3.3.2. Termal özellikler

Rulo şeklindeki grafitli yapılar olarak bilinen KNT'ler sadece sahip oldukları mekanik özellikleri için değil aynı zamanda termal özellikleri için de büyük önem ve uygulama alanına sahiptir (Ruoff ve Lorents, 1995; Saeed, 2013). Karbon nanotüplerde bulunan atomlar arasındaki bağların güçlü olması, yüksek sıcaklıklara dayanmalarını sağlar. Bu nedenle, karbon nanotüplerin çok iyi termal iletkenler olduğu belirlenmiştir. Karbon nanotüpler ısının iletilmesinde yaygın olarak kullanılan bakır tellerle karşılaştırıldığında, 15 kattan daha fazla bir miktarda iletir. Karbon nanotüplerin termal iletkenliği, tüplerin sıcaklığına ve dış ortama bağlıdır (Scoville vd., 1991).

Karbon nanotüp sistemlerinin özgül ısı ve ısı iletkenliği temel olarak fononlar tarafından belirlenir (Khare ve Bose, 2005). Fonon-aktif modların sayısı, fononların hareket edebileceği serbest yolun uzunluğu ve yüzey saçılması için gerekli sınır değerleri gibi termal özellikleri etkileyen birkaç faktör vardır (Maultzsch vd., 2002; Yu vd., 2005; Saeed, 2013). Bu özellikler ayrıca atomların düzenlenme biçimine, tüplerin çapına ve uzunluğuna, yapıda var olan mevcut yapısal kusurların sayısına ve morfolojisine ayrıca KNT'lerdeki safsızlık varlığına da bağlıdır (Maeda ve Horie, 1999; Popov, 2004; Saeed, 2013).

Karbon nanotüplerin oda sıcaklığında $6\ 000\ \text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ değerine kadar iletkenlik özelliği gösterdiği tahmin edilmektedir. Ancak iyi termal iletkenliğe sahip olduğu bilinen bakırın iletkenlik değeri ise $385\ \text{W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ dır. Karbon nanotüplerin sıcaklık stabilitesinin vakum ortamında $2800\ ^\circ\text{C}$ ve havada ise yaklaşık $750\ ^\circ\text{C}$ kadar olduğu tahmin edilmektedir. KNT'lerin termal genleşmesi, büyük ölçüde anizotropik olan geleneksel grafit liflerinden farklı olup, büyük ölçüde izotropik olacaktır. Bu karbon-karbon kompozitleri için avantaj olabilir. Yapısında düşük oranlarda kusurlar bulunan KNT'lerin çok düşük termal genleşme katsayılarına sahip olması beklenir (Varshney, 2014; Pitroda vd., 2016).

2.3.3.3. Kimyasal özellikler

Bir KNT'nin kimyasal reaktifliğinde, KNT yüzeyinin eğri olmasından dolayı bir grafen levhayla karşılaştırıldığında artış meydana gelmiştir. Bu eğrilik π ve σ

(σ) orbitalin karışmasına neden olur. Bu eğrilik sonucunda orbitaller arasında hibritleşme meydana gelir. Bir karbon nanotüp çeşidi olan TDKNT'nin çapı küçüldükçe hibritleşme derecesi artar. Bu nedenle, karbon nanotübün reaktifliği, artan eğriliğin neden olduğu π -orbital uyumsuzluğu ile doğrudan ilişkilidir. Meydana gelen bu uyumsuzluğu en aza indirmek için karbon nanotübün yan duvarı ile uç kapakları arasında bir ayırım yapılmalıdır. Aynı nedenden ötürü, daha küçük bir nanotüp çapı, reaktifliğin artmasına neden olur. Karbon nanotübün yan duvarları veya uç kapakları kovalent kimyasal modifikasyonu gerçekleştirilmesinin mümkün olduğu belirlenmiştir. Örneğin, KNT'lerin farklı çözücülerde çözünürlüğü bu şekilde kontrol edilebilir. Fakat karbon nanotübün yan duvarlarında bulunan moleküler türlerin tamamen sp^2 bağlı karbon atomlarına kovalent olarak bağlanmasının zor olduğunu belirlenmiştir. Bu nedenle, nanotüpler genellikle kimyasal olarak inert kabul edilebilir (Varshney, 2014; Pitroda vd., 2016). Grafen katmanlarının sayısına göre, karbon nanotüpler, tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT'ler) ve çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT) olmak üzere iki farklı kategoriye ayrılmaktadır (He vd., 2013).

2.3.3.3.1. Tek duvarlı karbon nanotüpler

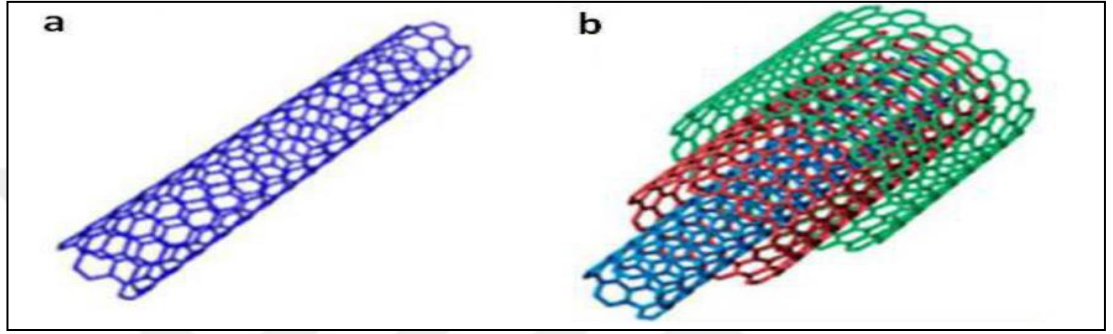
Tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT) Şekil 2.8a'da, bir petek kafes içinde bir atomik karbon atomu tabakasından yapılmış, son derece büyük en boy oranlarına sahip içi boş, uzun silindirlerdir. Olağanüstü termal, mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olduklarından dolayı uygulamalar ve temel araştırmalar için en umut vadeden nanomalzemelerden biri olarak kabul edilirler (Ansari vd., 2021).

TDKNT'lerin çapları 0.4 ila 3 nm aralığında değişen bir değere sahipken, uzunlukları 20 ila 1000 nm arasında değerler almaktadır. TDKNT'lerin yapısı sandalye, zikzak, kiral formunda veya sarmal şeklinde düzenlenmiş olabilir. Bu formlar tek duvarlı karbon nanotüplerin özelliklerinin şekillenmesinde büyük rol oynamaktadır (Mehra vd., 2008; Pandey ve Dahiya, 2016).

2.3.3.3.2. Çok duvarlı karbon nanotüpler

Çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT) Şekil 2.8b'de, sp^2 hibritleşmesi yapmış karbondan oluşan uzun silindirik nanonesnelerdir. Çapları 3–30 nm, uzunlukları ise

1 ila 50 μm arasında olup birkaç cm uzayabilirler, bu nedenle en boy oranları 10 ile 10 milyon arasında değişebilir. Bir ÇDKNT'nin duvar kalınlığı eksen boyunca oldukça sabittir ve bu nedenle iç kanal düzdür. Mükemmel ÇDKNT'lerin uçları yarı fulleren kürelerle kapatıldığı için bu kanala dışarıdan doğrudan erişilemez; bununla birlikte, örneğin oksidasyon, öğütme veya iyon ışını işlemi kullanılarak nanotüp açılarak erişilebilir (Mehra vd., 2008; Pandey ve Dahiya, 2016). Bu iki farklı kategoriye ayrılmış karbon nanotüplerin özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüplerin gösterimi (Pitroda vd., 2016)

Çizelge 2.2. TDKNT ve ÇDKNT'lerine ait özelliklerin karşılaştırılması (Eatemadi vd., 2014; Sarangdevot ve Sonigara, 2015; Pitroda vd., 2016)

TDKNT	ÇDKNT
Tek grafen katmanından oluşmaktadır.	Birden fazla grafen katmanının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır.
Sentezi için katalizör gereklidir.	Katalizör olmadan üretilebilir.
Toplu sentez zordur	Toplu sentez kolaydır
Kullanımı sırasında daha fazla kusur meydana gelir	Kullanımı sırasında daha az kusur gelmesine rağmen, ancak ortaya çıkan bu kusurların iyileştirilmesi zordur
Saflık derecesi düşüktür	Saflık derecesi yüksektir
Kullanılan malzemede daha az birikmeye (topaklaşma) neden olur	Kullanılan malzemede daha çok birikmeye (topaklaşma) neden olur
Karakterizasyon ve ölçüm işlemleri daha kolay yapılabilmektedir.	Karakterizasyon ve ölçüm işlemleri daha zor yapılabilmektedir.
Bükülmeleri kolay bir şekilde yapılabilmektedir.	Bükülmeleri zor bir şekilde yapılabilmektedir.

Günümüzde karbon nanotüpler artık birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanları belirlenirken avantaj ve dezavantajları dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda

aşağıda karbon nanotüplerin bazı avantaj ve dezavantajları maddeler halinde verilmiştir.

Karbon nanotüplerin avantajları

- ✓ Son derece küçük ve hafif olup metalik tellerin yerine başarılı bir şekilde kullanılabilir.
- ✓ Karbon nanotüpleri üretmek için gereken kaynaklar bol ve çok az miktarda materyal kullanılarak yapılabilir.
- ✓ Sıcaklık değişimlerine karşı direnç değerleri yüksek olup, aşırı soğukta olduğu gibi aşırı sıcakta da kendisine yüklenilen görevleri yerine getirebilir.
- ✓ Kompozit malzemelerin iletken mekanik özelliklerini iyileştirebilir (Pitroda vd., 2016).

Karbon nanotüplerin dezavantajları

- ✓ Yapılan yoğun araştırmalara rağmen araştırmacılar KNT'lerin nasıl çalıştığı hakkında hala daha net bir bilgiye varmış değillerdir.
- ✓ Karbon nanotüpler son derece küçük bir yapıda olduklarından dolayı bunlarla çalışmak oldukça zordur.
- ✓ Karbon nanotüpleri üretmek şu an oldukça pahalıdır.
- ✓ Bu yeni teknolojiyi eski teknolojinin kullanıldığı yerlerde hayata geçirmek maliyet açısından oldukça yüksektir (Holister vd., 2003; Pitroda vd., 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez çalışması kapsamında yonga levha üretiminde matris malzemesi olarak üreformataldehit (UF) ve melamin üreformataldehit (MUF) faz malzemesi olarakta yonga, bor (Çinkoborat “ÇB”, Boraks dekahidrat “BD”, Etidot “ED”, Eticol “EC”) ve karbon nanotüp (ÇDKNT) kullanılmıştır. Üretilen levhalar farklı deneysel işlemlere tabi tutulmuştur.

Yonga levhaların üretimi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Mühendisliği laboratuvarında, üretilen levhalara ait deneyler ise Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarı, SDÜ Yetem, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama laboratuvarı, ORMA A.Ş (Isparta), Kastamonu Entegre (Adana) ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Ağaç malzeme

Çalışmada yonga levhaların üretiminde kullanılan yongalar Orma A.Ş./Isparta fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan yongalar, %71.12 oranında Muğla yöresinden (karaçam, okaliptus, kızılçam, fıstıkçamı, Halep çamı) getirilen ağaçlar ile %28.88 oranında Antalya yöresinden (karaçam, okaliptüs, kızılçam, fıstıkçamı) getirilen ağaçlar Orma A.Ş tarafından karıştırılarak elde edilmiştir. Getirilen yongalar kurutma fırınında 102 ± 3 °C’de rutubet %3’e ulaşınca kadar kurtulduktan sonra levha üretiminde kullanılmıştır.

3.1.2. Üreformataldehit

Yonga levhaların üretiminde kullanılan üreformataldehit tutkalı Orma A.Ş./Isparta fabrikasından temin edilmiştir. Üreformataldehit tutkalına ait özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Üreformatdehit tutkalının özellikleri

Özellikler	Üreformatdehit
Katı madde oranı (%)	65 ± 1
Yoğunluk (g/cm ³)	1.27 - 1.29
pH (25 °C)	7.5 –8.5
Viskozite (cps, 25 °C)	150 - 200
Jelleşme süresi (s, 100 °C)	25 - 30
Kullanma süresi (gün, 25 °C)	60
Akışkanlık süresi (s, 25 °C)	20-30
Serbest CH ₂ O (maks) (%)	0.19

3.1.3. Melamin üreformatdehit

Yonga levhaların üretiminde kullanılan melamin üreformatdehit tutkalı Gentaş A.Ş./Tuzla fabrikasından temin edilmiştir. Melamin üreformatdehit tutkalına ait özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Melamin üreformatdehit tutkalının özellikleri

Özellikler	Melamin üreformatdehit
Katı madde oranı (%)	65 ± 1
Yoğunluk (20 °C g/cm ³)	1.290±0.005
pH (20 °C)	9.50 –9.90
Viskozite, (cps, 20 °C)	470 - 530
Jelleşme süresi (s, 100 °C)	60 - 80
Kullanma süresi (gün, 25 °C)	60
Serbest CH ₂ O (%)	<0.2

3.1.4. Sertleştirici madde

Levhaların üretiminde kullanılan üreformatdehit ve melamin üreformatdehit tutkallarının sertleşmesi için labor tekniktan alınan amonyum klorür (NH₄Cl) kullanılmıştır. Bu tutkallarda sertleştirici madde olarak kullandığımız amonyum klorürün %20’lik çözeltisi hazırlanmıştır. Üreformatdehit ve melamin üreformatdehit tutkallarında sertleştirici miktarı, kullanılan tutkal miktarına oranla %10 olarak uygulanmıştır.

3.1.5. Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)

Levhaların üretiminde tutkallarda katkı maddesi olarak kullanılan çok duvarlı karbon nanotüpler Nanografi Nano Teknoloji A.Ş firmasından temin edilmiştir. ÇDKNT'ye ait özellikler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çok duvarlı karbon nanotüpe ait özellikler

Özellikler	Çok duvarlı karbon nanotüp
Saflık (%)	92
Renk	Siyah
Dış çap (nm)	8-10
İç çap (nm)	5-15
Uzunluk (µm)	1-3
Musluk yoğunluğu (g/cm ³)	0.25
Gerçek yoğunluğu (g/cm ³)	2.4
Elektriksel iletkenlik (S/cm)	98
Üretim metodu	CVD

3.1.6. Çinkoborat (2ZnO.3B₂O₃.3,5H₂O)

Levha üretiminde çinkoborat, yongaların ağırlığına oranla çözelti haline haline getirilerek kullanılmıştır. Çinkoborat'a ait özellikler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çinkoborat'a ait özellikler (Etimaden)

Fiziksel Özellikler	Çinkoborat
Yoğunluk (25 °C g/cm ³)	2.71
Molekül ağırlığı (g/mol)	434.6
Erime noktası (°C)	650

3.1.7. Sodyum tetraborat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

Levha üretiminde sodyum tetraborat dekahidrat, yongaların ağırlığına oranla çözelti haline haline getirilerek kullanılmıştır. Sodyum tetraborat dekahidrat'a ait özellikler Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Sodyum tetraborat dekahidrat'a ait özellikler (Etimaden)

Fiziksel Özellikler	Sodyum tetraborat dekahidrat
Yoğunluk (g/cm^3)	1.73
Dökme (yığın) yoğunluğu (g/cm^3)	0.835 (Granül)-0.882 (Toz)
Molekül ağırlığı (g/mol)	381.37
Erime noktası ($^{\circ}\text{C}$)	741
Kaynama noktası ($^{\circ}\text{C}$)	1575
Isı kapasitesi ($\text{J/g}^{\circ}\text{C}$)	4.0
Isıl iletkenlik (W/mK)	0.740
Özgül yüzey alanı (m^2/g)	13.55
Difüzyon katsayısı (cm^2/s)	0.6×10^{-5}
Yüzey gerilimi (mN/m)	67.19 (Ağ. % 1.0 sulu çözelti)

3.1.8. Disodyum oktaborat tetrahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Levha üretiminde disodyum oktaborat tetrahidrat, yongaların ağırlığına oranla çözelti haline haline getirilerek kullanılmıştır. Disodyum oktaborat tetrahidrat'a ait özellikler Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Disodyum oktaborat tetrahidrat'a ait özellikler (Etimaden)

Fiziksel Özellikler	Disodyum oktaborat tetrahidrat
Yoğunluk (g/cm^3)	2.26
Dökme (yığın) yoğunluğu (g/cm^3)	0.51
Molekül ağırlığı (g/mol)	412.52
Erime noktası ($^{\circ}\text{C}$)	815
Isı kapasitesi ($\text{J/g } ^{\circ}\text{C}$)	7.3
Isıl iletkenlik (W/mK)	0.167
Özgül yüzey alanı (m^2/g)	5.45
Difüzyon katsayısı (cm^2/s)	1.2×10^{-5}
Yüzey gerilimi (mN/m)	67.8 (Ağ. % 1.0 sulu çözelti)

3.1.9. Dikalsiyum hekzaborat pentahidrat ($2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

Levha üretiminde dikalsiyum hekzaborat pentahidrat, yongaların ağırlığına oranla çözelti haline haline getirilerek kullanılmıştır. Dikalsiyum hekzaborat pentahidrat'a ait özellikler Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Dikalsiyum hekzaborat pentahidrat'a ait özellikler (Etimaden)

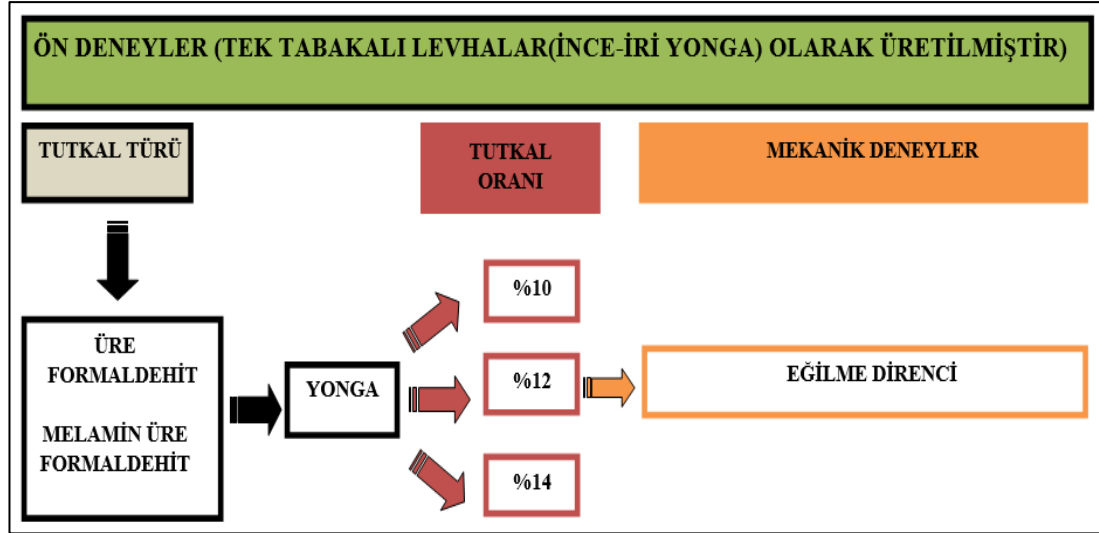
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (g/cm^3)	2.50
Dökme (yığın) yoğunluğu (g/cm^3)	0.971
Molekül ağırlığı (gr/mol)	411.08
Isı kapasitesi ($\text{J/g}^\circ\text{C}$)	15.4
Isıl iletkenlik (W/mk)	0.526
Özgül yüzey alanı (m^2/g)	3.30
Yüzey gerilimi (mN/m)	64.78

3.2. Yöntem

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir;

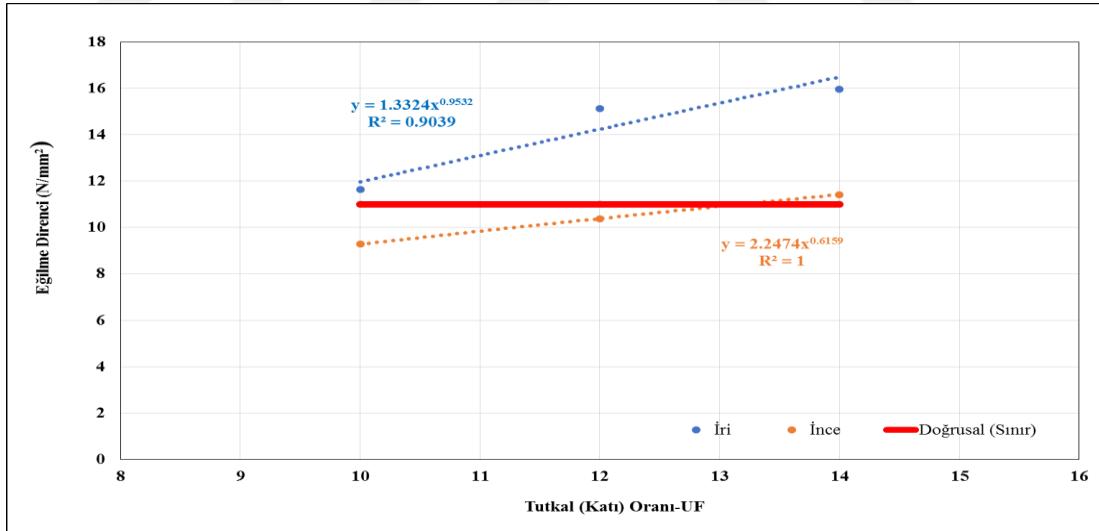
- Üretilecek levhalarda kullanılacak tutkal ve bor oranlarının belirlenmesi için ön deneyler yapılmıştır.
- Belirlenen oranlar kullanılarak araştırma deneyleri için bor ve KNT içeren levhalar üretilmiştir.
- Bor ve KNT'li üretilen numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Ön deneyler için uygulanan deneysel çalışmalardan tutkal oranının belirlenmesine ait iş akışı Şekil 3.1'de bor oranının belirlenmesine ait iş akışı ise Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

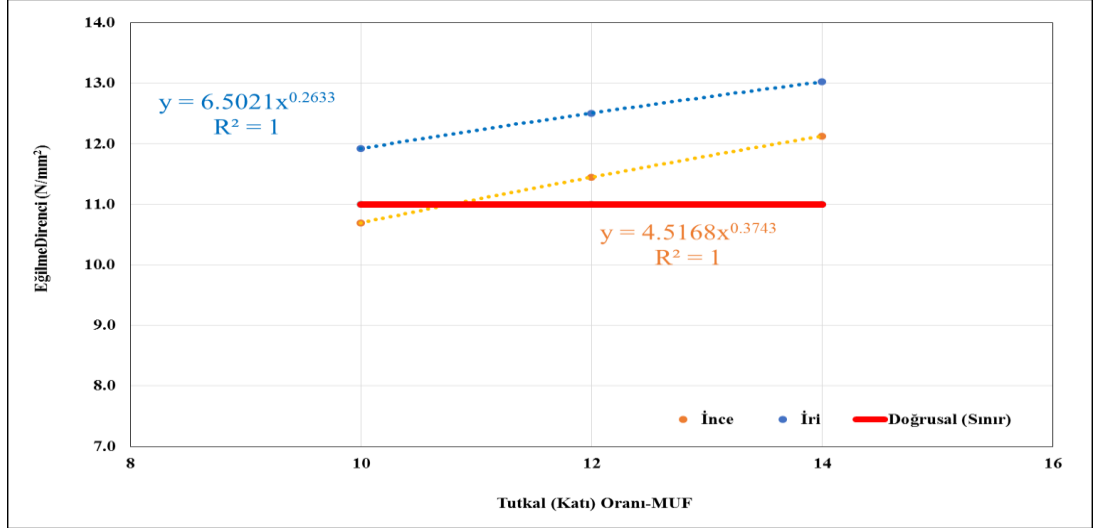


Şekil 3.1. Araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal oranının belirlenmesinde üretilen yonga levhalara ait iş akış şeması

Belirlenen deneysel iş akış şemasına göre araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal oranlarının belirlenmesi için ince ve iri talaşlardan oluşan tek tabakalı yonga levhalar üretilmiştir. Farklı oranlarda tutkal (UF-MUF) kullanılarak üretilen levhalara ait eğilme direnci deneyi sonuçları sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.

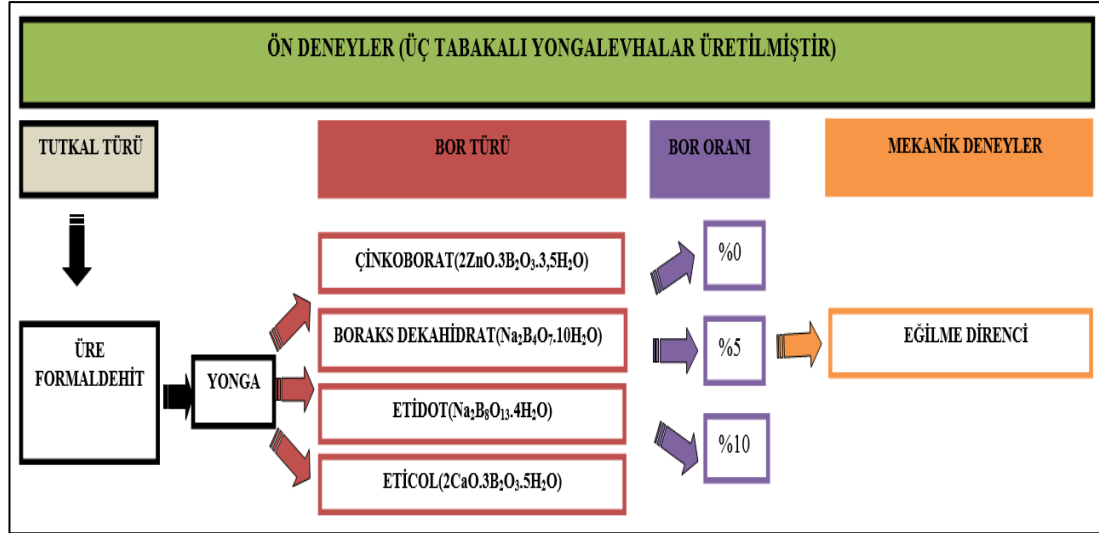


Şekil 3.2. Araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal (UF) oranının belirlenmesi



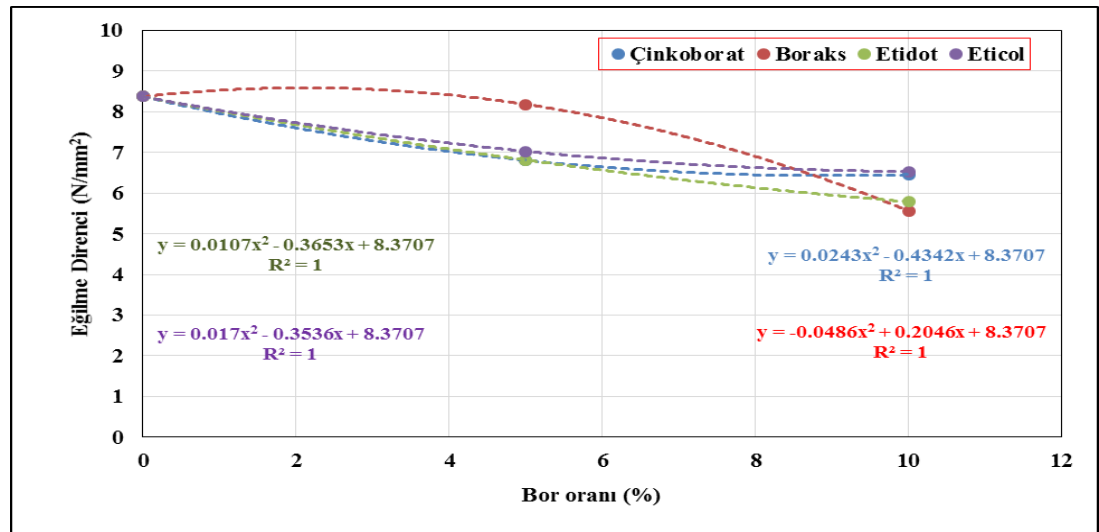
Şekil 3.3. Araştırma deneylerinde kullanılacak tutkal (MUF) oranının belirlenmesi

İlk önce %10, %12 ve %14 oranında tutkal kullanılarak iri ve ince talaşlardan oluşan tek tabakalı (1 cm kalınlıkta) yonga levhalar üretilmiştir. Sınır değeri 11 N/mm² (TS EN 310) olacak şekilde tek tabakalı olarak üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerlerine bakılmıştır. MUF tutkalı kullanılması durumunda iri talaşlı levhada %7, ince talaşlı levhada ise %10.8 oranından fazla olduğunda sınır değerini sağlamıştır. UF tutkalı kullanılması durumunda ise iri talaşlı levhada %9, ince talaşlı levhada %13 oranından fazla olduğunda belirlenen değeri sağlamıştır. Alt ve üst tabakalarda %20 şer, orta tabakada ise %60 olacak şekilde 1 cm kalınlıktaki levha için eğilme direnci hesabı Şekil 10 ve Şekil 11’de belirtilen denklemlere göre hesaplanmıştır. Burdan %11 oranında üst ve alt, %9 oranında ise orta tabakada tutkal, araştırma deneylerinde kullanılmak üzere belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Araştırma deneylerinde kullanılacak bor oranının belirlenmesi için yonga levha üretim iş akış şeması

Belirlenen deneysel plana göre araştırma deneylerinde kullanılacak bor oranlarının belirlenmesi için üç tabakalı yonga levhalar üretilmiştir. Yonga levhalarda 4 farklı bor türü (ÇB-BD-ED-EC) üç farklı oranda (%0-%5-%10) kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Farklı bor türü ve oranlarında üretilen levhalara ait eğilme direnci deneyi sonuçları Şekil 3.5’te verilmiştir.

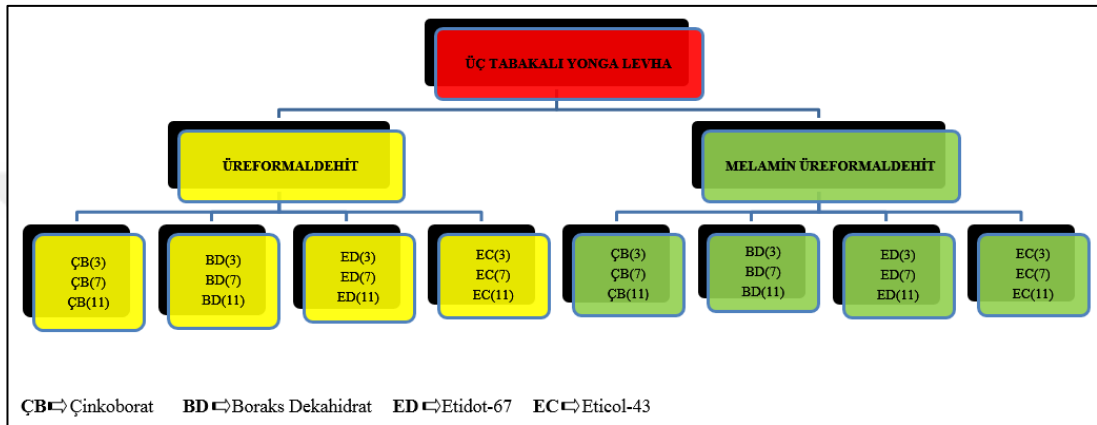


Şekil 3.5. Araştırma deneylerinde kullanılacak bor oranlarının belirlenmesi

UF tutkalı kullanılarak üç tabakalı üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri Şekil 3.5’te elde edilen bor oranı eğilme direnci ilişkisine göre maksimum bor oranı %10.5 verilen denklemler baz alınarak belirlenmiştir. En düşük değer ise EC baz alınarak %3.5 oranı belirlenmiştir. Üç farklı oranda bor oranı kullanılacağından

üretilecek yonga levhalarda üretim ve tasarım kolaylığı için %3-%7 ve %11 bor oranı, araştırma deneylerinde kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Mekanik deneyler sonucunda araştırma deneyleri için belirlenen oranlar kullanılarak Şekil 3.6'da verilen iş akış şemasına göre araştırma deneyleri için üç tabakalı borlu yonga levhalar üretilmiştir. Herbir tutkal türünden birer kontrol numunesi olmak üzere toplam 26 tane yonga levha üretilmiştir.

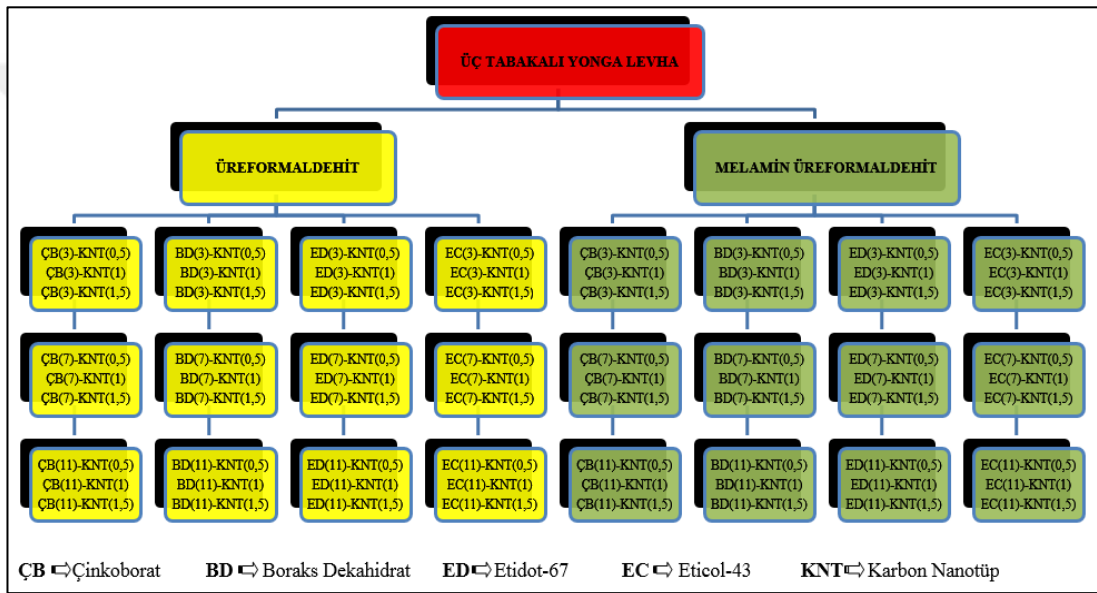


Şekil 3.6. Borlu, üç tabakalı yonga levhalara ait üretim plan

Araştırma deneylerin kullanılacak karbon nanotüp oranlarının belirlenmesinde aşağıda verilen kriterler gözönünde bulundurularak belirlenmiştir;

- ✓ Karbon nanotüpler arasındaki güçlü van der waals etkileşimleri ve lif-vari geometrileri sebebiyle demetlenmeye ve topaklanmaya eğilimlidirler.
- ✓ Karbon nanotüp oranı arttıkça viskozite artmaktadır. Bunun sonucunda aglomere eğilimi artacağı için tutkal içinde homojen dağılması daha da zorlaşacaktır.
- ✓ Karbon nanotüplerin matris içerisinde homojen olarak dağıtmanın zorluğu, büyük yüzey alanlarından kaynaklanan van der waals kuvvetlerinin, karbon nanotüpleri bir arada tutmasından ileri gelmektedir. Karbon nanotüplerin matris içerisinde kümelenmesi ve yetersiz dağılımı, karbon nanotüp takviyeli nanokompozit malzemelerde mekanik özelliklerin iyileştirilememesi sonucunu meydana getiren en önemli etkenler olarak karşımıza çıkmaktadır (Andrews ve Weisenberger, 2004; Eren, 2015; Mazaheri vd., 2022).

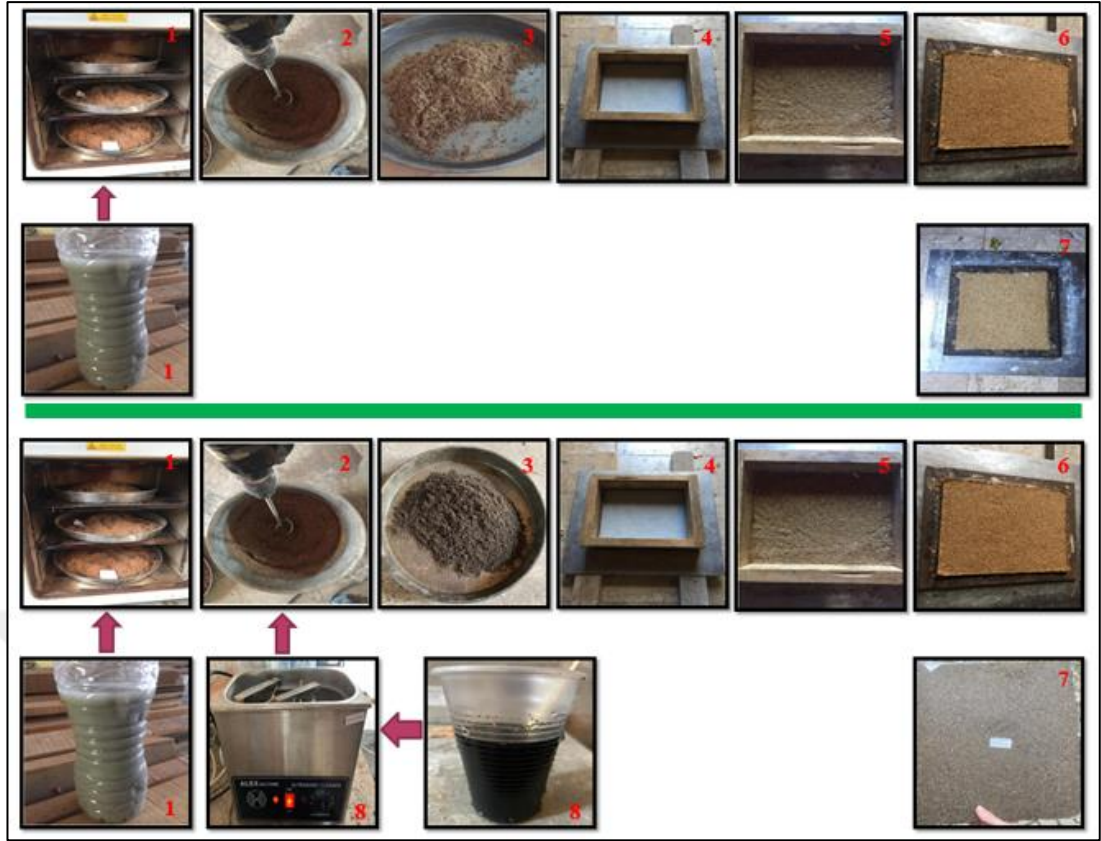
Bu tez çalışması kapsamında yukarıda yapılan çalışmalar temel alındığında düşük oranlarda karbon nanotüp (ÇDKNT) oranlarının kullanılması daha iyi dağılımın gerçekleşeceği öngörülmektedir. Aynı zamanda değiştirmek ya da iyileştirmek istediğimiz özellikleri daha net görmemize imkân sağlayacaktır. Bu yüzden literatürde (%0.2-%3) en fazla kullanılan oranlar arasından %0.5, %1.0 ve %1.5 oranları kullanılarak Şekil 3.7’de verilen deneysel plana göre borla birlikte karbon nanotüp takviyeli üç tabakalı yonga levhalar üretilmiştir. Herbir tutkal türünden %0.5, %1 ve %1.5 oranlarında birer KNT’li kontrol numunesi olmak üzere toplam 78 tane yonga levha üretilmiştir.



Şekil 3.7. Bor ve karbon nanotüplü üç tabakalı yonga levhalara ait üretim planı

3.2.1. Levhaların üretimi

Yonga levha üretiminde borlu ve borla birlikte karbon nanotüp kullanıldığında üretimde takip edilen aşamalar Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Yonga levhalarda üretim aşamaları

- 1→ Kullanılan bor türleri çözelti haline getirildikten sonra yongalara püskürtülmüştür. Daha sonra yongalar fırında kurutulmaya bırakılmıştır.
- 2→ Kurutulan yongalar tutkal ile birlikte karıştırılmıştır.
- 3→ Yongalar serme işlemi için hazır hale getirilmiştir.
- 4→ Serme işlemi için taslak hazırlanmıştır.
- 5→ Üç tabakalı yonga levha olacak şekilde alt ve üst tabakalarda ince, orta tabakada iri yongaların serme işlemi gerçekleştirilmiştir.
- 6→ Presten önce ön pres uygulanmıştır.
- 7→ Presten sonra üretilen yonga levha örneği
- 8→ Yongalarda kullanılacak karbon nanotüplerin tutkal içerisinde ultrases cihazı yardımıyla homojen hale getirilme aşaması gösterilmiştir.

3.2.1.1. Yongaların üretime hazırlanması

Yongalar levha üretimine hazır olarak Orma A.Ş. fabrikasından alınmıştır. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarına getirilen yongalar ilk önce araştırma deneylerinin ilk aşaması olan (bkz.

Şekil 3.6) verilen deneysel plana göre numuneler hazırlanmıştır. Buna göre orta ve üst tabakalarda kullanılan yonga ağırlığınca belirlenen bor oranları (%3, %7, %11) kullanılarak çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bor çözeltileri yongalara püskürtülmüş ve homojen olana kadar mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Bu işlem her bir numune için teker teker yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler fırında 102 ± 3 sıcaklıkta %3 rutubet oluncaya kadar kurutularak levha üretimine hazır hale getirilmiştir. Araştırma deneylerinin ikinci aşaması olan borla birlikte KNT'li üretilecek üç tabakalı yonga levhalara ait deneysel plan (bkz. Şekil 3.7) numunelerin üretimi için tekrar gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.2. Tutkallama

Bor çözeltisiyle hazırlanmış yongaların tutkallandırılmasında %65'lik üreformataldehit ve melamin üreformataldehit tutkalları, sertleştirici olarak amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. Tutkallama işlemi mikser yardımıyla yonga ve tutkal karışımı homojen oluncaya kadar karıştırılmıştır. Üreformataldehit ve melamin üreformataldehit tutkallarında kullanılan sertleştirici miktarı, tutkalların ağırlığına oranla %10 olarak belirlenmiştir.

Levha üretiminde kullanılan çok duvarlı karbon nanotüp ise tutkal ağırlığına oranla (bkz. Şekli 3.7) literatüre göre belirlenen oranlarda kullanılmıştır. ÇDKNT'lerin tutkal çözeltilisinde homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için karışım 10 dk boyunca ultrasonik ses cihazında bekletilmiştir. Homojen hale getirilen (tutkal+ÇDKNT) çözelti daha sonra yongalara püskürtülerek mikser yardımıyla karışım homojen oluncaya kadar karıştırılmıştır. Üç tabakalı olarak üretilen yonga levhalarda, ön deneylerle belirlenen üst ve alt tabakalarda %11 orta tabakada %9 oranında tutkal kullanılmıştır. Kullanılan tutkal miktarı tam kuru yonga ağırlığına göre hesaplanmıştır.

3.2.1.3. Yonga levha taslağının hazırlanması

Üç tabakalı yonga levha üretmek için $300\times300\times10$ mm boyutlarında metal bir taslak kullanılmıştır. Tutkallanmış yongalar metal taslağa %60 orta tabaka %40 üst tabakalarda (%20 üst+%20 alt) olmak üzere serme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen üç tabakalı yonga levha yoğunluğu 0.65 gr/cm^3 olarak hedeflenmiştir.

Serpme işleminde ilk olarak alt tabakaya ince yongalar elle serilmiştir. Daha sonra orta tabakaya iri yongalar serildikten sonra üst tabakaya en son ince yongalar serilerek levha taslağı yongalevha üretimine hazır hale getirilmiştir.

3.2.1.4. Presleme

Tutkallanmış yongaların levha taslağındaki serpme işlemi tamamlandıktan sonra sıcak presten önce ön pres uygulanmıştır. Sıcak preste levhaya 130-160 °C sıcaklık, 6-9 dk pres süresi ile 200 bar basınç uygulanmıştır. Üretilen levhaların homojen ve aynı kalınlıkta olması için 10 mm kalınlığında tahta takoz kullanılmıştır. Araştırma deneylerinin ilk bölümünü (bkz. Şekil 14) oluşturan borlu ve ikinci bölümünü (bkz. Şekil 15) oluşturan karbon nanotüp takviyeli borlu yongalevhaların her bir oranında 2 tane olmak üzere toplam 208 tane levha üretilmiştir.

Presten sonra, üretilen yonga levhaların soğuması için metal taslakta belli bir süre bekletilmiştir. Daha sonra yonga levhalar metal taslaktan çıkarılarak 20 °C sıcaklık ve %65 rutubette klimatize edilerek klimatize odasında bekletilmiştir. Deneysel testlerin herbiri için yonga levhalarda gerekli boyutlandırmalar yapılmıştır.

3.2.2. Yonga levhalara uygulanan fiziksel özellikler

3.2.2.1. Yonga levhaların yoğunluğu

Deney numunelerinin yoğunluğu sırasıyla TS EN-323 (1999); TS EN 325 (1999) ve TS EN 326-1 (1999) standartları esas alınarak örnekler 103 (±2) °C etüv sıcaklığında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Daha sonra örnekler etüvden alınarak ağırlıkları hassas terazide tartıldıktan sonra boyutları ± 0.01 duyarlıktaki kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Örneklerle ait yoğunluk değerleri Denklem (3.1)'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{M_0}{V} \quad (3.1)$$

Burada:

δ : Yoğunluk (g/cm³)

M_0 : Deney örneğinin tam kuru ağırlığı (g)

V: Deney örneğinin tam kuru hacmi (cm³)

3.2.2.2. Su alma tayini

Deney numunelerinin su alma miktarının belirlenmesinde TS EN 317 (1999)'a göre gerçekleştirilmiştir. 2 ve 24 saat su içerisinde bekletilen numuneler TS EN 325 (2012)'e göre 50 x 50 mm boyutlarında boyutlandırılmıştır. Her bir levhadan 6 tane olmak üzere 624 örnek standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Her deney parçasının ağırlığı ± 0.0001 duyarlılıkta analitik terazide tartılmıştır. Örneklerin 2 ve 24 saat sonunda fazla suları bir bez yardımıyla arındırılmış ve bu durumdaki ağırlıkları ± 0.0001 g duyarlılıktaki analitik terazide tartılmıştır. Her bir numunenin su alma miktarı Denklem (3.2)'e göre hesaplanmıştır.

$$Sa = \frac{Ms - M_0}{M_0} \times 100 \quad (3.2)$$

Sa: Su alma miktarı (%)

M₀: Deney numunesinin suya daldırmadan önceki ağırlığı (g)

M_s: Deney numunesinin suya daldırıldıktan sonraki ağırlığı (g)

3.2.2.3. Kalınlık artımı tayini

Deney numunelerinin kalınlık artımı tayini belirlenmesinde TS EN 317 (1999)'a göre gerçekleştirilmiştir. 2 ve 24 saat su içerisinde bekletilen numuneler TS EN 325 (2012)'e göre 50 x 50 mm boyutlarında boyutlandırılmıştır. Her bir levhadan 6 tane olmak üzere 624 örnek standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Her deney parçasının ağırlığı ± 0.0001 duyarlılıkta analitik terazide tartılmıştır. Örneklerin 2 ve 24 saat sonunda fazla sularından bir bez yardımıyla arındırılmış ve bu durumdaki ağırlıkları ± 0.0001 g duyarlılıktaki analitik terazide tartılmıştır. Her bir numunenin kalınlıkta artım miktarı Denklem (3.3)'ye göre hesaplanmıştır.

$$Ka = \frac{Es - E_0}{E_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Ka: Deney örneklerinin kalınlık artım miktarı (%)

Es: Deney örneğinin su almış haldeki kalınlığı (g)

E₀: Deney örneğinin tam kuru haldeki kalınlığı (g)

3.2.3. Yonga levhalara uygulanan mekanik özellikler

3.2.3.1. Eğilme direnci

Deneyler ORMA A.Ş. (borlu üretilmiş levhalar) ve Kastamonu Entegre (bor+KNT üretilmiş levhalar) laboratuvarında bulunan zwick marka universal test cihazında yapılmıştır. Test edilecek numunelerin eğilme direnci deneyleri TS EN 310 (1999)'a göre yapılmıştır. Deneysel işleme tabi tutulacak numuneler TS EN 326-1 (1999)'e göre 50 mm genişliğinde ve 300 mm uzunluğunda hazırlanmıştır. Numunelerin eğilme direnci ölçümü için TS EN 325 (2012)'e uygun olan universal test cihazı kullanılmıştır. Deney süresince numuneye sabit hızla yük uygulanmış ve yükleme başlığının hızı en büyük kuvvete saniyede ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan kuvvetin değeri ± 0.01 hassasiyetle ölçülmüştür. Her bir deney parçasının eğilme direnci Denklem (3.4)'e göre hesaplanmıştır.

$$MOR = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad (3.4)$$

MOR: Eğilme direnç değeri (N/mm²)

P: Kırılma anında ölçülen maksimum yük (N)

L: Dayanak açıklığı (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek kalınlığı (mm)

3.2.3.2. Eğilmede elastikiyet modülü

Deneyler ORMA A.Ş. (borlu üretilmiş levhalar) ve Kastamonu Entegre (bor+KNT üretilmiş levhalar) laboratuvarında bulunan zwick marka universal test cihazında yapılmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü TS EN 310 (1999) standardına göre hesaplanmıştır. Eğilme direncinde kullanılan örnekler üzerinden ölçme aletiyle eğilme direnci yapılırken eğilme miktarı deney parçasının ortasından %1'lik hassasiyette ölçülür. Her bir deney parçasının eğilmede elastikiyet modülü Denklem (3.5)'e göre hesaplanmıştır.

$$MOE = \frac{P.L^3}{4.b.h^3.f} \quad (3.5)$$

E: Eğilmedeki elastikiyet modülü (N/mm²)

P: Elastikiyet sınırı altında tatbik edilen yük (N)

L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

h: Örnek kalınlığı (mm)

f: P yüküne karşı numunede meydana gelen deformasyon (mm)

3.2.3.3. Yüzeye dik çekme direnci

Deneyler ORMA A.Ş. (borlu üretilmiş levhalar) ve Kastamonu Entegre (bor+KNT üretilmiş levhalar) laboratuvarında bulunan zwick marka universal test cihazında yapılmıştır. Yüzeye dik çekme deneyleri TS EN 319 (1999)'a göre gerçekleştirilmiştir. Numuneler, kenar uzunluğu 50 (±1) mm olan kare şeklinde hazırlanmıştır. Kenarları dik uçları düzgün ve temiz olarak boyutlandırılan örnekler, standartlara uygun şekilde metal deney aparatlarına hızlı yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Yapıştırılan örnekler daha sonra deney makinesinin kavrama çeneleri arasına yerleştirilmiştir. Deney parçalarının yüzeye dik yönde ve kopma işlemi meydana gelinceye kadar, üniform bir çekme kuvveti uygulanarak, deney parçalarının yüzeye dik yöndeki çekme dayanımı belirlenmiştir. Yüzeye dik çekme direnci değeri Denklem (3.6)'ya göre belirlenmiştir.

$$Y_{dc} = \frac{P}{A} \quad (3.6)$$

Y_{dc}: Yüzeye dik çekme direnci (N/mm²)

P: Kırılma anında belirlenen maksimum kuvvet (N)

A: Numunenin enine kesit alanı (mm²)

3.2.4. Temas açısı ölçümleri

Deneyler İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama laboratuvarında bulunan Attension Theta cihazında örneklerin temas açılarının ölçümü yapılmıştır. Analizi yapılan örnekler mekanik deneyler sonucunda KNT'li üretilen numuneler içerisinde en yüksek değer elde edilenler içerisinde belirlenmiştir. Belirlenen numunelerin karşılaştırılması için kontrol numuneleri de kullanılmıştır. Kontrol numunesi (KN), bor ve karbon nanotüplü örneklerin su ile temas açıları

ölçülmüştür. Su ile örneklerin temas açısı belirlenip bu ölçümlerde her örnek üzerine 10 damla su damlatılmıştır. Daha sonra elde edilen veriler excel dosyasına aktarılmıştır. Böylece bor ve borla birlikte karbon nanotüp kullanıldığında üretilen örnekler karşılaştırılarak yüzey özelliklerinde meydana gelen değişimler analiz edilmiştir.

3.2.5. Kimyasal analizler

3.2.5.1. Termogravimetrik analiz (TGA)

Deneyler İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama laboratuvarında bulunan TA marka Q600 model TGA cihazında örneklerin 25-500 °C sıcaklık aralığındaki davranışları analiz edilmiştir. Analizi yapılan örnekler mekanik deneyler sonucunda KNT'li üretilen numuneler içerisinde en yüksek değer elde edilenler içerisinden belirlenmiştir. Belirlenen numunelerin karşılaştırılması için kontrol numuneleri de kullanılmıştır. Analizi yapılan her bir örnek için sıcaklık, dakikada 10 °C artırılmıştır. Bu analiz yönteminde malzemelerin yanmaya karşı dirençlerinde bor ve KNT kullanımına bağlı olarak meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Termogravimetrik analizde, numune azot atmosferinde sabit bir hız ile ısıtılıp, ağırlığındaki değişim zamana veya sıcaklığa bağlı olarak kaydedilmektedir. Elde edilen eğrilerle numune ağırlığının ısı etkisiyle nasıl değiştiği tespit edilebilmektedir. Termal koşullar altında değişen karakteristik ölçümler sıcaklıkla birlikte ölçülür ve kaydedilir. Bu yolla malzemelerin termal davranışları hakkında ilave bilgiler edinilerek onların bileşimine ait neticeler ve karakteristikleri üzerinde tahminler yapılabilir. Malzeme içinde meydana gelen değişiklikler aynı zamanda kullandığımız emprenye maddelerinin üretilen malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki değişimler hakkında da bilgi elde edilmektedir. TGA da üretilen kompozit malzemenin yapısında kullanılan bu maddelere bağlı olarak eğer kimyasal bir bağ oluşursa bozunma sıcaklıkları değişmektedir (Ünlü, 2007). Bu şekilde fiziksel ve kimyasal etkileşimleri belirlenebilmektedir

3.2.5.2. Tarayıcı elektron mikroskobu-enerji dağılımlı x ışını analizi (SEM-EDS)

Deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi (YETEM) laboratuvarında bulunan FEI QUANTA FEG 250 cihazında örnekler analiz edilmiştir.

Enerji dağılım spektroskopisi (EDS), numunenin elemental bileşimleri hakkında hem nitel hem de nicel bilgi sağlayan bir tekniktir. EDS, numunedeki her bir elementin ve farklı enerji seviyelerinin karakteristik x-ışınlarının enerjisini aynı anda ölçer. Bu ölçümler, numunede bulunan elementlerin tespit edilmesini ve belirlenmesini sağlar. Ayrıca, sinyal şiddetini ölçerek elementlerin miktarları hakkında nicel bilgi verir. EDS analizi sonuçları, spektrum, histogram ve haritalama gibi çıktılar aracılığıyla hangi elementlerin bulunduğunu gösterirken, elementlerin miktarları ise atomik veya ağırlıkça yüzdelerle ifade edilir (Başkut ve Turan, 2022).

Yonga levha örneklerinden yayılan X ışınları ve enerjisi, enerji dağılımlı spektrometre (EDS) tarafından ölçülmüştür. Analizi yapılan örnekler mekanik deneyler sonucunda KNT’li üretilen numuneler içerisinde en yüksek değer elde edilenler içerisinde belirlenmiştir. Bu belirlenen numunelerin karşılaştırılması için kontrol numuneleri de kullanılmıştır. Kimyasal içerik ve elementel analizler, bor bileşikleri ve karbon nanotüp (Çok duvarlı karbon nanotüp) katkılarıyla üretilen yonga levha malzemelerine ait örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, malzeme içerisindeki elementlerin atomik ve ağırlıkça yüzdelerinin ölçümleri yapılmıştır.

3.2.5.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi

Deneyler Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya laboratuvarında bulunan Perkin Elmer cihazında örneklerin analizi yapılmıştır. Analizi yapılan örnekler mekanik deneyler sonucunda KNT’li üretilen numuneler içerisinde en yüksek değer elde edilenler içerisinde belirlenmiştir. Belirlenen numunelerin karşılaştırılması için kontrol numuneleri de kullanılmıştır. Kontrol numuneleri ile borlu ve borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen örneklerde meydana gelen kimyasal değişiklikleri karşılaştırılmalı olarak belirlemek için FTIR spektroskopisi kullanılmıştır. FTIR spektroskopisi analizi ile malzemeyi oluşturan lignin, selüloz ve

hemiselüloza ait absorpsiyon bantları 1800 ile 800 cm⁻¹ (moleküllerdeki esneme ve bükülme titreşimleri), ayrıca 3550 ile 2900 cm⁻¹ dalga boyu aralığında (OH ve C-H gerilmesi) meydana gelen değişiklikler incelenen dalgaboyu aralıklarına göre belirlenmiştir. Perkin Elmer Spektrum 2000 model Fourier Infrared (FTIR) spektrometre ile fonksiyonel grup analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu, 10 taramanın ortalamasının alınmasıyla 4000-650 cm⁻¹ aralığında verilmiştir. Bu spektrumlar 2950 cm⁻¹ de normalize edilmiştir.

3.2.6. İstatistiksel değerlendirme

Elde edilen tüm verilerin istatistiksel analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu veriler Design-Expert 11 yazılımı kullanılarak, her seri için matematiksel ve istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu istatistiksel analiz modelini uygulamak için Tepki Yüzeyi Yöntemi'ni (RSM) içeren deney tasarımı kullanılmıştır. Bu metodoloji ile birlikte, değişkenlerin incelenmesi ve analizlerin yapılması, matematik ve istatistik tekniklerinin kullanılmasıyla elde edilen deney sonuçları üzerindeki etkilerini belirlemek için bor türü, bor oranı ve karbon nanotüp oranı gibi değişkenlere dayalı olarak tekli ve çoklu etkiler ortaya çıkarılmış ve matematiksel ilişkiler ortaya konulmuştur. Değişkenlerin ve sonuçların ilişkileri Denklem 3.7 kullanarak, tahminlerde bulunmak için yüksek dereceli bir polinom modeli oluşturulmuştur (Al-kahtani vd., 2023; Abdellatief vd., 2023; Harith, 2023).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \sum_j \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon \quad (3.7)$$

Bu denklemde; i: doğrusal katsayı, j: ikinci dereceden katsayı, Xi ve Xj bağımsız değişkenler, β: regresyon sabiti olarak ifade edilirken, β₀: modelin kesişme noktası, ε: hata ve son olarak y: ise model tarafından verilen sonuçtur.

Sonrasında belirlenen modele bağlı olarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, bağımsız değişkenlerin türüne göre model denklemi kullanılarak açıklanmıştır. En etkili model belirlendikten sonra, ilgili model için elde edilebilecek yüksek korelasyon katsayılarını sağlayabilmek amacıyla sonuçların bu modele özgü anlamlılığı kontrol edilmiştir. (Konitufe vd., 2023; Soltani vd., 2023).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Laboratuvar ortamında çinkoborat (ÇB), boraks dekahidrat (BD), etidot (ED), eticol'un (EC) %3, %7, %11 ve karbon nanotüpün %0.5-%1-%1.5 katkılı UF ve MUF tutkalları kullanılarak yonga levhalar üretilmiştir. Üretilen yonga levhaların fiziksel (yoğunluk, iki saat suda artma oranı, yirmi dört saat suda artma oranı, iki saat kalınlık artımı, yirmi dört saat kalınlık artımı), mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci) testleri ve Temas açısı ölçümleri ile kimyasal (TGA, SEM-EDS, FTIR) analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen test ve analiz sonuçlarının verileri şekillerle, bu verilerin istatistiksel analizleri ise design expert programından yüzey tepki metodolojisi kullanılarak açıklanmış olup çizelgelerle gösterilmiştir.

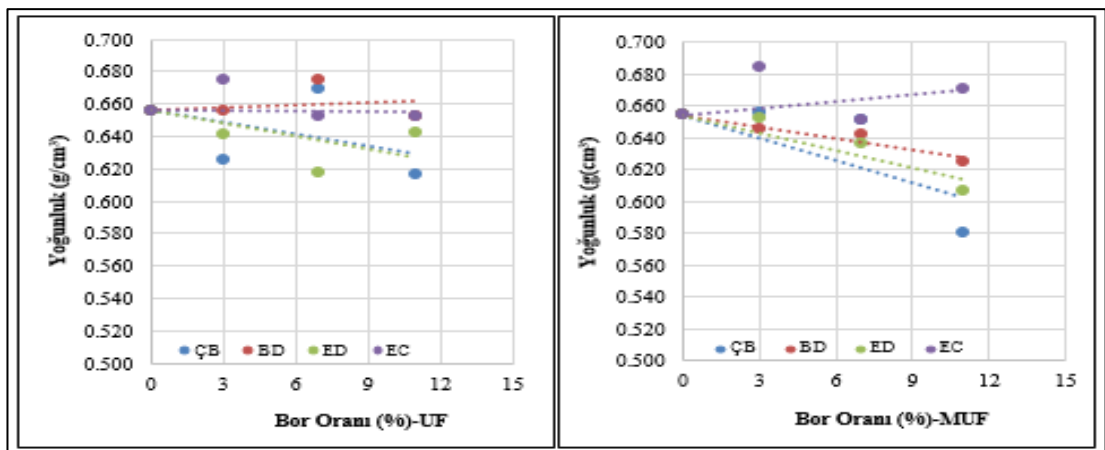
Bu bölümde deneysel sonuçlar ve değişim oranları analiz edilmiş olup, tartışma bölüm sonlarında, tüm verilere ait değerlendirmeler ise sonuç kısmında verilmiştir.

4.1. Fiziksel Özellik Sonuçları

4.1.1. Yoğunluk sonuçları

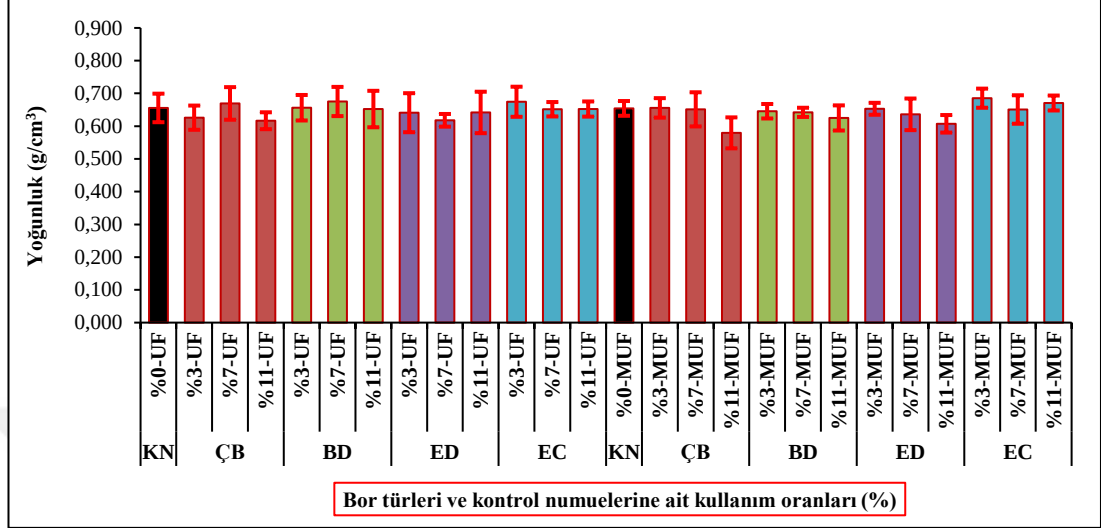
4.1.1.1. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı yonga levhalara ait sonuçlar

Üretilen borlu tüm yonga levhaların yoğunluklarına ait genel sonuçlar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. UF ve MUF'lu yonga levhaların yoğunlukları

UF ve MUF tutkallı üretilen yonga levhaların yoğunlukları kullanılan bor oranı arttıkça genellikle azalmıştır. Ancak UF ve MUF'lu levhalarda EC kullanıldığında genel bir artış meydana gelmiştir. Analizleri ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Bor türü ve oranına bağlı UF ve MUF'lu yonga levhaların yoğunlukları

Ürefoaldehyit tutkalı için kontrol numunesinin yoğunluğu 0.656 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. ÇB katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %7 ÇB (0.669 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 ÇB (0.617 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. BD katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %7 BD (0.675 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 BD (0.652 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. ED katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %11 ED (0.642 g/cm^3), en düşük yoğunluk %7 ED (0.618 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. EC katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 EC (0.675 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 EC (0.652 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir.

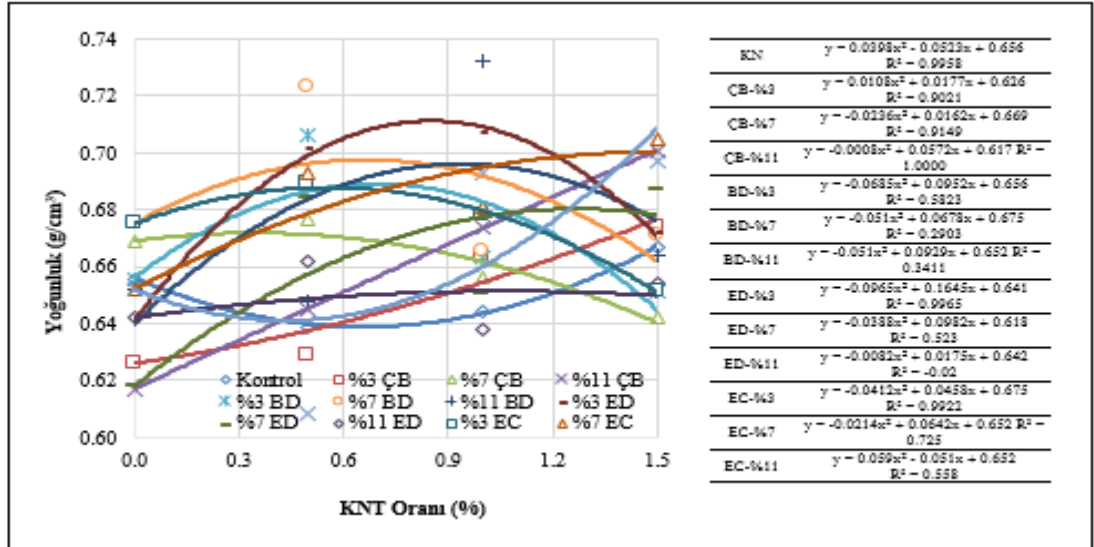
Melamin ürefoaldehyit tutkalı için kontrol numunesinin yoğunluğu 0.654 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. ÇB katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 ÇB (0.656 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 ÇB (0.580 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. BD katkıli serisinde üretilen yongalevhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 BD (0.646 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 BD (0.625 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. ED katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 ED (0.653 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 ED (0.607 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. EC katkıli serisinde

üretile yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 EC (0.685 g/cm³) en düşük yoğunluk %7 EC (0.651 g/cm³) levhalarında elde edilmiştir.

Ürefoaldehyit tutkallı seride en yüksek yoğunluk %7 BD kullanımında 0.675 g/cm³ olarak belirlenirken en düşük yoğunluk %11 ÇB kullanımında 0.617 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Melamin ürefoaldehyit tutkallı seride ise en yüksek yoğunluk %3 EC kullanımında 0.685 g/cm³ olarak belirlenirken en düşük yoğunluk %11 ÇB kullanımında 0.580 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

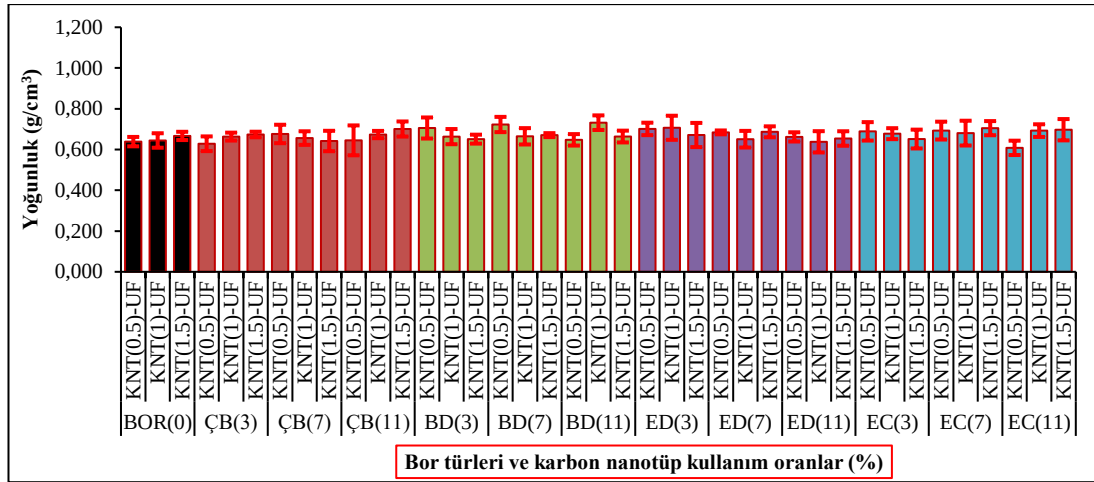
4.1.1.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların yoğunluklarına ait sonuçlar

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak ürefoaldehyit (UF) tutkallı üretilen yonga levhaların yoğunluklarına ait sonuçlar Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3. UF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait yoğunlukların karşılaştırılması

UF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre yoğunluklarda genellikle artış meydana gelmiştir. KNT oranına bağlı olarak yoğunlukta değişim incelendiğinde %1 oranı kritik nokta olarak gözlemlenmiş olup, bu orandan sonra genellikle (%3 ED, %3 BD, %11 ÇB, %3 ÇB hariç) yoğunlukta azalma meydana gelmiştir. Her bir bor türü ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler EK A’da, genel sonuçlar ise Şekil 4.4’de verilmiştir.

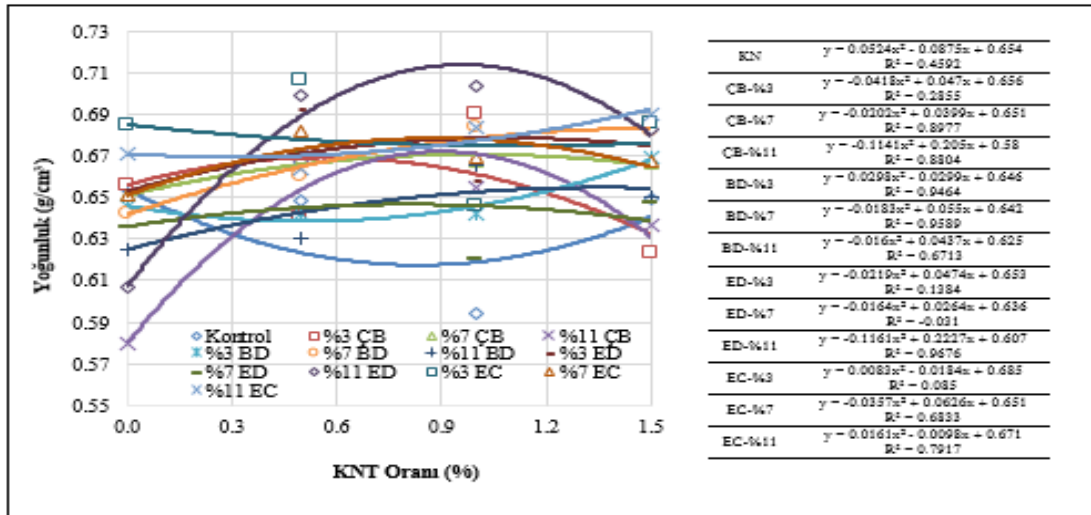


Şekil 4.4. UF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre yoğunluk değişimi

Ürefoormaldehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yoğunlukları KNT kullanım oranıyla arttığı (sırasıyla %0.5 KNT (0.639 g/cm³) %1 KNT (0.644 g/cm³) ve %1.5 KNT için (0.667 g/cm³) olarak) belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %11 ÇB-%1.5 KNT (0.701 g/cm³), en düşük yoğunluk %3 ÇB-%0.5 KNT (0.628 g/cm³) levhalarında kontrol numunelerine benzer elde edilmiştir. BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %11 BD-%1 KNT (0.732 g/cm³), en düşük yoğunluk %11 BD-%0.5 KNT (0.648 g/cm³) levhalarında elde edilmiştir. ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 ED-%1 KNT (0.707 g/cm³), en düşük yoğunluk %11 ED-%1 KNT (0.638 g/cm³) levhalarında elde edilmiştir. EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %7 EC-%1.5 KNT (0.705 g/cm³), en düşük yoğunluk %11 EC-%0.5 KNT (0.608 g/cm³) levhalarında elde edilmiştir.

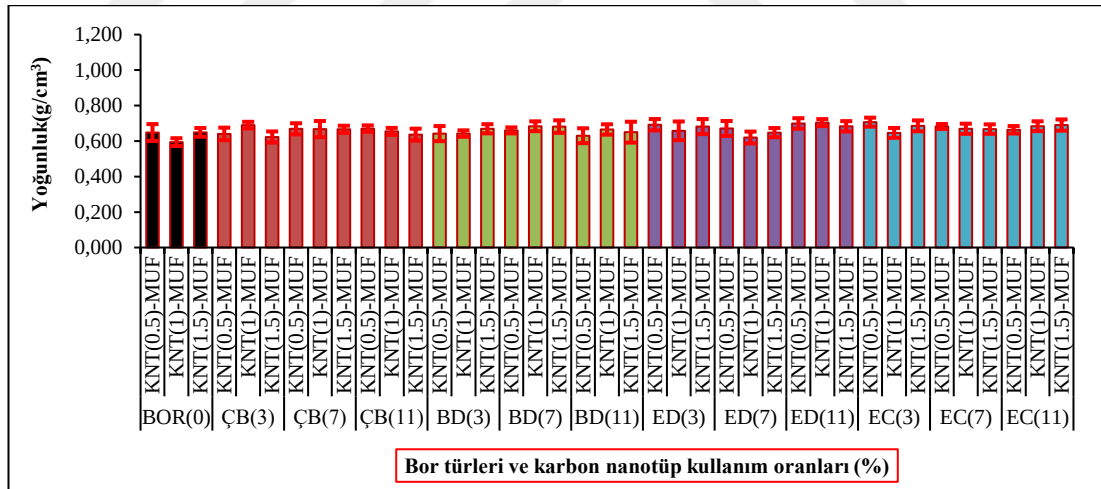
4.1.1.3. MUF tutkalı bor ve KNT içeren yonga levhaların yoğunluklarına ait sonuçlar

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak melamin ürefoormaldehit (MUF) tutkalı üretilen yonga levhaların yoğunluklarına ait sonuçlar Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. MUF'lu bor ve KNT'li yonga levhalara ait yoğunlukların karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre yoğunluklarda genellikle artış meydana gelmiştir. KNT oranına bağlı olarak %1 oranı kritik nokta olarak gözlemlenmiş olup, bu orandan sonra düşüş eğilimi genellikle (%3 BD, %11 EC hariç) meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.6'da, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK A'da verilmiştir.



Şekil 4.6. MUF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre yoğunluk değişimi

Melamin üreformaldehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yoğunlukları sırasıyla %0.5 KNT (0.648 g/cm³), %1 KNT (0.594 g/cm³) ve %1.5 KNT için (0.649 g/cm³) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 ÇB-%1 KNT (0.690 g/cm³), en düşük yoğunluk %3 ÇB-%1.5 KNT (0.623 g/cm³) levhalarında elde edilmiştir. BD katkılı serisinde farklı oranlarda

KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %7 BD-%1 KNT (0.683 g/cm^3), en düşük yoğunluk %11 BD-%0.5 KNT (0.630 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %11 ED-%1 KNT (0.704 g/cm^3), en düşük yoğunluk %7 ED-%1 KNT (0.620 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir. EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yoğunluk %3 EC-%0.5 KNT (0.707 g/cm^3), en düşük yoğunluk %3 EC-%1 KNT (0.646 g/cm^3) levhalarında elde edilmiştir.

Laboratuvar ortamında üretilen yonga levhalarda hedef yoğunluğu 0.65 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF ve MUF'lu yonga levhalarda yoğunluk $0.580\text{-}0.685 \text{ g/cm}^3$ aralığında, farklı bor türleri ile birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF'lu yonga levhalarda yoğunluk $0.608\text{-}0.732 \text{ g/cm}^3$, MUF'lu yonga levhalarda ise yoğunluk $0.594\text{-}0.707 \text{ g/cm}^3$ aralığında bulunmuştur.

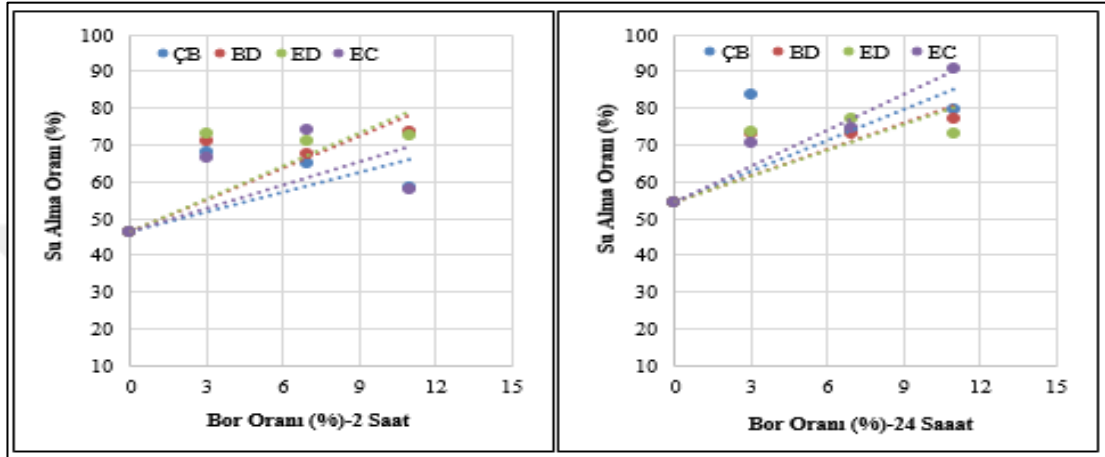
Bor veya karbon nanotüpün kullanım oranı arttıkça üretilen levhaların yoğunluklarında teorik olarak artış beklenirken üretilen levhaların tamamından bu sonuç elde edilememiştir. Hedef bazlı yongalevha üretimi gerçekleştirilmiş olup hedeften en fazla %12.61 ve en az %10.76 oranında sapma meydana gelmiştir.

Üretilen yonga levhaların yoğunluklarında meydana gelen artış, numunenin birim hacminde bulunan yongaların hücre çerperlerine karşılık gelen bor ve karbon nanotüplerin miktarındaki artıştan kaynaklanabileceği gibi özellikle levha yoğunluğu üzerinde, kullanılan ağaç malzemenin türü, çerperin kalınlığı, hücreye ait çerper maddesinin tipi, çapı, boyu ve bunların birim hacimdeki oranları etkili olabilmektedir (Var, 2000). Üretilen yonga levhaların yoğunluklarında meydana gelen azalma ise, üretim aşamasındaki serme işleminde kullanılan pasta taslağının rutubeti, yongaların pasta taslağında homojen dağılıp dağılmaması, tutkalın homojen bir şekilde yongalara püskürtülmesinin yanında pres süresi, sıcaklığı ve basıncı gibi değişkenlerden dolayı kaynaklanmış olabileceği literatürde belirtilmiştir (Ayrılmış, 2000). Çalışmamızda pres süresi, sıcaklığı ve basıncı sabit tutulmuş olup değişkenlik pasta taslağının ve tutkalın homojen dağılmaması kaynaklı olabilir. Ayrıca ahşap parçacıkların granül yapılarının farklı olması, yoğunluk değerlerinin değişken olmasının başka bir nedenini oluşturmaktadır.

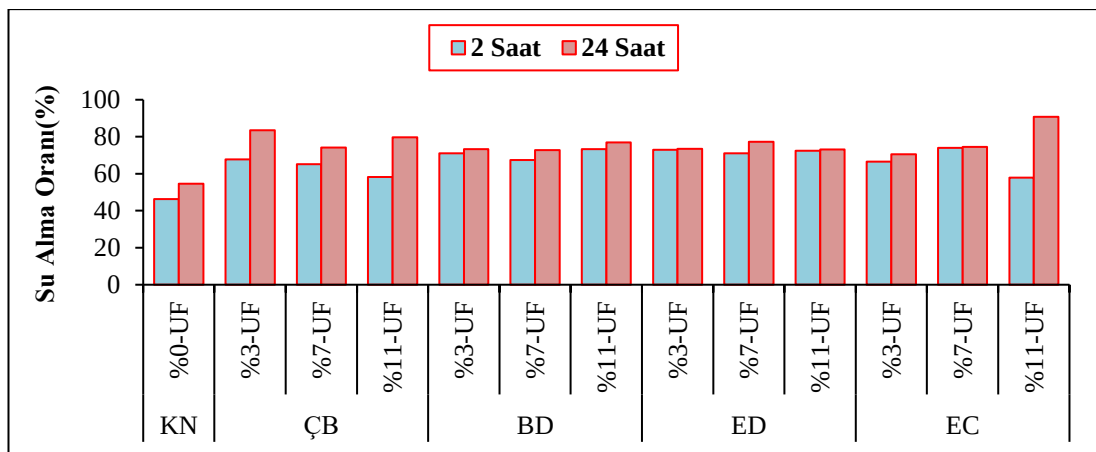
4.1.2. Su alma tayini sonuçları

4.1.2.1. UF tutkalı bor içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları

Farklı bor türleri kullanılarak UF'lu üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma oranlarına ait genel sonuçlar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.



UF tutkalı üretilen yonga levhalarda kullanılan tüm bor türlerinde kontrol numunesine göre su alma oranlarında 2 ve 24 saatlik süreler incelendiğinde artış meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.8'de verilmiştir.



Üreormaldehit tutkalı için kontrol numunesinin iki ve yirmi dört saat su alma değerleri sırasıyla %46.37 ve %54.53 olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde üretilen yonga

levhalar karşılaştırıldığında 2 ve 24 saat su alma değerleri %3 ÇB (%67.3-%83.47), kontrol numunesine göre (%46.06-%53.03) oranında daha fazladır. %7 ÇB (%65.11-%74.20), kontrol numunesine göre (%40.41-%36.07) su alma miktarı oranı artmıştır. %11 ÇB (%58.19-%79.62), kontrol numunesine göre (%25.49-%46.01) oranında daha fazla su almıştır.

BD katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri %3 BD (%71.12-%73.25), kontrol numunesine göre 2 saatte %53.37, 24 saatte ise %34.32 oranında daha fazla su almıştır. %7 BD (%67.42-%72.83), kontrol numunesine göre (%45.39-%33.55) oranında su alma değeri artmıştır. %11 BD ise (%73.33-%76.87), kontrol numunesine göre (%58.14-%44.96) oranında daha fazla su almıştır.

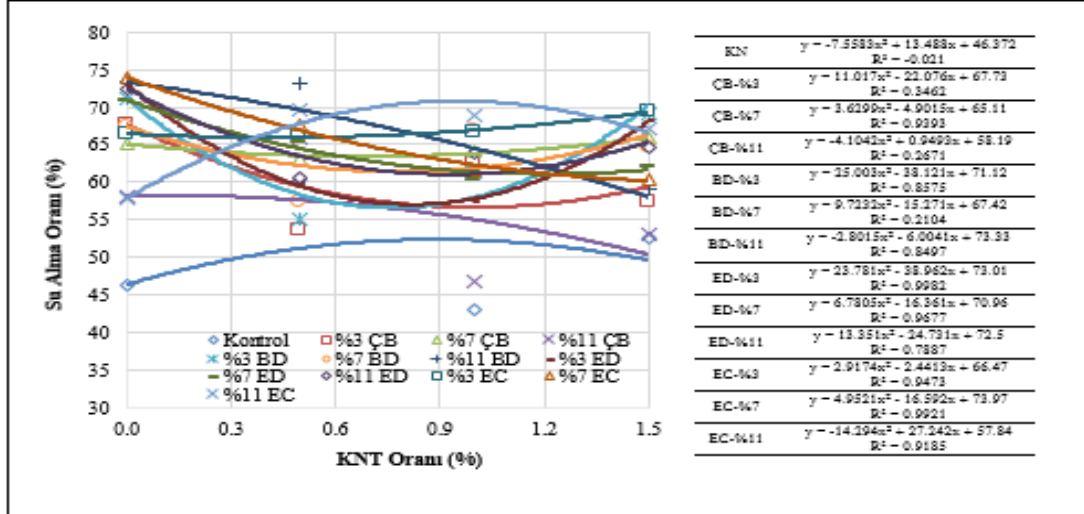
ED katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri %3 ED (%73.01-%73.44), kontrol numunesine göre 2 saatte %57.45, 24 saatte ise %34.67 oranında daha fazla su almıştır. %7 ED (%70.96-%77.20), kontrol numunesine göre (%53.02-%41.57) daha fazla su almıştır. %11 ED ise (%72.50-%73.11), kontrol numunesine göre (%56.35-%34.07) oranında daha fazla su almıştır. EC katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri %3 EC (%66.47-%70.54), kontrol numunesine göre 2 saatte %43.34, 24 saatte ise %29.35 oranında daha fazla su almıştır. %7 EC (%73.97-74.58), kontrol numunesine göre (%59.52-36.76) daha fazla su almıştır. %11 EC ise (%57.84-90.74), kontrol numunesine göre (%24.73-66.40) oranında daha fazla su almıştır.

Bu sonuçlara göre bor'lu tüm serilerden kontrol numunesinin hem 2 saat hem de 24 saatlik su emme değerlerine göre daha yüksek oranda su emme değeri elde edilmiştir (2 saat için %24.73-%59.5, 24 saat için %29.35-%66.40 arasında).

Ayrıca 2 saatte en yüksek su emen yonga levhalar %3 ED-%11 ED-%7 EC iken, devam eden 22 saatlik dilimde de su miktarı en az değişen yonga levhalar olarak belirlenmiştir. 22 saatlik zaman diliminde en fazla su emen yongalevha ise %11 EC'dir. Kontrol numunesine göre 2 saatte en yüksek ve en az su emen yonga levha %11 EC-%7 EC, 22 saatte en yüksek ve en düşük su emen yongalevhalar ise %3 EC-%11 EC'dir.

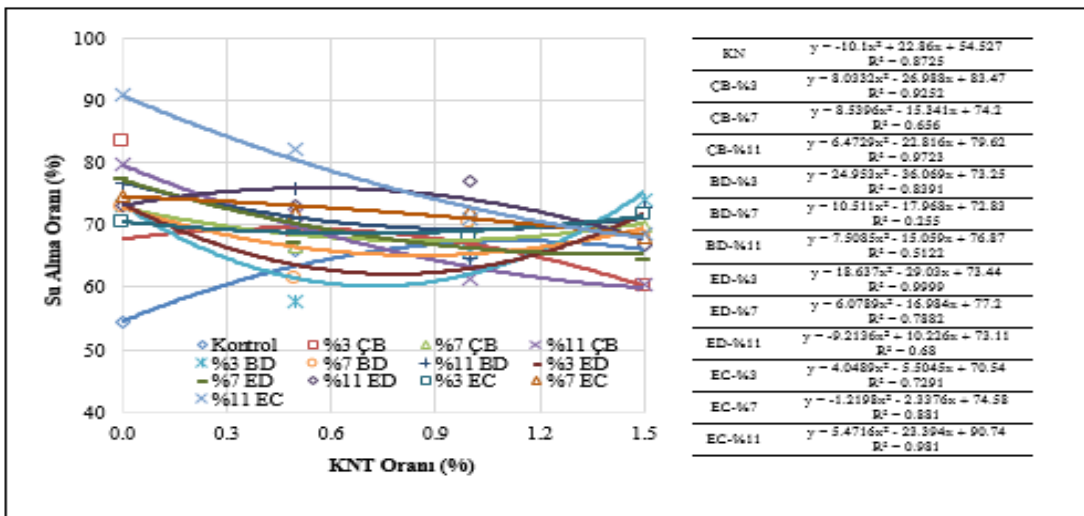
4.1.2.2. UF tutkalı bor ve KNT içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları

Bor türü ve karbon nanotüp oranına göre üreformataldehit (UF) tutkalı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma sonuçları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da, 2 ve 24 saat için her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK A'da verilmiştir.



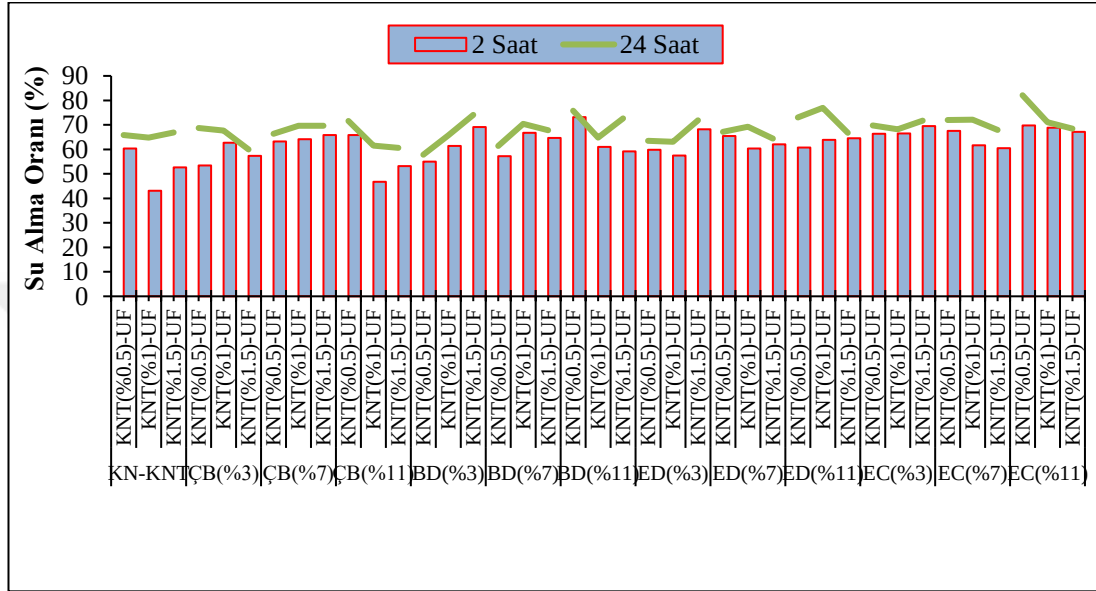
Şekil 4.9. UF'lu bor ve KNT'li yonga levhalara ait 2 saat su alma oranlarının karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre su alma oranında artış meydana gelmiştir. KNT oranına bağlı olarak karşılaştırma yapılacak olursa %1 oranı kritik nokta olarak gözlemlenmiş olup, bu orandan sonra düşüş eğilimi genellikle (%3 BD, %7 EC, %7 ÇB, %3 ÇB hariç) meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10. UF'lu bor ve KNT'li yonga levhalara ait 24 saat su alma oranlarının karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre su alma oranında genellikle artış meydana gelmiştir. KNT oranına bağlı olarak karşılaştırma yapılacak olursa %1 oranı kritik nokta olarak gözlemlenmiş olup, bu orandan sonra düşüş eğilimi genellikle (%3 BD, %7 ÇB hariç) meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. UF’lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat su alma sonuçları

Üreformatdehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin iki saat su alma değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%60.38), %1 KNT (%43.14) ve %1.5 KNT için (%52.65) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma değeri %11 ÇB-%0.5 KNT (%65.86), en düşük iki saat su alma değeri %11 ÇB-%1 KNT (%46.81) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma değeri %11 BD-%0.5 KNT (%73.15), en düşük iki saat su alma değeri %3 BD-%0.5 KNT (%54.97) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma değeri %3 ED-%1.5 KNT (%68.20), en düşük iki saat su alma değeri %3 ED-%1 KNT (%57.46) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma %11 EC-%0.5 KNT (%69.76), en düşük iki saat su alma değeri %7 EC-%1.5 KNT (%60.44) levhalarında elde edilmiştir.

Üreformatdehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yirmi dört saat su alma değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%65.87), %1 KNT (%64.85) ve %1.5 KNT için (%66.91) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %11 ÇB-%0.5 KNT (%71.63), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %3 ÇB-%1.5 KNT (%60.00) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %11 BD-%0.5 KNT (%75.77), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %3 BD-%0.5 KNT (%57.83) levhalarında elde edilmiştir.

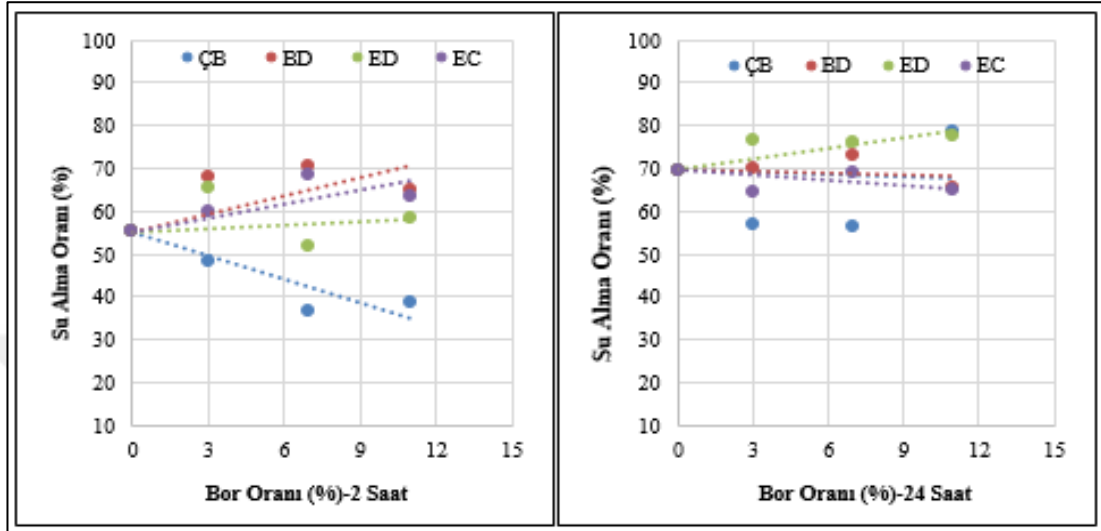
ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %11 ED-%1 KNT (%76.97), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %3 ED-%1 KNT (%63.10) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %11 EC-%0.5 KNT (%82.10), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %7 EC-%1.5 KNT (%67.95) levhalarında elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre 24 saat sonunda bor içermeyen serilerde KNT oranı arttıkça su alma oranı artarken bor'lu serilerde bor türü ve KNT oranına göre değişkenlik göstermektedir. 2 saat ile 24 saatlik su alma değer değişimleri karşılaştırıldığında 2 saatte en fazla %11 BD-%0.5 KNT örneğinde gerçekleşirken, 24 saatte emilen su miktarı ise % 4-22 aralığında değişmiştir.

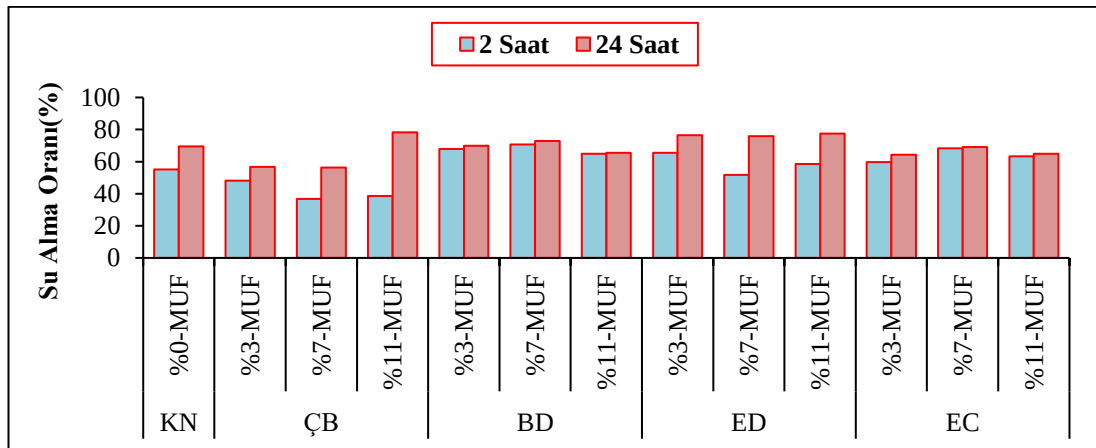
4.1.2.3. MUF tutkalı bor içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları

Farklı bor türleri kullanılarak MUF'lu üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma sonuçları Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.12. MUF'lu borlu yonga levhalara ait su alma oranlarının karşılaştırılması

MUF tutkalı üretilen yonga levhalarda kullanılan bor türlerinde kontrol numunesine göre su alma oranlarında 2 ve 24 saatlik süreler incelendiğinde genellikle azalma (ÇB hariç) meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı bor türleri kullanılarak MUF'lu yonga levhalara ait 2 ve 24 saat su alma sonuçları

Melamin ürefoormaldehit tutkalı için kontrol numunesinin iki ve yirmi dört saat su alma değerleri sırasıyla %55.15 ve %69.52 olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri

%3 ÇB (%48.06-56.79), kontrol numunesine göre (%12.85-18.31) oranında daha azdır. %7 ÇB (%36.70-56.41), kontrol numunesine göre (%33.45-18.85) su alma miktarı oranı azalmıştır. %11 ÇB ise (%38.64-78.35), kontrol numunesine göre 2 saatlik su alma değerinde %29.93 oranında az 24 saatte ise %12.70 oranında daha fazla su almıştır.

BD katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri %3 BD (%67.91-69.97), kontrol numunesine göre (%23.13-0.64) oranında daha fazladır. %7 BD (%70.59-72.92), kontrol numunesine göre (%27.99-3.98) oranında daha fazla su almıştır. %11 BD ise (%64.96-65.60), kontrol numunesine göre 2 saatlik su alma değerinde %17.78 oranında fazla 24 saatte ise %5.63 oranında daha az su almıştır.

ED katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri %3 ED (%65.42-76.53), kontrol numunesine göre (%18.62-10.08) oranında daha fazladır. %7 ED (%51.74-75.85), kontrol numunesine göre 2 saatlik su alma değerinde %6.18 oranında az, 24 saatte ise %9.10 oranında daha fazla su almıştır. %11 ED ise (%58.56-77.49), kontrol numunesine göre her iki ölçüm içinde %6.18-11.46 daha fazla su almıştır.

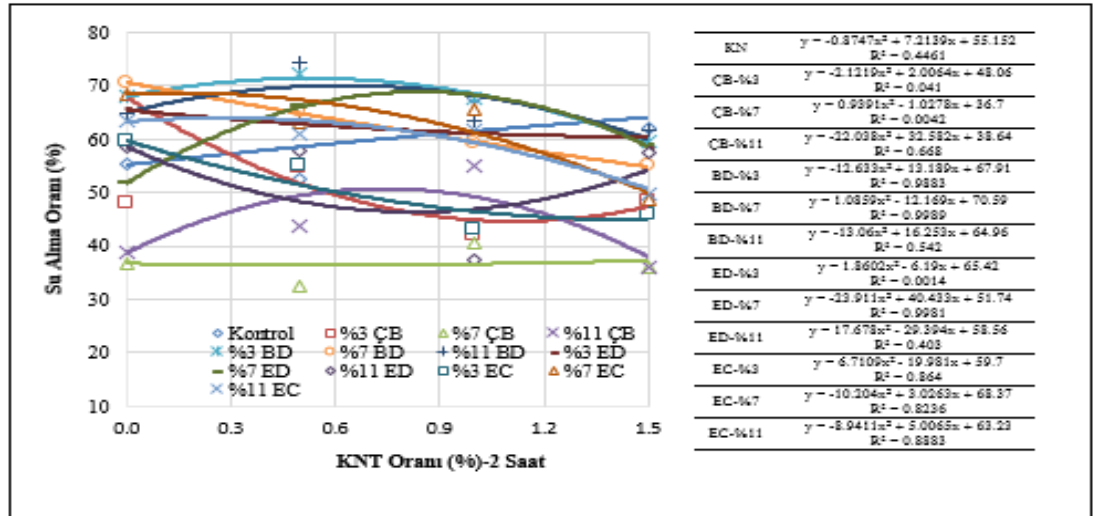
EC katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat su alma değerleri %3 EC (%59.70-64.39), kontrol numunesine göre 2 saatlik su alma değerinde %8.25 oranında fazla, 24 saatte ise %7.37 oranında daha az su almıştır. %7 EC (%68.37-69.15), kontrol numunesine göre 2 saatlik su alma değerinde %23.97 oranında fazla, 24 saatte ise %0.53 oranında daha az su almıştır. %11 EC (%63.23-64.96), kontrol numunesine göre 2 saatlik su alma değerinde %14.65 oranında fazla, 24 saatte ise %6.55 oranında daha az su almıştır.

Bu sonuçlara göre 2 saatte en yüksek su emen yonga levhalar %11 BD- %7 BD-%7 EC-%11 EC iken, 22 saatlik dilimdede su miktarı en az değişen yonga levhalar olarak belirlenmiştir. 22 saatlik zaman diliminde en fazla su emen yonga levha ise %11 ÇB'dir.

Üretilen yonga levhaların suda bekleme süresi arttıkça MUF ve UF’lu gruplarda su alma miktarında artış meydana gelmiştir. MUF ve UF’lu levhalar karşılaştırıldığında genellikle UF’lu levhaların su alma miktarlarında daha fazla artış meydana gelmiştir. Bu durum MUF tutkalının suya dayanıklı özelliğinden kaynaklanabilir. MUF ve UF’lu levhalarda 2 ve 24 saat için kontrol numunesi ile borlu seriler karşılaştırıldığında en fazla BD, en az ÇB serilerinde su alma miktarında artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.

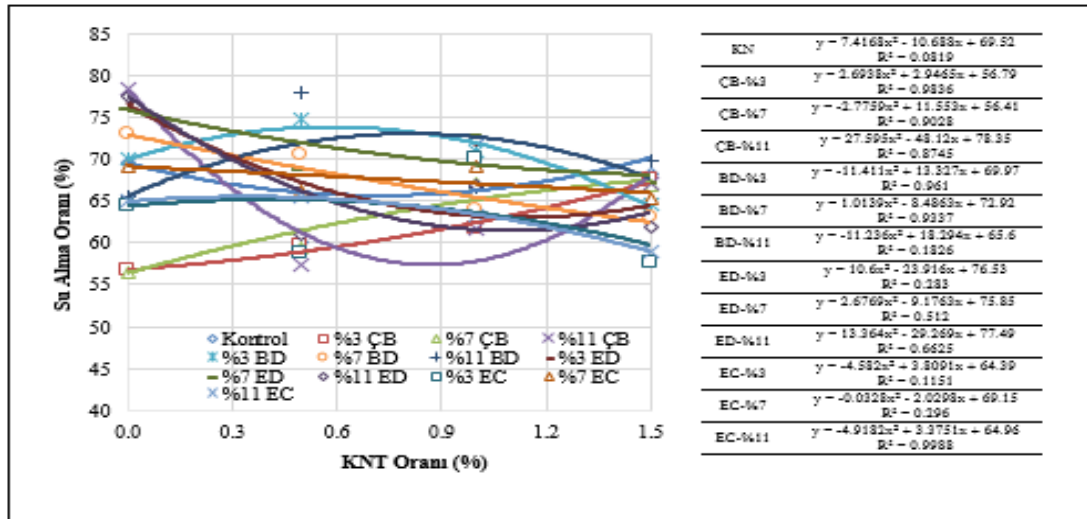
4.1.2.4. MUF tutkalı bor ve KNT içeren yonga levhaların su alma tayini sonuçları

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak melamin ürefoomaldehit tutkalı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma sonuçları Şekil 4.14, Şeki 4.15 ve Şekil 4.16’da, 2 ve 24 saat için her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK A’da verilmiştir.



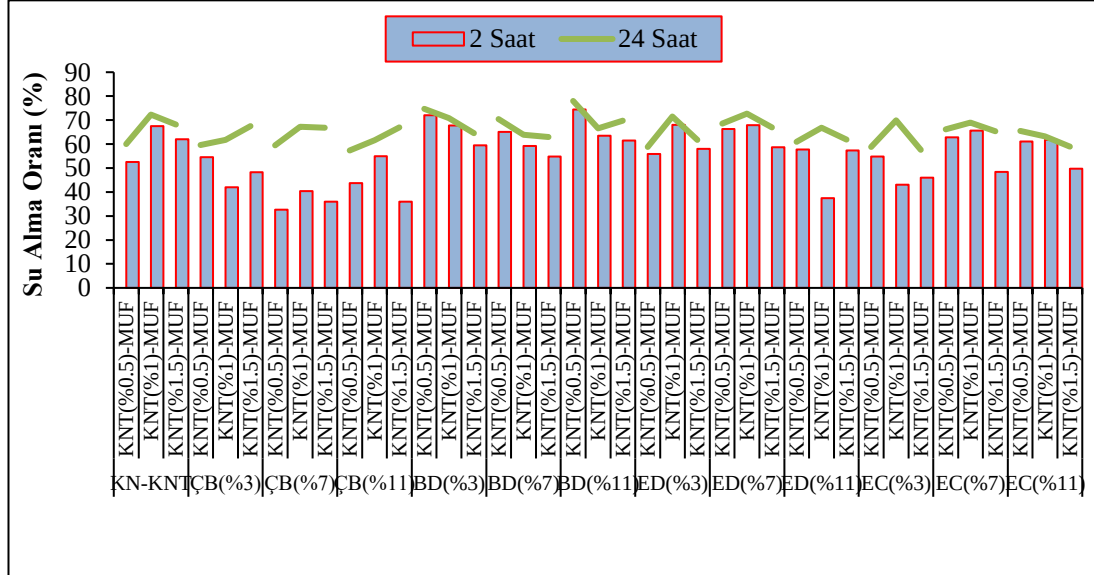
Şekil 4.14. MUF’lu bor ve KNT’li yonga levhalara ait 2 saat su alma oranlarının karşılaştırılması

MUF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre su alma oranında genellikle azalma meydana gelmiştir. ÇB’nin su alma miktarındaki değişim incelendiğinde KNT oranına bağlı olarak belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.15. MUF'lu üretilen yonga levhalara ait 24 saat su alma oranlarının karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre su alma oranında genellikle azalma meydana gelmiştir. KNT oranına bağlı olarak kritik değişim genellikle %1 olarak belirlenmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. MUF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat su alma sonuçları

Melamin üreormaldehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin iki saat su alma değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%52.53), %1 KNT (%67.50) ve %1.5 KNT için (%62) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma

değeri %11 ÇB-%1 KNT (%54.94), en düşük iki saat su alma değeri %7 ÇB-%0.5 KNT (%32.61) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma değeri %11 BD-%0.5 KNT (%74.45), en düşük iki saat su alma değeri %7 BD-%1.5 KNT (%54.87) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma değeri %3 ED-%1 KNT (%67.98), en düşük iki saat su alma değeri %11 ED-%1 KNT (%37.39) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat su alma %7 EC-%1 KNT (%65.63), en düşük iki saat su alma değeri %3 EC-%1 KNT (%43.04) levhalarında elde edilmiştir.

Melamin üreformaldehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yirmi dört saat su alma değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%60.00) %1 KNT (%72.28) ve %1.5 KNT için (%68.17) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %3 ÇB-%1.5 KNT (%67.50), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %11 ÇB-%0.5 KNT (%57.36) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %11 BD-%0.5 KNT (%78.01), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %7 BD-%1.5 KNT (%62.97) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma değeri %7 ED-%1 KNT (%72.69), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %3 ED-%0.5 KNT (%58.86) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat su alma %3 EC-%1 KNT (%69.95), en düşük yirmi dört saat su alma değeri %3 EC-%1.5 KNT (%57.68) levhalarında elde edilmiştir.

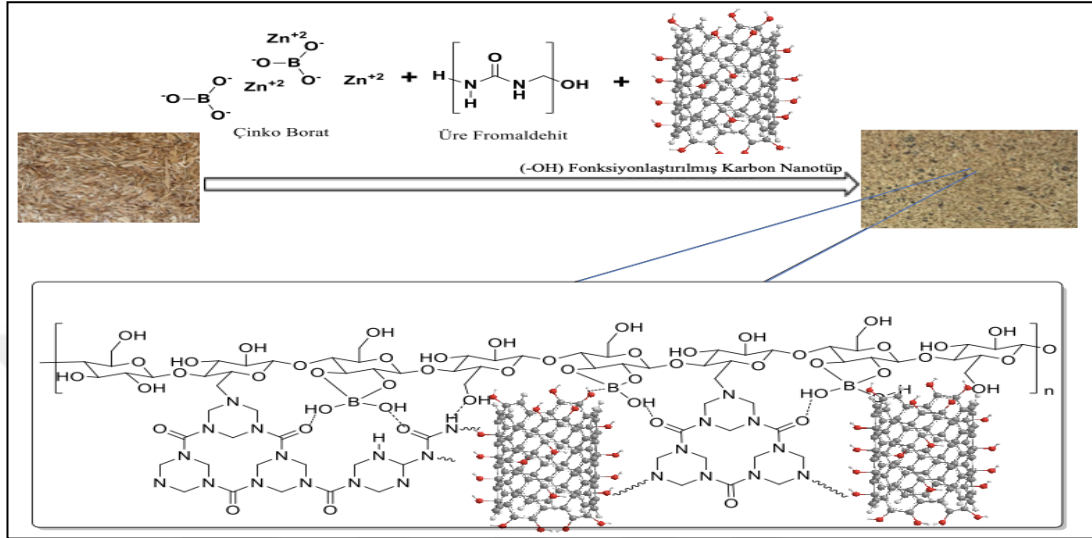
Elde edilen sonuçlara göre 24 saat sonunda bor içermeyen serilerde KNT oranı arttıkça su alma oranı artarken bor'lu serilerde bor türü ve KNT oranına göre değişkenlik göstermektedir. 2 saat ile 24 saatlik su alma değer değişimleri karşılaştırıldığında 2 saatte en fazla %11 BD-%0.5 KNT örneğinde gerçekleşirken, 24 saatte emilen su miktarı ise % 5-37 aralığında değişmiştir.

Borla birlikte karbon nanotüp (bor+KNT) kullanılarak üretilen yonga levhaların suda bekleme süresi arttıkça MUF ve UF'lu gruplarda su alma miktarında artış meydana gelmiştir. MUF ve UF'lu levhalar karşılaştırıldığında genellikle UF'lu levhaların su alma miktarlarında daha fazla artış meydana gelmiştir. MUF ve UF'lu levhalarda 2 ve 24 saat için kontrol numunesi ile borlu seriler karşılaştırıldığında UF'lu levhalarda en fazla EC, en az ÇB serilerinde MUF'lu levhalarda ise en fazla BD, en az ÇB serilerinde su alma miktarında artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen yonga levhaların, bor ve karbon nanotüpün birlikte kullanıp üretildiği yonga levhalara göre su alma miktarında genellikle daha fazla artışın olduğu belirlenmiştir.

UF tutkallı üretilen BD serili yonga levhalarda su alma miktarının kontrol numunesine göre genellikle fazla olması, bu bor türünün suda kolay bir şekilde çözünmesinden dolayı olabilir. Bunun nedenleri; çözelti haline getirilirken yeterince çözünmenin gerçekleşmemesi, yongalara püskürtüldükten sonra çeperlerdeki gözeneklere yeterince nüfuz edememesi, yongaların yüzeyinde kaldığı içinde suda zamanla eriyip yongaları yumuşattığı için su alma miktarında artışa neden olmuş olabilir. ÇB serili yonga levhalarda su alma miktarının genellikle az olmasının nedeni, ÇB'in çözelti haline getirilirken iyi çözünmesi, yongalara püskürtüldükten sonra çeperlerdeki gözeneklere iyi nüfuz edip kapatmasından dolayı suyun yongalara daha zor temas etmesini sağlamış olup diğer bor türlerine göre su alma miktarındaki artış daha az gerçekleşmiş olabilir. Süre arttıkça her iki seride gerçekleşen su alma miktarındaki artış ise zamanla suya karşı etkilerinin azalmasından kaynaklanmıştır.

Borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen yonga levhaların su alma miktarında meydana gelen azalma, karbon nanotüpün tutkal içerisinde homojen bir şekilde dağılım ve yeterli bağlanma gerçekleştirmesi sonucundan kaynaklı olabileceği gibi yonga çeperlerine nüfuz etmiş bor türleri ile karbon nanotüpün etkileşimi sonucu

çeperlerdeki bor türlerini bağlaması sonucu da olabilir. Bu sayılan nedenlerden dolayı apolar özellikteki karbon nanotüpler suyun yongalara ulaşmasında bariyer görevi görüp su alma miktarında azalma meydana getirmiş olabilir. Bor ve karbon nanotüp arasında meydana gelecek muhtemel mekanizma Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

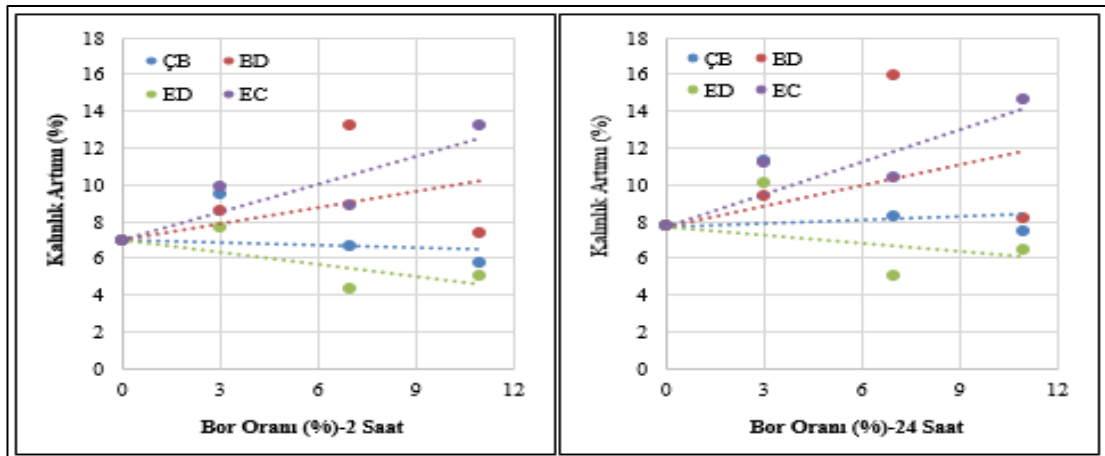


Şekil 4.17. KNT-Bor ve Selüloza ait beklenen mekanizma

4.1.3. Kalınlık artımı tayini sonuçları

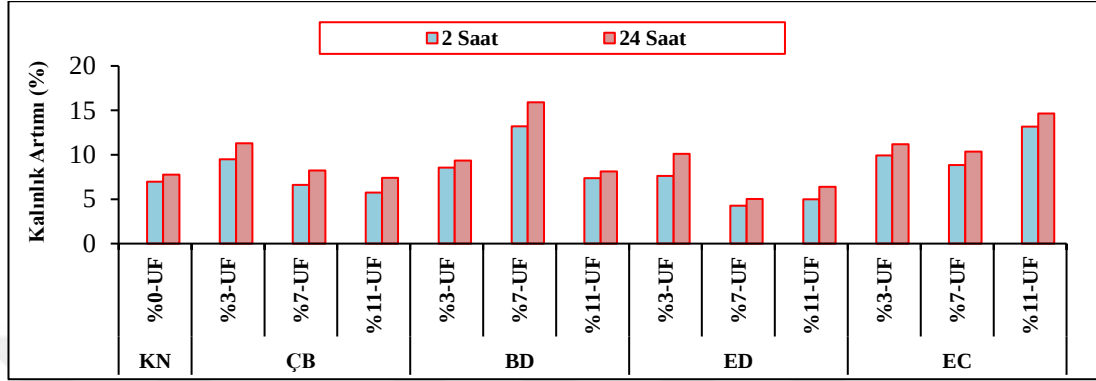
4.1.3.1. UF tutkalı bor içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları

Farklı bor türleri kullanılarak UF’lu üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.18. UF’lu üretilen borlu yonga levhalara ait kalınlık artımı oranlarının karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda kullanılan bor türlerinde kontrol numunesine göre kalınlık artımı oranlarında 2 ve 24 saatlik süreler incelendiğinde genellikle artış meydana gelmiştir. ED'li üretilen levhalarda ise azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Farklı bor türleri kullanılarak UF'lu yonga levhalara ait 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları

Üreformatdehit tutkalı için kontrol numunesinin iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri sırasıyla %6.97 ve %7.75 olarak belirlenmiştir. ÇB katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri %3 ÇB (%9.50-11.28), kontrol numunesine göre %36.29-45.54 oranında daha fazladır. %7 ÇB (%6.63-8.22), kontrol numunesine göre 2 saatlik kalınlık artım değerinde %4.87 oranında az 24 saatte ise %6.06 oranında daha fazla kalınlıkta artış meydana gelmiştir. %11 ÇB ise (%5.76-7.42), kontrol numunesine göre %17.36-4.25 oranında azalmıştır

BD katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri %3 BD (%8.54-9.36), kontrol numunesine göre %2.52-20.77 oranında artmıştır. %7 BD (%13.21-15.91), kontrol numunesine göre %89.52-105.29 oranında artmıştır. %11 BD (%7.38-8.12), kontrol numunesine göre %5.88-4.77 oranında azalmıştır.

ED katkıli serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri %3 ED (%7.61-10.11), kontrol numunesine göre %9.18-30.45 oranında artmıştır. %7 ED (%4.28-5.01), kontrol numunesine göre

%38.59-35.35 oranında azalmıştır. %11 ED (%4.99-6.41), kontrol numunesine göre %28.40-17.29 oranında azalmıştır.

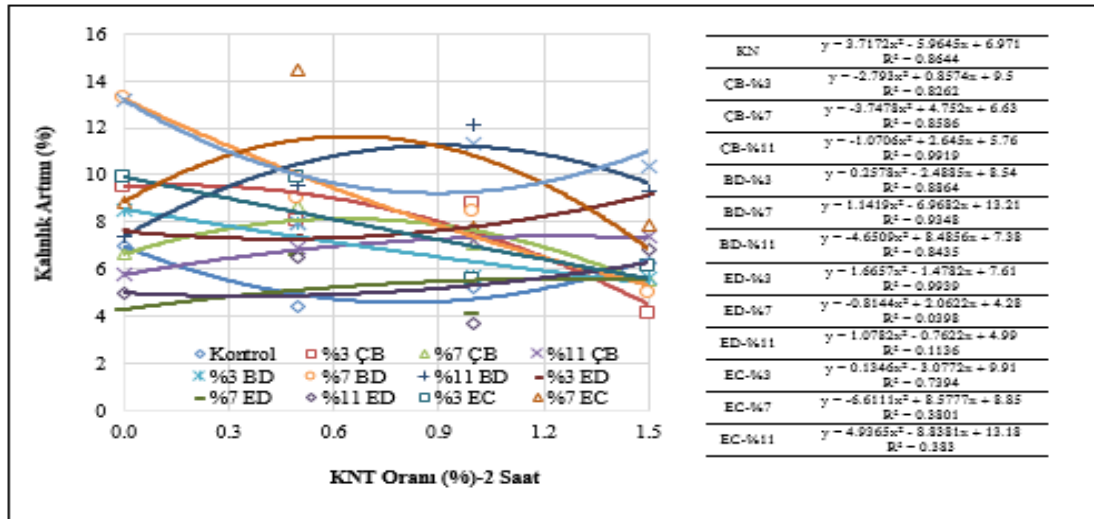
EC katkılı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri %3 EC (%9.91-11.19), kontrol numunesine göre %42.18-44.38 oranında artmıştır. %7 EC (%8.85-10.37), kontrol numunesine göre %26.97-33.80 oranında artmıştır. %11 EC (%13.18-14.65), kontrol numunesine göre %89.09-89.03 oranında artmıştır.

Su emme değerlerinde bor'lu numunelerin tamamının kontrol numunesine göre daha fazla su emmiş olmasına rağmen aynı sonuçların kalınlık artışından elde edilememesi emilen suyun sadece yongalar tarafından değil, yongalar arası boşluklardan da olabileceği şeklinde yorumlanabilir.

UF ile elde edilen sonuçlara göre EC'li serilerin tamamında kontrol numunesine göre daha yüksek kalınlık artımı değerleri ölçülmüştür. ÇB-BD ve ED serilerin %11 bor içeren karışımlarında kontrol numunesine göre daha az kalınlık artımı ölçülmesine rağmen %3 bor içeren serilerin tamamında kontrol numunesine göre daha yüksek kalınlık artımı değerleri ölçülmüştür. %7 bor ilavesinde ise bor türüne göre değişkenlik göstermektedir.

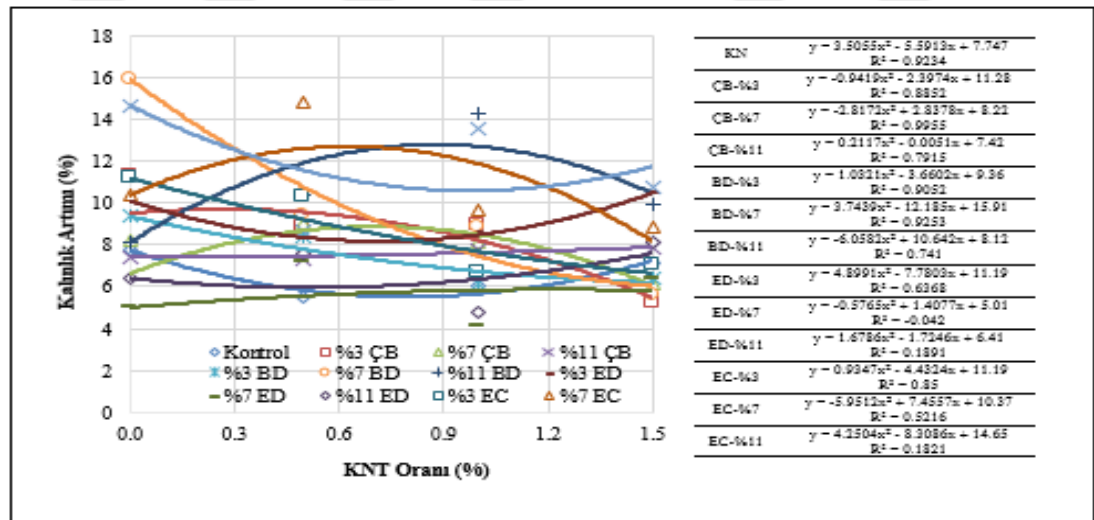
4.1.3.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları

Bor türü ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkallı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları Şekil 4.20 Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de, 2 ve 24 saat için her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK A'da verilmiştir.



Şekil 4.20. UF'lu yonga levhalara ait 2 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre kalınlıkta artım oranında genellikle artış meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak kritik değişim genellikle %1 olarak belirlenmiş olup bu orandan sonra düşüş meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.21. UF'lu yonga levhalara ait 24 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre kalınlıkta artım oranında genellikle artış meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak kritik değişim genellikle %1 olarak belirlenmiş olup bu orandan sonra düşüş meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22. UF'lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları

Üreformatdehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin iki saat kalınlıkta artım değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%4.43), %1 KNT (%5.21) ve %1.5 KNT için (%6.22) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %3 ÇB-%1 KNT (%8.76), en düşük %3 ÇB-%1.5 KNT (%4.10) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %11 BD-%1 KNT (%12.14), en düşük %7 BD-%1.5 KNT (%4.98) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %3 ED-%1.5 KNT (%9.17), en düşük %7 ED-%1 KNT (%4.08) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %7 EC-%0.5 KNT (%14.48), en düşük %3 EC-%1 KNT (%5.53) levhalarında elde edilmiştir.

Üreformatdehit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%5.49), %1 KNT (%6) ve %1.5 KNT için (%7.13) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %7 ÇB-%0.5 KNT (%9.03), en düşük %3 ÇB-%1.5 KNT (%5.23) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %11 BD-%1 KNT (%14.28), en düşük %7 BD-%1.5 KNT (%5.59) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %3 ED-%1.5 KNT (%10.46), en düşük %7 ED-%1 KNT (%4.19) levhalarında elde edilmiştir.

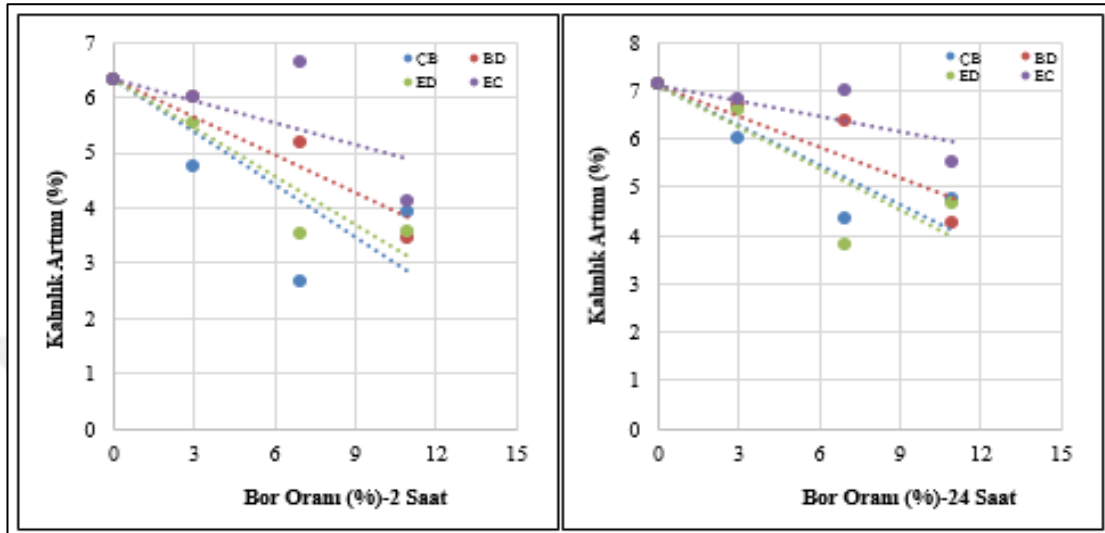
EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %7 EC-%0.5 KNT (%14.78), en düşük %3 EC-%1 KNT (%6.63) levhalarında elde edilmiştir.

Borsuz örneklerde KNT kullanım oranı artışı ile kalınlık değerleri artmaktadır. 2 ve 24 saatlik kalınlık artımı değerleri karşılaştırıldığında 2 saat için en yüksek ve en düşük değerlerin elde edildiği yonga levhalardan 24 saatlik kalınlık artımı değerlerinde benzer davranış elde edilmiştir (ÇB en fazla kalınlık artımı değeri hariç). 24 saatlik kalınlık artımı değerlerin %78-98'i 2 saat içinde gerçekleşmiştir.

Tüm numunelerde en yüksek kalınlık ölçümleri bor türü ve oranına göre değişkenlik gösterirken (2 saat için 8.76-14.48 arası, 24 saat için 9.03-14.78 arası), en düşük kalınlık artımı değerleri bir birlerine yakındır (2 saat için 4.08-5.53 arası, 24 saat için 4.19-6.63 arası).

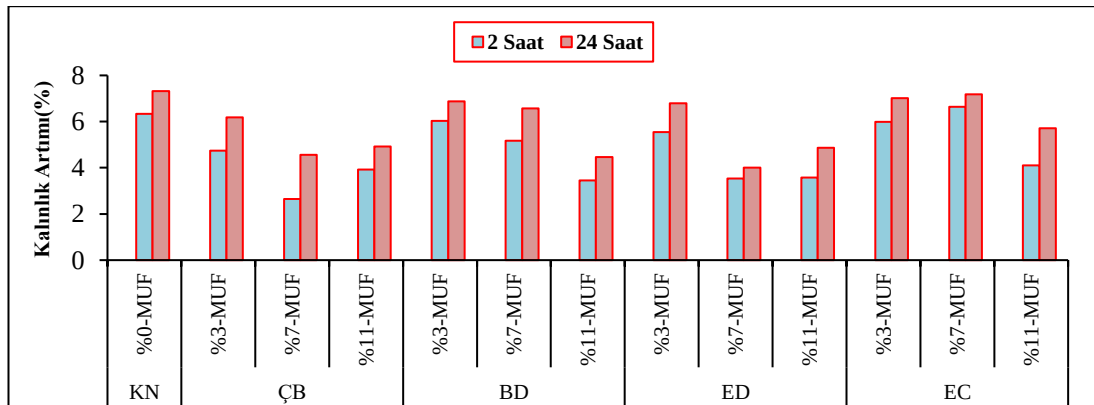
4.1.3.3. MUF tutkalı bor içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları

Farklı bor türleri kullanılarak MUF'lu üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.23. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait kalınlık artımı oranlarının karşılaştırılması

MUF tutkalı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre kalınlık artımı oranlarında 2 ve 24 saatlik süreler incelendiğinde genellikle azalma meydana gelmiştir. EC'li üretilen levhalarda ise % 7 oranında kullanıldığında azalma meydana geldi belirlenmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24. Farklı bor türleri kullanılarak MUF'lu yonga levhalara ait 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları

Melamin ürefoalaldehit tutkalı için kontrol numunesinin iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri sırasıyla %6.34 ve %7.32 olarak belirlenmiştir. ÇB katkı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %3 ÇB (%4.74-6.19), kontrol numunesine göre %25.23-15.43 oranında daha azdır. %7 ÇB (%2.65-4.56), kontrol numunesine göre %58.20-37.70 oranında azalmıştır. %11 ÇB (%3.93-4.93), kontrol numunesine göre %38.01-32.65 oranında azalmıştır.

BD katkı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %3 BD (%6.02-6.88), kontrol numunesine göre %5.04-6.01 oranında azalmıştır. %7 BD (%5.18-6.56), kontrol numunesine göre %18.29-10.38 oranında azalmıştır. %11 BD (%3.45-4.46), kontrol numunesine göre %45.58-39.07 oranında azalmıştır.

ED katkı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %3 ED (%5.54-6.79), kontrol numunesine göre %12.61-7.24 oranında azalmıştır. %7 ED (%3.54-4.01), kontrol numunesine göre %44.16-45.21 oranında azalmıştır. %11 ED (%3.58-4.87), kontrol numunesine göre %43.53-33.46 oranında azalmıştır.

EC katkı serisinde üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında iki ve yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %3 EC (%5.99-7.01), kontrol numunesine göre %5.52-4.23 oranında azalmıştır. %7 EC (%6.64-7.19), kontrol numunesine göre 2 saatlik kalınlık artım değeri %4.73 oranında fazla 24 saatte ise %1.77 oranında kalınlık artım değeri azalma meydana gelmiştir. %11 EC ise (%4.10-5.71), kontrol numunesine göre %35.33-2.99 oranında azalmıştır.

MUF ile elde edilen sonuçlara göre tüm serilerde (%7 EC-2 saat hariç) azalma meydana gelmiştir.

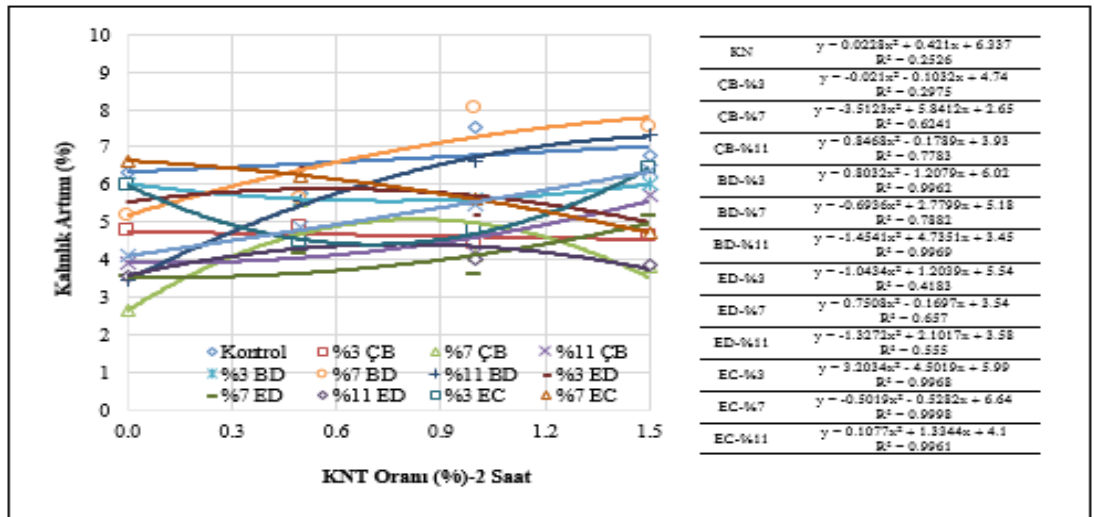
Üretilen yonga levhaların suda bekleme süresi arttıkça MUF ve UF'lu gruplarda kalınlık artım miktarında artış meydana gelmiştir. MUF ve UF'lu levhalar karşılaştırıldığında genellikle UF'lu levhaların kalınlık artım miktarlarında daha fazla artış meydana gelmiştir. MUF ve UF'lu levhalarda 2 ve 24 saat için kontrol numunesi

ile borlu seriler karşılaştırıldığında UF'lu levhalarda en fazla EC, en az ED serilerinde MUF'lu levhalarda ise en fazla EC, en az ÇB serilerinde kalınlık artımı miktarında artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir.

ED ve ÇB serili yonga levhalarda kalınlık artım miktarının genellikle az olmasının nedeni, ED ve ÇB' in çözelti haline getirilirken iyi çözünmesinden kaynaklı olabilir. Bor çözeltileri yongalara püskürtüldükten sonra çeperlerdeki gözeneklere iyi nüfuz edip kapatmasından dolayı suyun yongalara daha zor temas etmesini sağlamış olup diğer bor türlerine göre kalınlık artım miktarındaki artış daha az gerçekleşmiş olabilir. Süre arttıkça her iki seride gerçekleşen kalınlık artım miktarındaki artış ise zamanla suya karşı etkilerinin azalmasından kaynaklanmış olabilir.

4.1.3.4. MUF tutkalı bor ve KNT içeren yonga levhaların kalınlık artımı tayini sonuçları

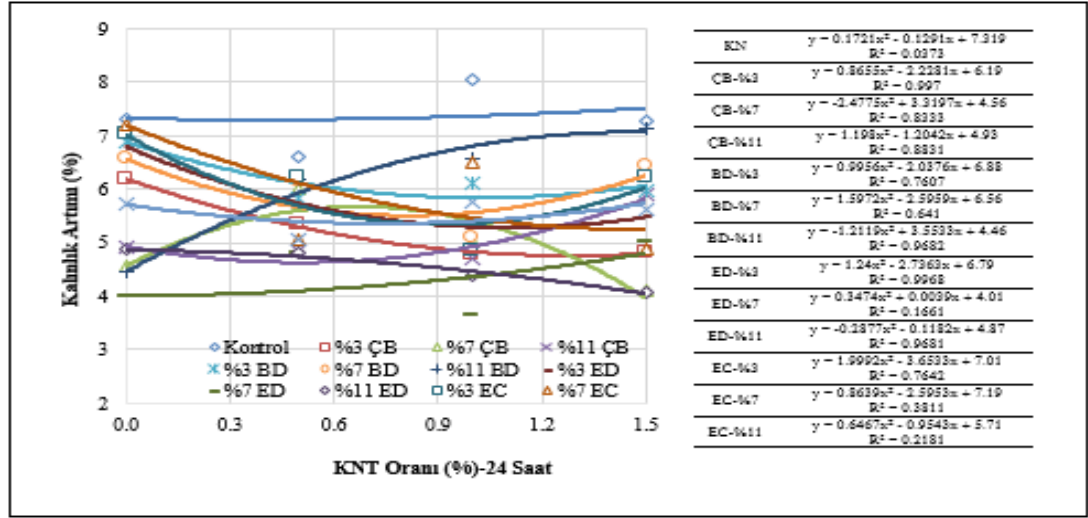
Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak MUF tutkalı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de, 2 ve 24 saat için her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK A'da verilmiştir.



Şekil 4.25. MUF'lu yonga levhalara ait 2 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması

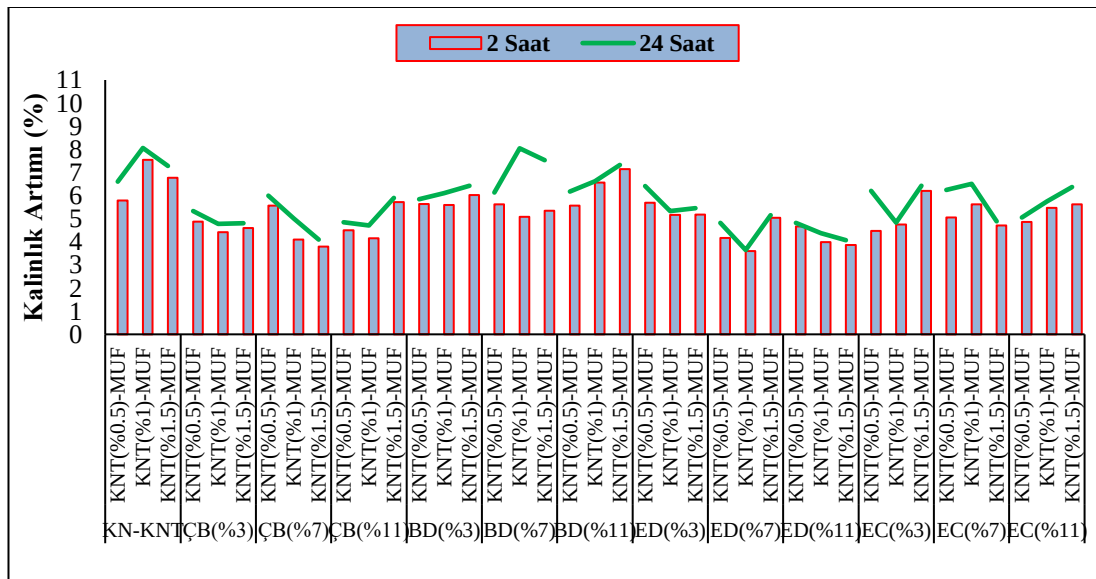
MUF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre kalınlıkta artım oranında genellikle azalma meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına

bağlı olarak kritik değişim genellikle %1 olarak belirlenmiş olup bu orandan sonra artış meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.26. MUF’lu yonga levhalara ait 24 saat kalınlıkta artım oranlarının karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre kalınlıkta artım oranında genellikle azalma meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak kritik değişim genellikle %1 olarak belirlenmiş olup bu orandan sonra genellikle artış meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. MUF’lu serilerde KNT oranı, bor türü ve oranına göre 2 ve 24 saat kalınlık artımı sonuçları

MUF tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin iki saat kalınlıkta artım değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%5.79), %1 KNT (%7.54) ve %1.5 KNT için (%6.77) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %11 ÇB-%1.5 KNT (%5.72), en düşük %7 ÇB-%1.5 KNT (%3.80) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %7 BD-%1 KNT (%8.04), en düşük %11 BD-%0.5 KNT (%5.57) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %3 ED-%0.5 KNT (%6.41), en düşük %7 ED-%1 KNT (%3.60) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek iki saat kalınlıkta artım değeri %3 EC-%1.5 KNT (%6.42), en düşük %3 EC-%0.5 KNT (%4.48) levhalarında elde edilmiştir.

Melamin ürefoaldehyit tutkalı için sadece KNT kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yirmi dört saat kalınlıkta artım değerleri sırasıyla %0.5 KNT (%6.60), %1 KNT (%8.06) ve %1.5 KNT için (%7.28) olarak belirlenmiştir. ÇB katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %7 ÇB-%0.5 KNT (%5.99), en düşük %7 ÇB-%1.5 KNT (%4.10) levhalarında elde edilmiştir.

BD katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %7 BD-%1 KNT (%8.04), en düşük %3 BD-%0.5 KNT (%5.84) levhalarında elde edilmiştir.

ED katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört kalınlıkta artım değeri %3 ED-%0.5 KNT (%6.41), en düşük %7 ED-%1 KNT (%3.65) levhalarında elde edilmiştir.

EC katkılı serisinde farklı oranlarda KNT kullanılarak üretilen yonga levhalar karşılaştırıldığında en yüksek yirmi dört saat kalınlıkta artım değeri %7 EC-%1 KNT (%6.51), en düşük %3 EC-%1 KNT (%4.83) levhalarında elde edilmiştir.

Borsuz örneklerde KNT kullanım oranı artışı ile genellikle kalınlık değerleri artmaktadır. 2 ve 24 saatlik kalınlık artım değerleri karşılaştırıldığında 2 saat için en yüksek ve en düşük değerlerin elde edildiği yonga levhalardan 24 saatlik kalınlık artırımı değerlerinde benzer davranış elde edilmiştir. 24 saatlik kalınlık artırımı değerlerin %92-99'u 2 saat içinde gerçekleşmiştir.

Tüm numunelerde en yüksek kalınlık ölçümleri bor türü ve oranına göre değişkenlik gösterirken (2 saat için 5.72-8.04 arası, 24 saat için 5.99-8.05 arası), en düşük kalınlık artırımı değerleri bir birlerine yakındır (2 saat için 3.60-5.57 arası, 24 saat için 3.65-5.84 arası).

Borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen yonga levhaların suda bekleme süresi arttıkça MUF ve UF'lu gruplarda kalınlık artım miktarında artış meydana gelmiştir. MUF ve UF'lu levhalar karşılaştırıldığında genellikle UF'lu levhaların kalınlık artım miktarlarında daha fazla artış meydana gelmiştir. MUF ve UF'lu levhalarda 2 ve 24 saat için kontrol numunesi ile borlu seriler karşılaştırıldığında UF'lu levhalarda en fazla EC, en az ED serilerinde MUF'lu levhalarda ise en fazla BD, en az ED serilerinde kalınlık artım miktarında artışın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen yonga levhaların, bor ve karbon nanotüpün birlikte kullanıp üretildiği yonga levhalara göre kalınlık artım miktarında genellikle daha fazla artışın olduğu belirlenmiştir.

Üretilen BD ve EC serili yonga levhalarda kalınlık artım miktarının genellikle fazla olması, bu bor türlerinin suda kolay bir şekilde çözünmesinden dolayı olabilir. KNT ve tutkal/bor etkileşiminin homojen bir şekilde yeterince gerçekleşmemesi, yongalara püskürtüldükten sonra çeperlerdeki gözeneklere yeterince nüfuz edememesi, yongaların yüzeyinde kaldığı içinde suda zamanla eriyip yongaları yumuşattığı için kalınlık artım miktarında artışa neden olmuş olabilir. ED serili yonga levhalarda kalınlık artım miktarının genellikle az olmasının nedeni, ED' un çözelti haline getirilirken iyi çözünmesi, KNT'nin tutkal ve bor ile etkileşiminin yeterince

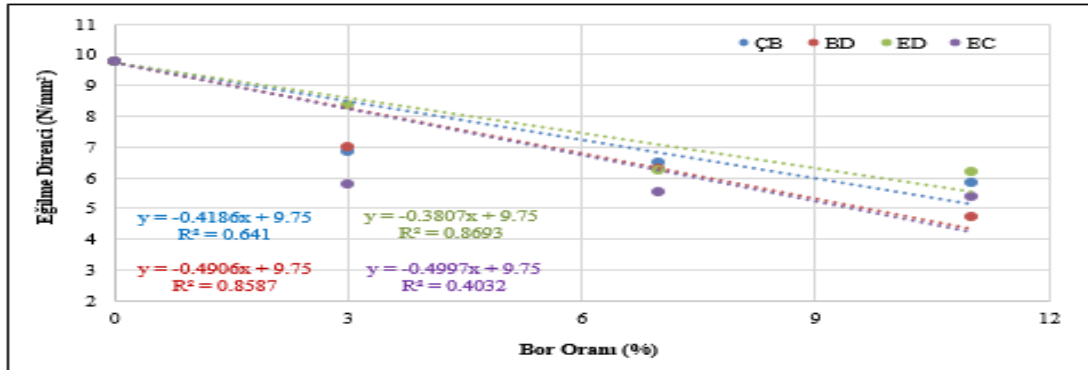
homojen gerçekleşmesinde kaynaklı olabilir. KNT ve tutkal/bor çözeltisinin yongalara püskürtüldükten sonra çeperlerdeki gözeneklere iyi nüfuz edip kapatmasından dolayı suyun yongalara daha zor temas etmesini sağlamış olup diğer bor türlerine göre kalınlık artım miktarındaki artış daha az gerçekleşmiş olabilir. Apolar özellik gösteren KNT katkı maddesinin polar özellik gösteren bor türlerini kısmen etkisiz hale getirmesinden kaynaklı da olabilir. Süre arttıkça her iki seride gerçekleşen kalınlık artım miktarındaki artış ise zamanla suya karşı etkilerinin azalmasından kaynaklanmış olabilir.

4.2. Mekanik Özellik Sonuçları

4.2.1. UF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

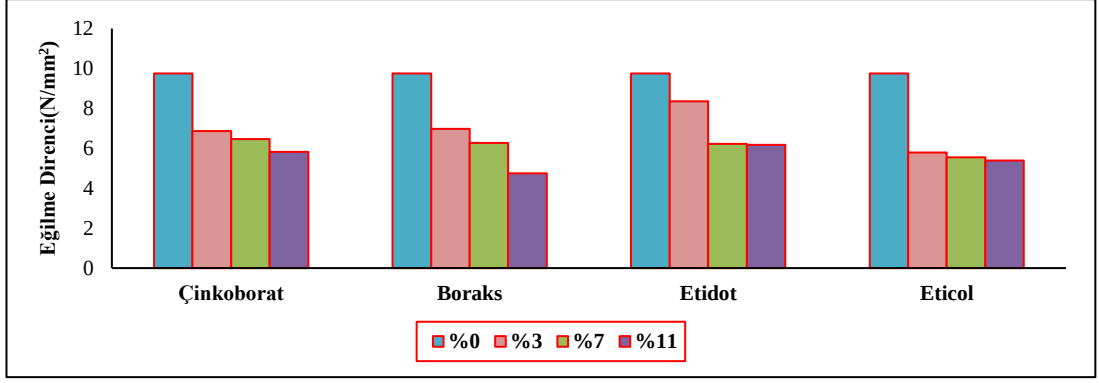
4.2.1.1. Eğilme direnci

Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF tutkallı yonga levhaların TS EN 310 (1999) standartına göre eğilme direnci sonuçları Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.28. UF’lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması

UF tutkallı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilme dirençlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.29’da verilmiştir.

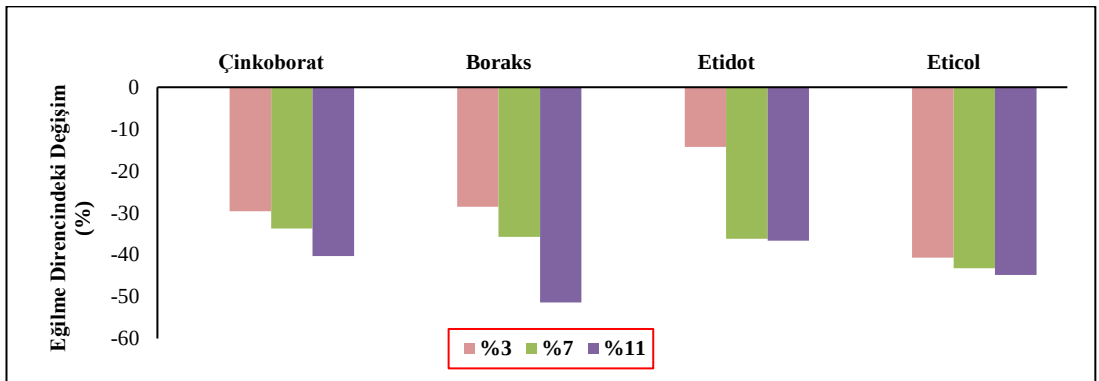


Şekil 4.29. UF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilme dirençleri sonuçları

UF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin eğilme direnci 9.75 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalarda en yüksek eğilme direnci %3 ED içeren numunede 8.36 N/mm^2 olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 BD içeren numunede 4.74 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Tüm örneklerde bor kullanım oranı arttıkça eğilme direnci de azalmaktadır. Yapılan testlerin sonuçları literatürdeki örneklerle uyum içerisinde bulunmuştur. Örneğin, Yalçinkaya (2014) tarafından yapılan çalışmada boraks, borik asit ve çinkoborat %3-5-7 oranlarında yonga levha üretiminde kullanıldığında oran arttıkça eğilme direnci değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Dönmez (2005) tarafından yapılan çalışmada ise çinkoborat %1.5-3-5 ve boraks %1.5 OSB üretiminde kullanıldığında kontrol numunesine göre oran arttıkça eğilme direncinde azalma meydana gelmiştir.

Kontrol numunesine göre bor oranı artışı ile eğilme direnci değişim oranları Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. UF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilme dirençlerindeki (%) değişim

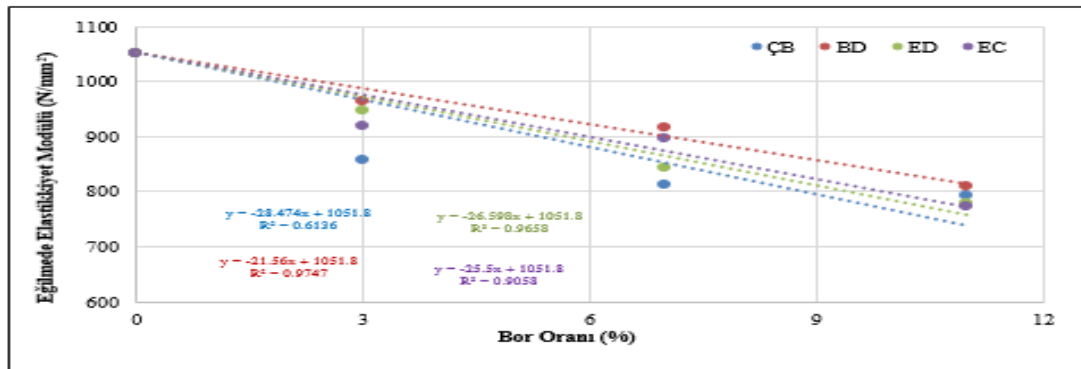
UF tutkallı borlu yonga levhalarda bor türlerinin %3-%7-%11 oranlarında kullanılması eğilme direncini sırasıyla ÇB’de %29.6-%33.7-%40.3 oranında azaltmıştır. BD’te eğilme direncini %28.5-%35.7-%51.4 oranında azaltmıştır. ED’te eğilme direncini %14.3-%36.2-%36.6 oranında azaltmıştır. Son olarak EC’de ise %40.7-%43.2-%44.8 oranında azalma meydana gelmiştir.

Bu kapsamda %3 oranında bor kullanımında eğilme direncinde en fazla kayıp EC’de en az kayıp ED’te, %7 oranına göre en fazla kayıp yine EC’de en az kayıp ÇB’de, %11 oranına göre en fazla kayıp ise BD’den elde edilmişken en az kayıp ED’te elde edilmiştir.

Tüm örneklerde UF’lu yongalevha üretiminde bor kullanımı eğilme dirençlerini azaltmıştır. Ancak tüm bor oranları dikkate alındığında eğilme direncinde en az kayıp ED’li seriden, en fazla ise EC’den elde edilmiştir. Bununla birlikte EC’de eğilme direncinde önemli azalma % 3 oranı kullanımında meydana gelmişken, ED’de %7 oranı kritik değerlerdir. ÇB ve BD’de diğer serilere göre nispeten bor oranına bağlı eğilme direnci azalmıştır.

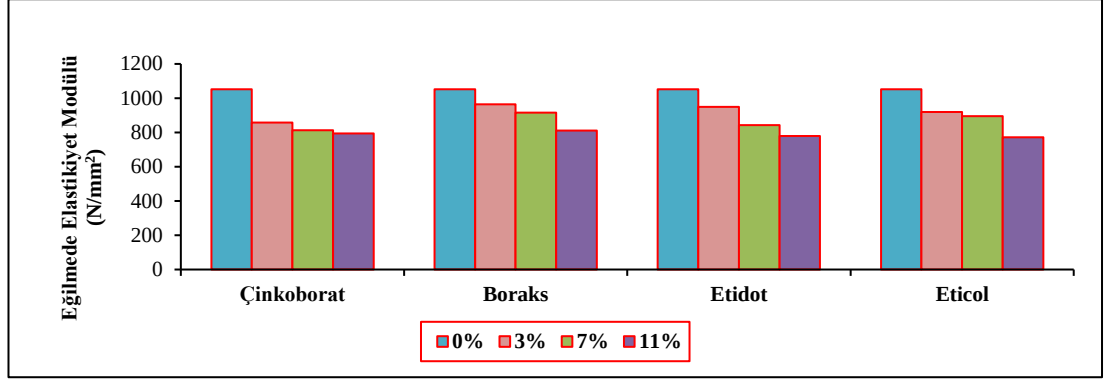
4.2.1.2. Eğilmede elastikiyet modülü

Üreformatdehit (UF) tutkallı borlu levhaların TS EN 310 (1999) standartına göre eğilmede elastikiyet modüllerine ait sonuçlar Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.31. UF’lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilmede elastikiyet modüllerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.32’de verilmiştir.

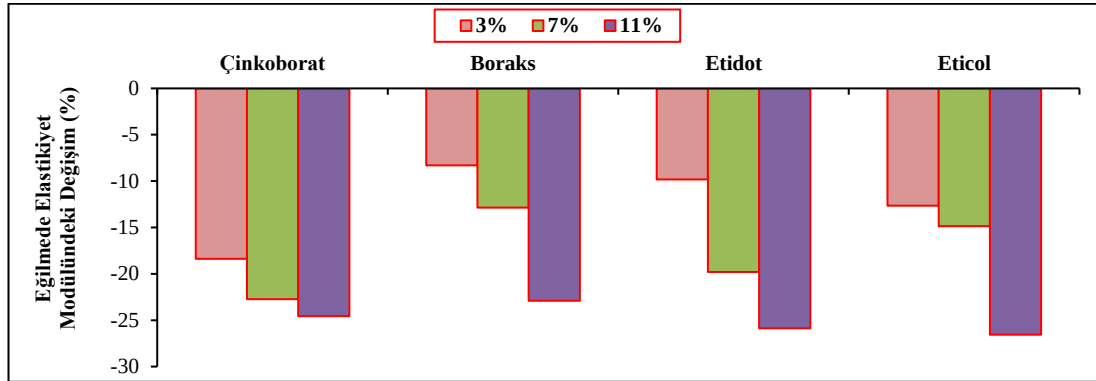


Şekil 4.32. UF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları

UF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü 1051.79 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen üreformatdehit tutkalı yonga levhalarda en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 BD içeren numunede 964.63 N/mm^2 olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %11 EC içeren numunede 772.51 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Tüm örneklerde bor kullanım oranının artması ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde azalma elde edilmiştir. Bu sonuç Yalçinkaya (2014) ve Dönmez (2015) sonuçları ile uyumludur. Bununla birlikte ilgili çalışmalarda bor oranları en fazla %7’ye kadar kullanılırken çalışmamızda bu oran %11 olarak kullanılmıştır.

Kontrol numunesine göre bor oranı artışı ile eğilmede elastikiyet modülündeki değişim oranları Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.33. UF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modüllerindeki (%) değişim

UF tutkalı borlu yonga levhalarda bor türlerinin %3-%7-%11 oranlarında kullanılması eğilmede elastikiyet modülleri sırasıyla ÇB’de %18.38-%22.73-%24.57 oranında azaltmıştır. BD’da %8.28, %12.85 ve %22.91 oranında azaltmıştır. ED’te eğilmede elastikiyet modülleri %9.83, %19.80 ve %25.86 oranında azaltmıştır. Son olarak EC’de ise %12.65, %14.84 ve %26.55 oranında azalma meydana gelmiştir.

UF’lu yonga levha üretiminde bor kullanımı eğilmede elastikiyet modüllerini azaltmıştır. Tüm sonuçlara göre %11 bor kullanımı ile eğilmedeki elastikiyet modülünde en fazla %22.91 ile %26.55 arasında azalma meydana gelmiştir. Bu kapsamda %3 oranında bor kullanımında eğilmede elastikiyet modülünde en fazla kayıp ÇB’de en az kayıp BD’te, %7 oranına göre en fazla kayıp ÇB’de en az kayıp BD’te, %11 oranına göre en fazla kayıp ise EC’de en az kayıp BD’te gerçekleşmiştir. Tüm bor türlerinin eğilmede elastikiyet modüllerindeki yüzde değişimler dikkate alındığında ise elastikiyette azalma genellikle en az BD, en fazla ÇB’de (%11 hariç) meydana gelmiştir.

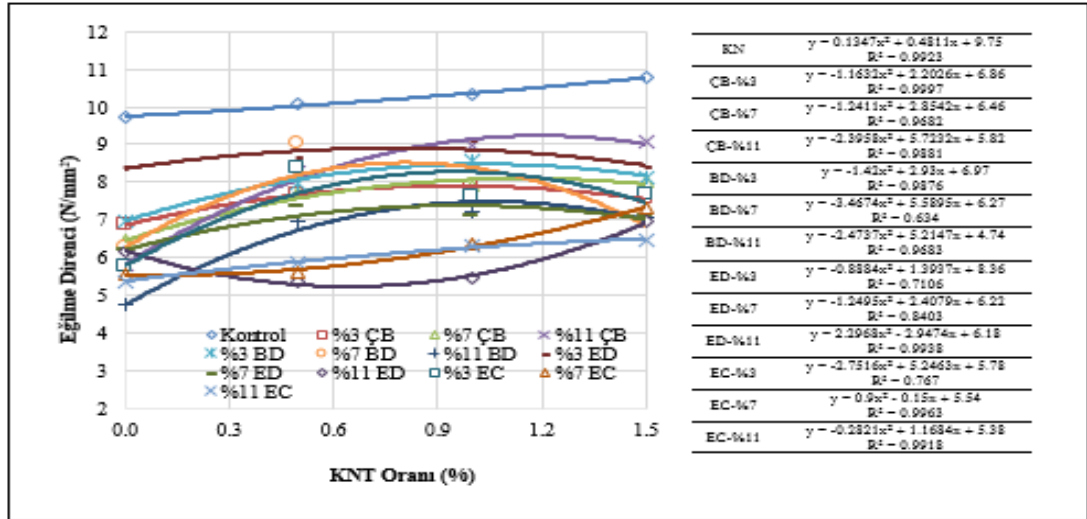
Üretilen UF’lu serili yonga levhalarda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde meydana gelen azalma kullanılan bor türlerinin çözelti haline getirilirken iyi çözünmeyip kristal halde kaldığı için tanecikler arasında kalıp malzemeyi daha gevrek hale getirmesinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yongalevhada kullanılacak katkı maddesinin pH değerinin nötr değerine yakın olması

istenir. Aksi takdirde asit veya bazlık derecelerinin yüksek olmasından dolayı liflere zarar vermekte ve yine levhaların mekanik özelliklerinde olumsuz etki yapabilmektedir. Bu özelliklerden dolayı da üretilen levhaların eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde azalma gerçekleşmiş olabilir.

4.2.2. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

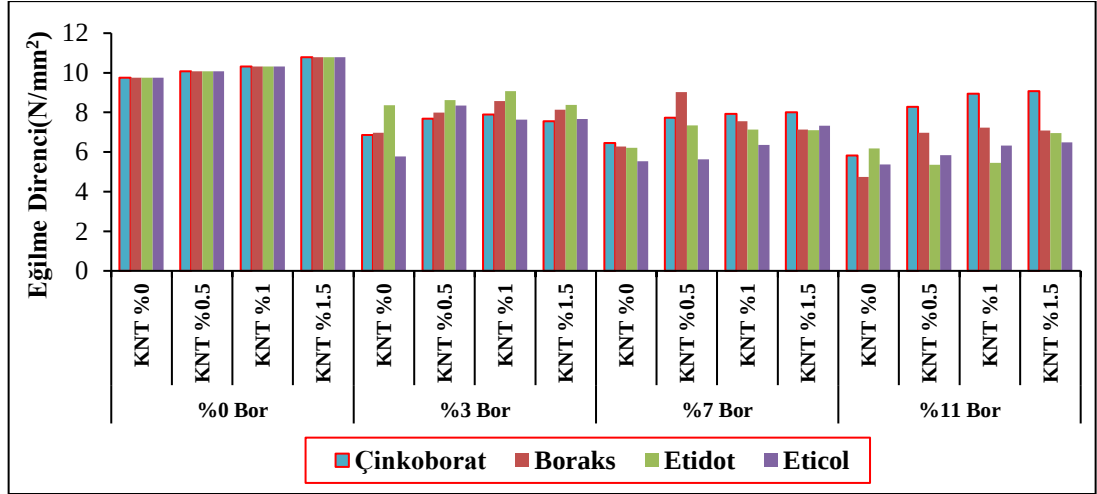
4.2.2.1. Eğilme direnci

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen yonga levhaların eğilme direnci sonuçları Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK B’de verilmiştir.



Şekil 4.34. UF’lu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması

UF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilme dirençlerinde artış meydana gelmiştir. Ayrıca KNT oranına bağlı olarak levhaların eğilme dirençlerinde artış meydana gelmiş olup, kritik değişim genellikle %1 olarak gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra direnç değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.35. UF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilme direnci sonuçları

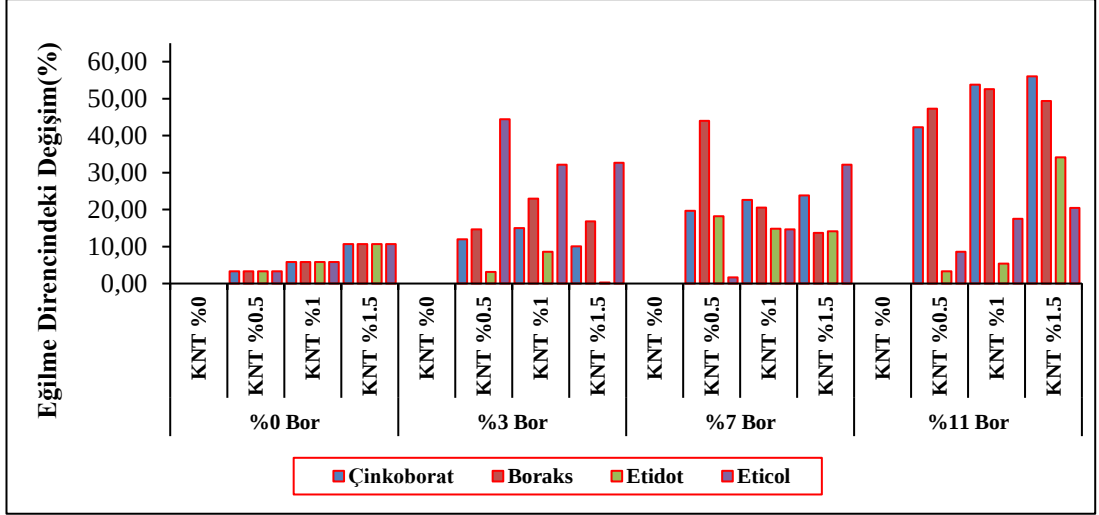
UF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol ve KNT katkılı numunelerin eğilme dirençleri sırasıyla %0 Bor-%0 KNT-%9.75, %0.5 KNT-%10.07, %1 KNT-%10.32 ve %1.5 KNT-%10.79 N/mm² olarak elde edilmiştir. ÇB ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %11 ÇB-%1.5 KNT içeren numunede 9.08 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %3 ÇB-%1.5 KNT içeren numunede 7.55 N/mm² olarak elde edilmiştir.

BD ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %7 BD-%0.5 KNT içeren numunede 9.03 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 BD-%0.5 KNT içeren numunede 6.98 N/mm² olarak elde edilmiştir.

ED ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %3 ED-%1 KNT içeren numunede 9.08 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 ED-%0.5 KNT içeren numunede 5.35 N/mm² olarak elde edilmiştir.

EC ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %3 EC-%0.5 KNT içeren numunede 8.35 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %7 EC-%0.5 KNT içeren numunede 5.63 N/mm² olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor ve KNT oranı artışı ile üretilen yonga levhaların eğilme dirençlerindeki değişim (%) sonuçları Şekil 4.36'da verilmiştir.



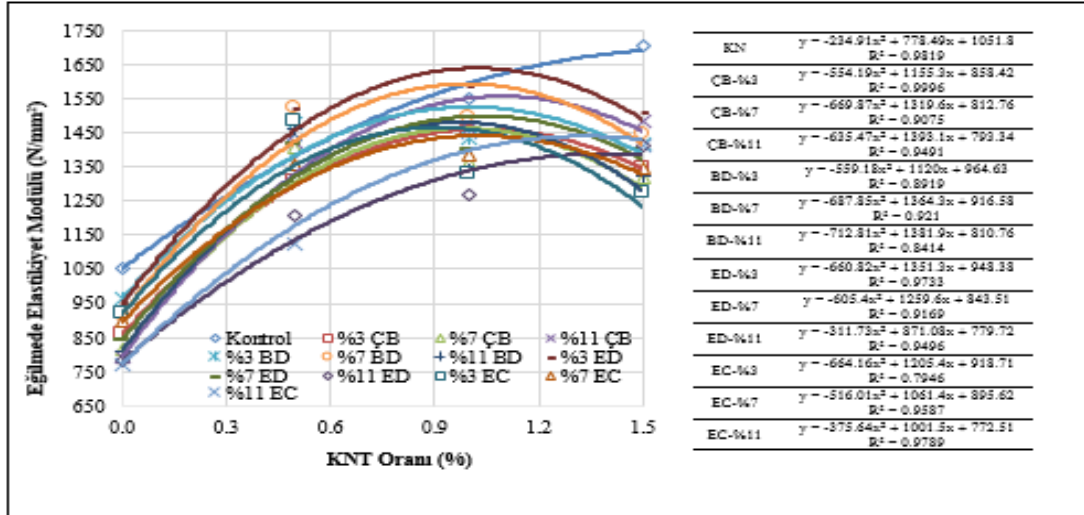
Şekil 4.36. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalara ait eğilme direnci değişimi (%)

UF tutkalı için borsuz KNT'li üretilen levhaların kontrol numunesi göre eğilme dirençlerindeki değişimler sırasıyla %0.5 KNT (%3.28), %1 KNT (%5.85) %1.5 KNT (%10.67) olarak belirlenmiştir. ÇB-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece ÇB'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ÇB-%1.5 KNT (%56.01) serisinde artış meydana gelmiştir. BD-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece BD'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 BD-%1 KNT (%52.01) serisinde artış meydana gelmiştir. ED-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece ED'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ED-%1.5 KNT (%34.17) serisinde artış meydana gelmiştir. EC-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece EC'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %3 EC-%0.5 KNT (%44.46) serisinde artış meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre bor kullanılmadan KNT kullanım oranı artışı ile eğilme direncinde (%3.28-%10.67) KNT'siz ve borsuz levhaya göre artış meydana gelmiştir. Benzer olarak borlu serilerdede KNT kullanımı ile eğilme direnci artmaktadır. Ancak borlu numunelerde bor türü ve oranına göre eğilme direncindeki artış oranı değişmektedir. Örneğin en yüksek eğilme direnci borlu serilerde kendi içinde %11 ÇB-%1.5 KNT'de, %7 BD-%0.5 KNT'de, %3 ED-%1 KNT'de ve %3 EC-%1 KNT'li levhalardan elde edilmiştir. En düşük artış ise bor oranı değişiklik gösterecek şekilde genellikle %0.5 KNT kullanımında elde edilmiştir.

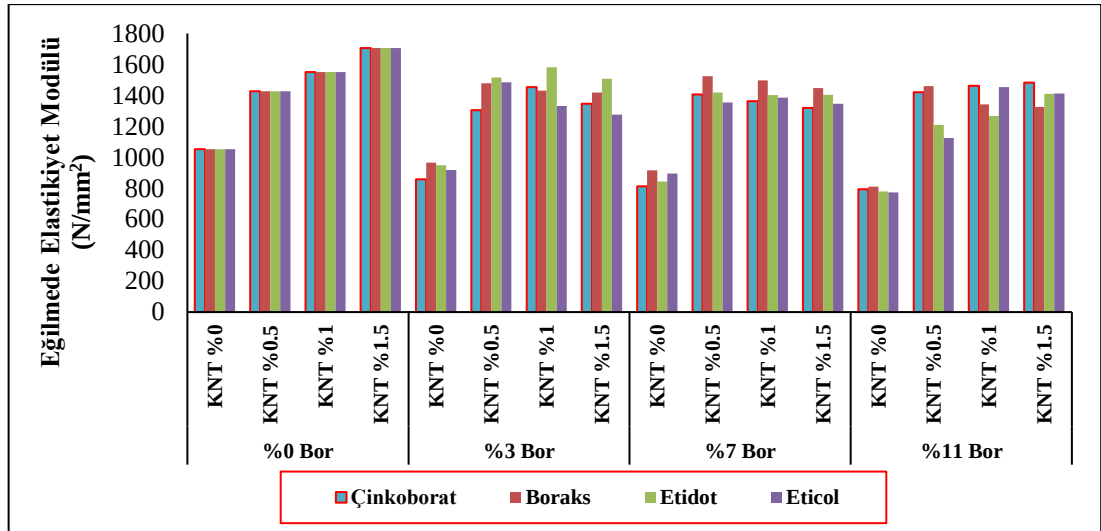
4.2.2.2. Eğilmede elastikiyet modülü

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK B’de verilmiştir.



Şekil 4.37. UF’lu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilmede elastikiyet modüllerinde azalma (%7 BD ve %3 ED hariç) meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak levhaların eğilmede elastikiyet modüllerinde artış meydana gelmiş olup, kritik değişim genellikle %1 olarak gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra elastikiyet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38. UF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları

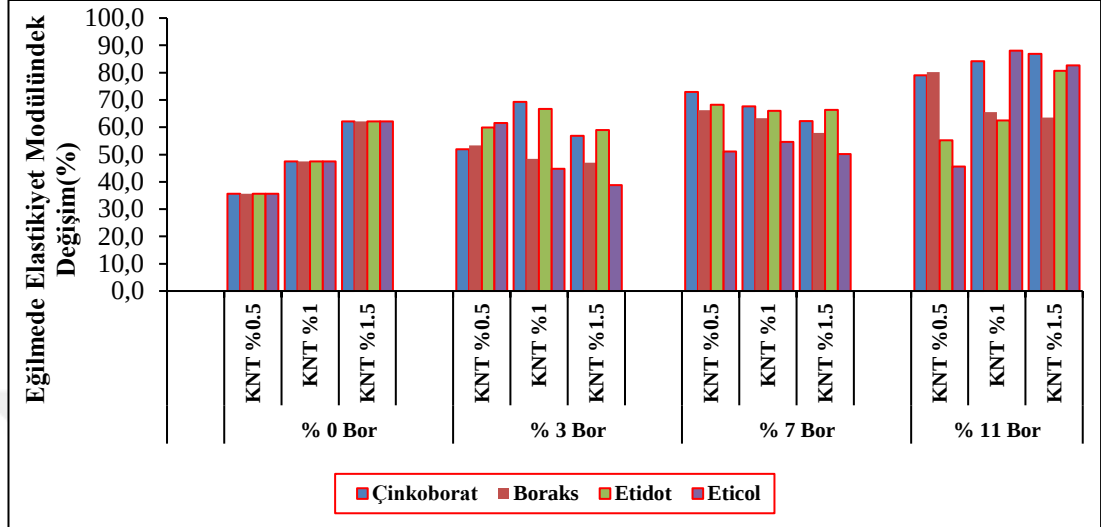
UF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol ve karbon nanotüp katkıları numunelerin eğilmede elastikiyet modülleri sırasıyla %0 Bor-%0 KNT (1051.79), %0.5 KNT (1427.07), %1 KNT (1550.61) ve %1.5 KNT (1705.9 N/mm²) olarak elde edilmiştir. ÇB ile birlikte KNT yongalevhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 ÇB-%1 KNT içeren numunede 1453.06 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %3 ÇB-%0.5 KNT içeren numunede 1303.94 N/mm² olarak elde edilmiştir.

BD ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %7 BD-%0.5 KNT içeren numunede 1523.29 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %11 BD-%1.5 KNT içeren numunede 1325.52 N/mm² olarak elde edilmiştir.

ED ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 ED-%1 KNT içeren numunede 1581.32 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %11 ED-%0.5 KNT içeren numunede 1209.84 N/mm² olarak elde edilmiştir.

EC ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 EC-%0.5 KNT içeren numunede 1484.71 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %11 EC-%0.5 KNT içeren numunede 1124.92 N/mm² olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor ve karbon nanotüp oranı artışı ile laboratuvar ortamında üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülündeki değişim (%) sonuçları Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.39. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü değişimi (%)

UF tutkalı için borsuz karbon nanotüplü üretilen levhaların kontrol numunesi göre eğilmede elastikiyet modüllerindeki değişimler sırasıyla %0.5 KNT (%35.7), %1 KNT (%47.4), %1.5 KNT (%62.2) olarak belirlenmiştir. ÇB-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece ÇB’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ÇB-%1.5 KNT (%86.9) serisinde artış meydana gelmiştir. BD-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece BD’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 BD-%0.5 KNT (%80.2) serisinde artış meydana gelmiştir. ED-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece ED’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ED-%1.5 KNT (%80.7) serisinde artış meydana gelmiştir. EC-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece EC’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 EC-%1 KNT (%88.1) serisinde artış meydana gelmiştir.

Borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen yonga levhaların UF gruplarında, kullanılan tüm bor türlerinde karbon nanotüpün kullanım oranı arttıkça kontrol numunesine göre eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış meydana gelmiştir. Eğilme direncinde en fazla artış %3 ED, en az %11 ED serisinde

gerçekleşmiştir. Eğilmede elastikiyet modülünde ise en fazla %3 ED, en az %11 EC serisinde gerçekleşmiştir.

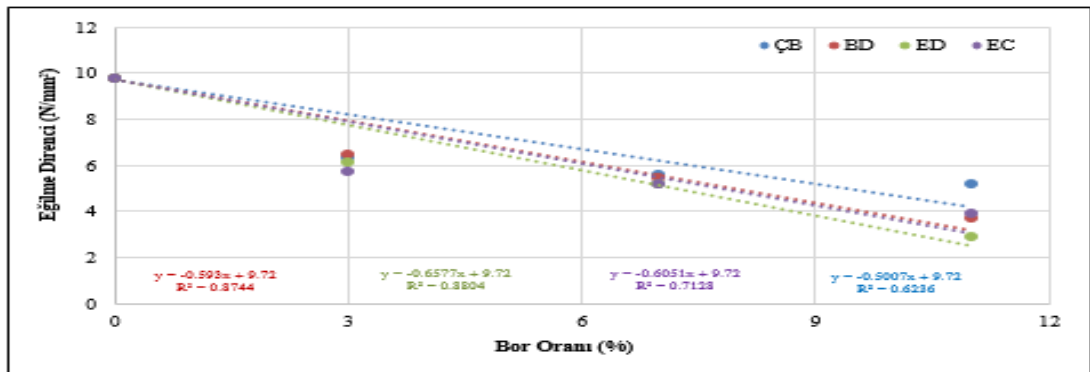
KNT'siz serilerle KNT'li serilerin eğilmede elastikiyet modülündeki en yüksek artış, yani KNT'nin eğilmede elastikiyet değerlerindeki en yüksek etkisi tüm seriler için %11 bor içeren örneklerden elde edilmiştir. Bor kullanım oranı artışı ile mekanik özelliklerinde en yüksek kayıpların da bu serilerden (bkz Şekil 4.32) elde edildiği gözönüne alınırsa KNT kullanımı ile büyük oranda mukavemet kaybı engellenebilir ve bor'un yüksek oranda kullanımı mümkün olabilecektir.

Borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF serili yonga levhalarda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde meydana gelen artış kullanılan bor türlerinin çözelti haline getirilirken iyi çözünmenin gerçekleşmesi, karbon nanotüpler ile iyi bağ yapmalarından kaynaklanabilir. Bor ve karbon nanotüpün birbiri içinde iyi çözünmesi sonucu yonga çeperlerine iyi nüfuz ettiğinden dolayı artış meydana gelmiş olabilir. Yâda kullanılan katkı maddeleri ve tutkal arasında iyi yapışma gerçekleşmesine bağlı olarak yongalarla bağ yapabileceği yüzey alanı artışı nedeniyle meydana gelmiş olabilir.

4.2.3. MUF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

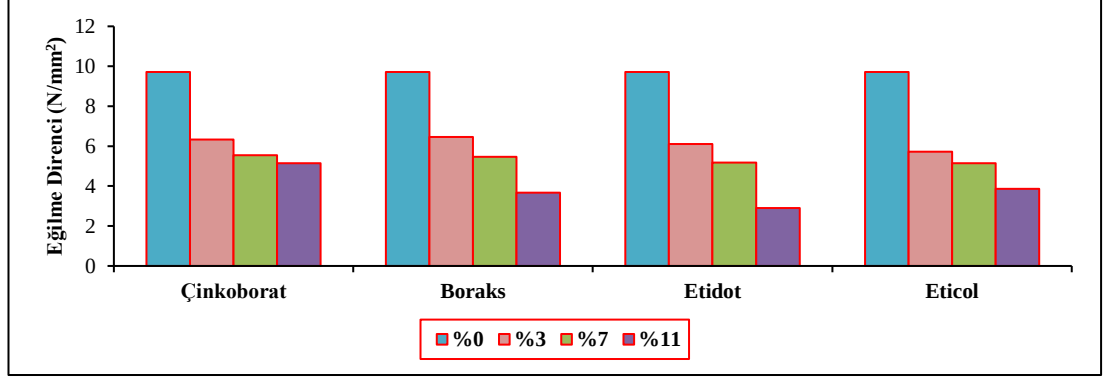
4.2.3.1. Eğilme direnci

Melamin ürefoaldehit (MUF) tutkallı kullanılarak üretilen levhaların eğilme dirençleri sonuçları Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.40. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması

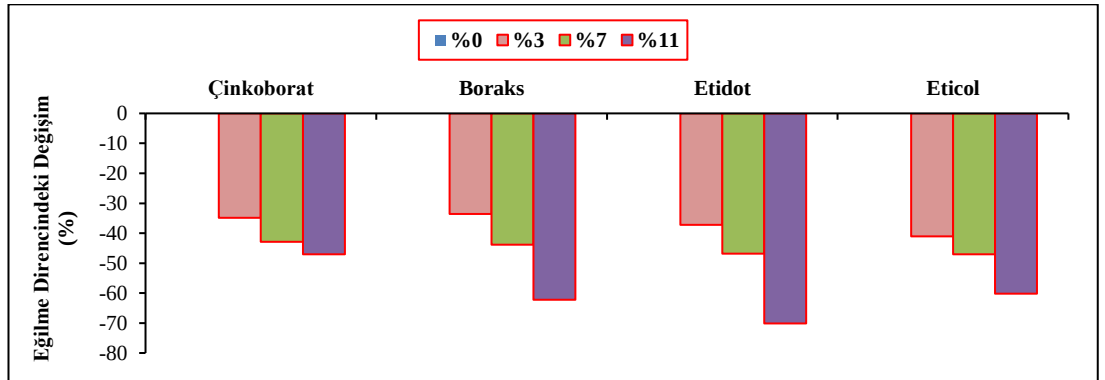
MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilme dirençlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.41. MUF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilme direnci sonuçları

MUF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin eğilme direnci 9.72 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen MUF tutkallı yonga levhalarda en yüksek eğilme direnci %3 BD içeren numunede 6.46 N/mm^2 olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 ED içeren numunede 2.9 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor oranı artışı ile eğilme direncindeki değişim oranları Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42. MUF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilme dirençlerindeki (%) değişim

MUF tutkallı borlu levhalarda bor türlerinin %3, %7 ve %11 oranlarında kullanılması eğilme direncini sırasıyla ÇB’de %34.87, %42.90 ve %47.01 oranında azaltmıştır. BD’te %33.53, %43.82 ve %62.24 oranında azaltmıştır. ED’te eğilme direncini

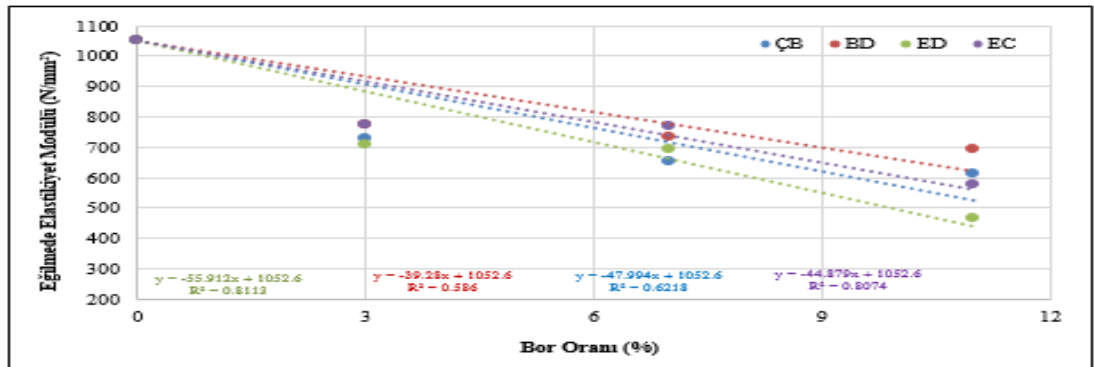
%37.24, %46.81 ve %70.16 oranında azaltmıştır. Son olarak EC’de ise %41.04, %47.01 ve %60.18 oranında azalma meydana gelmiştir.

Bu kapsamda %3 oranında bor kullanımında eğilme direncinde en fazla kayıp EC’de en az kayıp BD’te, %7 oranına göre en fazla kayıp EC’de en az kayıp ÇB’de, %11 oranına göre en fazla kayıp ise ED’te en az kayıp ÇB’de gerçekleşmiştir.

Tüm örneklerde MUF’lu yonga levha üretiminde bor kullanımı eğilme dirençlerini azaltmıştır. Ancak tüm bor oranları dikkate alındığında eğilme direncinde en az kayıp ÇB’li seriden, en fazla ise EC’den elde edilmiştir. Bununla birlikte EC ve ED’de eğilme direncinde önemli azalma % 11 oranı kullanımında meydana gelmiştir. BD ve ED’de diğer serilere göre nispeten bor oranına bağlı eğilme direnci azalmıştır.

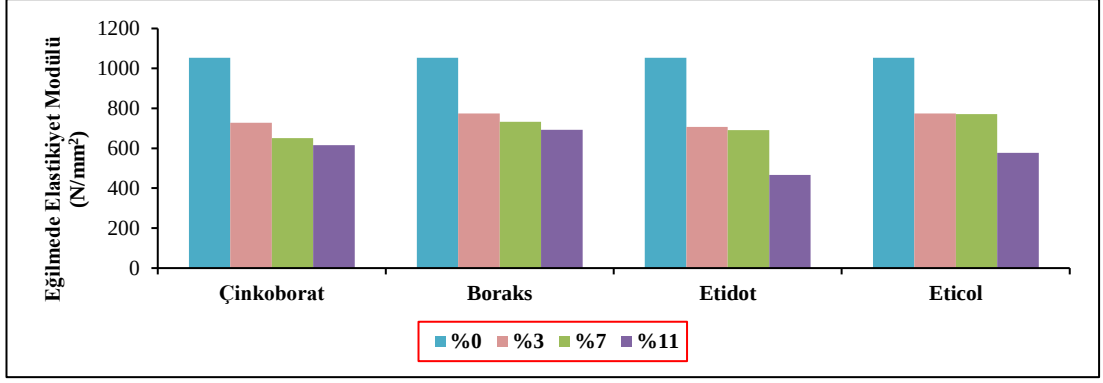
4.2.3.2. Eğilmede elastikiyet modülü

MUF tutkallı ve bor’lu üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait sonuçlar Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de verilmiştir.



Şekil 4.43. MUF’lu üretilen borlu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması

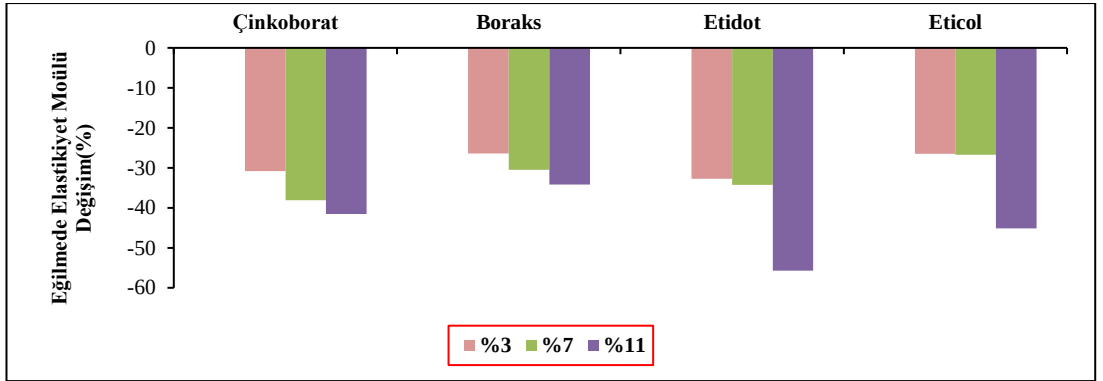
MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilmede elastikiyet modüllerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.45’de verilmiştir.



Şekil 4.44. MUF tutkalı ile üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları

MUF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü 1052.57 N/mm² olarak elde edilmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen MUF tutkallı yonga levhalarda en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 BD içeren numunede 774.61 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 ED içeren numunede 466.4 N/mm² olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor oranı artışı ile eğilmede elastikiyet modüllü değerlerindeki değişim oranları Şekil 4.45’de verilmiştir.



Şekil 4.45. MUF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modüllerindeki (%) değişim

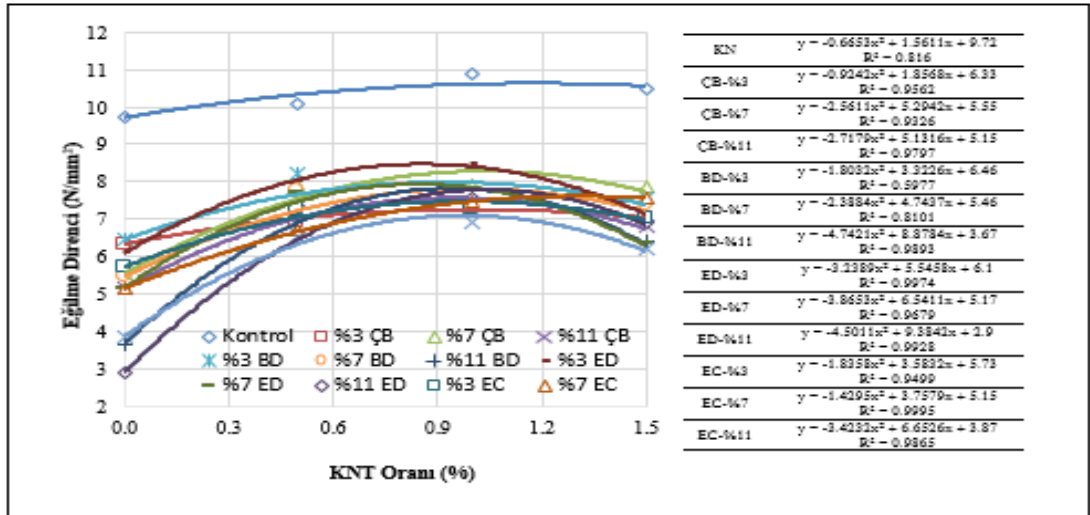
MUF tutkallı borlu yonga levhalarda bor türlerinin %3, %7 ve %11 oranlarında kullanılması eğilmede elastikiyet modüllerini sırasıyla ÇB’de %30.83, %38.13 ve %41.52 oranında azaltmıştır. BD’te %26.41, %30.47 ve %34.14 oranında azaltmıştır. ED’te eğilmede elastikiyet modüllerini %32.76, %34.28 ve %55.69 oranında azaltmıştır. Son olarak EC’de ise %26.46, %26.72 ve %45.17 oranında azalma meydana gelmiştir.

MUF'lu yonga levha üretiminde bor kullanımı eğilmede elastikiyet modüllerini azaltmıştır. Tüm sonuçlara göre %11 bor kullanımı ile elastikiyet modülünde en fazla %41.52-%5.69 arasında azalma meydana gelmiştir. Bu kapsamda %3 oranında bor kullanımında eğilmede elastikiyette en fazla kayıp ED'te en az kayıp BD'te, %7 oranına göre en fazla kayıp ÇB'de en az kayıp EC'de, %11 oranına göre en fazla kayıp ise ED'te en az kayıp BD'te gerçekleşmiştir. Tüm bor türlerinin eğilmede elastikiyet modüllerindeki yüzde değişimler dikkate alındığında ise elastikiyette azalma genellikle en az EC, en fazla ED'de (%7 hariç) meydana gelmiştir.

4.2.4. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

4.2.4.1. Eğilme direnci

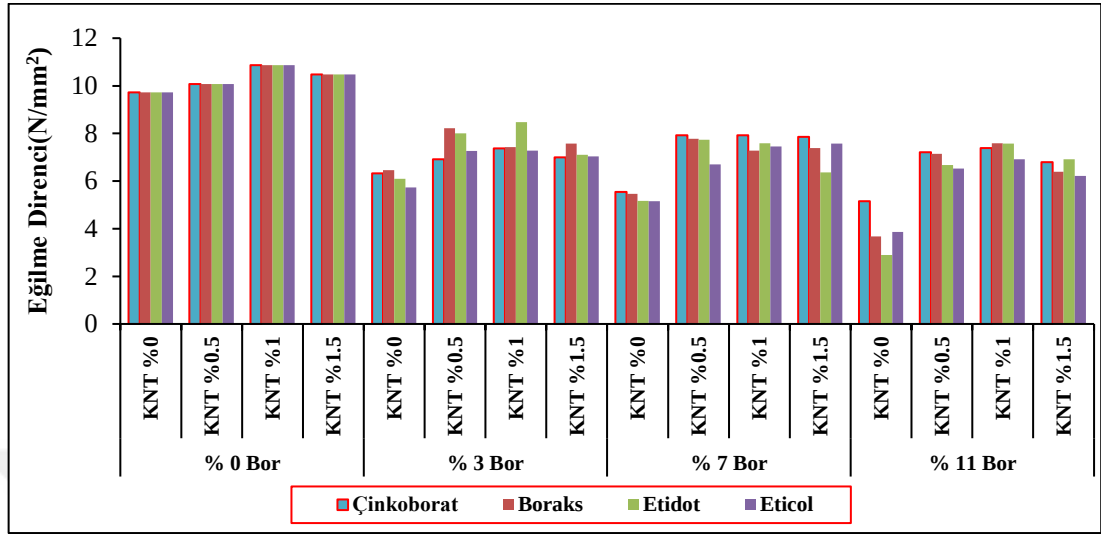
Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak melamin ürefoormaldehit (MUF) tutkallı üretilen yonga levhaların eğilme direnci sonuçları Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK B'de verilmiştir.



Şekil 4.46. MUF'lu yonga levhalara ait eğilme dirençlerinin karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilme dirençlerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak lehaların eğilme dirençlerinde artış meydana gelmiş olup, kritik değişim genellikle

%1 olarak gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra direnç değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.47. MUF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilme direnci sonuçları

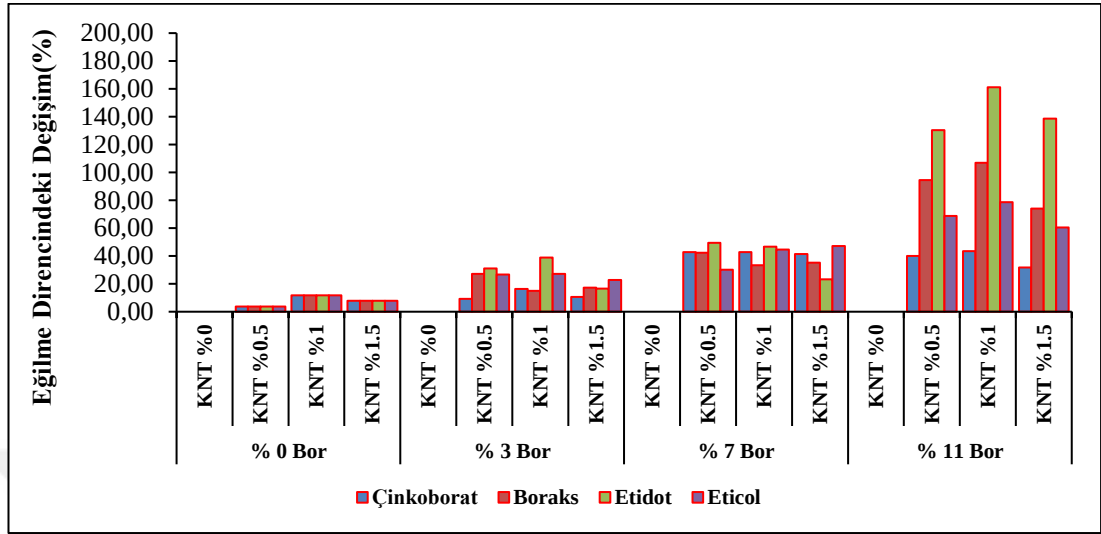
MUF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol ve KNT katkılı numunelerin eğilme dirençleri sırasıyla %0 Bor-%0 KNT (9.72 N/mm²), %0.5 KNT (10.08 N/mm²), %1 KNT (10.87 N/mm²) ve %1.5 KNT (10.48 N/mm²) olarak elde edilmiştir. ÇB ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %7 ÇB-%1 KNT içeren numunede 7.92 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 ÇB-%1.5 KNT içeren numunede 6.79 N/mm² olarak elde edilmiştir.

BD ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %3 BD-%0.5 KNT içeren numunede 8.22 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 BD-%1.5 KNT içeren numunede 6.39 N/mm² olarak elde edilmiştir.

ED ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %3 ED-%1 KNT içeren numunede 8.47 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %7 ED-%1.5 KNT içeren numunede 6.37 N/mm² olarak elde edilmiştir.

EC ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilme direnci %7 EC-%1.5 KNT içeren numunede 7.58 N/mm² olarak, en düşük eğilme direnci ise %11 EC-%1.5 KNT içeren numunede 6.21 N/mm² olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor ve karbon nanotüp oranı artışı ile üretilen yonga levhaların eğilme dirençlerindeki değişim (%) sonuçları Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF tutkallı yonga levhalara ait eğilme direnci değişimi (%)

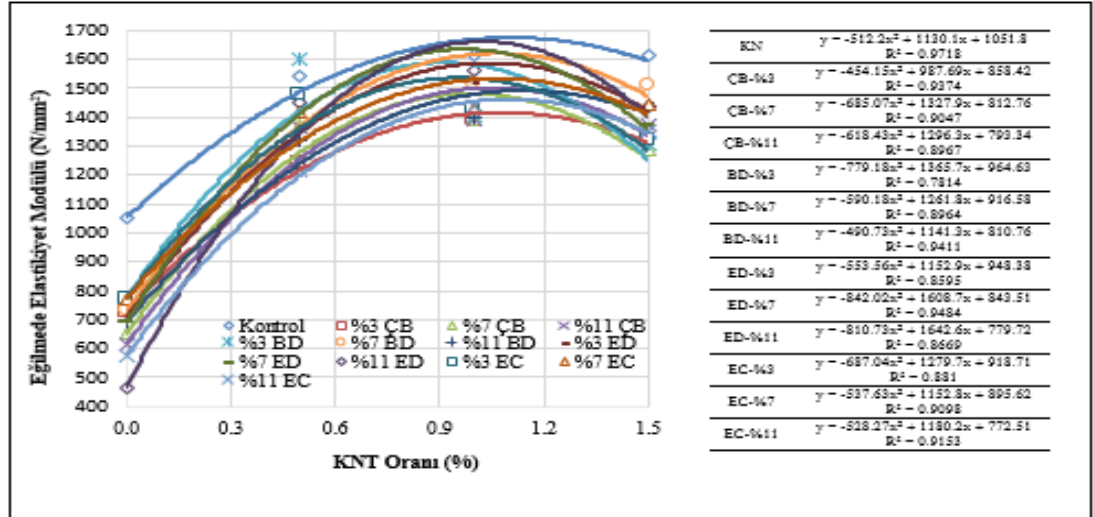
MUF tutkalı için borsuz KNT’li üretilen levhaların kontrol numunesi göre eğilme dirençlerindeki değişimler sırasıyla %3.70-%11.83-%7.82 olarak belirlenmiştir. ÇB-KNT katkıli serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece ÇB’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ÇB-%1 KNT (%43.50) serisinde artış meydana gelmiştir. BD-KNT katkıli serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece BD’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 BD-%1 KNT (%106.81) serisinde artış meydana gelmiştir. ED-KNT katkıli serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece ED’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ED-%1 KNT (%161.03) serisinde artış meydana gelmiştir. EC-KNT katkıli serisinde üretilen yonga levhaların eğilme direnci değerleri sadece EC’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 EC-%1 KNT (%78.55) serisinde artış meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre bor kullanılmadan KNT kullanım artışı ile eğilme direncinde KNT’siz ve borsuz levhaya göre artış meydana gelmiştir. Benzer olarak borlu serilerde KNT kullanımı ile eğilme direnci artmaktadır. Ancak borlu numunelerde bor türü ve oranına göre eğilme direncindeki artış oranı değişmektedir.

Örneğin en yüksek eğime direnci borlu serilerde ekndi içinde %11 ED-%1 KNT’de, %11 ED-%1.5 KNT’de, %11 ED-%0.5 KNT’de ve %11 BD-%1 KNT’li levhalardan elde edilmiştir. En düşük artış ise bor oranı değişiklik göstersedek genellikle %0.5 KNT kullanımında elde edilmiştir.

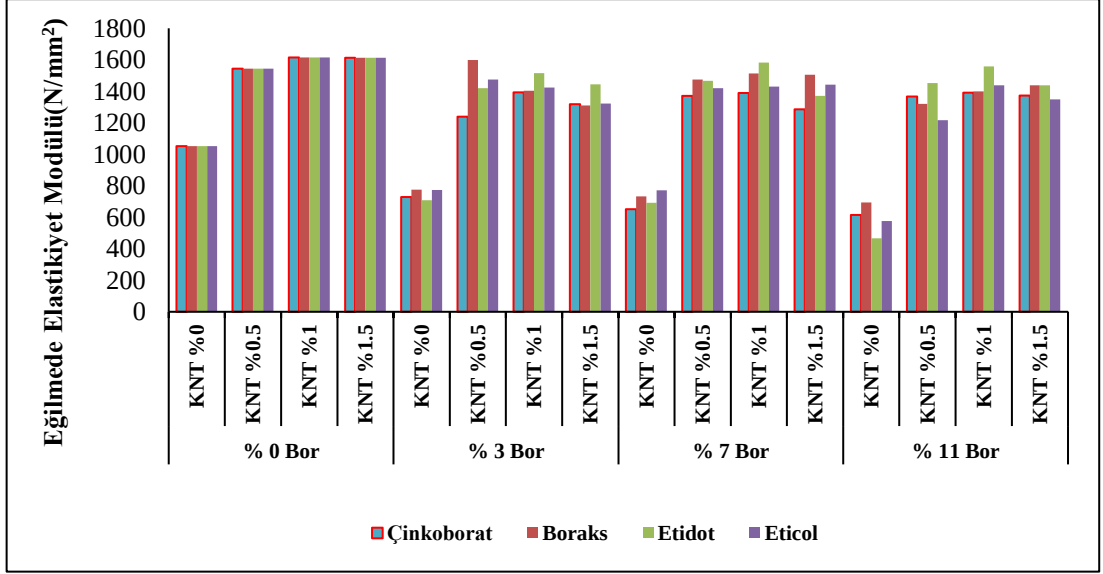
4.2.4.2. Eğilmede elastikiyet modülü

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak melamin ürefoformaldehit (MUF) tutkallı üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK B’de verilmiştir.



Şekil 4.49. MUF’lu yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre eğilmede elastikiyet modüllerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak lehaların eğilmede elastikiyet modüllerinde artış meydana gelmiş olup, kritik değişim genellikle %1 olarak gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra elastikiyet değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de verilmiştir.



Şekil 4.50. MUF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü sonuçları

MUF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol ve karbon nanotüp katkıli numunelerin eğilmede elastikiyet modülleri sırasıyla %0 Bor-%0 KNT (1052.57 N/mm²), %0.5 KNT (1543.03 N/mm²), %1 KNT (1615.5 N/mm²) ve %1.5 KNT (1612.61 N/mm²) olarak elde edilmiştir. ÇB ile birlikte KNT yongalevhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 ÇB-%1 KNT içeren numunede 1392,39 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %3 EC-%0.5 KNT içeren numunede 1238.29 N/mm² olarak elde edilmiştir.

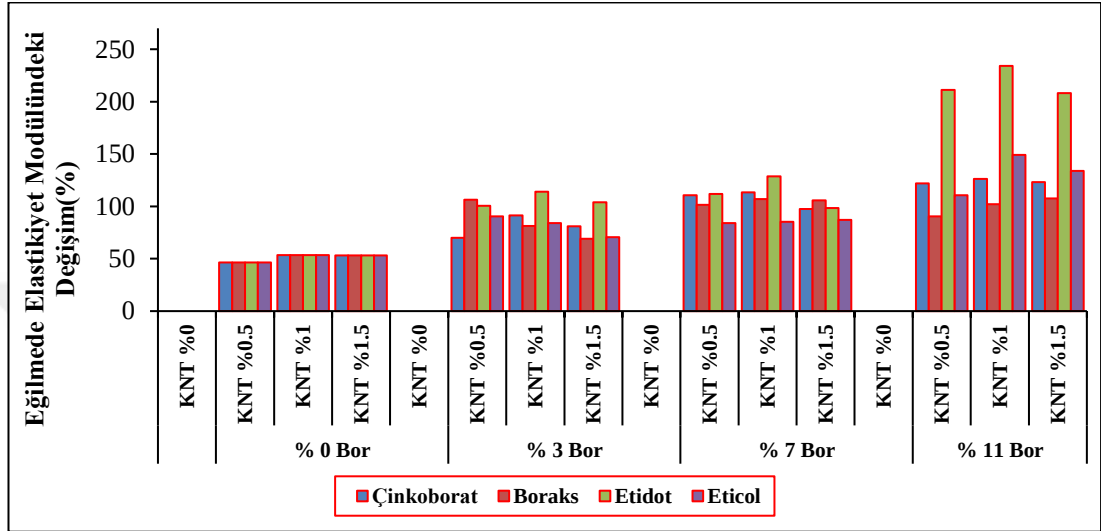
BD ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 BD-%0.5 KNT içeren numunede 1599.58 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %3 BD-%1.5 KNT içeren numunede 1309.02 N/mm² olarak elde edilmiştir.

ED ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %7 ED-%1 KNT içeren numunede 1581.5 N/mm² olarak, en düşük eğilmede elastikiyet modülü ise %7 ED-%1.5 KNT içeren numunede 1371.62 N/mm² olarak elde edilmiştir.

EC ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek eğilmede elastikiyet modülü %3 EC-%0.5 KNT içeren numunede 1474.54 N/mm² olarak, en düşük

eğilmede elastikiyet modülü ise %11 EC-%0.5 KNT içeren numunede 1216.25 N/mm² olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor ve karbon nanotüp oranı artışı ile üretilen yonga levhaların elastikiyet modülündeki değişim (%) sonuçları Şekil 4.51’de verilmiştir.



Şekil 4.51. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF tutkallı yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü değişimi (%)

MUF tutkalı için borsuz karbon nanotüplü üretilen levhaların kontrol numunesi göre eğilmede elastikiyet modüllerindeki değişimler sırasıyla %46.60-%53.48-%53.21 olarak belirlenmiştir. ÇB-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece ÇB’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ÇB-%1 KNT (%126.11) serisinde artış meydana gelmiştir. BD-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece BD’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 BD-%1.5 KNT (%107.55) serisinde artış meydana gelmiştir. ED-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece ED’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ED-%1 KNT (%234.09) serisinde artış meydana gelmiştir. EC-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece EC’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 EC-%1 KNT (%149.28) serisinde artış meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre bor kullanılmadan KNT kullanım artış ile eğilmede elastikiyet modüllerinde KNT'siz ve borsuz levhaya göre artış meydana gelmiştir. Aynı şekilde borlu serilerdede KNT kullanımı ile eğilmede elastikiyet modülü artmaktadır. Ancak borlu numunelerde bor türü ve oranına göre eğilmede elastikiyet modüllerindeki artış oranı değişmektedir.

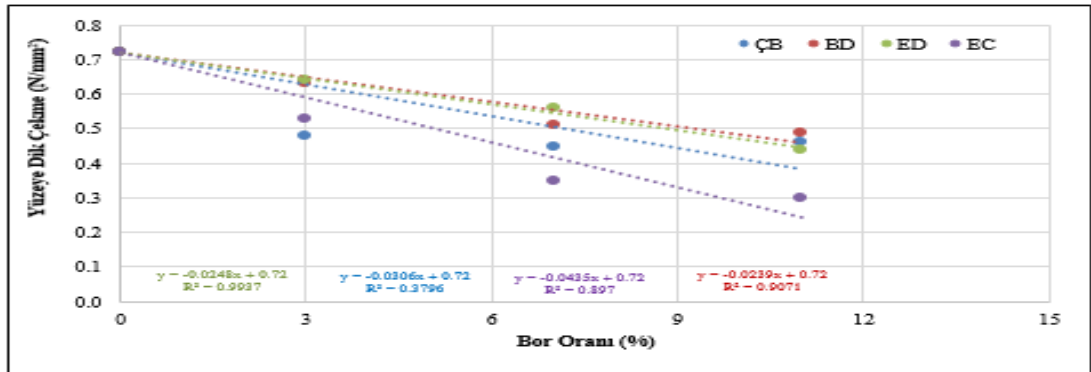
Örneğin en yüksek eğilmede elastikiyet modülü borlu serilerde kendi içinde %11 ED-%1 KNT'de, %11 ED-%1.5 KNT'de, %11 ED-%0.5 KNT'de ve %11 EC-%1 KNT'li levhalardan elde edilmiştir. En düşük artış ise bor oranına bağlı değişiklik göstereceği genellikle %0.5 KNT kullanımında elde edilmiştir.

Borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF serili yonga levhalarda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde meydana gelen artış kullanılan bor türlerinin çözelti haline getirilirken iyi çözünmenin gerçekleşmesi, karbon nanotüpler ile iyi bağ yapmalarından kaynaklanabilir. Bor ve karbon nanotüpün birbiri içinde iyi çözünmesi sonucu yonga çeperlerine iyi nüfuz ettiğinden dolayı artış meydana gelmiş olabilir. Yâda kullanılan katkı maddeleri ve tutkal arasında iyi yapışma gerçekleşmesinden kaynaklı artış meydana gelmiş olabilir.

4.2.5. UF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

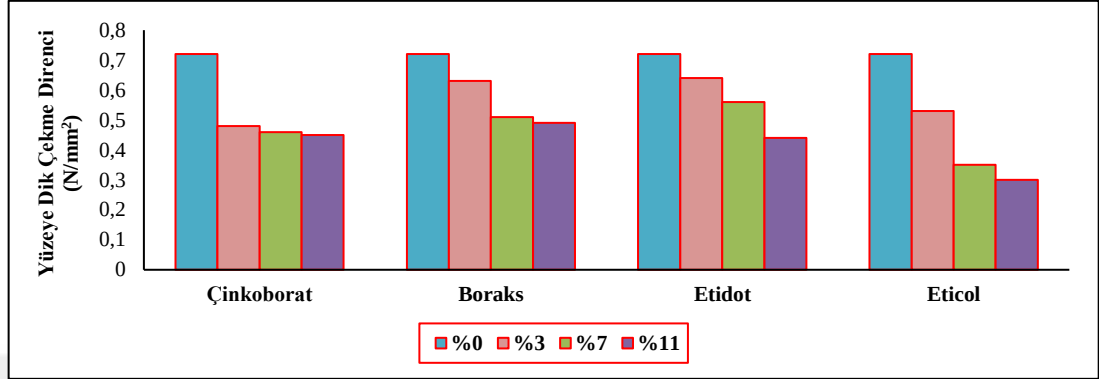
4.2.5.1. Yüzeye dik çekme direnci

Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF tutkallı üretilen yonga levhaların TS EN 319 (1999) standartına göre yüzeye dik çekme direnci sonuçları Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te verilmiştir.



Şekil 4.52. UF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması

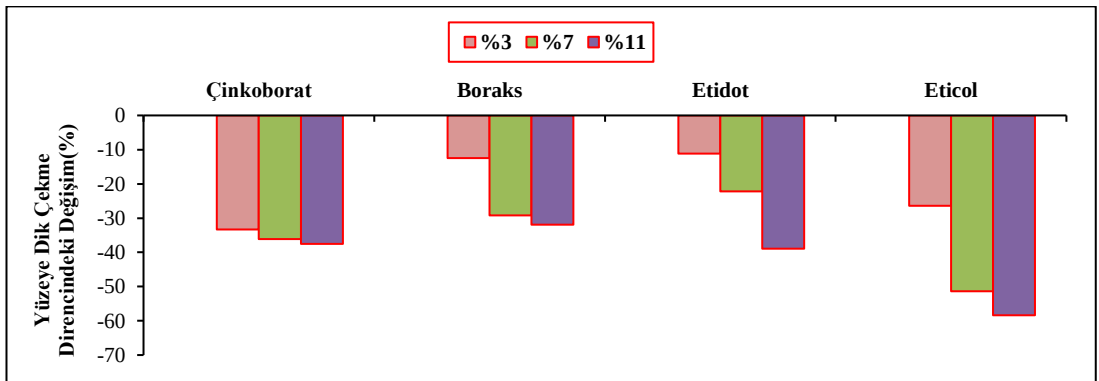
UF tutkallı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre yüzeye dik çekme direçlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de verilmiştir.



Şekil 4.53. UF tutkallı ile borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri sonuçları

UF tutkallı kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yüzeye dik çekme direnci 0.72 N/mm² olarak elde edilmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen UF tutkallı yonga levhalarda en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 ED içeren numunede 0.64 N/mm² olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 EC içeren numunede 0.3 N/mm² olarak elde edilmiştir. Tüm örneklerde bor kullanım oranı artışı ile yüzeye dik çekme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar Yalçinkaya (2014) ve Dönmez (2015) tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu bulunmuştur.

Kontrol numunesine göre bor oranı artışı ile yüzeye dik çekme direncindeki değişim oranları Şekil 4.54’de verilmiştir.



Şekil 4.54. UF tutkallı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençlerindeki (%) değişim

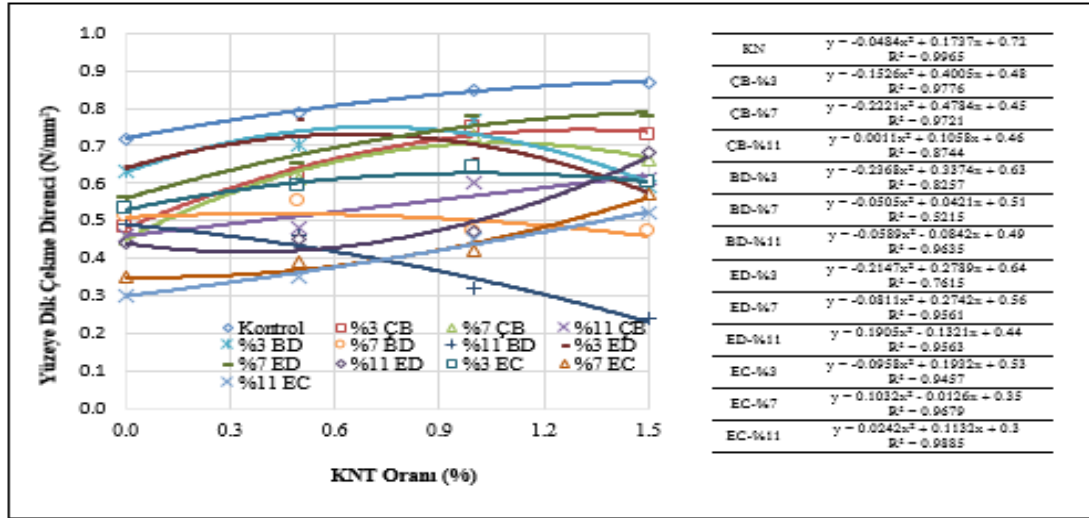
UF tutkallı borlu yonga levhalarda %3 ÇB yüzeye dik çekme direncini %33.33 %7 ÇB %37.5 ve %11 ÇB %36.11 oranında azaltmıştır. %3 BD yüzeye dik çekme direncini %12.5, %7 BD %29.17 ve %11 BD %31.94 oranında azaltmıştır. %3 ED yüzeye dik çekme direncini %11.11, %7 ED %22.22 ve %11 ED %38.89 oranında azaltmıştır. %3 EC yüzeye dik çekme direncini %26.39, %7 EC %51.39 ve %11 EC %58.33 oranında azalma meydana gelmiştir.

UF'lu yonga levha üretiminde bor kullanımı yüzeye dik çekme dirençlerini azaltmıştır. Tüm sonuçlara göre %11 bor kullanımı ile yüzeye dik çekme direncinde en fazla %31.94-58.33 arasında azalma meydana gelmiştir. Bu kapsamda %3 oranında bor kullanımında yüzeye dik çekme direncinde en fazla kayıp ÇB'de en az kayıp ED'te, %7 oranına göre en fazla kayıp EC'de en az kayıp ED'te %11 oranına göre en fazla kayıp ise EC'de en az kayıp BD'te gerçekleşmiştir. Tüm bor türlerinin yüzeye dik çekme dirençlerindeki yüzde değişimler dikkate alındığında ise yüzeye dik çekme direncinde azalma genellikle en az ED (%11 hariç), en fazla EC'de (%3 hariç) meydana gelmiştir.

4.2.6. UF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

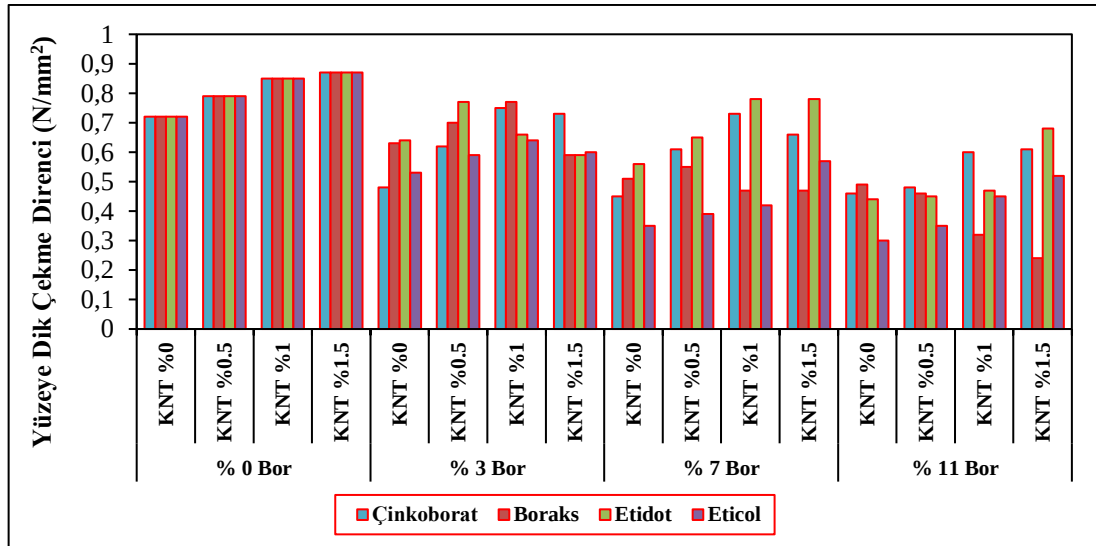
4.2.6.1. Yüzeye dik çekme direnci

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üreformataldehit (UF) tutkallı üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK B'de verilmiştir.



Şekil 4.55. UF'lu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması

UF tutkalı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre yüzeye dik çekme dirençlerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak levhaların yüzeye dik çekme dirençlerinde genellikle artış meydana gelmiş olup, kritik değişim genellikle %1 olarak gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra yüzeye dik çekme direnci değerlerinde genellikle azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.56 ve Şekil 4.57'de verilmiştir.



Şekil 4.56. UF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları

UF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol ve karbon nanotüp katkıli numunelerin yüzeye dik çekme dirençleri sırasıyla %0 Bor-%0 KNT (0.72 N/mm²), %0.5 KNT (0.79 N/mm²), %1 KNT (0.85 N/mm²) ve %1.5 KNT (0.87 N/mm²) olarak elde

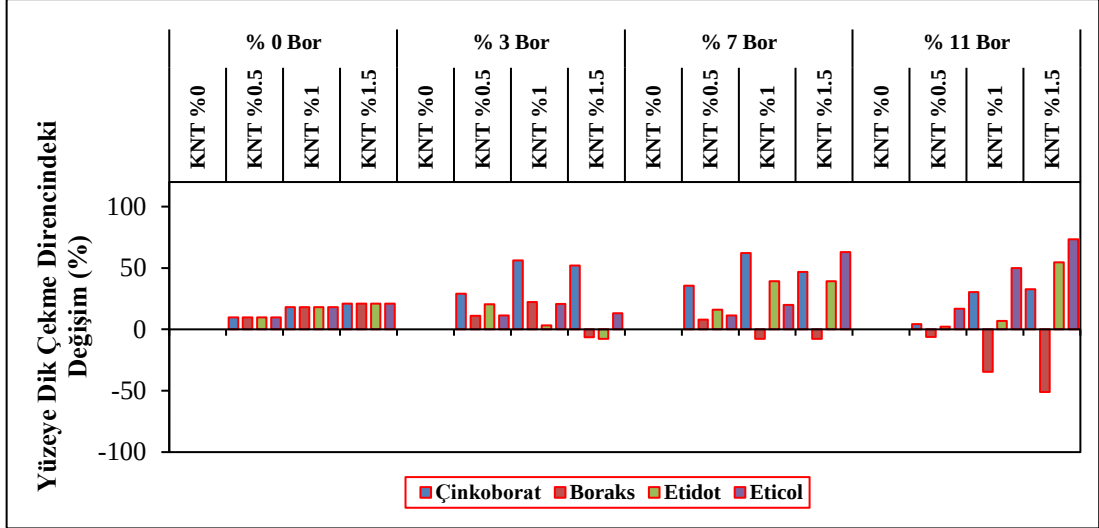
edilmiştir. ÇB ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 ÇB-%1 KNT içeren numunede 0.75 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %7 ÇB-%0.5 KNT içeren numunede 0.45 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Elde edilen KNT katkılı numunelere ait sonuçlar yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Lukawski vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada karbon nanotüp %0.2 ve %0.4 oranlarında yonga levhada kullanıldığında yüzeye dik çekme direncinde azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Kumar vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada ise karbon nanotüp yonga levhada %0.2 ve %0.52 oranlarında kullanıldığında yüzeye dik çekme direncinde kontrol numunesine göre artış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

BD ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 BD-%1 KNT içeren numunede 0.77 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 BD-%1.5 KNT içeren numunede 0.24 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

ED ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %7 ED-%1.5 KNT içeren numunede 0.78 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 ED-%0.5 KNT içeren numunede 0.46 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

EC ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 EC-%1 KNT içeren numunede 0.64 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 EC-%0.5 KNT içeren numunede 0.32 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor ve karbon nanotüp oranı artışı ile üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direncindeki değişim (%) sonuçları Şekil 4.57’de verilmiştir.



Şekil 4.57. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF tutkalı yonga levhalara ait eğilmede elastikiyet modülü değişimi (%)

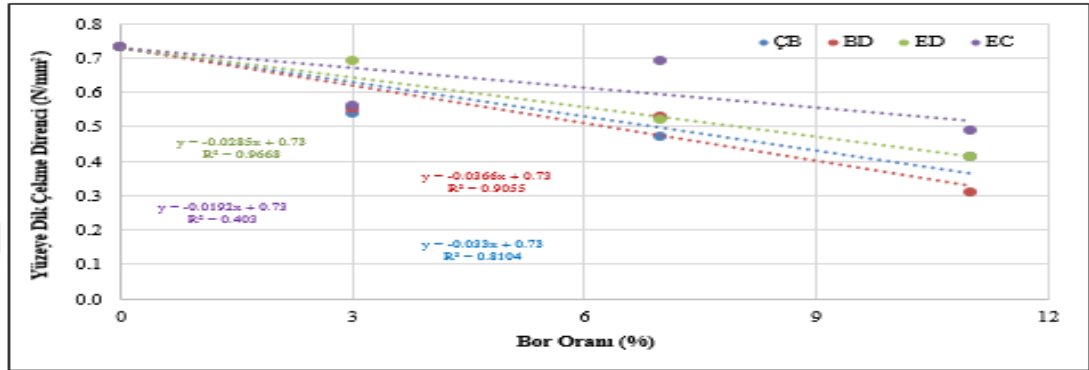
UF tutkalı için borsuz karbon nanotüplü üretilen levhaların kontrol numunesi göre yüzeye dik çekme dirençlerindeki değişimler sırasıyla %9.72-%18.06-%20.83 olarak belirlenmiştir. ÇB-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri sadece ÇB’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %7 ÇB-%1 KNT (%62.22) serisinde artış meydana gelmiştir. BD-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece BD’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %3 BD-%1 KNT (%22.22) serisinde artış meydana gelmiştir. ED-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece ED’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ED-%1.5 KNT (%54.55) serisinde artış meydana gelmiştir. EC-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece EC’li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 EC-%1.5 KNT (%73.33) serisinde artış meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre bor kullanılmadan KNT kullanım artış ile yüzeye dik çekme dirençlerinde KNT’siz ve borsuz levhaya göre artış meydana gelmiştir. Aynı şekilde borlu serilerdede KNT kullanımı ile yüzeye dik çekme direnci genellikle artmaktadır (%3 BD-%1.5 KNT, %3 ED- %1.5 KNT, %7 BD-%1 KNT, %7 BD-%1.5 KNT %11 BD-%1 KNT, %11 BD-%1.5 KNT, %11 BD-%0.5 KNT hariç). Bu sonuçlara göre en düşük artış bor oranına bağlı değişkenlik gösterebilecek şekilde genellikle %1.5 KNT kullanımında elde edilmiştir.

4.2.7. MUF tutkallı bor içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

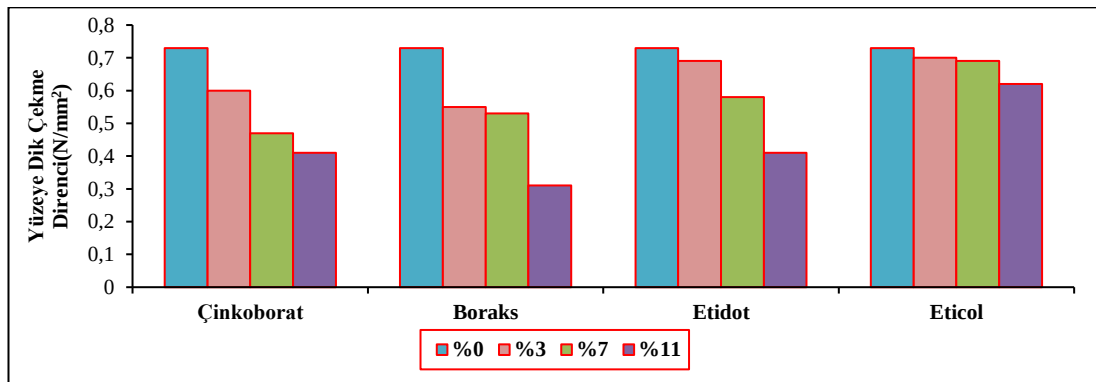
4.2.7.1. Yüzeye dik çekme direnci

Farklı bor türleri kullanılarak melamin üreformatdehitli (MUF'lu) üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.58. MUF'lu üretilen borlu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda farklı bor türleri kullanıldığında kontrol numunesine göre yüzeye dik çekme dirençlerinde azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'da verilmiştir.

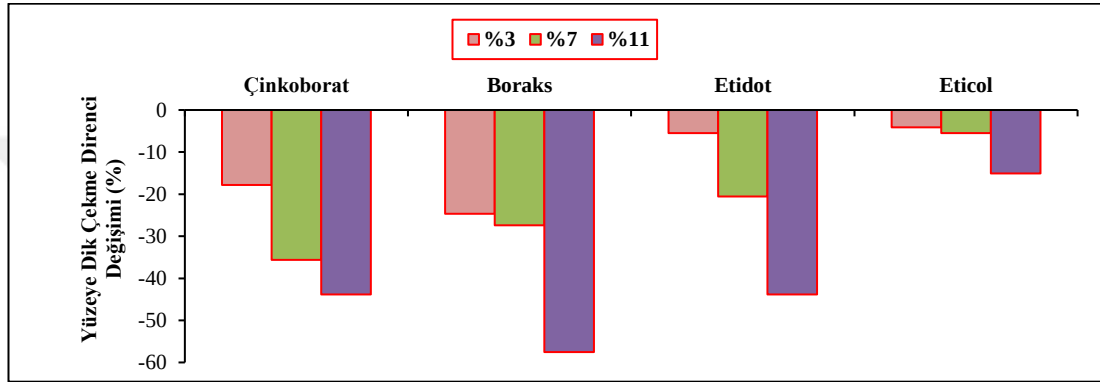


Şekil 4.59. MUF tutkallı ile üretilen borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri

MUF tutkallı kullanılarak üretilen kontrol numunelerinin yüzeye dik çekme direnci 0.73 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Farklı bor türleri kullanılarak üretilen MUF tutkallı yonga levhalarda en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 EC içeren numunede 0.7 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 BD içeren numunede 0.31 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Tutkal türüne bağlı olarak üretilen yonga levhalarda yüzeye dik çekme dirençleri karşılaştırıldığında kayıp en fazla UF tutkalı kullanıldığında gerçekleşirken, farklı bor türleri kullanılarak üretilen levhalar karşılaştırıldığında ise MUF tutkalı ile üretilen EC' levhalarda meydana geldiği belirlenmiştir.

Kontrol numunesine göre bor oranı artışı ile yüzeye dik çekme direncindeki değişim oranları Şekil 4.60'da verilmiştir.



Şekil 4.60. MUF tutkalı kullanılarak üretilen borlu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençlerindeki (%) değişim

MUF tutkallı borlu levhalarda %3 ÇB yüzeye dik çekme direncini %17.81, %7 ÇB %35.62 ve %11 ÇB %43.84 oranında azaltmıştır. %3 BD yüzeye dik çekme direncini %24.66, %7 BD %27.40 ve %11 BD %57.53 oranında azaltmıştır. %3 ED yüzeye dik çekme direncini %5.48, %7 ED %20.55 ve %11 ED %43.84 oranında azaltmıştır. %3 EC yüzeye dik çekme direncini %4.11, %7 EC %5.48 ve %11 EC %15.07 oranında azalma meydana gelmiştir.

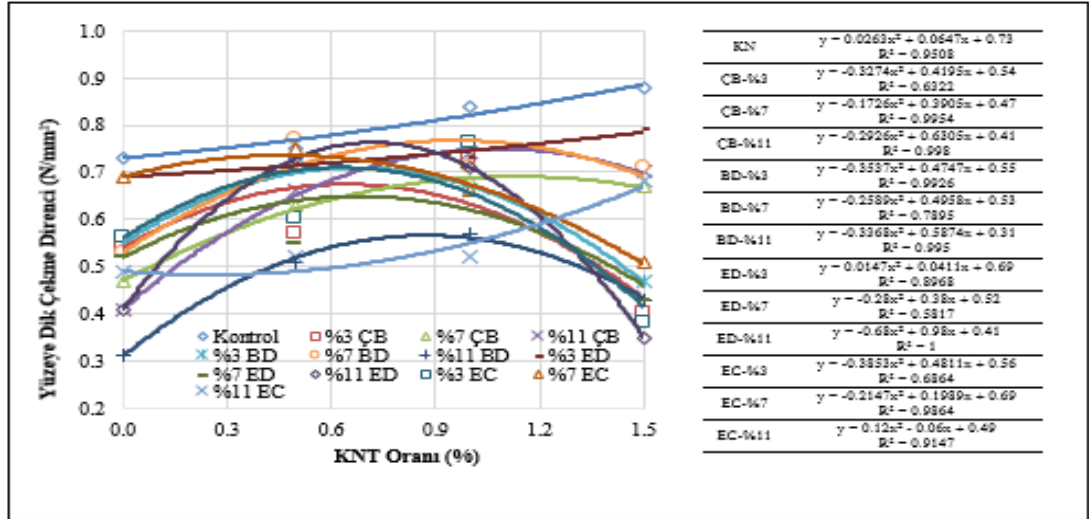
MUF'lu yonga levha üretiminde bor kullanımı yüzeye dik çekme dirençlerini azaltmıştır. Tüm sonuçlara göre %11 bor kullanımı ile yüzeye dik çekme direncinde en fazla %15.07-57.53 arasında azalma meydana gelmiştir. Bu kapsamda %3 oranında bor kullanımında yüzeye dik çekme direncinde en fazla kayıp BD'te en az kayıp EC'de, %7 oranına göre en fazla kayıp ÇB'de en az kayıp EC'de, %11 oranına göre en fazla azalma ise BD'te en az azalma EC'de gerçekleşmiştir. Tüm bor türlerinin yüzeye dik çekme dirençlerindeki yüzde değişimler dikkate alındığında ise azalma en az BD en fazla EC'de meydana gelmiştir. Tüm bor türlerinin yüzeye dik çekme

dirençlerindeki yüzde değişimler dikkate alındığında ise yüzeye dik çekme direncinde azalma en az EC, en fazla BD’de (%7 hariç) meydana gelmiştir.

4.2.8. MUF tutkallı bor ve KNT içeren yonga levhaların mekanik özellikleri

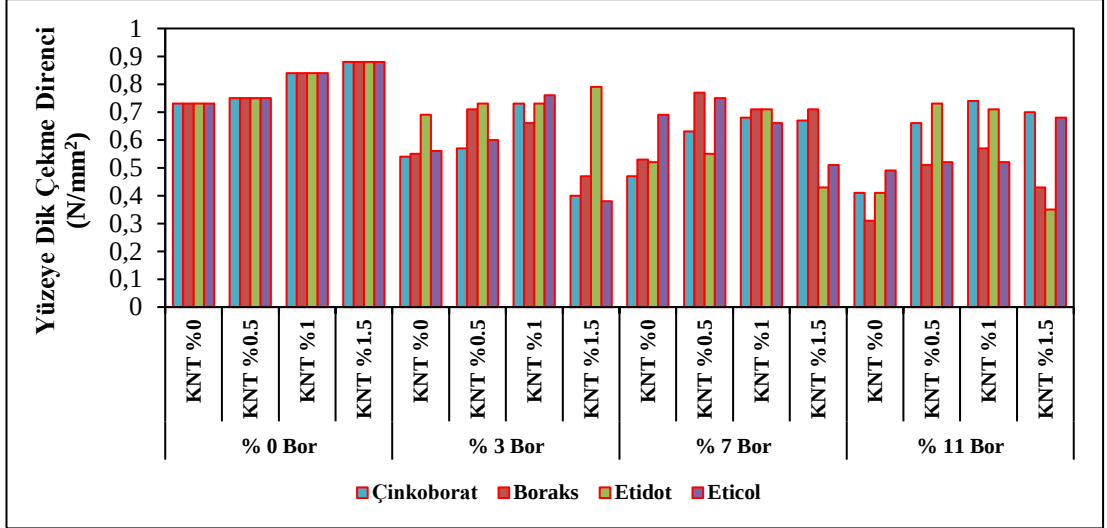
4.2.8.1. Yüzeye dik çekme direnci

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak melamin ürefoalaldehit (MUF) tutkallı üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de, her bir bor ve KNT oranına ait ayrıntılı veriler ise EK B’de verilmiştir.



Şekil 4.61. MUF’lu yonga levhalara ait yüzeye dik çekme dirençlerinin karşılaştırılması

MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda KNT kullanıldığında kontrol numunesine göre yüzeye dik çekme dirençlerinde azalma meydana gelmiştir. Ancak KNT oranına bağlı olarak levhaların yüzeye dik çekme dirençlerinde genellikle artış meydana gelmiş olup, kritik değişim genellikle %1 olarak gözlemlenmiştir. Bu orandan sonra yüzeye dik çekme direnci değerlerinde genellikle azalma meydana gelmiştir. Ayrıntılı analizler Şekil 4.62 ve Şekil 4.63’te verilmiştir.



Şekil 4.62. MUF tutkalı kullanılarak üretilen karbon nanotüp takviyeli farklı bor türleri içeren yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci sonuçları

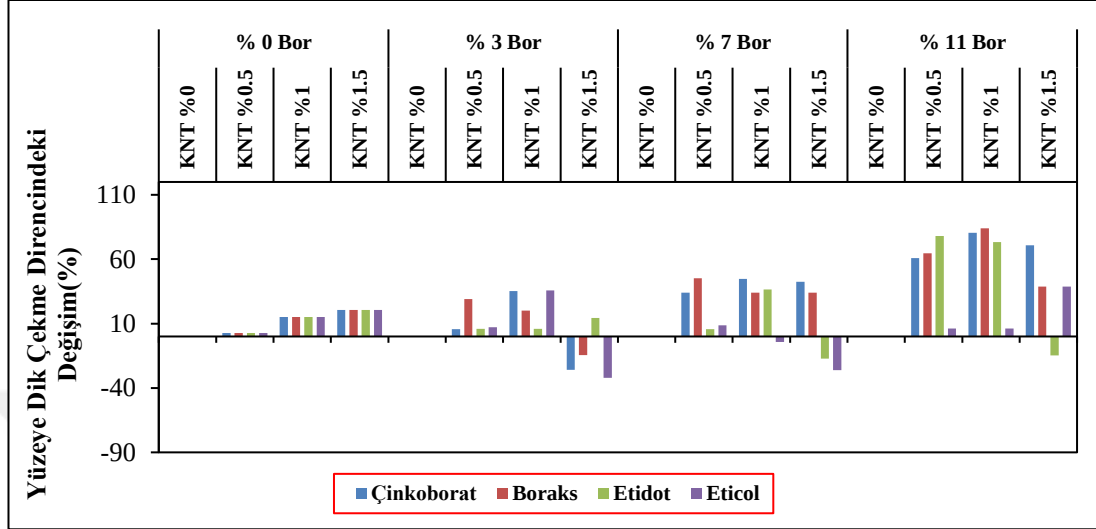
MUF tutkalı kullanılarak üretilen kontrol ve karbon nanotüp katkıli numunelerin yüzeye dik çekme dirençleri sırasıyla %0 Bor-%0 KNT (0.73 N/mm^2), %0.5 KNT (0.75 N/mm^2), %1 KNT (0.84 N/mm^2) ve %1.5 KNT (0.88 N/mm^2) olarak elde edilmiştir. ÇB ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 ÇB-%1 KNT içeren numunede 0.73 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %3 ÇB-%1.5 KNT içeren numunede 0.4 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

BD ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %7 BD-%0.5 KNT içeren numunede 0.77 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 BD-%1.5 KNT içeren numunede 0.43 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

ED ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 ED-%1.5 KNT içeren numunede 0.79 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %11 ED-%1.5 KNT içeren numunede 0.36 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

EC ile birlikte KNT yonga levhada kullanıldığında en yüksek yüzeye dik çekme direnci %3 EC-%1 KNT içeren numunede 0.76 N/mm^2 olarak, en düşük yüzeye dik çekme direnci ise %3 EC-%1.5 KNT içeren numunede 0.38 N/mm^2 olarak elde edilmiştir.

Kontrol numunesine göre bor ve karbon nanotüp oranı artışı ile üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direncindeki değişim (%) sonuçları Şekil 4.63'te verilmiştir.



Şekil 4.63. Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF tutkalı yonga levhalara ait yüzeye dik çekme direnci değişimi (%)

MUF tutkalı için borsuz karbon nanotüplü üretilen levhaların kontrol numunesi göre yüzeye dik çekme dirençlerindeki değişimler sırasıyla %2.74-%15.07-%20.55 olarak belirlenmiştir. ÇB-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece ÇB'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ÇB-%1 KNT (%80.48) serisinde artış meydana gelmiştir. BD-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece BD'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 BD-%1 KNT (%83.87) serisinde artış meydana gelmiştir. ED-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece ED'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 ED-%0.5 KNT (%78.04) serisinde artış meydana gelmiştir. EC-KNT katkılı serisinde üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri sadece EC'li üretilen levhaya göre karşılaştırıldığında en fazla %11 EC-%1.5 KNT (%38.78) serisinde artış meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre bor kullanılmadan KNT kullanım artışı ile yüzeye dik çekme dirençlerinde KNT'siz ve borsuz levhaya göre artış meydana gelmiştir. Aynı şekilde borlu serilerdede KNT kullanımı ile yüzeye dik çekme direnci genellikle artmaktadır

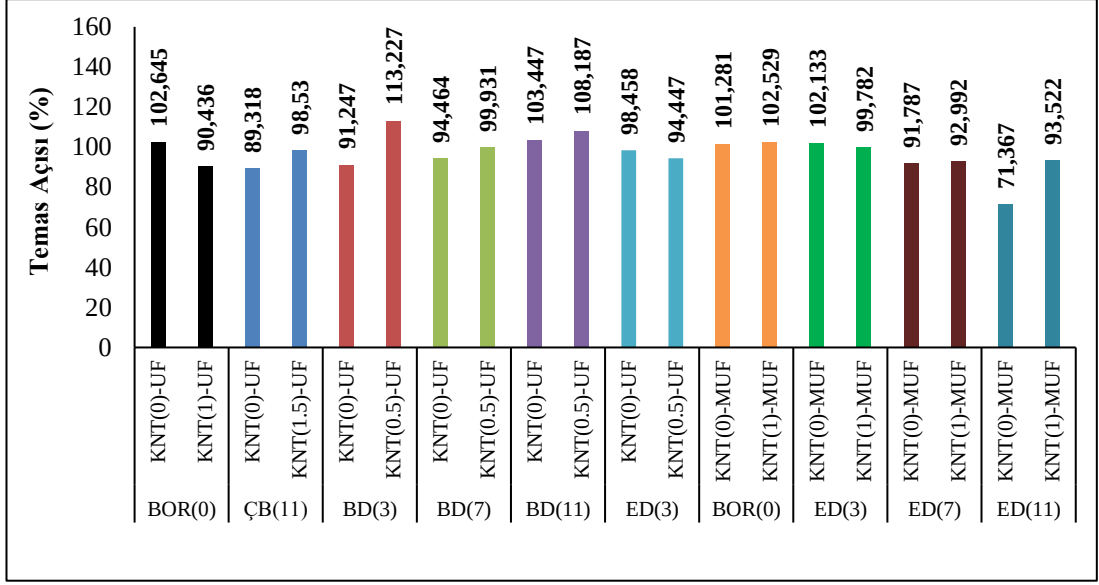
(%3 ÇB-%1.5 KNT, %3 BD- %1.5 KNT, %3 EC-%1.5 KNT, %7 EC-%1 KNT, %7 ED-%1.5 KNT, %7 EC-%1.5 KNT, ve %11 ED-%1.5 KNT hariç). Bu sonuçlara göre en düşük artış bor oranına bağlı değişkenlik göstereceği genellikle %1.5 KNT kullanımında elde edilmiştir.

Üretilen UF ve MUF serili yonga levhalarda yüzeye dik çekme direncinde meydana gelen azalma kullanılan bor türlerinin çözelti haline getirilirken iyi çözünmeyip kristal halde kaldığı için tanecikler arasında kalıp malzemeyi daha gevrek hale getirmesinden kaynaklı olabilir. Bu özellik yongaların tutkalı absorbe etmesini engellediğinden dolayı yüzeye dik çekme direncinde azalma meydana getirmiş olabilir. Ayrıca yonga levhada kullanılacak katkı maddesinin pH değerinin nötr değerine yakın olması istenir. Aksi takdirde asit veya bazlık derecelerinin yüksek olması liflere zarar vermekte ve yine levhaların mekanik özelliklerinde olumsuz etki yapabilmektedir. Bu değişkenlerden dolayı da üretilen levhaların yüzeye dik çekme dirençlerinde azalma gerçekleşmiş olabilir.

Borla birlikte karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF ve MUF serili yonga levhalarda yüzeye dik çekme direncinde meydana gelen artış kullanılan bor türlerinin çözelti haline getirilirken iyi çözünmenin gerçekleşmesi, karbon nanotüpler ile iyi bağ yapmalarından kaynaklanabilir. Bor ve karbon nanotüpün birbiri içinde iyi çözünmesi sonucu yonga çeperlerine iyi nüfuz ettiğinden dolayı artış meydana gelmiş olabilir.

4.3. Temas açısı ölçümleri

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı yonga levhalara ait örneklerin temas açısı ölçümleri, polar özellikte olan su kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen temas açısı ölçümlerine ait sonuçlar ise Şekil 4.64’de verilmiştir.



Şekil 4.64. UF ve MUF tutkallı yonga levhalara ait temas açısı ölçümleri sonuçları

Islanabilirlik, bir yapıştırıcının ahşap kompozit parçacık yüzeylerini ıslatma, akma, nüfuz etme ve sertleştirme yeteneğinde önemli derecede rol oynar. Burada parçacık numunelerinin ıslanabilirliği temas açısıyla incelenmiştir (Shi vd., 2023). Temas açısı ölçümü, bir damlanın kenarındaki açı ile üzerine yerleştirildiği yapışkanın yüzeyinin düzlemi şeklinde ifade edilebilir. Bu nedenle temas açısı yüksek olan bir malzemenin hidrofobik yüzeyinden dolayı yüzey ıslatma yeteneği zayıf kalmaktadır (Boussetta vd., 2023). Temas açısı veya yüzey gerilimi ne kadar küçük olursa, ıslanma eğilimi o kadar büyük olur. Genellikle ıslatıcı özelliğe sahip bir sıvı, katıyla 90° 'den küçük bir temas açısı oluştururken, oysa iyi ıslatmayan bir sıvı, katıyla 90 ila 180° arasında bir temas açısı oluşturmaktadır (Gerardin vd., 2007; Marmur vd., 2017; Shi vd., 2023). Temas açısı arttıkça yüzeyin polarlanabilirliği azalırken, temas açısı azaldığında ise polarlanabilirliği artmaktadır (Sarı vd., 2013).

UF ve MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda kontrol ve borlu numunelere göre karbon nanotüp kullanıldığında yüzey temas açısında genellikle artış olmuştur (%0 BOR-%0 KNT(UF) ve %0 BOR-%1 KNT(UF)- %3 ED-%0 KNT(MUF)-%3 ED-%0.5 KNT(MUF) hariç). Ahşap kompozit malzemelerine ait yüzeylerin ıslanabilirliğinde farklı etkenler rol oynayabilmektedir. Bu etkenler fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlıdır. Fiziksel faktörler arasında hücre morfolojisi, pürüzlülük, spesifik yüzey alanı ve geçirgenlik bulunurken, kimyasal faktörler fonksiyonel grupları, moleküler ve elementel bileşimi içerir (Lopes vd., 2018). Üretilen yonga

levhaların bazı örneklerinde ölçülen temas açısındaki azalma (Lopes vd., 2018) tarafından belirtilen etkenlere bağlanabilir.

Temas açısı ölçümünde en fazla artış UF tutkallı üretilen yonga levhalarda %3 BD-%0.5 KNT, en az artış ise MUF tutkallı üretilen yongalevhalarından %7 ED-%1 KNT örneğinde gerçekleşmiştir. UF tutkallı levhalar kendi içerisinde karşılaştırıldığında en fazla temas açısı artışı %3 BD-%0.5 KNT örneğinde gerçekleşirken, MUF tutkallı levhalarda ise en fazla %0 BOR-%1 KNT örneğinde gerçekleşmiştir. Tüm bu sonuçlara göre KNT borlu ve borsuz örneklerde kullanıldığında belirlenen levhalara ait yüzeylerin apolarlık özelliğinde genellikle artış meydana gelmiştir.

4.4. Kimyasal Analiz Sonuçları

4.4.1. Termo gravimetrik analiz (TGA)

Farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen melamin üre formaldehit (MUF) ve üre formaldehit (UF) tutkallı yonga levhalar üzerinde, yanmayı geciktirici maddeler kullanıldığında meydana gelen termal bozunmaları araştırmak için 25-500 °C sıcaklık aralığında TGA analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yonga levhalarda farklı bozunma süreçlerini daha iyi görme imkânı verdiği için % kütle kaybının birinci türevi eğrileri de kullanılmıştır.

UF ve MUF tutkallı üretilen yonga levhaların TGA verilerine ait sonuçlar üç farklı adımda incelenebilir (Tutuş vd., 2010; Aras vd., 2023; Zhang vd., 2023);

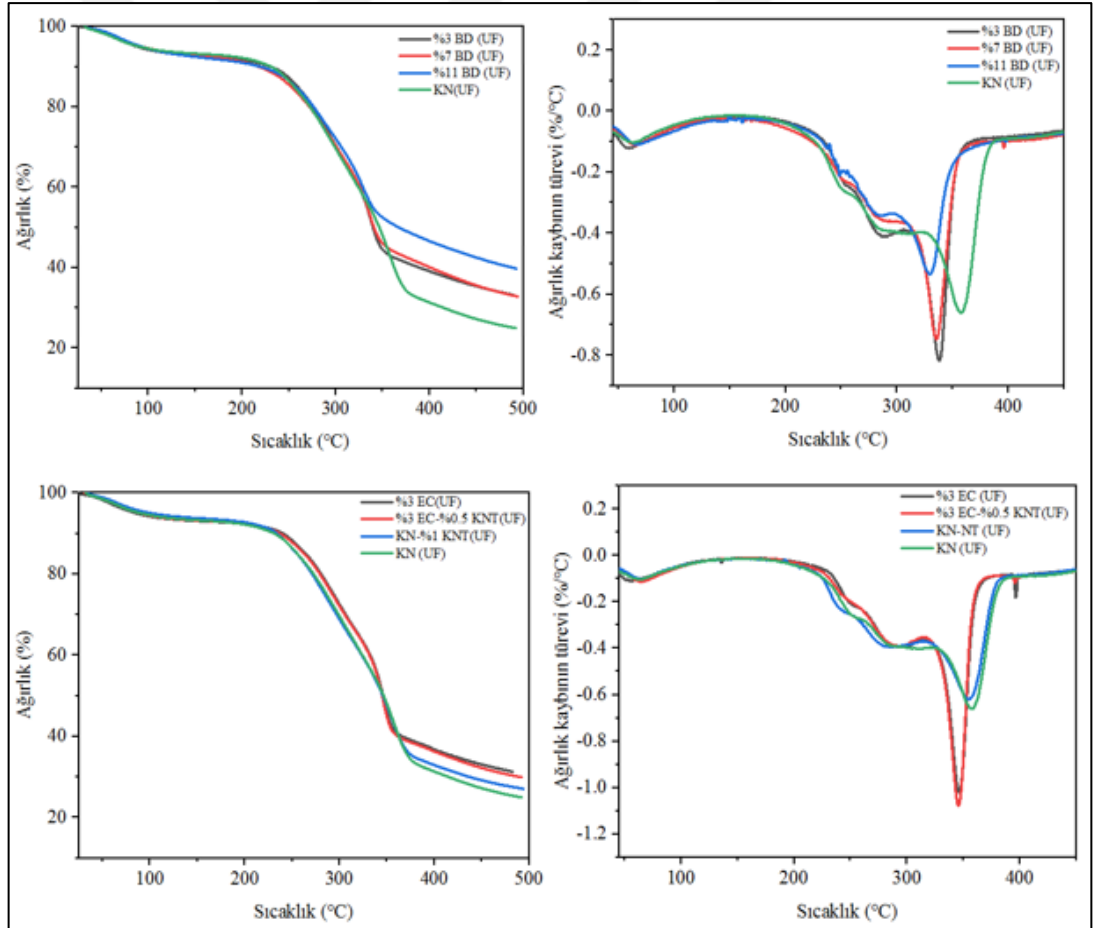
İlk adım: Ortamın sıcaklığına bağlı olarak başlangıçta yaklaşık 25-100 °C aralığında hafif bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu durumun nedeni, yonga levha örneklerinin bünyelerinde bulunan rutubetin kademeli olarak buharlaşması olabilir.

İkinci adım: Yongaların hücre duvarlarında bulunan suyun tamamen buharlaşıp, bileşenlerinin bozulmaya başladığı sıcaklık aralığı olabilir. TGA analizi yapılan örneklerde bu aralık yaklaşık 100-225 °C olarak belirlenmiştir.

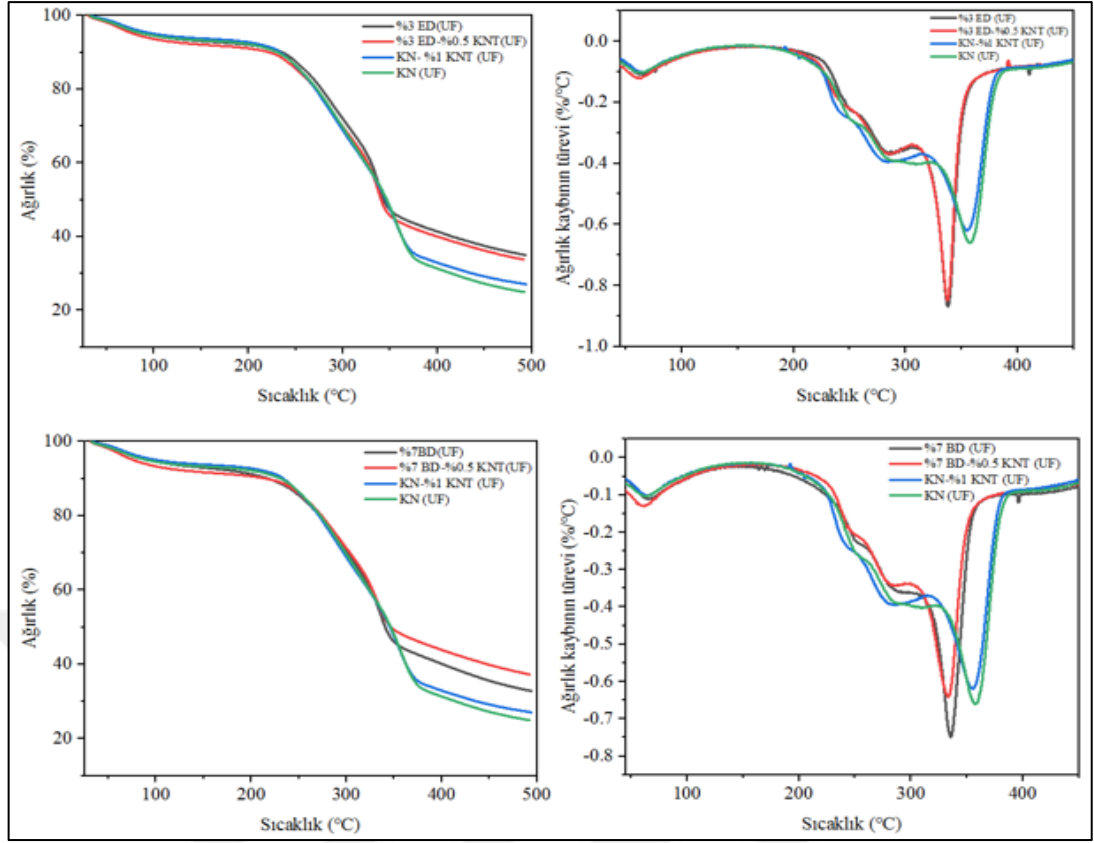
Üçüncü adım: malzemeyi oluşturan ana bileşenlerden hemiselüloz (180-350 °C), selüloz (275-350 °C) ve ligninin (250-500 °C) ayrışmasına ait sıcaklık aralığı olabilir.

Üretilen örneklerden elde edilen analizlerde bu aralık yaklaşık 225-500 °C olarak tespit edilmiştir.

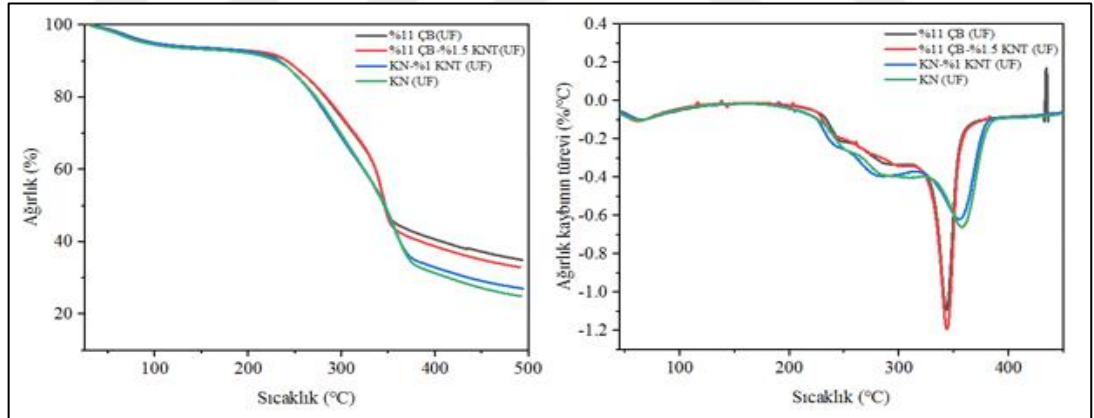
UF tutkallı levha gruplarına ait TGA analizi sonuçları Şekil 4.65, 4.66 ve 4.67’de verilmiştir. UF tutkallı farklı bor türü ve KNT’nin farklı oranları baz alınarak üretilen yonga levhaların 25-500°C sıcaklıkları arasında kalıntı miktarları sırasıyla; %3 BD (%32.99), %7 BD (%32.83), %11 BD (%39.68), %3 EC (%30.79), %3 ED (%34.95), % ÇB (%34.99), KN-%1 KNT (%27.07), %7 BD-%0.5 KNT (%37.32), %3 BD-%0.5 KNT (%37.82), %3 ED-%0.5 KNT (%33.83), %3 EC-%0.5 KNT (%29.97), %11 ÇB-%1.5 KNT (%32.85) olarak tespit edilmiştir. 500°C’de en düşük kalıntı miktarı KN’ye ait levhalarda (%24.95), en yüksek kalıntı miktarı ise %11 BD-%0.5 KNT serisinde üretilen levhalarda (%40.44) belirlenmiştir.



Şekil 4.65. UF tutkallı BD-EC-KNT’li yonga levhaların TGA analizi sonuçları



Şekil 4.66. UF tutkallı ED-BD-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları



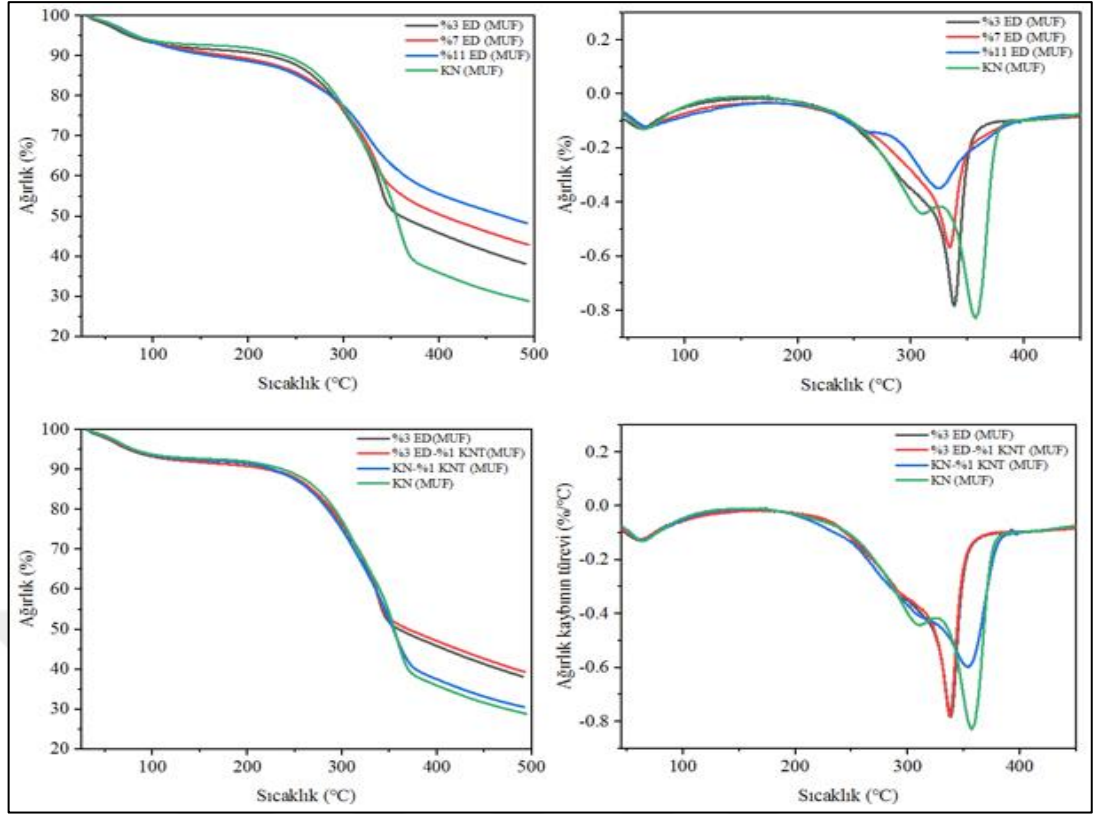
Şekil 4.67. UF tutkallı ÇB-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları

Yonga levhaların ilk bozunmaya başladığı nokta malzemenin termal kararlılığının göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. UF tutkallı üretilen levhalarda KN'nin ilk bozunma sıcaklığı yaklaşık 306.40°C, KN-%1 KNT için ise 326.53°C olarak belirlenmiştir. Bu değerler üretilen BD serisinde; %3 BD için 308.62°C , %7 BD için 309.87°C, %11 BD için 316.71°C olarak belirlenmiştir. BD-KNT serisinde ise; %7 BD-%0.5 KNT 328.04°C olarak belirlenmiştir. ED serisinde; %3 ED için 333.79°C, %3 ED-%05 KNT için ise 330.87°C, EC serisinde; %3 EC için 333.51°C, %3 EC-%0.5 KNT için ise 333.35°C, ÇB serisinde; %11 ÇB için 337.25°C, %11 ÇB-%1.5 KNT için

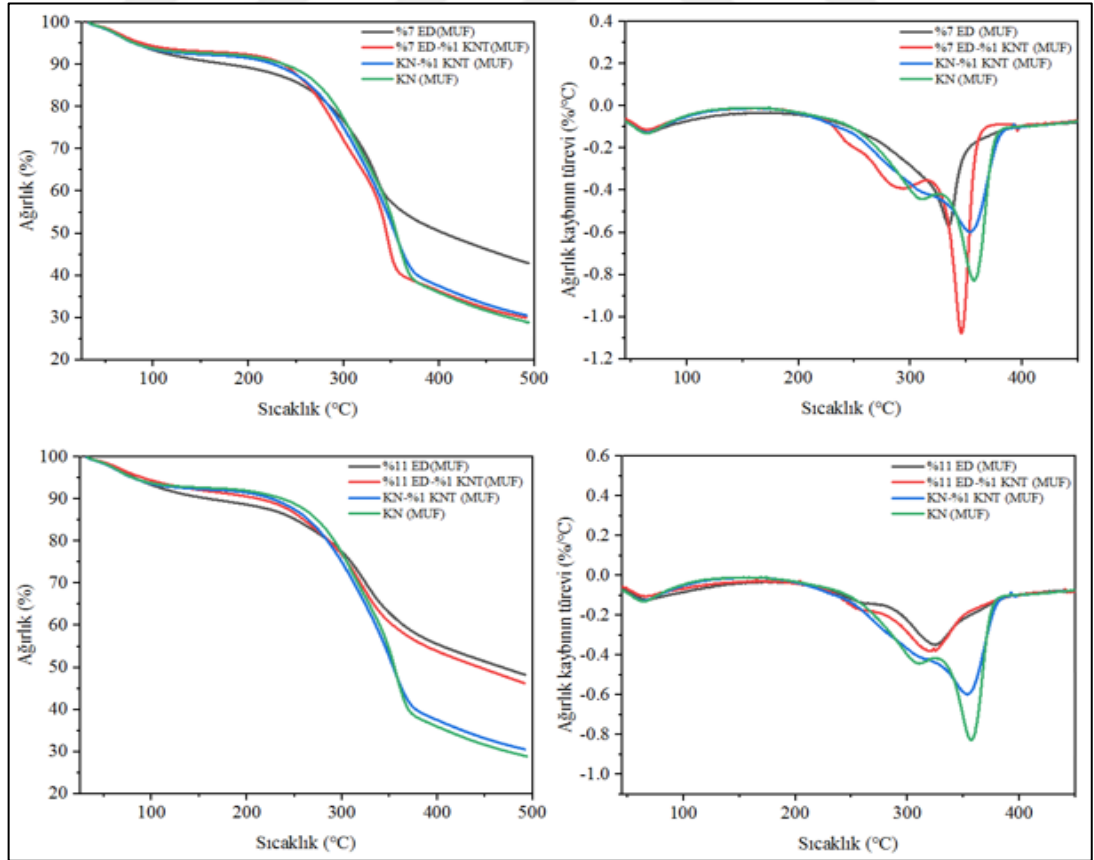
ise 337.33°C olarak belirlenmiştir. Belirlenen ilk bozunma sıcaklıkları baz alındığında, kontrol numunesine göre bor ve KNT'li levhalara ait sıcaklıkların daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ağırlık kaybının birinci türevine ait eğriler incelendiğinde genel olarak üre formaldehit tutkallı levhalarda farklı bor ve KNT kullanımı ile ısı bozunma sırasında oluşan ağırlık kaybı hızlarında yavaşlama olduğu görülmektedir. En yüksek başlangıç bozunma sıcaklığı değeri bu çalışmada kullanılan BD-ED-EC ve ÇB emprenye maddelerinde olması, bu madde karışımlarının en düşük dehidrasyon sıcaklığına sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Yonga levha bileşimine BD-ED-EC-ÇB ve KNT karışımının farklı oranlarda eklenmesiyle, ana termal bozunma aşaması, selüloz ayrışmasının neden olduğu tepe termal bozunma sıcaklığına bağlı olarak kontrol grubuna göre eğriler sola kaymıştır.

MUF tutkallı levha gruplarına ait TGA analizi sonuçları Şekil 4.68 ve Şekil 4.69'da verilmiştir. MUF tutkallı farklı bor türü ve KNT'nin farklı oranları baz alınarak üretilen yonga levhaların 25-500°C sıcaklıkları arasında kalıntı miktarları sırasıyla; %7 ED (%42.89), %3 ED (%38.17), %3 ED-%1 KNT (%39.32), KN-%1 KNT (%30.54), %7 ED-%1 KNT (%29.98), %11 ED-%1 KNT (%46.23) olarak tespit edilmiştir. 500°C'de en düşük kalıntı miktarı KN'ye ait levhalarda (%28.85), en yüksek kalıntı miktarı ise %11 ED serisinde üretilen levhalarda (%48.26) belirlenmiştir.



Şekil 4.68. MUF tutkallı ED-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları



Şekil 4.69. MUF tutkallı ED-KNT'li yonga levhaların TGA analizi sonuçları

MUF tutkallı yonga levhaların ilk bozunmaya başladığı nokta malzemenin termal kararlılığının göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. MUF tutkallı üretilen levhalarda KN'nin ilk bozunma sıcaklığı yaklaşık 318.81°C, KN-%1 KNT için ise 336.22°C olarak belirlenmiştir. Bu değerler üretilen ED serisinde; %3 ED için 319.81°C , %7 ED için 322.58°C, %11 ED için 328.73°C olarak belirlenmiştir. ED-KNT serisinde ise; %3 ED-%1 KNT 336.72°C, %7 ED-%1 KNT 328.81°C, %11 ED-%1 KNT 337.33°C olarak belirlenmiştir. Belirlenen ilk bozunma sıcaklıkları baz alındığında, kontrol numunesine göre bor ve KNT'li levhalara ait sıcaklıkların daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Ağırlık kaybının birinci türevine ait eğriler incelendiğinde genel olarak melamin üre formaldehit tutkallı levhalarda bor ve KNT kullanımı ile ısı bozunma sırasında oluşan ağırlık kaybı hızlarında yavaşlama olduğu görülmektedir. En yüksek başlangıç bozunma sıcaklığı değeri bu çalışmada kullanılan ED emprenye maddesinde olması, bu madde karışımlarının en düşük dehidrasyon sıcaklığına sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Yonga levha bileşimine BD ve KNT karışımının farklı oranlarda eklenmesiyle, ana termal bozunma aşaması, selüloz ayrışmasının neden olduğu tepe termal bozunma sıcaklığına bağlı olarak kontrol grubuna göre UF tutkallı üretilen yongalevhalarda olduğu gibi eğriler sola kaymıştır.

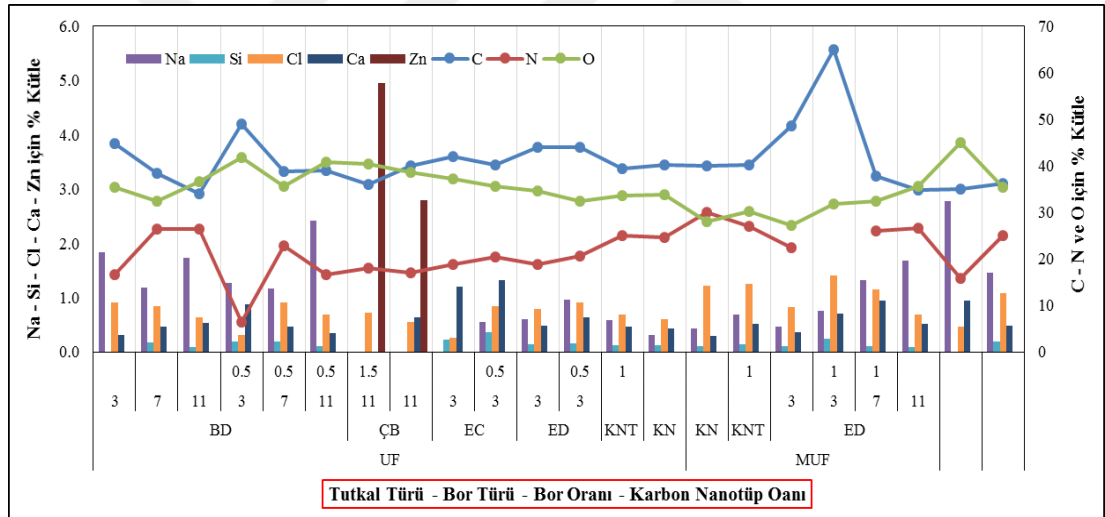
Selüloz, ahşap malzemede termal bozunmanın ilerlemesinden sorumlu olan ana bileşen görevi görmektedir. Selüloz reaksiyonlarının neden olduğu pik termal ayrışmada daha düşük sıcaklıkta meydana geldiğinde, bu durum daha az yanıcı uçucu ürüne ve daha fazla miktarda kömür oluşumuna neden olmaktadır. Kömür tabakası ahşap yüzeyinde termal bir bariyer görevi görür ve ahşap bileşenini, özellikle de selülozu ciddi termal bozulmaya karşı korur. Bazı yangın geciktirici türleri benzer bir etki mekanizmasına sahiptir (Terzi, 2018).

UF ve MUF tutkallı üretilen yonga levhaların KN örneklerinin bozunma sıcaklıkları incelendiğinde; UF ile üretilen KN levhalarında 306.40 °C olan değer, MUF ile üretilen yongalevhalarda 318.81°C olarak bulunmuştur. Genel olarak UF ve MUF tutkallı yonga levhaların bozunma sıcaklıkları karşılaştırıldığında MUF tutkallı yonga levhaların sıcaklıkları daha yüksek elde edilmiştir. Kalıntı miktarları

karşılaştırıldığında ise MUF'lu yonga levhalarda daha yüksek, ayrıca MUF tutkalının termal kararlılığı UF tutkalına göre daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.4.2. SEM-EDS analizi

SEM analizi ile bor ve KNT'nin (düşük oranlarda kullanılması) yonga levhada dağılımları görüntülenemediği için, Tarayıcı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X Işını Analizi (SEM-EDS) kullanılarak, UF ve MUF tutkalı üretilen yonga levhalarının kimyasal ve elementel içeriğindeki değişiklikler belirlenmiştir. Örneklerin yüzeylerinden alınan EDS verileriyle belirlenen elementlerin dağılımı incelenmiştir. SEM-EDS analizi sonucu elde edilen elementlere ait veriler (C, O, N, Cl, Na, Ca, Si ve Zn) Şekil 4.70'de, Ayrıca EDS spektrumunda belirlenen tüm elementlere ait veriler ise EK C'de sunulmuştur.



Şekil 4.70. UF ve MUF tutkalı yonga levhaların EDS sonuçları

Yonga levhada bor ve karbon nanotüp (KNT) kullanıldığında element içeriklerinde ortaya çıkan değişimler, EDS haritalaması ve spektrumları ile açıklanmıştır. Yapılan analizlerde, EDS spektrumları, kontrol numunesi (KN), bor ve KNT'li deney gruplarının bileşiminde olması beklenen C, O, N, Cl, Na, Ca, Si ve Zn elementlerinin varlığını doğrulamıştır.

Kontrol grubu olarak kullanılan UF'lu yonga levhada bulunan C, O, N, Na ve Ca elementlerinin oranları sırasıyla %40.14, %33.75, %24.52, %0.32 ve %0.43 olarak belirlenirken, MUF'lu yonga levhada bu oranlar %39.97, %27.96, %30.01, %0.43 ve

%0.29 olarak tespit edilmiştir. Yonga yapılarında bulunan element miktarları (C, O, N), beklenildiği gibi yüksek oranda tespit edilmiştir. KNT kullanılarak üretilen UF'lu yonga levhada KN'de %1 oranında KNT kullanıldığında, C, O, N, Na ve Ca değerleri sırasıyla %39.38, %33.58, %24.93, %0.59 ve %0.46 olarak ölçülmüştür. MUF'lu yonga levhada ise aynı oranda KNT eklenmiş KN'de C, O, N, Na ve Ca değerleri sırasıyla %40.20, %30.24, %26.57, %0.69 ve %0.52 olarak belirlenmiştir.

UF ve MUF'lu yonga levhalarının yüzeylerinden alınan EDS verileri incelendiğinde, KN (bor+KNT içermeyen) yonga levhalar ile borsuz+KNT'li levhalar karşılaştırıldığında elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, yüzeyden alınan EDS verilerinde ortamda bulunan başka element miktarlarında ortaya çıkan artışa paralel olarak KNT miktarında daha düşük değerler elde edildiği sonucuna varılabilir.

UF'lu üretilen yonga levhalarda kullanılan bor türlerinin içeriğinden kaynaklı en yüksek oranda beklenen elementler sırasıyla %3 Eticol (Ca-%1.20), %7 Boraks (Na-%1.18,), %11 Boraks (Na, %1.74), %3 Etidot (Na, %0.61), %11 Çinkoborat (Zn, %2.79), %3 Boraks (Na, %1.84) olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu oranlar kullanılan bor türlerinin malzemeye başarılı bir şekilde bağlandığını göstermektedir.

KNT bor türleri ile birlikte kullanıldığında, üretilen yonga levhalarda, yapıdan kaynaklı beklenen elementler sırasıyla %7 Boraks-% 0.5 KNT (Na, %1.16, O-%35.69, N-%22.79, C-%38.81), %11 Boraks-%0.5 KNT (Na, %2.41, O-%40.69, N-%16.62, C-%39.01), %3 Eticol-%0.5 KNT (Ca, %1.32, O-%35.67, N-%20.36, C-%40.23), %3 Etidot-%0.5 KNT (Na, %0.97, O-%32.45, N-%20.65, C-%44.03), %11 Çinkoborat-%1.5 KNT (Zn, %4.95, O-%40.26, N-%18.03, C-%36.01), %3 Boraks -%0.5 KNT (Na, %1.27, O-%41.83, N-%6.36, C-%48.91) oranlarında tespit edilmiştir.

KNT kullanıldığında yapının ana elemanı olan karbon (Mazaheri vd., 2022) miktarında genel olarak artış meydana gelmiştir. Bu artış KNT'nin tutkal içerisinde homojen bir şekilde karışımının sağlandığı ve bunun sonucunda malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşme meydana geldiği belirlenmiştir. Bazı örneklerde

tespit edilen karbon miktarının KN'de belirlenen değere yakın veya altında olması, EDS değerlerinin alındığı yüzeyden kaynaklı olabilir.

MUF'lu üretilen yonga levhalarda kullanılan bor türlerinin yapılarından kaynaklı en yüksek oranda beklenen elementler sırasıyla %3 Etidot (Na, %0.47), %7 Etidot (Na, %2.77), %11 Etidot (Na, %1.69) olarak tespit edilmiştir. Elde edilen değerlerde bor türünde yüksek oranda var olan elementlerin tespit edilmesi, yonga levha malzemesine bağlanmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Aynı zamanda üretilen yonga levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerindeki azalmalar Yalçınkaya (2014) ve Dönmez (2005), borların yapısından kaynaklı gerçekleştiği bu veriler ile doğrulanmıştır. %3 Etidot içeriğinde Na içeriğinin düşük oranda tespit edilmesi, EDS verilerinin alındığı yüzeyden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Karbon nanotüp bor türleri ile birlikte kullanıldığında üretilen yonga levhada beklenen elementler sırasıyla %3 Etidot-%1 KNT (Na, %0.75, O-%31.73, C-%64.84), %7 Etidot-%1 KNT (Na, %1.32, O-%32.39, N-%26.09, C-%37.77), %11 Etidot-%1 KNT (Na, %1.46, O-%35.41, N-%25.05, C-%36.13) oranlarında elde edilmiştir. Karbon nanotüp kullanıldığında yapının ana elemanı olan karbon miktarında sadece %3 Etidot-%1 KNT örneğinde artış meydana gelmiştir.

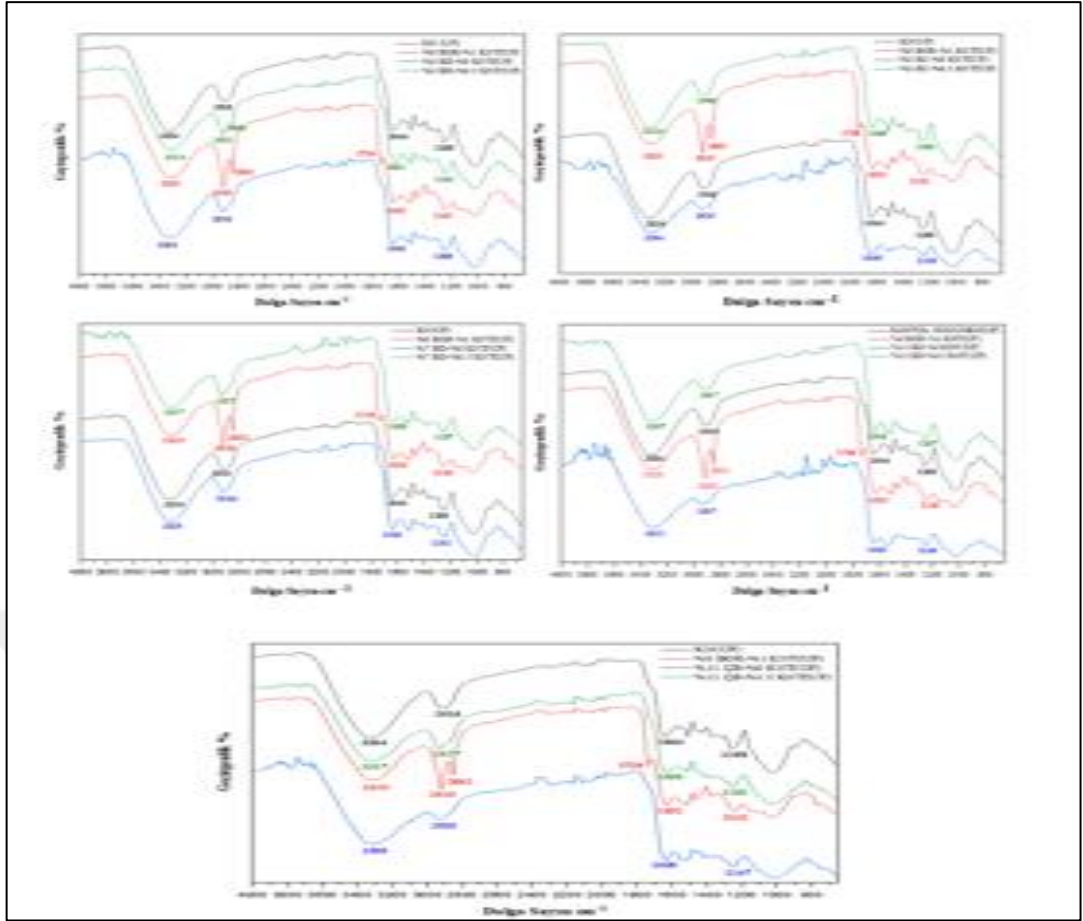
4.4.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi

Lignin, selüloz ve hemiselüloza ait absorpsiyon bantları 1800 ile 800 cm^{-1} (moleküllerdeki esneme ve bükülme titreşimleri, ayrıca parmak izi bölgesi olarak da adlandırılmaktadır) dalga boyu aralıklarında bulunmaktadır. Aynı zamanda 3550 ile 2900 cm^{-1} dalga boyu aralığının da (OH ve C-H gerilmesi) odun ana bileşenleri bakımından önemli olduğu tespit edilmiştir (Kubovský vd., 2022).

Ağırlıkça farklı bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen melamin üre formaldehit ve üre formaldehit tutkallı yonga levhalarda oluşan, değişen veya ayrılan bağ yapılarını görmek için FTIR Spektroskopisi analizi gerçekleştirilmiştir. Yonga levhalara ait FTIR analizi için belirlenen fonksiyonel grupların yerleri Çizelge 4.1'de sonuçları ise Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma kapsamında IR spektrumunda belirlenen dalga boylarına karşılık gelen fonksiyonel grupların gösterimi (Wang vd., 2014; Polat ve Sayan, 2020; Zhang vd., 2020; Gül, 2021)

Dalga Sayısı Aralık (cm ⁻¹)	Fonksiyonel Gruplar	Titreşim Türü
3500-3000	Su, alkol ve fenollere ait OH grupları	O-H gerilimleri
2980-2820	CH ₂ , CH ve CH ₃	C-H gerilimi
1750-1720	Ester, Keton, Aldehitler ve Karboksilik asit grupları	C=O, C=H ve C=C gerilimleri
1640-1660	OH grupları	C=C gerilimi
1240-1330	Lignin S ve G üniteleri ile OH	C-O gerilimi ve OH kıvrılması, asetil ester gruplarının asimetrik titreşim gerilimleri



Şekil 4.71. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların FTIR analiz sonuçları

3000 ile 3500 cm^{-1} arasındaki pikler, su ve fenollere ait O-H gerilme titreşimlerini göstermektedir (Polat ve Sayan, 2020). Bu aralıkta meydana gelen güçlü absorpsiyon, N-H ve O-H gerilmesiyle ilişkilidir (Bacigalupe vd., 2020; Artner vd., 2021). Özellikle KNT ilaveli örneklerin absorpsiyon değerlerinde belirgin bir değişim meydana gelmiştir. Bu değişim KNT ilavesiyle tutkal ve malzeme arasında bağın gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca bu bölgede bulunan bantlardaki değişim su ve formaldehit gibi yan ürünlere de bağlanabilir. Suyun O-H grupları, KNT ve kullanılan tutkal arasında, CH_2OH , NH_2 ve NH gibi reaktif fonksiyonel gruplarla potansiyel olarak hidrojen bağları meydana gelebilir. Bu kıvrımlı bantlar aynı zamanda OH gerilmesine karşılık gelen dalga sayıları selülozun molekül içi hidrojen bağlarıyla ilişkilide olabilir (Azeem Arshad vd., 2017). Meydana gelen azalma ve kaymalar karışımında kullanılan maddelerin fonksiyonel grupları arasında etkileşimde güçlü bir artışın meydana geldiğini göstermektedir.

2820–2980 cm^{-1} 'deki bantlar asimetrik $-\text{CH}_3$ ve simetrik $-\text{CH}_2$ 'ye gruplarına karşılık gelmektedir (Wang vd., 2014). Başka bir çalışmada ise 2915-2820 cm^{-1} 'deki absorpsiyon bantları C-H gerilmesi sonucu oluştuğu belirlenmiştir (Pokhrel vd., 2020). C-H gerilmesi, malzemenin yapısındaki yapısal değişimlerin meydana geldiğini göstermektedir. Aynı zamanda karbon nanotüp ve borun maddeye başarılı bir şekilde bağlandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

1720-1740 cm^{-1} aralığında bulunan absorpsiyon aldehitlerin, eşleşmemiş ketonların, ester gruplarında ve karboksilik asitlerdeki $\text{C}=\text{O}$ gerilme titreşimlerini belirtmektedir. Bu absorpsiyonlarda meydana gelen değişim, karbonil ve karboksil grupların oluştuğunu göstermektedir. Az değişikliğin olması az karbonil ve karboksilli grupların oluştuğu anlamına gelmektedir (Temiz, 2005; Şankal, 2013; Eren, 2015; Gül, 2021). 1744 cm^{-1} absorpsiyon bandındaki (Sharifpour vd., 2020) değişim KNT'nin $\text{C}=\text{C}$ (alken grubu) ve C-H titreşimlerine ait değişimleri gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında KNT, tutkalla birlikte kullanıldığında 1735 cm^{-1} absorpsiyon bandında belirgin bir artış meydana gelmiştir. Bu değişim KNT-Odun-Tutkal arasında kuvvetli etkileşimlerin meydana geldiğini göstermektedir. Diğer üretilen yongalevhelerde ise belirtilen absorpsiyon bandında karbonil ve karboksilli gruplarda değişim olsa bile belirgin bir değişiklik meydana gelmemiştir.

1640-1660 cm^{-1} aralığındaki absorpsiyon bantlarında emprenye maddelerinin meydana getirdiği değişimler, bu maddeler ile hidroksil grupları arasında etkileşimin olduğunu, 1632 cm^{-1} absorpsiyon bandında ortaya çıkan $\text{C}=\text{C}$ gerilmelerinin ise KNT yapısından kaynaklı olabileceği belirtilmiştir (Temiz, 2005; Eren, 2015; Şankal, 2013; Pokhrel vd., 2020; Sun vd., 2023). FTIR spektrumlarında 1632-1644 cm^{-1} absorpsiyon bantları arasında kullanılan emprenye maddesine göre değişkenlik göstermiştir. Bu değişimler KNT-Odun-Bor türleri arasında bulunan hidroksil gruplarının etkileşimleri sonucu ortaya çıkmış olabilir. Ayrıca buradaki değişimler sonucu OH gruplarının bağlanması ile birlikte fiziksel ve mekanik özellikler üstünde etkili olmuş olabilir.

1240 cm^{-1} absorpsiyon bandında (Gül, 2021) tarafından C-O gerilme titreşimi tespit edilmiştir. 1268 cm^{-1} 'de bulunan absorpsiyon bantlarında ise B–O–H'nin düzlem içi bükülmesine bağlanılmıştır (Polat ve Sayan, 2020). Başka çalışmalarda ise 1236 cm^{-1} -1238 cm^{-1} tepe noktalarında ortaya çıkan değişiklikler sırasıyla esterinin

yapısal değişimlerin meydana geldiğini gösterse de, MUF'lu örneklerde belirgin bir şekilde gözlemlenmemiştir. Bu verilere göre karbon nanotüp ve borun maddeye zayıf bir şekilde bağlandığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

1720-1740 cm^{-1} aralığında bulunan absorpsiyon aldehitlerin, eşleşmemiş ketonların, ester gruplarında ve karboksilik asitlerdeki C=O gerilme titreşimlerini belirtmektedir. Bu absorpsiyonlarda meydana gelen değişim, karbonil ve karboksil grupların oluştuğunu göstermektedir. Az değişikliğin olması az karbonil ve karboksilli grupların oluştuğu anlamına gelmektedir (Temiz, 2005; Şankal, 2013; Eren, 2015; Gül, 2021). Bu değişimlerin çok az bir şekilde ortaya çıkması KNT-Odun-Tutkal-Bor türleri kullanılarak üretilen yongalevhelerde emprenye maddeleri arasında çok düşük oranlarda zayıf etkileşimlerin meydana geldiğini göstermektedir. Ayrıca belirtilen absorpsiyon bant aralığında karbonil ve karboksilli gruplarda değişim olsa bile belirgin bir değişiklik gözlemlenememiştir.

1236 cm^{-1} -1238 cm^{-1} tepe noktalarında ortaya çıkan değişiklikler sırasıyla esterin yapısında bulunan C-C gruplarının varlığına veya C-N ve N-H gerilmesinden kaynaklı olabileceği belirtilmiştir (Maha ve Mirghani, 2017; Argın vd., 2019; Zhang vd., 2022). %11 ED-%0 KNT (MUF), %11 ED-%1 KNT, KN(MUF) ve %0 BOR-%1 KNT'li üretilen yongalevhelerin sadece KN(MUF) ve %0 BOR-%1 KNT örneklerine ait 1260-1261 cm^{-1} bantlarında belirgin bir değişiklik meydana gelmiştir. Bu değişimler KNT-Odun arasında sp^2 hibritleşmesinden sp^3 hibritleşmesine bağların azda olsa döndüğü söylenebilir. Ayrıca bu değişim gene C-C, C-N ve N-H bağlarının oluşmasına bağlanabilir. Diğer serilerde her ne kadar değişim olsa da belirgin bir şekilde gözlemlenememiştir.

4.5. Deneysel Sonuçların İstatistiksel Analizleri

Bu bölümde, bor türleri ile birlikte farklı oranlarda karbon nanotüp kullanılarak üretilen MUF ve UF tutkallı yonga levhaların, fiziksel özelliklerinden yoğunluk, su alma, kalınlık artımı, mekanik özelliklerden ise eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci gibi özellikleri üzerinde farklı katkı maddesi ve parametrelerin etkisinin tespit edilebilmesi için istatistiksel analiz gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneylerden elde edilen verilerin istatistiksel analiz ve tasarımları için Deisgn Expert 11.1.2.0 programında var olan yanıt yüzey metodolojisi yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntem, bağımlı değişkenleri etkileyen matematiksel ve istatistiksel tekniklerin kullanıldığı bir süreçtir. Bu teknikler, bağımlı değişkenler üzerinde tek tek ve kombinasyon halinde bağımsız değişkenlerin etkilerini belirlemek amacıyla matematiksel modeller oluşturmayı sağlamaktadır. Bu modeller, genellikle veri analizi ve tahmin amaçlarıyla kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, olayların arkasındaki ilişkileri açıklamak ve anlamak için matematik ve istatistikten yararlanan bir yaklaşımı ifade etmektedir (Tüfekçi, 2017).

Matematiksel modellerin belirlenmesi ve tasarım optimizasyonu, amaç fonksiyonlarının tanımlanması yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte, çeşitli matematiksel veya sayısal yöntemler kullanılarak optimum sonuçlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Yani, belirli hedeflere ulaşmak için matematiksel modelleri şekillendirme ve daha sonra bu modelleri optimize etme süreci, tasarımın güçlü ve etkili bir şekilde geliştirilmesini sağlamaktadır (Tüfekçi, 2017).

4.5.1. İstatistiksel analiz

Üretilen yonga levhanın tasarımında, iki farklı (MUF-UF) tutkalın her biri için 4 farklı bor tipi (ÇB, BD, ED, EC), 4 farklı bor oranı (%0-3-7-11) ve 4 farklı karbon nanotüp oranında (%0-0.5-1-1.5) karışım tasarımı hazırlanarak üç farklı bağımsız değişken kullanılmıştır.

Bu bağımsız değişkenlere bağlı olarak elde edilen yoğunluk, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci, su alma miktarı ve kalınlıkta artım gibi bağımlı değişkenler arasında istatistiksel analiz yapabilmek için ilk önce uygun istatistiksel modelin seçilmesi gerekmektedir. Uygun istatistiksel model seçildikten sonra varyans analizleri gerçekleştirilerek, deneysel tasarımdaki bağımlı değişkenler bağımsız değişkenler cinsinden denklemler elde edilmiştir.

4.5.1.1. Design expert programı ile model seçiminin yapılması ve varyans (ANOVA) analizinin gerçekleştirilmesi

Design expert programı kullanılarak uygun model ve varyans analizini yapabilmek için ilk önce programa bağımsız ve bağımlı değişkenler tanıtılmalıdır. Bu sebeple ilk önce bor tipi ve oranları ile karbon nanotüp oranları sırasıyla programa tanıtılmıştır. Tanıtma işlemi sonrasında program tarafından oluşturulan tasarıma göre bağımlı değişkenlerden yoğunluk, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci, su alma miktarı ve kalınlıkta artımın deneysel sonuçlarına ait sayısal veriler sisteme dâhil edilmiştir.

Design Expert paket programı içinde, model katsayılarındaki en doğru tahminlere ulaşmak amacıyla D-optimal kriterlerinden yararlanılarak $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA, bağımlı değişkenler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Ayrıca ANOVA analizi, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. %95 güven aralığında bir çalışma gerçekleştirildiğinde ANOVA tablosunda ilgili parametrenin p değerinin 0.05'ten küçük olması durumunda seçilen modelin uygun olduğu ortaya çıkmaktadır. Design expert programında farklı modeller “lineer model, 2FI (ikili bağımsız değişken etkileşimi), kuadratik ve kübik” bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında her bir bağımlı değişken için ayrı ayrı bu modeller incelenerek en uygun model kullanılmıştır. Bu modellerin hangi amaçlar ile kullanıldığı ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Daha sonra program tarafından belirlenen modelin yüksek korelasyon katsayıları elde edebilmek için modele ait p değeri ANOVA ile analiz edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin etkilerini belirleyen p-değeri, 0.1’in üzerinde ise, bu değişkenin model üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir. Ancak 0.05’in altındaysa, bağımsız değişkenin model üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir (Tüfekçi, 2017). Gerçekleştirilen ANOVA analizine göre yonga levha üretiminde kullanılan bağımsız ve bağımlı değişkenler için en yüksek R^2 değerleri kuadratik modelinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile birlikte, çalışma kapsamında kuadratik modeli kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. Design Expert paket programında kullanılan modeller

Model	Bağımsız Değişkenlerin özellikleri
Lineer	Bağımsız değişkenlerin tekli olarak kullanıldığı model (A, B, C gibi).
2FI (İkili etkileşim)	Bağımsız değişkenlerin tekli ve ikili olarak kullanıldığı model (AB, AB, AC gibi).
Kuadratik	Bağımsız değişkenlerin tekli, ikili olarak ve tekli terimlerin karelerinin de kullanıldığı model (AB, AC, BC, A ² , B ² , C ² gibi).
Kübik	Bağımsız değişkenlerin tekli, ikili, üçlü olarak kullanıldığı model (ABC, A ² B, A ² C, AB ² , A ³ , B ³ , C ³ gibi).

4.5.1.2. Yoğunluk deneyi sonuçlarının analizi

Yoğunluk deneyi sonuçları kapsamında, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları UF ve MUF tutkallı levhalar için Çizelge 4.3'te verilmiştir. UF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre KNT oranı, BC (Bor oranı x KNT oranı) ve KNT oranının karesi (C²) etkileşimlerinin p-değeri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. MUF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre BC (Bor oranı x KNT oranı) ve bor oranının karesi (B²) etkileşimlerinin p-değeri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yoğunluk deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

Tutkal Tipi	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
Üreformatdehit (UF)	Model	0.0113	9	0.0013	20.90	0.0003	Anlamlı
	A-Bor Türü	0.0000	1	0.0000	0.7627	0.4114	Anlamsız
	B-Bor Oranı	0.0001	1	0.0001	2.17	0.1839	Anlamsız
	C-KNT Oranı	0.0042	1	0.0042	69.48	<0.0001	Anlamlı
	AB	0.0000	1	0.0000	0.1871	0.6783	Anlamsız
	AC	0.0000	1	0.0000	0.6342	0.4520	Anlamsız
	BC	0.0020	1	0.0020	32.95	0.0007	Anlamlı
	A ²	0.0002	1	0.0002	3.83	0.0912	Anlamsız
	B ²	0.0006	1	0.0006	9.48	0.0178	Anlamsız
	C ²	0.0025	1	0.0025	41.13	0.0004	Anlamlı
Melamin Üreformatdehit (MUF)	Model	0.0204	9	0.0023	8.05	0.0059	Anlamlı
	A-Bor Türü	0.0018	1	0.0018	6.50	0.0382	Anlamsız
	B-Bor Oranı	0.0004	1	0.0004	1.28	0.2945	Anlamsız
	C-KNT Oranı	0.0001	1	0.0001	0.3157	0.5917	Anlamsız
	AB	0.0010	1	0.0010	3.47	0.1047	Anlamsız
	AC	0.0005	1	0.0005	1.87	0.2133	Anlamsız
	BC	0.0048	1	0.0048	16.96	0.0045	Anlamlı
	A ²	0.0015	1	0.0015	5.19	0.0568	Anlamsız
	B ²	0.0078	1	0.0078	27.57	0.0012	Anlamlı
	C ²	0.0001	1	0.0001	0.3361	0.5803	Anlamsız

MUF ve UF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonucu elde edilen F değerinin yüksek olması kullanılan modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.3'te yoğunluk deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde sırasıyla F değerleri 20.90 ve 8.05 olarak elde edilmiştir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca yoğunluk deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R² değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yoğunluk verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

UF TUTKALLI LEVHALAR				MUF TUTKALLI LEVHALAR			
Standart sapma	0.007	R ²	0.9641	Standart sapma	0.0168	R ²	0.9118
Ortalama	0.6554	düzeltilmiş R ²	0.9180	Ortalama	0.6458	düzeltilmiş R ²	0.7985
Varyans katsayısı (C.V.) %	1.18	Tahmin edilen R ²	-0.1318	Varyans katsayısı (C.V.) %	2.60	Tahmin edilen R ²	-1.1377
		Kesinlik yeterliliği	15.7294			Kesinlik yeterliliği	8.7799

İstatistiksel analizin değeri, R-kare gibi varyans oranlarıyla doğrulanabilir. Bu oran, ideal olarak 1'e mümkün olduğunca yakın olmalıdır ve düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki farkın %20'nin altında olmalıdır (Harith, 2023). UF ve MUF tutkallı levhalar için yoğunluk deney sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde R^2 değeri sırasıyla %96.41-91.18 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. UF ve MUF tutkallı levhalar için yoğunluk deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark %20'den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ancak düzeltilmiş R^2 değerleri R^2 'ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

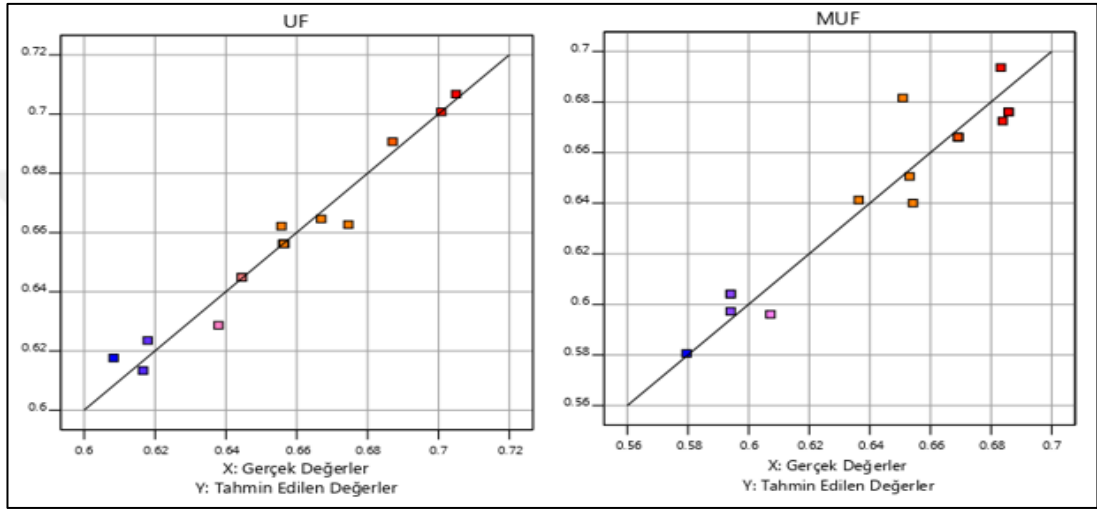
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılabilir. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan başka bir kriter ise varyasyon katsayısıdır (C.V). UF ve MUF tutkallı levhalar için bu parametre, veri kümesinin dağılımını göstermekte olup değer sırasıyla %1.18-2.60 olarak bulunmuştur. Bu sonuç varyasyon katsayısının veri kümesindeki dağılımın anlamsız olduğunu göstermektedir (Al-kahtani vd., 2023).

UF ve MUF tutkallı levhalar için yoğunluk deneyi sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yoğunluk deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler

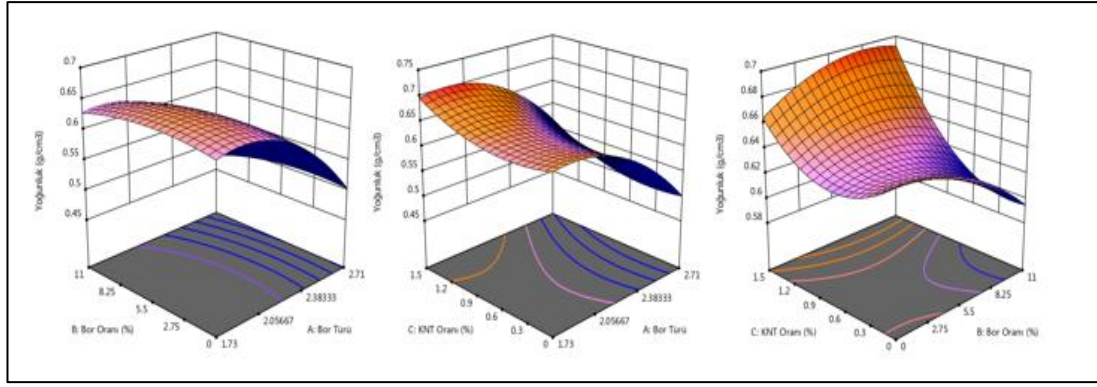
Fiziksel özellik	Denklemler
Yoğunluk (UF)	$-0.720167+1.08193*A-0.004296*B+0.001870*A*B+0.015753*A*C+0.005148*B*C-0.211020*A^2-0.000473*B^2+0.051746*C^2$
Yoğunluk (MUF)	$-2.84485+2.74415*A+0.041092*B+0.123440*C-0.009478*A*B-0.054651*A*C+0.007453*B*C-0.538085*A^2-0.001892*B^2-0.011257*C^2$

Yoğunluk deneyi sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendirebilmek için, kullanılan tepki yüzey metodunda birden fazla serbest değişkenin bulunduğu durumların analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu durum yöntemin hata fonksiyonlarını minimize edebilme ve veri türetme problemlerini istatistiksel açıdan analiz edebilme yeteneğine sahip olduğu ortaya koymuştur. Model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.5’deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve Şekil 4.73’te verilmiştir.



Şekil 4.73. UF ve MUF tutkalı yonga levhaların yoğunluk deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

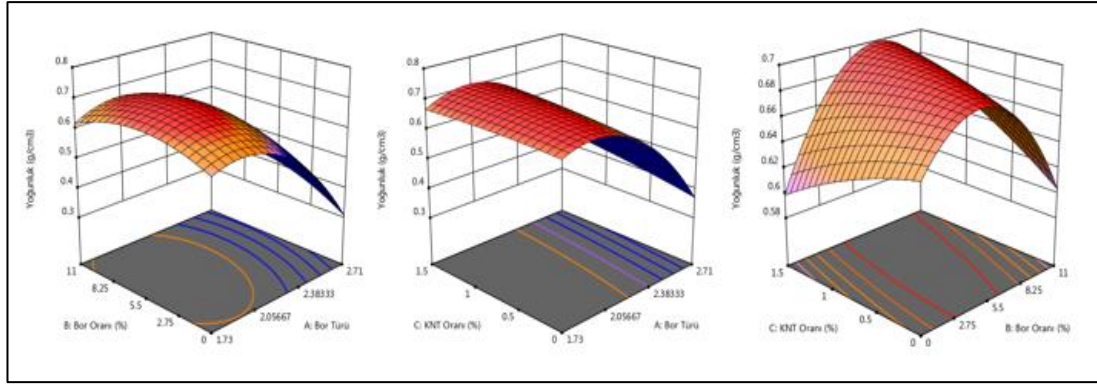
3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.74’de gösterilmiştir. Farklı bor türleri (ÇB-BD-ED-EC) farklı oranlarda (%0-3-7-11) karbon nanotüp ile birlikte farklı oranlarda (%0-0.5-1-1.5) kullanıldığında malzemede meydana gelen değişiklikler yanıt yüzey grafiklerinde belirginleşmiştir. ÇB-BD-ED-EC sisteme yoğunlukları sırasıyla 2.71-1.73-2.26-2.50 olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.74. UF tutkallı bor ve KNT kullanımının yonga levhaların yoğunlukları üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

UF tutkallı yonga levhalar için, yüzey grafikleri Şekli 4.74’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT oranı artışı yoğunluk değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde yoğunluğa olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin yoğunluğunda değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında yoğunluğu en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında en düşük %11 en yüksek %3 değerlerinde değişiklik meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranı değişimlerinin yoğunluk değerleri üzerinde etkili olduğundan bahsedilebilir.

MUF tutkallı yonga levhalar için, yüzey grafiklerinde Şekli 4.75’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT oranı artışı yoğunluk değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde yoğunluğa olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin yoğunluğunda değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında yoğunluğu en yüksek %0.5 en düşük %1.5 değerlerinde, bor oranında en düşük %11 en yüksek %7 değerlerinde değişiklik meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranı değişimlerinin yoğunluk değerleri üzerinde etkili olduğundan sözedilebilir.



Şekil 4.75. MUF tutkallı bor ve KNT kullanımının yonga levhaların yoğunlukları üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

4.5.1.3. Su alma deneyi sonuçlarının analizi

UF tutkallı yonga levhaların su alma oranlarına ait değerlerin istatistiksel analiz sonuçları

UF tutkallı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçları kapsamında, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları UF tutkallı levhalar için Çizelge 4.6’da verilmiştir. Buna göre 2 saat su alma sonuçları için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, KNT oranı, AB (bor türü x bor oranı), bor türünün karesi (A^2), bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. 24 saatlik su alma sonuçları için ise gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, KNT oranı, BC (bor oranı x KNT oranı), bor türünün karesi (A^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. UF tutkallı yonga levhaların su alma deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
UF (2 saat)	Model	1585.65	9	176.18	115.01	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	33.08	1	33.08	21.59	0.0035	Anlamlı
	B-Bor Oranı	238.70	1	238.70	155.82	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	24.69	1	24.69	16.12	0.0070	Anlamlı
	AB	24.05	1	24.05	15.70	0.0074	Anlamlı
	AC	7.71	1	7.71	5.03	0.0660	Anlamsız
	BC	7.1	1	7.1	4.64	0.0747	Anlamsız
	A ²	13.49	1	13.49	8.81	0.0250	Anlamlı
	B ²	661.16	1	661.16	431.59	<0.0001	Anlamlı
	C ²	184.41	1	184.41	120.38	<0.0001	Anlamlı
UF (24 saat)	Model	747.36	9	83.04	67.94	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	48.79	1	48.79	39.92	0.0007	Anlamlı
	B-Bor Oranı	92.43	1	92.43	75.62	0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	19.87	1	19.87	16.26	0.0069	Anlamlı
	AB	0.1371	1	0.1371	0.1121	0.7491	Anlamsız
	AC	6.28	1	6.28	5.14	0.0640	Anlamsız
	BC	498.46	1	498.46	407.81	<0.0001	Anlamlı
	A ²	25.91	1	25.91	21.20	0.0037	Anlamlı
	B ²	5.09	1	5.09	4.16	0.0875	Anlamsız
	C ²	13.22	1	13.22	10.81	0.0167	Anlamlı

Çizelge 4.6’da su alma deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde 2 ve 24 saat için F değerleri sırasıyla 115.01 ve 67.94 olarak elde edilmiştir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R² değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. UF tutkalları seriler için su alma verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

UF TUTKALLI LEVHALAR									
2 saat	Standart sapma	1.24	R ²	0.9942	24 saat	Standart sapma	1.11	R ²	0.9903
	Ortalama	59.69	Düzeltilmiş R ²	0.9856		Ortalama	65.98	Düzeltilmiş R ²	0.9757
	Varyans katsayısı (C.V.) %	2.07	Tahmin edilen R ²	-1.4584		Varyans katsayısı (C.V.) %	1.68	Tahmin edilen R ²	-3.1452
			Keskinlik yeterliliği	31.4195				Keskinlik yeterliliği	29.8811

Su alma deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde 2 ve 24 saat için sırasıyla R^2 değerleri %99.42-99.03 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. Su alma deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark 2 ve 24 saat için %20'den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ayrıca 2 ve 24 saat için düzeltilmiş R^2 değerleri R^2 'ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

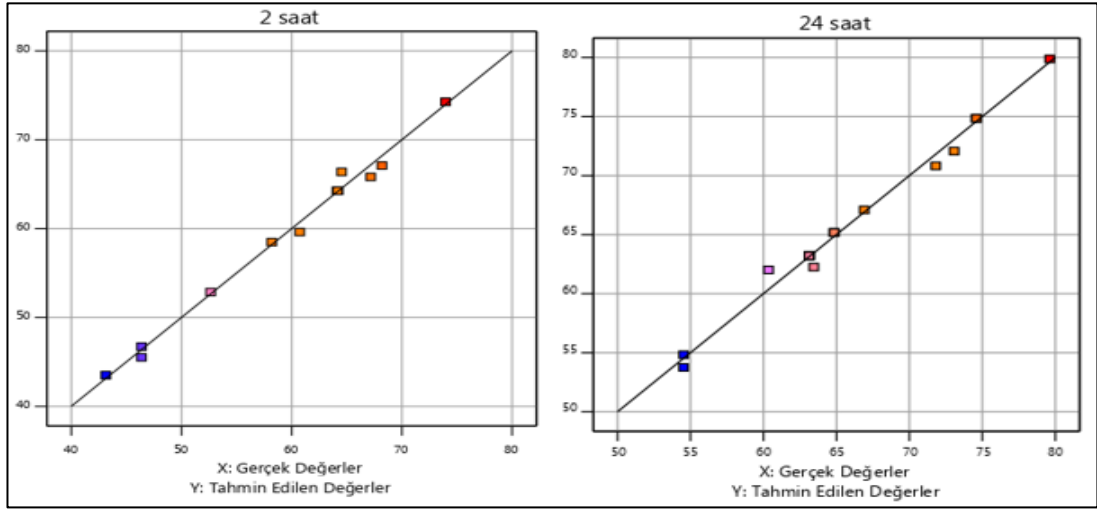
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılmıştır. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan bir diğer kriter olan varyasyon katsayısı (C.V), veri kümesinin dağılımını göstermekte olup 2 ve 24 saat için değeri sırasıyla %2.07-1.68 olarak bulunmuştur.

2 ve 24 saat için su alma deneyi sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. UF tutkallı seriler için su alma deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler

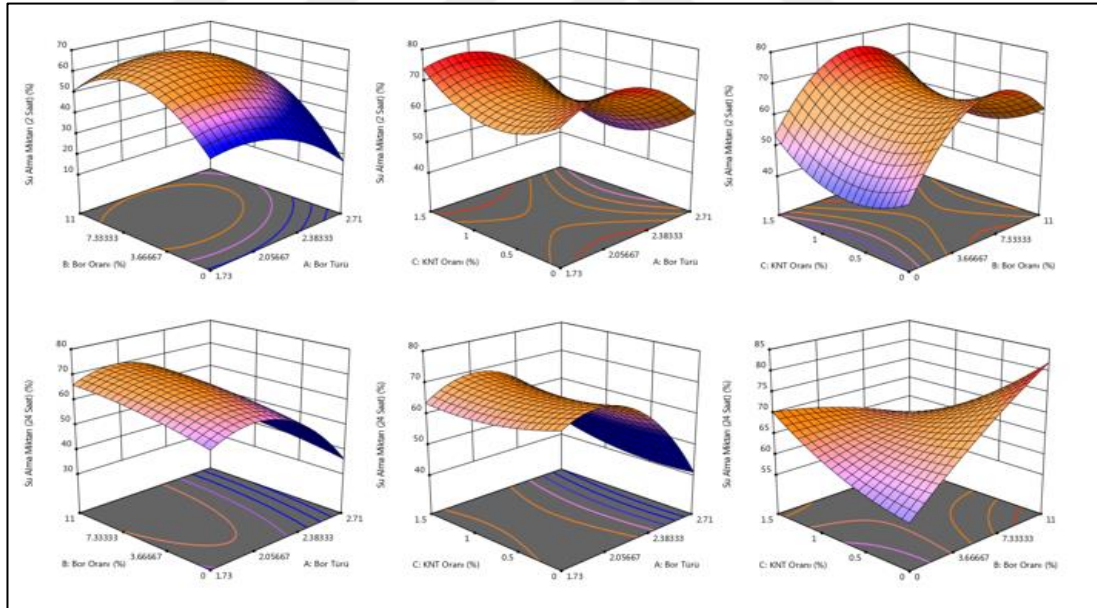
Fiziksel özellik	Denklemler
2 saat su alma deneyi (UF)	$-193.18034+196.90870*A+11.87718*B-38.46174*C-1.71702*A*B+7.17536*A*C-0.260594*B*C-40.15835*A^2-0.549575*B^2+15.94293C^2$
24 saat su alma deneyi (UF)	$-280.58769+274.18668*A+2.55321*B+20.03414*C+0.129621*A*B-6.47489*A*C-2.18211*B*C-55.64971*A^2-0.048201*B^2+4.26804*C^2$

2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendirebilmek için, kullanılan tepki yüzey metodunda birden fazla serbest değişkenin bulunduğu durumların analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu durum yöntemin hata fonksiyonlarını minimize edebilme ve veri türetme problemlerini istatistiksel açıdan analiz edebilme yeteneğine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.8'deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve grafikleri Şekil 4.76'da verilmiştir.



Şekil 4.76. UF tutkallı yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77. Bor ve KNT’nin UF’lu yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

2 saat su alma deneyi yüzey grafiklerinde Şekil 4.77’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor oranı artışında en fazla %7 değerinde değişiklik meydana gelirken, bor türünde belirgin bir değişiklik meydana gelmemiştir. KNT oranı ile bor türü karşılaştırıldığında KNT oranı artışında en fazla %1.5 değerinde değişiklik meydana gelirken, bor türünde en fazla EC’de değişiklik

meydana gelmiştir. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise, KNT oranı artışında en fazla %1.5 değişiklik meydana gelirken, bor oranında ise en fazla %7 değerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranları değişimlerinin su alma oranları üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

24 saat su alma deneyi yüzey grafiklerinde Şekil 4.77’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT oranı artışı su alma değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde su alımına olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin su alımında değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında su almada en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bor oranında ise en yüksek %11 değerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor türü değişimlerinin su alma oranı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduklarından bahsedilebilir.

MUF tutkallı yonga levhaların su alma oranlarına ait değerlerin istatistiksel analiz sonuçları

MUF tutkallı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçları kapsamında, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları MUF tutkallı levhalar için Çizelge 4.9’da verilmiştir. Buna göre 2 saat su alma sonuçları için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre AC (bor türü x KNT oranı), bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

24 saatlik su alma sonuçları için ise gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, KNT oranı, AB (bor türü x bor oranı), AC (bor türü x KNT oranı), BC (bor oranı x KNT oranı), bor türünün karesi (A^2) bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Su alma deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
MUF (2 saat)	Model	1472.32	9	163.59	4.85	0.0247	Anlamlı
	A-Bor Türü	226.64	1	226.64	6.71	0.0359	Anlamsız
	B-Bor Oranı	285.68	1	285.68	8.46	0.0227	Anlamsız
	C-KNT Oranı	70.16	1	70.16	2.08	0.1926	Anlamsız
	AB	355.65	1	355.65	10.53	0.0141	Anlamsız
	AC	47.61	1	47.61	1.41	0.2737	Anlamlı
	BC	17.00	1	17.00	0.5037	0.5008	Anlamsız
	A ²	38.41	1	38.41	1.14	0.3215	Anlamsız
	B ²	65.02	1	65.02	1.93	0.2078	Anlamlı
	C ²	244.77	1	244.77	7.25	0.0310	Anlamlı
MUF (24 saat)	Model	631.12	9	70.12	102.89	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	212.06	1	212.06	311.16	<0.0001	Anlamlı
	B-Bor Oranı	20.63	1	20.63	30.27	0.0009	Anlamlı
	C-KNT Oranı	175.46	1	175.46	257.46	<0.0001	Anlamlı
	AB	28.23	1	28.23	41.43	0.0004	Anlamlı
	AC	25.62	1	25.62	37.59	0.0005	Anlamlı
	BC	11.15	1	11.15	16.36	0.0049	Anlamlı
	A ²	43.42	1	43.42	63.71	<0.0001	Anlamlı
	B ²	3.50	1	3.50	5.13	0.0578	Anlamsız
	C ²	56.90	1	56.90	83.49	<0.0001	Anlamlı

Çizelge 4.9’da su alma deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde 2 ve 24 saat için F değerleri sırasıyla 4.85 ve 102.89 olarak elde edilmiştir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R² değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. MUF tutkallı levhalar için su alma verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

MUF TUTKALLI LEVHALAR									
2 saat	Standart sapma	5.81	R ²	0.8617	24 saat	Standart sapma	0.8255	R ²	0.9925
	Ortalama	50.70	Düzeltilmiş R ²	0.6839		Ortalama	64.81	Düzeltilmiş R ²	0.9829
	Varyans katsayısı (C.V.) %	11.46	Tahmin edilen R ²	-8.1748		Varyans katsayısı (C.V.) %	1.27	Tahmin edilen R ²	0.6401
			Kesinlik yeterliliği	6.8354				Kesinlik yeterliliği	36.2739

Su alma deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde 2 ve 24 saat için sırasıyla R^2 değerleri %86.17-99.25 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. Su alma deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark 2 ve 24 saat için %20'den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ayrıca 2 ve 24 saat için düzeltilmiş R^2 değerleri R^2 'ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

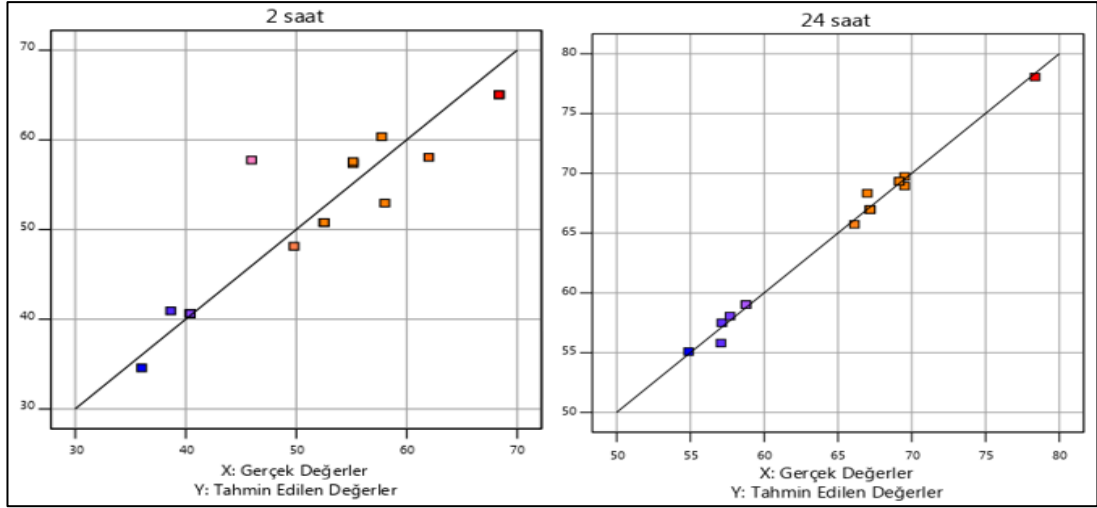
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alınarak yapıldığında, kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan varyasyon katsayısı (C.V) 2 ve 24 saat için değeri sırasıyla %11.46-1.27 olarak bulunmuştur.

2 ve 24 saat için su alma deneyi sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. MUF tutkallı yonga levhaların su alma deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler

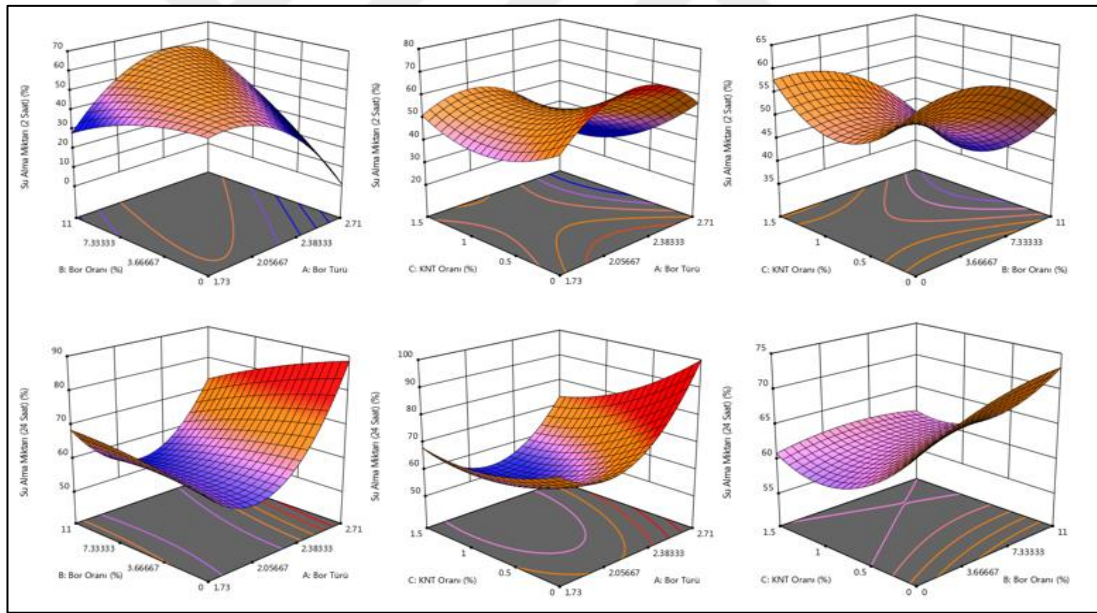
Fiziksel özellik	Denklemler
2 saat su alma deneyi (MUF)	$-349.87966+331.09013*A+18.80567*B-73.36068*C-6.81654*A*B+17.95443*A*C-0.427708*B*C-66.72292*A^2-0.165955*B^2+16.78354*C^2$
24 saat su alma deneyi (MUF)	$+499.42192-350.80545*A-4.02486*B-50.49878*C+1.92055*A*B+13.17051*A*C-0.346367*B*C+70.94036*A^2-0.038495*B^2+8.09210*C^2$

Model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.11'deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve grafikleri Şekil 4.78'de verilmiştir.



Şekil 4.78. MUF tutkalı yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deney sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.79'da gösterilmiştir.



Şekil 4.79. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

2 saat su alma deneyi yüzey grafiklerinde Şekil 4.79'da gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor oranı artışında en fazla %7 değerinde değişiklik meydana gelirken, bor türünde en fazla ÇB'de belirgin bir değişiklik meydana gelmiştir. KNT oranı ile bor türü karşılaştırıldığında KNT oranı artışında en fazla %1.5 değerinde değişiklik meydana gelirken, bor türünde en fazla EC'de değişiklik meydana gelmiştir. KNT oranı ile bor oranı karşılaştırıldığında ise, KNT

oranı artışında en fazla %1.5 değişiklik meydana gelirken, bor oranında ise en fazla %7 değerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranları değişimlerinin su alma oranı üzerinde etkili olduğundan bahsedilebilir.

24 saat su alma deneyi yüzey grafiklerinde Şekil 4.79’da gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü karşılaştırıldığında bor oranında belirgin bir değişiklik meydana gelmezken, bor türünde en fazla ÇB’de artış meydana gelmiştir. KNT oranı ile bor türü karşılaştırıldığında KNT oranı artışı su alma değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde su alımına olan etkileri değerlendirildiğinde ise en çok ÇB en az ED bor türlerinde malzemenin su alımında değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında su almada en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bor oranında ise en yüksek %11 değerinde belirgin bir değişiklik gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor türü değişimlerinin su alma oranı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

4.5.1.4. Kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının analizi

UF tutkallı yonga levhaların kalınlık artım deneyi istatistiksel analiz sonuçları

UF tutkallı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçları kapsamında, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları UF tutkallı levhalar için Çizelge 4.12’de verilmiştir.

2 saat kalınlıkta artım sonuçları için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, KNT oranı, AB (bor türü x bor oranı), bor türünün karesi (A^2), bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

24 saatlik kalınlıkta artım sonuçları için ise gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, KNT oranı, BC (bor oranı x KNT oranı), bor

türünün karesi (A^2), bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.12. UF tutkalı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
UF (2 saat)	Model	27.50	9	3.06	13.72	0.0024	Anlamlı
	A-Bor Türü	2.52	1	2.52	11.29	0.0152	Anlamlı
	B-Bor Oranı	3.13	1	3.13	14.06	0.0095	Anlamlı
	C-KNT Oranı	0.9122	1	0.9122	4.09	0.0895	Anlamlı
	AB	0.4903	1	0.4903	2.20	0.1885	Anlamlı
	AC	4.24	1	4.24	19.03	0.0048	Anlamsız
	BC	5.90	1	5.90	26.48	0.0021	Anlamsız
	A^2	5.47	1	5.47	24.55	0.0026	Anlamlı
	B^2	2.50	1	2.50	11.21	0.0154	Anlamlı
	C^2	6.07	1	6.07	27.22	0.0020	Anlamlı
UF (24 saat)	Model	69.59	9	7.73	6158.22	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	17.42	1	17.42	13876.75	<0.0001	Anlamlı
	B-Bor Oranı	3.43	1	3.43	2728.85	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	8.29	1	8.29	6598.67	<0.0001	Anlamlı
	AB	0.0531	1	0.0531	42.26	0.0006	Anlamsız
	AC	0.0356	1	0.0356	28.39	0.0018	Anlamsız
	BC	2.72	1	2.72	2162.88	<0.0001	Anlamlı
	A^2	19.99	1	19.99	15922.65	<0.0001	Anlamlı
	B^2	0.1666	1	0.1666	132.73	<0.0001	Anlamlı
	C^2	10.63	1	10.63	8463.38	<0.0001	Anlamlı

Çizelge 4.12’de kalınlıkta artım deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde 2 ve 24 saat için F değerleri sırasıyla 13.72 ve 6158.22 olarak elde edilmiştir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R^2 değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. UF tutkallı levhalar için kalınlıkta artım verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

UF TUTKALLI LEVHALAR									
2 saat	Standart sapma	0.4720	R ²	0.9536	24 saat	Standart sapma	0.0354	R ²	0.9999
	Ortalama	6.97	Düzeltilmiş R ²	0.8841		Ortalama	6.43	Düzeltilmiş R ²	0.9997
	Varyans katsayısı (C.V.) %	6.77	Tahmin edilen R ²	- 18.7725		Varyans katsayısı (C.V.) %	0.5514	Tahmin edilen R ²	0.9538
			Kesinlik yeterliliği	12.5098				Kesinlik yeterliliği	230.4056

Kalınlıkta artım deney sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde 2 ve 24 saat için sırasıyla R² değerleri %95.36-99.99 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. Kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R² ile tahmin edilen R² arasındaki fark 2 saat içi %20'den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. 24 saat içi bu fark %20'den daha az elde edilmiştir. Ayrıca 2 ve 24 saat için düzeltilmiş R² değerleri R²'ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

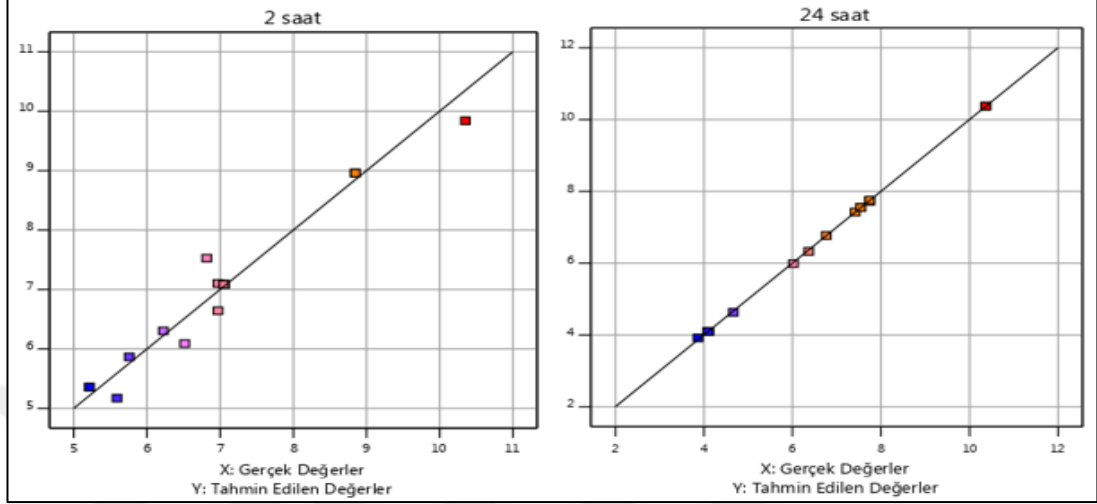
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılabilir. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan varyasyon katsayısı (C.V) 2 ve 24 saat için değeri %6.77-0.5514 olarak bulunmuştur.

2 ve 24 saat için kalınlık artımı deneyi sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. UF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler

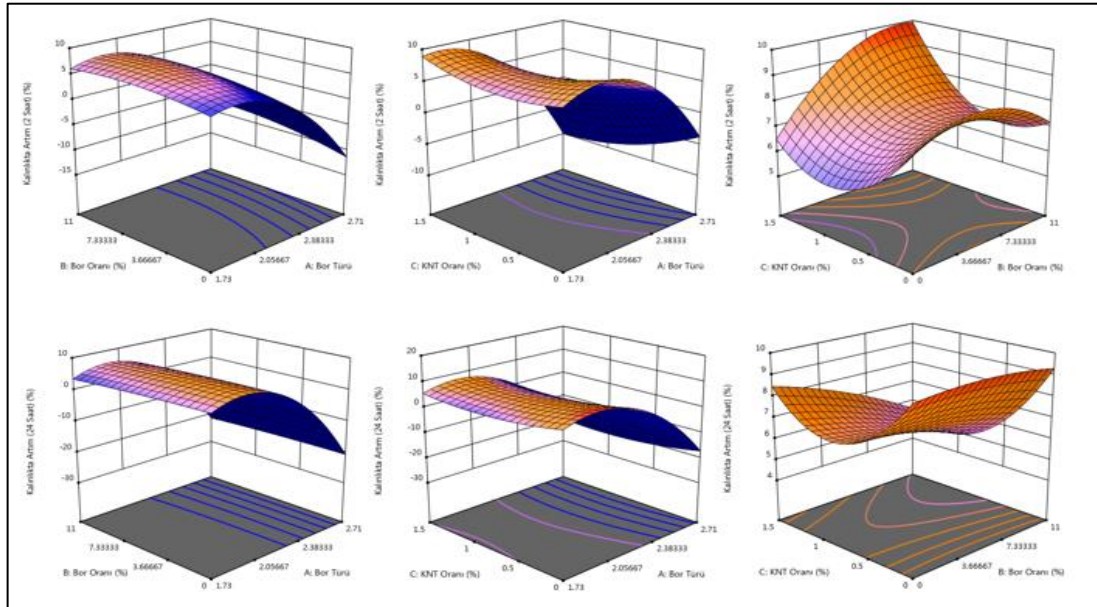
Fiziksel özellik	Denklemler
2 saat kalınlıkta artım deneyi (UF)	$-147.19440+126.06167*A+0.965518*B-18.98083*C-0.245171*A*B+5.32025*A*C+0.237386*B*C-25.57004*A^2-0.033781*B^2+2.89139*C^2$
24 saat kalınlıkta artım deneyi (UF)	$-291.46671+242.87840*A+0.287469*B-7.69625*C-0.080652*A*B+0.487847*A*C-0.161065*B*C-48.88432*A^2-0.008725B^2+3.82714C^2$

Model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.14'deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve Şekil 4.80'de verilmiştir.



Şekil 4.80. UF tutaklı yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.81'de gösterilmiştir.



Şekil 4.81. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

2 saat kalınlıkta artım deneyi yüzey grafiklerinde Şekli 4.81'de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT

oranı artışı kalınlıkta artım değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde kalınlık artımına olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin kalınlık artımında değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında kalınlıkta artım en yüksek %1.5-0.5 en düşük %1 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bor oranında ise en yüksek %7 değerinde değişiklik gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranları değişimlerinin kalınlıkta artımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

24 saat kalınlıkta artım deneyi yüzey grafiklerinde Şekli 4.81’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT oranı artışı kalınlıkta artım değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde kalınlık artımına olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin kalınlık artımında değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile Bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında kalınlıkta artım en yüksek %1.5-0.5 en düşük %1 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bor oranında ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor türü değişimlerinin kalınlıkta artımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

MUF tutkallı yonga levhaların kalınlık artım deneyi istatistiksel analiz sonuçları

MUF tutkallı üretilen yonga levhaların 2 ve 24 saat su alma deneyi sonuçları kapsamında, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları MUF tutkallı levhalar için Çizelge 4.15’de verilmiştir.

2 saat kalınlıkta artım sonuçları için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, KNT oranı, AB (bor türü x bor oranı), AC (bor türü x KNT oranı), BC (bor oranı x KNT oranı), bor türünün karesi (A^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

24 saatlik kalınlıkta artım sonuçları için ise gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor türü, bor oranı, AB (bor türü x bor oranı), AC (bor türü x KNT oranı), bor türünün karesi (A^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değeri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. MUF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
MUF (2 saat)	Model	18.29	9	2.03	55.60	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	3.22	1	3.22	88.20	<0.0001	Anlamlı
	B-Bor Oranı	3.20	1	3.20	87.46	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	0.3698	1	0.3698	10.12	0.0155	Anlamlı
	AB	1.48	1	1.48	40.61	0.0004	Anlamlı
	AC	1.42	1	1.42	38.84	0.0004	Anlamlı
	BC	0.4029	1	0.4029	11.02	0.0128	Anlamlı
	A^2	2.98	1	2.98	81.63	<0.0001	Anlamlı
	B^2	0.0000	1	0.0000	0.0012	0.9739	Anlamsız
	C^2	7.25	1	7.25	198.40	<0.0001	Anlamlı
MUF (24 saat)	Model	15.06	9	1.67	21.27	0.0003	Anlamlı
	A-Bor Türü	0.5515	1	0.5515	7.01	0.0331	Anlamlı
	B-Bor Oranı	5.36	1	5.36	68.15	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	0.2566	1	0.2566	3.26	0.1139	Anlamsız
	AB	0.5119	1	0.5119	6.51	0.0381	Anlamlı
	AC	1.48	1	1.48	18.80	0.0034	Anlamlı
	BC	0.1547	1	0.1547	1.97	0.2036	Anlamsız
	A^2	1.01	1	1.01	12.78	0.0090	Anlamlı
	B^2	0.0294	1	0.0294	0.3741	0.5601	Anlamsız
	C^2	4.35	1	4.35	55.27	0.0001	Anlamlı

Çizelge 4.15’de kalınlıkta artım deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde 2 ve 24 saat için F değerleri sırasıyla 55.60 ve 21.27 olarak elde edilmiştir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R^2 değerleri Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. MUF tutkallı levhalar için kalınlıkta artım verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

MUF TUTKALLI LEVHALAR									
2 saat	Standart sapma	0.1912	R^2	0.9862	24 saat	Standart sapma	0.2805	R^2	0.9647
	Ortalama	5.47	Düzeltilmiş R^2	0.9685		Ortalama	6.03	Düzeltilmiş R^2	0.9194
	Varyans katsayısı (C.V.) %	3.49	Tahmin edilen R^2	0.3580		Varyans katsayısı (C.V.) %	4.65	Tahmin edilen R^2	-0.7307
			Keskinlik yeterliliği	18.3069				Keskinlik yeterliliği	12.4361

Kalınlıkta artım deney sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde 2 ve 24 saat için sırasıyla R^2 değerleri %98.62-96.47 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. Kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark 2 ve 24 saat için %20'den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ayrıca 2 ve 24 saat için düzeltilmiş R^2 değerleri R^2 'ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

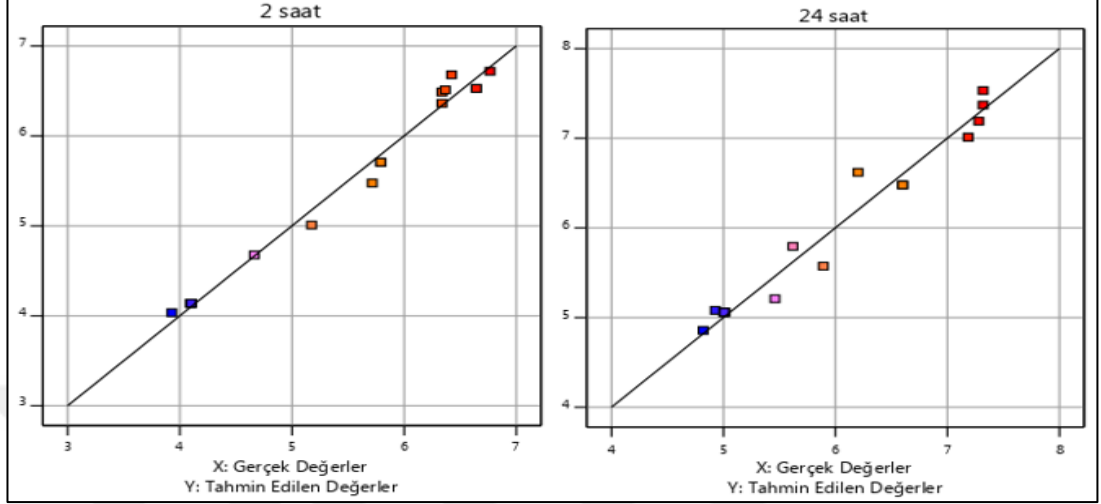
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılabilir. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan varyasyon katsayısı (C.V) 2 ve 24 saat için değeri %3.49-4.65 olarak bulunmuştur.

2 ve 24 saat için kalınlık artımı deneyi sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. MUF tutkallı yonga levhaların kalınlıkta artım deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler

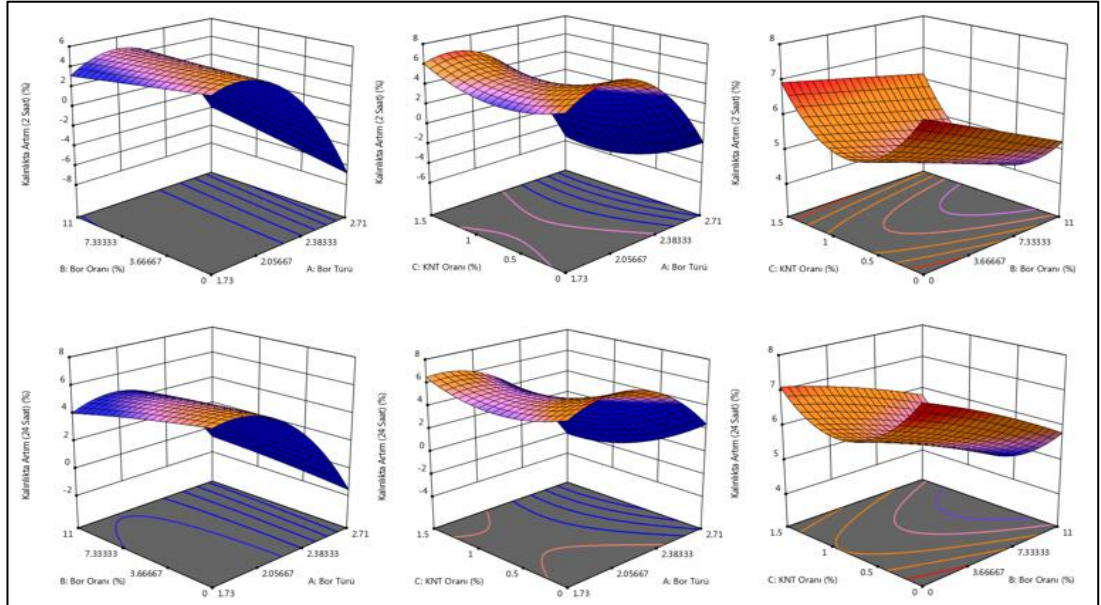
Fiziksel özellik	Denklemler
2 saat kalınlıkta artım deneyi (MUF)	$-106.76857+92.13774*A+0.983062*B-12.49724*C-0.440335*A*B+3.10004*A*C+0.065834*B*C-18.59465*A^2-0.000134*B^2+2.88866*C^2$
24 saat kalınlıkta artım deneyi (MUF)	$-57.75690+53.28219*A+0.531542*B-12.04973*C-0.258610*A*B+3.16401*A*C+0.040794*B*C-10.79340*A^2-0.003531*B^2+2.23690*C^2$

Model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.17'deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve grafikleri Şekil 4.82'de verilmiştir.



Şekil 4.82. MUF tutkallı yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.83'te gösterilmiştir.



Şekil 4.83. Bor ve KNT'nin MUF'lu yonga levhaların 2 ve 24 saat kalınlıkta artım deneyi üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

2 saat kalınlıkta artım deneyi yüzey grafiklerinde Şekli 4.83'te gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT

oranı artışı kalınlıkta artım değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde kalınlık artımına olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin kalınlık artımında değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile Bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında kalınlıkta artım en yüksek %1.5-0.5 en düşük %1 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bor oranında ise en yüksek %7 değerinde değişiklik gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranları değişimlerinin kalınlıkta artımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

24 saat kalınlıkta artım deneyi yüzey grafiklerinde Şekli 4.83'te gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü veya KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor ve KNT oranı artışı kalınlıkta artım değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bor türlerinin kendi içerisinde kalınlık artımına olan etkileri değerlendirildiğinde ise en az ÇB en çok BD bor türlerinde malzemenin kalınlık artımında değişiklik meydana geldiği görülmüştür. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında kalınlıkta artım en yüksek %1.5-0.5 en düşük %1 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bor oranında ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor türü değişimlerinin kalınlıkta artımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

4.5.1.5. Eğilme direnci deneyi sonuçlarının analizi

Eğilme direnci deneyi sonuçları, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları UF ve MUF tutkallı levhalar için Çizelge 4.18'de, verilmiştir. UF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre Bor oranı, KNT oranı, AB (Bor tür x Bor oranı), BC (Bor oranı x KNT oranı), Bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değerleri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

MUF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre bor oranı, bor türü, KNT oranı, BC (Bor oranı x KNT oranı), bor türünün karesi (A^2), bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değerleri

0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. UF ve MUF tutkalı yonga levhaların eğilme direnci deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

Tutkal Tipi	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
Ürefoimaldehit (UF)	Model	36.77	9	4.09	46.69	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	0.1436	1	0.1436	1.64	0.2474	Anlamsız
	B-Bor Oranı	9.10	1	9.10	104.04	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	4.10	1	4.10	46.85	0.0005	Anlamlı
	AB	3.28	1	3.28	37.54	0.009	Anlamlı
	AC	0.0040	1	0.0040	0.0452	0.8386	Anlamsız
	BC	1.06	1	1.06	12.11	0.0131	Anlamlı
	A ²	0.0035	1	0.0035	0.0403	0.8475	Anlamsız
	B ²	7.84	1	7.84	89.59	<0.0001	Anlamlı
	C ²	2.26	1	2.26	25.7	0.0023	Anlamlı
Melamin Ürefoimaldehit (MUF)	Model	57.72	9	6.41	369.03	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	1.42	1	1.42	81.73	<0.0001	Anlamlı
	B-Bor Oranı	25.13	1	25.13	1445.98	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	0.6556	1	0.6556	37.72	0.0005	Anlamlı
	AB	0.1337	1	0.1337	7.70	0.0275	Anlamsız
	AC	0.0546	1	0.0546	3.14	0.1196	Anlamsız
	BC	1.22	1	1.22	69.97	<0.0001	Anlamlı
	A ²	0.5852	1	0.5852	33.68	0.0007	Anlamlı
	B ²	1.86	1	1.86	107.24	<0.0001	Anlamlı
	C ²	8.48	1	8.48	487.82	<0.0001	Anlamlı

Çizelge 4.18'de eğilme direnci deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde F değerleri sırasıyla 46.69 ve 396.03 olarak elde edilmiştir. Bu değer modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca eğilme direnç deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R² değerleri Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilme direnci verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

UF TUTKALLI LEVHALAR				MUF TUTKALLI LEVHALAR			
Standart sapma	0.2958	R ²	0.9859	Standart sapma	0.1318	R ²	0.9979
Ortalama	8.16	Düzeltilmiş R ²	0.9648	Ortalama	7.62	Düzeltilmiş R ²	0.9952
Varyans katsayısı (C.V.) %	3.62	Tahmin edilen R ²	-1.1912	Varyans katsayısı (C.V.) %	1.73	Tahmin edilen R ²	0.9223
		Kesinlik yeterliliği	22.7459			Kesinlik yeterliliği	57.1605

UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilme direnci deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde R² değerleri sırasıyla %98.59-99.79 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. UF tutkallı levhalar için eğilme direnci deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R² ile tahmin edilen R² arasındaki fark %20'den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ancak MUF tutkallı levhalar için bu fark %20'den daha düşük çıkmıştır. Düzeltilmiş R² değerleri ise R²'ye yakın çıktığı için UF ve MUF tutkallı levhalar için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

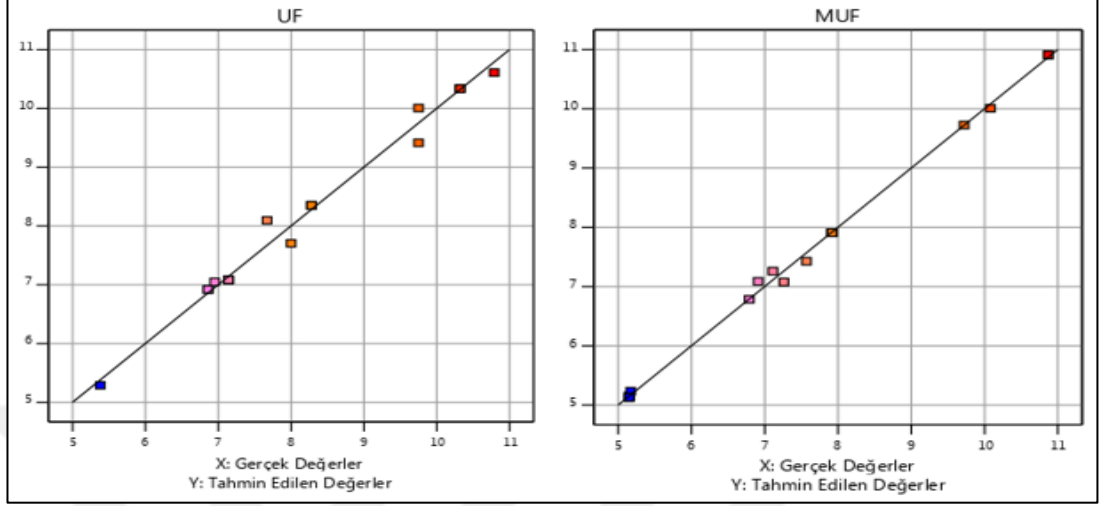
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılabilir. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan varyasyon katsayısıdır (C.V), UF ve MUF tutkallı levhalar için sırasıyla %3.62-1.73 olarak bulunmuştur.

UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilme direnci sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilme direnci deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklem

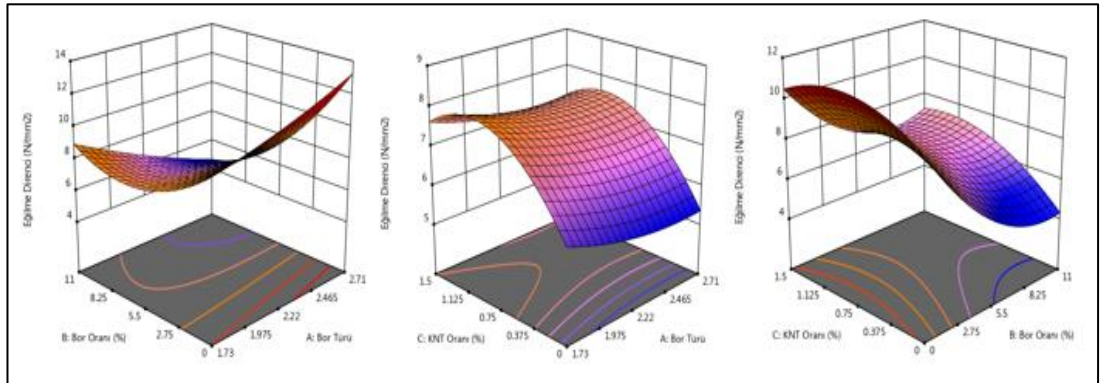
Mekanik özellik	Denklemler
Eğilme direnci deneyi (UF)	$+21.25483-7.24963*A-2.65568*B+3.86817*C+0.662495*A*B-0.177625*A*C+0.140243*B*C+1.00551*A^2+0.056829*B^2-2.04352*C^2$
Eğilme direnci deneyi (MUF)	$+66.59211-49.39453*A-0.378181*B+5.92272*C-0.119552*A*B-0.606826*A*C+0.133231*B*C+10.48358*A^2+0.025861*B^2-3.09372*C^2$

UF ve MUF tutkallı levhalar için model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.20'deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve Şekil 4.84'de verilmiştir.



Şekil 4.84. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilme direnci deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.85'de gösterilmiştir.

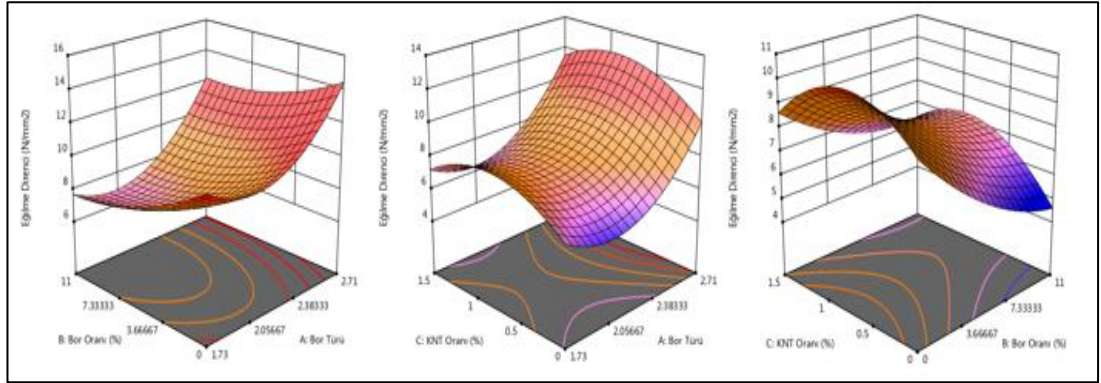


Şekil 4.85. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların eğilme direnci üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

UF tutkallı yonga levhalar için yüzey grafiklerinde Şekli 4.85'de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor oranı arttıkça eğilme direncinde kontrol numunesine göre azalma meydana gelirken, bor türlerin en çok ÇB en az BD eğilme direnci değerlerinde değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor türünün eğilme direnci üzerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmezken, KNT oranı artışı eğilme direnci değerlerinde belirgin bir

değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında eğilme direnci en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında ise en düşük %11 en yüksek %3 değerlerinde değişiklik meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranı değişimlerinin eğilme direnci üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

MUF tutkallı yonga levhalar için yüzey grafiklerinde Şekli 4.86’da gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor oranı arttıkça eğilme direncinde kontrol numunesine göre azalma meydana gelirken, bor türlerin en çok ÇB en az BD eğilme direnci değerlerinde değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor türlerinde en az ÇB en çok BD’de belirgin bir değişiklik meydana gelmiştir. KNT oranı artışında ise eğilme direnci değerlerinde kontrol numunesine göre belirgin bir değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında eğilme direnci en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında ise en düşük %11 en yüksek %3 değerlerinde değişiklik meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranı değişimlerinin eğilme direnci üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.



Şekil 4.86. Bor ve KNT’nin MUF’lu yonga levhaların eğilme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

4.5.1.6. Eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının analizi

Eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçları, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları UF ve MUF tutkallı levhalar için Çizelge 4.21’de verilmiştir.

UF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre; Bor oranı, KNT oranı, AB (Bor tür x Bor oranı), BC (Bor oranı x KNT oranı), AC (Bor türü x KNT oranı), Bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değerleri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

MUF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre; Bor oranı, KNT oranı ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değerleri 0.05'ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.21. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

Tutkal Tipi	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
Ürefoimaldehit (UF)	Model	1.140E+06	9	1.267E+05	119.82	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	2948.39	1	2948.39	2.79	0.1459	Anlamsız
	B-Bor Oranı	8192.81	1	8192.81	7.75	0.0318	Anlamlı
	C-KNT Oranı	3.761E+05	1	3.761E+05	355.77	<0.0001	Anlamlı
	AB	45 597.63	1	45 597.63	43.14	0.0006	Anlamlı
	AC	18 211.66	1	18 211.66	17.23	0.0060	Anlamlı
	BC	7326.22	1	7326.22	6.93	0.0389	Anlamlı
	A^2	2016.17	1	2016.17	1.91	0.2165	Anlamsız
	B^2	88 773.31	1	88 773.31	83.98	<0.0001	Anlamlı
	C^2	1.817E+05	1	1.817E+05	171.88	<0.0001	Anlamlı
Melamin Ürefoimaldehit (MUF)	Model	2.281E+06	9	2.535E+05	140.66	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	2041.10	1	2041.10	1.13	0.3225	Anlamsız
	B-Bor Oranı	1.573E+05	1	1.573E+05	87.27	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	6.523E+05	1	6.523E+05	361.97	<0.0001	Anlamlı
	AB	19 217.14	1	19 217.14	10.66	0.0138	Anlamsız
	AC	40 580.62	1	40 580.62	22.52	0.0021	Anlamsız
	BC	28 381.91	1	28 381.91	15.75	0.0054	Anlamsız
	A^2	2980.70	1	2980.70	1.65	0.2393	Anlamsız
	B^2	26 532.62	1	6532.62	14.72	0.0064	Anlamsız
	C^2	1.502E+05	1	1.502E+05	83.33	<0.0001	Anlamlı

Çizelge 4.21’de eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde F değerleri sırasıyla 119.82 ve 140.66 olarak elde edilmiştir. Bu değerler modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R^2 değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilmede elastikiyet modülü verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

UF TUTKALLI LEVHALAR				MUF TUTKALLI LEVHALAR			
Standart sapma	32.51	R^2	0.9945	Standart sapma	42.45	R^2	0.9945
Ortalama	1277.88	Düzeltilmiş R^2	0.9862	Ortalama	1190.67	Düzeltilmiş R^2	0.9874
Varyans katsayısı (C.V.) %	2.54	Tahmin edilen R^2	0.1388	Varyans katsayısı (C.V.) %	3.57	Tahmin edilen R^2	0.7714
		Kesinlik yeterliliği	35.9259			Kesinlik yeterliliği	34.6146

UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde R^2 değerleri sırasıyla %99.45-99.45 olarak belirlenmiştir. Bu değer modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarına göre düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark %20’den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ancak düzeltilmiş R^2 değerleri R^2 ’ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

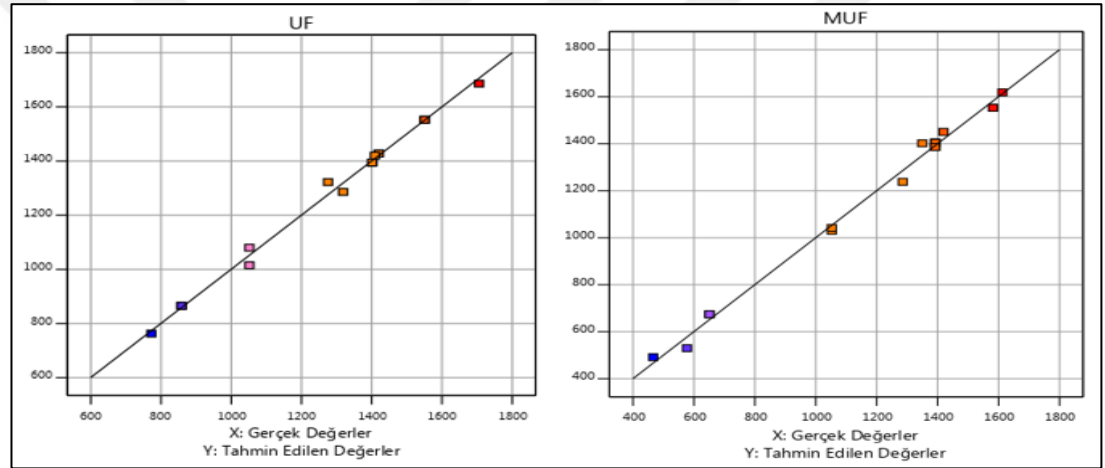
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılabilir. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan varyasyon katsayısı (C.V), UF ve MUF tutkallı levhalar için sırasıyla %2.54 ve %3.57 olarak bulunmuştur.

UF ve MUF tutkallı levhalar için eğilmede elastikiyet modülü sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklem

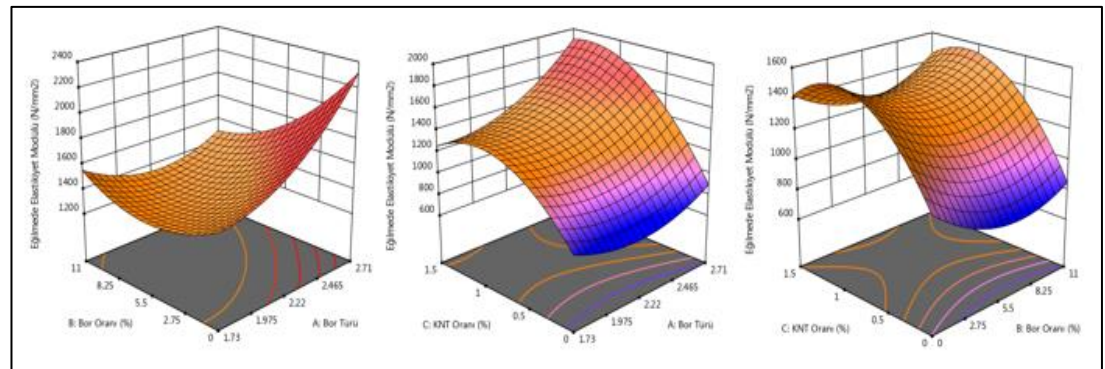
Mekanik özellik	Denklemler
Eğilmede elastikiyet modülü (UF)	$+5986.09677-3888.53739*A-284.53050*B+2134.80360*C+78.02340*A*B-381.02190*A*C+11.66105*B*C+760.03781*A^2+6.04755*B^2-579.80045*C^2$
Eğilmede elastikiyet modülü (MUF)	$+8306.29592-5531.82791*A-252.06501*B+2801.82241*C+62.99532*A*B-636.47342*A*C+17.89817*B*C+1050.42531*A^2+4.36705*B^2-550.91138*C^2$

UF ve MUF tutkallı levhalar için model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.23’deki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve grafikleri Şekil 4.87’de verilmiştir.



Şekil 4.87. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

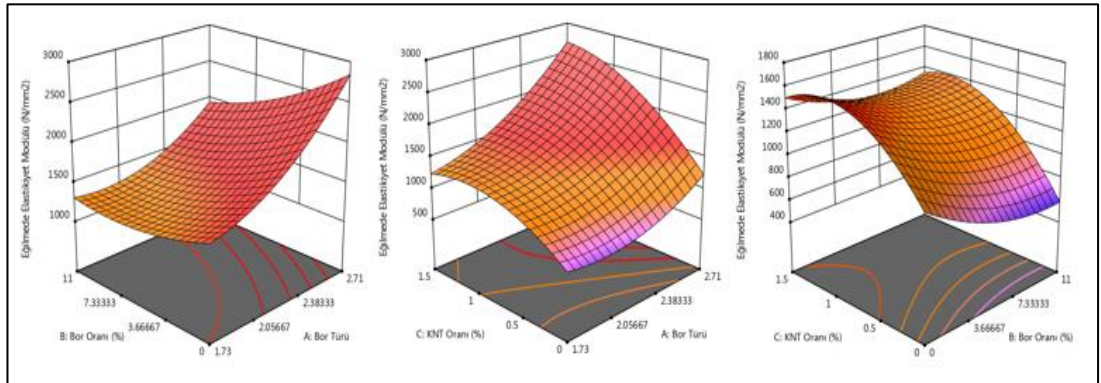
3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.88’de gösterilmiştir.



Şekil 4.88. Bor ve KNT’nin UF’lu yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

UF tutkallı yonga levhalar için yüzey grafiklerinde Şekli 4.88’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında orana bağlı olarak belirgin bir değişiklik meydana gelmezken, bor türlerin en çok ÇB en az BD eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor türü belirgin bir değişiklik meydana getirmezken, KNT oranı artışı eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında eğilmede elastikiyet modülü en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile bor oranı değişimlerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

MUF tutkallı yonga levhalar için yüzey grafiklerinde Şekli 4.89’da gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında orana bağlı olarak belirgin bir değişiklik meydana gelmezken, bor türlerin en çok ÇB en az BD eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor türünde en çok ÇB’de belirgin bir değişiklik meydana gelirken, KNT oranı artışı eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde belirgin bir değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile Bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında eğilmede elastikiyet modülü en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında ise belirgin bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranında meydana gelen artış eğilmede elastikiyet modülü üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.



Şekil 4.89. Bor ve KNT’nin MUF’lu yonga levhaların eğilme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

4.5.1.7. Yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının analizi

Yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçları, kuadratik modele ait ANOVA analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenlerin model içerisindeki anlamlılıkları kontrol edilmiştir. Modele ait varyans analiz sonuçları UF ve MUF tutkallı levhalar için Çizelge 4.24’de verilmiştir.

UF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre; bor oranı, KNT oranı ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değerleri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

MUF tutkallı levhalar için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonuçlarına göre; bor oranı, KNT oranı, AB (bor türü x bor oranı), bor oranının karesi (B^2) ve KNT oranının karesi (C^2) etkileşimlerinin p-değerleri 0.05’ten küçük olması nedeniyle modele olan katkılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.24. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre ANOVA analizi

Tutkal Tipi	Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-değeri	p-değeri	Anlamlılık
Ürefoormaldehit (UF)	Model	0.4123	9	0.0458	15.72	0.0016	Anlamlı
	A-Bor Türü	0.0005	1	0.0005	0.1744	0.6907	Anlamsız
	B-Bor Oranı	0.1409	1	0.1409	48.37	0.0004	Anlamlı
	C-KNT Oranı	0.0720	1	0.0720	24.73	0.0025	Anlamlı
	AB	0.0004	1	0.0004	0.1218	0.7391	Anlamsız
	AC	0.0008	1	0.0008	0.2801	0.6156	Anlamsız
	BC	0.0094	1	0.0094	3.24	0.1220	Anlamsız
	A^2	0.0020	1	0.0020	0.6749	0.4428	Anlamsız
	B^2	0.0060	1	0.0060	2.04	0.2028	Anlamsız
	C^2	0.0391	1	0.0391	13.42	0.0105	Anlamlı
Melamin Ürefoormaldehit (MUF)	Model	0.2554	9	0.0284	60.06	<0.0001	Anlamlı
	A-Bor Türü	4.717E-06	1	4.717E-06	0.0100	0.9232	Anlamsız
	B-Bor Oranı	0.0623	1	0.0623	131.92	<0.0001	Anlamlı
	C-KNT Oranı	0.0513	1	0.0513	108.53	<0.0001	Anlamlı
	AB	0.0053	1	0.0053	11.12	0.0125	Anlamlı
	AC	0.0023	1	0.0023	4.88	0.0629	Anlamsız
	BC	0.0024	1	0.0024	5.16	0.0573	Anlamsız
	A^2	0.0003	1	0.0003	0.5630	0.4775	Anlamsız
	B^2	0.0228	1	0.0228	48.17	0.0002	Anlamlı
	C^2	0.0131	1	0.0131	27.70	0.0012	Anlamlı

Çizelge 4.24’de yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçları için yapılan ANOVA analizinde F değeri sırasıyla 15.72-60.06 olarak elde edilmiştir. Bu değer modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarına ait standart sapmalar, varyans katsayıları ve R^2 değerleri Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. UF ve MUF tutkallı levhalar için yüzeye dik çekme direnci verilerinin istatistiksel analizlerine ait belirli değerler

UF TUTKALLI LEVHALAR				MUF TUTKALLI LEVHALAR			
Standart sapma	0.0540	R^2	0.9593	Standart sapma	0.0217	R^2	0.9872
Ortalama	0.6569	Düzenlenmiş R^2	0.8983	Ortalama	0.6676	Düzenlenmiş R^2	0.9708
Varyans katsayısı (C.V.) %	8.22	Tahmin edilen R^2	-5.3312	Varyans katsayısı (C.V.) %	3.26	Tahmin edilen R^2	0.3112
		Kesinlik yeterliliği	13.3456			Kesinlik yeterliliği	27.5587

UF ve MUF tutkallı levhalar için yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının kuadratik modele göre gerçekleştirilen analizinde R^2 değerleri sırasıyla %95.93-98.72 olarak belirlenmiştir. Bu değerler modelin istatistiksel açıdan anlamlı ve uyumlu olduğunu göstermektedir. UF ve MUF tutkallı levhalar için yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarına göre düzeltilmiş R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki fark %20’den daha yüksek çıktığı için herhangi bir ilişki kurulamamıştır. Ancak düzeltilmiş R^2 değerleri R^2 ’ye yakın çıktığı için modelde gereksiz terimlerin olmadığı sonucuna varılmıştır.

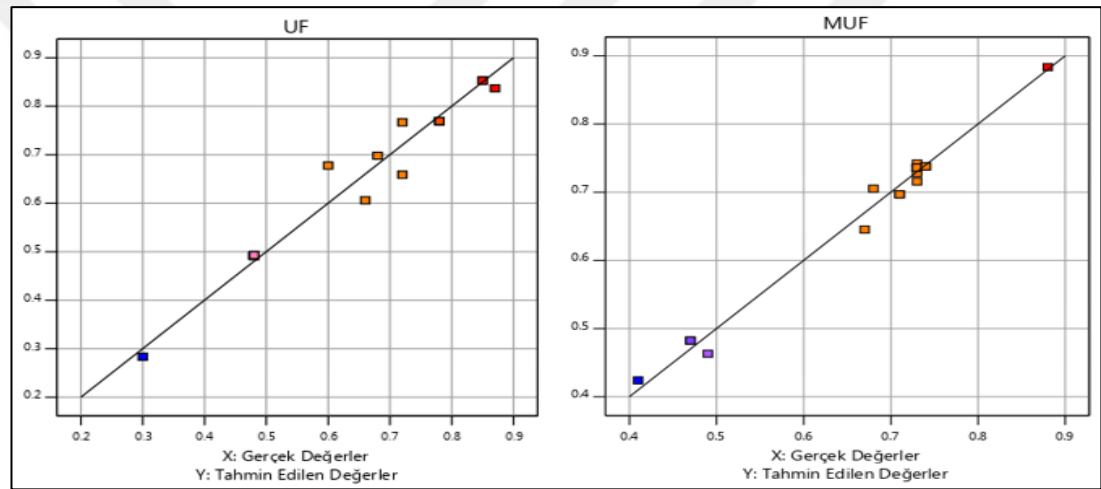
Elde edilen verilere dayalı modellerin performans değerlendirmesi, standart sapma değerlerini dikkate alarak da yapılabilir. Kullanılan modelde standart sapma değerleri ortalama değerlere göre daha düşük çıkması kurulan modelin yüksek doğrulukla çalıştığını göstermektedir. Model performansını ölçmede kullanılan varyasyon katsayısı (C.V), UF ve MUF tutkallı levhalar için sırasıyla %8.22 ve %3.26 olarak bulunmuştur.

UF ve MUF tutkallı levhalar için yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarını kuadratik modele göre tahmin edebilmek için program tarafından oluşturulmuş model denklemleri Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.26. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarının tahmini için model tarafından geliştirilmiş denklemler

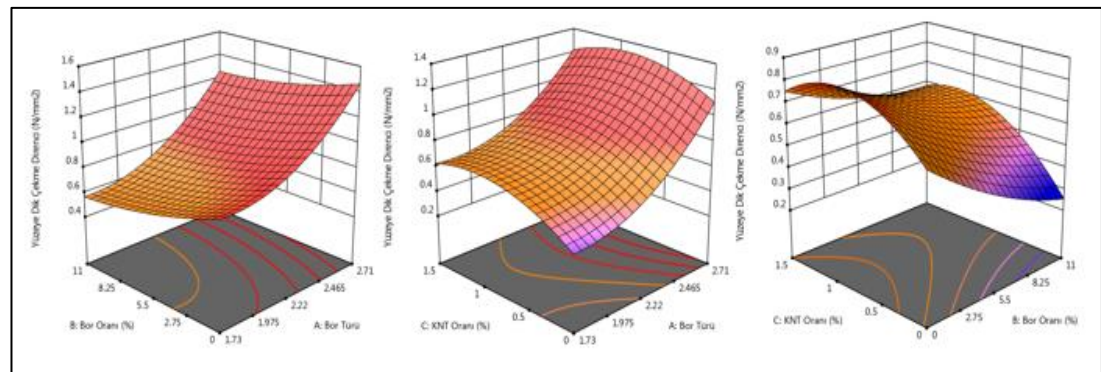
Mekanik özellik	Denklemler
Yüzeye dik çekme direnci (UF)	$+6.02351-4.02232*A-0.034153*B+0.267893*C-0.006882*A*B+0.080654*A*C+0.013234*B*C+0.750592*A^2+0.001566*B^2-0.268953*C^2$
Yüzeye dik çekme direnci (MUF)	$+2.99958-1.69309*A-0.150909*B+0.726817*C+0.032937*A*B-0.151686*A*C+0.005247*B*C+0.313787*A^2+0.004044*B^2-0.162624*C^2$

UF ve MUF tutkallı levhalar için model tarafından sonuçların tahmin edilmesi için geliştirilen Çizelge 4.26'daki denklemler baz alınarak gerçek veriler ile tahmin edilen değerler karşılaştırılmış ve Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.90. UF ve MUF tutkallı yonga levhaların yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçlarına ait gerçek ve tahmini değerler

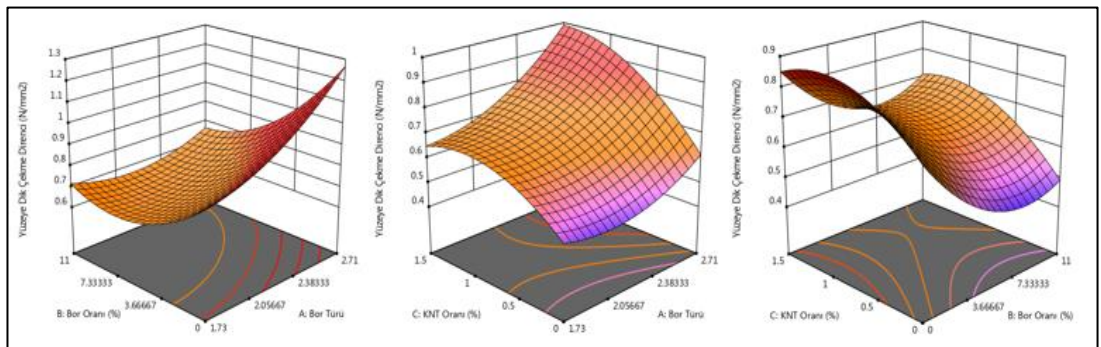
3D yanıt yüzey grafikleri altında, modelin girdi değişkenleri ile bu değişkenlere uygun yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.91'de gösterilmiştir.



Şekil 4.91. Bor ve KNT'nin UF'lu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

UF tutkallı yonga levhalar için yüzey grafiklerinde Şekli 4.91’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında orana bağlı olarak belirgin bir değişiklik meydana gelmezken, bor türlerinden en çok ÇB en az BD yüzeye dik çekme direnci değerlerinde değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında KNT oranı belirgin bir değişiklik meydana getirmezken, bor türlerinde en çok ÇB en az BD yüzeye dik çekme direncinde değişiklik meydana getirmektedir. KNT oranı ile bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında yüzeye dik çekme direncinde en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında ise en az %11 en çok %3 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile Bor oranı değişimlerinin yüzeye dik çekme direnci üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.

MUF tutkallı yonga levhalar için yüzey grafiklerinde Şekli 4.92’de gösterildiği gibi bor oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında bor oranı arttıkça yüzeye dik çekme direnci kontrol numunesine göre kısımda olsa azalma meydana gelmiştir. Bor türlerinden ise en çok ÇB en az BD’de yüzeye dik çekme direnci değerlerinde değişiklik meydana getirmiştir. KNT oranı ile bor türü etkileri karşılaştırıldığında KNT oranı arttıkça artış meydana gelirken, bor türlerinde en çok ÇB en az BD yüzeye dik çekme direncinde değişiklik meydana getirmektedir. KNT oranı ile Bor oranının ikili etkileri incelendiğinde ise KNT oranında yüzeye dik çekme direncinde en yüksek %1.5 en düşük %0.5 değerlerinde, bor oranında ise en az %11 en çok %3 değerlerinde değişiklik meydana gelmiştir. Bu sonuçlara göre KNT oranı ile Bor oranı değişimlerinin yüzeye dik çekme direnci üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğundan bahsedilebilir.



Şekil 4.92. Bor ve KNT’nin MUF’lu yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri üzerindeki etkisi için 3 boyutlu tepki yüzey grafikleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Yonga levhaların Fiziksel Özelliklerine ait Deney Sonuçları

5.1.1. Yoğunluk deneyi sonuçları

Çalışma kapsamında borlu ve KNT'li üretilen yonga levhaların yoğunluk değerleri $0,650 \text{ g/cm}^3$ olarak hedeflenmiştir. Ancak üretim sırasında borlu levhalar için çeşitli faktörlerle bağlı olarak UF tutkallı levhalarda yoğunluk $0.617\text{-}0.675 \text{ g/cm}^3$, MUF tutkallı levhalarda ise $0.580\text{-}0.685 \text{ g/cm}^3$ aralığında elde edilmiştir. Üretilen yonga levhalarda kullanılan bor oranları arttıkça yoğunluk değerlerinde genellikle azalma meydana gelmiştir. Hedef yoğunluk değeri ile en düşük yoğunluk değeri arasında, UF'lu levhalar için % 5.07, en yüksek yoğunluk değeri arasında ise %3.84'lük sapma meydana gelmiştir. MUF'lu levhalarda ise en düşük % 5.38, en yüksek ise %10.77'lik sapma meydana gelmiştir.

Bor ve KNT'li üretilen UF tutkallı levhalarda yoğunluk değeri $0.608\text{-}0.732 \text{ g/cm}^3$, MUF tutkallı levhalarda ise $0.594\text{-}0.707 \text{ g/cm}^3$ aralığında bulunmuştur. Üretilen yonga levhalarda kullanılan KNT oranı arttıkça yoğunluk değerlerinde genellikle artış meydana gelmiştir. Hedef yoğunluk değeri ile en düşük yoğunluk değeri arasında, UF'lu levhalar için % 6.46, en yüksek yoğunluk değeri arasında ise %12.62'lik sapma meydana gelmiştir. MUF'lu levhalarda ise en düşük % 8.62, en yüksek ise %8.77'lik sapma meydana gelmiştir.

MUF tutkallı levhaların yoğunluk değerleri genel olarak UF tutkallı levhaların yoğunluk değerleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur.

İstatistiksel açıdan değerlendirildiğinde UF ve MUF tutkallı levhalar için, KNT oranı ve bor oranı yoğunluk değerlerine etkisinin anlamlı olduğu belirlenmiştir.

5.1.2. Su alma oranı deneyi sonuçları

Borlu üretilen UF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre 2 ve 24 saatlik süreleri sonucunda su alma oranlarında artış meydana gelirken, MUF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre 2 ve 24 saatlik süreleri sonucunda su alma oranlarında genellikle azalma meydana gelmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranı UF ile üretilen, %11 EC kullanılan levhada %57.84, en yüksek değer ise %7 EC kullanılan levhada %73.97 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranları UF ile üretilen %3 EC kullanılan levhada %70.54, en yüksek değer ise %11 EC kullanılan levhada %90.74 elde edilmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranı MUF ile üretilen, %7 ÇB kullanılan levhada %36.70, en yüksek değer ise %7 BD kullanılan levhada %70.59 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranları MUF ile üretilen %7 ÇB kullanılan levhada %56.41, en yüksek değer ise %11 ÇB kullanılan levhada %78.35 elde edilmiştir.

Bor ve KNT birlikte kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre 2 ve 24 saatlik süreleri sonucunda su alma oranlarında KNT oranı arttıkça genellikle azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranı UF ile üretilen, %11 ÇB-%1 KNT kullanılan levhada %46.81, en yüksek değer ise %11 BD-%0.5 KNT kullanılan levhada %73.15 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranları UF ile üretilen %3 BD -%0.5 KNT kullanılan levhada %57.83, en yüksek değer ise %11 EC-%0.5 KNT kullanılan levhada %82.10 elde edilmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranı MUF ile üretilen, %7-%0.5 KNT kullanılan levhada %32.61, en yüksek değer ise %11 BD-%0.5 KNT kullanılan levhada %74.45 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük su alma oranları MUF ile üretilen %11 ÇB -%0.5 KNT kullanılan levhada %57.36, en yüksek değer ise %11 BD-%0.5 KNT kullanılan levhada %78.01 elde edilmiştir.

Tutkal türü, ve KNT oranının etkisi incelendiğinde; UF tutkallı levhalar için %0.5, %1 ve %1.5 KNT'nin su alma oranlarında önemli derecede azalma meydana getirdiği gözlemlenirken, sadece %3 BD-%1.5 KNT oranında artış meydana gelmiştir. MUF tutkallı levhalar için ise %1 KNT oranından sonra levhalarda genellikle su alma oranında azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre UF tutkallı levhaların suda bekletme süresi, bor oranı, KNT oranı ve bor türünün su alma oranı üzerinde etkili olduğu belirlenirken, MUF tutkallı levhalar üzerinde 2 saatlik süre üzerinde anlamsız olduğu, 24 saatlik süre için ise anlamlı olduğu belirlenmiştir.

5.1.3. Kalınlık artım oranı deneyi sonuçları

Borlu üretilen UF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre 2 ve 24 saatlik süreleri sonucunda kalınlık artım oranlarında genellikle artış meydana gelirken (%7 ve %11 ED hariç), MUF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre 2 ve 24 saatlik süreleri sonucunda kalınlık artım oranlarında genellikle azalma (%7 EC hariç) meydana gelmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranları UF ile üretilen, %7 ED kullanılan levhada %4.28, en yüksek değer ise %7 BD kullanılan levhada %13.21 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranları UF ile üretilen %7 ED kullanılan levhada %5.01, en yüksek değer ise %7 BD kullanılan levhada %15.91 elde edilmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranları MUF ile üretilen, %7 ÇB kullanılan levhada %2.65, en yüksek değer ise %7 EC kullanılan levhada %6.64 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranları MUF ile üretilen %7 ED kullanılan levhada %4.01, en yüksek değer ise %7 EC kullanılan levhada %7.19 elde edilmiştir.

Bor ve KNT birlikte kullanılarak üretilen UF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre 2 ve 24 saatlik süreleri sonucunda kalınlık artım oranlarında KNT oranı arttıkça genellikle azalma (%3 BD-%1.5 KNT, %3 ED-%1.5 KNT hariç) meydana geldiği

belirlenirken, MUF tutkallı levhalarda genellikle artış (%7 EC-%1.5 KNT, %3 ED-%1.5 KNT, %11 BD-%1.5 KNT, %7 ÇB-%1.5 KNT hariç) meydana gelmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranı UF ile üretilen, %11 ED-%1 KNT kullanılan levhada %3.67, en yüksek değer ise %7 EC-%0.5 KNT kullanılan levhada %14.48 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranları UF ile üretilen %7 ED -%1 KNT kullanılan levhada %4.19, en yüksek değer ise %7 EC-%0.5 KNT kullanılan levhada %14.78 elde edilmiştir.

2 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranı MUF ile üretilen, %7 ED-%1 KNT kullanılan levhada %3.60, en yüksek değer ise %11 BD-%1.5 KNT kullanılan levhada %7.15 elde edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucu en düşük kalınlık artım oranları MUF ile üretilen %7 ED -%1 KNT kullanılan levhada %3.65, en yüksek değer ise %7 BD-%1 KNT kullanılan levhada %8.04 elde edilmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre UF tutkallı levhaların suda bekletme süresi, bor oranı, KNT oranı ve bor türünün kalınlık artım oranı üzerinde etkili olduğu belirlenirken, MUF tutkallı levhalar üzerinde 24 saatlik süre üzerinde KNT oranının anlamsız olduğu belirlenmiştir.

5.2. Yonga Levhaların Mekanik Özelliklerine ait Deney Sonuçları

5.2.1. Eğilme direnci deneyi sonuçları

Borlu üretilen UF ve MUF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre karşılaştırıldığında kullanılan borların oranı arttıkça eğilme dirençlerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. UF tutkallı levhalarda en fazla kayıp %11 BD kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 ED kullanımında gerçekleşmiştir. MUF tutkallı levhalarda ise en fazla kayıp %11 ED kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 BD kullanımında gerçekleşmiştir.

Bor ve KNT birlikte kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı levhalarda bor içerisinde kullanılan KNT oranı arttıkça eğilme dirençlerinde artış meydana geldiği ve kritik noktanın %1 KNT oranında olduğu, bu noktadan sonra azalma meydana geldiği

belirlenmiştir. UF tutkallı levhalarda eğilme direncinde en fazla kayıp %11 ED-%0.5 KNT kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %11 ÇB-%1.5 KNT ve %3 ED-%1 KNT kullanımında gerçekleştiği belirlenmiştir. MUF tutkallı levhalarda ise en fazla kayıp %11 EC-%1.5 KNT kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 ED-%1 KNT kullanımında gerçekleşmiştir.

Tutkal türü, bor türü ve KNT oranının üretilen levhalara olan etkisi incelendiğinde; kontrol numunesine göre bor ve KNT'nin birlikte kullanıldığı levhalarda eğilme direnci düşük çıkmıştır. Ancak bor ve KNT'nin birlikte kullanımı kendi içerisinde değerlendirildiğinde KNT oranı arttıkça levhaların eğilme direncinde artış meydana gelmiştir. Bu artış %0.5 ve %1 KNT kullanımında devam ederken, %1 KNT oranından sonra eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, bu oran kritik nokta olarak belirlenmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre UF tutkallı levhaların eğilme direnci üzerinde, bor ve KNT oranının anlamlı olduğu belirlenirken, bor türünün anlamsız olduğu belirlenmiştir. MUF tutkallı levhaların eğilme direnci üzerinde bor oranı, KNT oranı ve bor türünün anlamlı olduğu belirlenmiştir.

5.2.2. Eğilmede elastikiyet modülü deneyi sonuçları

Borlu üretilen UF ve MUF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre karşılaştırıldığında kullanılan borların oranı arttıkça eğilmede elastikiyet modüllerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. UF tutkallı levhalarda en fazla kayıp %11 EC kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 BD kullanımında gerçekleşmiştir. MUF tutkallı levhalarda ise en fazla kayıp %11 ED kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 BD kullanımında gerçekleşmiştir.

Bor ve KNT birlikte kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı levhalarda bor içerisinde kullanılan KNT oranı arttıkça eğilmede elastikiyet modüllerinde artış meydana geldiği ve kritik noktanın %1 KNT oranında olduğu, bu noktadan sonra azalma meydana geldiği belirlenmiştir. UF tutkallı levhalarda eğilmede elastikiyet modüllerinde en fazla kayıp %11 EC-%0.5 KNT kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 ED-%1 KNT kullanımında gerçekleştiği belirlenmiştir. MUF tutkallı levhalarda ise en fazla

kayıp %11 EC-%0.5 KNT kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 BD-%0.5 KNT kullanımında gerçekleşmiştir.

Tutkal türü, bor türü ve KNT oranının, üretilen levhalara olan etkisi incelendiğinde; kontrol numunesine göre bor ve KNT'nin birlikte kullanıldığı levhalarda eğilmede elastikiyet modülleri daha düşük (UF tutkallı levhalar için, %3 ED-%1 KNT ve %7 BD-%1 KNT hariç) çıkmıştır. Ancak bor ve KNT'nin birlikte kullanımı kendi içerisinde değerlendirildiğinde KNT oranı arttıkça levhaların eğilmede elastikiyet modüllerinde artış meydana gelmiştir. Bu artış %0.5 ve %1 KNT kullanımında devam ederken, %1 KNT oranından sonra levhaların eğilmede elastikiyet modülleri değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, bu oran kritik nokta olarak belirlenmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre UF ve MUF tutkallı levhaların eğilmede elastikiyet modülleri üzerinde, bor ve KNT oranının anlamlı olduğu belirlenirken, bor türünün anlamsız olduğu belirlenmiştir.

5.2.3. Yüzeye dik çekme direnci deneyi sonuçları

Borlu üretilen UF ve MUF tutkallı levhaların kontrol numunelerine göre karşılaştırıldığında kullanılan borların oranı arttıkça yüzeye dik çekme dirençlerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. UF tutkallı levhalarda en fazla kayıp %11 EC kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 ED kullanımında gerçekleşmiştir. MUF tutkallı levhalarda ise en fazla kayıp %11 BD kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 EC kullanımında gerçekleşmiştir.

Bor ve KNT birlikte kullanılarak üretilen UF ve MUF tutkallı levhalarda bor içerisinde kullanılan KNT oranı arttıkça yüzeye dik çekme dirençlerinde artış (%11 BD-%0.5-1-1.5 KNT ve %7 BD-%0.5-1-1.5 KNT hariç) meydana geldiği ve kritik noktanın %1 KNT oranında olduğu, bu noktadan sonra azalma meydana geldiği belirlenmiştir. UF tutkallı levhalarda yüzeye dik çekme dirençlerinde en fazla kayıp %11 BD-%1.5 KNT kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %7 ED-%1.5 KNT kullanımında gerçekleştiği belirlenmiştir. MUF tutkallı levhalarda ise en fazla kayıp %11 ED-%1.5 KNT kullanımında gerçekleşirken, en az kayıp %3 ED-%1.5 KNT kullanımında gerçekleşmiştir.

Tutkal türü, bor türü ve KNT oranının, üretilen levhalara olan etkisi incelendiğinde; kontrol numunesine göre bor ve KNT'nin birlikte kullanıldığı levhalarda yüzeye dik çekme dirençleri daha düşük çıkmıştır. Ancak bor ve KNT'nin birlikte kullanımı kendi içerisinde değerlendirildiğinde KNT oranı arttıkça levhaların yüzeye dik çekme dirençlerinde artış (UF tutkallı levhalar için, %11 BD-%0.5-1-1.5 KNT, %7 BD-%0.5-1-1.5 KNT örneklerinde azalma meydana gelirken, MUF tutkallı levhalarda ise %3 ED--%0.5-1-1.5 KNT, %3 BD--%0.5-1-1.5 KNT örneklerinde sadece) meydana geldiği belirlenmiştir. Bu artış %0.5 ve %1 KNT kullanımında devam ederken, %1 KNT oranından sonra levhaların yüzeye dik çekme dirençleri değerlerinde azalma meydana gelmiş olup, bu oran çoğu numuneler için kritik nokta olarak belirlenmiştir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre UF ve MUF tutkallı levhaların yüzeye dik çekme dirençleri üzerinde, bor ve KNT oranının anlamlı olduğu belirlenirken, bor türünün anlamsız olduğu belirlenmiştir.

5.3. Temas açısı ölçümlerinin analiz sonuçları

UF ve MUF tutkallı üretilen yonga levhalarda kontrol ve borlu numunelere göre karbon nanotüp kullanıldığında yüzey temas açısında genellikle artış olmuştur. (%0 BOR-%0 KNT(UF) ve %0 BOR-%1 KNT(UF)- %3 ED-%0 KNT(MUF)-%3 ED-%0.5 KNT(MUF) hariç).

Temas açısı ölçümünde en fazla artış UF tutkallı üretilen yonga levhalarda %3 BD-%0.5 KNT, en az artış ise MUF tutkallı üretilen yonga levhalardan %7 ED-%1 KNT örneğinde gerçekleşmiştir. UF tutkallı levhalar kendi içerisinde karşılaştırıldığında en fazla temas açısı artışı %3 BD-%0.5 KNT örneğinde gerçekleşirken, MUF tutkallı levhalarda ise en fazla %0 BOR-%1 KNT örneğinde gerçekleşmiştir. Tüm bu sonuçlara göre KNT borlu ve borsuz örneklerde kullanıldığında belirlenen levhalara ait yüzeylerin apolarlık özelliğinde genellikle artış meydana gelmiştir.

5.4. Yonga levhaların Kimyasal Analiz Sonuçları ait Deney Sonuçları

5.4.1. Termogravimetrik (TGA) analiz sonuçları

TGA analizine göre borlu üretilen üreformaldehit (UF) tutkallı levhalarda 500°C’de kontrol numunesine göre kalıntı miktarı en düşük %7 BD kullanılan levhalarda %32.83, en yüksek %11 BD kullanılan levhalarda %39.68 olarak belirlenmiştir. Melamin üreformaldehit (MUF) ile üretilen levhalarda ise en düşük %3 ED kullanılan levhalarda %38.17, en yüksek %11 ED kullanılan levhalarda %48.26 olarak belirlenmiştir.

Bor ve KNT birlikte kullanılarak üretilen üreformaldehit (UF) tutkallı levhalarda 500°C’de kontrol numunesine göre kalıntı miktarı en düşük KN- %1 KNT kullanılan levhalarda %27.07, en yüksek %11 BD-%0.5 KNT kullanılan levhalarda %40.44 olarak belirlenmiştir. Melamin üreformaldehit (MUF) ile üretilen levhalarda ise en düşük KN-%1 KNT kullanılan levhalarda %30.54, en yüksek %11 ED-%1 KNT kullanılan levhalarda %46.23 olarak belirlenmiştir.

Yonga levhalarda gerçekleşen en yüksek ağırlık kayıplarının 220-400°C arasında olduğu belirlenmiştir. Üreformaldehit (UF) ile üretilen levhalarda kontrol numunesinin ilk bozunma sıcaklığı yaklaşık 306,40 °C olarak belirlenmiştir. Bu değerler üretilen BD serisinde; %3 BD için 308.62°C , %7 BD için 309.87°C, %11 BD için 316.71°C olarak belirlenmiştir. BD-KNT serisinde ise; %7 BD-%0.5 KNT 328.04°C olarak belirlenmiştir. ED serisinde; %3 ED için 333.79°C, %3 ED-%05 KNT için ise 330.87°C, EC serisinde; %3 EC için 333.51°C, %3 EC-%0.5 KNT için ise 333.35°C, ÇB serisinde; %11 ÇB için 337.25°C, %11 ÇB-%1.5 KNT için ise 337.33°C olarak belirlenmiştir.

MUF tutkallı üretilen levhalarda KN’nin ilk bozunma sıcaklığı yaklaşık 318.81°C, KN-%1 KNT için ise 336.22°C olarak belirlenmiştir. Bu değerler üretilen ED serisinde; %3 ED için 319.81°C , %7 ED için 322.58°C, %11 ED için 328.73°C olarak belirlenmiştir. ED-KNT serisinde ise; %3 ED-%1 KNT 336.72°C, %7 ED-%1 KNT 328.81°C, %11 ED-%1 KNT 337.33°C olarak belirlenmiştir.

Ağırlık kaybının birinci türevlerine ait eğrileri incelendiğinde UF ve MUF tutkallı üretilen levhalarda bor ve KNT kullanılması sonucu ısıl bozunmanın etkisiyle oluşan ağırlık kaybı hızında yavaşlama (piklerin uzunluklarında kısalma) meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca KNT tek başına yonga levhada kullanıldığında bozunma hızının yavaş olmasında belli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Belirlenen ilk bozunma sıcaklıkları baz alındığında, UF ve MUF tutkallı üretilen levhaların, kontrol numunesine göre bor ve KNT'li levhalara ait ilk bozunma sıcaklıklarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. UF ve MUF tutkallı üretilen levhaların kontrol numuneleri karşılaştırıldığında ise MUF'lu levhaların ilk bozunma sıcaklıkları daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

5.4.2. SEM-EDS analiz sonuçları

Bor ve borla birlikte KNT yonga levha üretiminde kullanıldığında EDS verilerine göre beklenen elementlerin oranında artış meydana gelmiştir. Bu artış kullanılan katkı maddelerinin yonga levha malzemesine başarılı bir şekilde bağlandığını göstermektedir. Bor yapısında belirgin olan elementlerin ağırlıklarındaki artışa paralel olarak malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerindeki azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte bor+KNT kullanıldığında benzer şekilde beklenen elementlerin miktarında artış meydana gelmiştir. Bu artış yongalar ile kullanılan maddeler arasında bağlanmanın gerçekleştiği ve bunun sonucunda yonga levhanın mekanik ve fiziksel özelliklerinde artış meydana gelmiştir.

5.4.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi(FTIR) spektroskopisi analizi sonuçları

UF ve MUF tutkallı levhaların FTIR spektrumları incelendiğinde kontrol numunelerinde normalde bulunan bazı piklerde, bor ve KNT kullanıldığında önemli değişimlerin meydana geldiği belirlenmiştir.

3000 ile 3500 cm^{-1} arasındaki piklerde meydana gelen O-H gerilme titreşimi KNT ilaveli örneklerin absorpsiyon değerlerinde belirgin bir değişimin meydana geldiğini göstermektedir. Bu değişim KNT ilavesiyle tutkal ve malzeme arasında bağın gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca bu bölgede bulunan bantlardaki değişim su ve

formaldehit gibi yan ürünlere de bağlanabilir. Suyun O-H grupları, KNT ve kullanılan tutkal arasında, CH_2OH , NH_2 ve NH gibi reaktif fonksiyonel gruplarla potansiyel olarak hidrojen bağları meydana gelebilir. Ayrıca meydana gelen azalma ve kaymalar karışımında kullanılan maddelerin fonksiyonel grupları arasında etkileşimde güçlü bir artışın meydana geldiğini göstermektedir.

2820–2980 cm^{-1} 'deki bantlar asimetrik $-\text{CH}_3$ ve simetrik $-\text{CH}_2$ 'ye gruplarında meydana gelen değişim malzemenin yapısındaki yapısal değişimlerin meydana geldiğini göstermektedir. Aynı zamanda karbon nanotüp ve borun maddeye başarılı bir şekilde bağlandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

1720-1740 cm^{-1} aralığında bulunan absorpsiyon aldehitlerin, eşleşmemiş ketonların, ester gruplarında ve karboksilik asitlerdeki $\text{C}=\text{O}$ gerilme titreşimlerinde meydana gelen değişim KNT-Odun-Tutkal arasında kuvvetli etkileşimlerin meydana geldiğini göstermektedir. KNT, tutkalla birlikte kullanıldığında 1735 cm^{-1} absorpsiyon bandında belirgin bir artış meydana gelmiştir. Diğer üretilen yongalevhelerde ise belirtilen absorpsiyon bandında karbonil ve karboksilli gruplarda değişim olsa bile belirgin bir değişiklik meydana gelmemiştir.

1640-1660 cm^{-1} aralığındaki absorpsiyon bantında meydana gelen değişim KNT-Odun-Bor türleri arasında bulunan hidroksil gruplarının etkileşimleri sonucu ortaya çıkmış olabilir. Ayrıca buradaki değişimler sonucu OH gruplarının bağlanması ile birlikte fiziksel ve mekanik özellikler üstünde etkili olmuş olabilir.

1240 cm^{-1} absorpsiyon bandında meydana gelen değişim KNT-Odun arasında sp^2 hibritleşmesinden sp^3 hibritleşmesine bağların döndüğü söylenebilir. Bu değişiklik C-C, C-N ve N-H bağlarının oluşmasına bağlanabilir. Aynı zamanda kullanılan bor türlerinin ortamda kullanılan diğer maddelerin yapısında var olan OH grupları ile etkileşimleri sonucu B-OH bağları oluşmuş olabilir.

Bu çalışma kapsamında, yonga levha üretiminde UF ve MUF tutkalları farklı bor türleri farklı oranlarda farklı KNT oranları ile birlikte kullanılarak yonga levha üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre belirlenen öneriler;

- ✓ Çalışmada kullanılan borlar farklı yöntemler (tutkal içerisine bor ve KNT birlikte) ile yonga levhada kullanılarak KNT ile olan etkisi araştırılabilir.
- ✓ Bor ve KNT'nin birlikte kullanılması durumunda yonga levha dışında farklı ahşap kompozit malzemelerde meydana getirdiği etkiler çalışılabilir.
- ✓ KNT homojenliği artırılarak farklı çalışmalarla test edilebilir. Yada farklı kimyasal maddelerle modifiye edilerek bor ile birlikte kullanıldığında ortaya çıkaracağı etkiler araştırılabilir.
- ✓ Her bor türüne özgü KNT modifiye edilerek homojenliği artıracak şekilde çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Abdellatief, M., Elemam, W. E., Alanazi, H., & Tahwia, A. M. (2023). Production and optimization of sustainable cement brick incorporating clay brick wastes using response surface method. *Ceramics International*, 49(6), 9395-9411. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.11.144>
- Adanur, H. (2015). *Bazı Tanenler ve Borlu Bileşikler ile Emprenye Edilen Doğu Kayını (Fagus orientalis L.) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Al-kahtani, M. S. M., Zhu, H., Haruna, S. I., & Shao, J. (2023). Evaluation of mechanical properties of polyurethane-based polymer rubber concrete modified ground glass fiber using response surface methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(4), 4695-4710. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07112-w>
- Alkhalf Maha, I., & Mirghani, M. E. S. (2017). Detection of formaldehyde in cheese using FTIR spectroscopy. *International Food Research Journal*, 24, 496-500.
- Andrews, R., & Weisenberger, M. C. (2004). Carbon nanotube polymer composites. *Current opinion in solid state and Materials Science*, 8(1), 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2003.10.006>
- Ansari, N., Ali, J., & Zulfequar, M. (2021). Nanotechnology, carbon nanotubes (CNTs) and applications. *Importance Applications Nanotech*, 1, 71-89.
- Aras, U. (2021). *Nano Katkı ve Vermikülit Kullanımının Yongalevhaların Kalite Özelliklerine Etkisi*. (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Aras, U., Durmaz, S., Kuştaş, S., & Kalaycıoğlu, H. (2023). Influence of pumice powder on some properties of phenol-formaldehyde bonded particleboards. *Wood Research*, 67(5), 837-846. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/67.5.837846>
- Aras, U., Yel, H., Kalaycıoğlu, H., & Kuştaş, S. (2022). CCA ile emprenyeli sarıçam planya artıklarından üretilen çimentolu yongalevhaların bazı teknolojik özelliklerinin incelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 65-73. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1068053>
- Argin, S., Gülerim, M., & Şahin, F. (2019). Development of antimicrobial gelatin films with boron derivatives. *Turkish Journal of Biology*, 43(1), 47-57. <https://doi.org/10.3906/biy-1807-181>
- Arslan, F. (2011). *Karbon Nanotüp Takviyeli Polimer Nanokompozit Geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Artner, M. A., de Cademartori, P. H. G., Avelino, F., Lomonaco, D., & Magalhães, W. L. E. (2021). A novel design for nanocellulose reinforced ureaformaldehyde resin: a breakthrough in amino resin synthesis and biocomposite manufacturing. *Cellulose*, 28, 3435-3450. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-03739-4>
- Aslan, S., & Özkaya, K. (2004). Farklı kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ahşap esaslı levhaların yanma mukavemetinin araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 122-140.
- Ayrılmış, N. (2000). *MDF'nin Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ayrılmış, N. (2006). *Çeşitli Kimyasalların Bazı Ahşap Levha Ürünlerinde Yanma ve Teknolojik Özellikler Üzerine Etkisi*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ayrılmış, N., Kartal, S. N., Laufenberg, T. L., Winandy, J. E., & White, R. H. (2005). Physical and mechanical properties and fire, decay, and termite resistance of treated oriented strandboard. *Forest Product Journal*, 55(5), 74-81.
- Azeem Arshad, M., Maaroufi, A., Benavente, R., & Pinto, G. (2017). Thermal degradation of ureaformaldehyde cellulose composites filled with aluminum particles: Kinetic approach to mechanisms. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(19), 44826. <https://doi.org/10.1002/APP.44826>
- Azizi, K., Tabarsa, T., & Ashori, A. (2011). Performance characterizations of particleboards made with wheat straw and waste veneer splinters. *Composites PartB: Engineering*, 42(7), 2085-2089. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.04.002>
- Bacigalupe, A., Molinari, F., Eisenberg, P., & Escobar, M. M. (2020). Adhesive properties of ureaformaldehyde resins blended with soy protein concentrate. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 3, 213-221. <https://doi.org/10.1007/s42114-020-00151-7>
- Banaszak, A., Woźniak, M., Dziurka, D., & Mirski, R. (2023). Annual plants and thermoplastics in the production of polymer and lignocellulose boards. *Materials*, 16(12), 4400. <https://doi.org/10.3390/ma16124400>
- Başkut, S., & Turan, S. (2022). Kaplama malzemelerin taramalı elektron mikroskopunda tahribatsız kimyasal analizleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10(1), 448-464. <https://doi.org/10.29130/dubited.950588>
- Boussetta, A., Benhamou, A. A., Charii, H., Ablouh, E. H., Mennani, M., Kasbaji, M., & Moubarik, A. (2023). Formulation and characterization of chitin-starch bio-based wood adhesive for the manufacturing of formaldehyde-free composite particleboards. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02091-x>

- Bowman, D. M., & Hodge, G. A. (2006). Nanotechnology: Mapping the wild regulatory frontier. *Futures*, 38(9), 1060-1073. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2006.02.017>
- Cabbar, Ö. (2019). *Emprenyeli Kâğıt ile Kaplanmış Yonga levhaların Antibakteriyel ve Teknolojik Karakteristikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Cacciatore, M. A., Scheufele, D. A., & Corley, E. A. (2011). From enabling technology to applications: The evolution of risk perceptions about nanotechnology. *Public Understanding of Science*, 20(3), 385-404. <https://doi.org/10.1177/0963662509347815>
- Cai, Z., & Ross, R. J. (2010). Mechanical properties of wood-based composite materials. Wood handbook-Wood as an engineering material. In Wood Handbook-Wood as an Engineering Material. Centennial Edition. General Technical Report FPL-GTR-190; Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: Madison, WI, EUA, 12.
- Camilli, L., & Passacantando, M. (2018). Advances on sensors based on carbon nanotubes. *Chemosensors*, 6(4), 62. <https://doi.org/10.3390/chemosensors6040062>
- Campbell, F. C. (2010). Structural composite materials. ASM international.
- Cogswell, F. N., Eckold, G. C., Miravete, A., Matthews, F. L., Rawlings, R. D., Davies, G. A. O., & Soutis, C. (2016). Advanced fibrous composite materials for ballistic protection. In *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. (pp. 1-557)
- Çakır, G. (2012). *Bor Katkılı Zeytin Karasuyu ile Emprenye Edilmiş Bağ Budama Artıklarından Üretilmiş Yonga Levhaların Fiziksel, Mekanik ve Çürüklük Direncine Olan Etkisinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çakmak, E. (2008). *Bazı Kimyasallarla Emprenye Edilmiş Yonga Levhaların Yanma Direncinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çamlıbel, O., & Akgül, M. (2021). Kalsit mineral katkılı orta yoğunlukta liflevha (MDF)'nin yanma performansının araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 29-37.
- Çiçek, S. (2015). *Barit ve Bor Bileşiklerinin Ladin Odununda Tutunabilme Özelliği ve Dış Mekan Mobilyalarında Kullanılabilme Olanakları*. (Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Demirci, Z., Söğütlü, C., Döngel, N., İmirzi, H. Ö., Doruk, Ş., & Yalınkılıç, A. C. (2009). Sodyumborat ile emprenye işleminin ağaç malzeme mekanik

özelliklerine etkisi (Türkiye). 4. Uluslararası Bor Sempozyumu. 15-17 Ekim, Eskişehir, 643-653.

Dos Santos, M. F. N., Rosane Ap G, B., Bezerra, B. S., & Varum, H. S. (2014). Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). *Journal of Cleaner Production*, 64, 345-355. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.039>

Dönmez, A. (2005). *Bazı Borlu Bileşiklerle Muamele Edilmiş Melez Kavak (Populus Euroamericana cv.) Yongaları ve Kraft Lignin Fenol Formaldehit Tutkalı Kullanılarak Üretilen Yönlendirilmiş Yongalevhaların (OSB) Teknolojik Özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., & Joo, S. W. (2014). Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letters*, 9, 1-13.

Eklund, P., Ajayan, P., Blackmon, R., Hart, A. J., Kibng, J., Pradhan, B., & Rinzler, A. (2007). International assessment of research and development of carbon nanotube manufacturing and applications. World Technology Evaluation Center, Inc., Baltimore, Maryland.

Eren, O. (2015). *Poliakrilonitril/karbon Nanotüp Kompozit Nanolif Özellikleri Üzerine Karbon Nanotüp ve Polianilin Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Farsheh, A. T., Talaeipour, M., Hemmasi, A. H., Khademieslam, H., & Ghasemi, I. (2011). Investigation on the mechanical and morphological properties of foamed nanocomposites based on wood flour/PVC/multi-walled carbon nanotube. *BioResources*, 6(1), 841-852.

Farsi, M., & Sani, F. M. (2014). Effects of multi-walled carbon nanotubes on the physical and mechanical properties of high-density polyethylene/wood flour nanocomposites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(8), 1139-1154. <https://doi.org/10.1177/0892705713515899>

Frihart, C. R. (2005). Wood adhesion and adhesives. In *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. (pp. 214-278)

Fu, S., Song, P., Yang, H., Jin, Y., Lu, F., Ye, J., & Wu, Q. (2010). Effects of carbon nanotubes and its functionalization on the thermal and flammability properties of polypropylene/wood flour composites. *Journal of materials science*, 45(13), 3520-3528. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-4394-7>

Gérardin, P., Petrič, M., Petrissans, M., Lambert, J., & Ehrhardt, J. J. (2007). Evolution of wood surface free energy after heat treatment. *Polymer Degradation and Stability*, 92(4), 653-657. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.01.016>

- Goel, N., Sinha, N., & Kumar, B. (2013). Growth and properties of sodium tetraborate decahydrate single crystals. *Materials Research Bulletin*, 48(4), 1632-1636. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2013.01.007>
- Gul, W., Alrobei, H., Shah, S. R. A., Khan, A., Hussain, A., Asiri, A. M., & Kim, J. (2020). Effect of embedment of MWCNTs for enhancement of physical and mechanical performance of medium density fiberboard. *Nanomaterials*, 11(1), 29. <https://doi.org/10.3390/nano11010029>
- Güğü, H. (2018). *Karbon Nanotüp ve Cam Elyaf Takviyeli Yüksek Yoğunluklu Polietilen Hibrit Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Gül, B. F. (2021). *Sodyum Metaborat Dekahidrat (boraks) Katkılı Pmma Polimer Kompozitlerin Mikrodalga Özelliklerinin Geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Günaydın, E. (2018). *Polimer Matriksli Karbon Nanotüp-cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerde Çarpma Sonrası Basma Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Harith, I. K. (2023). Optimization of quaternary blended cement for eco-sustainable concrete mixes using response surface methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(10), 14079-14094. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08071-6>
- He, H., Pham-Huy, L. A., Dramou, P., Xiao, D., Zuo, P., & Pham-Huy, C. (2013). Carbon nanotubes: applications in pharmacy and medicine. *BioMed Research International*, 2013, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2013/578290>
- Holister, P., Vas, C. R., & Harper, T. (2003). Fullerenes. *Technology White Papers*, 7, 6-7.
- Hulla, J. E., Sahu, S. C., & Hayes, A. W. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human & experimental toxicology*, 34(12), 1318-1321. <https://doi.org/10.1177/0960327115603588>
- İstek, A., Yalçınkaya, G., & Özlüsoylu, İ. (2015) The Effect Of Some Boron Compounds On Physical And Mechanical Properties Of Particle Board (Turkey). *International Conference on Agriculture, Forest and Food Technologies (ICAFOF)*. May 15-17, Nevşehir, 526.
- Jasmani, L., Rusli, R., Khadiran, T., Jalil, R., & Adnan, S. (2020). Application of nanotechnology in wood-based products industry: A review. *Nanoscale Research Letters*, 15, 1-31. <https://doi.org/10.1186/s11671-020-03438-2>
- Kaya, O. (2011). *Ahşap Emprenyesinde Bor Bileşiklerinin Kullanımının Ahşabın Yanmasına Etkisi*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü)

- Kaymakci, A., Birinci, E., & Ayilmiş, N. (2019). Surface characteristics of wood polypropylene nanocomposites reinforced with multi-walled carbon nanotubes. *Composites part B: Engineering*, 157, 43-46. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.099>
- Kaymakçı, A. (2016). Karbon nanotüp ile güçlendirilen ahşap polimer nanokompozitlerin uzun süreli su alma davranışlarının belirlenmesi, *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1), 216-224.
- Khalili, P., Liu, X., Tshai, K. Y., Rudd, C., & Yi, X. (2019). Development of fire retardancy of natural fiber composite encouraged by a synergy between zinc borate and ammonium polyphosphate. *Composites Part B: Engineering*, 159, 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.036>
- Khare, R. (2005). Carbon nanotube based composites-a review. *Journal of minerals and Materials Characterization and Engineering*, 4(01), 31.
- Konitufe, C., Baba, A. S., & Abubakar, A. (2023). Optimization of calcined termite-mound material (CTM) mortar and concrete using response surfaces methodology. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 14(2), 47-60. <https://doi.org/10.30574/gjeta.2023.14.2.0020>
- Křišťák, L., & Réh, R. (2021). Application of wood composites. *Applied Sciences*, 11(8), 3479. <https://doi.org/10.3390/app11083479>
- Kubovský, I., Kačíková, D., & Kačík, F. (2020). Structural changes of oak wood main components caused by thermal modification. *Polymers*, 12(2), 485. <https://doi.org/10.3390/polym12020485>
- Kulaç, E. Z. (2016). *Çok Duvarlı Karbon Nanotüpün Nbr ve Nr-br Kauçuk Kompozitlerinin Reolojik ve Mekanik Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kumar, A., Gupta, A., & Sharma, K. V. (2015). Thermal and mechanical properties of ureaformaldehyde (UF) resin combined with multiwalled carbon nanotubes (MWCNT) as nanofiller and fiberboards prepared by UF-MWCNT. *Holzforschung*, 69(2), 199-205. <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0038>
- Kumar, A., Sharma, K. V., Gupta, A., Tywoniak, J., & Hajek, P. (2017). Optimization of processing parameters of medium density fiberboard using response surface methodology for multiwalled carbon nanotubes as a nanofiller. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(2), 203-213. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1106-2>
- Küçükıldırım, O. B. (2012). *Fabrication and Investigation of Carbon Nanotube Reinforced Aluminum Matrix Composite Material*. (Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Lebow, S. T., & Winandy, J. E. (1999). Effect of fire-retardant treatment on plywood pH and the relationship of pH to strength properties. *Wood Science and Technology*, 33(4), 285-298.
- Lee, S. H., Lum, W. C., Boon, J. G., Kristak, L., Antov, P., Pędzik, M., & Pizzi, A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. *Journal of materials research and technology*, 20, 4630-4658. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>
- Lee, S., min Kim, H., Seong, D. G., & Lee, D. (2019). Synergistic improvement of flame retardant properties of expandable graphite and multi-walled carbon nanotubes reinforced intumescent polyketone nanocomposites. *Carbon*, 143, 650-659. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.11.050>
- Lopes, J. D. O., Garcia, R. A., & Nascimento, A. M. D. (2018). Wettability of the surface of heat-treated juvenile teak wood assessed by drop shape analyzer. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 20(2), 249-256. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005002801>
- Lukawski, D., Grzeskowiak, W., Dukarska, D., Mazela, B., Lekawa-Raus, A., & Dudkowiak, A. (2019). The influence of surface modification of wood particles with carbon nanotubes on properties particleboard glued with phenol-formaldehyde resin. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 62(203), 93-105. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.265.03>
- Ma, P. C., Siddiqui, N. A., Marom, G., & Kim, J. K. (2010). Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), 1345-1367. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.07.003>
- Maeda, T., & Horie, C. (1999). Phonon modes in single-wall nanotubes with a small diameter. *Physica B: Condensed Matter*, 263, 479-481. [https://doi.org/10.1016/S0921-4526\(98\)01415-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4526(98)01415-X)
- Mahieu, A., Vivet, A., Poilane, C., & Leblanc, N. (2021). Performance of particleboards based on annual plant byproducts bound with bio- adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 107, 102847. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102847>
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Nanotechnology: A revolution in modern industry. *Molecules*, 28(2), 661. <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>
- Mansoori, G. A., & Soelaiman, T. F. (2005). Nanotechnology An introduction for the standards community. ASTM International.
- Marmur, A., Della Volpe, C., Siboni, S., Amirfazli, A., & Drelich, J. W. (2017). Contact angles and wettability: Towards common and accurate terminology. *Surface Innovations*, 5(1), 3-8. <https://doi.org/10.1680/jsuin.17.00002>

- Maultzsch, J., Reich, S., Thomsen, C., Dobardžić, E., Milošević, I., & Damnjanović, M. (2002). Phonon dispersion of carbon nanotubes. *Solid state communications*, 121(9-10), 471-474. [https://doi.org/10.1016/S0038-1098\(02\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0038-1098(02)00025-X)
- Mazaheri, M., Moghimi, H., & Taheri, R. A. (2022). Urea impregnated multiwalled carbon nanotubes; a formaldehyde scavenger for urea formaldehyde adhesives and medium density fiberboards bonded with them. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(1), 51445. <https://doi.org/10.1002/app.51445>
- Mehra, N. K., Jain, A. K., Lodhi, N., Raj, R., Dubey, V., Mishra, D., & Jain, N. K. (2008). Challenges in the use of carbon nanotubes for biomedical applications. *Critical Reviews™ in Therapeutic Drug Carrier Systems*, 25(2), 169–206. <https://doi.org/10.1002/app.51445>
- Mutlu, E. (2013). *Yanmayı Geciktirici Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilen Bazı Ağaç Türlerinin Teknolojik Özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Nagieb, Z. A., Nassar, M. A., & El-Meligy, M. G. (2011). Effect of addition of boric acid and borax on fire-retardant and mechanical properties of urea formaldehyde saw dust composites. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 1, 6. <https://doi.org/10.1155/2011/146763>
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., & Issaabadi, Z. (2019). An introduction to nanotechnology. *In Interface science and technology*, 28, 1-27.
- Nicholson, L. (2004). Integrating Sustainable Building Design and Construction Principles into Engineering Technology and Construction Management Curricula. In *2004 Annual Conference*. (pp. 9-773)
- Nishimura, T. (2015). Chipboard, oriented strand board (OSB) and structural composite lumber. In *Wood Composites: Elsevier Ltd*. (pp. 103-121)
- Norizan, M. N., Shazleen, S. S., Alias, A. H., Sabaruddin, F. A., Asyraf, M. R. M., Zainudin, E. S., & Norrahim, M. N. F. (2022). Nanocellulose-based nanocomposites for sustainable applications: A review. *Nanomaterials*, 12(19), 3483. <https://doi.org/10.3390/nano12193483>
- Nuryawan, A., Risnasari, I., Sucipto, T., Iswanto, A. H., & Dewi, R. R. (2017). Urea-formaldehyde resins: production, application, and testing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 223, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/223/1/012053>
- Omietimi, H. B., Afolalu, S. A., Kayode, J. F., Monye, S. I., Lawal, S. L., & Emetere, M. E. (2023). An overview of nanotechnology and its application. *E3S web of conferences*, 391, 01079. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101079>

- Ormondroyd, G. A. (2015). Adhesives for wood composites. In *Wood Composites*. (pp. 47-66)
- Özçifçi, A., & Batan, F. (2010). Atık bor yağının ağaç malzemenin bazı fiziksel özelliklerine etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10(2), 102-110.
- Whitcomb, P., Helseth, T., & Anderson, M. (2021). Stat-Ease 360 software (Trial Version), Minneapolis.
- Pandey, P., & Dahiya, M. (2016). Carbon nanotubes: Types, methods of preparation and applications. *Carbon*, 1(4), 15-21.
- Papadopoulos, A. N. (2021). Advances in wood composites III. *Polymers*, 13(1), 163. <https://doi.org/10.3390/polym13010163>
- Pędzik, M., Auriga, R., Kristak, L., Antov, P., & Rogoziński, T. (2022). Physical and mechanical properties of particleboard produced with addition of walnut (*Juglans regia* L.) wood residues. *Materials*, 15(4), 1280. <https://doi.org/10.3390/ma15041280>
- Pędzik, M., Janiszewska, D., & Rogoziński, T. (2021). Alternative lignocellulosic raw materials in particleboard production: A review. *Industrial Crops and Products*, 174, 114162. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114162>
- Pıçak, S. (2015). *Karbon Nanotüp Katkılı Alumina/epoksi Nano Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Düşük Hızlı Darbe Deneyine Cevabı*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Pitroda, J., Jethwa, B., & Dave, S. K. (2016). A critical review on carbon nanotubes. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering*, 2(5), 36-42. <https://doi.org/10.20431/2454-8693.0205007>
- Pizzi, A., & Mittal, K. L. (2003). *Handbook of Adhesive Technology*. New York, CRC Press.
- Pokhrel, S., Shrestha, M., Slouf, M., Sirc, J., & Adhikari, R. (2020). Eco-friendly urea-formaldehyde composites based on corn husk cellulose fiber. *International Journal of Composite Materials*, 10(2), 29-36. <https://doi.org/10.5923/j.cmaterials.20201002.01>
- Polat, S., & Sayan, P. (2020). Box–Behnken experimental design for zinc borate $Zn_2B_6O_{11} \cdot 7H_2O$. *Journal of Boron*, 5(3), 152-161. <https://doi.org/10.30728/boron.698858>
- Poole, C. P., & Owens, F. J. (2003). *Introduction to Nanotechnology*. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc.

- Popov, V. N. (2004). Theoretical evidence for T1/2 specific heat behavior in carbon nanotube systems. *Carbon*, 42(5-6), 991-995. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2003.12.014>
- Ramsden, J. J. (1990). What is nanotechnology?. *Nature*, 344, 524-526.
- Ross, R. J. (2010). Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, Wisconsin. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-190>
- Rowell, R. M. (2005). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton. CRC press.
- Ruoff, R. S., & Lorents, D. C. (1995). Mechanical and thermal properties of carbon nanotubes. *Carbon*, 33(7), 925-930. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(95\)00021-5](https://doi.org/10.1016/0008-6223(95)00021-5)
- Saeed, S., Hakeem, S., Faheem, M., Alvi, R. A., Farooq, K., Hussain, S. T., & Ahmad, S. N. (2013). Effect of doping of multi-walled carbon nanotubes on phenolic based carbon fiber reinforced nanocomposites. *Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing*, 439, 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/439/1/012017>
- Sahimi, M. H. (2012). *Use of Carbon Nanotubes to Enhance the Physical and Mechanical Properties of Wood Composites*. (Doctoral dissertation, University Malaysia Pahang Faculty of Chemical Engineering and Natural Resources)
- Saltan, F., Şentürk, S., Al, A. M., Özkan, A. N., & Şirin, K. (2023). Preparation, characterization and thermal properties of polypropylene/polyethylene/zinc borate composites: investigation of thermal degradation kinetics. *Journal of Polymer Research*, 30(10), 391. <https://doi.org/10.1007/s10965-023-03762-y>
- Sancak, A. (2017). *Acoustic Properties of Styrene Butadiene Rubber- Isocyanate Composition Reinforced With Carbon Nanotubes and Silicon Oxide Nanopowder*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sancar, S. (2019). *Yongalevhaların Depolama Süresinin Teknolojik Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sarangdevot, K., & Sonigara, B. S. (2015). The wondrous world of carbon nanotubes: Structure, synthesis, properties and applications. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(6), 916-933.
- Sarı, B., Nemli, G., Ayırmis, N., Baharoğlu, M., & Bardak, S. (2013). The influences of drying temperature of wood particles on the quality properties of particleboard composite. *Drying Technology*, 31(1), 17-23. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.711791>

- Sayar, Z., Gültekin, A. B., & Dikmen, Ç. B. (2009). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Ahşap ve PVC Doğramaların Değerlendirilmesi (Türkiye). 5. *Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu (İATS'09)*. 13-15 Mayıs, Karabük, 2067-2072.
- Scoville, C., Cole, R., Hogg, J., Farooque, O., & Russell, A. (1991). Carbon Nanotubes. <https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590a/08sp/projects/CarbonNanotubes>. (Son erişim tarihi: 12 Ekim 2023)
- Sharifpour, N., Moghaddam, F. M., Mardani, G., & Malakootian, M. (2020). Evaluation of the activated carbon coated with multiwalled carbon nanotubes in removal of ciprofloxacin from aqueous solutions. *Applied Water Science*, 10(6), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01229-9>
- Shi, L., Hu, C., Zhang, W., & Lin, X. (2023). Effect of hot-pressing and hydrothermal parameters on recycled wood particles and particleboards. *Wood Material Science & Engineering*, 18(5), 1-8. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2186262>
- Soltani, M., Moayedfar, R., & Vun, C. V. (2023). Using response surface methodology to assess the performance of the pervious concrete pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 16(3), 576-591. <https://doi.org/10.1007/s42947-021-00149-4>
- Song, J., Chen, S., Yi, X., Zhao, X., Zhang, J., Liu, X., & Liu, B. (2021). Preparation and properties of the urea-formaldehyde res-in/reactive halloysite nanocomposites adhesive with low-formaldehyde emission and good water resistance. *Polymers*, 13(14), 2224. <https://doi.org/10.3390/polym13142224>
- Stevens, S. Y., Sutherland, L. M., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. NSTA press.
- Sun, Y., Zhang, X., & Zhao, D. (2023). Reinforcement of aminopropyl-terminated siloxane-treated carbon nanotubes in epoxy thermosets: Mechanical and thermal properties. *Polymers*, 15(15), 3184. <https://doi.org/10.3390/polym15153184>
- Suzuki, S. (2013). *Physical and chemical properties of carbon nanotubes*. Japan, BoD–Books on Demand.
- Şankal, S., & Kaynak, C. (2012). Aminosilanlanan karbon nanotüplerin poliamid-6 kristallenme davranışına etkileri. TÜBİTAK Proje No: 111M460, 95s.
- Taghiyari, H. R., Tajvidi, M., Taghiyari, R., Mantanis, G. I., & AyoubEsmailpour Hosseinpourpia, R. (2020). Nanotechnology for wood quality improvement and protection. In *Nanomaterials for Agriculture and Forestry Applications*. (pp. 469-489)
- Tascioglu, C., Umemura, K., Yoshimura, T., & Tsunoda, K. (2014). Biological performance of zinc borate-incorporated particleboard: effects of leaching on

efficacy. *Composites Part B: Engineering*, 57, 31-34.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.09.037>

Temiz, A. (2005). *Benzetilmiş Dış Hava Koşullarının Emprenyeli Ağaç Malzemeye Etkileri*. (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Terzi, E., Kartal, S. N., Gerardin, P., Ibanez, C. M., & Yoshimura, T. (2017). Biological performance of particleboard incorporated with boron minerals. *Journal of forestry research*, 28(1), 195-203. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0288-0>

Terzi, E., Kartal, S. N., Pişkin, S., Stark, N., Figen, A. K., & White, R. H. (2018). Colemanite: A fire retardant candidate for wood plastic composites. *BioResources*, 13(1), 1491-1509.

Thakur, C. K., Karthikeyan, C., Abou-Dahech, M. S., Altabakha, M. M. A., Al Shahwan, M. J. S., Ashby Jr, C. R., & Moorthy, N. S. H. N. (2023). Microwave-assisted functionalization of multi-walled carbon nanotubes for biosensor and drug delivery applications. *Pharmaceutics*, 15(2), 335. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020335>

Thostenson, E. T., Ren, Z., & Chou, T. W. (2001). Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites Science and Technology*, 61(13), 1899-1912. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(01\)00094-X](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(01)00094-X)

Topgül, A. (2009). *Bor Bileşiklerin Odunun Biyolojik Direnç, Tutuşma, Hızlandırılmış Yaşlandırma Performans Özellikleri Üzerine Etkileri ve Odundan Yıkanma Özelliklerinin Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

TS EN 310 (1999). Ahşap Esaslı Levhalar-Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini. T.S.E, Ankara.

TS EN 312 (2012). Yonga Levhalar-Özellikler. T.S.E, Ankara.

TS EN 317 (1999). Yongalevhalar ve Liflevhalar, Su İçerisine Daldırma İşleminden Sonra Kalınlığına Şişme Tayini. T.S.E, Ankara.

TS EN 319 (1999). Yongalevhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımı Tayini. T.S.E, Ankara.

TS EN 323 (1999). Ahşap Esaslı Levhalar-Birim Hacim Ağırlığının Tayini. T.S.E, Ankara.

TS EN 325 (2012). Ahşap Esaslı Levhalar - Deney Parça Boyutlarının Tayini. TSE, Ankara.

- TS EN 326-1 (1999). Ahşap Esaslı Levhalar - Numune Alma Kesme ve Muayene. TSE, Ankara.
- Tutuş, A., Kurt, R., Alma, M. H., & Meriç, H. (2010). Sarıçam odununun kimyasal analizi ve termal özellikleri. *III. Ulusal karadeniz ormancılık kongresi*, 5, 1845-1851.
- Tüfekçi, M. M. (2015). *Ultra Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Ağır Kompozit Malzemelerin Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması*. (Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Tüzemen, Ç. M. (2015). *Karbon Nanotüp ve Nanokil Katkılı Cıvata Bağlantılı Karbon/epoksi Nanokompozit Plakaların Mekanik Özellikleri ve Hasar Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ustaömer, D., Usta, M., Yıldız, Ü. C., Yıldız, S., & Tomak, E. D. (2009). Boraks ve Borik Asit ile Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunlukta Liflevhalarda (MDF) Çürüklük Dayanımının Belirlenmesi. *IV. Uluslararası Bor Sempozyumu*. Ekim 15-17, Eskişehir, 597-601.
- Ünlü, F. (2007). *Geçiş Metali-Fosfin Komplekslerinin Termal Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Varshney, K. (2014). Carbon nanotubes: a review on synthesis, properties and applications. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 2(4), 660-677.
- Visakh, P. M., Nazarenko, O. B., Amelkovich, Y. A., & Melnikova, T. V. (2015). Thermal properties of epoxy composites filled with boric acid. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 81(1), 012095. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/81/1/012095>
- Wang, B., Feng, M., & Zhan, H. (2014). Improvement of wood properties by impregnation with TiO₂ via ultrasonic-assisted sol-gel process. *RSC advances*, 4(99), 56355-56360.
- Wang, H., Wang, H., Liao, J., Zhou, X., & Du, G. (2023). Technological properties of a branched polyethyleneimine derivative as a cross-linker for low molar ratio urea-formaldehyde resins. *Polymer Testing*, 118, 107914. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107914>
- Wang, Q., Li, J., & Winandy, J. E. (2004). Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood. *Wood Science and Technology*, 38, 375-389. <https://doi.org/10.1007/s00226-004-0246-4>
- Wang, Z., Yan, Y., Shen, X., Qian, T., Wang, J., Sun, Q., & Jin, C. (2018). Lignocellulose-chitosan-multiwalled carbon nanotube composites with improved mechanical strength, dimensional stability and fire retardancy. *Polymers*, 10(3), 341. <https://doi.org/10.3390/polym10030341>

- Yalçinkaya, G. (2014). *Bazı Borlu Bileşiklerin Yonga Levha Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yalınkılıç, M. K., Baysal, E., & Demirci, Z. (1995). Bazı borlu bileşiklerin ve su itici maddelerin kızılçam odununun higroskopisitesi üzerine etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(3), 161-168.
- Yalınkılıç, M. K., Demirci, Z., & Baysal, E. (1998). Fire resistance of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] wood treated with some chemicals. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 4(2), 613-624.
- Yalınkılıç, M. K., Imamura, Y., Takahashi, M., & Demirci, Z. (2007). Effect of boron addition to adhesive and/or surface coating on fire-retardant properties of particleboard. *Wood and Fiber Science*, 30(4), 348-359.
- Yang, P., Zhu, Z., Wang, L., Shen, A., Tang, M., Chen, M., & Zhou, X. (2023). Developing carbon dots as green modifiers for improving the bonding performance of low-molar-ratio urea-formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 125, 103416. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103416>
- Yu, C., Shi, L., Yao, Z., Li, D., & Majumdar, A. (2005). Thermal conductance and thermopower of an individual single-wall carbon nanotube. *Nano Letters*, 5(9), 1842-1846. <https://doi.org/10.1021/nl051044e>
- Zaman, C. A. (2010). *Karbon Nanotüp İlavesinin Alümina Esaslı Seramiklerin Yapı ve Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Zanuttini, R., & Negro, F. (2021). Wood-Based Composites: Innovation towards a sustainable future. *Forests*, 12(12), 1717. <https://doi.org/10.3390/f12121717>
- Zhang, B., Pizzi, A., Petrissans, M., Petrissans, A., & Colin, B. (2023). A Melamine–dialdehyde starch wood particleboard surface finish without formaldehyde. *Journal of Renewable Materials*, 11(11), 1-24. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.028888>
- Zhang, C. C., Gao, X., & Yilmaz, B. (2020). Development of FTIR spectroscopy methodology for characterization of boron species in FCC catalysts. *Catalysts*, 10(11), 1327. <https://doi.org/10.3390/catal10111327>

EKLER

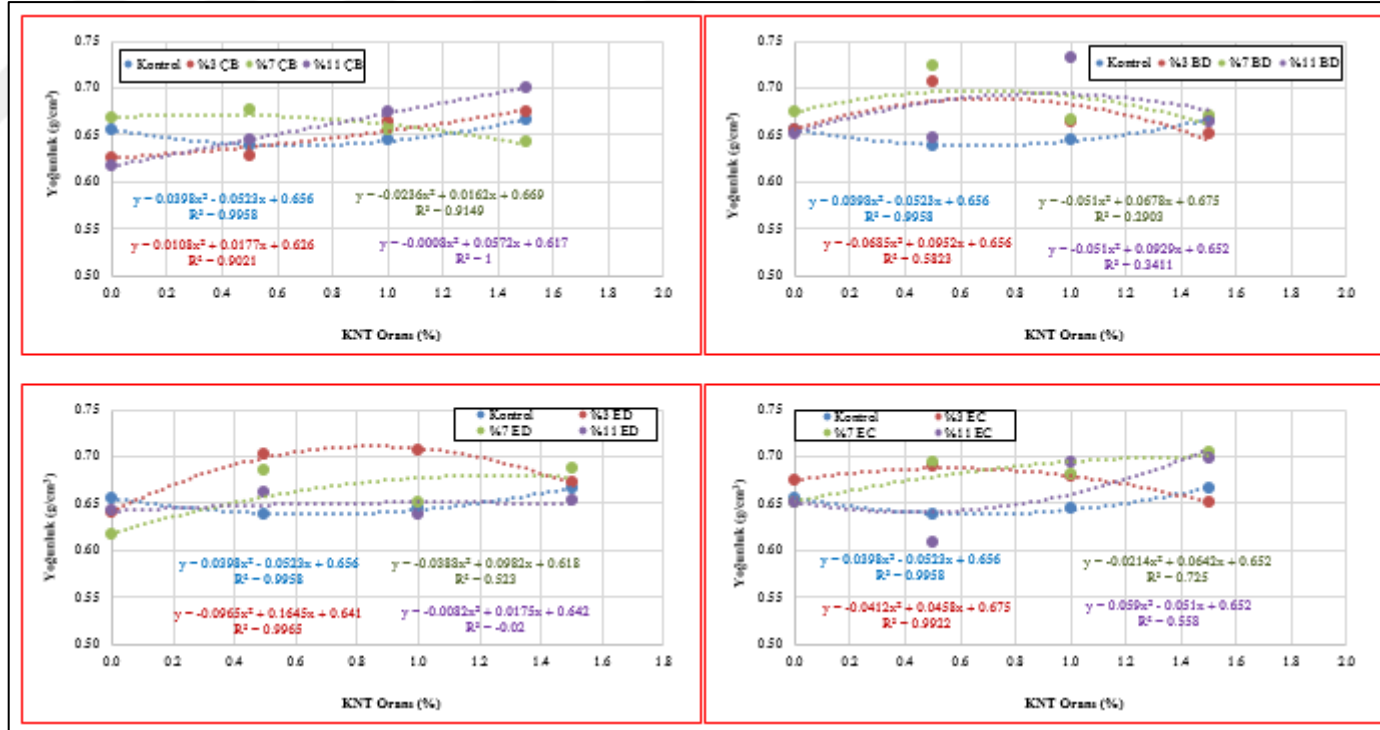
EK A. Fiziksel özelliklere ait deney sonuçları

EK B. Mekanik özelliklere ait deney sonuçları

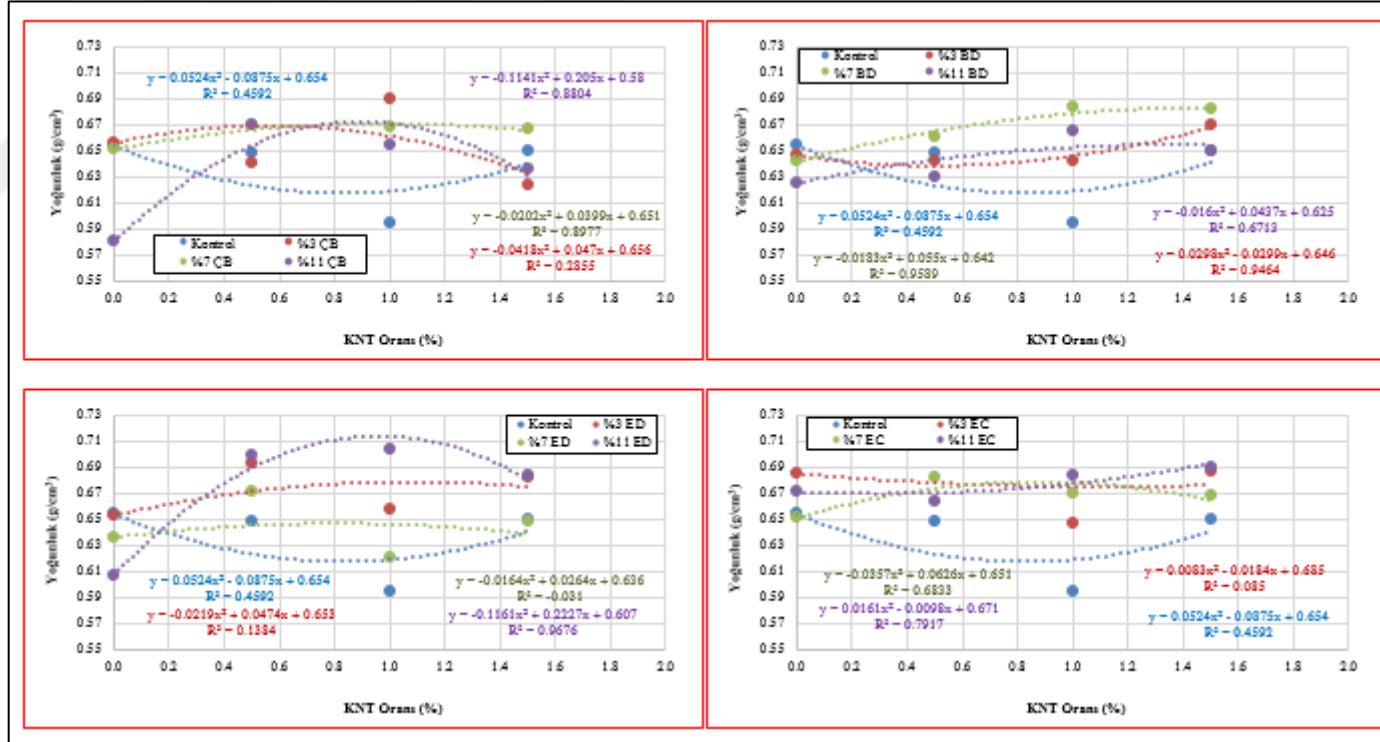
EK C. Yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



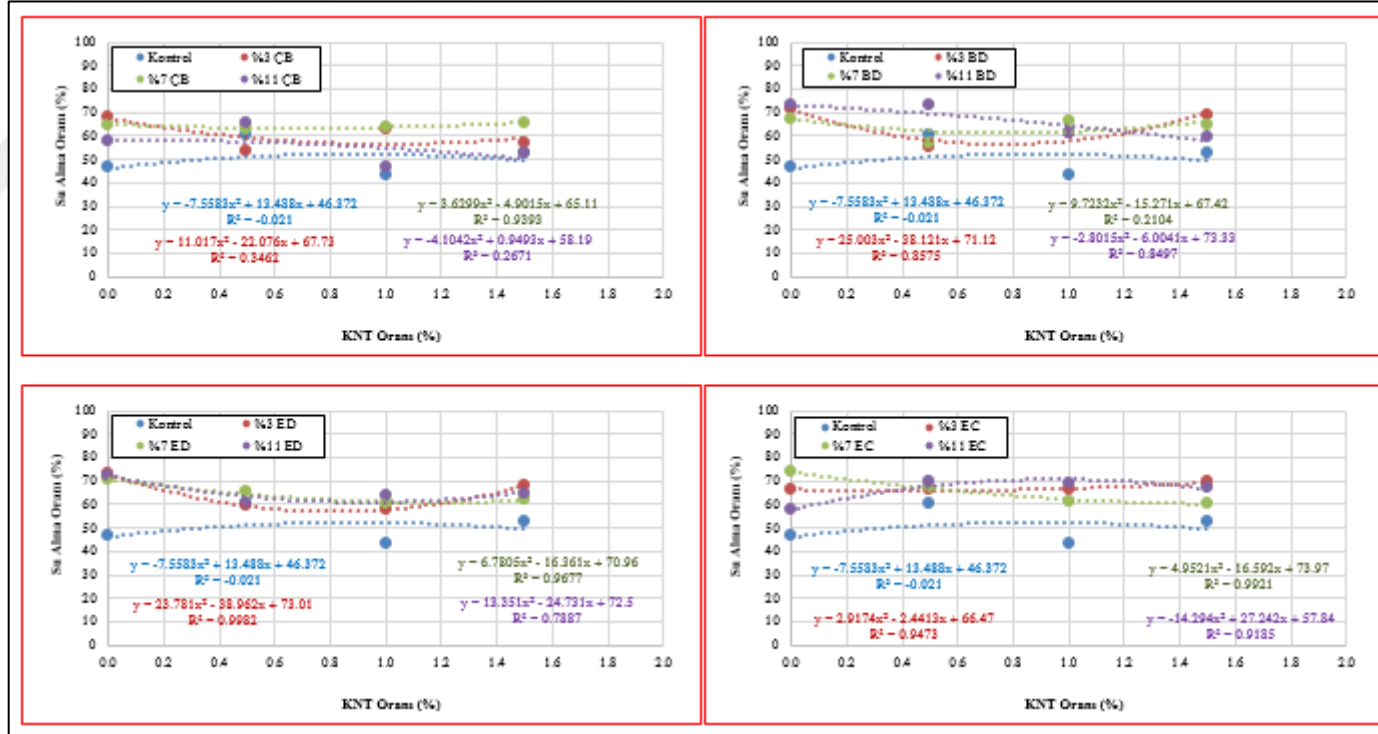
EK A. Fiziksel özelliklere ait deney sonuçları



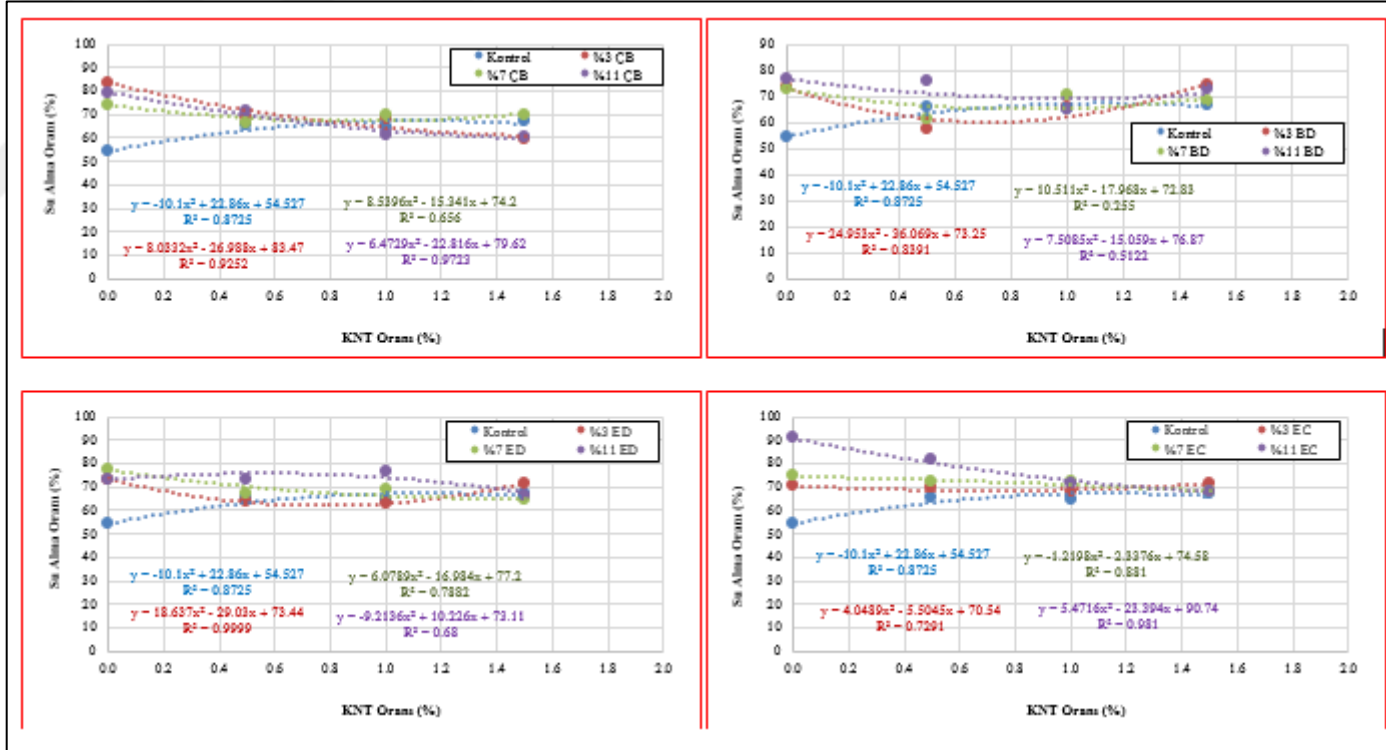
Şekil A.1. UF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların yoğunluk değerleri



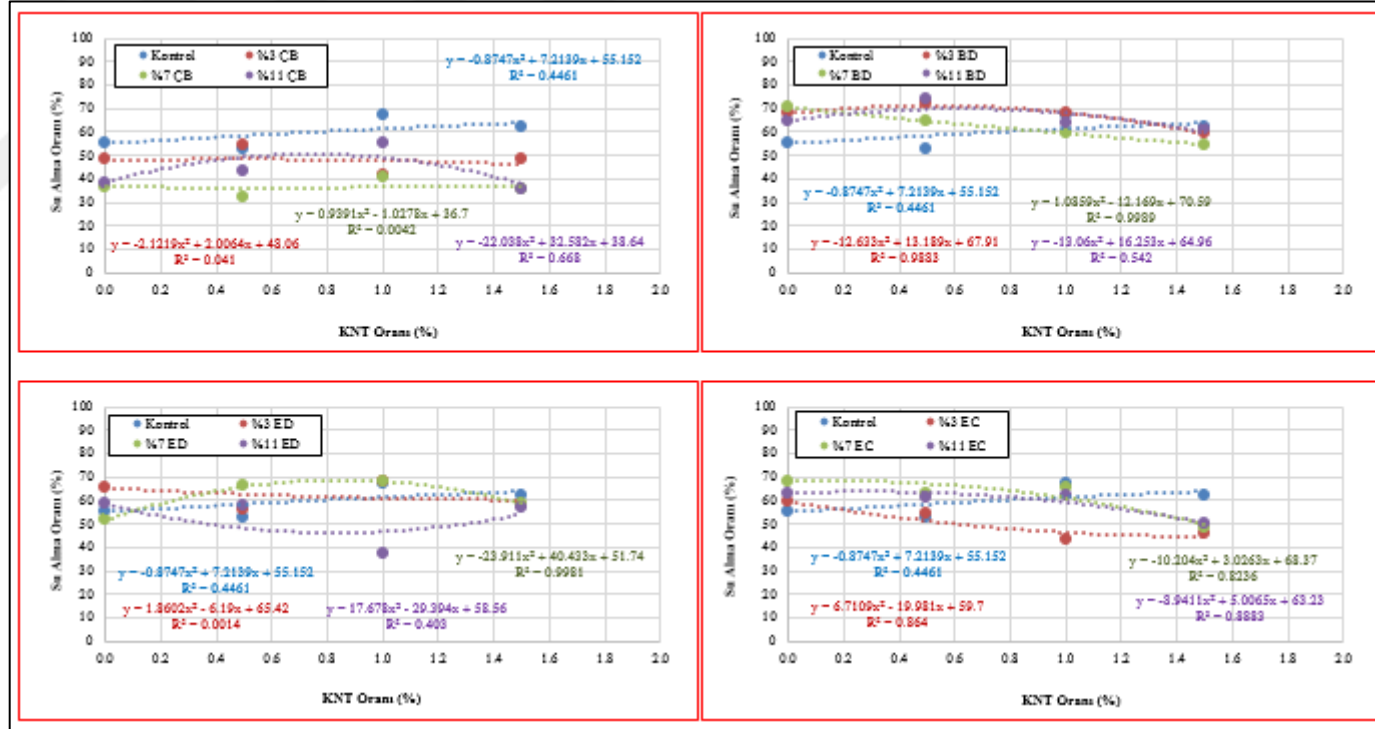
Şekil A.2. MUF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların yoğunluk değerleri



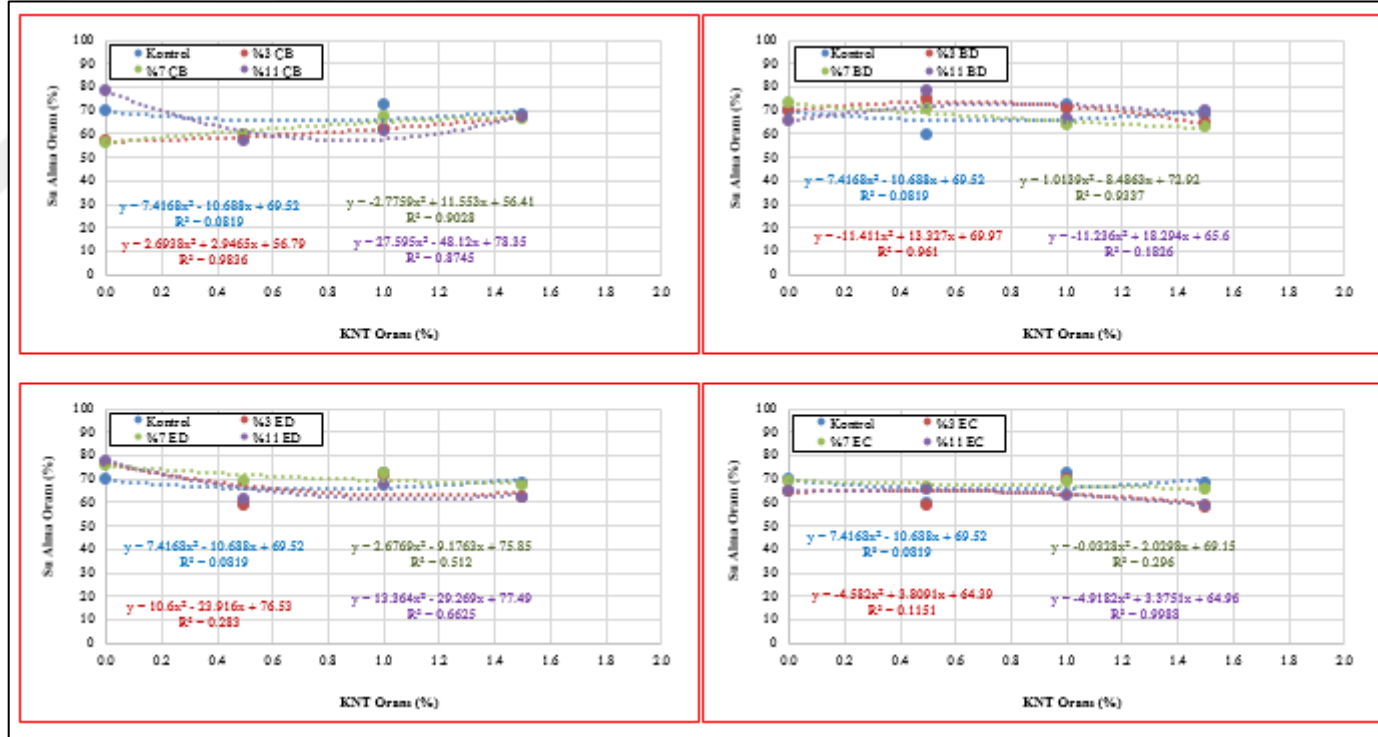
Şekil A.3. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik su alma oranları



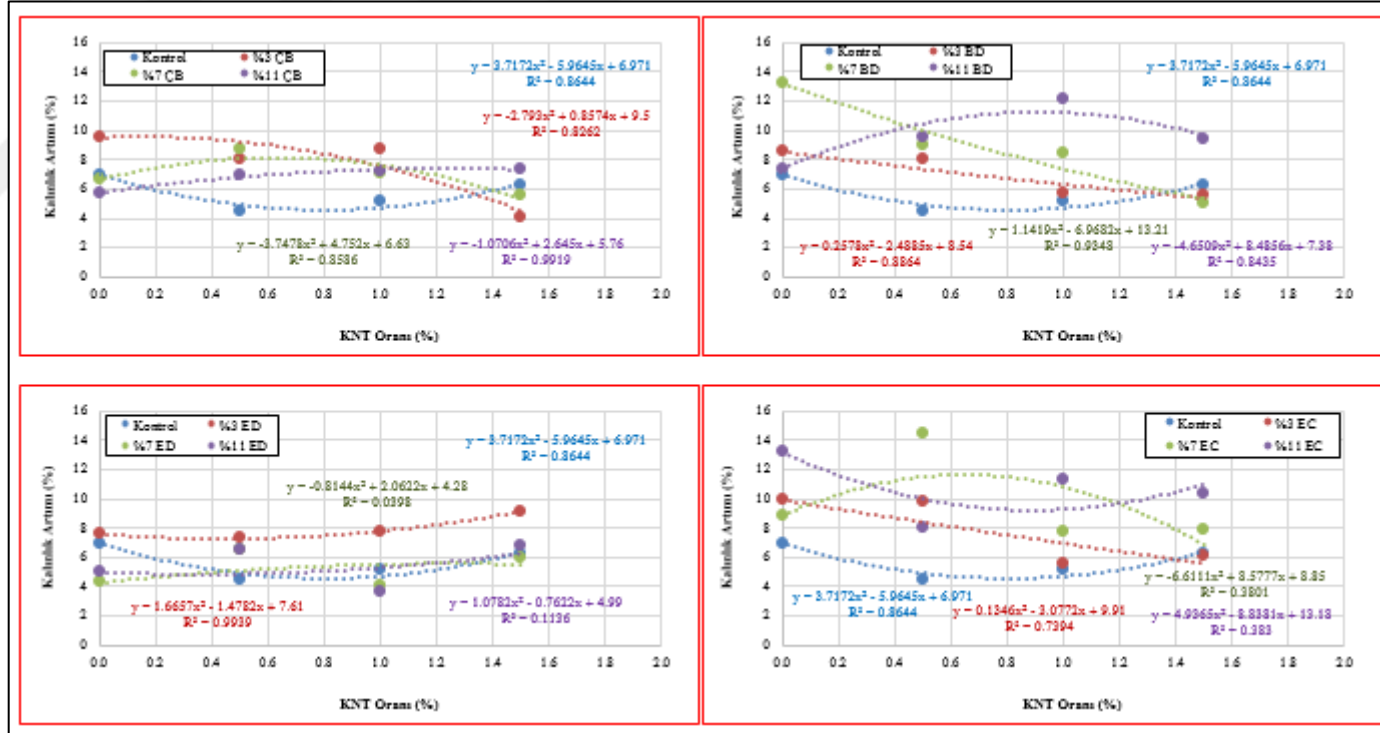
Şekil A.4. UF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik su alma oranları



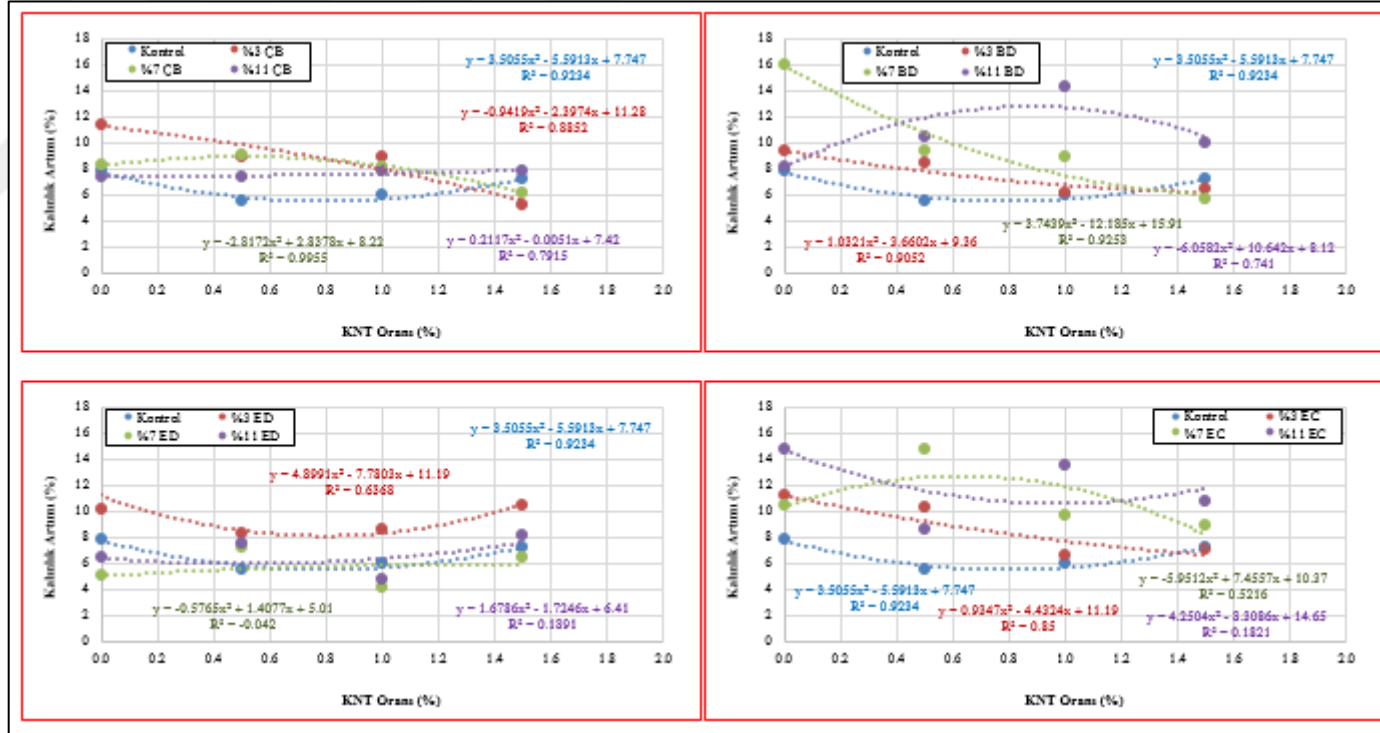
Şekil A.5. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik su alma oranları



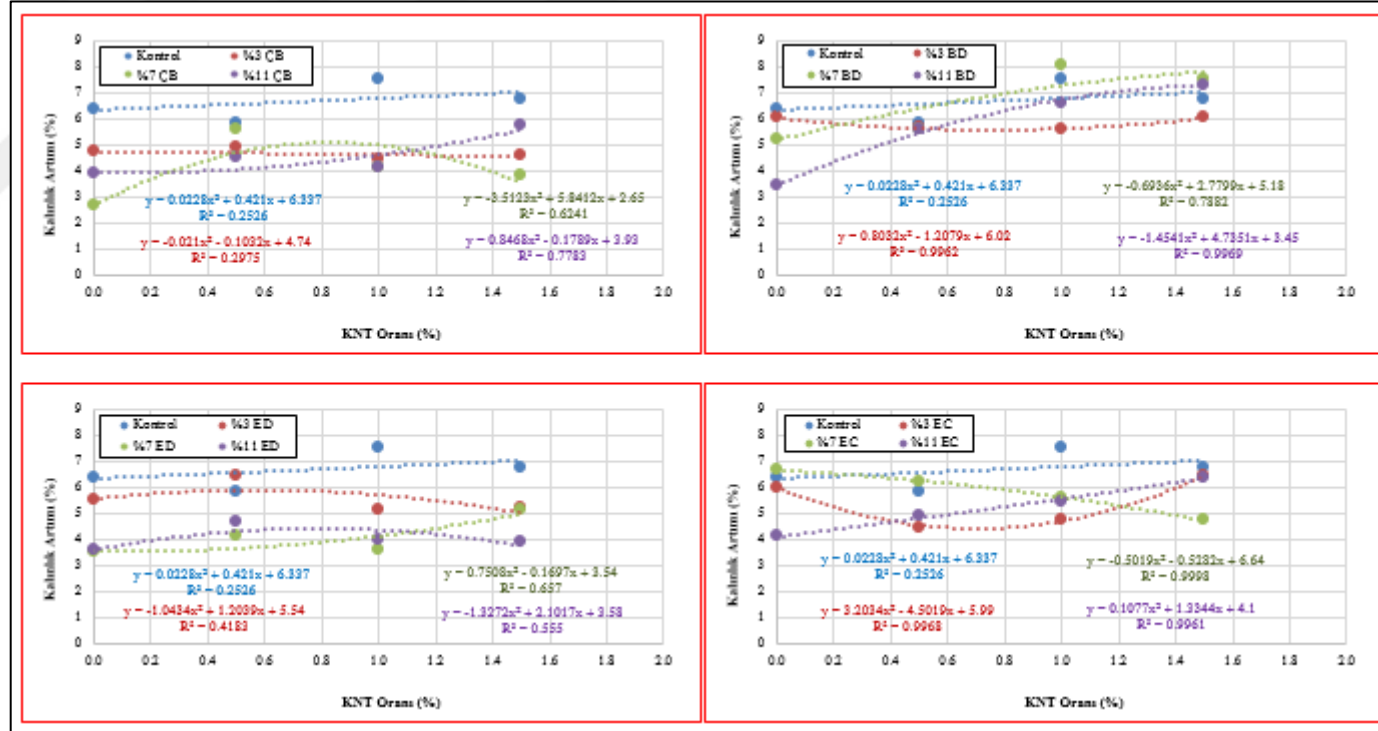
Şekil A.6. MUF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik su alma oranları



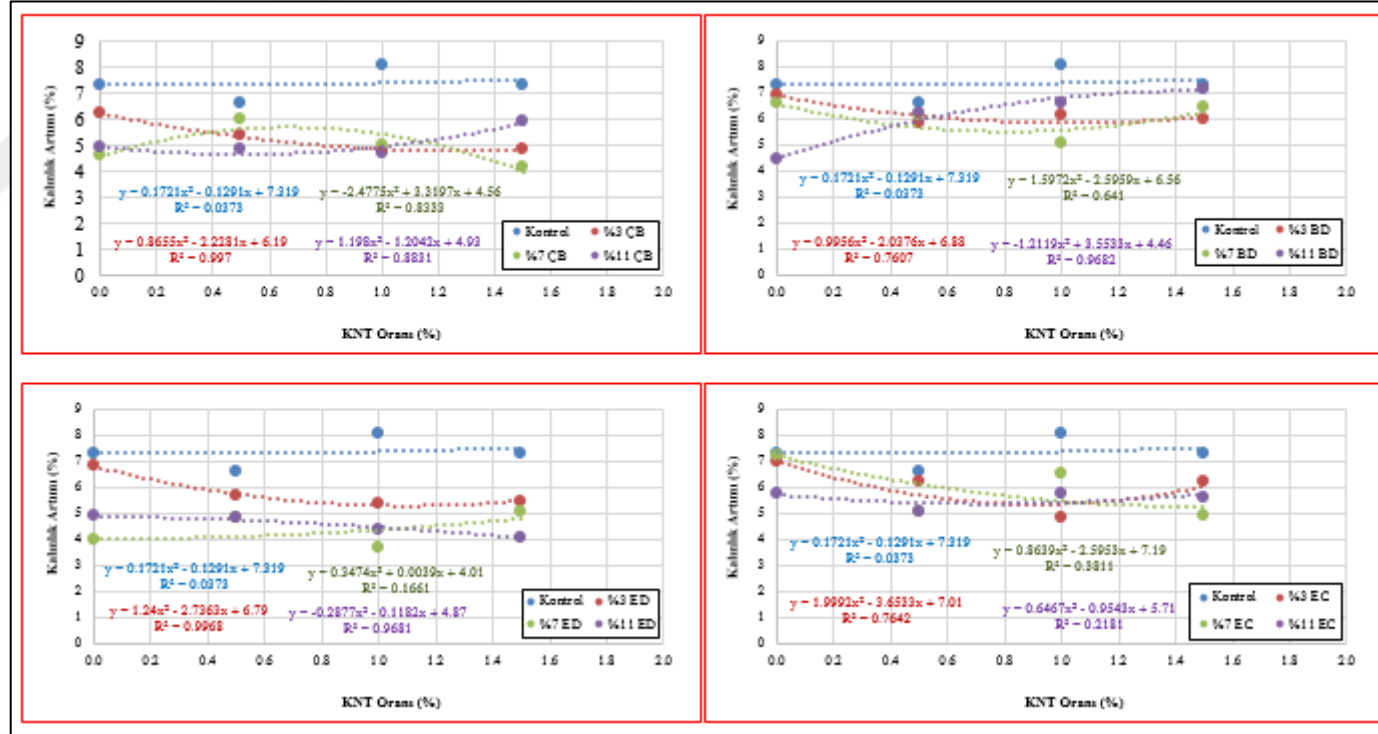
Şekil A.7. UF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik kalınlık artım oranları



Şekil A.8. UF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik kalınlık artım oranları

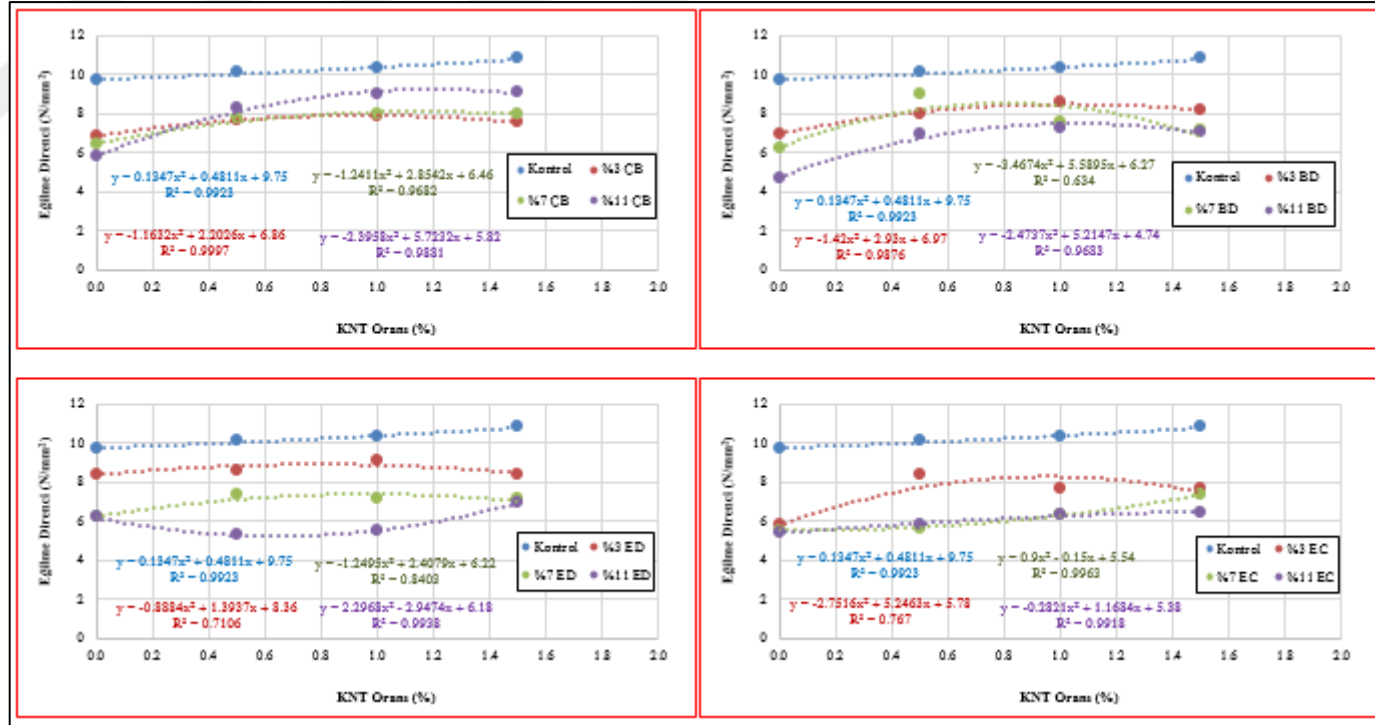


Şekil A.9. MUF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların 2 saatlik kalınlık artım oranları

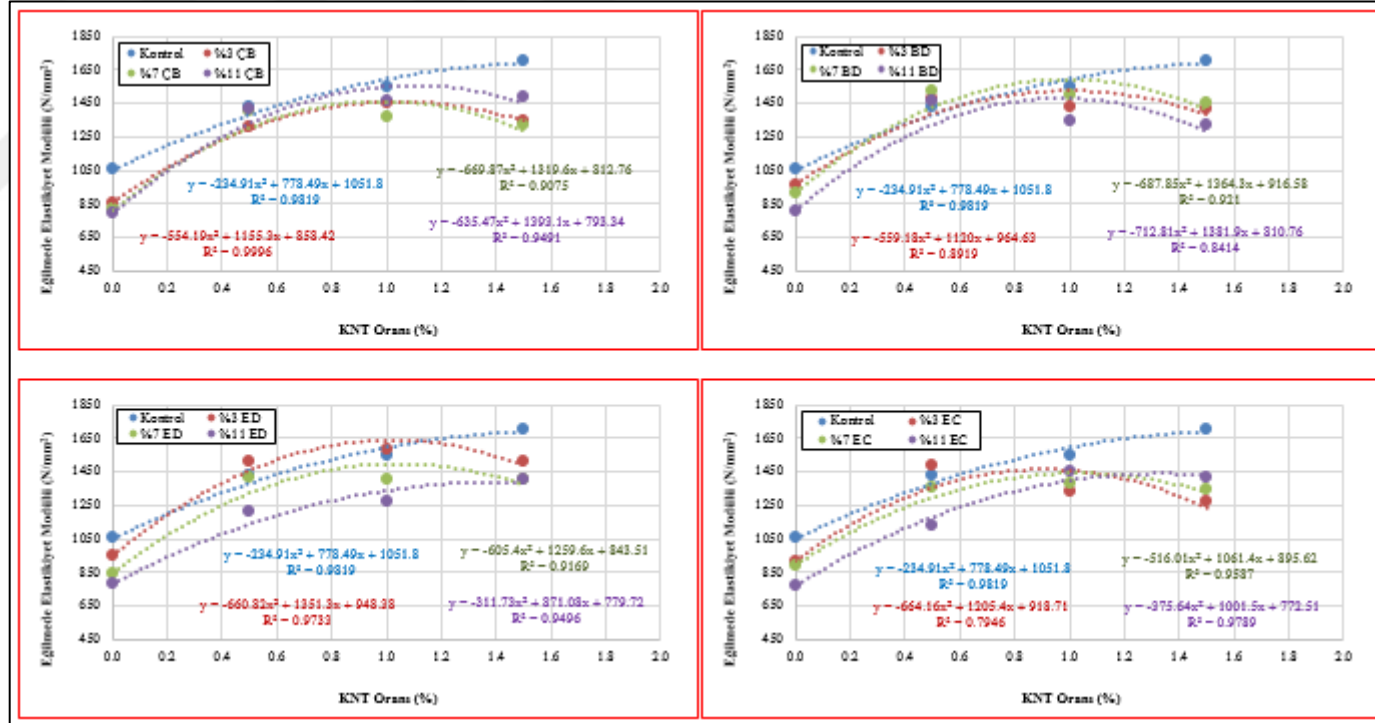


Şekil A.10. MUF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların 24 saatlik kalınlık artım oranları

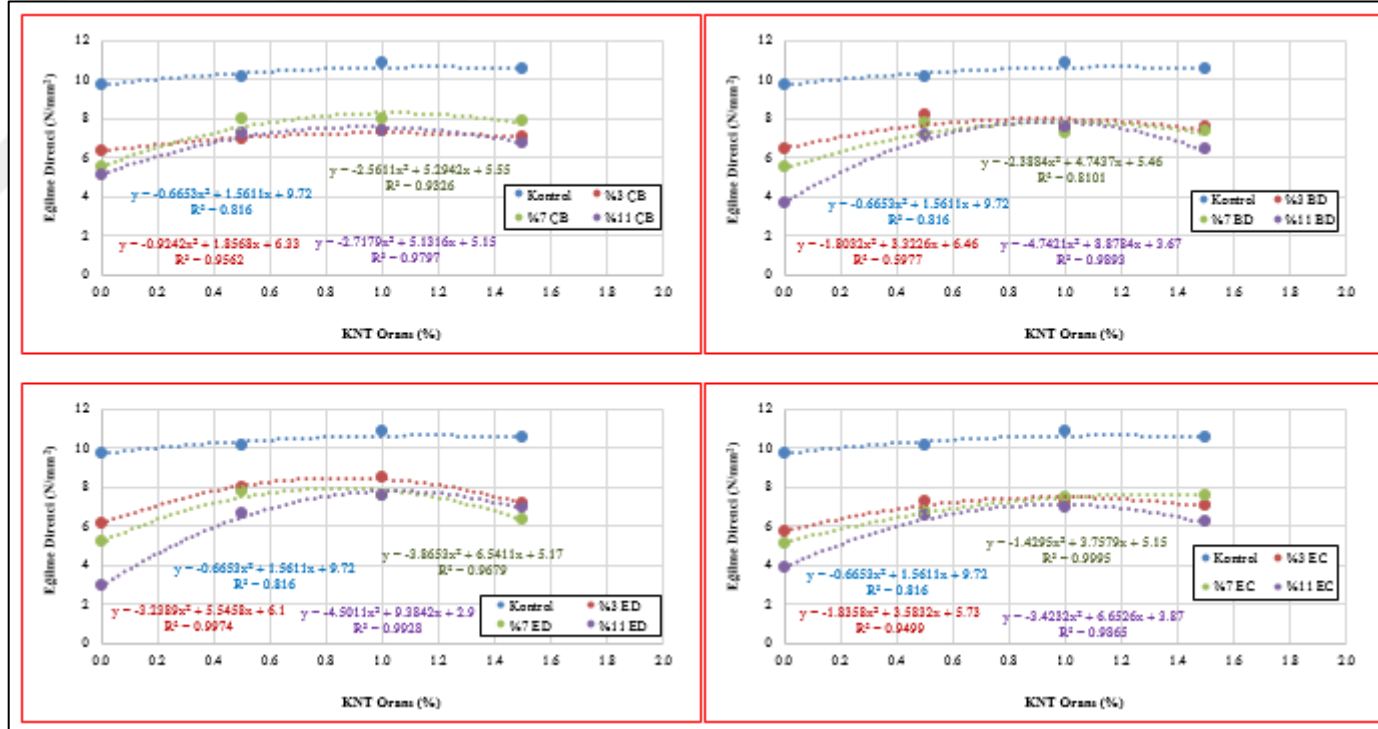
EK B. Mekanik özelliklere ait deney sonuçları



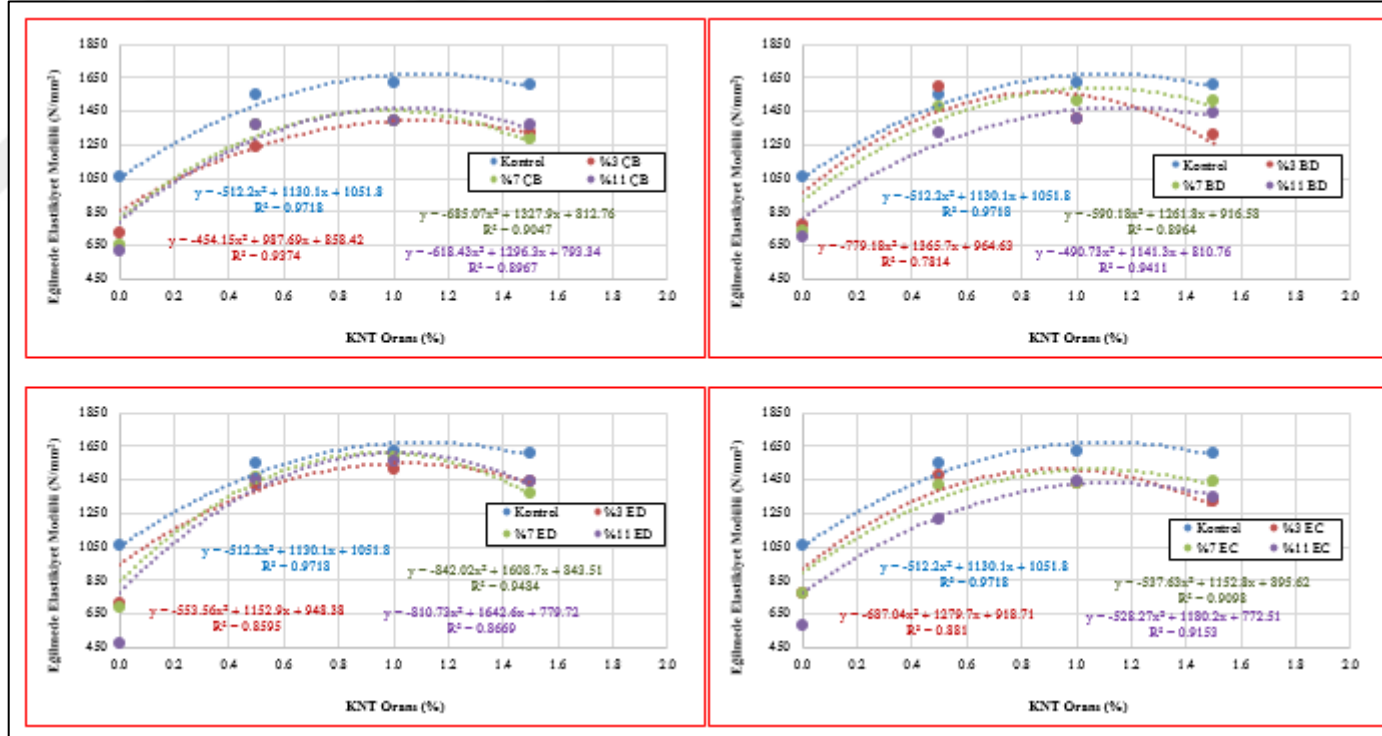
Şekil B.1. UF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilme dirençleri



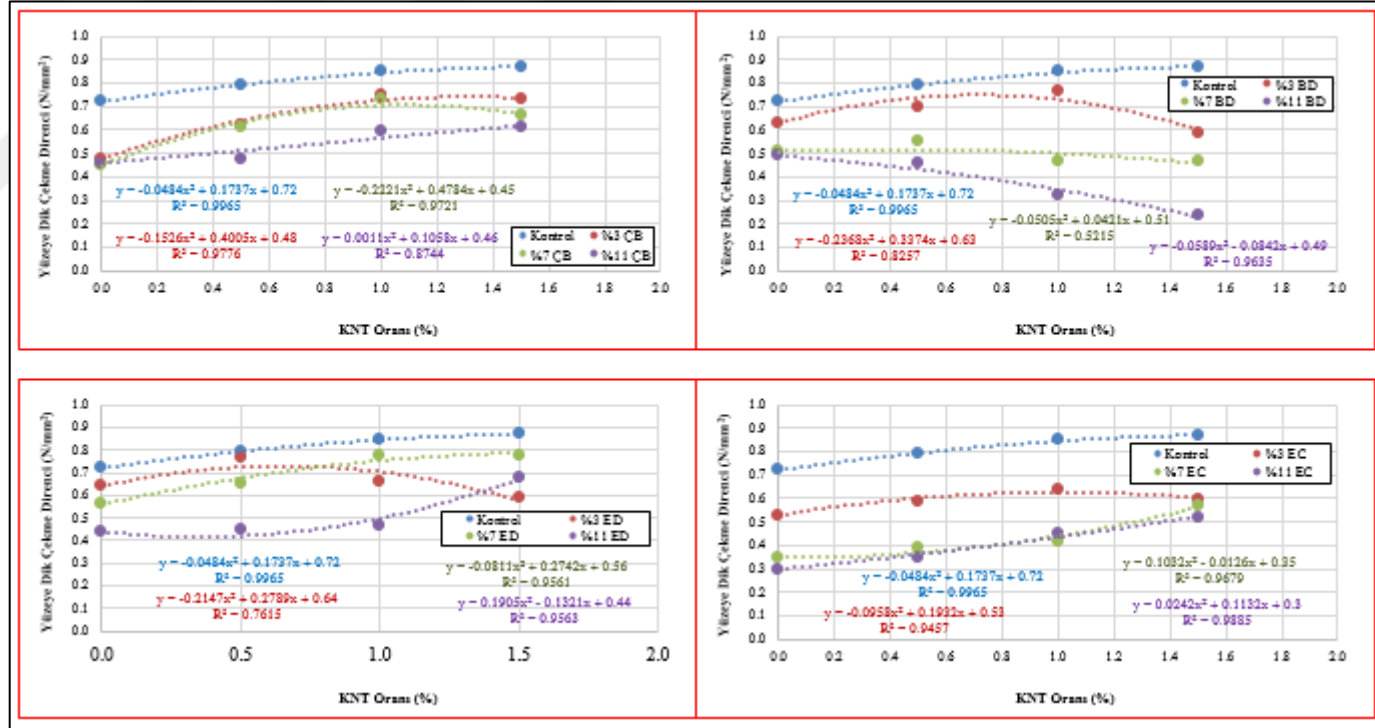
Şekil B.2. UF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilme elastikiyet modülleri



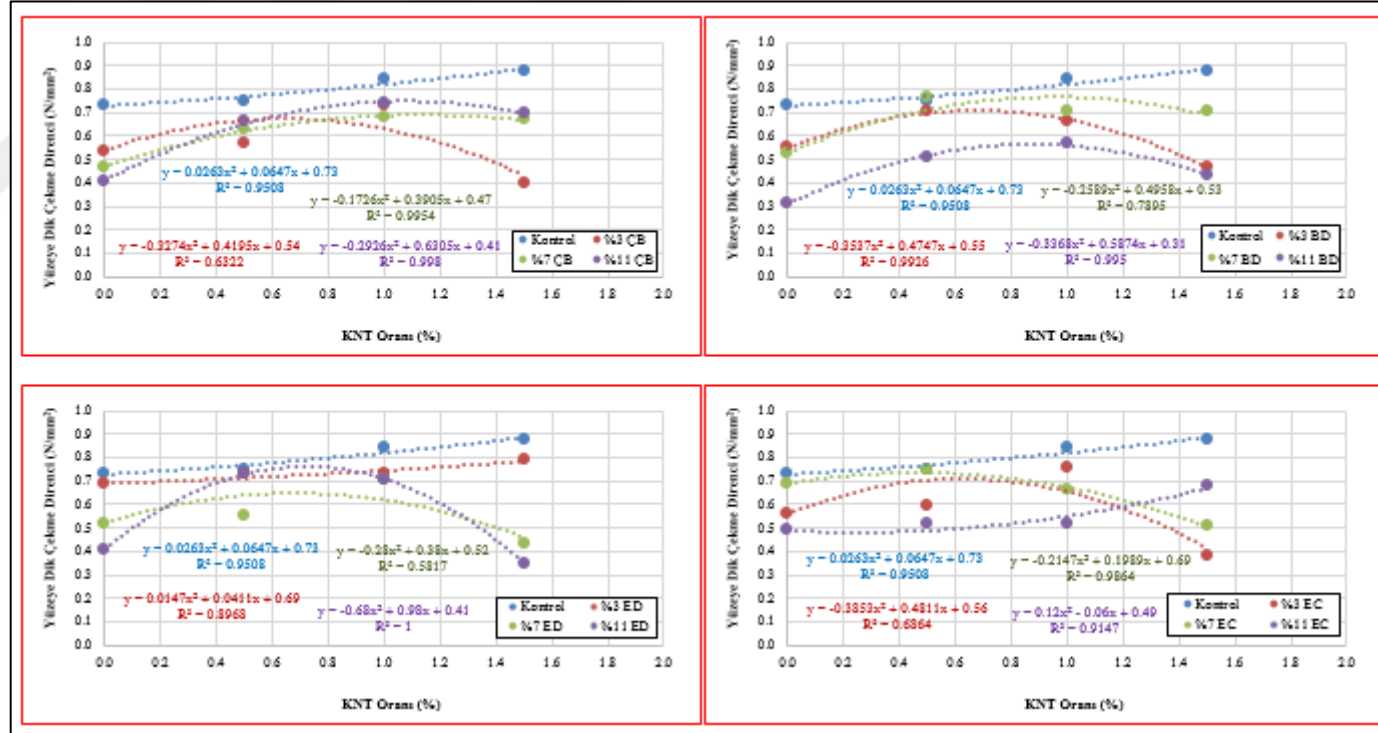
Şekil B.3. MUF tutkallı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilme dirençleri



Şekil B.4. MUF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların eğilmede elastikiyet modülleri

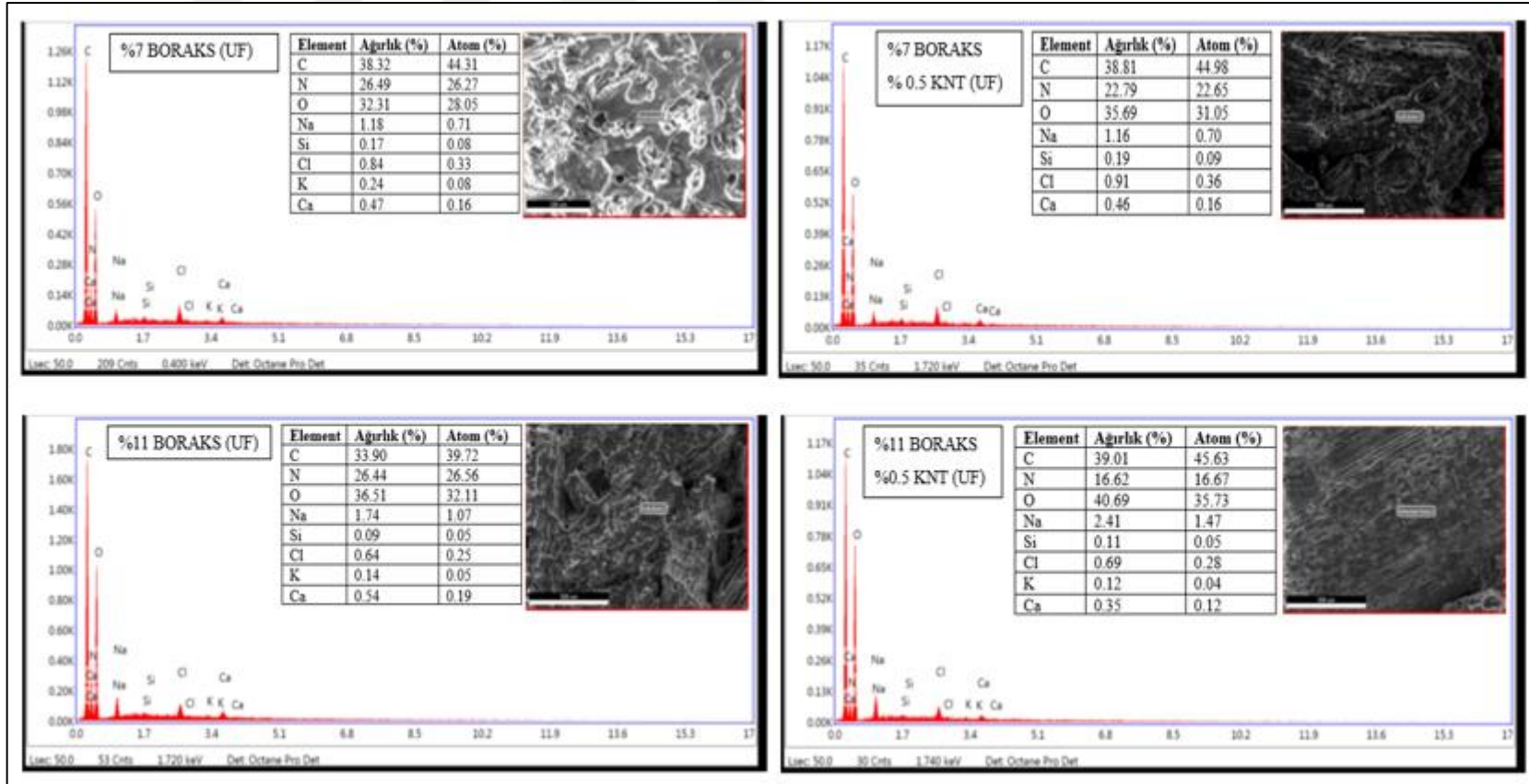


Şekil B.5. UF tutkalı bor ve KNT'li üretilen yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri

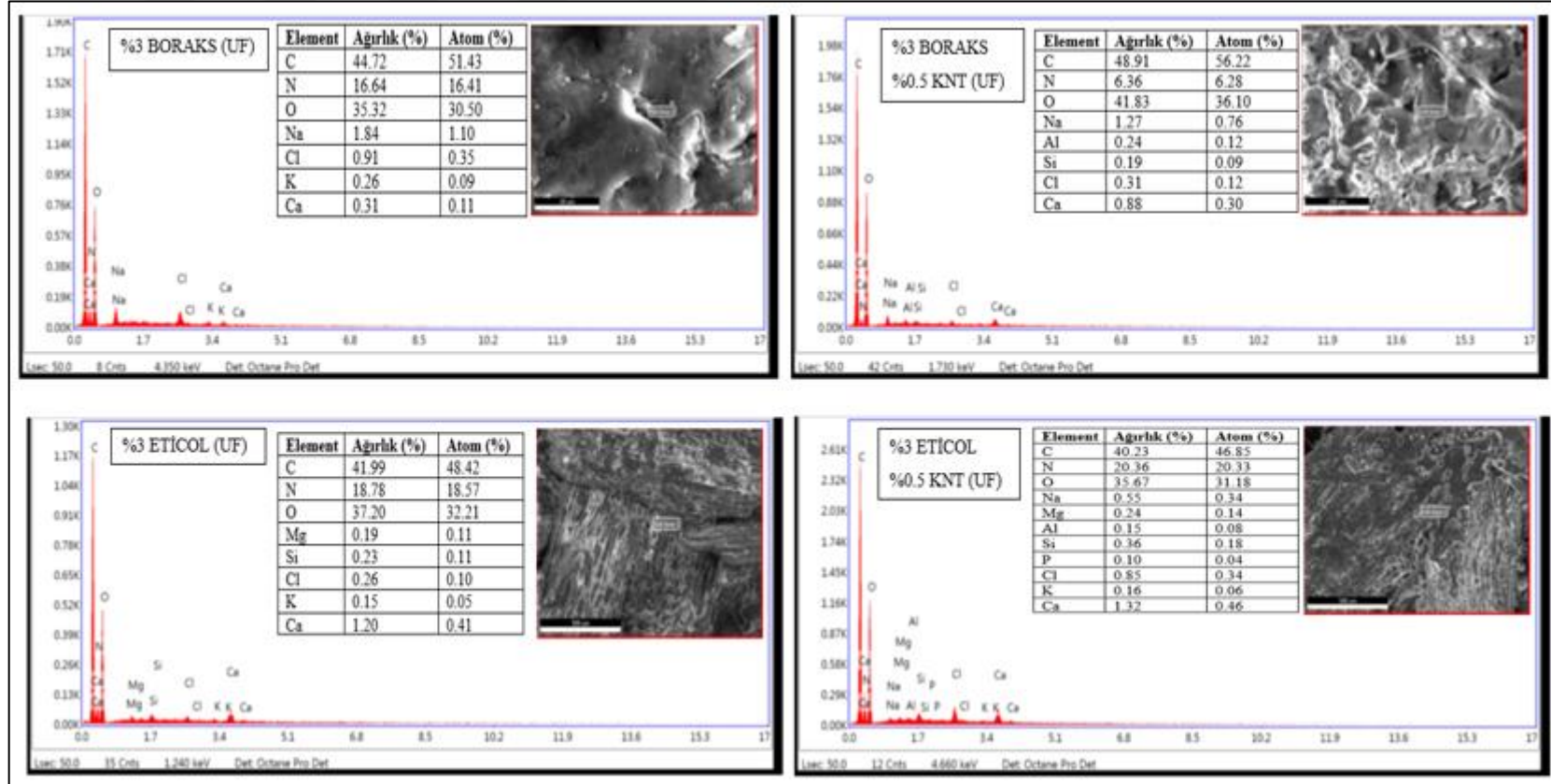


Şekil B.6. MUF tutkalı bor ve KNT'li yonga levhaların yüzeye dik çekme dirençleri

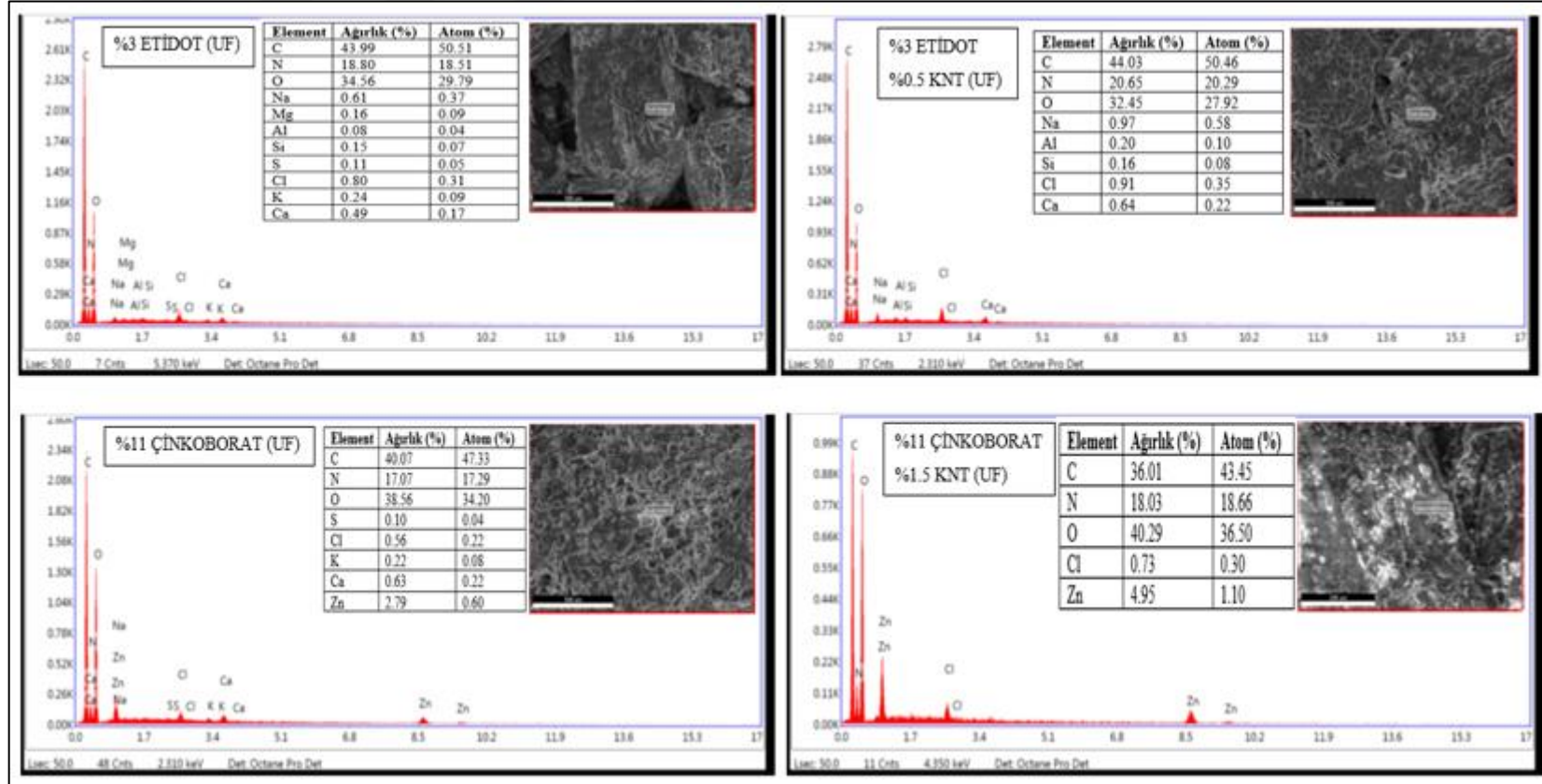
EK C. Yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



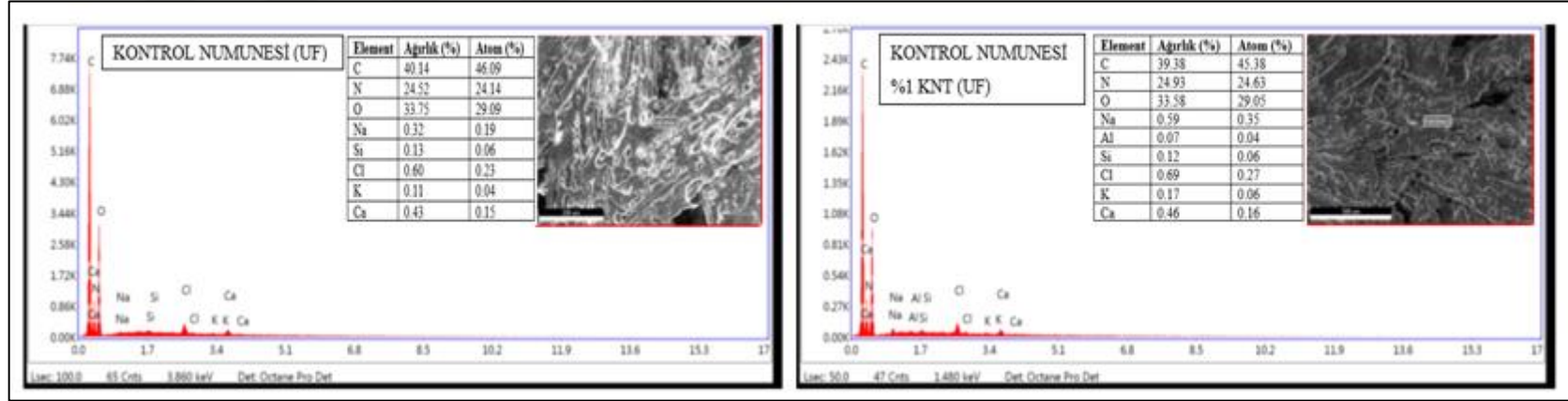
Şekil C.1. UF tutkalı boraks ve boraks+KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



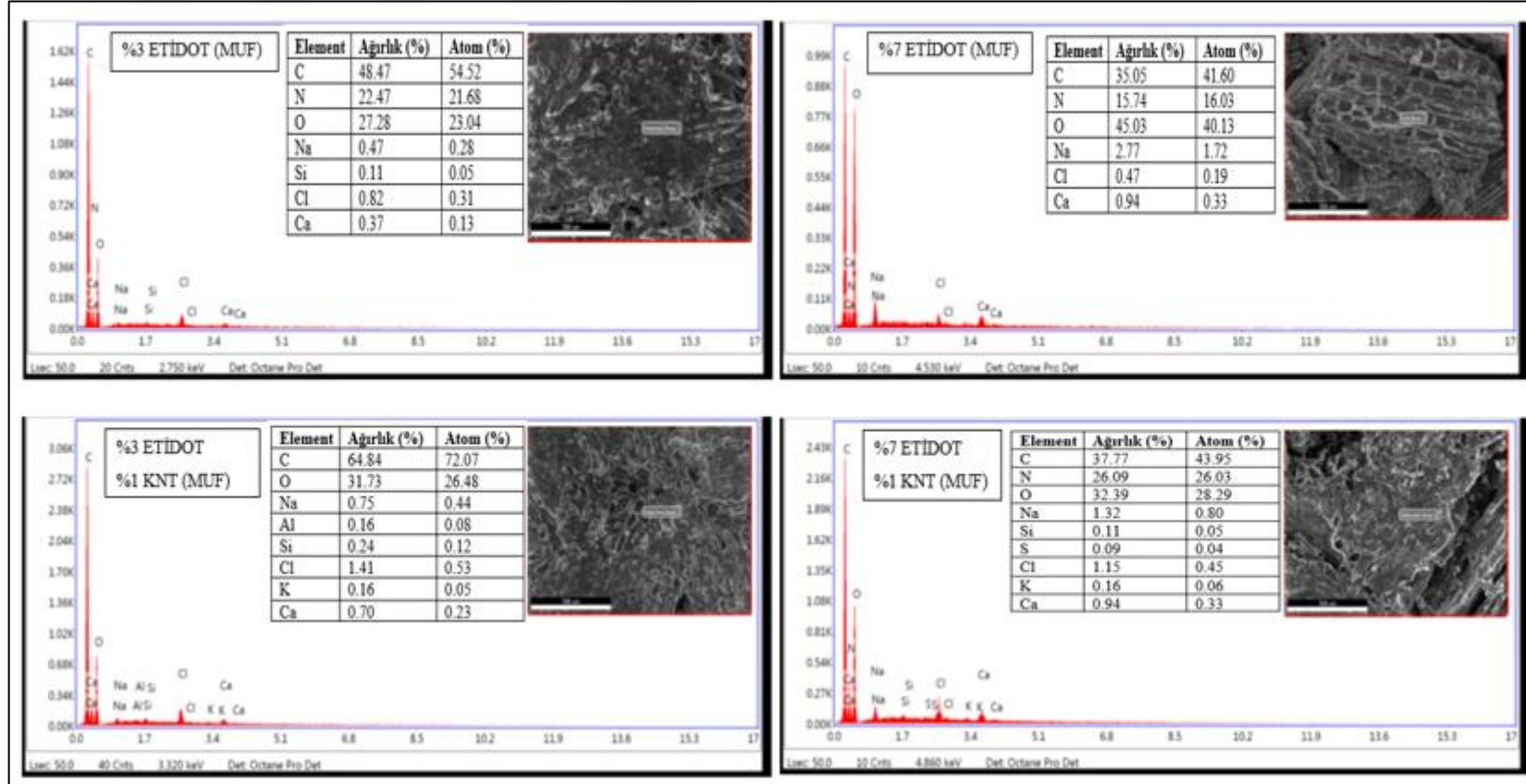
Şekil C.2. UF tutkalı boraks-eticol ve boraks-eticol-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



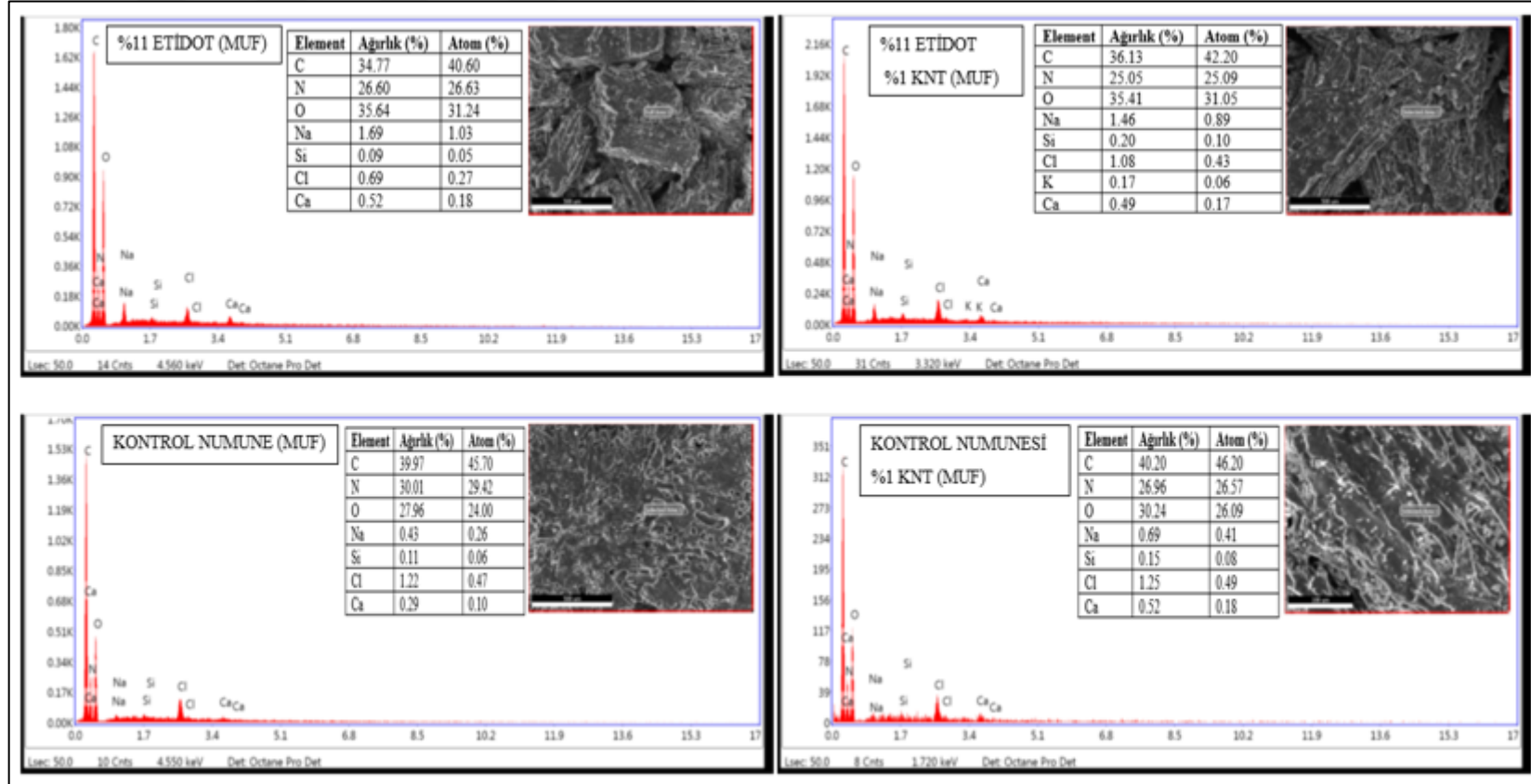
Şekil C.3. UF tutkallı etidot-çinkoborat ve etidot-çinkoborat-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



Şekil C.4. UF tutkalı KN ve KN-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



Şekil C.5. MUF tutkalı etidot ve etidot-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları



Şekil C.6. MUF tutkallı etidot-KN ve etidot-KN-KNT'li yonga levhaların SEM-EDS analiz sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

