



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YONGA LEVHA ÜRETİMİNDE TİCARİ YANMA GECİKTİRİCİ-
LERE ALTERNATİF OLARAK BORİK ASİT KULLANIMININ
OPTİMİZASYONU**

CENNET BURCU SIRADAĞ

DANIŞMAN

PROF. DR. ABDULLAH İSTEK

BARTIN-2024



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

YONGA LEVHA ÜRETİMİNDE TİCARİ YANMA GECİKTİRİCİLERE ALTERNATİF OLARAK BORİK ASİT KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CENNET BURCU SIRADAĞ

BARTIN-2024

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Abdullah İSTEK danışmanlığında hazırlamış olduğum “YONGA LEVHA ÜRETİMİNDE TİCARİ YANMA GECİKTİRİCİLERE ALTERNATİF OLARAK BORİK ASİT KULLANIMININ OPTİMİZASYONU” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

30.11.2023

Cennet Burcu SIRADAĞ

ÖNSÖZ

“Yonga Levha Üretiminde Ticari Yanma Geciktiricilere Alternatif Olarak Borik Asit Kullanımının Optimizasyonu” isimli bu çalışma, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez danışmanlığımı üstlenen ve tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi esnasında, kıymetli bilimsel geri bildirimleri ve tavsiyelerinden faydalandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Abdullah İSTEK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans eğitimim sürecinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi İsmail ÖZLÜSOYLU’ya teşekkürlerimi sunarım. Jüri üyesi sayın Doç. Dr. Mustafa ZOR’a değerli katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Deneyleerin yapımında yardım ve desteklerini esirgemeyen Sn. Aziz Biçer ve ekibine teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, yanma deneyleerinin yapılmasında desteğini gördüğüm Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı doktora öğrencisi Sn. Ufuk KILLI’ya teşekkürlerimi sunarım. Bazı deney ve testlerin yapımı esnasında personel yardımı, makine ve hammadde kullanımını konusunda desteklerini sunan Kastamonu Entegre Ağaç San. ve Tic. AŞ’ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında olduğu gibi, Yüksek Lisans eğitimim ve tez yazım süresince de desteğini eksik etmeyen sevgili eşim Hüseyin SIRADAĞ’a teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen canım aileme de ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması, TÜBİTAK tarafından 2220783 nolu proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü TÜBİTAK’a şükranlarımı sunarım.

Cennet Burcu SIRADAĞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YONGA LEVHA ÜRETİMİNDE TİCARİ YANMA GECİKTİRİCİLERE ALTERNATİF OLARAK BORİK ASİT KULLANIMININ OPTİMİZASYONU

Cennet Burcu SIRADAĞ

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abdullah İSTEK

Bartın-2024, sayfa: 94

Ahşap içerikli levha üretiminde kullanılan tutkal türü, miktarı ve kullanılan katkı maddeleri levha özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Dolayısıyla yanma geciktirici borik asit ilavesine bağlı olarak tutkal tüketimi artacağından optimize edilmesi levha özellikleri ve üretim maliyeti açısından önem arz etmektedir. Çalışmanın konusu; yanma geciktiricili yonga levha üretiminde, borik asit (BA) ve melamin üre formaldehit (MUF) tüketim parametrelerinin optimizasyonunun yapılmasıdır. Bilimsel çalışmalara göre levha üretiminde alternatif borlu yanma geciktiriciler arasında BA değerlerine göre daha etkin olması ve yanmaya dayanıklı ticari ahşap esaslı levha üretiminde çoğunlukla MUF tutkalı kullanılması nedeniyle çalışmamızda tercih edilmiştir. Çalışmamızda standart özelliklerde yanma geciktiricili yonga levha üretimini gerçekleştirmek için; farklı kombinasyonlarda BA ve MUF tutkalı kullanarak optimum oran belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen optimum orana uygun olarak UF tutkalı ve ticari yanma geciktirici kimyasalı kullanarak yeni deney levhaları üretilmiştir. Üretilen levhaların fiziksel, mekanik ve yanma dayanım özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ticari yanma geciktiricili levha özellikleriyle ve standart verilerle karşılaştırılarak, optimum BA ve MUF tutkal tüketim miktarları belirlenmiştir. Elde edilen verilerin MINITAB-2020 istatistiksel veri analiz programı ile değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda hem yanma sınıfı hem de fiziksel ve mekanik test sonuçlarına değerlendirildiğinde optimum tutkal oranının (MUF) orta tabakada %9, yüzey tabakasında %12 ve optimum borik asit oranının ise orta tabakada %15, yüzey tabakasında %20 olduğu görülmüştür.

A grubu levhalarında; 24 saatlik kalınlığına şişmenin, eğilme dayanımı, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci ve yüzey sağlamlığı direnç değerlerinin standart limiti karşıladığı, piyasada satışa sunulan yanmaya dayanıklı levhalara benzer özellikleri taşıdığı belirlenmiştir. Koni kalorimetre test sonuçlarında ise; A grubundaki B.A 10/20 denemesi haricindeki tüm deney levhalarının B sınıfı yanma dayanımının sağlandığı görülmüştür. ASTM-E69 standardına göre, A grubu levhalarda kütle kaybı %13,21, ticari yanmaya dayanıklı levhalarda ise %4,56 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Borik asit, fiziksel ve mekanik özellikler, kütle kaybı, yanma geciktirici, yonga levha.

Bilim Alanı Kodu: 502.06.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF THE USE OF BORIC ACID AS AN ALTERNATIVE COMMERCIAL FLAME RETARDANT IN THE PRODUCTION OF PARTICLE BOARD

Cennet Burcu SIRADAĞ

Bartın University

Graduate School

Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Prof. Dr. Abdullah İSTEK

Bartın-2024, pp: 94

The type, amount, and additives of adhesive used in the production of wood-based panels directly affect the panel properties. Therefore, optimization of the adhesive consumption due to the addition of boric acid as a flame retardant is important in terms of panel properties and production cost. The subject of the study is the optimization of boron acid (BA) and melamine urea formaldehyde (MUF) consumption parameters in flame retardant particleboard production. According to previous studies, BA is more effective than other alternative boron-based flame retardants in panel production, and MUF adhesive is mostly used in the production of flame-resistant commercial wood-based panels. In our study, an optimum ratio was determined by using different combinations of BA and MUF adhesives to produce flame-retardant particleboards with standard features. Then, new experimental boards were produced using UF adhesive and commercial flame retardant chemicals in accordance with the determined optimum ratio. The physical, mechanical, and combustion resistance properties of the produced boards were determined. The obtained data were compared with commercial flame-retardant panel properties and standard data, and the optimum BA and MUF adhesive consumption amounts were determined. The obtained data were evaluated with the MINITAB-2020 statistical data analysis program.

As a result of the study, when evaluated in terms of combustion class and physical and mechanical test results, the optimum adhesive ratio (MUF) was found to be 9% in the core layer and 12% on the surface layer, and the optimum boric acid ratio was found to be 15% in the core layer and 20% on the surface layer. It was determined that the thickness swelling, modulus of elasticity, modulus of rupture, perpendicular tensile strength, and surface durability resistance values of group A panels meet the standard limits and have similar properties to flame-resistant panels sold in the market. In cone calorimeter test results, it was observed that all experimental panels except the BA 10/20 test in group A achieved B-class flame resistance. According to ASTM-E69 standard, mass loss was found to be 13.21% in group A panels and 4.56% in commercial flame-resistant panels.

Keywords: Particleboard, boric acid, fire retardant, mass loss, physical and mechanical properties.

Scientific Field Code: 502.06.01

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
EKLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kompozit ve Ahşap Kompozit Malzemeler	2
1.1.1 Kompozit Malzemelerin Avantajlı Yönleri	3
1.1.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	3
1.1.3 Ahşap Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	4
1.2. Yonga Levha ve Yonga Levha Sektörü.....	5
1.2.1 Yonga Levha	5
1.2.2 Yonga Levhaların Sınıflandırılması	6
1.2.3 Yonga Levhaların Genel Özellikleri.....	7
1.2.4 Yonga Levhaların Kullanım Alanları	8
1.2.5 Yonga Levha Endüstrisinin Gelişimi	8
1.2.5.1 Dünyada Yonga Levha Endüstrisinin Gelişimi	8
1.2.5.2 Türkiye’de Yonga Levha Endüstrisinin Gelişimi	9
1.2.6 Yonga Levha Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler	11
1.2.6.1 Odun Hammaddesi	11
1.2.6.2 Diğer Lignoselülozik Hammaddeler	12
1.2.6.3 Yapıştırıcı Maddeler	12
1.2.6.4 Katkı Maddeleri	13
1.2.7 Yonga Levha Üretim Teknolojisi.....	14
1.2.7.1 Yongalama	17
1.2.7.2 Kurutma	17

1.2.6.3 Eleme	18
1.2.6.4 Tutkallama ve Kimyasalların İlavesi.....	19
1.2.6.5 Serme ve Ön Presleme	20
1.2.6.6 Sıcak Presleme	21
1.2.6.7 Ebatlama	22
1.2.6.8 Soğutma.....	22
1.2.6.9 Zımparalama	23
1.3. Yanma Olayı ve Yanma Geciktirici Kimyasallar	24
1.3.1 Borik Asit	25
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	27
3. MATERYAL VE METOT	30
3.1. Materyal.....	30
3.1.1 Odun Hammaddesi	30
3.1.2 Yapıştırıcı Kimyasal	30
3.1.3 Sertleştirici	31
3.1.4 Yanma Geciktirici Kimyasal.....	31
3.2. Metot	32
3.2.1 Yongalama	32
3.2.2 Eleme	32
3.2.3 Kurutma.....	33
3.2.4 Tutkallama ve Yanma Geciktirici İlavesi	33
3.2.5 Serme ve Ön Presleme	33
3.2.6 Sıcak Presleme.....	34
3.2.7 Soğutma.....	35
3.2.8 Zımparalama	35
3.2.9 Test Numunelerini Hazırlama	35
3.2.10 Test Numunelerini Kondüsyonlama.....	36
3.3. Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Tayini	36
3.3.1 Fiziksel Özellikler.....	37
3.3.1.1 Yoğunluk	37
3.3.1.2 Su Alma ve Kalınlığına Şişme	37
3.3.1.3 Rutubet	38
3.3.1.4 Yüzey Yoğunluk	39

3.3.2 Mekanik Özellikler.....	39
3.3.2.1 Eğilme dayanımı	39
3.3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü	40
3.3.2.3 Yüzeye Dik Çekme Direnci.....	40
3.3.2.4 Yüzey Sağlamlığı	41
3.3.2.5 Yanma Dayanım Testi.....	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
4.1. Fiziksel Özelliklere İlişkin Bulgular.....	44
4.1.1 Yoğunluk.....	44
4.1.2 Su Alma ve Kalınlığına Şişme	47
4.1.2.1 Su Alma Oranı (2 Saat).....	48
4.1.2.2 Su Alma Oranı (24 Saat).....	51
4.1.2.3 Kalınlığına Şişme Oranı (24 Saat)	54
4.1.2.4 Kalınlığına Şişme Oranı (24 Saat)	58
4.1.3 Rutubet.....	61
4.1.4 Yüzey Yoğunluk	63
4.2. Mekanik Özelliklere İlişkin Bulgular	64
4.2.1 Eğilme dayanımı.....	64
4.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü	67
4.2.3 Yüzeye Dik Çekme Direnci	70
4.2.4 Yüzey Sağlamlığı	72
4.2.5 Konik Kalorimetre Test Sonuçları	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Ahşap kompozit levhalar.....	4
1.2: Zımparalı yonga levha.....	5
1.3: Melamin kaplanmış yonga levha.....	6
1.4: Yonga levha üretiminde odun hammaddesi	12
1.5: Yonga levha proses şeması	16
1.6: Çevresel yongalama makinesi.....	17
1.7: Yonga levha bantlı kurutucu	18
1.8: Fasılsız sıcak pres	22
1.9: Yıldız soğutma ünitesi.....	23
4.1: Yoğunluk dağılımı	44
4.2: İki saatlik su alma sonuçlarının gruplara göre dağılımı	47
4.3: İki saatlik su alma sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi	48
4.4: Yirmi dört saatlik su alma sonuçlarının gruplara göre dağılımı.....	50
4.5: Yirmi dört saatlik su alma sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi.....	51
4.6: İki saatlik % kalınlığına şişme sonuçlarının gruplara göre dağılımı.....	53
4.7: Yirmi dört saatlik su alma sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi.....	55
4.8: Yirmi dört saatlik % kalınlığına şişme sonuçlarının gruplara göre dağılımı	57
4.9: Yirmi dört saatlik % kalınlığına şişme sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi.....	58
4.10: Gruplar arasındaki % rutubet sonuçları.....	60
4.11: Yüzey yoğunluk profilleri	61
4.12: Eğilme dayanımı test sonuçları	63
4.13: Eğilme dayanımı test sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi.....	64
4.14: Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları.....	66
4.15: Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi	67
4.16: Yüzeye dik çekme direnci test sonuçları	70
4.17: Yüzeye dik çekme direnci test sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi	71
4.18: Yüzey sağlamlığı test sonuçları	73
4.19: Ortalama yoğunluk sonuçları	77

4.20: Ortalama 24 saatlik % kalınlığına şişme sonuçları	78
4.21: Ortalama % rutubet sonuçları.....	79
4.22: Ortalama eğilme dayanımı sonuçları.....	79
4.23: Ortalama eğilmede elastikiyet modülü sonuçları	80
4.24: Ortalama yüzeye dik çekme direnci sonuçları	81
4.25: Ortalama yüzey sağlamlığı test sonuçları.....	81
4.26: Yanma deneyi sonrası ortalama kütle kaybı sonuçları.....	82
4.27: Yanma deneyi sonrası ortalama O ₂ miktarı sonuçları	83

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Levha sektörü kurulu kapasitesi.....	10
1.2: Yonga levha üretiminde Dünya sıralaması	10
1.3: Türkiye'deki Yonga Levha Üreticileri.....	10
2.1: Yanma geciktiricilerin literatürde kullanımı.....	29
3.1: MUF tutkalı özellikleri.....	30
3.2: Sertleştirici özellikleri	31
3.3: Siriono kimyasalı özellikleri	31
3.4: Borik asit özellikleri.....	32
3.5: Deneme levhalarına ait üretim parametreleri.....	34
3.6: Deneme levhalarına ait özet plan	36
3.7: Yapı malzemeleri yangın sınıfları.....	42
3.8: İlave yangın sınıflandırmaları duman gazı üretimi	42
3.9: İlave yangın sınıflandırmaları damlacık teşekkülü	42
4.1: Ortalama yoğunluk test sonuçları	44
4.2: Kalınlığına şişme ve su alma test sonuçları	47
4.3: % Rutubet test sonuçları.....	61
4.4: Eğilme dayanımı test sonuçları	64
4.5: Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları.....	67
4.6: Yüzeğe dik çekme direnci test sonuçları.....	70
4.7: Yüzeğe sağlamlığı test sonuçları	72
4.8: A-B-C gruplarına ait konik kalorimetre test sonuçları.....	74
4.9: A-B-C gruplarına ait tüm test sonuçları	75
4.10: A-D-E-F-G gruplarına ait test sonuçları	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

NH ₄ Cl	: Amonyum Klorür
(NH ₄) ₂ SO ₄	: Amonyum Sülfat
pH	: asitlik ve bazlık derecesi
atm	: atmosfer
gr/cm ³	: gram/santimetreküp
HCL	: HidroKlorik Asit
HRR	: Heat Release Rate (Isı yayılım hızı)
kg	: kilogram
kg/m ³	: kilogram/metreküp
kw/m ²	: kilowatt/metrekare
kp/cm ²	: kilopascal/santimetrekare
m	: metre
m ²	: metrekare
m ² /s	: metrekare/saat
m ³	: metreküp
N/mm ²	: Newton/Milimetrekare
O.T	: Orta Tabaka
°C	: santigrat derece
SPR	: Smoke Production Rate (Duman üretim hızı)
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Y.T	: Yüzey Tabaka

KISALTMALAR

B.A	: Borik Asit
dk	: dakika
EN	: European Norm
MF	: Melamin Formaldehit
MUF	: Melamin Üre Formaldehit
UF	: Üre Formaldehit
YL	: Yonga Levha

1. GİRİŞ

Yaşadığımız dönemde iktisat bilimine göre, doğadaki kaynakların sınırlı olması ancak buna karşılık insanoğlunun ihtiyaç duyduğu kaynakları kullanmakta sınırsız olması bir sorun olarak nitelendirilmektedir. Bir ürünü üretmek için etrafımızdaki kaynakları sınırsız gibi düşünerek tüketmeye kalktığımızda bir süre sonra üretim faaliyetleri duracaktır. Üretim faaliyetlerinin durması ise insan ihtiyaçlarının karşılanamayacak duruma gelmesine ve bununla birlikte birçok toplumsal ve çevresel sorunlara neden olacaktır.

Günümüzde dünyadaki insan nüfusunun hızla artması göz önünde bulundurulduğu takdirde, hızla azalan kıt kaynakların çok daha verimli kullanılması gerekmektedir. Ülkemizde ve dünyada en önemli kaynaklardan olan orman varlıklarının korunması için insan ihtiyaçlarını karşılamak üzere birçok çalışma yapılmış ve devam etmektedir. Sınırlı orman kaynaklarını çok daha verimli kullanmak adına masif ürünlerin kullanımı yerine yonga levha gibi ürünler üretilmeye başlanmıştır. Günümüzde ise bu ürünlerde daha verimli hammadde kullanabilmek için optimizasyon çalışmaları yürütülmektedir.

Optimizasyon, hedeflenen bir çıktıya ya da sonuca ulaşmak için sisteme ait girdilerin veya bu girdilerin mevcut değerlerinin olması gerekenini ortaya koyma sürecidir. Bu girdiler; hammadde, süre, iş gücü kaybı, ekipman kullanımı, kapasite kullanımı, bakım süreci, vb kaynaklar olabilir. Burada amaç, verimliliği artırmak, kayıpları önlemek ve kârlılığı artırmaktır.

Ahşap esaslı levhalar üzerine yapılan optimizasyon çalışmaları incelendiğinde çoğunlukla hammadde (odun, tutkal ve yardımcı kimyasallar) türü ve kullanım miktarları ile pres değişkenleri (sıcaklık, basınç, süre), gibi üretim süreçlerine yönelik çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Ahşap esaslı levhaların üretim süreçlerine yönelik optimizasyon çalışmaları incelendiğinde yanma geciktirici kullanımına yönelik yapılan çalışma sayısı oldukça sınırlı olup, doğrudan tutkal (MUF) tüketimi ve yanma geciktirici (BA) miktarının optimizasyonuna yönelik çalışmaya ise rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, yanma geciktirici (BA) miktarının optimizasyonuna yönelik denemeler yapılması amaçlanmıştır.

Ülkemizde yanmaya dayanıklı yonga levha üretiminde kullanılan ithal ürünlere ne ölçüde alternatif olabileceği ortaya konacaktır. Bu sayede ülkemizin sahip olduğu yüksek bor rezervinin daha etkin kullanılmasına katkı sağlanacağı, dolayısıyla bu alanda dışa bağımlılığın azaltılacağı düşünüldüğünde çalışma konusunun önemi daha iyi anlaşılacaktır. Yukarıda bahsi geçen konulara ek olarak bu çalışmanın özgün değerlerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- Yanma geciktiricili yonga levha üretiminde daha önce optimizasyon çalışması yapılmamış olması,
- Yanma geciktiricili yonga levha üretiminde daha önce optimizasyon çalışması yapılmamış olması,
- Borik asitin hem yanma geciktirici olarak performansı hem de fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesi,
- Ticari olarak kullanılan yanma geciktirici kimyasalına kıyasla borik asitin ne ölçüde alternatif olabileceğinin ortaya konulması,
- Yonga levha sektöründe BA'nın yanma geciktirici olarak endüstriyel kullanım imkânı olup olmayacağını belirlenmesi,
- Yanma geciktiricili yonga levha üretiminde optimum tutkal kullanımını ortaya koyarak, gereksiz maliyetlerin önüne geçmek,
- Yanma geciktiricili levha üretiminde optimum BA kullanımını ortaya koyarak, gereksiz maliyetlerin önüne geçmek,
- Optimum üretim şartlarını sağlayan MUF ve BA tüketim miktarını ortaya koyarak, çevre ve insan sağlığına olan etkiyi minimuma indirmek.

1.1. Kompozit ve Ahşap Kompozit Malzemeler

Kompozit, gelişen teknoloji ile günümüzde birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Birden fazla benzer veyahut farklı yapıdaki malzemelerin, arzu edilen özelliklerini ortaya koyacak biçimde ya da başka bir yetenek elde etmek için birleştirilen malzemelerdir. Kompozit malzemeler kendi zayıf yönlerini iyileştirerek mevcuttan daha iyi ya da ihtiyaç duyulan özellikte malzeme oluşturabilmeyi sağlar. Odun veya diğer odunsu ham maddelerden üretilen ve birden fazla malzemenin birleşimi ile elde edilen malzemelere ise ahşap kompozit denmektedir.

Ahşap kompozit levhalar, değeri ve verimi düşük olan odun veya lignozelülozik maddelerin teknik yollarla şekil değiştirerek, istenilen şekil ve kalıba sokularak üretilmektedir. Günümüzde masif odun değerli ve arza yetecek derecede olmadığından ahşap kompozit malzemeler sayesinde değeri düşük olan odun hammaddeleri daha ekonomik kullanılabilir. Bunun yanında atık olan birçok yıllık bitki de bu amaçla ekonomiye kazandırılmaktadır.

1.1.1 Kompozit Malzemelerin Avantajlı Yönleri

İstenen Sağlamlık: Kompozit malzemeler ihtiyaca uygun olacak şekilde yüksek mukavemette üretilebilirler.

Hafiflik: Kompozitler birim alan ağırlığında daha hafif ve daha yüksek mukavemetlidir.

Tasarım Esnekliği: Kompozitler her türlü tasarıma göre uyarlanabilmektedir.

Boyutsal Stabilite: Kompozitler üretim esnasında kullanılan termoset reçineler sayesinde şekillerini ve işlevselliklerini korumaktadır.

Yüksek Di-Elektrik Direnci: Kompozit malzemeler elektrik yalıtım özelliğine sahip olduğundan önemli bir tercih sebebidir.

Korozyon Mukavemeti: Kompozit malzemeler korozyona karşı oldukça dayanıklıdır.

Kalıplama Kolaylığı: Kompozit ürünler tek parçada kalıplama kolaylığı sağlamaktadır.

Yüzey Uygulamaları: Kompozit ürünler istenen renk ve desende üretilebilmektedir. Ayrıca demir, ahşap vb. yüzeylere yapıştırılabilir.

Yanmazlık Özelliği: Yanma maruz kalacak alanlarda kullanımı oldukça önem arz etmektedir.

Tamir Edilebilirlik Özelliği: Kompozit malzemeler çok kez tamir edilebilmektedir.

İşlenebilirlik: Kompozitler, kolayca delinebilir, zımparalanabilir, boyanabilir özelliktedir. (URL-11)

1.1.2 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

- Yüksek direnç ve mukavemet aranan durumlarda ekstra tutkal maliyeti açığa çıkmaktadır.
- Kaliteli üretim için, üretimin birçok aşamasında hassas davranmak gerekmektedir.
- Gereğinden fazla tamirat ve işleme üründe farklı problemlere yol açabilmektedir.
- Metallere yapışmaları oldukça güçtür.
- Ortam şartlarından kolaylıkla etkilenebilmektedirler. Bu yüzden özellikle dış ortamlarda

kullanılacak kompozit malzemelerde ekstra koruyucu kullanımı gerekmektedir.

1.1.3 Ahşap Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Ahşap esaslı kompozit malzemeler 4 ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- 1) Pres Kaplama Kompozitleri
 - Kaplamalı levhalar
 - Kontrplak
 - Kontrtabla
 - Lamine ahşap kaplamalı levha
- 2) Yonga ve Lif Kompozitleri
 - Yonga levha
 - Lif levha
 - Talaş levha
- 3) Odun ve Odun Dışı Orman Ürünleri Kompoziti
 - İnorganik kompozitler
 - Termoplastik kompozitler
 - Diğer kompozitler
- 4) Masif Kompozitler
 - Polimer kompozitler
 - Yoğunlaştırılmış kompozitler (Güller, 2001)

Şekil 1.1 de ahşap kompozit levhalara ait örnek görseller yer almaktadır.



Şekil 1.1: Ahşap kompozit levhalar (URL-1, 2011)

1.2 Yonga Levha ve Yonga Levha Sektörü

Günümüzde mobilya üretiminde en çok tercih edilen malzemelerin başında yonga levha ve melamin kaplanmış yonga levhalar gelmektedir. Bu ürünün kullanım yeri ve kullanım amacına göre kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

1.2.1 Yonga Levha

Odun veya diğer lifsel hammaddelerin kimyasal tutkal ile muamelesi veya tutkal kullanılmadan hidrolik bağlayıcıların oluşturduğu yapışma etkisi ile şekillendirilmesi sonucu oluşan düzgün yüzeyli levhalardır.

Yonga levhalar; farklı kullanım yerlerine uygun olarak istenen fiziksel ve mekanik özellikleri karşılayabilmeleri, yüzeylerinin düzgün olması, arzu edilen kalınlıkta üretilebilmeleri, uygun yapıştırıcı ya da bağlantı elemanları yardımı ile farklı ekipmanlara rahatça birleşebilmeleri, koruyucu, yanma geciktirici ve su itici kimyasallar katılarak farklı özellikler ortaya koyabilmeleri, odun artıklarının değerlendirilmesi, diğer ürünlere göre daha uygun fiyatlı olması gibi avantajlı kriterlere sahip olmalarından dolayı piyasada sürekli yer almaktadır. Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte farklı tip ve özellikte levhaların üretimi de gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.2 de zımparalı yonga levha görseli yer almaktadır.



Şekil 1.2: Zımparalı yonga levha (URL-2, 2023)

Yıllar önce mobilya sanayisinin hammaddesi masif odun iken, gelişen teknoloji ve azalan kıt kaynaklar sebebiyle mobilya endüstrisindeki masif ahşabın yerini yonga ve lif levha ürünleri almıştır. Bu ürünler sayesinde hem kıt orman kaynakları daha verimli kullanılmaya başlanmış hem de kullanım için birçok avantajlar ortaya çıkmıştır.

Günümüzde ve gelecekte yonga levha endüstrisinin gelişimi ve ilerleyişi odun hammaddesinin devamlılığına ve yeni kullanım yerlerinin gelişmesine bağlı olarak şekil alacaktır. Yeni kullanım alanları ya da levhadan yeni özellikler beklenmesi ihtiyacı yonga levha endüstrisinin sistematik olarak gelişiminde önemli bir rol oynayacaktır. Şekil 1.3 de yüzeyi melamin reçinesi emdirilmiş kâğıt ile kaplanmış yonga levha görselleri yer almaktadır.



Şekil 1.3: Melamin kaplanmış yonga levha (URL-3, 2023)

1.2.2 Yonga Levhaların Sınıflandırılması

Günümüzde yonga levhalar TS EN 312 standartlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmada yonga levhaların kullanım yeri esas alınmaktadır. Bu standarda göre yonga levhalar kullanım yerine göre 7 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Öncelikle sınıflandırma 2 başlık altında toplanmaktadır. Bunlar, kuru ortamda kullanılacak yonga levhalar ve nemli şartlarda kullanılacak yonga levhalardır. Bunlar da kendi içerisinde genel kullanım amaçlı, yük taşıyıcı olarak ve yük taşıyıcı olmayarak gibi çeşitlere ayrılmaktadır.

Bunların haricinde yonga levhalarda birçok farklı özelliğe göre sınıflandırılma yapılabilmektedir. Bunlar;

- Yoğunluk Değerine Göre
 - Düşük Yoğunluk
 - Orta Yoğunluk
 - Yüksek Yoğunluk
- Serme Şekline Göre
 - Yatık Yongalı Levha
 - Dikey Yongalı Levha
- Tabaka Sayısına Göre
 - Tek Tabakalı
 - Üç Tabakalı
 - Çok Tabakalı
- Tutkal Türüne Göre
 - Sentetik Bağlayıcı
 - Anorganik Bağlayıcı (Güller, 2001)

1.2.3 Yonga Levhaların Genel Özellikleri

- Rutubete karşı dayanıklıdır.
- Vida tutma kabiliyeti iyidir.
- İşlenmesi kolaydır.
- Boya vb üst yüzey işlemlerine uygundur.
- Farklı ebatlarda üretim yapılabilme olasılığı vardır.
- Akustik özellikleri iyidir.
- Rahatlıkla boyanabilir.
- Levhaların işlenmesinde zayıtı düşük, işi verimi yüksektir.
- Farklı kullanım alanlarında istenen yoğunlukta üretilebilmektedir.
- Preslerde kaplanma açısından uygundur.
- Boşluk oranı fazla olduğundan hafif malzemelerdir.
- Kullanım yerine uygun istenen formaldehit oranında üretilme olasılığı vardır.

1.2.4 Yonga Levhaların Kullanım Alanları

Yonga levha ve yonga levhadan üretilen melamin kaplı levhaların birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle kullanılacak malzeme, kullanım yerine ve kullanım amacına göre farklılık göstermektedir.

- Mobilya imalatı,
- Prefabrik ev yapımı,
- Dekorasyon işleri,
- Ses izolasyonu,
- Isı izolasyonu,
- Ara bölmeler,
- Dış cephe kaplamaları,
- Tavan kaplamaları,
- Ahşap kiriş üretimi,
- Otomotiv sanayi,
- Uçak sanayi,
- Araç kasaları,
- Yükseltilmiş taban,
- İnşaat kalıpları,
- İnşaat bölmeleri,
- Mutfak tezgâhı, vb.

1.2.5 Yonga Levha Endüstrisinin Gelişimi

Yonga levha üretimi, üretim teknolojisi, kullanım alanları her geçen gün hem ülkemizde hem de diğer dünya ülkelerinde artış göstermektedir. Burada en önemli etken gelişen teknoloji ve değişen müşteri beklentileridir.

1.2.5.1 Dünyada Yonga Levha Endüstrisinin Gelişimi

Yonga levhanın üretimi ya da başka bir deyişle ortaya çıkışı uzun bir geçmişe sahiptir. Buluş hikâyesi çok eski olsa da yonga levha kelimesi daha yakın bir geçmişi içermektedir. Tarihte

ilk kez Ernst Hubbard odundan çıkan artıkların değerlendirilmesi amacıyla 1887 yılında tere talaşı ve yapıştırıcı olarak da kan albümininden faydalanarak yüksek sıcaklık ve basınç altında presleme ile yonga levha üretimini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmadan sonra dünyanın birçok yerinde odun ve odunsu maddelerden yonga levhaya benzer malzemeler üretilmiştir. Ticari amaçlı ilk yonga tesisi 1911 yılında Almanya'da kurulmuştur. Bu üretim hattında yapıştırıcı olarak fenolik reçinesi ve odun hammaddesi olarak da ladin kullanılmıştır. İkinci Dünya savaşıdan sonra hem Amerika'da hem de Avrupa'da ihtiyaç duyulan yonga levha miktarı hızla artış göstermiştir. Bu hızlı artış ile birlikte hem kullanılan hammaddelerde hem de levha özelliklerinde ciddi değişimler ve iyileşmeler kaydedilmiştir. Yonga levha endüstrisinin gelişimi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi az gelişmiş ülkelerde de yukarı yönde ivme göstermiştir.

1.2.5.2 Türkiye'de Yonga Levha Endüstrisinin Gelişimi

Ülkemizde 1960-1970'li yıllarda çok düşük seviyelerde yonga levha üretilmekteydi. Zamanla üretim kapasiteleri hızlı bir artışa geçmiştir. Ülkemiz yonga levha sektöründe dünya sıralamasında yerini almıştır. 1981 yılında yapılan bir araştırmaya göre ülkemiz yonga levha üretim kapasitesi açısından dünya ülkeleri arasında 22. sıraya yerleşmiştir.

Ülkemizde ilk kurulan yonga levha fabrikası 1954 yılında İstanbul Kartal'da üretime başlamıştır. Daha sonra 1967 Modern Kontrplak adında yeni bir fabrika daha kurulmuştur. 1970 yılından sonra ülkemizde yonga levha tesisi kurulumu hızlanmıştır. Bursa'da İstaş, İsparta'da Orman Mahsulleri, Gebze'de Teverpan, Düzce'de Düzsan, Kastamonu'da Yonagan, Giresun'da Köykobir, Tarsus'da Sametoğlu, vb. birçok tesisin kurulumu 1970 sonrasında gerçekleşmiştir. (Bozkurt, 1985)

Levha sektörü orman sahasından başlayıp, son ürün olan mobilya oluşumu ile en yüksek katma değerli sektörler arasında yer almaktadır. Türkiye'nin ekonomik hedeflerine ulaşabilmesinde ve cari açığı düşürmesinde levha yani dolayısıyla mobilya sektörünün önemi oldukça fazladır. Ülkemiz dünyanın en büyük 5 levha üreticisi arasında yer almaktadır. Tablo 1.1, Tablo 1.2 ve Tablo 1.3'te yonga levha sektörüne ait bilgiler yer almaktadır.

Tablo 1.1: Levha sektörü kurulu kapasitesi (URL-5, 2023)

Levha Sektörü Üretim Kapasitesi-2021		
Yonga Levha	4,6	milyon m ³ /yıl
Lif Levha	6,7	milyon m ³ /yıl
Toplam	11,3	milyon m ³ /yıl

Tablo 1.2 Yonga levha üretiminde Dünya sıralaması (URL-5, 2023)

Yonga Levha Üretiminde Dünya Sıralaması		
Çin	33,0	milyon m ³ /yıl
Rusya	7,9	milyon m ³ /yıl
Almanya	6,1	milyon m ³ /yıl
Türkiye	4,6	milyon m ³ /yıl

Tablo 1.3 Türkiye'deki Yonga Levha Üreticileri (URL-5, 2023)

Türkiye'deki Yonga Levha Üreticileri	
Kastamonu Entegre Ağaç San. Ve Tic. A.Ş.	2.144.000 m ³ /yıl
Yıldız Entegre Ağaç San. Ve Tic. A.Ş.	1.456.000 m ³ /yıl
Starwood Orman Ürünleri A.Ş.	1.264.000 m ³ /yıl
Orma Orman Mahsülleri İntegre Sanayi ve Ticaret A.Ş.	672.000 m ³ /yıl
Küpeliler A.Ş.	308.000 m ³ /yıl
Teverpan MDF Ağaç San. A.Ş.	144.000 m ³ /yıl
İlker Entegre Ağaç Sanayi Tekstil İnşaat ve Ticaret A.Ş.	64.000 m ³ /yıl
Kronospan Entegre Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.	64.000 m ³ /yıl
Veziroğlu Vezirköprü Orman Ürünleri ve Gıda Tic. A.Ş.	56.000 m ³ /yıl
Gentaş Genel Metal San. Ve Tic. A.Ş.	40.000 m ³ /yıl
TOPLAM	6.212.000 m³/yıl

1.2.6 Yonga Levha Endüstrisinde Kullanılan Hammaddeler

Yonga levha üretiminde birçok farklı hammadde ve yardımcı malzemeler kullanılmaktadır. En önemli hammaddeler odun ve tutkaldır. Odun ve tutkal levha üretiminde en büyük maliyet kalemlerini oluşturmakla beraber, levhanın kalitesini önemli ölçüde belirleyen iki etkenidir.

1.2.6.1 Odun Hammaddesi

Yonga levha endüstrisinde ihtiyaç duyulan en önemli odun hammaddesi iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç odunlarıdır. Ülkemizde geniş yapraklı ağaç türlerinden kavak, meşe, kayın, kızılâğaç, huş, ıhlamur daha çok tercih edilmektedir. İğne yapraklı odunlarda herhangi bir ayırım olmaksızın hemen hemen tamamı yonga levha endüstrisinde kullanılabilir.

Aynı tür içinde yer alan ağaçlar ülkeden ülkeye, yöreden yöreye farklılık gösterdiği gibi, aynı meşcere içinde yer alan ağaçlar arasında dahi farklılıklar görülebilmektedir. Özellikle yapısal ve kimyasal özellikleri bakımından farklılık göstermektedir.

Odunu oluşturan hücrelerin çeperleri büyük oranda selüloz, lignin ve hemiselüloz maddelerini içermektedir. Bu maddeler hücre çeperinin temel bileşenleridir. Selüloz maddesi hücre çeperinin iskeletini oluştururken, bu iskeletin arasındaki boşlukları hemiselüloz ve lignin doldurmaktadır. (Gezer, 2015)

Yonga levha üretiminde kullanılacak odunun rutubet değeri oldukça önemlidir. Rahat bir yongalama işlemi yapabilmek ve yüzeyi mümkün olduğunca pürüzsüz yongalar elde edebilmek amacıyla yonga rutubetinin genellikle %35-70 arasında olması istenmektedir.

Yonga levha üretiminde odundaki kabuk oranı oldukça önemlidir. Kabuk oranının artması ile birlikte levha mukavemetlerinde negatif yönde bozulmalar meydana gelmektedir. Kabuk, tutkallama esnasında odun yongalarına oranla çok daha fazla tutkal emmektedir. Kabuğun tutkalı hızla bünyesine çekmesi sonucu odun yongalarının yüzeyine düşen tutkal miktarı azalacağından mukavemetlerde düşüklük yaşanmaktadır. Bu sebeple yonga levha üretiminde kabuk oranının %10 üzerine çıkması istenmeyen bir durumdur. Şekil 1.4 de yonga levha üretim tesisine ait odun hammaddesi stok alanı görseli yer almaktadır.



Şekil 1.4: Yonga levha üretiminde odun hammaddesi (URL-6, 2019)

1.2.6.2 Diğer Lignoselülozik Hammaddeler

Yonga levha üretiminde her türlü endüstriyel odun artıkları, kapak tahtaları, çıtalar, tahta ve tomrukların uç kesimleri, kaplama sanayi atıkları, orman bakım artıkları, keten, kenevir, bambu, saz, pamuk sapları, tahıl sapları, yıllık ve çok yıllık odunsu bitkiler hammadde olarak kullanılabilir. Bu sebeple günümüzde seri üretim yapan yüksek kapasiteli üretim tesislerinde tercih edilmemektedir.

Lignoselülozik hammaddelerin istenen ve ihtiyaç duyulan kadar olmayışı, toplanmasının zor olması, taşıma ve depolama maliyetlerinin yüksek olması önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple günümüzde seri üretim yapan yüksek kapasiteli üretim tesislerinde tercih edilmemektedir.

Levha üretiminde özellikle günümüz teknolojisinde sürekli üretim yapılmaktadır. Üretim kesintiye uğramaması arzu edilmektedir. Odunsu hammaddelerin temini oldukça güç olduğundan ülkemizdeki ve dünyadaki levha üretim sanayinde çok fazla tercih görmemektedir.

1.2.6.3 Yapıştırıcı Maddeler

Yonga levhanın üretiminde; kurutulmuş yongaların yapıştırılması için sentetik yapıştırıcı maddeler kullanılmaktadır. En yaygın yapıştırıcı kimyasal; üre formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit, üre-melamin formaldehit, izosiyanat ve epoksi tutkallarıdır.

Üre; kokusu, rengi olmayan, su ile etkileşimde kolaylıkla çözünebilir kristalimsi bir madde

olup amonyak ve karbondioksit birleşmesi sonucu üretilmektedir. Üre ile formaldehit farklı oranlarda birleştirilerek farklı özelliklere sahip üre formaldehit tutkalları üretilebilmektedir. Bu tutkalın jelleşme süresini hızlandırmak için amonyum sülfat ve amonyum klorür gibi sertleştirici kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Avantajları; ısındığında hızlı bir şekilde sertleşebilme, yüksek yapışma direnci ve ucuz olmasıdır.

Fenol formaldehit tutkalı; formaldehit ile fenolün reaksiyona girmesi sonucu elde edilmektedir. Sıcaklık etkisi ile sertleşen termosetting tutkal grubu içerisinde yer almaktadır. Jelleşme süresini hızlandırmak amacıyla kullanılan katalizörün türüne bağlı olarak Resol ve Novalak olarak ikiye ayrılmaktadır. Amonyak katalizörü yardımıyla üretilen tutkal resol tip, hidroklorik asit katalizörü ile üretilen tutkal ise novalak reçine grubuna girmektedir. Fenol formaldehit tutkalı boyutsal stabilite açısından oldukça dirençlidir.

Melamin formaldehit tutkalı; daha çok dış ortama maruz kalacak ürünlerin üretiminde tercih edilmektedir. Üretim maliyeti diğer tutkallara göre oldukça yüksektir. Maliyeti düşürmek adına üre formaldehit tutkalı içerisinde belirli oranlarda melamin eklenerek melamin-üre tutkalı kullanılmaktadır.

Tutkal, levhaların hem fiziksel hem de mekanik değerlerine doğrudan etki eden en önemli faktördür. İyi bir tutkal kimyasal yongaların birbirine kuvvetli yapışmasını sağlayarak dirençli bir yapı oluşmasını sağlayacaktır. Tutkallama ile birlikte, tutkalın yongalara nüfuz şekli de bir o kadar önem arz etmektedir. İyi bir tutkal ve güzel bir tutkallama metodu ile sağlam levhalar üretmek mümkündür.

Günümüzde tutkal tipi tercih edilirken levhalardaki formaldehit miktarı da göz önünde bulundurulmaktadır. Geçmiş yıllarda E2 formaldehit sınıfına sahip tutkallar kullanılırken, artık formaldehit miktarı çok daha düşük olan E1, E0 sınıfı hatta bio bazlı tutkallar kullanılmaya başlanmıştır.

1.2.6.4 Katkı Maddeleri

Yonga levha üretiminde su itici, yanma geciktirici, koruyucu ve sertleştirici özellikteki katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Hidrofobik maddeler; levhaların boyutsal kararlılığını/stabilitesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu maddeler kullanıldığında levhada şişme, kabarma, uzama, kısılma, çarpılma, çanaklaşma vb. durumlar daha az görülmektedir. Genellikle katı ve sıvı formdaki parafin kimyasalı ya da diğer kimyasallar kullanılmaktadır. Ahşap malzeme higroskopik bir malzemedir. Kullanım ortamı ile sürekli nem alışverişi içerisinde. Levha ortamdaki nem almakta ya da bünyesindeki nemi ortama vermektedir. Bu çalışmaları en aza indirmek için genellikle yonga levha üretiminde katkı maddesi kullanılması tercih edilmektedir.

Koruyucu maddeler; yonga levhaları böcek ve odun zararlılarına karşı korumak maksadı ile kullanılmaktadır. Özellikle dış ortamlarda kullanılacak levhalar için tercih edilebilmektedir. Genellikle penta-klorofenol kimyasalının tutkal içerisine belirli oranda karıştırılması ile kullanılmaktadır.

Sertleştirici maddeler; levha taslağı sıcak prese girmeden önce diğer bir deyişle sıcak presleme zamanına kadar herhangi bir şekilde sertleşmemeli, fakat sıcak pres içerisine girdiğinde ise kısa sürede sertleşme göstermelidir. Bu amaçla, yonga levha üretiminde amonyum klorür ve amonyum sülfat kimyasalları kullanılmaktadır.

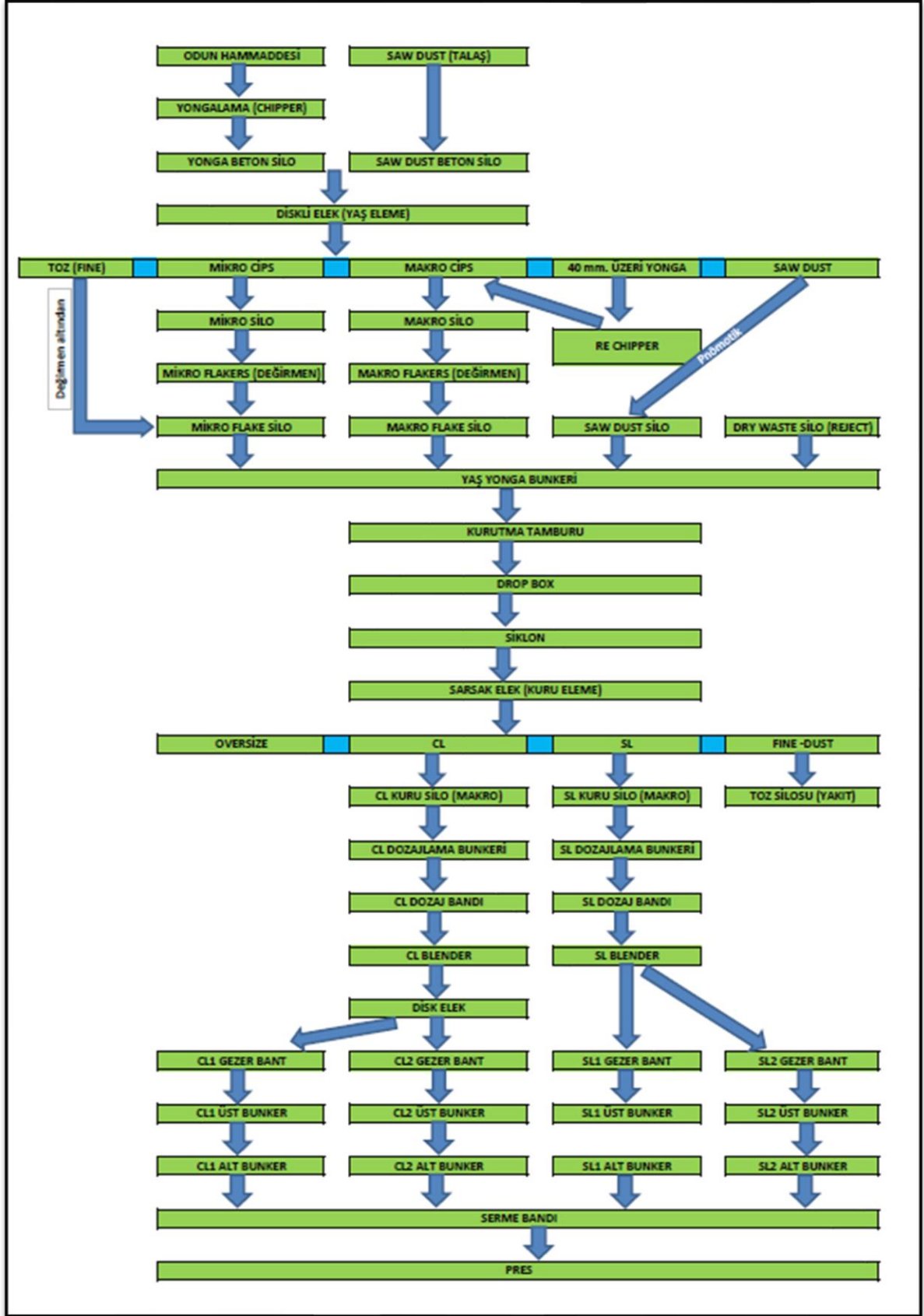
Yanma geciktirici; insan sayısının fazla olduğu özellikle toplu yaşam alanlarında yapılar için önemli bir kriterdir. Bu sebeple; hastaneler, okullar, kütüphaneler, konferans salonları, kreşler, bakım evleri, alışveriş merkezleri, mağazalar, oteller, iş merkezleri ve kamu binalarında ve kurumlarda yanma koruması giderek daha fazla talep görmektedir. Yanmadan kaçış yolu olarak kullanılan bölgeler ise, bu konuda çok daha fazla önemli hale gelmektedir. Yanma çıkması durumunda itfaiyenin olay yerine gelme süresi ortalama 5-15 dakikadır. Tam da bu zaman aralığında alevlerin hızlı yayılmasının önlenmesi bir nevi kurtuluş yoludur. Günümüzde yanma geciktirici olarak daha çok bor türevi maddeler kullanılmaktadır.

1.2.7 Yonga Levha Üretim Teknolojisi

Üretim serüveni öncelikle hammaddenin toplanması ve depolanması ile başlamaktadır. Üretim sürecinin sürekliliğinin sağlanabilmesi için belirli miktarda hammaddenin olması gerektiği gibi bu hammaddenin de belirli oranının fabrika üretim sahasında stoklanması gerekmektedir.

Fabrika sahasındaki odun hammaddesi öncelikle yongalama işlemine tabi tutulmaktadır.

Sonrasında bu yongalar kurutma, elenme, tutkallama, serme ve presleme gibi birçok üretim aşamasından geçmektedir. Levha son halini presleme sonrasında almaktadır. Bu aşamadan sonra levhalar üst yüzey işleminden geçirilerek kullanıcıya hazır hale getirilmektedir. Yonga levha üretimi aşağıda şematize edilmiştir. Şekil 1.5 de yonga levha üretimine ait proses aşamaları yer almaktadır.



Şekil 1.5: Yonga levha proses şeması (H. SIRADAĞ)

1.2.7.1 Yongalama

Yonga levha üretiminde yongalama işlemi kaba ve ince yongalama olarak ikiye ayrılmaktadır. Öncelikle kaba yongalama işlemi yapılmaktadır. Kaba yongalama işleminden sonra makro ve mikro boyutta ince yongalama işlemi yapılmaktadır.

Kaba yongalama için; tamburlu ya da çevresel tip makineler ya da diskli makine kullanılmaktadır. İnce yongalama işlemi için ise; diskli ya da elekli değirmenler kullanılmaktadır.

Odunun sağlamlığı, ortalama çapı, özgül ağırlığı, rutubeti, lif düzgünlüğü, kesici bıçakların kullanım saati gibi birçok etken yongalama makinesinin verimini ve yonga kalitesini etkilemektedir. Şekil 1.6 da çevresel yani tamburlu yongalama makinesine ait görsel yer almaktadır.



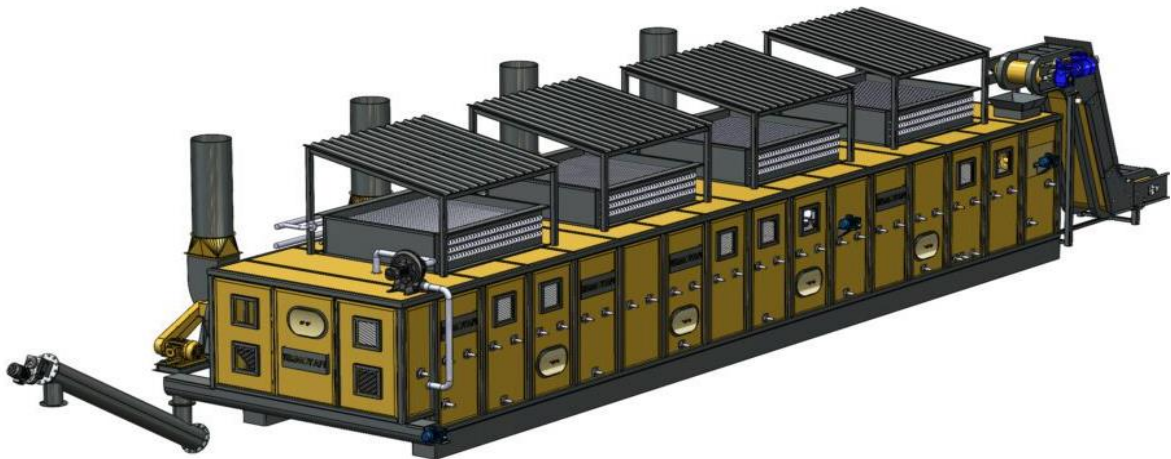
Şekil 1.6: Çevresel yongalama makinesi (URL -7, 2023)

1.2.7.2 Kurutma

Yonga levha üretiminde en önemli aşamalardan biri yongaların kurutulması aşamasıdır.

Mümkün olduğunca homojen rutubette ve istenen rutubette yonga kullanılması üretim prosesini kolaylaştırmaktadır. Presleme teknolojisi açısından orta ve yüzey tabakalarda kullanılan yongaların rutubetlerinin farklı olması istenmektedir. Sıcak presleme esnasında eğer yonga rutubeti gereğinden fazla ise levha orta tabakasında su buharının uzaklaşmamasına ve levha yüzeyinin bozulmasına neden olmaktadır. Bunun yanında yonga rutubetinin aşırı düşük olması durumunda da; yanma riski, toz artışı, levha kenar çıtlamaları ve yüzey tozlanması gibi farklı problemlere sebebiyet vermektedir. Yonga levha üretiminde kurutucu olarak, döner tamburlu kurutma makineleri, çok bantlı kurutucular, kontakt tip kurutucular ve türbülülü kurutucular kullanılmaktadır.

Kurutma yonga levha üretiminde en önemli proseslerden biridir. Tutkallama yapmadan önce yonga rutubetinin % 1-4 aralığına kadar düşürülmesi gerekmektedir. Bu değerlerin altında ya da üstünde bir yonga rutubeti ile levha üretmek tutkal sarfiyatına yol açabileceği gibi yetersiz fiziksel ve mekanik özellikler oluşmasına da neden olacaktır. Ayrıca tutkallama öncesinde uygun rutubet değerine düşürülmeyen yongalar tutkallama sonrasında da sıcak preslemede levha patlaması, levhanın oluşmaması, vb. birçok probleme de sebebiyet verecektir. Şekil 1.7 de son zamanlarda tercih edilen bantlı kurutucu görseli yer almaktadır.



Şekil 1.7: Yonga levha bantlı kurutucu (URL-8, 2023.)

1.2.7.3 Eleme

Yongalama makinesinden çıkan yongalar içerisinde toz, kabuk, çöp ve istenen boyutta olmayan (iri ya da ufak) yongalar bulunmaktadır. Bu istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması

ya da uygun boyutta tasnif edilmesi için eleme işlemi yapılmaktadır. En önemlisi de yongalama makinesinden çıkan heterojen boyuttaki yongalar homojen boyutta tasnif edilmektedir. Yonga levha üretiminde mekanik ve pnömatik eleme sistemleri kullanılmaktadır.

Elek makineleri yonga kalınlığı esasına göre olmayıp, yonga yüzey alanına göre sınıflandırma işlemi yapmaktadır. Pnömatik yani havalı sınıflandırma sisteminde hava direnci ile yonga yüzey ağırlığı arasındaki bağıntıdan faydalanılmaktadır. Havanın olmadığı bir ortamda tüm maddeler büyüklüğü fark etmeksizin aynı sürede aşağı düşmektedir. Oysa, havalı eleme sistemlerinde ise yüzey ağırlığı fazla olan yongalar daha çabuk, ince yongalar ise daha geç yere düşmektedir.

Yonga levha üretiminde kullanılacak yongaların geometrisi oldukça önem arz etmektedir. Yonga kalınlığının arzu edilenden düşük olması yongaların tutkallanması ve taşınması esnasında kırılmasına neden olur. Bu durum levhanın fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini negatif yönde etkileyecektir. Tersisi durumunda ise, yani yonga kalınlığının arzu edilenden fazla olması durumunda ise presleme sonrasında yongalar arasında fazla boşluk oranı kalacağından levha mukavemetlerinin düşmesine neden olacaktır. Bu sebeple ideal yonga boyutlarının sağlanması levha kalitesi açısından oldukça önemlidir.

1.2.7.4 Tutkallama ve Kimyasalların İlavesi

Yonga levha üretiminde levhanın mekanik ve fiziksel mukavemetini etkileyen en önemli faktörlerden biri tutkallamadır. Tutkallama sisteminin uygunluğu ve prosesin doğru uygulanışı levhanın mukavemet değerlerine en direkt etki etmektedir.

Çeşitli kimyasal yapıştırıcılar yonga levhalara istenen özellikleri kazandırmak ve kaliteli levhalar üretmek için katılır. Genellikle yonga levha üretmek için üre formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Kullanılan tutkalı mümkün olduğunca tüm yonga yüzey alanına uniform dağıtmak gerekmektedir. Bu durum hem yapışma direncini hem de levha üretim maliyetini direkt etkilemektedir. Tutkallamanın başarılı olabilmesindeki en önemli etkenlerden bir tanesi de yonga geometrisidir. Yonga boyutları ne kadar homojen ise tutkallama o kadar başarılı olacaktır. Önemli bir diğer etmen ise, yonga parçalarının yüzeyinin düzgünlüğüdür. Yonga yüzeyi ne kadar düzgün ise tutkal-tutkal bağlanması o kadar güçlü olacaktır. Fakat, yonga yüzeyi pürüzlü ya da girintili-çıkıntılı ise tutkal bu çukurlar içerisinde kalacağından

tutunma da zayıf olacaktır.

Tutkallama makinesinde yonga hareketi de tutkallamada oldukça önemlidir. Makine içerisinde yongalar, serbest düşme-mekanik itme ve taşıma-havaya fırlatma gibi hareketler yardımı ile işlem görmektedir. Serbest düşme hareketinde, düşen yongalara yan taraftan tutkal püskürtülür, mekanik itme-taşıma sisteminde ise yongalar karıştırılarak ileriye doğru aktarılır ve bu hareketler esnasında tutkallama işlemi yapılır. Havaya fırlatma sisteminde, yongalar belirli bir açı ve belirli bir hava hızı ile yukarı doğru fırlatılır. Bu esnada dairesel ve spiral olarak dönen yongalara tutkal enjekte edilmektedir.

Tutkallama işlemi esnasında, levhalara ekstra özellikler kazandırmak için bazı kimyasal maddeler ilave edilmektedir. Levhaya hidrofobik özellik kazandırmak için parafin, yanma geciktirici özellik kazandırmak için yanma geciktirici kimyasalı, tutkal jelleşme süresini hızlandırmak için sertleştirici madde gibi birçok ekstra kimyasal kullanılabilir. Kullanılacak kimyasal müşteri ihtiyacına ve ürün kullanım yerine göre belirlenmektedir.

Tutkallama sistemlerinde asıl amaç tutkal taneciklerini yonga yüzeyine homojen bir şekilde pulverize etmektir. Pulverize edilen tutkalın ise sıcak presleme işlemine kadar sertleşmemesi ve yonga içerisine nüfuz etmemesi istenir.

Tutkallama işleminden önce yonga rutubetinin %2-5'e kadar düşürülmesi gerekmektedir. Yonga rutubetinin gereğinden fazla düşük olması tutkal sarfiyatına sebep olacağı gibi, rutubetin gereğinden yüksek olması da presleme aşamasında birtakım problemlere neden olacaktır. Bu sebeple üretim prosesine uygun optimum rutubet oranının belirlenmesi oldukça önemlidir.

1.2.7.5 Serme ve Ön Presleme

Yonga levha üretiminde tutkallanan yongalar, taslak oluşturmak için serme ünitesine getirilir. Serme ünitesinde, yongaların hem istenen levha ağırlık (yoğunluk) değerine uygun olarak dozajlaması yapılır hem de enine ve boyuna yöndeki ağırlık (yoğunluk) sapmalarını minimize etmek için gerekli şekillendirme işlemi yapılır.

Yonga levha üretiminde mekanik ve havalı serme işlemi yapılmaktadır. Orta tabaka taslağının hazırlanmasında mekanik serme işlemi uygulanmaktadır. Mekanik serme işleminde yukarıdan serbest düşen yongalar dağıtıcı tırmıklar yardımıyla serilmektedir. Alt ve Üst tabakaların serme işleminde ise havalı serme sistemi kullanılmaktadır. Hava yardımı ile ağır yani büyük yongalar erken yere düşerken hafif ve toz haldeki yongalar ise daha geç ve daha ileri düşürülmektedir. Bu sayede inceden kalın boyuta doğru sınıflandırmalı bir serme işlemi yapılmaktadır.

Serme yonga levha üretim prosesinde fiziksel ve mekanik dirençlerin homojen dağılımına da etki etmektedir. En önemlisi fiziksel özelliklerden olan yoğunluk dağılımı üzerine etkisidir. Homojen bir serme olmadığı takdirde levhalarda enine ve boyuna yönde yoğunluk farklılıkları oluşacaktır. Enine ve boyuna yöndeki yoğunluk farklılıkları ise levhaların mukavemet değerlerinde farklılığa neden olacaktır.

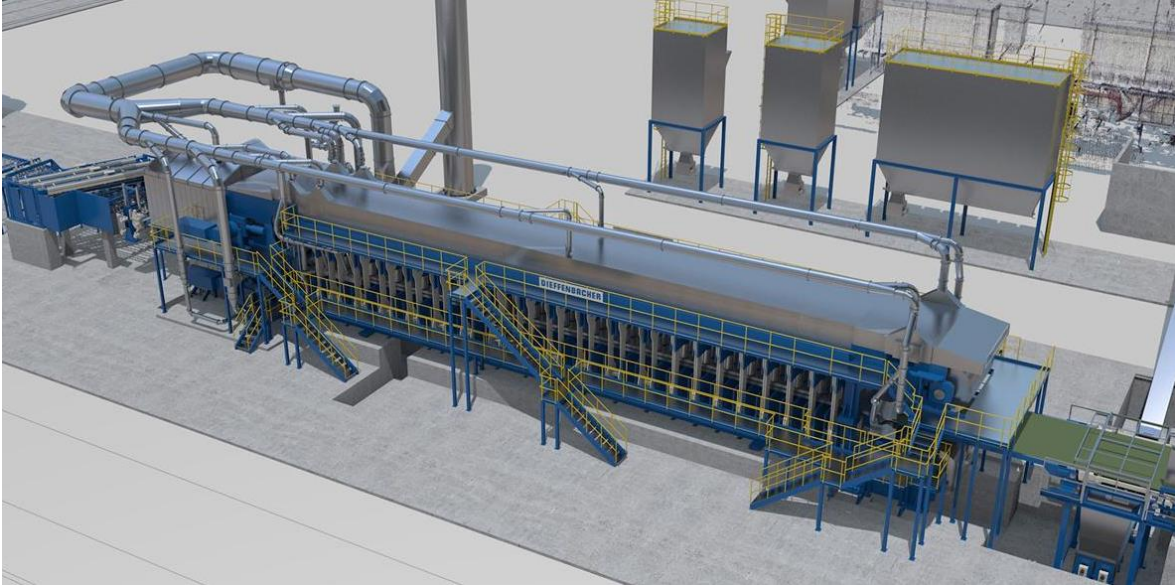
Serme işleminden sonra levha taslağının bozulmadan sıcak prese taşınması amacıyla ön presleme işlemi yapılmaktadır. Serme aşamasında levha taslak kalınlığı oldukça yüksek olup, içerisinde çok fazla hava boşluğu bulunmaktadır. Taslak kalınlığının sıcak prese uygun hale getirilmesi ve taslak içerisindeki hava boşluğunun alınması amacıyla yapılan bir işlemdir. Bu işlem sayesinde, levhanın hem mekanik açıdan hem de fiziksel açıdan kalitesi artırdığı gibi, presleme hızı yani birim saatteki üretim kapasitesi de doğru orantılı olarak artış göstermektedir.

1.2.7.6 Sıcak Presleme

Ön pres sonrası levha halen taslak halinde olup, son levha şeklini ve yapısını ancak sıcak presleme işleminden sonra kazanmaktadır. Levha taslağının istenen kalınlığa kadar düşürmek amacıyla belirli bir sıcaklık setinde preslenmesi gerekmektedir. Sıcak pres ve basınç etkisiyle, tutkal sertleşmeye başlar ve tam anlamıyla olmasa da bir nebze boyutsal stabilizasyonu sağlanmış bir malzeme eldesi sağlanmış olur.

Günümüzde yonga levhaya olan ihtiyaç fazlalığını karşılayabilmek amacıyla genellikle continue (fasılasız) pres makineleri tercih edilmektedir. Bu sistemlerde üretim hiçbir şekilde kesintiye uğramayıp sürekli akış halindedir.

Presleme işleminde en önemli etken, pres hız, basınç ve sıcaklık parametreleridir. İdeal hız, sıcaklık ve basınç diyagramının oluşturulması gerekmektedir. Sıcak presleme prosesi son kalite müdahale bölgesi olduğundan kullanılan pres diyagramlarının özenle hazırlanmasında fayda vardır. Şekil 1.8 de günümüzde sıklıkla kullanılan ve yeni teknolojileri içeren sürekli pres görseli yer almaktadır.



Şekil 1.8: Fasılasız sıcak pres (URL-9, 2023)

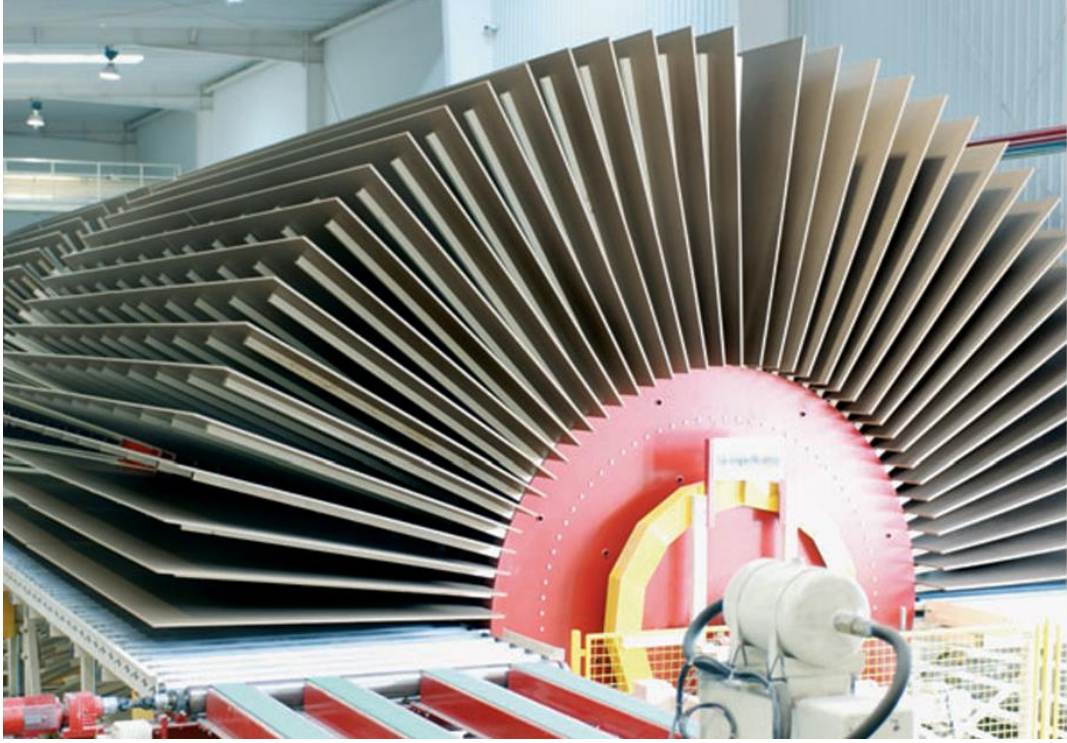
1.2.7.7 Ebatlama

Fasılasız presten çıkan ürünler arzu edilen levha ebatlarında değildir. Bu sebeple, sıcak presten çıkan levhalar nihai ebatlarda üretilmek için ebatlanmaktadır. Ebatlama ünitesinde öncelikle levha yan tarafları yani uzun kenarları kesilir. Bu işlem için daire şeklindeki testereler kullanılmaktadır. Hem sağ hem de sol taraf aynı anda ebatlanmaktadır. Daha sonra levhanın istenen uzunlukta kesilmesi amacıyla diyagonal testereler kullanılmaktadır. Diyagonal testereler sayesinde istenen nihai uzunlukta levha ebatlaması yapılmaktadır. Günümüzde ağırlıklı olarak 18x2100x2800, 18x1830x3660, 18x2100x2440, 16x2100x2800, 16x1830x3660, 16x2100x2440, 8x2100x2800, 8x1830x3660, 8x2100x2440 mm. levhalar üretilmektedir.

1.2.7.8 Soğutma

Sıcak presten çıkan levhaların sıcaklığı oldukça yüksektir. Sıcak levhaları üst üste koyarak paketlemek levhada yüzey kusurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu amaçla levhalar

ebatlandıktan sonra bireysel halde soğutulması gerekmektedir. Bu amaçla yıldız şeklindeki soğutma çarkları kullanılmaktadır. Levhalar çark üzerinde belirli süre kalarak soğumaktadır. Soğuma işlemi tamamlandıktan sonra levhalar üst üste istiflenmektedir. Şekil 1.9 da levhaların dinlenmesini ve soğumasını sağlayan yıldız soğutma ünitesi yer almaktadır.



Şekil 1.9: Yıldız soğutma ünitesi (URL-10, 2006.)

1.2.7.9 Zımparalama

Soğuma sürecini tamamlayan levhalar zımparalama işlemine tabi tutulmaktadır. Zımpara işlemi sayesinde levha istenen net kalınlığa getirilmekte ve pürüzsüz bir yüzey elde edilmektedir. Zımparalanan levhalar her türlü üst yüzey işlemine uygun hale gelmektedir.

Zımpara makinesinin alt ve üst tarafında tamburlar bulunmakta olup, yüzeyi zımparalayan bantlar bu tamburlar ekseninde dönmektedir. Yonga levha endüstrisinde genellikle zımpara makinelerinde 40-50-60-80-100-120-150 grit bantlar kullanılmaktadır. İlk önce kum tane-cikleri büyük olan kaba zımparalama yapan 40-50-60-80 kum bantlardan levha geçirilir ve kalınlığı düşürülür. Bu işlemden sonra ince hafif zımpara (100-120 kum) bantlarından geçirilerek kullanıma uygun olacak şekilde güzel bir yüzey kalitesi elde edilir.

1.3 Yanma Olayı ve Yanma Geciktirici Kimyasallar

Yanıcı bir maddenin oksijenle reaksiyona girerek ısı yayması sonucu yanma olayı gerçekleşir. Yanma olayının gerçekleşebilmesi için 3 maddenin birbiri ile buluşması ve etkileşim halinde olması gerekmektedir. Bunlar; sıcaklık, yanıcı madde ve oksijendir. Bu 3 maddeden bir tanesi olmadığında ya da bu maddeler birbiri ile etkileşim halinde olmadığında yanma olayı gerçekleşmemektedir. Oksijen evrende hidrojen ve helyumdan sonra en fazla bulunan elementtir. Toksik özellikte olmayıp, oldukça reaktiftir. Renksiz ve kokusuzdur.

Yanma olayı gerçekleştikten sonra oksijen yok edilmediği sürece devam eder. Hızla devam eden yanma olayı müdahale edilmediğinde üstesinden gelinemeyecek olumsuzluklara yol açabilir. Özellikle toplu yaşam alanlarında ve insan hareketliliğinin fazla olduğu alanlarda yanma olayının hızlı seyretmesi felakete yol açabilmektedir. Bu sebeple günümüz yapı sektöründe yanmanın geciktirilmesi göz önünde bulundurulmaktadır.

Yanmadan korunma, insan sayısının fazla olduğu özellikle toplu yaşam alanlarında binalar için önemli bir etkidir. Bu sebeple; hastaneler, okullar, kütüphaneler, konferans salonları, kreşler, bakım evleri, alışveriş merkezleri, mağazalar, oteller, iş merkezleri ve kamu binalarında yanma koruması giderek daha fazla talep görmektedir. Yanmadan kaçış yolu olarak kullanılan bölgeler ise, bu konuda çok daha fazla önemli hale gelmektedir. Yanma durumunda itfaiyenin olay yerine gelmesi ortalama 5-15 dakika sürer. Tam da bu zaman aralığında alevlerin hızlı yayılmasının önlenmesi bir nevi kurtuluş yoludur. Bunu zamanı kazanabilmenin tek yolu ise, yanıcı maddenin yanma süresinin geciktirilmesidir. Bu amaçla ahashap esaslı levhalarda yanma geciktiriciler kullanılmaktadır.

Yanma geciktirmedeki amaç;

- Yangının yayılımını, duman ve ateşi genişlemesini önlemek
- Yangın ile mücadele çalışmalarına zaman kazandırmak
- Korunaklı kaçış noktaları oluşturabilmek ve alandakilerin güvenliğini sağlayabilmek
- Ortamdaki can ve mal güvenliğini sağlayabilmek
- Toksik maddelerden ve reaktif gazlardan korunmak

→ Kaçış için zaman kazandırmak

→ Yangının hızla büyümesine engel olmak

Organik malzemeler yüksek ısıya maruz kalarak yanmaya başladığında kömürleşme ve gaz oluşumu ortaya çıkmaktadır. Odun da aynı şekilde organik bir malzeme olup yüksek ısıya maruz kaldığında yapısındaki kimyasal değişmelerle birlikte gaz ve kömürleşme olayı başlamaktadır. Odun maddesinin yapısından kimyasal olarak ayrılan gazlar havadaki oksijen ile tepkimeye girdiğinde alev olmasa dahi tutuşma meydana gelebilmektedir.

Odun veya odundan üretilen ahşap malzemelerin yanmasını geciktirmek için günümüzde birçok kimyasal metot ve kimyasal yöntem kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan odun hammaddesi yanma geciktirici kimyasalları; borik asit, borax, amonyum sülfat, çinko klorit, amonyum fosfat, vb. organik olmayan tuzlardır. Özellikle iç ortamlarda kullanılacak odunsu malzemelerde inorganik tuzların değerlendirilmesi tavsiye edilmektedir.

Bor; boraks ve borik asit, düşük erime noktasına sahip ve yüksek sıcaklıklarda şeffaf film şeklinde olan temel yanmayı geciktirici bileşiklerdir. Boraks, yüzeyin alev yayılımını azaltmakta ancak kor şeklindeki yanmayı artırabilmektedir. Bunun aksine Borik asit, kor şeklindeki yanmayı azaltırken alev yayılımı üzerine fazla bir etkiye sahip değildir (Tran, 1990). Bu nedenle bu kimyasallar genellikle birlikte kullanılmaktadır.

Borlu bileşikler alev geciktirici olarak kullanıldıklarında çevre dostudurlar. Toksik gaz salınımına neden olmazlar. Düşük uçuculuk değerine sahiptirler. Borlu alev geciktiriciler polimer zincir oksidasyonu için bariyer görevi gören camsı koruma tabakasının oluşumuna neden olur. Yanan malzemenin üzerini oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmayı bastırırlar. Borlu bileşiklerin alev geciktirici olarak kullanımı konusunda çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

1.3.1 Borik Asit

Borik asit, (borasis asit ya da ortoborik asit olarak da adlandırılır) borun zayıf bir asididir. Kimyasal formülü H_3BO_3 (ya da $B(OH)_3$) şeklinde yazılır ve beyaz toz halinde suda çözünebilir formda bulunur. Borik asit kolemanit cevheri ile sülfürik asidin veya boraks ile bir mineral asidin reaksiyona girmesi ile elde edilir (URL-11, 2019).

Borik asit yanmaya neden olan maddelerin tutuşma derecesini azaltmak için kullanılan borat bazlı alev geciktiricilerin temel formudur. Son yıllarda reçine bazlı ahşap kompozit levhalara alev geciktirici özellik kazandırmasından, kereste ve katı ahşap ürünlerde koruyucu madde olarak kullanılmasından dolayı önem kazanmaktadır. Disodyum oktaborat tetrahidratla birlikte ahşap kompozit malzemelerde, deniz, yat ve havacılık boyalarında alev geciktirici malzeme olarak kullanılabilir. Isı veya korozyona karşı direnç oluşturmak için ateş tuğlarına ve harçlara eklenmektedir (URL-11, 2019).

Dünya bor rezervlerinin %73 Türkiye’de olduğu ve bor madenlerinin cam, savunma, tarım, sağlık, seramik, nükleer, ahşap koruma gibi farklı endüstrilerde kullanıldığı bilinmektedir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı pigment özelliği nedeniyle çinko borat ve flor-boratlara gibi alev geciktirici özelliğe sahip borlu bileşiklerin yanma geciktirici olarak kullanılabilme potansiyelinin oldukça fazla olduğu belirtilmektedir (Aydın vd., 2016; Gr vd., 2010).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Birçok ülkenin uyguladığı yapı mevzuatları yangına karşı korunma ve güvenliği sağlama açısından oldukça önemlidir. Yangına karşı güvenliğin sağlanmasında yapıya ait elemanlarla doğrudan ilişkili olduğu gibi yapı inşasında kullanılan malzemeler de bir o kadar etkilidir. Yerel yapı yönetmelikleri ve yasaları ile hükümetler yangında olduğu gibi birçok riski en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bu konuda alınan kararlar ve yaptırımlar her geçen gün daha da sıkılaştırılmaktadır.

İstek vd., 2017 yılında yapmış oldukları çalışmada, levha üretimindeki tutkal miktarını sabit tutarak yanma geciktirici kimyasal ilavesi yapmışlar ve levha fiziksel ve mekanik özelliklerde düşüş meydana geldiğini görmüşlerdir. Bu sebeple, yanma geciktirici kullanım şekline ve uygulama esaslarının oldukça önemli olduğunu ifade etmişlerdir

Ülkemizde ve dünyada 2016-2020 yılları arasındaki 5 yıllık süreçte ortalama yonga levha üretim miktarları sırası ile 4.254.600 m³ ve 97.761.207 m³ olarak gerçekleşmiştir (FAOSTAT, 2022). Ahşap esaslı levhalar arasında yüksek üretim ve kullanım potansiyeline sahip yonga levhalar, yanma dayanımını arttırmak için üretim sırasında veya sonrasında yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ile muamele edilmektedir. Yonga levhaların yanma dayanım özelliklerini levha kalınlığı, özgül ağırlık, levha rutubeti, yoğunluk, yapıştırıcı cinsi ve kullanılan yanma geciktirici özellikleri ve miktarı gibi üretim değişkenleri etkilemektedir. Yangın geciktiricili ahşap kompozit levha üretiminde yanma geciktiricilerin kullanım miktarına bağlı olarak fiziksel ve mekanik özelliklerde azalmaya neden olurken, bu azalmayı engellemek, tutkal tüketimini arttırmakla mümkün olmaktadır (Nagieb vd., 2011; İstek vd., 2017; Aydın ve Demir, 2022). MDF levhalarda borlu bileşikler nedeniyle oluşan mekanik direnç azalmasının önlenmesi için MUF oranının en az %20 olarak uygulanması gerektiği belirtilmiştir (Ustaömer ve Usta, 2012).

Demirel, F. ve Altındaş, S. tarafından 2015 yılında yayınlanan bir makalede yapı elemanlarında yanma dayanım performanslarının Avrupa Birliği yönetmeliklerine göre irdelemiş ve son yıllarda çıkarılan mevzuatlarla birlikte ülkemizin yapı sektörü alanında radikal değişime karşı yön aldığını ifade etmiştir.

Söylemez, H. ve Bayraktar, O. tarafından 2019 yılında yapılan bir araştırmada bor artıklarının özellikle inşaat ve seramik sektöründe değerlendirilmesinin faydalı olacağını ortaya koymuştur. Alev geciktirici kimyasallar içerisinde borun önemli bir yeri olduğu ve ilerleyen süreçte inşaat sektöründe bu amaçla çok daha yaygın kullanılacağı ifade edilmiştir.

Çalışkan vd., 2019 yılında yaptığı bir çalışmada, geçmişte ahşap binalarda gerçekleşen yangınların insan zihninde olumsuz yer ettiğini ve bu sebeple ahşap kullanımına karşı halen ön yargılı yaklaşıldığı ifade edilmektedir. Ahşap malzemeler üzerinde son zamanlarda yapılan ileri arge çalışmaları sayesinde geçmişteki olumsuzlukların artık geçerli olmadığı ve bunun insanlara anlatılması ve ahşap malzemenin doğru aktarılması tavsiye edilmiştir.

Topçu ve Soyhan, 2022 yılında yaptıkları bir yayında Türkiye’de bol miktarda bulunan bor rezervinin katma değerli olarak değerlendirmeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada geliştirilen bor katkılı boyaların deniz araçlarında kullanılabileceğini savunmuşlardır. Çalışma sonunda, borlu boya uygulaması yapılmış gemilerde yanma çıkması durumunda müdahale şansının fazla olduğu ve fayda maliyet analizinde minimum maliyet ve maksimum faydanın dağlanacağını savunmuşlardır.

Literatür araştırmalarına bakıldığında birçok farklı yanma geciktiricisi ile denemeler yapıldığı, aynı zamanda hem yüzey tabakasında hem de orta tabaka yongalarında farklı oranların kullanıldığı, farklı tutkal kombinasyonları ile karşılaştırmalar yapıldığı görülmektedir. Ayrıca bu kombinasyonların bir kısmı yonga levha haricinde MDF, kontrplak gibi malzemelerde de kullanılmıştır. Yapılan deneme sonuçları arasında da değişkenlikler olduğu görülmüştür. Genellikle levha içerisine yanma geciktirici kimyasal ilavesi yapıldığında mekaniksel direnç değerlerinin düştüğü de dikkat çekmektedir. Fakat, yapılan birçok çalışmada da mekanik direnç değerlerinde düşüş olsa dahi bu levhaların standart direnç değerlerini yakaladığı sürece ve yanma sınıfını karşıladığı sürece sorun yaratmayacağı da görülmektedir. Yapacağımız tez çalışmasında bu bilgiler göz önünde bulundurulmuştur. Farklı ahşap kompozitlere uygulanan yanma geciktiricilerin türü, uygulama metodu ile üretimde kullanılan tutkal çeşidi ve oranları hakkında özet bilgiler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Yanma geciktiricilerin literatürde kullanımı

Malzeme	Yanma Geciktirici Türü	Uygulama	Tutkal Türü	Kaynak
Lif levha	BX BA Monoamonyum fosfat Diamonyum fosfat Fosforik asit (sıvı)	Tam kuru lif ağırlığına oranla %2, %4 ve %6	FF %7	Ayrılmış, 2007
Kaplama Kontrplak	Magnezyum hidroksit ve Melamin fosfat karışımı 3:1	1.aşama %20-%25-%30 2.aşama %25-%30-%35	200-250-300 g/m ² 250-300-350 g/m ² (MUF)/FR/buğday unu = 100:25:30	Xiong vd., 2020
Kaplamalı OSB	Monoamonyum fosfat, Diamonyum fosfat, Kireç suyu ve BX/BA (1: 1) karışımı	Kaplamalara basınç vakum yöntemiyle ort. 57,7 kg/m ³ retansiyon	FF 180 g/m ²	Ayrılmış vd., 2007
Lif levha	BX, BA, Sodyum perborattetrahidrat, Amonyum sülfat ÇB, Monoamonyum fosfat, Diamonyum fosfat Alüminyum hidroksit	Tam kuru lif ağırlığına oranla %5, %10, %15, %20	MF %16	Ustaömer, 2008
Testere tozu kompozit	BX, BA, BX+BA karışımı (5:1)	0,1, %0,5 ve %5 konsantrasyonda tutkala ilave	ÜF %10	Nagieb vd., 2011
Yonga levha	BX, BA VE ÇB	Tam kuru yonga ağırlığına oranla %3, %5 ve %7	ÜF %10-Y, %8-O	Yalçinkaya, 2014
Kontrplak	Fosfat ve nitrojen içeren ticari FR	Ağırlıkça %25	MUF 380-400 g/m ²	La vd., 2015
MDF	Su bazlı ticari fosfor içerikli FR (Burnblock)	Sprey %1,85, %9.25 ve %18,5	FF %10	Hastrup vd., 2015
Yonga levha	BA, Siriono 110 (Ticari yanma geciktirici)	Ağırlıkça %5, %9 ve %12	ÜF %10-Y, %8-O	İstek ve Özlüsoylu, 2016
Kontrplak	ÇB, amonyum sülfat ve mono amonyum fosfat	Sulu çözelti %5, %7 ve %10	ÜF 160 g/m ²	Demir vd., 2017
Yonga levha	BX, BA Mono- ve Di amonyum fosfat (PN), ZB	PN (%10 W/V) sprej %2 oranlarında PB ve ZB, tutkal ile karışım	MUF %12-Y, %8-O	Mamatha vd.,2017
Yonga levha	Kalsiyum hidrojen fosfat dihidrat hidroksiapatit-kalsiyum karbonat Mineral bazlı yanma geciktirici (kalsiyum klorür)	Tam kuru yonga ağırlığına oranla %10-%20-%30	MUF %15-Y, %12-O	Ozyhar vd., 2022
Kaplama Kontrplak	ÇB, BX, mono amonyum fosfat, amonyum sülfat	%5 Çözelti	ÜF 160 g/m ²	Demir ve Aydın, 2022

ÜF: Üre formaldehit MF: Melamin formaldehit FF: Fenol formaldehit MUF: Melamin üre formaldehit Y: Yüzey tabakası O: Orta tabaka, FR: Yanma geciktirici

3. MATERYAL VE METOT

3.1 MATERYAL

Bu çalışmada kullanılan tüm materyaller ve bu materyalleri kullanarak yapılan deneme üretimlerine ait metotlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1 Odun Hammaddesi

Bu çalışmada odun hammaddesi olarak %55 İğne yapraklı (Karaçam) ve %45 yapraklı ağaç (Kavak) odunundan oluşan karışım kullanılmıştır.

3.1.2 Yapıştırıcı Kimyasal

Tez çalışmasında piyasada yanma geciktiricili yonga levha prosesinde en çok tercih edilen tutkal olan melamin üre formaldehit (MUF) tutkalı kullanılmıştır. Tutkal bir firmanın ARGE laboratuvarında hazırlanmıştır. Hazırlama işlemi aynı firmanın yanma geciktiricili yonga levha üretim hattında kullanılan tutkal reçetesi esas alınarak yapılmıştır. Kullanılan yapıştırıcıya ait özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: MUF tutkalı özellikleri

Özellikler	Değerler
Katı Madde(%)	50±1
Yoğunluk (g/cm ³)	1,24-1,28
pH	7,5-8,5
Akışkanlık süresi	25-32 sn
Jell Time	30-50 sn
Mol Oranı	0,95
Melamin Oranı	%13

3.1.3 Sertleştirici

Tutkal içerisinde katalizör olarak %20'lik amonyum klorür çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti bir firmanın ARGE laboratuvarında hazırlanmıştır. Kullanılan katalizöre ait özellikler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Sertleştirici özellikleri

Özellikler	Değerler
Çözelti (%)	20±1
Yoğunluk (g/cm ³)	0,90
Ph (25 °C)	6,30

3.1.4 Yanma Geciktirici Kimyasal

Yapılan çalışmada yanma geciktirici olarak 2 farklı kimyasal kullanılmıştır. Bunlardan birincisi piyasada yanma geciktiricili yonga levha üretiminde kullanılan ve yurtdışından hazır olarak satın alınan SIRIONO kimyasalıdır. Siriono kimyasalına ait özellikler aşağıda Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Siriono kimyasalı özellikleri

Özellikler	Değerler
Görünüm	Berrak
Yoğunluk (g/cm ³)	1,30 ±0,02
Koku	Karakteristik ürün
Renk	Renksiz Sıvı
pH	6.0-7.0
Kaynama Noktası (°C)	>110
Suda Çözünme	Tamamen karıştırılabilir
Ayrışma Sıcaklığı (°C)	>180

Kullanılan diğ er kimyasal ise borik asit olup, farklı oranlarda kullanılmış tır. SIRIONO ve borik asit kimyasalı bir firmadan hazır olarak alınmış tır. Borik asit kimyasalına ait teknik özellikler Tablo 3.4'te verilmiş tir.

Tablo 3.4: Borik asit özellikleri

Özellikler	Değerler
Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2,71
Molekül Ağırlığı (g/mol)	1,30 ±0,02
Erime Noktası (°C)	434,6
Çözünürlük	Suda az çözünür.
B ₂ O ₃	%46,80 - 49,20
ZnO	%36,30 - 38,70
Boyut (µm)	10 max

3.2 METOT

3.2.1 Yongalama

Bu çalışmada kullanılacak odun hammaddesini laboratuvar şartlarında homojen olarak hazırlamak mümkün olmadığından yongalar bir firmadan hazır olarak temin edilmiş tir.

3.2.2 Eleme

Levha üretiminde kullanılan yongalar farklı boyutlarda olduğundan ve içerisinde istenemeyen maddeler bulunabileceğ inden 20x20 mm boyutlarındaki bir elek ile elenmiş tir. Elek altına geçen ince yongalar levha alt ve üst yüzeylerinde, elekten geçmeyip kalan büyük yongalar ise levhanın orta katmanında kullanılmak üzere sınıflandırılmış tir. Mevcut taslağ ın %60'ı orta katman, %20'si alt ve arda kalan %20'si üst katman (yüzey) yongaları oluşturacak şekilde hazırlanmış tir.

3.2.3 Kurutma

Dışarıdan hazır olarak alınan bu yongalar ortalama %15 rutubete sahip olduğundan mevcut hali ile levha üretimine uygun değildir. Çünkü, bu şekilde yüksek rutubet derecesindeki yonga tutkallandığında rutubet çok daha fazla yükselecek ve sıcak presleme işleminde problemlere sebebiyet verecektir. Sıcak presleme esnasında rutubet sebebiyle oluşabilecek olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla yongalar orta ve yüzey tabakaları olarak ayrı ayrı kurutmaya maruz bırakılmıştır.

Yongalar 120 °C sıcaklığa sahip etüv içerisinde kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Yaklaşık 4 saat sonunda yongalar istenen %1-3 rutubet değerine ulaşmıştır. Kurutma işlemi yongaların ince seyrek serilmesi ile kolaylaştırılmıştır. Ayrıca bu sayede homojen bir kuruma sağlanmıştır.

3.2.4 Tutkallama ve Yanma Geciktirici İlavesi

Tutkallama amacıyla %50 katı madde oranına sahip melamin üre formaldehit reçinesi tercih edilmiştir. MUF tutkalı içerisindeki melamin oranı %13 dür. Tutkal içerisine sertleştirici olarak %1 oranında %20 katı madde oranlı amonyum klorür çözeltisi karıştırılmıştır. Kullanılacak tutkal miktarı hesaplanırken tam kuru yonga ağırlığı baz alınmıştır.

Yongaların tutkallanması 2 aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada bir miktar tutkallama yapılarak yongalar rutubetlendirilmiştir. Sonrasında belirlenen orandaki toz borik asit yongalarla muamele edilmiştir. Bu sayede kuru yonga içerisine toz borik asit verildiğinde dibe çökme ve homojen karışmama sorunu ortadan kaldırılmıştır. İkinci aşamada da son tutkallama işlemi yapılmıştır.

3.2.5 Serme ve Ön Presleme

Taslağın oluşturulmasında 52x52 cm ebatlarında kalıp kullanılmıştır. Yonga serme işlemi el ile yapılmıştır. Levha taslağının %60'lık kısmı orta tabaka ve %40'lık kısmı yüzey tabakaları olacak şekilde serme işlemi yapılmıştır.

En alta 2 mm. kalınlığındaki pres sacı, sacın yapışmasını önlemek amacıyla üzerine yanmaz

kâğıt konularak alt tabaka el ile serilmiştir. Sonrasında sırasıyla orta katman ve üst katman yongaları serilmiştir. Serme işlemi tamamlandıktan sonra oluşturulan taslak formun bozulmasını önlemek amacıyla ahşap kalıp ile el yardımı ile basınç uygulanarak ön presleme işlemi yapılmıştır. Ön presleme işleminden sonra kalıp yavaşça kaldırılmış ve yine üst tarafa yanmaz kâğıt ve onun da üstüne 2 mm. kalınlığındaki pres sacı yerleştirilmiştir.

3.2.6 Sıcak Presleme

Taslağın sıcak preslenmesi işleminde elektrik ısıtmalı ve hidrolik yağ basınçlı bir pres kullanılmıştır. Pres 180 bar basınç kapasiteli ve 60x60 cm boyutlarında çelik plakalara sahiptir. Pres hidrolik basıncı 40-45 kg/cm², presleme süresi 4,5-5 dakika ve alt üst plaka sıcaklığı 180±5 °C olacak şekilde ayarlanmıştır.

Pres içerisinde kalınlığın fazla düşmesini önlemek amacıyla çelik kalınlık çitaları kullanılmıştır. Toplamda 4 kenarda olmak üzere 18,20 mm. kalınlığında kalınlık profilleri kullanılmıştır. Deneme levhalarının üretiminde baz alınan kriterler ve parametreler Tablo 3.5'te yer almaktadır.

Tablo 3.5: Deneme levhalarına ait üretim parametreleri

Levha Kalınlığı (mm)	18
Levha Yoğunluk (g/cm ³)	0,66
Levha ebatları (mm)	520x520
Orta tabaka Oranı (%)	60
Alt-Üst tabaka Oranı (%)	20-20
Pres basıncı (N/cm ²)	2,5-3,5
Pres sıcaklığı (°C)	170-180
Presleme süresi (dakika)	5

3.2.7 Soğutma

Sıcak presten çıkan levhaların soğumadan üst üste konulması levha fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Levhaları mümkün olduğunca tedrici ve homojen soğutulması önemlidir. Direkt hava akımı, rüzgâr, vb. olumsuzlara maruz bırakılmamalıdır. Bu sebeple levhalar 18 mm. Kalınlığındaki çıtalar üzerine yerleştirilmiştir. Her levha arasına da hava akımını sağlamak amacıyla tekrar 18 mm. Kalınlığında 4 adet çıta yerleştirilmiştir.

Ortam şartlarında soğumasını tamamlayan levhalar, 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nemdeki Weiss marka iklimlendirme kabinine konulmuştur. Kabin içerisinde numuneler bir hafta süre ile klimatize edilmiştir.

3.2.8 Zımparalama

Presten çıkan levhaların yüzeyleri düzgün olmadığından ve kalınlıkları homojen olmadığından zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemi tam otomatik EMC Mercury 1100 kalibre zımpara makinesinde yapılmıştır. Zımparalama işlemi sonunda levhalar homojen kalınlık değerine getirilmiştir.

3.2.9 Test Numunelerini Hazırlama

Üretilen levhaların fiziksel ve mekanik testlerini yapabilmek için boyutlandırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem öncesinde kesilecek tüm parçaların numaralandırılması yapılmıştır. Numaralara uygun olarak kesilen parçalar sırasıyla ilgili teste tabi tutulmuştur. Deney amaçlı; yoğunluk, rutubet, yüzey yoğunluk, eğilme dayanımı, elastikiyet modülü, yüzey sağlamlığı, yüzeye dik çekme, kalınlığa şişme ve su alma test numuneleri hazırlanmıştır. Deneme levhalarına ait özet plan tablosu aşağıda verilmiştir. Yapılan denemelere ve hazırlanan deney levhalarına ait özet bilgiler aşağıda Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Deneme levhalarına ait özet plan

Levha Grubu	MUF (Orta/Alt-Üst Tabaka) (%)	Borik Asit (Orta/Alt-Üst Tabaka) (%)	Levha Sayısı	Toplam Levha Sayısı
A	9/12	10/20	3	15
		10/25		
		15/20		
		15/25		
		20/25		
B	12/15	10/20	3	15
		10/25		
		15/20		
		15/25		
		20/25		
C	15/18	10/20	3	15
		10/25		
		15/20		
		15/25		
		20/25		
D (Ticari yanma geciktirici)	Belirlenen optimum oran	Belirlenen optimum oran	3	3
E Kontrol	Belirlenen optimum oran	---	3	3
F (ÜF tutkalı)	Belirlenen optimum oran	Belirlenen optimum oran	3	3
G (Ticari yanma geciktiricili levha)	Piyasadan temin edilecek			
Toplam üretilecek levha sayısı				54

3.2.10 Test Numunelerini Kondüsyonlama

Yapılacak fiziksel ve mekanik testlere uygun olacak boyutta numuneler kesildikten sonra TS EN 326- standardına uygun olarak numunelere kondüsyonlama işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla, numuneler 20 ± 2 °C sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nemdeki Weiss marka iklimlendirme kabineye konulmuştur. Numunelerin değişmez kütleyle ulaşması beklenmiştir.

3.3 Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Tayini

Yonga levhaların kullanım yerine ve amacına uygunluğunu belirlemek amacıyla bazı test metotları kullanılmaktadır. Burada hem fiziksel hem de mekanik özelliklere bakılmaktadır.

3.3.1 Fiziksel Özellikler

Levhaların fiziksel özellikleri bir firmanın ar-ge laboratuvarında yapılmıştır. Test edilen özellikler; yoğunluk, yüzey yoğunluk, rutubet, kalınlığa su alma ve kalınlığa şişme deneyleridir.

3.3.1.1 Yoğunluk

TS EN 323 standardına uygun olarak yoğunluk yani özgül kütle tayini yapılmıştır. Örnekler 50x50x18 mm. olacak şekilde hazırlanmıştır. Testler IMAL IB800 universal test cihazında yapılmıştır. Test cihazında otomatik olarak uzunluk, genişlik, kalınlık, yoğunluk ölçümleri hesaplanmıştır. Numunelerin yoğunluk değerleri eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$d = \frac{m}{(a * b * c)} \times 10^3 \quad \left(\frac{g}{cm^3}\right) \quad (1)$$

Formülde;

d: Özgül kütle (gr/cm³)

m: Numune kütlesi (gr)

a: Numune eni (mm)

b: Numune boyu (mm)

c: Numune kalınlığı (mm)

3.3.1.2 Su Alma ve Kalınlığına Şişme

Levha ağırlığına su alma (SA) ve levha kalınlığına şişme (KŞ) deneyleri TS EN 317 test standardına uygun olarak yapılmıştır. Parçaların ağırlıkları Mettler Toledo marka hassas terazide tartılmış ve kalınlık ölçümleri ise mitutoyo marka dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Numuneler 20±2°C sıcaklıkta ve yüzeyden 25 mm altta olacak şekilde suya batırılmıştır. 2 ve 24 saat sonra sudan dışarı alınıp bir bez yardımı ile levhadan süzülen su uzaklaştırılmıştır. 2 ve 24 saat sonunda numunelerin hem ağırlıkları hem de kalınlıkları ölçülmüştür. Ağırlık su alma oranını belirlemede, kalınlık ise kalınlığına şişme oranını belirle-

mede kullanılmıştır. Su alma ve kalınlığına şişme hesaplaması eşitlik 2'ye göre göre yapılmıştır.

$$K.A.O=(K2- K1)/K1*100 \quad (2)$$

Burada;

K.A.O: Kalınlıktaki artış oranı (%)

K2: İlk Kalınlık (mm)

K1: Su muamelesi sonrası kalınlık (mm)

$$S.A.O=(A2- A1)/A1*100$$

Burada;

S.A.O: Ağırlıktaki artış oranı (%)

A2: İlk ağırlık (gr)

A1: Su muamelesi sonrası ağırlık (gr)

3.3.1.3 Rutubet

Rutubet miktarının belirlenmesinde TS EN 322 standardı esas alınmıştır. Parçaların ağırlıkları Mettler Toledo marka hassas terazide (± 0.01) hassasiyetle ölçülmüştür. Rutubet değerinin belirlenmesi için 50x50 mm. boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. ve 20 ± 2 C sıcaklıktaki ve 65 ± 5 bağıl neme sahip Weiss marka test kabiniinde değişmez kütleye gelene dek bekletilmiştir. Numunelerin rutubet miktarları aşağıdaki formülasyona göre hesaplanmıştır.

$$R.T= (\u00c7.A-S.A.)/S.A. X 100$$

Formülde;

R.T: Rutubet miktarı (%)

\u00c7.A: İklimlendirme sonrası ağırlık (gr)

S.A: Kurutma sonrası (gr)

3.3.1.4 Yüzey Yoğunluk

Levha gruplarının yüzey başka bir deyişle dikey yoğunluk tayininde 50*50 mm. ebatlarında numuneler kesilmiştir. ve 20±2 °C sıcaklıktaki ve %65±5 bağıl neme sahip Weiss marka test kabininde değişmez kütleyle gelene dek bekletilmiştir. Yüzey yoğunluk deneyi Grecon Dax 6000 density profiler marka test cihazında yapılmıştır. Bu cihazda dikey konumda duran levhalara üst yüzeyden alt yüzeye kadar X ışınları gönderilerek bir grafik profili çıkarılmaktadır. Bu grafikte özellikle üst yüzey, alt yüzey ve orta yoğunluk değerleri önemlidir. Bu grafik sayesinde levhanın fiziksel ve mekanik değerlerinin iyi ya da kötü çıkacağı tahmin edilebilmektedir.

3.3.2 Mekanik Özellikler

Yonga levhalar, kullanım amaçlarına ve kullanım yerlerine uygun olarak bazı mekanik testlere karşı dirençli olması beklenmektedir. Bu tez çalışmasında yüzeye dik çekme direnci, eğilme dayanımı, elastikiyet modülü direnç/mukavemet sayısal sonuçları ortaya konulmuştur. Bu testlerin yapımında IMAL IB800 marka universal test cihazı kullanılmıştır.

3.3.2.1 Eğilme dayanımı

Eğilme mukavemeti sayısal sonuçlarının ortaya konulmasında, TS EN 310 standardı esas alınmıştır. Numuneler dikdörtgen olup, 50 mm genişliğindedir. Numune uzunluğu ise levha anma kalınlığının 20 katı±50 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Testler IMAL IB800 universal test cihazında yapılmıştır. Test cihazında otomatik olarak uzunluk, genişlik, kalınlık, yoğunluk ve eğilme mukavemeti sonuçları hesaplanmıştır. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri aşağıdaki formülasyona göre hesaplanmıştır.

$$E = \frac{3 * F_{Max} * M}{2a * b^2}$$

Burada;

E: Eğilme dayanımı (N/mm²)

F Maks: En büyük kuvvet (N)

M: Mesnet mesafesi (mm)

a: Numune en (mm)

b: Numune kalınlık (mm)

3.3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme elastikiyet modülü değerlerinin ortaya konulmasında, TS EN 310 standardı esas alınmıştır. Numuneler dikdörtgen olup, 50 mm genişliğindedir. Numune uzunluğu ise levha anma kalınlığının 20 katı±50 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Testler IMAL IB800 universal test cihazında yapılmıştır. Test cihazında otomatik olarak uzunluk, genişlik, kalınlık, yoğunluk ve eğilme mukavemeti sonuçları hesaplanmıştır. Numunelerin eğilme dayanımı değerleri aşağıdaki formülasyona göre hesaplanmıştır.

$$E = \frac{P \times L^3}{4a \times b^3 \times f}$$

E: Elastikiyet modülü (N/mm²)

P: Yük (N)

L: Mesnetler arası açıklık (mm)

a: Numune kalınlığı (mm)

b: Numune genişliği (mm)

f : Sehim (mm)

3.3.2.3 Yüze Dik Çekme Direnci

Bu test TS EN 319 standartlarına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Numune ebatları 50x50 mm olup, numuneler ağırlıkları değişmez duruma ulaşıncaya kadar %65±5 nispi nem ve 20±2 °C sıcaklıkta muamele edilmiştir. Klimatize edilen numuneler daha sonra 50*50 mm boyutlarındaki metal aparat bloklarına sıcak silikon yardımıyla yapıştırılmıştır. Aparatları yapıştırılan numuneler tekrar iklimlendirme test kabinine konulmuştur. Daha sonra test amaçlı çıkarılan numuneler test cihazına bağlanmıştır. Deneylerin yapımında IMAL IB800 marka universal test cihazı kullanılmıştır. Yüze dik çekme direnci değerleri aşağıdaki formülasyona göre hesaplanmıştır.

$$\text{Ç.K} = F / (U * G) \quad \text{N/mm}^2$$

Formülde;

Ç.K: Yüzeye dik çekme direnci (N/mm²)

F: Max. Koparma kuvveti (Newton)

U: Numune uzunluğu (mm)

G: Numune genişliği (mm)

3.3.2.4 Yüzey Sağlamlığı

TS EN 311 (1999) esaslarına uygun olarak test yapılmıştır. 50x50 mm boyutlarındaki zımparalanmış deney numuneleri alt ve üst yüzeylerinin tam ortasından iç çapı 35.7 mm (10cm²), derinliği 0.3±0.1 mm olan oyuk freze ile açılmıştır. Deney örnekleri %65±5 nispi rutubet ve 20±2 °C sıcaklıkta klimatize edilerek metal mühür tutkal yardımıyla yüzeye yapıştırılmıştır. Deney numunesinin yüzeyden kopma kuvveti %1 hassasiyetle ölçülmüş aşağıdaki formül ile yüzey sağlamlığı hesaplanmıştır.

$$Y = \frac{F}{A * B} N/mm^2$$

Y: Yüzey sağlamlık değeri (N/mm²)

F: En büyük kopma kuvveti (N)

A: Numune Genişliği (mm)

B: Numune Uzunluğu (mm)

3.3.2.5 Yanma Dayanım Testi

Yanma dayanım testlerinde birbirinden farklı olan 2 metot kullanılmıştır. Bunlardan birincisi konik kalorimetre test yöntemidir. Bu test bağımsız bir test laboratuvarına yaptırılmış olup, optimum olan varyasyonu ortaya koymak için kullanılmıştır. Sonraki süreçte ise, ASTM E69 (2007) test metodu kullanılmıştır. Yangın sınıflarına ait açıklama aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 3.7: Yapı malzemeleri yangın sınıfları

A1:	Hiçbir şekilde yangına katkıda bulunmayan malzemeler.
A2:	Yangına aşırı derecede sınırlı boyutlarda katkıda bulunan malzemeler.
B:	Yangına çok sınırlı boyutlarda katkıda bulunan malzemeler.
C:	Yangına sınırlı boyutlarda katkıda bulunan malzemeler.
D:	Yangına makul boyutlarda katkıda bulunan malzemeler.
E:	Yangına karşı tepki performansı kabul edilebilir olan malzeme.
F:	Yangına karşı tepki performansı belirlenemeyen malzeme.

Tablo 3.8: İlave yangın sınıflandırmaları duman gazı üretimi

S1:	Duman gazı üretimi çok sınırlı.
S2:	Duman gazı üretimi sınırlı.
S3:	Duman gazı üretimi S1 ve S2 sınıflarının gerekliliklerini karşılamayan.

Tablo 3.9: İlave yangın sınıflandırmaları damlacık teşekkülü

d0:	Alev damlacıkları veya parçacıkları meydana gelmeyen.
d1:	Alev damlacıkları veya parçacıkları çabucak sönen.
d2:	Alev damlacıkları veya parçacıklarının teşkili d0 ve d1 sınıflarının gerekliliklerini karşılamayan.

Piyasada kullanılan ticari yanma geciktiricili levhalar yangın sınıfı açısından Tablo 3.6'da B sınıfına, duman gazı üretimi yönünden tablo 3.7'de S1 sınıfına ve damlacık teşekkülü yönünden ise Tablo 3.8'de d0 yangın sınıfını karşılamaktadır.

Konik Kalorimetre test yöntemi, ısı yayılım hızını (HRR), duman salınımını, ateşleme ya da tutuşma süresini, oksijen tüketimini, karbon monoksit ve karbon dioksitin ortaya çıkışını ve numunedeki kütle kaybı oranını ölçer. ASTM E-1354 ve ISO 5660 standartlarına uygun olarak üretilmiştir. Teste tabi tutulacak numuneler 100 mm x 100 mm ölçülerindedir. Harici ısı akışı olarak orta ölçekli bir yanma senaryosuna uygun olan 50 kW/m² uygulanır ve her test en az üç defa tekrarlanarak ortalama değer alınır. Kütle kaybı, sıcaklıklar, duman ve CO

retimi kaydedilerek, ısı yayılım hızı (HRR) ve toplam ısı yayılımı (THR) değerleri ölçümlere bağlı olarak hesaplanmaktadır.

ASTM E69 (2007) test metodunda ise, deney numuneleri test öncesinde $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağlı nem şartlarında klimatize edilir. $19\text{mm}\times 1016\text{mm}\times 18\text{mm}$ (genişlik \times uzunluk \times levha kalınlığı) boyutlarındaki numuneler yanma bacasının üst kısmından aşağı doğru sarkıtılarak deney gerçekleştirilir. Deney düzeneği alev yüksekliği 25 cm, sıcaklık 1000°C 'yi geçmeyecek şekilde hazırlanacak olup, her 60 saniyede bir ağırlık kaybı, sıcaklık değişimi ve O₂ ve CO gazların ölçümü kaydedilmektedir. Deney süresi alev kaynaklı yanma (4dk.) ve kendi kendine yanma (6dk.) olmak üzere toplam 10 dk. dır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Fiziksel Özelliklere İlişkin Bulgular

Fiziksel özelliklerden özellikle yoğunluk, kalınlığına % şişme ve su alma, rutubet, yüzey yoğunluk gibi testler yapılmıştır.

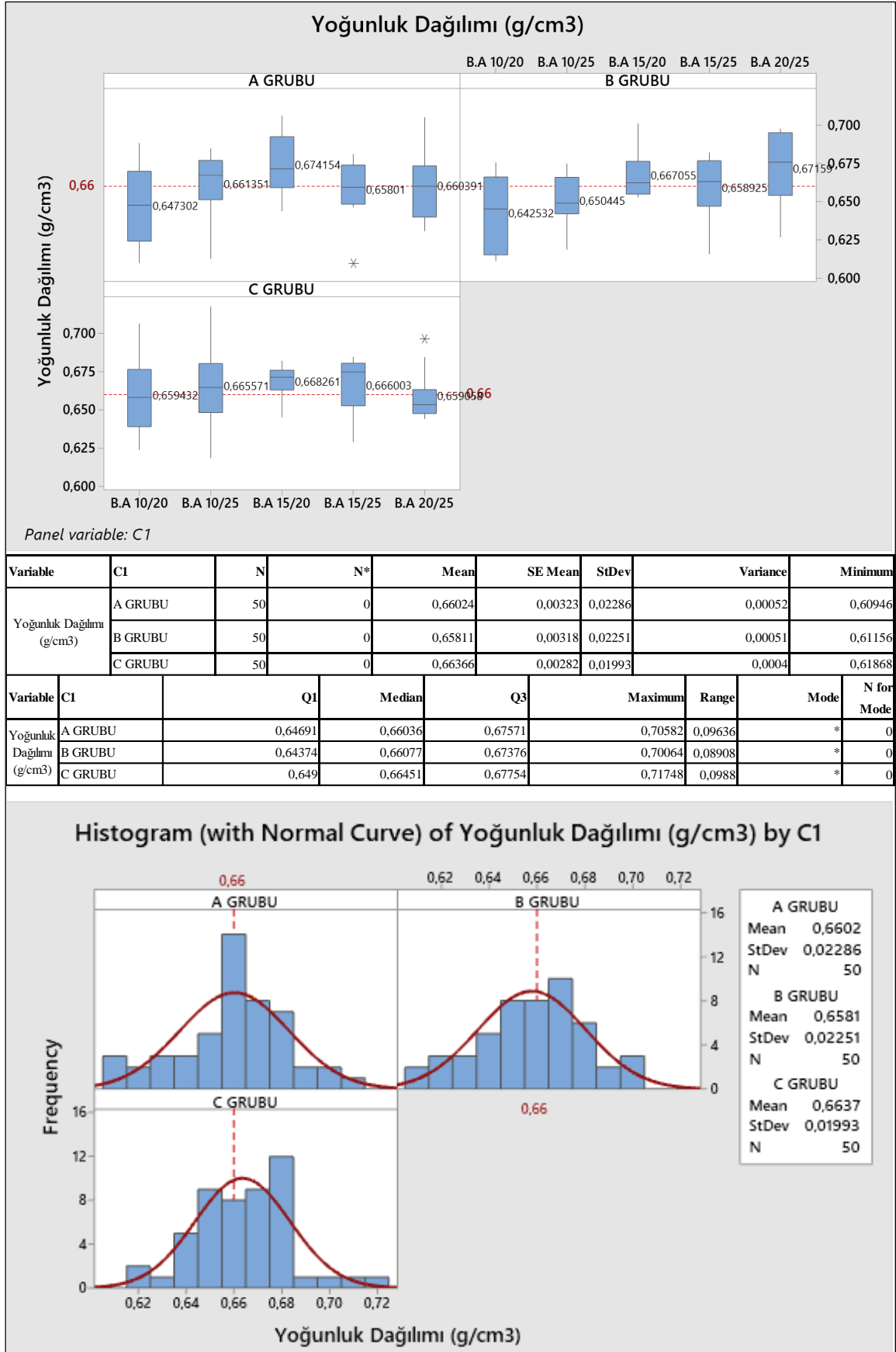
4.1.1 Yoğunluk

Yapılan yoğunluk testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıda tablo 4.1’de verilmiştir. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Her bir kombinasyonda yapılan yoğunluk ölçümünde 11 adet numune kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Ortalama yoğunluk test sonuçları

<i>Deney Numuneleri</i>		<i>Ortalama Yoğunluk (g/cm³)</i>
A GRUBU	B.A 10/20	0,65
	B.A 10/25	0,66
	B.A 15/20	0,67
	B.A 15/25	0,66
	B.A 20/25	0,66
B GRUBU	B.A 10/20	0,64
	B.A 10/25	0,65
	B.A 15/20	0,67
	B.A 15/25	0,66
	B.A 20/25	0,67
C GRUBU	B.A 10/20	0,66
	B.A 10/25	0,67
	B.A 15/20	0,67
	B.A 15/25	0,67
	B.A 20/25	0,66

Tüm deney gruplarında ortalama $0,66 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk değeri hedeflenmiştir. Test sonuçlarına bakıldığında hedeflenen değerin yakalandığı görülmüştür. En düşük ortalama yoğunluk değeri $0,64 \text{ g/cm}^3$ ve en büyük ortalama yoğunluk değeri ise $0,67 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1: Yoğunluk dağılımı

Şekil 4.1'e bakıldığında; gruplar arasındaki ortalama yoğunlukların merkezde toplandığı, standart sapmaların ve değişkenliklerin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Yoğunluklarda hedeflenen değerler yakalanmıştır.

4.1.2 Su Alma ve Kalınlığına Şişme

Yapılan su alma ve kalınlığına şişme testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıda tablo 4.2'de verilmiştir. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda su alma ve kalınlığına şişme oranları ölçülmüştür. Her bir kombinasyonda yapılan ölçümlerde 10 adet numune kullanılmıştır.

Tablo 4.2: Kalınlığına şişme ve su alma test sonuçları

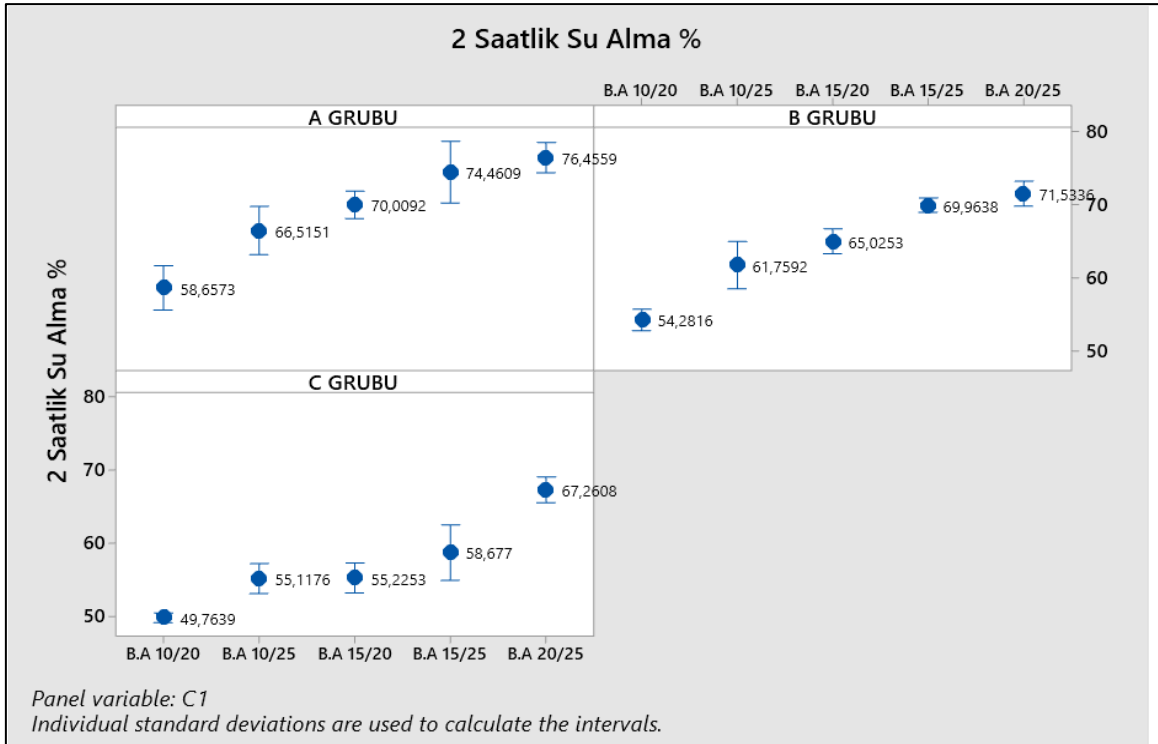
<i>Deney Numuneleri</i>		<i>2 Saat Su Alma (%) Ortalama</i>	<i>24 Saat Su Alma (%) Ortalama</i>	<i>2 Saat Kalınlığına Şişme (%) Ortalama</i>	<i>24 Saat Kalınlığına Şişme (%) Ortalama</i>
A GRUBU	B.A 10/20	58,66	69,29	2,62	5,63
	B.A 10/25	66,52	73,49	3,59	5,79
	B.A 15/20	70,01	76,81	6,81	8,52
	B.A 15/25	74,46	78,70	8,46	9,29
	B.A 20/25	76,46	88,87	10,92	12,11
B GRUBU	B.A 10/20	54,28	65,52	2,99	3,97
	B.A 10/25	61,76	68,37	4,65	6,72
	B.A 15/20	65,03	71,80	6,39	9,11
	B.A 15/25	69,96	77,19	7,85	11,13
	B.A 20/25	71,53	78,06	10,15	13,54
C GRUBU	B.A 10/20	49,76	45,39	1,83	1,98
	B.A 10/25	55,12	46,92	3,17	4,12
	B.A 15/20	55,23	55,08	4,77	6,89
	B.A 15/25	58,68	57,54	6,89	8,86
	B.A 20/25	67,26	64,26	9,49	11,36

Tablo 4.2'de yer alan verilere bakıldığında tüm deney gruplarında 24 saatlik kalınlığına

şişme oranında \leq % 12 oranı yakalanmıştır. Tutkal ilavesi arttıkça hem su alma hem de kalınlığına şişme oranında iyileşme olduğu, borik asit ilavesi arttığında ise tam tersi su alma ve kalınlığına şişme oranlarında kötüleşme olduğu görülmüştür.

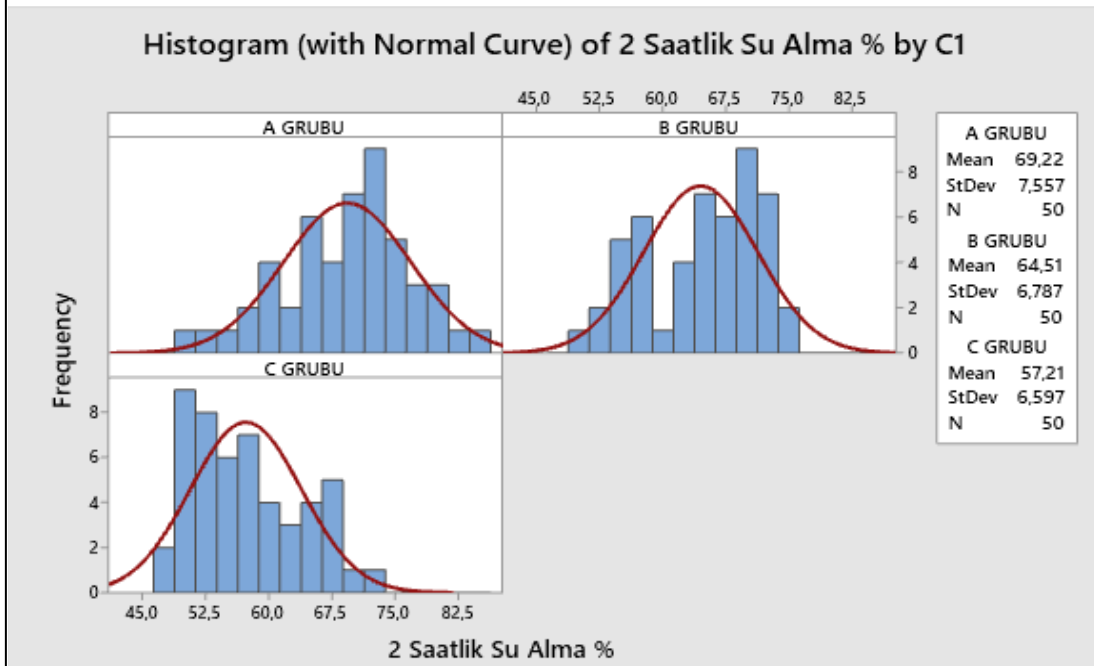
4.1.2.1 Su Alma Oranı (2 saat)

2 saatlik % su alma test sonuçlarına ait veriler aşağıda şekil 4.2’de grafiksel ve istatistiksel olarak paylaşılmıştır.



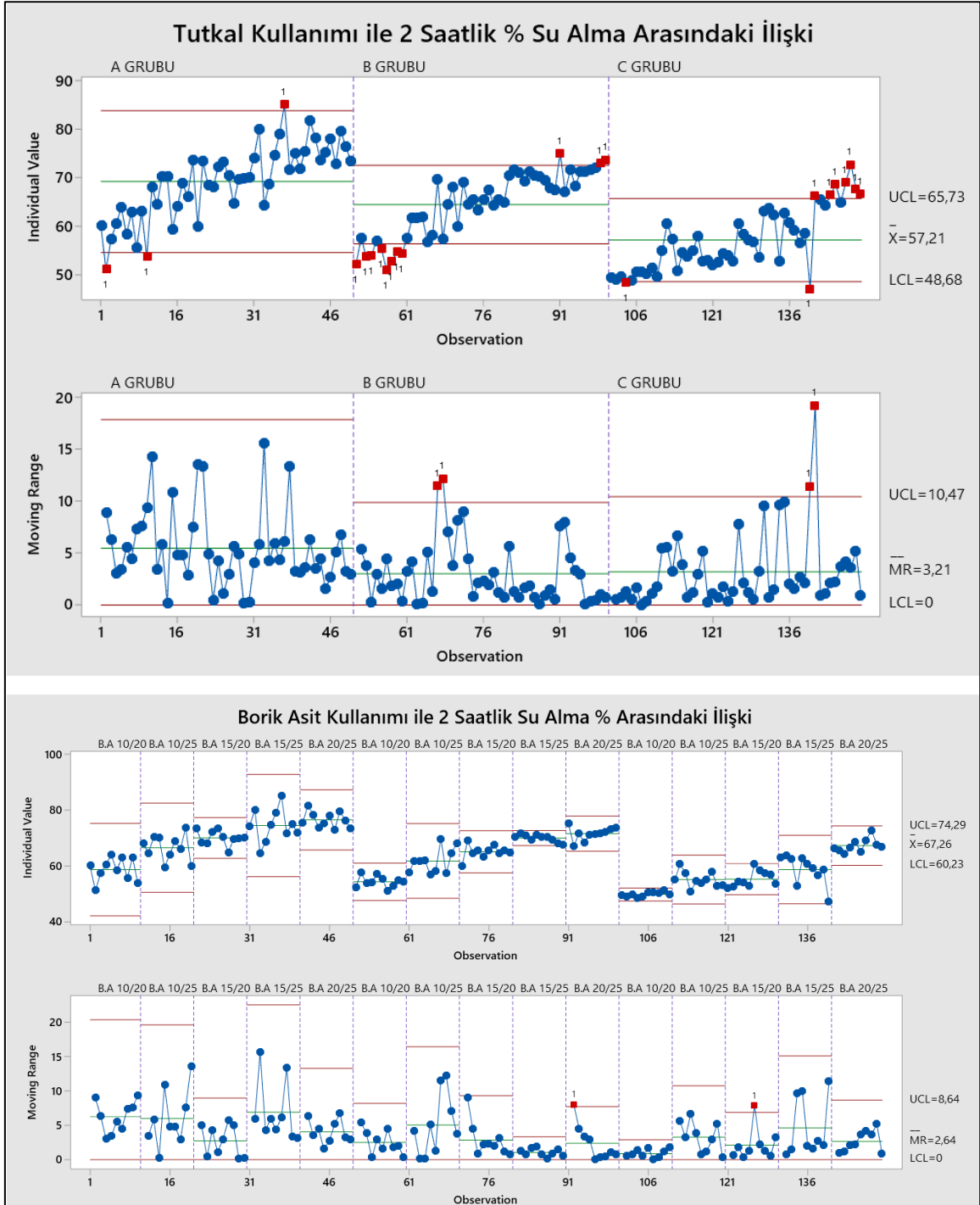
Variab le	C1	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1
2 Saatlik Su Alma %	A GRUBU	50	0	69,22	1,07	7,56	57,1	51,12	64,07
	B GRUBU	50	0	64,513	0,96	6,787	46,057	50,935	57,61
	C GRUBU	50	0	57,209	0,933	6,597	43,526	47,136	51,81

Variab le	C1	Median	Q3	Maximum	Range	Mode	N for Mode
2 Saatlik Su Alma %	A GRUBU	70,13	74,28	85,1	33,98	*	0
	B GRUBU	65,564	70,47	75,144	24,209	*	0
	C GRUBU	55,772	62,795	72,773	25,637	*	0



Şekil 4.2: İki saatlik su alma sonuçlarının gruplara göre dağılımı

Şekil 4.2’de yer alan grafiklere bakıldığında; borik asit ilavesi ile birlikte 2 saatlik % su alma oranının artış gösterdiği görülmüştür. Grup bazında en iyi sonuç C grubuna (O.T:%15-Y.T:%18) aittir. Tüm 2 saatlik % su alma ortalamalarının standartlar dahilinde olduğu görülmüştür.

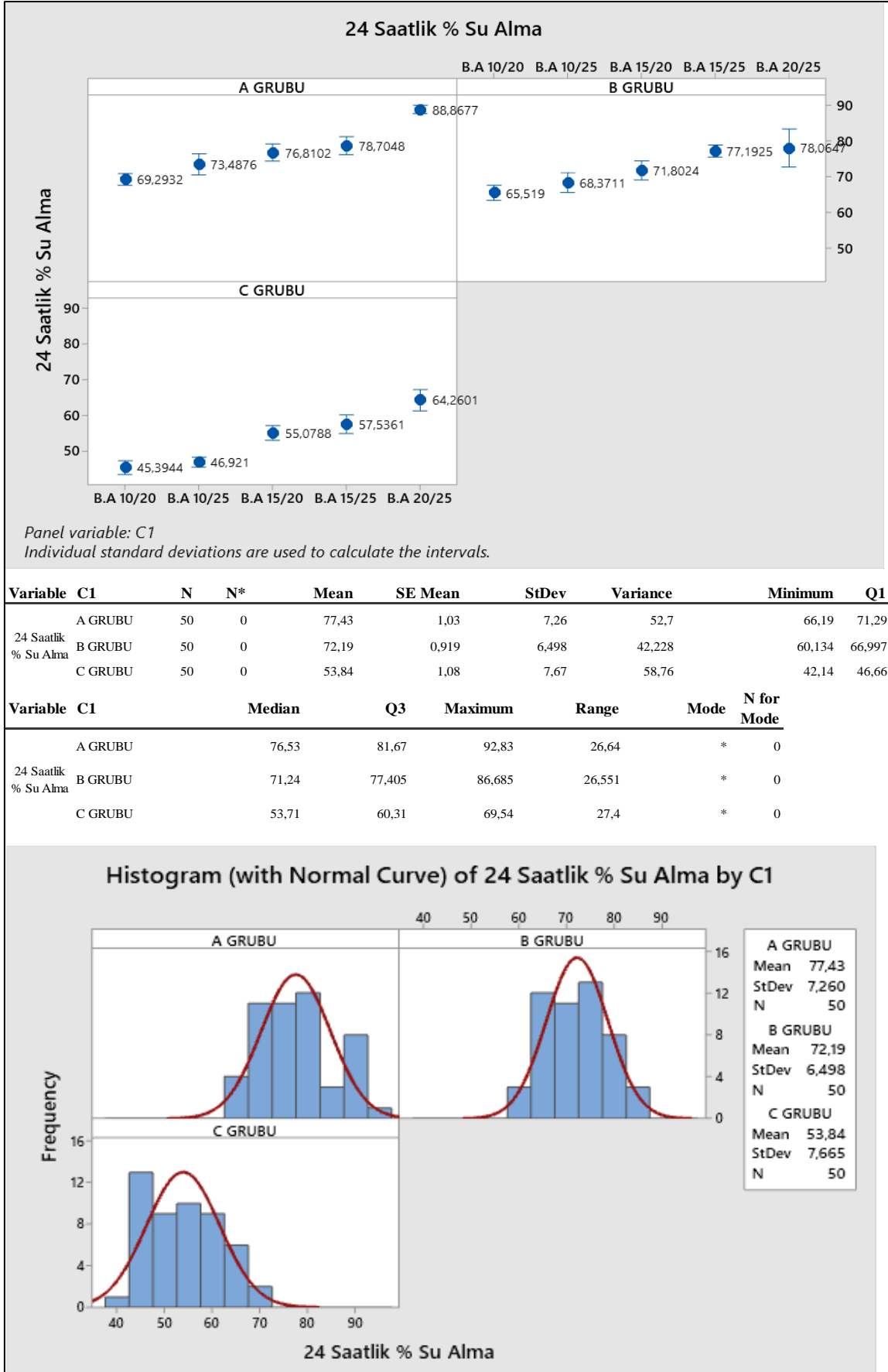


Şekil 4.3: İki saatlik su alma sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.3’de yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça 2 saatlik % su alma oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin azaldığı görülmektedir. Verilerdeki max.-min farklar en az C grubundadır. Gruplar arasında borik asit kullanımını arttıkça % su alma oranındaki artış dikkat çekmektedir.

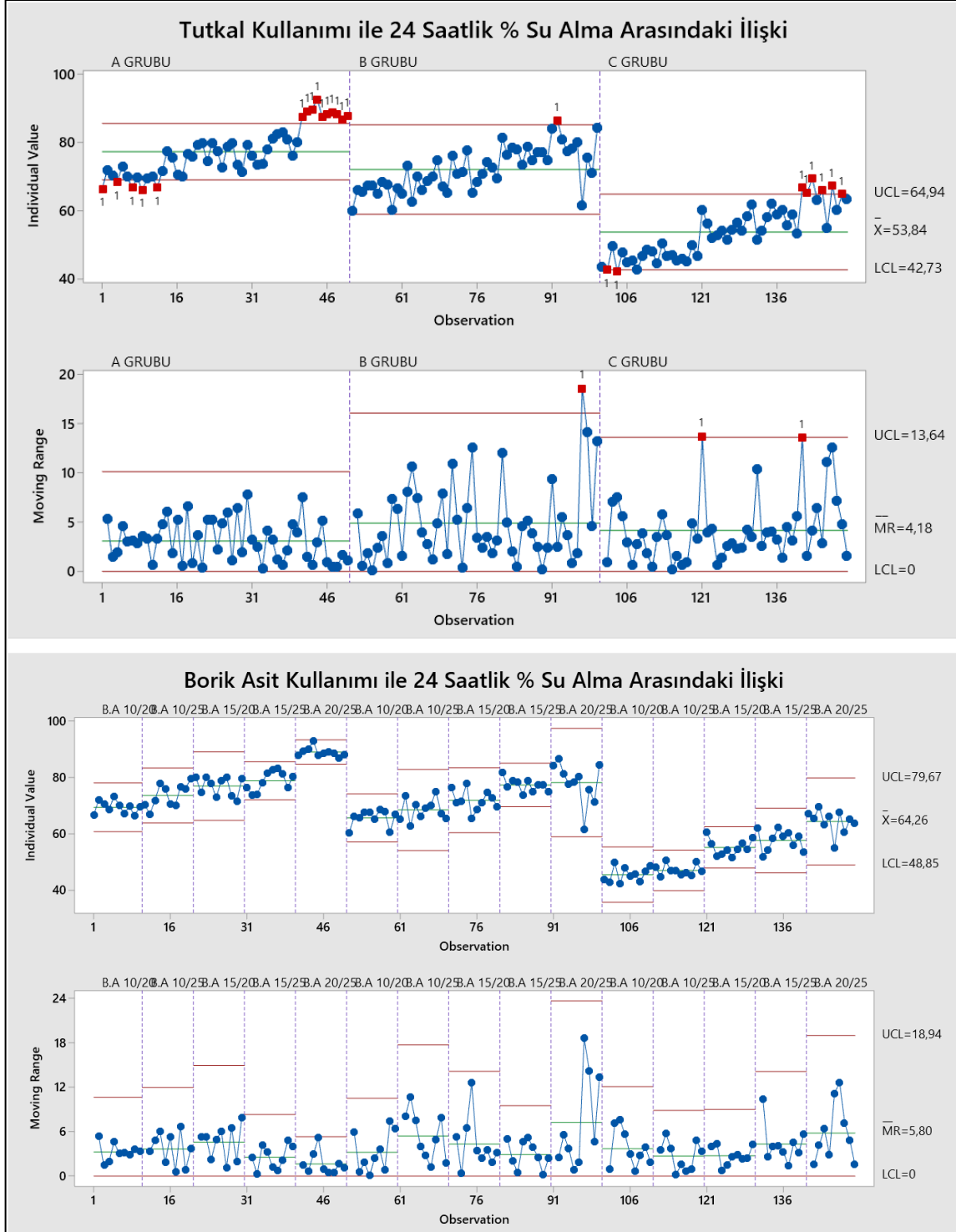
4.1.2.2 Su Alma Oranı (24 saat)

24 saatlik % su alma test sonuçlarına ait veriler aşağıda grafiksel ve istatistiksel olarak paylaşılmıştır.



Şekil 4.4: Yirmi dört Saatlik % su alma sonuçlarının gruplara göre dağılımı

Şekil 4.4’de yer alan grafiklere bakıldığında; borik asit ilavesi ile birlikte 24 saatlik % su alma oranının artış gösterdiği görülmüştür. Grup bazında en iyi sonuç C grubuna (O.T:%15-Y.T:%18) aittir. Tüm 24 saatlik % su alma ortalamaları standartlar dahilindedir.

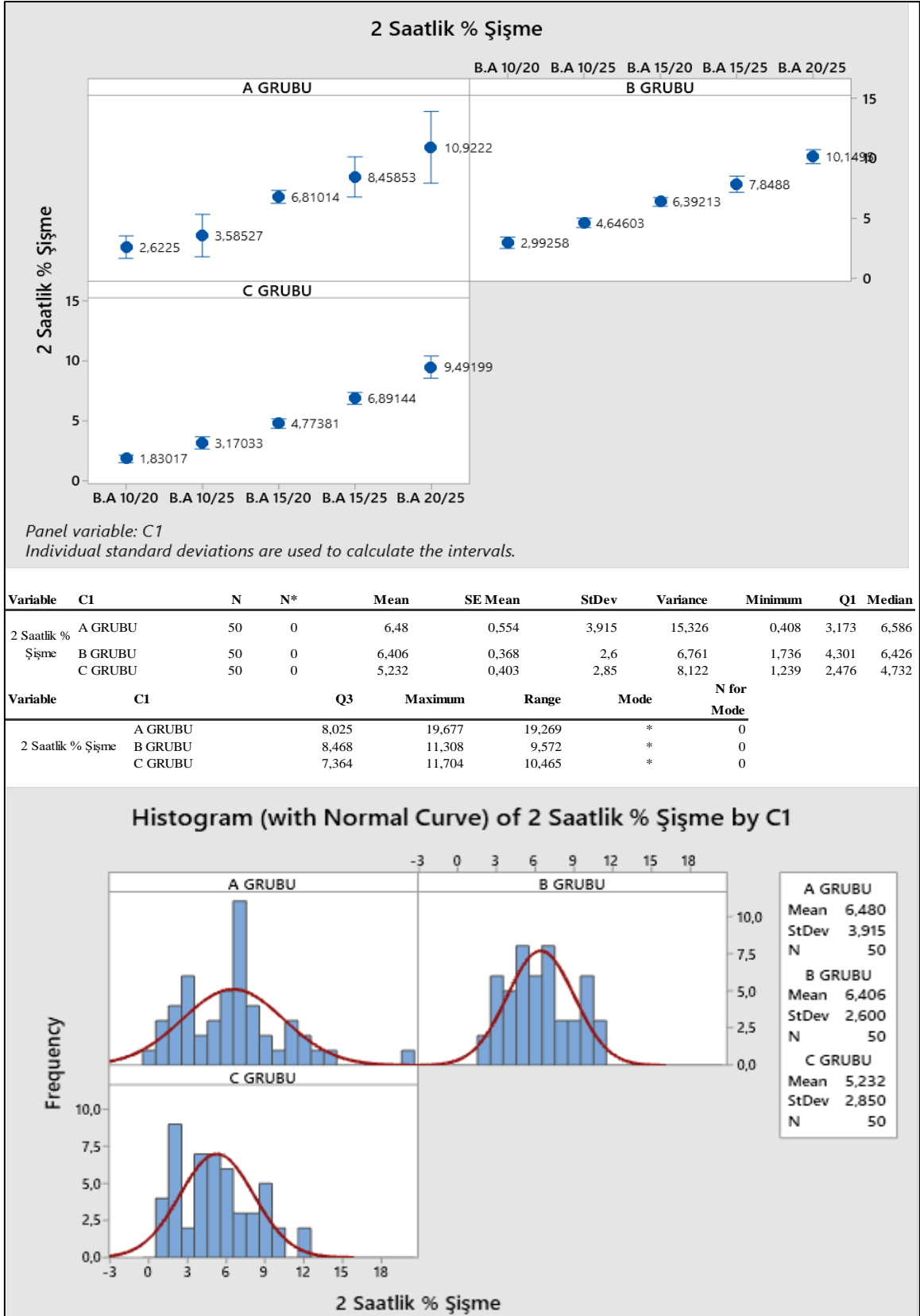


Şekil 4.5: Yirmi dört saatlik su alma sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.5'te yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça 24 saatlik % su alma oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin arttığı görülmüştür. Verilerdeki max.-min farklar en az A (O.T:%9-Y.T:%12) grubundadır. Gruplar arasında borik asit kullanımını arttıkça 24 saatlik % su alma oranındaki artış dikkat çekmektedir.

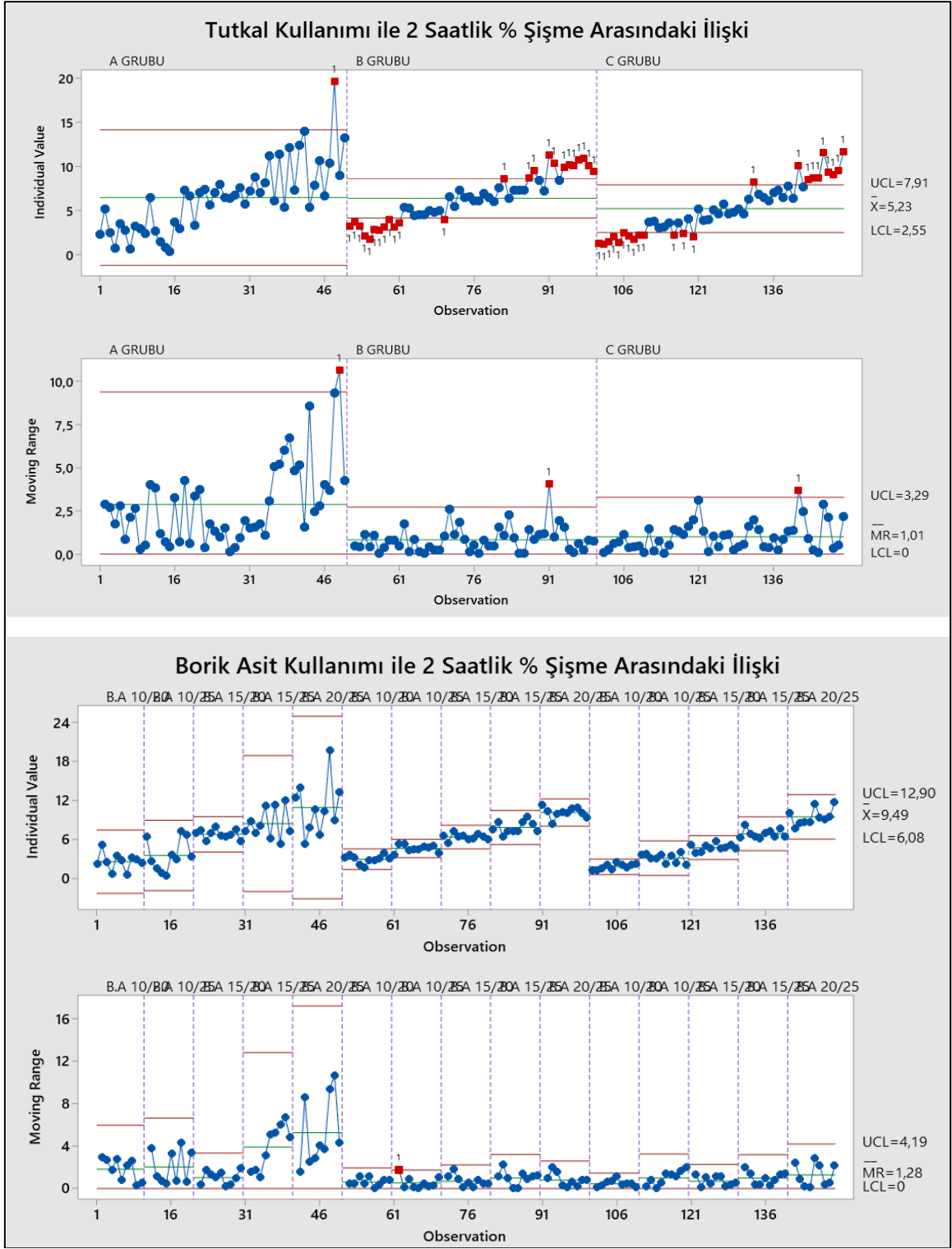
4.1.2.3 Kalınlığına Şişme Oranı (2 saat)

2 saatlik % kalınlığına şişme test sonuçlarına ait veriler aşağıda grafiksel ve istatistiksel olarak paylaşılmıştır.



Şekil 4.6: İki saatlik % kalınlığına şişme sonuçlarının gruplara göre dağılımı

Şekil 4.6'da yer alan grafiklere bakıldığında; borik asit ilavesi ile birlikte 2 saatlik % kalınlığına şişme oranının artış gösterdiği görülmüştür. Grup bazında en iyi sonuç C grubuna (O.T:%15-Y.T:%18) aittir. Tüm 2 saatlik % kalınlığına şişme ortalamaları standartlar dahilindedir.



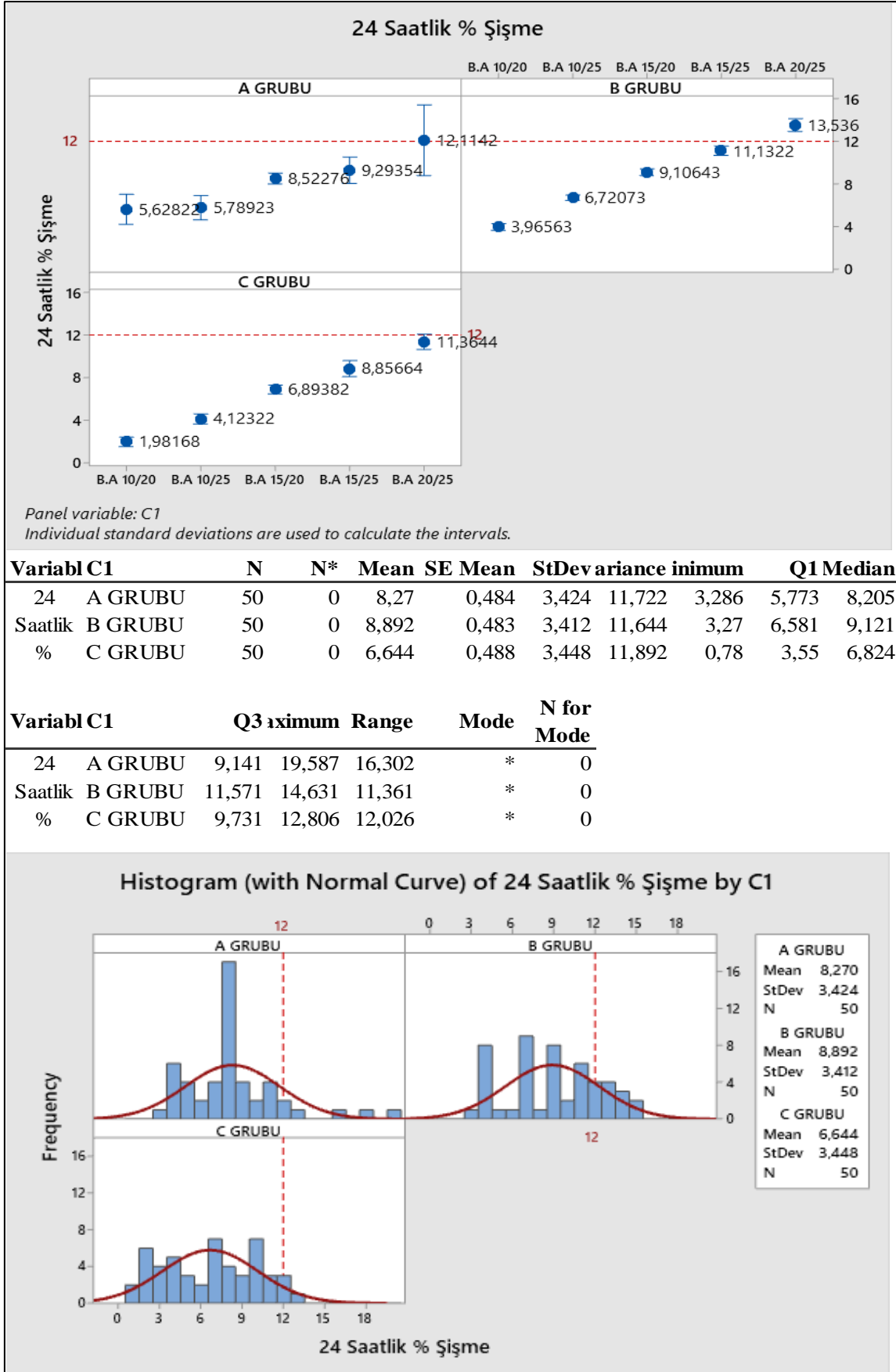
Şekil 4.7: Yirmi dört saatlik su alma sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.7'de yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça 2 saatlik % kalınlığına şişme oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin azaldığı görülmüştür. Verilerdeki max.-min farklar en az B (O.T:%12-Y.T:%15) grubundadır. Gruplar arasında

borik asit kullanımı arttıkça 2 saatlik % kalınlığına şişme oranındaki artış dikkat çekmektedir.

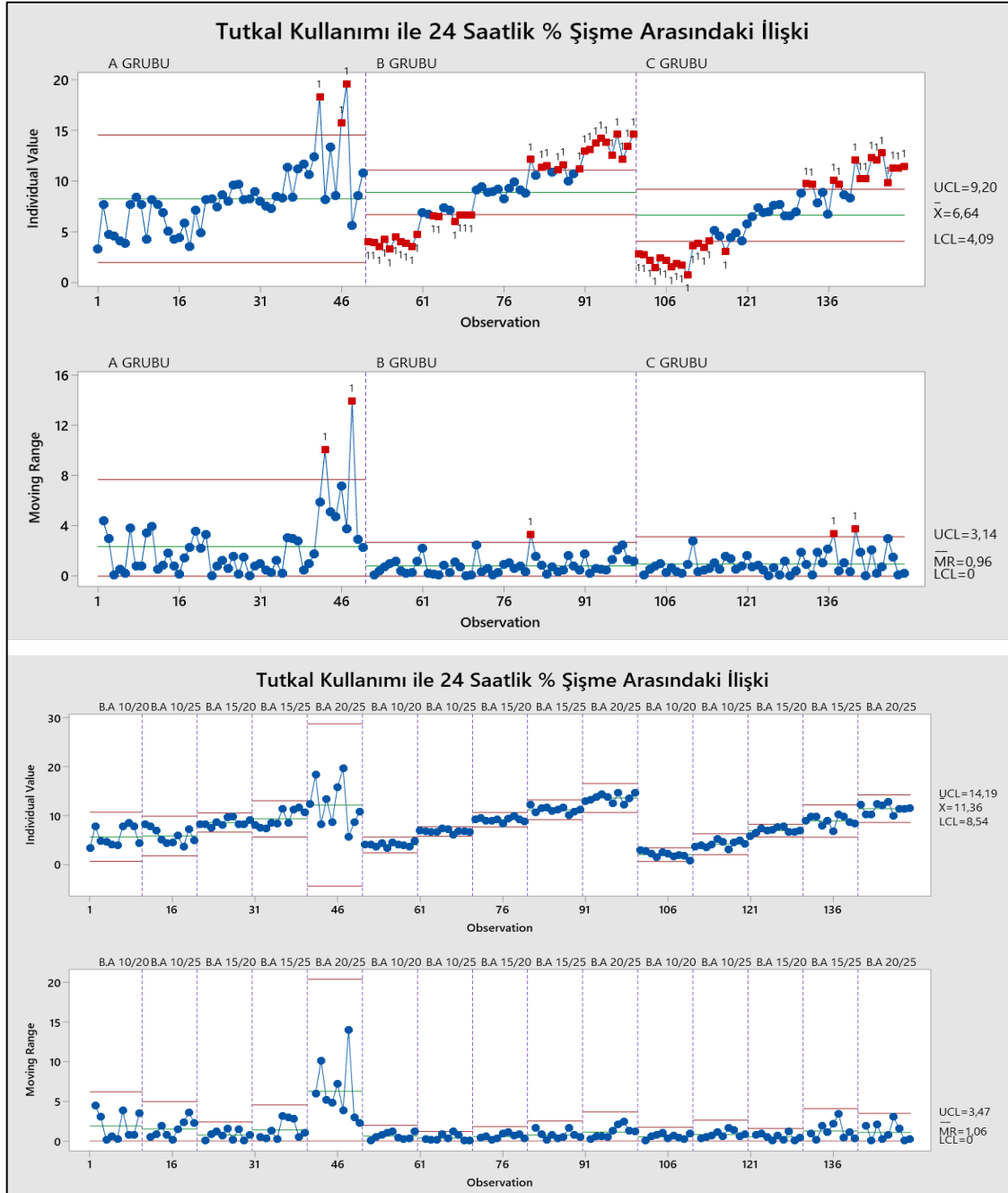
4.1.2.4 Kalınlığına Şişme Oranı (24 saat)

24 saatlik % kalınlığına şişme test sonuçlarına ait veriler aşağıda grafiksel ve istatistiksel olarak paylaşılmıştır.



Şekil 4.8: Yirmi dört saatlik % kalınlığına şişme sonuçlarının gruplara göre dağılımı

Şekil 4.8’de yer alan grafiklere bakıldığında; borik asit ilavesi ile birlikte 24 saatlik % kalınlığına şişme oranının artış gösterdiği görülmüştür. Grup bazında en iyi sonuç C grubuna (O.T:%15-Y.T:%18) aittir. Borik asit kullanım oranı 20/25 iken hem A grubunda hem de B grubunda 24 saatlik % kalınlığına şişme oranı standart limitin ($\leq\%12$) üzerinde çıkmıştır. C grubunda ise 24 saatlik % kalınlığına şişme değerinin standart limite oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9: Yirmi dört saatlik % kalınlığına şişme sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.9’da yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça 24 saatlik % kalınlığına şişme oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin azaldığı görülmüştür. Verilerdeki max.-min farklar en az B (O.T:%12-Y.T:%15) grubundadır. Gruplar arasında borik asit kullanımı arttıkça 24 saatlik % kalınlığına şişme oranındaki artış dikkat çekmektedir.

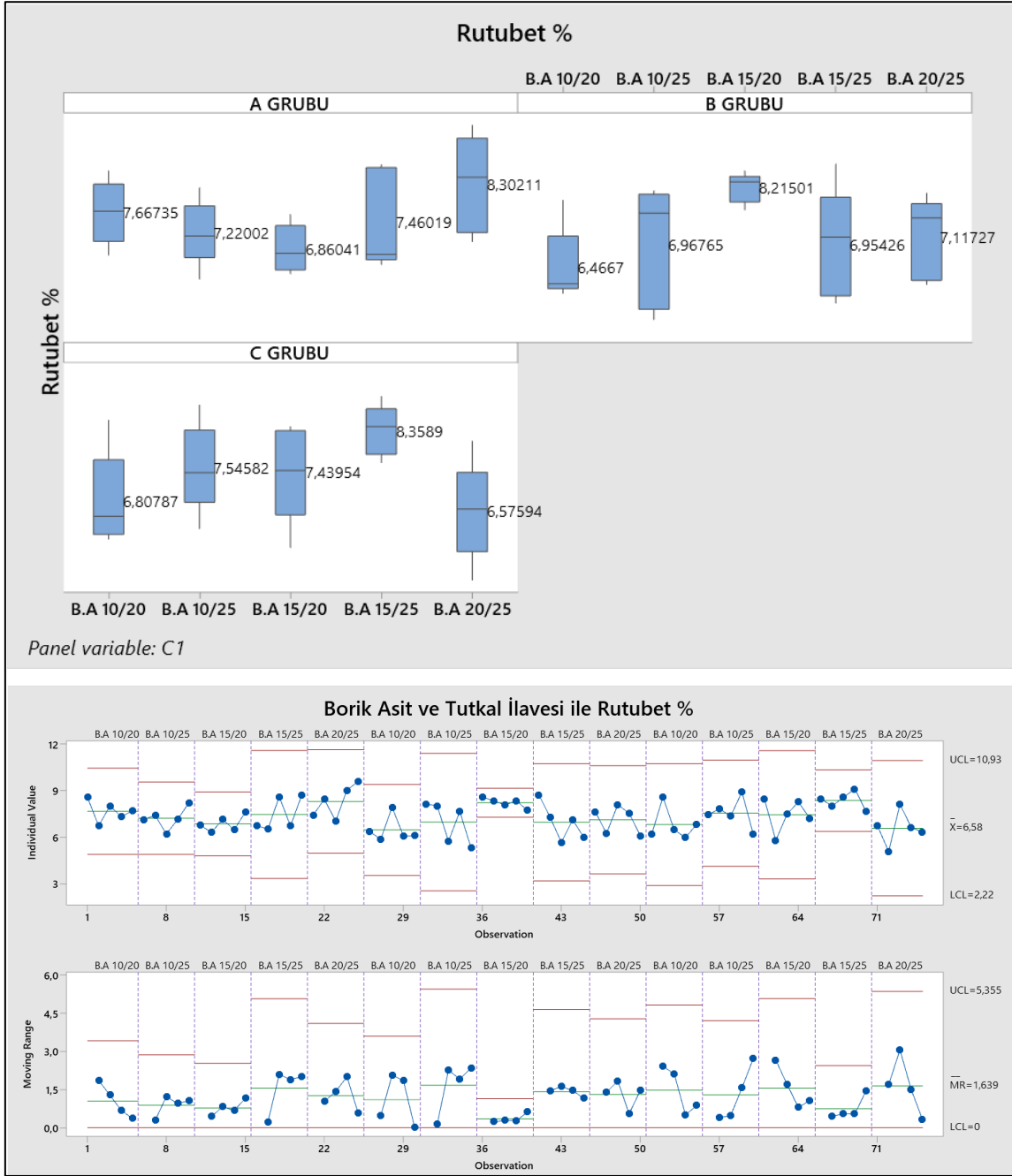
4.1.3 Rutubet

Yapılan rutubet testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıdadır. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda su alma ve kalınlığına şişme oranları ölçülmüştür. Her bir kombinasyonda yapılan ölçümlerde 5 adet numune kullanılmıştır. Yapılan ölçümlere ait ortalama sonuçlar aşağıdaki tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3: % Rutubet test sonuçları

<i>Deney Numuneleri</i>		<i>Ortalama Rutubet (%)</i>
A GRUBU	B.A 10/20	7,67
	B.A 10/25	7,22
	B.A 15/20	6,86
	B.A 15/25	7,46
	B.A 20/25	8,30
B GRUBU	B.A 10/20	6,47
	B.A 10/25	6,97
	B.A 15/20	8,22
	B.A 15/25	6,95
	B.A 20/25	7,12
C GRUBU	B.A 10/20	6,81
	B.A 10/25	7,55
	B.A 15/20	7,44
	B.A 15/25	8,36
	B.A 20/25	6,58

Tüm deney gruplarında ortalama %6-9 rutubet değeri hedeflenmiştir. Tablo 4.3'te yer alan test sonuçlarına bakıldığında hedeflenen değerin yakalandığı görülmüştür. En düşük ortalama rutubet değeri %6,47 ve en büyük ortalama rutubet değeri ise %8,36 olarak ölçülmüştür.

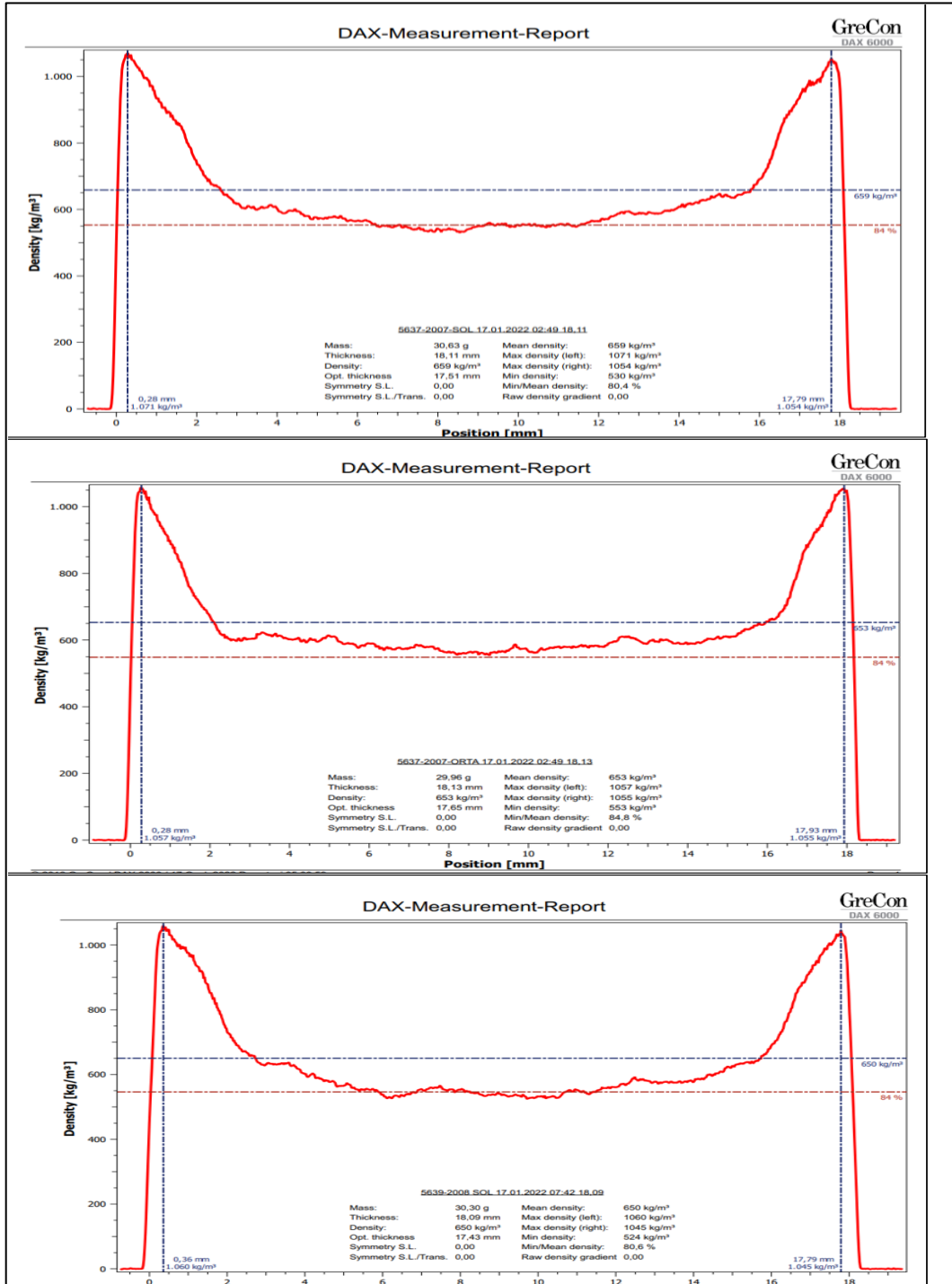


Şekil 4.10: Gruplar arasındaki % rutubet sonuçları

Şekil 4.10'da yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ve borik asit ilavesinin rutubet değeri üzerine etkisi olmadığı görülmüştür.

4.1.4 Yüzey Yoğunluk

Yapılan yüzey yoğunluk testlerine ait grafikler aşağıdadır. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda yüzey yoğunluk ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.11: Yüzey yoğunluk profilleri

Yukarıdaki yüzey yoğunluk ölçüm sonuçlarına bakıldığında, istenen yüzey yoğunluklarının (980-1080 kg/m³) yakalandığı görülmüştür. Gruplar arasında yüzey yoğunluk açısından belirgin bir farklılık görülmemiştir.

4.2 Mekanik Özelliklere İlişkin Bulgular

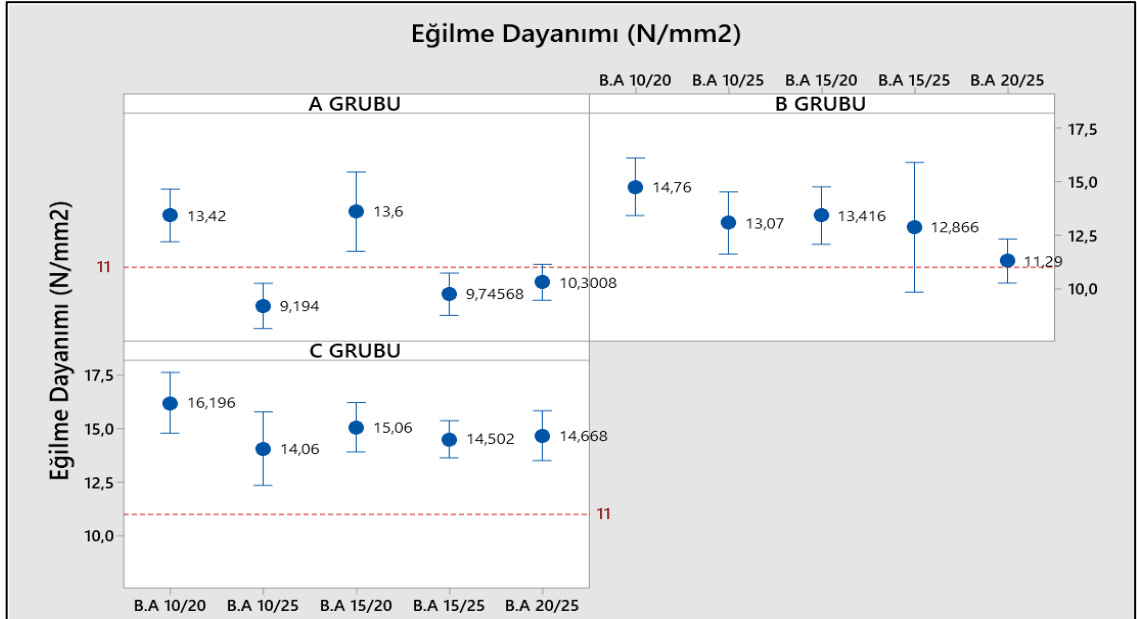
Mekanik özelliklerin tayini yonga levhalarda kullanım yerini belirleyen en önemli etkenlerdendir. Kullanıma uygunlukta mekanik direnç özellikleri belirleyici rol almaktadır.

4.2.1 Eğilme Dayanımı

Yapılan eğilme dayanımı testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıdadır. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda eğilme dayanımı ölçülmüştür. Her bir kombinasyonda yapılan ölçümlerde 5 adet numune kullanılmıştır. Yapılan ölçümlere ait ortalama sonuçlar aşağıdaki tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Eğilme dayanımı test sonuçları

<i>Deney Numuneleri</i>		<i>Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm²)</i>
A GRUBU	B.A 10/20	13,42
	B.A 10/25	9,19
	B.A 15/20	13,60
	B.A 15/25	9,75
	B.A 20/25	10,30
B GRUBU	B.A 10/20	14,76
	B.A 10/25	13,07
	B.A 15/20	13,42
	B.A 15/25	12,87
	B.A 20/25	11,29
C GRUBU	B.A 10/20	16,20
	B.A 10/25	14,06
	B.A 15/20	15,06
	B.A 15/25	14,50
	B.A 20/25	14,67



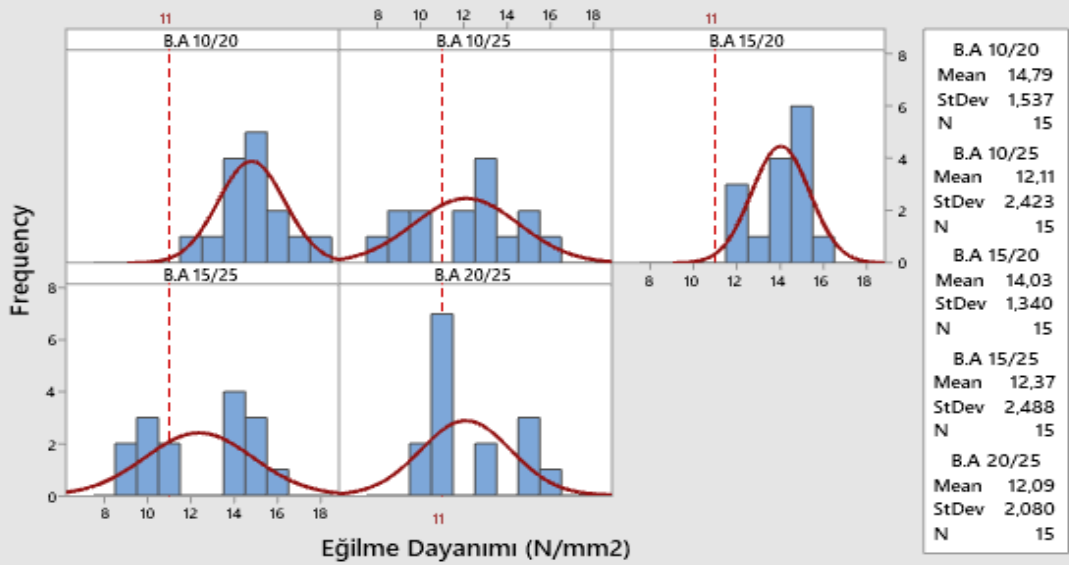
Panel variable: C1
Individual standard deviations are used to calculate the intervals.

Statistics

Variable	C2	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	B.A 10/20	15	0	14,792	0,397	1,537	2,363	12,300	13,700
	B.A 10/25	15	0	12,108	0,626	2,423	5,870	8,200	9,600
	B.A 15/20	15	0	14,025	0,346	1,340	1,796	11,750	12,800
	B.A 15/25	15	0	12,371	0,642	2,488	6,188	8,738	9,750
	B.A 20/25	15	0	12,086	0,537	2,080	4,325	9,560	10,600

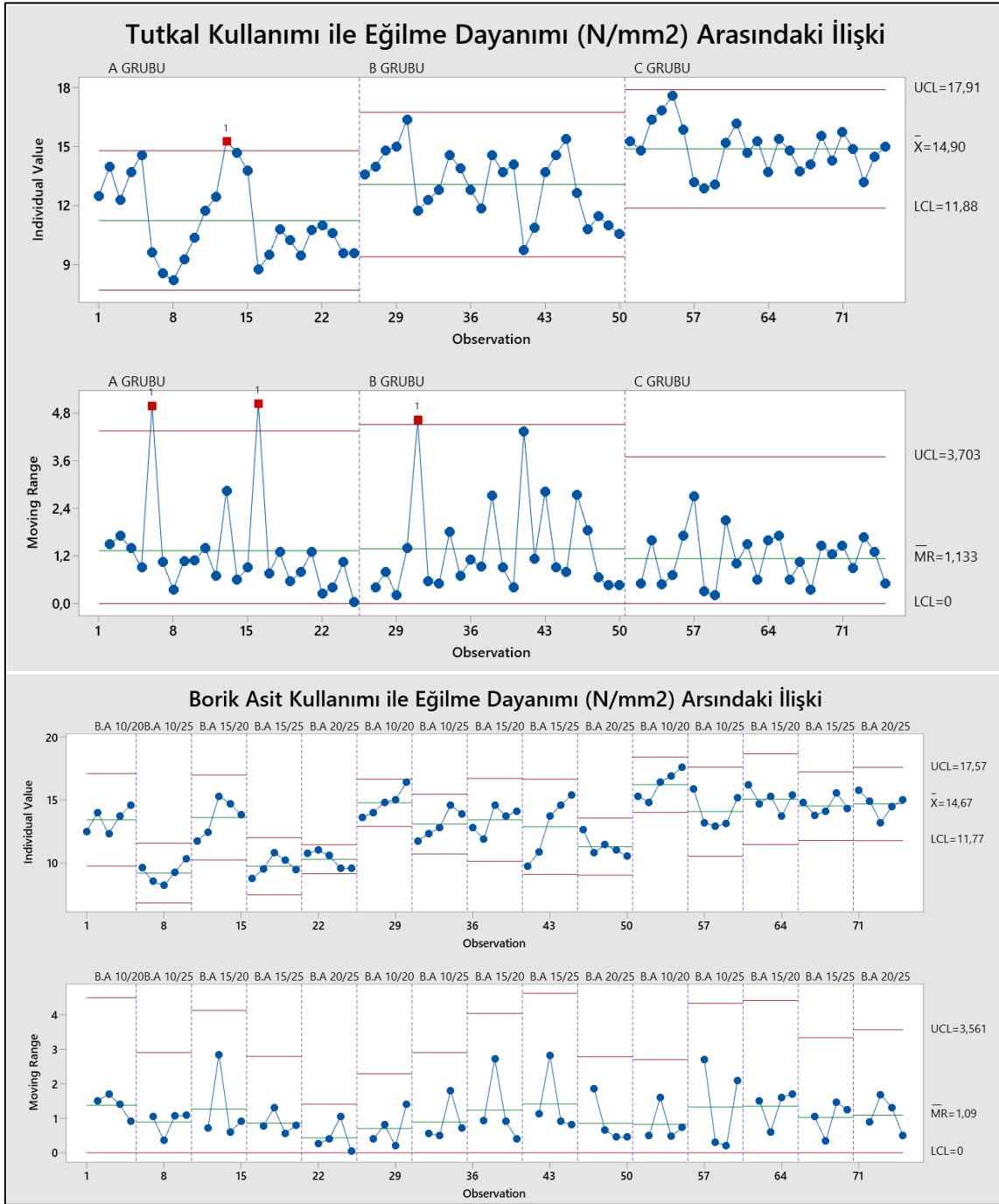
Variable	C2	Median	Q3	Maximum	Range	Mode	N for Mode
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	B.A 10/20	14,800	16,400	17,600	5,300	14; 14,8; 16,4	2
	B.A 10/25	12,800	13,900	15,900	7,700	*	0
	B.A 15/20	14,100	15,300	16,200	4,450	13,7; 14,7; 15,3	2
	B.A 15/25	13,700	14,600	15,550	6,812	*	0
	B.A 20/25	11,000	14,500	15,760	6,200	11	2

Histogram (with Normal Curve) of Eğilme Dayanımı (N/mm²) by C2



Şekil 4.12: Eğilme dayanımı test sonuçları

Tablo 4.4'te yer alan eğilme dayanımı test sonuçlarına ait grafiksel ve istatistiksel veriler Şekil 4.12'de yer almaktadır. B (O.T:12;Y.T:15) ve C (O.T:15;Y.T:18) grubundaki tüm deney numune sonuçları istenen eğilme dayanımı standart limitini (≥ 11 N/mm²) sağladığı görülmüştür. A (O.T:9;Y.T:12) grubunda ise 10-15-20/25 borik asit oranlarına sahip numuneler istenen eğilme dayanımı limitini karşılayamamıştır.



Şekil 4.13: Eğilme dayanımı test sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.13'te yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça eğilme dayanımının arttığı, özellikle A grubunda borik asit ilavesi ile eğilme dayanımının düştüğü, B ve C gruplarında ise borik asit ilavesinin eğilme dayanımını önemli ölçüde değiştirmedığı görülmüştür. A grubunda orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile eğilme dayanımında ortalama %28 oranında düşüş meydana gelmiştir. B grubunda orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile eğilme dayanımında ortalama %14 oranında düşüş meydana gelmiştir. C grubunda ise orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile eğilme dayanımında ortalama %6 oranında düşüş meydana gelmiştir. Eğilme dayanımı test sonuçlarına göre optimum tutkal ve borik asit, A grubunda 10/20 ve 15/20 borik asit denemelerine ait olduğu görülmüştür.

4.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

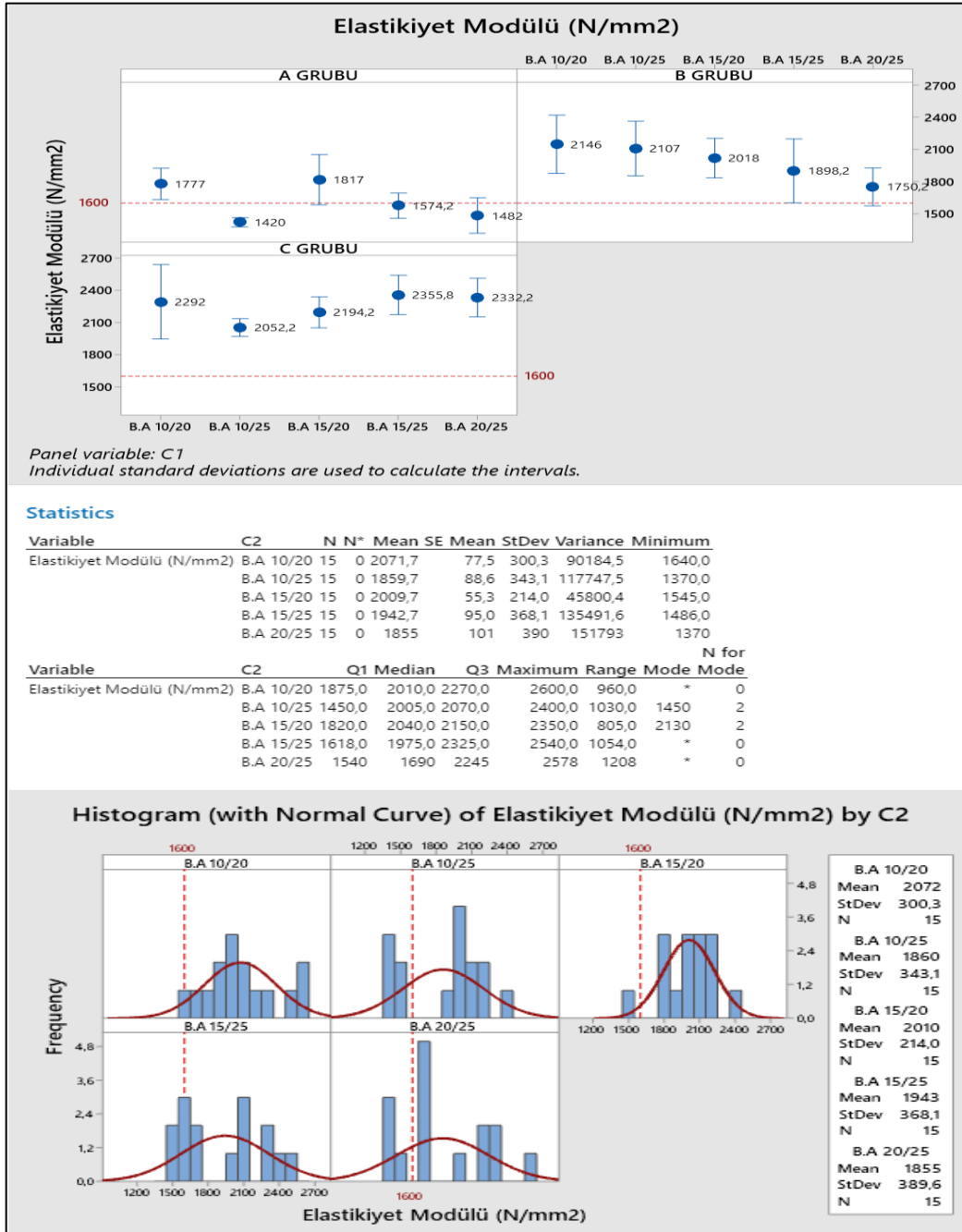
Yapılan elastikiyet modülü testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıdadır. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda elastikiyet modülü ölçülmüştür. Her bir kombinasyonda yapılan ölçümlerde 5 adet numune kullanılmıştır. Yapılan ölçümlere ait ortalama sonuçlar aşağıdaki tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları

<i>Deney Numuneleri</i>		<i>Ortalama Elastikiyet Modülü (N/mm²)</i>
A GRUBU	B.A 10/20	1777
	B.A 10/25	1420
	B.A 15/20	1817
	B.A 15/25	1574
	B.A 20/25	1482
B GRUBU	B.A 10/20	2146
	B.A 10/25	2107
	B.A 15/20	2018
	B.A 15/25	1898
	B.A 20/25	1750

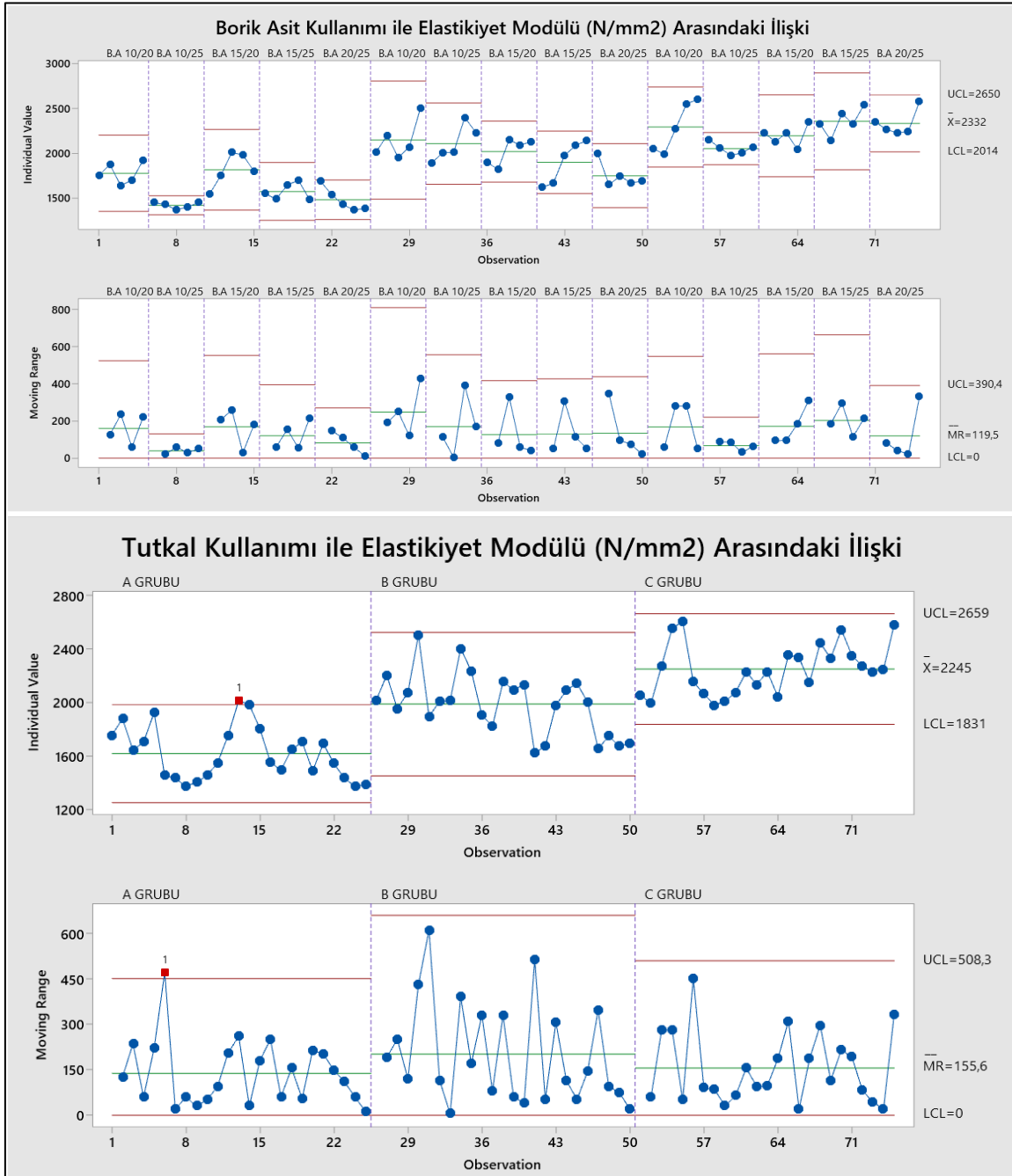
Tablo 4.5: (devam ediyor)

C GRUBU	B.A 10/20	2292
	B.A 10/25	2052
	B.A 15/20	2194
	B.A 15/25	2356
	B.A 20/25	2332



Şekil 4.14: Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları

Tablo 4.5'te yer alan verilere ait grafiksel ve istatistiksel verilere analizler Şekil 4.14'te yer almaktadır. B (O.T:12;Y.T:15) ve C (O.T:15;Y.T:18) grubundaki tüm deney numune sonuçlarının istenen elastikiyet modülü standart limitini (≥ 1600 N/mm²) sağladığı görülmüştür. A (O.T:9;Y.T:12) grubunda ise 10-15-20/25 borik asit oranlarına sahip numuneler istenen elastikiyet modülü limitini karşılayamamıştır.



Şekil 4.15: Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.15'te yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça elastikiyet modülünün arttığı, özellikle A ve B gruplarında borik asit ilavesi ile elastikiyet modülünün düştüğü, C grubunda ise borik asit ilavesinin elastikiyet modülünü önemli ölçüde değiştirmediği görülmüştür. A grubunda orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile elastikiyet modülünde ortalama %17 oranında düşüş meydana gelmiştir. B grubunda orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile elastikiyet modülünde ortalama %8 oranında düşüş meydana gelmiştir. C grubunda ise orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile elastikiyet modülünde ortalama %0,2 oranında artış meydana gelmiştir. Elastikiyet modülü test sonuçlarına göre optimum tutkal ve borik asit, A grubunda 10/20 ve 15/20 borik asit dene-melerine aittir.

4.2.3 Yüzeye Dik Çekme Direnci

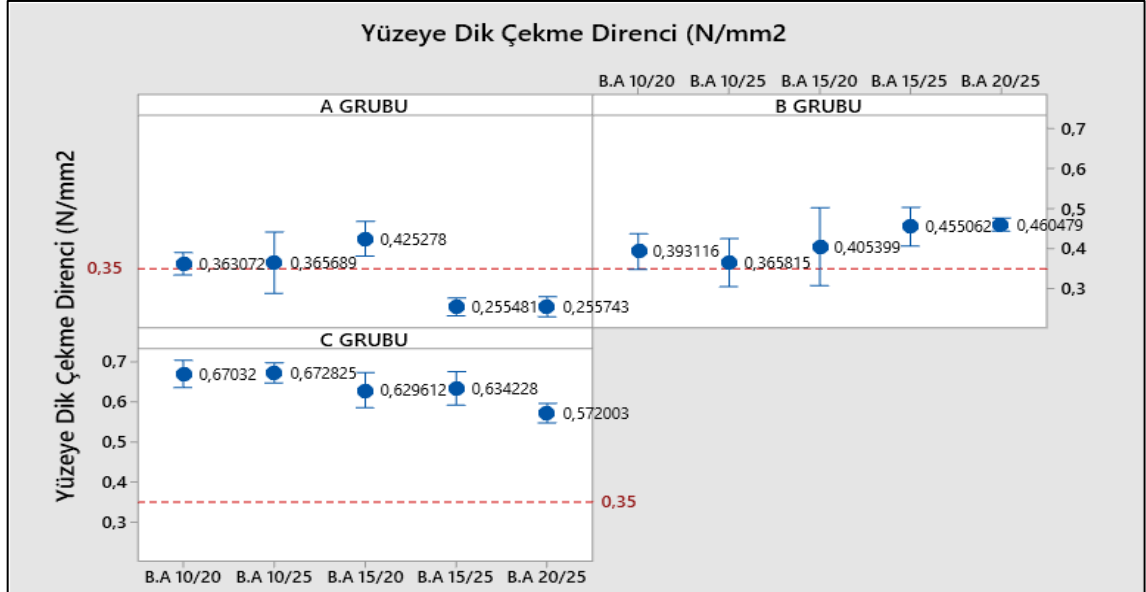
Yapılan yüzeye dik çekme testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıdadır. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda yüzeye dik çekme direnci ölçülmüştür. Her bir kombinasyonda yapılan ölçümlerde 10 adet numune kullanılmıştır. Yapılan ölçümlere ait ortalama sonuçlar aşağıdaki tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: Yüzeye dik çekme direnci test sonuçları

<i>Deney Numuneleri</i>		<i>Ortalama Yüzeye Dik Çekme Direnci (N/mm²)</i>
A GRUBU	B.A 10/20	0,36
	B.A 10/25	0,37
	B.A 15/20	0,43
	B.A 15/25	0,26
	B.A 20/25	0,26
B GRUBU	B.A 10/20	0,39
	B.A 10/25	0,37
	B.A 15/20	0,41
	B.A 15/25	0,46
	B.A 20/25	0,46

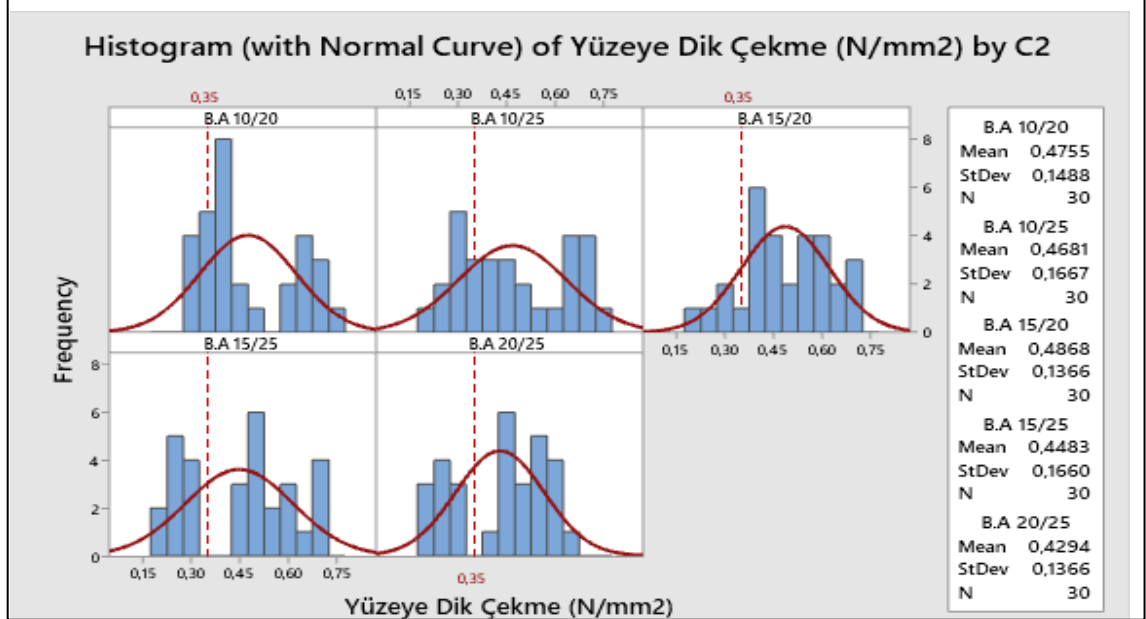
Tablo 4.6: (devam ediyor)

C GRUBU	B.A 10/20	0,67
	B.A 10/25	0,67
	B.A 15/20	0,63
	B.A 15/25	0,63
	B.A 20/25	0,57



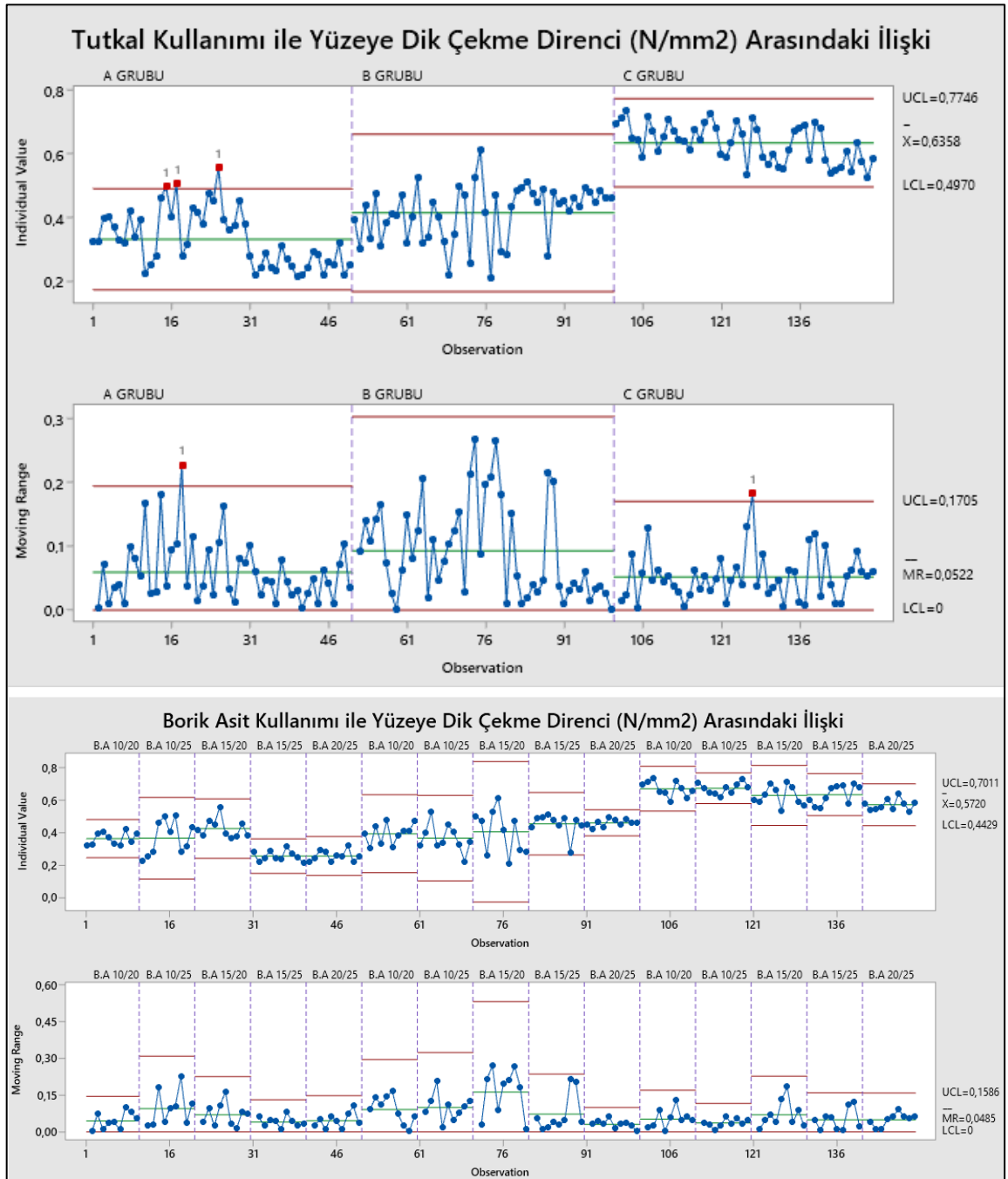
Panel variable: C1
Individual standard deviations are used to calculate the intervals.

Variable	C2	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum
Yüze Dik Çekme (N/mm ²)	B.A 10/20	30	0	0,4755	0,0272	0,1488	0,0222	0,3013
	B.A 10/25	30	0	0,4681	0,0304	0,1667	0,0278	0,2218
	B.A 15/20	30	0	0,4868	0,0249	0,1366	0,0186	0,2084
	B.A 15/25	30	0	0,4483	0,0303	0,166	0,0275	0,2154
	B.A 20/25	30	0	0,4294	0,0249	0,1366	0,0186	0,2178
Variable	C2	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	Mode	N for Mode
Yüze Dik Çekme (N/mm ²)	B.A 10/20	0,3388	0,4097	0,649	0,738	0,4367	*	0
	B.A 10/25	0,3216	0,4404	0,646	0,7311	0,5093	*	0
	B.A 15/20	0,3808	0,4747	0,5949	0,7175	0,509	*	0
	B.A 15/25	0,2753	0,4782	0,5862	0,7013	0,4859	*	0
	B.A 20/25	0,277	0,4612	0,548	0,6397	0,4218	*	0



Şekil 4.16: Yüze dik çekme direnci test sonuçları

Tablo 4.6’da yer alan veriler, grafiksel ve istatistiksel olarak Şekil 4.16’da incelenmiştir. Verilere bakıldığında; B (O.T:12;Y.T:15) ve C (O.T:15;Y.T:18) grubundaki tüm deney numune sonuçlarının istenen yüzeye dik çekme direnci standart limitini ($\geq 0,35$ N/mm²) sağladığı görülmüştür. A (O.T:9;Y.T:12) grubunda ise 15-20/25 borik asit oranlarına sahip numuneler istenen yüzeye dik çekme direnci limitini karşılayamamıştır.



Şekil 4.17: Yüzeye dik çekme direnci test sonuçlarında tutkal ve borik asit artışının etkisi

Şekil 4.17’de yer alan grafiklere bakıldığında; tutkal ilavesi arttıkça yüzeye dik çekme direncinin arttığı, borik asit ilavesi ile de yüzeye dik çekme direncinin düştüğü görülmüştür. A grubunda orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile yüzeye dik çekme direncinde ortalama %25 oranında düşüş meydana gelmiştir. B grubunda orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile yüzeye dik çekme direncinde ortalama %8 oranında artış meydana gelmiştir. C grubunda ise orta tabakada borik asit kullanımının %5 artırılması ile yüzeye dik çekme direncinde ortalama %5 oranında düşüş meydana gelmiştir. Yüzeye dik çekme direnci test sonuçlarına göre optimum tutkal ve borik asit, A grubunda 15/20 borik asit denemelerine ait olduğu görülmüştür.

4.2.4 Yüzey Sağlamlığı

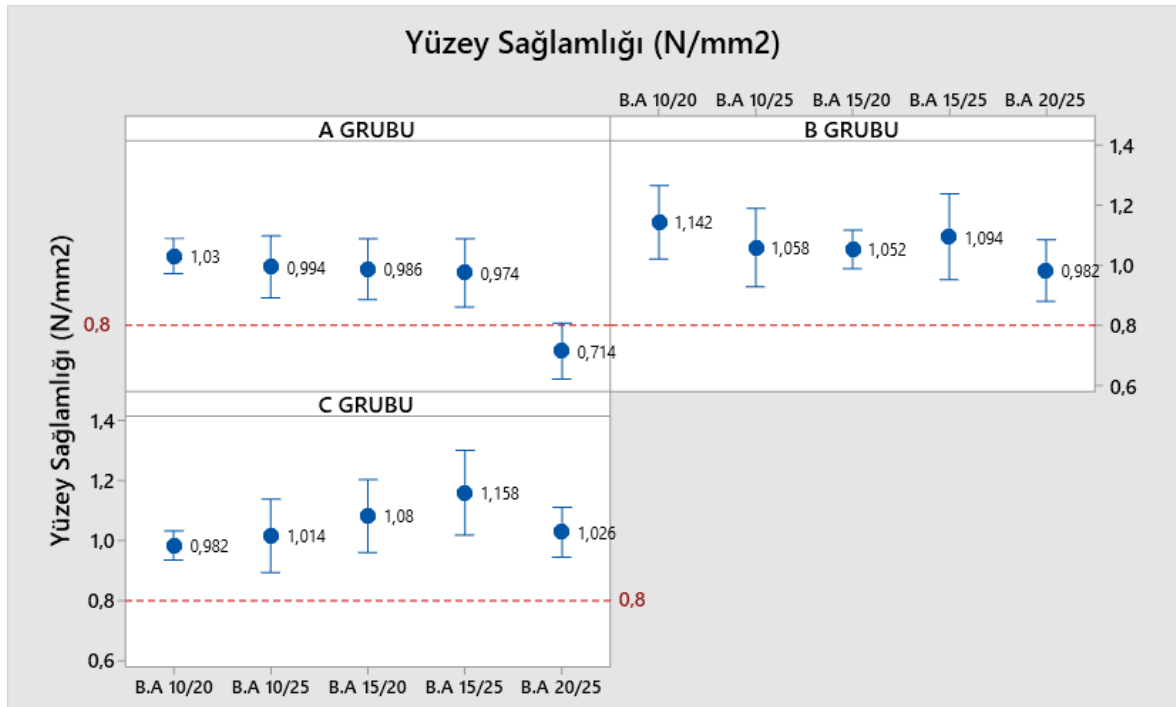
Yapılan yüzey sağlamlığı testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıdadır. Optimum tutkal ve borik asit oranını belirlemek amacıyla A-B-C grupları olmak üzere 3 farklı deney grubunda ve her deney grubunda da 5 farklı kombinasyonla borik asit uygulanan levhalarda yüzey sağlamlığı ölçülmüştür. Her bir kombinasyonda yapılan ölçümlerde 5 adet numune kullanılmıştır. Yapılan ölçümlere ait ortalama sonuçlar aşağıdaki tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Yüzey sağlamlığı test sonuçları

<i>Deney Numuneleri</i>		<i>Ortalama Yüzey Sağlamlığı(N/mm²)</i>
A GRUBU	B.A 10/20	1,03
	B.A 10/25	0,99
	B.A 15/20	0,99
	B.A 15/25	0,97
	B.A 20/25	0,71
B GRUBU	B.A 10/20	1,14
	B.A 10/25	1,06
	B.A 15/20	1,05
	B.A 15/25	1,09
	B.A 20/25	0,98

Tablo 4.7: (devam ediyor)

C GRUBU	B.A 10/20	0,98
	B.A 10/25	1,01
	B.A 15/20	1,08
	B.A 15/25	1,16
	B.A 20/25	1,03



Şekil 4.18: Yüzey sağlamlığı test sonuçları

Şekil 4.18'de yer alan grafiksel ve istatistiksel verilere bakıldığında; A (CL:9; SL:12) grubundaki B.A 20/25 denemesi haricindeki tüm deney numunelerinde istenen yüzey sağlamlığı standart limitini ($\geq 0,80$ N/mm²) sağladığı görülmüştür. Yüzey tabakasında kullanılan borik asit miktarının %10 artırılması ile; A grubunda yüzey sağlamlığında %30 azalma, B grubunda yüzey sağlamlığında %11 azalma ve C grubunda ise %3 oranında azalma meydana gelmiştir. Yüzey sağlamlığı test sonuçlarına göre optimum tutkal ve borik asit, A grubunda 10-15/20 ve 10-15/25 borik asit denemelerine ait olduğu görülmüştür.

4.2.5 Konik Kalorimetre Test Sonuçları

Yanma dayanıklı yonga levha üretiminde optimum borik asit ve tutkal miktarını belirlemek

amacıyla fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini sağlayan levhalar yanma davranışını gözlemlemek adına konik kalorimetre testine tabi tutulmuştur.

Test gruplarına ait numuneler çok fazla olduğundan optimal oranı belirlemek amacıyla 3 farklı gruba konik kalorimetre testi uygulanmıştır. Gruplar içerisindeki her farklı deneme için 3'er tekrar yapılmış ve 3 deney sonucunun ortalaması alınmıştır. Konik kalorimetre testlerine ait ortalama sonuçlar aşağıdaki tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: A-B-C gruplarına ait konik kalorimetre test sonuçları

B. ASİT ORANLARI (%)	A GRUBU TUTKAL %(9/12)		B GRUBU TUTKAL %(12/15)		C GRUBU TUTKAL %(15/18)	
	HRR-max(kw/m ²) Limit:≤100	SPR _{av} (m ² /s)	HRR-max(kw/m ²) Limit:≤100	SPR _{av} (m ² /s)	HRR-max(kw/m ²) Limit:≤100	SPR _{av} (m ² /s)
B.A 10/20	102,14	0,0009	90,74	0,0029	84,50	0,0034
B.A 10/25	98,45	0,0015	86,62	0,0030	82,60	0,0032
B.A 15/20	98,74	0,0019	89,42	0,0032	84,55	0,0033
B.A 15/25	97,80	0,0015	88,57	0,0031	83,25	0,0036
B.A 20/25	94,50	0,0025	86,65	0,0030	81,14	0,0041

Ticari yanma geciktiricili levha üretiminde HRR_{max} değerinin <100 kw/m² olması durumunda üretilen levhaların B yanma sınıfını yakalandığı bilinmektedir. HRR_{max} değerinin 90-80 kw/m² olması durumunda BS1D0, HRR_{max} değerinin 100-90 kw/m² olması durumunda BS2D1, HRR_{max} değerinin 100-120 kw/m² olması durumunda CS1D0 yanma sınıfına karşılık geldiği bilinmektedir.

Tablo 4.8'e bakıldığında kon kalorimetre test sonuçları; A grubundaki B.A 10/20 denemesi haricindeki tüm ürünlerde B sınıfı yanma dayanımının sağlandığı görülmektedir.

Tablo 4.9: A-B-C gruplarına ait tüm ortalama test sonuçları

GRUPLAR-TUTKAL ORANLARI (%)	B. ASİT ORANLARI (%)	HRR-max(kw/m ²)	SPRav (m ² /s)	Yoğunluk (g/cm ³)	K.Şişme Oranı % (24 H)	Rutubet (%)	Eğilme dayanımı (N/mm ²)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	Yüzeğe Dik Çekme Direnci (N/mm ²)	Yüzey Sağlamlığı (N/mm ²)
		Limit:≤100	*	Limit:0,65-0,67	Limit:12	Limit: 6-9	Limit:11	Limit:1600	Limit:0,35	Limit:0,80
A GRUBU (9/12)	B.A 10/20	102,14	0,0009	0,65	5,63	7,67	13,42	1777	0,36	1,03
	B.A 10/25	98,45	0,0015	0,66	5,79	7,22	9,19	1420	0,37	0,99
	B.A 15/20	98,74	0,0019	0,67	8,52	6,86	13,60	1817	0,43	0,99
	B.A 15/25	97,80	0,0015	0,66	9,29	7,46	9,75	1574	0,26	0,97
	B.A 20/25	94,50	0,0025	0,66	12,11	8,30	10,30	1482	0,26	0,71
B GRUBU (12/15)	B.A 10/20	90,74	0,0029	0,64	3,97	6,47	14,76	2146	0,39	1,14
	B.A 10/25	86,62	0,0030	0,65	6,72	6,97	13,07	2107	0,37	1,06
	B.A 15/20	89,42	0,0032	0,67	9,11	8,22	13,42	2018	0,41	1,05
	B.A 15/25	88,57	0,0031	0,66	11,13	6,95	12,87	1898	0,46	1,09
	B.A 20/25	86,65	0,0030	0,67	13,54	7,12	11,29	1750	0,46	0,98
C GRUBU (15/18)	B.A 10/20	84,50	0,0034	0,66	1,98	6,81	16,20	2292	0,67	0,98
	B.A 10/25	82,60	0,0032	0,67	4,12	7,55	14,06	2052	0,67	1,01
	B.A 15/20	84,55	0,0033	0,67	6,89	7,44	15,06	2194	0,63	1,08
	B.A 15/25	83,25	0,0036	0,67	8,86	8,36	14,50	2356	0,63	1,16
	B.A 20/25	81,14	0,0041	0,66	11,36	6,58	14,67	2332,00	0,57	1,03

Tablo 4.9'a bakıldığında hem yanma sınıfı hem de fiziksel ve mekanik test sonuçları optimum tutkal oranının orta tabakada %9, yüzey tabakasında %12 ve optimum borik asit oranının ise orta tabakada %15, yüzey tabakasında %20 olan A Grubu olduğu görülmüştür.

A grubu; %(9/12) tutkal ve %(15/20) borik asitli levhalar diğer tüm gruplar ile fiziksel ve

mekanik testlere tabi tutulmuştur. Yanma dayanım özellikleri ASTM-E69 (2007) standardına göre belirlenmiştir. Deney numuneleri test öncesinde $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl nem şartlarında klimatize edilmiştir. $19\text{mm}\times 1016\text{mm}\times 18\text{mm}$ (genişlik×uzunluk×kalınlık) boyutlarındaki numuneler yanma bacasının üst kısmından aşağı doğru sarkıtılarak deney gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği alev yüksekliği 25 cm, sıcaklık 1000°C 'yi geçmeyecek şekilde hazırlanmış olup, her 60 saniyede bir ağırlık kaybı ve O_2 gazının ölçümü kaydedilmiştir. Deney süresi alev kaynaklı yanma (4dk.) ve kendi kendine yanma (6dk.) olmak üzere toplam 10 dk. sürmüştür. Yanma dayanım deneyi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

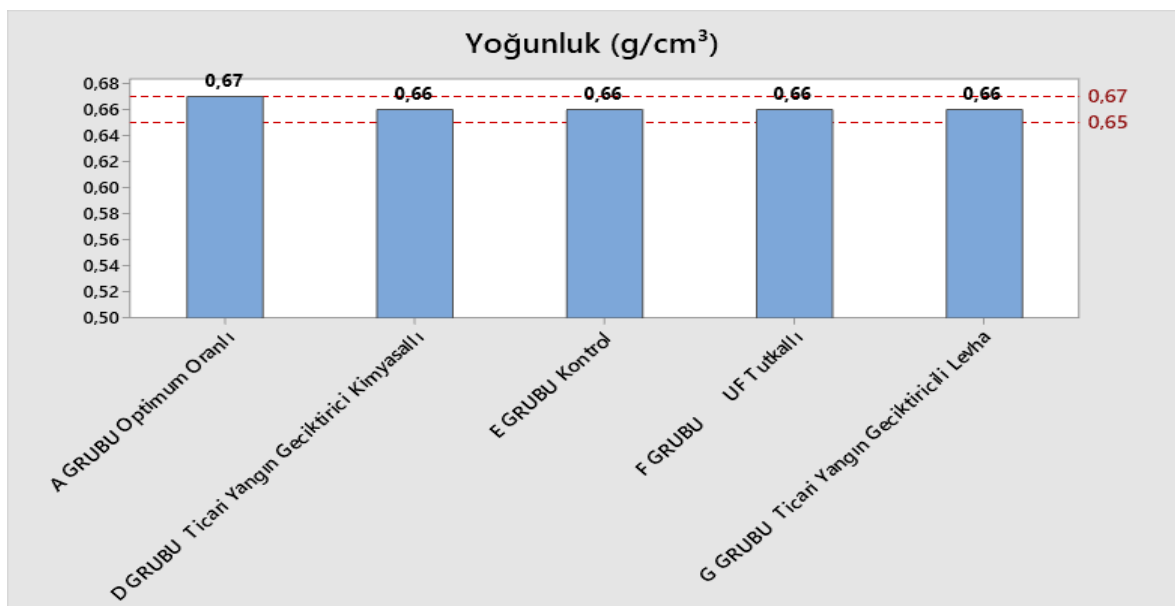
Tablo 4.10: A-D-E-F-G gruplarına ait test sonuçları

GRUPLAR		<u>A</u> <u>GRUBU</u> Optimum Oranlı	<u>D</u> <u>GRUBU</u> Ticari Yanma Geciktirici Kimyasallı	<u>E</u> <u>GRUBU</u> Kontrol	<u>F</u> <u>GRUBU</u> UF Tutkallı	<u>G</u> <u>GRUBU</u> Ticari Yanma Geciktirici Levha
TUTKAL	Orta-Dış Tabaka (%)	9/12	9/12	9/12	9/12	Piyasadan temin edilen yanma geciktirici levha
BORİK ASİT (B.A)	Orta-Dış Tabaka (%)	15/20	Kimyasal 15/20 (B.A YOK)	YOK	15/20	
Yoğunluk (g/cm^3)	Limit:0,65-0,67	0,67	0,66	0,66	0,66	0,66
Kalınlığına Şişme Oranı (24 H)	Limit:12	8,52	8,47	2,8	13,2	9,25
Rutubet (%)	Limit: 6-9	6,86	7,9	6,4	6,1	7,15
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Limit:11	13,6	13,03	17,7	10,6	12,8
Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	Limit:1600	1817	2600	3020	1620	2200

Tablo 4.10 (devam ediyor)

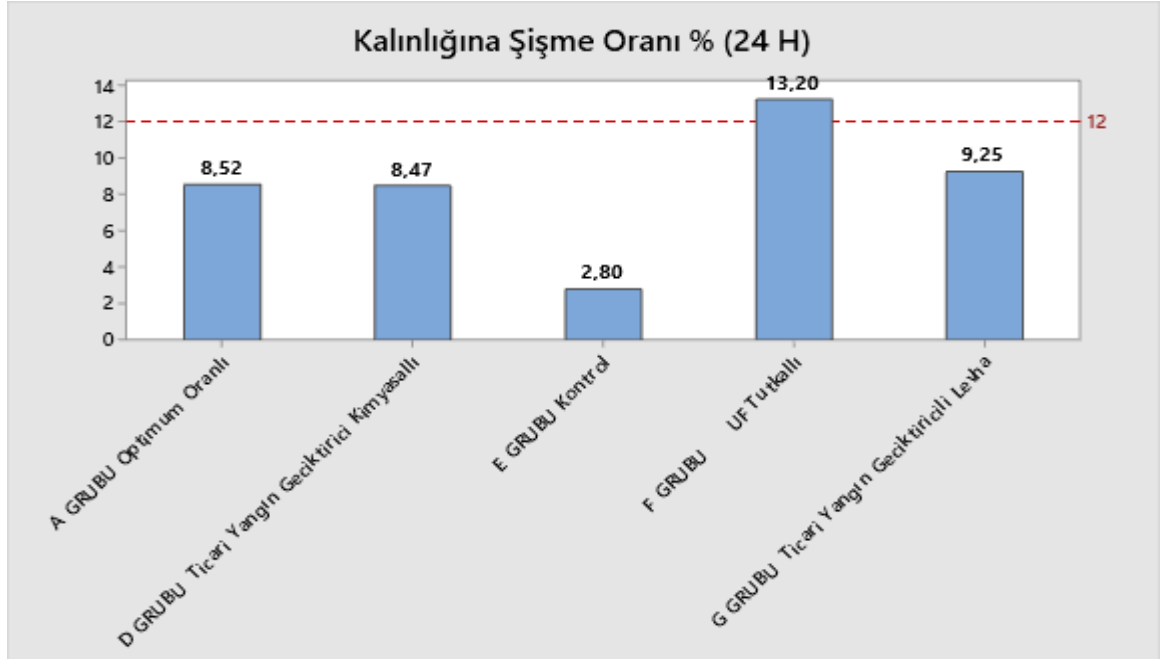
Yüze Dik Çekme Direnci (N/mm²)	Li- mit:0,35	0,43	0,58	0,75	0,32	0,62
Yüzey Sağlamlığı (N/mm²)	Li- mit:0,80	0,99	1,15	1,5	0,85	0,99
Kütle Kaybı (%)	*	13,21	11,77	28,45	15,23	4,56
Oksijen Miktarı (Alevden Kaynaklı)	*	19,61	18,94	18,35	18,95	20,20

Tablo 4.10'a bakıldığında; üre formaldehit ve borik asit ile yapılan denemede 24 saatlik % kalınlığına şişme, eğilme dayanımı ve çekme dayanımı test sonuçları standart limit değerlerin altında kalmıştır. En düşük 24 saatlik % kalınlığına şişme test sonucu %2,8 ile kontrol levhasına aittir. Kontrol levhasında borik asit ya da yanma geciktirici herhangi bir kimyasal kullanılmamıştır. En yüksek eğilme dayanımı, eğilmede elastikiyet modülü, yüze dik çekme direnci ve yüzey sağlamlığı ise kontrol levhasına aittir. En düşük mukavemet değerleri ise üre formaldehit tutkalı ve borik asit ile üretilen F grubuna ait bulunmuştur. Yanma deneyi sonrası kütle kaybına bakıldığında ise en fazla kütle kaybı, borik asit ve herhangi bir yanma geciktirici kimyasal kullanılmayan E grubuna ait olduğu görülmüştür.



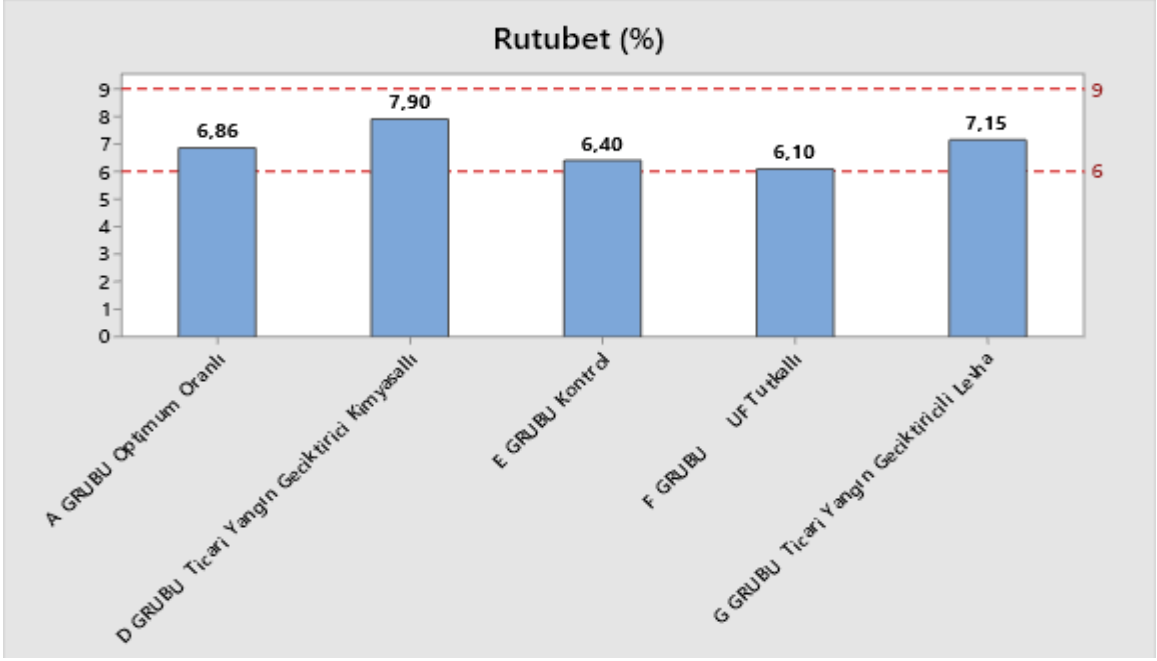
Şekil 4.19: Ortalama yoğunluk sonuçları

Yoğunluk test sonuçlarına bakıldığında; şekil 4.19'da görüldüğü üzere tüm gruplarda ortalama yoğunluğun limitler içerisinde yani kırmızı yatay çizgideki 0,65-0,67 g/cm³ aralığında olduğu görülmektedir. Yoğunluk sınıfı açısından üretilen deney levhalarının piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalar ile aynı olduğu görülmüştür.



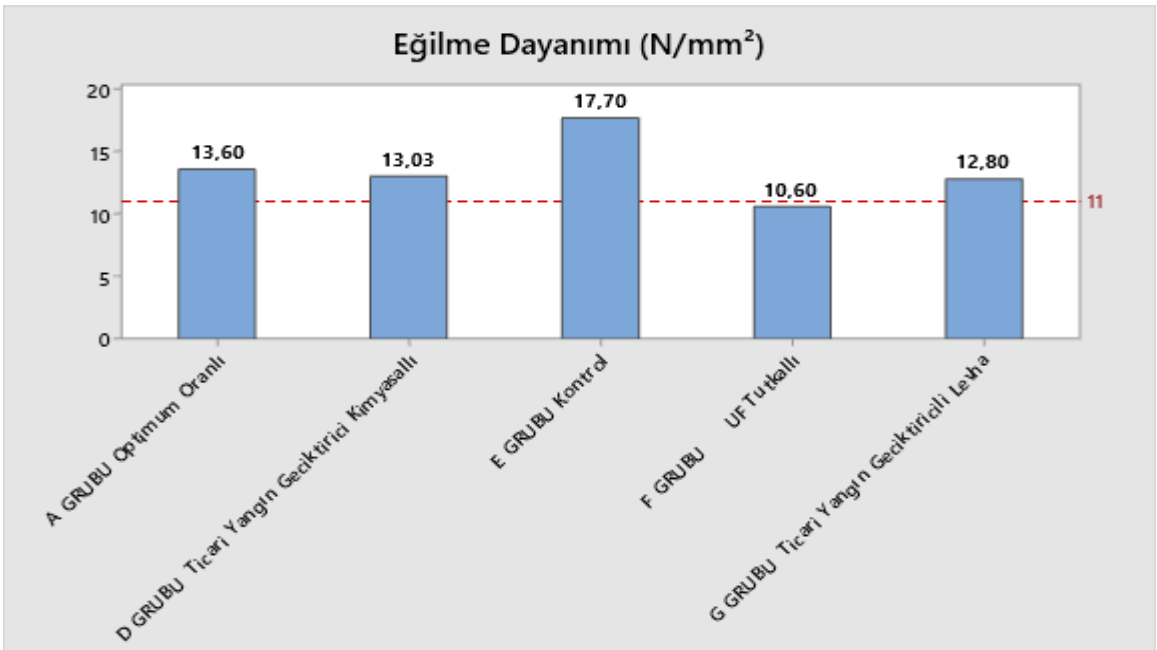
Şekil 4.20: Ortalama 24 saatlik % kalınlığına şişme sonuçları

24 saatlik % kalınlığına şişme test sonuçlarına bakıldığında, şekil 4.20'de görüldüğü üzere en iyi sonuç hiçbir yanma geciktirici kimyasal kullanılmayan E grubu kontrol levhalarına ait bulunmuştur. F grubu yani üre formaldehit tutkalı ve borik asit ilaveli levhalarının ise kırmızı yatay çizgideki %12 standart limitini karşılayamadığı görülmüştür. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise 24 saatlik % kalınlığına şişme standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha düşük şişme oranına sahip olduğu görülmüştür.



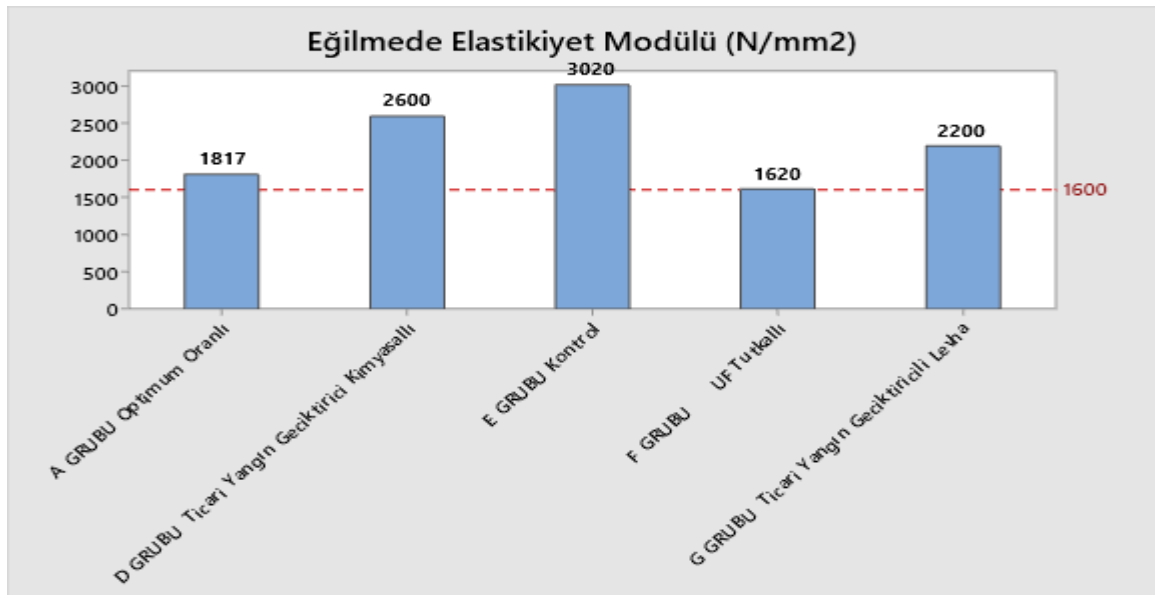
Şekil 4.21: Ortalama % rutubet sonuçları

Rutubet test sonuçlarına bakıldığında; şekil 4.21’de görüldüğü üzere tüm grupların kırmızı yatay çizgideki %6-9 ortalama limitler içerisinde olduğu görülmüştür. Rutubet değerleri açısında üretilen deney levhalarının piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalar ile aynı olduğu görülmüştür.



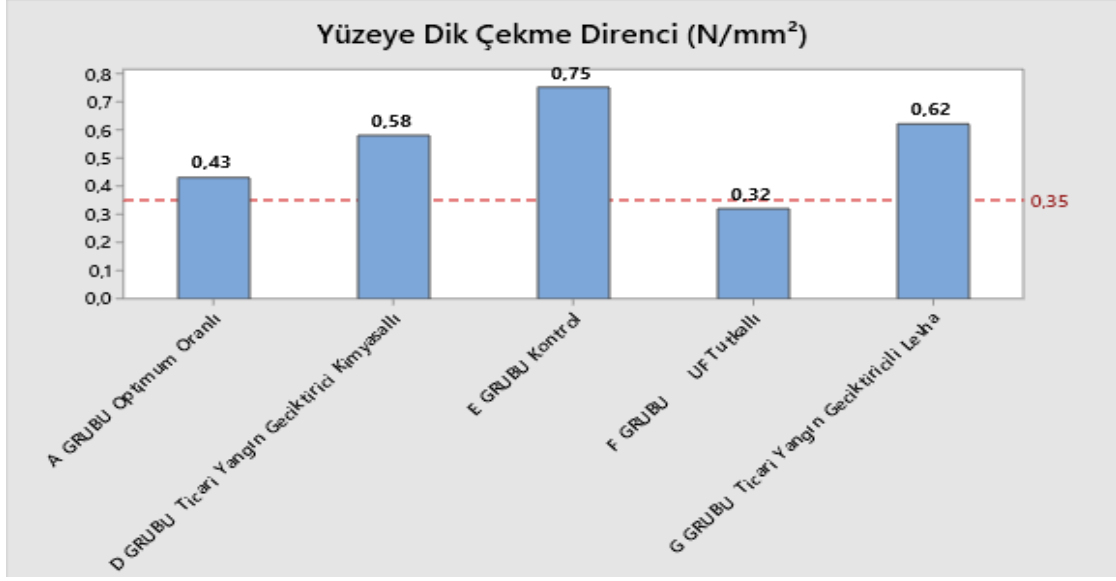
Şekil 4.22: Ortalama eğilme dayanımı sonuçları

Eğilme dayanımı test sonuçlarına bakıldığında; şekil 4.22’de görüldüğü üzere F grubu yani üre formaldehit ve borik asit katkılı deney levhaları standart değerin yani kırmızı yatay çizgideki 11 N/mm² limiti altında kaldığı görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı ise, E grubu yani yanma geciktirici kullanılmayan kontrol levhalarına ait bulunmuştur. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise eğilme dayanımı standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



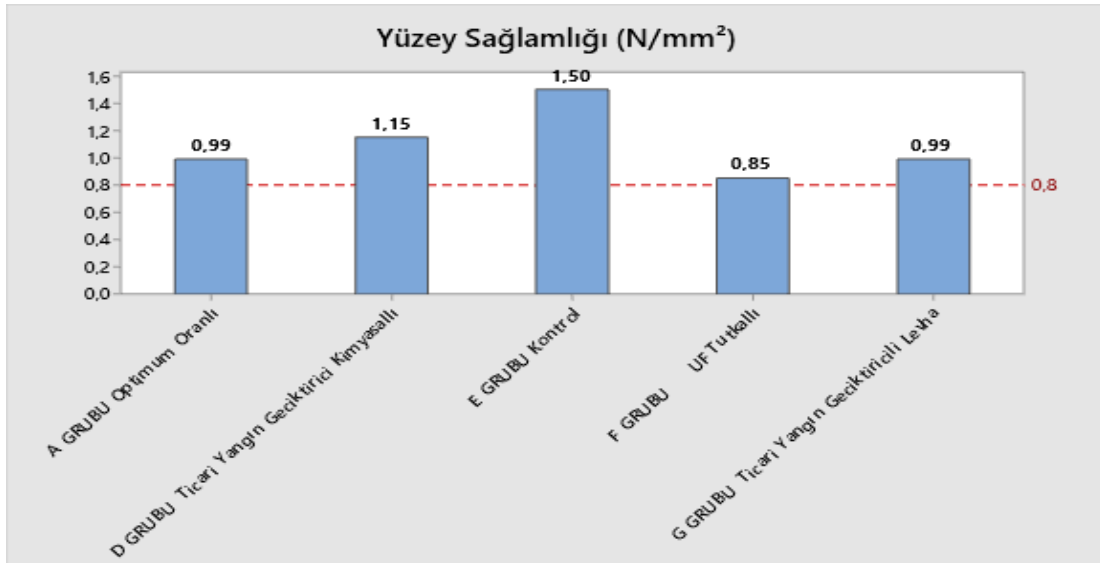
Şekil 4.23: Ortalama eğilmede elastikiyet modülü sonuçları

Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçlarına bakıldığında; şekil 4.23’te görüldüğü üzere tüm grupların standart değeri yani kırmızı yatay çizgideki 1600 N/mm² limitini karşıladığı görülmüştür. F grubu yani üre formaldehit ve borik asit katkılı deney levhalarının standart değere çok yaklaştığı görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı ise, E grubu yani yanma geciktirici kullanılmayan kontrol levhalarına ait bulunmuştur. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise eğilmede elastikiyet modülü standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha düşük eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



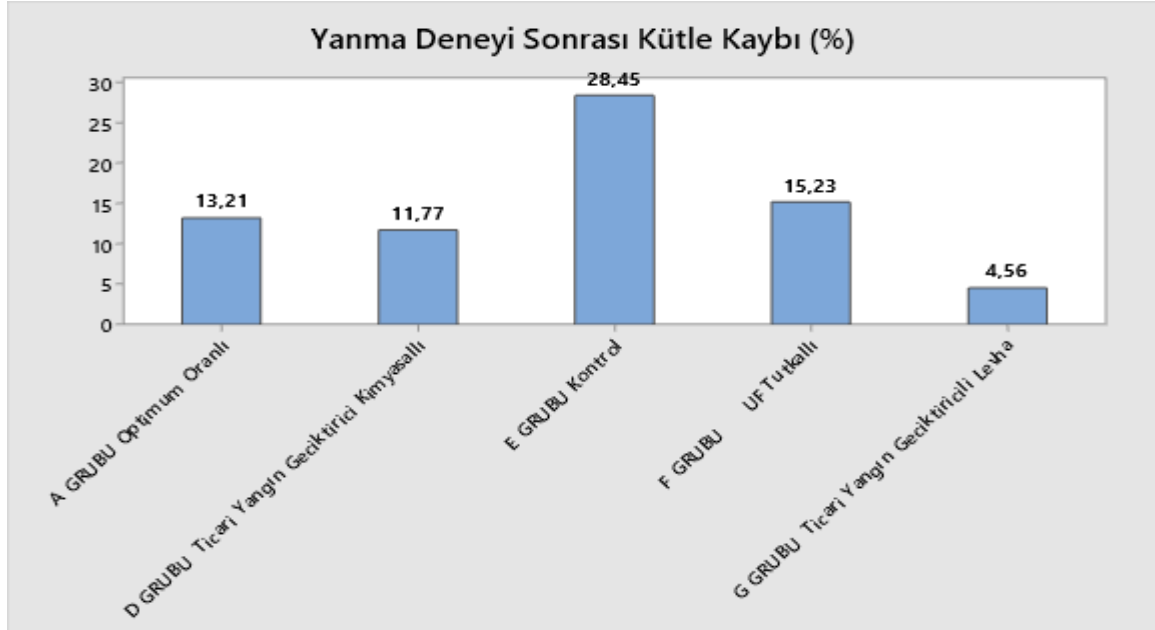
Şekil 4.24: Ortalama yüzeye dik çekme direnci sonuçları

Yüzeye dik çekme test sonuçlarına bakıldığında; F grubu yani üre formaldehit ve borik asit katkılı deney levhaları standart limitin altında kaldığı görülmüştür. Şekil 4.24'te görüldüğü üzere F grubu haricindeki tüm sonuçlar kırmızı yatay çizgideki 0,35 N/mm² limitinin üzerinde sonuçlanmıştır. En yüksek yüzeye dik çekme direnci ise, E grubu yani yanma geciktirici kullanılmayan kontrol levhalarına ait bulunmuştur. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise yüzeye dik çekme direnci standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha düşük yüzeye dik çekme direncine sahip olduğu görülmüştür.



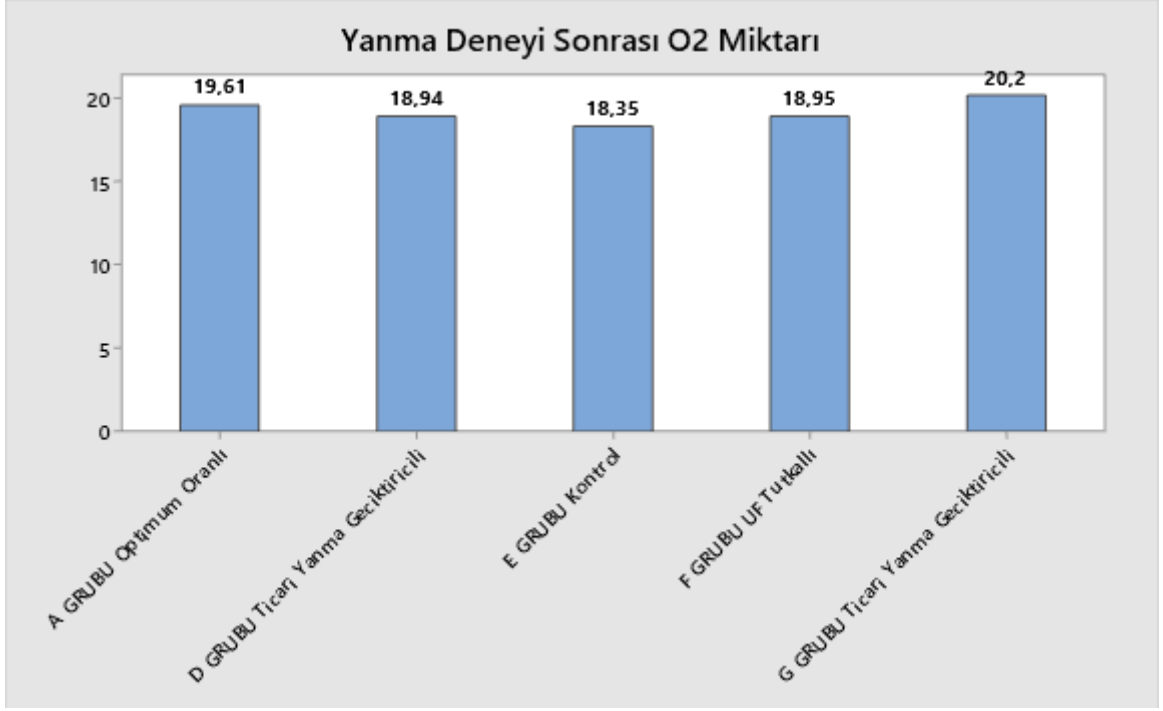
Şekil 4.25: Ortalama yüzey sağlamlığı test sonuçları

Yüzey sağlamlığı test sonuçlarına bakıldığında tüm grupların standart limiti karşıladığı görülmektedir. Şekil 4.25'te görüldüğü üzere sonuçlar kırmızı yatay çizgideki 0,80 N/mm² limitinin üzerindedir. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise yüzey sağlamlığı standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalar ile aynı yüzey sağlamlığı dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.26: Yanma deneyi sonrası ortalama kütle kaybı sonuçları

Şekil 4.26'da yer alan yanma deneyi sonrası kütle kayıplarına bakıldığında; E grubu yani melamin formaldehit tutkallı kullanılan ve herhangi bir yanma geciktirici ilavesi bulunmayan deney levhaları en fazla kütle kaybına uğradığı görülmüştür. En az kütle kaybına uğrayan deney numuneleri ise G grubu yani piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara ait bulunmuştur. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhalar, piyasada satışa sunulan levhalara oranla 2,9 kat daha fazla kütle kaybına uğradığı görülmüştür.



Şekil 4.27: Yanma deneyi sonrası ortalama O₂ miktarı sonuçları

Şekil 4.27’de yer alan yanma deneyi sonrası O₂ miktarına bakıldığında belirgin bir farklılığın olmadığı görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde birçok ülke, yanmadan korunmak amaçlı müsaade edilen minimum kriterleri sağlamak amacıyla yasalara dayalı zorunluluklar getirmek zorunda kalmıştır. Avrupa Birliğinde yangın mevzuatları özellikle incelenmekte ve hazırlanmakta olup son zamanlarda ülkemizde de mevzuatlar güncellenmekte ve yasalar ile güvence altına alınmaya çalışılmaktadır. Günümüzdeki nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler yangına karşı korunmanın yasallaştırılması zorunluluğunu çıkarmıştır.

Afet ve kazaların en önemlilerinden biri olan yanmadan korunmak dünya üzerinde yaşayan her canlı için önem arz etmektedir. Yangın çok kısa sürede büyümekte ve sonucunda çok büyük felaketlere neden olabilmektedir. Yangın esnasında kurtulabilmek için saniyenin dahi önemi bulunmaktadır. Yangın esnasında birkaç saniye ya da birkaç dakika kazanmak yaşamamızı ve yangından kurtulmamızı sağlayacaktır. Ayrıca, bu birkaç dakikalık süre yangının hızla büyümesine engel olabilir ve can kaybını önleyebileceği gibi mal kaybını da minimuma indirebilir.

Yangından korunmak amacıyla hem yapı inşasında hem de yapı elemanları üzerinde birçok ar-ge çalışması yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da evlerimizde kullandığımız mobilyaların üretiminde kullanılan yonga levhaların kolay yanmasını engellemek, başka bir deyişle yanma ve tutuşma süresini uzatarak yanmadan korunma etkisi araştırılmıştır. Evlerimizin hemen hemen her odasında mobilya bulunmaktadır. Bunların yanmasını geciktirerek kaçış için zaman kazanmak mümkündür.

Bu amaçla, bu tez çalışmasında mobilyada kullanılan yonga levha içerisine yanma geciktirici kimyasal olan borik asit katılarak deneme çalışmaları yapılmıştır. Burada amaçlanan en önemli ikinci nokta ise, literatürde yanma geciktiricili levha üretiminde kullanılan tutkal tüketimi ile ilgili herhangi bir çalışma olmadığından tutkal optimizasyonu belirlenerek ileride yapılacak çalışmalara veri kaynağı oluşturmaktır.

Hem yangın sınıfı hem de fiziksel ve mekanik test sonuçlarına bakıldığında optimum tutkal oranının orta tabakada %9, yüzey tabakasında %12 ve optimum borik asit oranının ise orta tabakada %15, yüzey tabakasında %20 olan A Grubu olduğu görülmektedir.

Yoğunluk sonuçlarının; borik asit ve tutkal değişimi ile değişmediği, başlangıç serme taslak hesaplamalarının doğru yapıldığı takdirde herhangi bir sorun yaşanmayacağı tüm deney gruplarında görülmüştür.

2 saatlik % su alma oranının; borik asit ilavesi ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Tutkal ilavesi arttıkça 2 saatlik % su alma oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin azaldığı görülmektedir. Gruplar arasında borik asit kullanımı arttıkça % su alma oranındaki artış dikkat çekmektedir.

24 saatlik % su alma oranının; borik asit ilavesi ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Tutkal ilavesi arttıkça 24 saatlik % su alma oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin arttığı görülmektedir. Gruplar arasında borik asit kullanımı arttıkça 24 saatlik % su alma oranındaki artış dikkat çekmektedir.

2 saatlik % kalınlığına şişme oranının; borik asit ilavesi ile birlikte artış gösterdiği görülmektedir. Tutkal ilavesi arttıkça 2 saatlik % kalınlığına şişme oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin azaldığı görülmektedir. Gruplar arasında borik asit kullanımı arttıkça 2 saatlik % kalınlığına şişme oranındaki artış dikkat çekmektedir.

24 saatlik % kalınlığına şişme oranının; borik asit ilavesi ile birlikte artış gösterdiği görülmüştür. Tutkal ilavesi arttıkça 24 saatlik % kalınlığına şişme oranında iyileşme olduğu ve veriler arasındaki değişkenliğin azaldığı görülmüştür. Gruplar arasında borik asit kullanımı arttıkça 24 saatlik % kalınlığına şişme oranındaki artış dikkat çekmektedir. 24 saatlik % kalınlığına şişme test sonuçlarına bakıldığında; en iyi sonuç hiçbir yanma geciktirici kimyasal kullanılmayan E grubu kontrol levhalarına aittir. F grubu yani üre formaldehit tutkalı ve borik asit ilaveli levhaların ise standart limiti karşılayamadığı görülmektedir. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise 24 saatlik % kalınlığına şişme standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktirici levhalara oranla daha düşük şişme oranına sahip olduğu görülmüştür.

Rutubet sonuçlarının; borik asit ve tutkal değişimi ile değişmediği, başlangıç serme taslak hesaplamalarının doğru yapıldığı takdirde herhangi bir sorun yaşanmayacağı tüm deney gruplarında görülmüştür.

Yüzey yoğunluklarının; istenen değeri (980-1080 kg/m³) yakaladığı görülmektedir. Gruplar arasında yüzey yoğunluk açısından belirgin bir farklılık görülmemiştir.

Eğilme dayanımı; B (Orta Tabaka:12;Yüzey Tabaka:15) ve C (O.T:15;Y.T:18) grubundaki tüm deney numune sonuçlarında istenen standart limiti (≥ 11 N/mm²) sağlamıştır. A (O.T:9;Y.T:12) grubunda ise 10-15-20/25 borik asit oranlarına sahip numuneler istenen eğilme dayanımı limitini karşılayamamıştır. Tutkal ilavesi arttıkça eğilme dayanımının arttığı, özellikle A grubunda borik asit ilavesi ile eğilme dayanımının düştüğü, B ve C gruplarında ise borik asit ilavesinin eğilme dayanımını önemli ölçüde değiştirmediği görülmüştür. Eğilme dayanımı test sonuçlarına bakıldığında; F grubu yani üre formaldehit ve borik asit katkılı deney levhaları standart değerinin altında kalmıştır. En yüksek eğilme dayanımı ise, E grubu yani yanma geciktirici kullanılmayan kontrol levhalarına aittir. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise eğilme dayanımı standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Elastikiyet modülü; B (O.T:12;Y.T:15) ve C (O.T:15;Y.T:18) grubundaki tüm deney numune sonuçları istenen standart limiti (≥ 1600 N/mm²) sağlamıştır. A (O.T:9;Y.T:12) grubunda ise 10-15-20/25 borik asit oranlarına sahip numuneler istenen elastikiyet modülü limitini karşılayamamıştır. Tutkal ilavesi arttıkça elastikiyet modülünün arttığı, özellikle A ve B gruplarında borik asit ilavesi ile elastikiyet modülünün düştüğü, C grubunda ise borik asit ilavesinin elastikiyet modülünü önemli ölçüde değiştirmediği görülmüştür. Eğilmede elastikiyet modülü test sonuçlarına bakıldığında; F grubu yani üre formaldehit ve borik asit katkılı deney levhaları standart değere çok yaklaşmıştır. En yüksek eğilme dayanımı ise, E grubu yani yanma geciktirici kullanılmayan kontrol levhalarına aittir. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise eğilmede elastikiyet modülü standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha düşük eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Yüzeye dik çekme direnci; B (O.T:12;Y.T:15) ve C (O.T:15;Y.T:18) grubundaki tüm deney numune sonuçları istenen standart limiti ($\geq 0,35$ N/mm²) sağlamıştır. A (O.T:9;Y.T:12) grubunda ise 15-20/25 borik asit oranlarına sahip numuneler istenen yüzeye dik çekme direnci limitini karşılayamamıştır. Tutkal ilavesi arttıkça yüzeye dik çekme direncinin arttığı, borik asit ilavesi ile de yüzeye dik çekme direncinin düştüğü görülmektedir. Yüzeye dik çekme

test sonuçlarına bakıldığında; F grubu yani üre formaldehit ve borik asit katkılı deney levhaları standart limitin altında kalmıştır. En yüksek yüzeye dik çekme direnci ise, E grubu yani yanma geciktirici kullanılmayan kontrol levhalarına aittir. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise yüzeye dik çekme direnci standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara oranla daha düşük yüzeye dik çekme direncine sahip olduğu görülmüştür.

Yüzey sağlamlığı; A (O.T:9; Y.T:12) grubundaki B.A 20/25 denemesi haricindeki tüm deney numunelerinde istenen standart limiti ($\geq 0,80$ N/mm²) sağlamıştır. Yüzey sağlamlığı test sonuçlarına göre optimum tutkal ve borik asit, A grubunda 10-15/20 ve 10-15/25 borik asit denemelerine aittir. Yüzey sağlamlığı test sonuçlarına bakıldığında tüm gruplar standart limiti karşılamaktadır. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhaları ise yüzey sağlamlığı standart limitini karşılamakta olup, piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalar ile aynı yüzey sağlamlığı dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Cone kalorimetre test sonuçlarına bakıldığında; A grubundaki B.A 10/20 denemesi haricindeki tüm ürünlerde B sınıfı yanma dayanımının sağlandığı görülmektedir. ASTM-E69 standardına göre, yanma deneyi sonrası kütle kayıplarına bakıldığında; E grubu yani melamin formaldehit tutkalı kullanılan ve herhangi bir yanma geciktirici ilavesi bulunmayan deney levhaları en fazla kütle kaybına uğramıştır. En az kütle kaybına uğrayan deney numuneleri ise G grubu yani piyasada satışa sunulan yanma geciktiricili levhalara aittir. Optimum oran olarak belirlenen %9/12 tutkallı ve %15/20 borik asitli A grubu levhalar, piyasada satışa sunulan levhalara oranla 2,9 kat daha fazla kütle kaybına uğramıştır.

Yanma geciktirici olarak kullanılan borik asit kimyasalının özellikle melamin yüzeyli levhalarda da denenmesi akademik açıdan faydalı olacaktır. Evlerimizde kullandığımız mobilyaların üretiminde kullanılan yonga levhaların birçoğu melamin ya da üre reçinesi emdirilmiş kâğıt ile kaplıdır. Bu kâğıtların emprenye yapılması esnasında borik asit kullanılması yanmayı geciktirmede etkili olabilir. Emprenye işleminde borik asit haricinde diğer yanma geciktirici kimyaların da denenmesi faydalı olacaktır.

Borik asit kimyasalı bu çalışmada toz halde kullanılmıştır. Benzer bir çalışmayı sıvı halde

uygulayarak yapmakta fayda olabilir. Bu sayede homojen karışım sağlanarak yanma dayanımına olan etki daha stabil hale getirilebilir. Ayrıca, borik asit toz kimyasalına elektrostatik yük verilerek özellikle kimyasalın dış tabaka yongalarına daha iyi tutunması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Ashori, A., Nourbakhsh, A. (2008). Effect of Press Cycle Time and Resin Content on Physical and Mechanical Properties of Particleboard Panels Made From The Underutilized Low-Quality Raw Materials, *Industrial crops and products*, 28(2), 225-230.
- ASTM D1037 2020. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials
- ASTM E69-02 2007. Standard Test Method for Combustible Properties of Treated Wood by the Fire-Tube Apparatus
- Aydın, D. Y., Gürü, M., Ayar, B., Çakanyıldırım, Ç. (2016). Bor bileşiklerinin alev geciktirici ve yüksek sıcaklığa dayanıklı pigment olarak uygulanabilirliği, *Journal of BORON*, 1(1), 33-39.
- Ayrilmis, N. (2007). Effect of Fire Retardants on Internal Bond Strength and Bond Durability of Structural Fiberboard, *Building and environment*, 42(3), 1200-1206.
- Ayrilmis, N., Candan, Z., White, R. (2007). Physical, Mechanical, and Fire Properties of Oriented Strand Board with Fire Retardant Treated Veneers, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65(6), 449-458.
- Baysal E, Şimşek H, Toker M, Çolak M, Yiğitbaşı N.O. (2006). Hygroscopicity Levels of Wood Treated With Boron Compounds. In: *Proceedings of the III. International Symposium on Boron, Proceeding Book Vol. 1, Ankara*, pp. 51–54.
- Çamlıbel, O. (2021). Yonga Levha Üretiminde Çok Katlı Sıcak Pres Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(3), 800-807.
- Christiansen, A. W. (1994). Effect of Overdrying of Yellow-Poplar Veneer On Physical Properties And Bonding, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 52(3), 139-149.
- Demir, A., Aydın, I. (2022). Surface free energy, wettability and bonding of plywood after fire-retardant treatment with various chemicals, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1-12.
- Demir, A., Aydın, I., Salca, E. A. (2017). Some technological properties of plywood after fire retardant treatment in different concentrations, *Pro Ligno*, 13(2), 40-45.
- Eroğlu, H ve Usta, M. (2000). *Lif Levha Üretim Teknolojisi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:200, Fakülte Yayın No:30, 351 s. Trabzon, Türkiye.
- FAOSTAT, (2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> Son erişim tarihi: 21 Mart 2022.
- Gass, S.I. (2000). Making Decisions with Precision, *Business Week* October 30, 2000 (http://www.businessweek.com/archives/2000/b3705139.arc.htm?campaign_id=se)

arch#B37051 39), Son erişim tarihi: 1 Şubat 2006.

- Gözalın, M. (2016). Yonga Levhalarda Parafın Kullanım Miktarının Optimizasyonu Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Bartın, 135s
- Guler, C., İbiş, M. (2018). Yongalevha üretiminde hammadde kaynaklarının optimizasyonu ve teknolojik yönden incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 808-817.
- Gürü M, Ayar B, Çakanyıldırım Ç, Özmen L. (2010). Aleve ve yüksek sıcaklığa dayanıklı boya ve üretim yöntemi incelemeli Patent TR 2007 02470 B, 21.10.2010.
- Hastrup, A. C. S., Jones, D., Lawther, M., Fynholm, P., Fælled, P. (2015). Performance of a new water-based fire retardant in wood-based panels. International Panel Products Symposium, p71-80
- İslam, M. N., Adib, A., Dana, N. H., Das, A. K., Faruk, M. O., Siddique, M. R. H., ...Shams, M. I. (2021). Raw natural rubber latex-based bio-adhesive for the production of particleboard: formulation and optimization of process parameters. *RSC advances*, 11(46), 28542-28549.
- İstek, A., Özlüsoylu, İ. (2016). The effect of using Siriono and boric acid on the combustion performance in particleboard production. In International Forestry Symposium (IFS 2016) (Vol. 7, No. 10).
- İstek, A., Özlüsoylu, İ., Çelik, S., Gönül, Ş. (2017). Ahşap esaslı levha sektöründe kullanılan yanma geciktiriciler, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 389-399.
- İstek, A., Özlüsoylu, İ., Kizilkaya, A. (2017). Türkiye ahşap esaslı levha sektör analizi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 132-138.
- İstek, A., Yalcınkaya, G ve Özlüsoylu, İ. (2017) The effect of some boron compounds on physical and mechanical properties of particle board, *ICACOF 2017*, Kapadokya, Türkiye.
- Karaoğlan, A. D., Demir, M. M., Çarkacı, M. M. (2018). Yonga Levha Üretim Süreçlerinde Pres Süresinin Enküçüklenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 658-664.
- La, H., Zhilin, C., Feng, F., & Mizi, F. (2015). Investigation of factory fire retardant treatment of eucalyptus plywood, *Forest Products Journal*, 65(7-8), 320-326.
- LeVan SL, Winandy J.E. (1990). Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review, *Wood Fiber Sci* 22(1):113–131
- Lowden, L. A., Hull, T.R. (2013). Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire science reviews*, 2(1), 1-19.
- Mamatha, B. S., Sujatha, D., Nath, S. K., Uday, D. N. ,Nandanwar, A. (2017). Development

- of Fire Retardant Wood Composite Using Amino Resin. *In Wood is Good* (pp. 353-361). Springer, Singapore.
- Manning, M., (2002). Wood protection processes for engineered wood products, enhancing the durability lumber and engineered wood products, *Forest Products Society* 11-13. Orlando, Florida.
- 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 Article ID 146763*, 6 pages, doi:10.1155/2011/146763.
- Nakaruk, A., Ragazzon, D., Sorrell, C.C. (2010). Anatase-rutile transformation through high-temperature annealing of titania films produced by ultrasonic spray pyrolysis, *Thin Solid Films* , 518, 3735–3742.
- Özçifçi, A., Okçu, O. (2008). The influence of the impregnating chemicals on the bonding strength of impregnated wood materials, *Journal of Applied Polymer Science*. 107: 2871–2876.
- Ozyhar, T., Tschannen, C., Thoemen, H., Zoppe, J.O. (2022). Evaluating the use of calcium hydrogen phosphate dihydrate as a mineral-based fire retardant for application in melamine-urea-formaldehyde (MUF)-bonded wood-based composite materials, *Fire and Materials*, 46:595–604
- Pedieu, R., Koubaa, A., Riedl, B., Wang, X. M., Deng, J. (2012). Fire-retardant properties of wood particleboards treated with boric acid, *European Journal of Wood and Wood Products*, 70(1), 191-197.
- Qu, W., Wu, Y.Z. (2017). Flame retardant amino resin for surface coating and its application in medium density fiberboard, *China Wood Ind.* 31, 13–17.
- Rowell, R. M., Dietenberger, M. A. (2013). Thermal properties, combustion, and fire retardancy of wood. *Handbook of wood chemistry and wood composites*, 127-149.
- Şimsek, H., Baysal, E., Yılmaz, M., Culha, F. (2013). Some mechanical properties of wood impregnated with environmentally-friendly boron and copper based chemicals, *Wood Research*, 58 (3): 2013, 495-504
- Sjöblom, E., Johnsson, B., Sundström, H. (2004). Optimization of particleboard production using NIR spectroscopy and multivariate techniques, *Forest products journal*, 54(6).
- Taghiyari, H. R., Rangavar, H., Nouri, P. (2013). Fire-retarding properties of nanowollastonite in MDF, *European Journal of Wood and Wood Products*, 71(5), 573-581.
- TS EN 310 (1999). Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.

- TS EN 312 (2012). Yonga levhalar – Özellikler, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 317 (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 319 (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 322 (1999). Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 323 (1999). Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 326 (1999). Ahşap esaslı levhalar-Numune alma kesme ve muayene bölüm 1: Deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi, Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE), Ankara
- Türkay, M. (2011). Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları. <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf>. Son erişim tarihi: 13 Aralık 2022.
- URL-1 (2011). <https://www.csymarine.com/ahsap-kompozit-panel>
- URL-2 (2023). <https://www.ozbakmalzeme.com/urun/yonga-levha>
- URL-3 (2023). <https://stararge.ge/tr/product-details/laminirebuli-merqami/>
- URL-4 (2019). <https://www.orsiad.com.tr/levha-sektor-analizi.html>
- URL-5 (2023). <https://unece.org/sites/default/files/2023-09/2023>
- URL-6 (2023). <https://trends.directindustry.com/pallmann-maschinenfabrik/project-63389-128956.html>
- URL-7 (2023). <https://www.termoyapienerji.com.tr/urun-gruplari/kurutucu-ve-firinlar/bantli-kurutucular-4/>
- URL-8 (2023). [https://wtp.hoechsmann.com/en/lexikon/41143/chipboard-production_forming_line# gallery-1](https://wtp.hoechsmann.com/en/lexikon/41143/chipboard-production_forming_line#gallery-1)
- URL-9 (2006). <http://www.siempepkamp-dresden.com/fileadmin/media/Englisch/Download/Bulletins/bulletin>
- URL-10 (2019). <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/1-borik-asit1.pdf>
- URL-11 (2014). <https://tolgakaranfil.webnode.com.tr/products/kompozit-malzemelerin-avantajlari-ve-uretim-metodlari/>
- Ustaömer, D. (2008). Çeşitli yanmayı geciktirici kimyasal maddelerle muamele edilerek orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi,

Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 244 s. Trabzon.

- Ustaomer, D., Usta, M. (2012). The effects of boron compounds and different melamine contents in MUF resins on some properties of MDF panels, *BioResources*, 7(1), 0437-0446.
- Wang, Q., Li, J., Winandy, J. E. (2004). Chemical mechanism of fire retardance of boric acid on wood, *Wood science and technology*, 38(5), 375-389.
- Winandy JE, Lebow PK, Murphy, J.F. (2002). Predicting current serviceability and residual service life of plywood roof sheathing using kinetics-based models, In: *Proceedings of the 9th durability of building materials and components conference*, Brisbane, p 7
- Winandy, JE., (1998). Techline, properties and use of wood, composites, and fiber products, durability of fire-retardant-treated wood, US Department of Agriculture, vol 5, issued 01/98
- Xiong, X., Niu, Y., Zhou, Z., Ren, J. (2020). Development and application of a new flame-retardant adhesive, *Polymers*, 12(9), 2007.
- Yalçınkaya, G. (2014). Bazı borlu bileşiklerin yonga levha özelliklerine etkisi, Bartın Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bartın, 91s.
- Yapıcı, F. (2014). Yönlendirilmiş Yonga Levhaların (OSB) Özelliklerine Üretim Koşullarının Etkisinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi ve Optimizasyonu. *TÜBİTAK Projesi*, Proje no: 111O209.
- Yıldız, Ü.C. (2009). Borlu Bileşiklerle Emprenye edilmiş masif ve kompozit odun ürünlerinde fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik dayanım özellikleri ve endüstriyel uygulama olanakları, *TÜBİTAK Projesi*, Proje no:105 O 726.
- Zhang, B., Hua, J., Cai, L., Gao, Y., Li, Y. (2022). Multi-objective optimization of particle gluing operating parameters in particleboard production based on improved machine learning algorithm. *Journal of Wood Science*, 68(1), 1-10.

