T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

BÜKÜLMÜŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE ÜRETİMİNDE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRMA UYGULANMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

HAZIRLAYAN

SERKAN ÖZDEMİR

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ SAADETTİN MURAT ONAT

BARTIN-2020

T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BÜKÜLMÜŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE ÜRETİMİNDE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRMA UYGULANMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN

SERKAN ÖZDEMİR

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	:	Dr. Öğr. Üyesi Saadettin Murat ONAT	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI	- Düzce Üniversitesi
Üye	:	Doç. Dr. Deniz AYDEMİR	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Doç. Dr. Ayhan GENÇER	- Bartın Üniversitesi
Üye	:	Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin CİRİTCİOĞLU	- Düzce Üniversitesi

BARTIN-2020

KABUL VE ONAY

Serkan ÖZDEMİR tarafından hazırlanan "BÜKÜLMÜŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE ÜRETİMİNDE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRMA UYGULANMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ" başlıklı bu çalışma, 27.01.2020 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Saadettin Murat ONAT (Danışman) ……

Üye : Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI ……

Üye : Doç. Dr. Deniz AYDEMİR ……

Üye : Doç. Dr. Ayhan GENÇER ……

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin CİRİTCİOĞLU ……

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..…/..…/20… tarih ve 20…../…..-….. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Saadettin Murat ONAT danışmanlığında hazırlamış olduğum "BÜKÜLMÜŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE ÜRETİMİNDE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRMA UYGULANMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ" başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımı kabul edeceğimi beyan ederim.

27.01.2020

Serkan ÖZDEMİR

ÖNSÖZ

Doktora tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın her aşamasında bilgi, tavsiye, destek ve yakın ilgisini esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Saadettin Murat ONAT'a, bilgi ve tecrübeleriyle yapıcı eleştirilerde bulunan ve çalışmalarımda yol gösteren tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Ümit BÜYÜKSARI'ya ve Doç. Dr. Deniz AYDEMİR'e ve bu tezde jüri üyesi olma nezaketini gösteren ve değerli katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Ayhan GENÇER ve Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin CİRİTCİOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, çalışmalarım kapsamında katkılarından dolayı Prof. Dr. Nurgül TANKUT, Doç. Dr. Andreja KUTNAR, Doç. Dr. Turgay KIVAK, Dr. Mustafa KORKMAZ ve Düzce Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü'ndeki diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamın ilk kısmını COST Action FP1303 aksiyonu, STSM (Short Term Scientific Mission) programı kapsamında finansal olarak destekleyen COST'a (European Cooperation in Science and Technology), kullanılan malzemelerin temininde ve üretiminde desteklerinden ötürü BREST-Pohištvo d.o.o., Sayın Seyfi TEMEL, Gürsoy Ahşap, Sancaklı Mobilya A.Ş., Polisan Kimya A.Ş., Entegral Endüstriyel Ürünler San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye teşekkürlerimi sunarım.

En önemlisi hayatımın her safhasında olduğu gibi tez çalışmam süresince de bana inanan ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Serkan ÖZDEMİR

ÖZET

Doktora Tezi

BÜKÜLMÜŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE ÜRETİMİNDE TERMO-MEKANİK YOĞUNLAŞTIRMA UYGULANMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

Serkan ÖZDEMİR

Bartın Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Saadettin Murat ONAT
Bartın-2020, sayfa: 197

Bu çalışma kapsamında yüksek sıcaklık ve basınca ihtiyaç duyulan termo-mekanik (TM) yoğunlaştırma, laminasyon ve bükme işlemleri birlikte kullanılarak, Kavak kaplamalardan yoğunlaştırılmış ve bükülmüş-yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (yTKK ve byTKK) üretilebilirliği incelenmiştir. Bu sayede, Kavak odununun mekanik özellikleri iyileştirilerek yeni kullanım alanlarının bulunması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle, yTKK ve byTKK'lerin nasıl üretileceği sorusuna cevap aranmıştır.

Sağlayabileceği birçok avantajdan ötürü çalışmanın ilk aşamasında, vakum preste önceden yoğunlaştırılmış kaplamalardan yTKK ve/veya byTKK üretimi (ayrık yöntem) üzerinde durulmuştur. Bunun için, düşük pres basıncının yoğunlaştırılmış Kavak kaplamalardan üretilen yTKK'nin yapışma dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, I-214 klonu Melez Kavak (*Populus euramericana* cv.) kaplamalar %50, 75 ve 100 olmak üzere üç farklı seviyede sıkıştırılmıştır. Bu kaplamalardan, üre formaldehit (ÜF) ve polivinil asetat (PVAc) yapıştırıcıları kullanılarak, 0,25, 0,50 ve 0,75 N/mm^2 basınç altında yTKK'ler üretilmiştir. Sonuç olarak yoğunlaştırılma işleminin yapışma dayanımına olumlu etkisi olduğu, ancak pres basıncı düştükçe yapışma dayanımının da düştüğü gözlemlenmiştir. Diğer yandan, yüksek üretim maliyetleri, uzun işlem süresi ve ön

yoğunlaştırma işlemi sonucu yükselen eğilmede elastikiyet modülü nedeniyle bükmede yaşanabilecek güçlüklerde dikkate alındığında, ayrık yöntem ikinci plana itilmiş ve birleştirilmiş yöntemin denenmesi kararlaştırılmıştır.

İkinci aşamada TM yoğunlaştırma ile laminasyon işlemleri birleştirilerek yTKK üretilmiş ve mekanik özellikleri en iyi yapacak üretim koşulları belirlenmiştir. Bu amaçla Taguchi tabanlı gri ilişkisel analiz kullanılarak yTKK üretiminde sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı için en uygun seviyeler belirlenmiştir. yTKK'ler, Samsun klonu (I-77/51) Amerikan Kavağı (*Populus deltoides*) kaplamalardan, ÜF ve fenol formaldehit (FF) yapıştırıcıları kullanılarak üretilmiştir. Çalışma sonucunda, mekanik özellikler üzerine en etkili üretim faktörlerinin sıkıştırma oranı ve pres süresi olduğu belirlenmiştir. En iyi sonuçlar %50 sıkıştırma oranında, ÜF için 3 dakika, FF için ise 7 dakika yoğunlaştırılan yTKK'lerde elde edilmiştir. Mekanik özelliklerdeki %71'e varan iyileşmelerin yanında, üretim süresini ve maliyetleri azaltma potansiyelinden dolayı byTKK üretiminde birleştirilmiş yöntemin kullanılmasının uygun olacağı kararlaştırılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise TM yoğunlaştırma, laminasyon ve bükme işlemleri birleştirilerek Samsun (I-77/51) klonu Amerikan Kavağı (P*opulus deltoides*) kaplamalardan byTKK üretilmiştir. Çalışma kapsamında, üretilen byTKK'lerin statik yükler altındaki moment taşıma kapasitesi ve rijitlikleri belirlenmiş ve yapıştırıcı türü, kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı gibi üretim parametreleri optimize edilmiştir. Son olarak en iyi sonuçların elde edildiği byTKK^lar ile kontrol numuneleri tekrar eden yüklerin altındaki yorulma dayanımlarına göre karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, mekanik özellikler üzerine en etkili üretim faktörünün kaplama kalınlığı olduğu ve kalınlık arttıkça çoklu performansın kötüleştiği belirlenmiştir. En iyi sonuçlar ÜF yapıştırıcısı, 1,8 mm kaplama kalınlığı ve 150 ºC pres sıcaklığı kullanıldığında elde edilmiştir. Uygulanan yöntemle, Kavak kontrol grubuna kıyasla diyagonal basmada moment taşıma kapasitesinde %63 oranında iyileşme elde edilirken, diyagonal açmada moment direncinde sınırlı düzeyde artış (%25) gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kavak; TM yoğunlaştırma, tabakalı kaplama kereste; bükme; Taguchi metodu; gri ilişkisel analiz; yorulma.

Bilim Alanı Kodu: 120403, 120406

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THE APPLICATION OF THERMO-MECHANICAL DENSIFICATION IN PRODUCTION OF CURVED LAMINATED VENEER LUMBER AND THE EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES

Serkan ÖZDEMİR

Bartın University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Saadettin Murat ONAT
Bartın-2020, pp: 197

In this study, it was investigated to produce densified and curved-densified laminated veneer lumber (dLVL and cdLVL) from poplar veneers by using of the thermo mechanical (TM) densification, lamination and bending processes together which require high temperature and pressure. Thus, it is aimed to find new usage areas for poplar wood by improving the mechanical properties. For this purpose, primarily an answer was sought to the question of how to produce dLVLs and cdLVLs.

Due to the many advantages, the first step of the study focused on the production of dLVL from pre-densified veneers (discrete method) in a vacuum press. For this, the effect of low press pressure on the bonding strength of dLVL produced from densified poplar veneers was investigated. In this study, I-214 clone hybrid poplar (*Populus euramericana* cv.) veneers were compressed at three different levels, 50%, 75 and 100%. Then, dLVL were produced from these veneers under 0.25, 0.50 and 0.75 N/mm^2 pressure by using urea formaldehyde (UF) and polyvinyl acetate (PVAc) adhesives. As a result, it has been observed that the densification process has a positive effect on the bonding strength, but as the press pressure decreases, the bonding strength decreases as well. On the other hand, considering the high production costs, long processing time and difficulties in bending due

to the increase of modulus of elasticity as a result of the pre-densification, the discrete method was pushed to the second plan and it was decided to try the combined method.

In the second stage, dLVL was produced by combining TM densification and lamination processes and the production conditions for best mechanical properties were determined. For this purpose, optimum levels were determined for compression ratio, press temperature, press time and amount of adhesive for dLVLs production using Taguchi based gray relational analysis. dLVLs were produced from Samsun (I-77/51) clone American poplar (*Populus deltoides*) veneers by using UF and phenol formaldehyde (FF) adhesives. As a result of the study, it has been determined that the most effective production factors on mechanical properties are compression ratio and press time. The best results were obtained from dLVL at compression rate of 50% and at press time of 3 minutes for UF, 7 minutes for FF. Beside of the improvements up to 71% in mechanical properties, because of the potential to decrease production cost and time, it was decided to use of combined method in cdLVL production.

In the final stage of the study, cdLVL was produced from Samsun (I-77/51) clone American poplar (*Populus deltoides*) by combining the TM densification, lamination and bending processes. Within the scope of the study, the moment carrying capacity and rigidity of produced cdLVL under static load were determined and the production parameters such as the type of adhesive, coating thickness and press temperature are optimized. Finally, the cdLVLs with best multiple performances were compared with the control groups according to the fatigue strength under cycling load.

As a result, it was determined that the most effective production factor on mechanical properties was veneer thickness and multiple performances decreased as veneer thickness increased. The best results were obtained when the UF adhesive, 1.8 mm veneer thickness and 150 ºC press temperature were used. Compared to poplar control group, a 63% improvement in moment carrying capacity under diagonal compression load was achieved, while a limited increase (25%) was observed under diagonal pull load.

Keywords: Poplar; TM densification; laminated veneer lumber; Taguchi method; grey relational analysis, fatigue.

Scientific Field Code: 120403, 120406

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL VE ONAY ii

BEYANNAME iii

ÖNSÖZ iv

ÖZET v

ABSTRACT viii

İÇİNDEKİLER xi

ŞEKİLLER DİZİNİ xvi

TABLOLAR DİZİNİ xx

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xxvii

BÖLÜM 1 GİRİŞ 1

1.1. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri 4

1.2. Hızlı Gelişen Ağaç Türleri 6

1.2.1. Kavak Türleri 8

1.2.2. Kavak Odununun Teknolojik Özellikleri 9

1.2.3. Kavak Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 9

1.3. Odun Modifikasyonu 11

1.3.1. Yoğunlaştırma 12

1.3.1.1. Termo Mekanik Yoğunlaştırma 12

1.3.1.2. Termo Hidro Mekanik Yoğunlaştırma 15

1.3.2. Bükme 15

1.3.3. Tabakalı Kaplama Kereste 18

1.3.3.1. Tabakalı Kaplama Kereste Üretiminde Kullanılan Yapıştırıcılar 21

1.3.3.2. Üre Formaldehit Yapıştırıcısı 21

1.3.3.3. Fenol Formaldehit Yapıştırıcısı 23

1.3.3.4. Polivinil Asetat Yapıştırıcısı 24

1.4. Termo Mekanik Modifikasyona İşlem Parametreleri 25
1.4.1. Sıcaklık 25
1.4.2. Rutubet Miktarı 27
1.4.3. Pres Basıncı 29
1.4.4. Pres Süresi 31
1.5. Deney Tasarımı 31
1.5.1. Taguchi Yöntemi 32
1.6. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri 35
1.6.1. Gri İlişkisel Analiz 36
1.6.2. Taguchi Metodu ve Gri İlişkisel Analizin Bütünleşik Olarak Uygulanması 36

BÖLÜM 2 PRES BASINCININ YOĞUNLAŞTIRILMIŞ KAVAK KAPLAMALARIN YAPIŞMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ 41

2.1. Materyal 42
2.1.1. Ağaç Malzeme 43
2.1.2. Kaplamaların Hazırlanması 43
2.1.3. Yapıştırıcılar 44
2.2. Deneme Levhalarının Hazırlanması 45
2.2.1. Termo Mekanik Yoğunlaştırma 45
2.2.2. Yoğunlaştırılmış Kaplamalardan Tabakalı Kaplama Kereste (TKK) Üretimi.. 46
2.3. Yöntem 47
2.3.1. Fiziksel Özellikler 47
2.3.1.1. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi 47
2.3.1.2. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi 47
2.3.1.3. Sıkışma Oranının Belirlenmesi 48
2.3.1.4. Anlık Geri Esneme ve Geri Esneme Oranının Belirlenmesi 49
2.3.2. Mekanik Özellikler 49
2.3.2.1. Yapışma Dayanımının Belirlenmesi 49

2.4. Bulgular ve Tartışma 50
2.4.1. Fiziksel Özellikler 50
2.4.2. Yapışma Dayanımı 53
2.4.3. Yapışma Dayanımı (Taguchi Yöntemi) 55
2.5. Sonuçlar 58

BÖLÜM 3 FARKLI ÜRETİM PARAMETRELERİNİN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE'NİN (yTKK) MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ 61

3.1. Materyal 61
3.1.1. Ağaç Malzeme 62
3.1.2. Kaplamaların Hazırlanması 62
3.1.3. Yapıştırıcılar 63
3.2. Ön Denemeler 64
3.2.1. yTKK Taslakları İçinde Sıcaklık Yayılımının Belirlenmesi 64
3.2.2. Yüksek Sıcaklık ve Pres Süresinin TKK'nin Yapıştırma Dayanımı Üzerine Etkisi 66
3.2.2.1. Ön Deneme Bulguları ve Tartışma 67
3.2.2.2. Ön Deneme Sonuçları 69
3.3. Parametre Tasarımı 69
3.4. Yoğunlaştırılmış Tabakalı Kaplama Kereste Üretimi 72
3.5. Yöntem 73
3.5.1. Fiziksel Özellikler 73
3.5.1.1. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi 73
3.5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi 74
3.5.1.3. Sıkıştırma Oranının Belirlenmesi 74
3.5.1.4. Anlık Geri Esneme ve Geri Esneme Oranlarının Belirlenmesi 74
3.5.1.5. Kalınlığına Şişme Oranının Belirlenmesi 75
3.5.2. Mekanik Özellikler 75

3.5.2.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi..... 75
3.5.2.2. Çekme Makaslama Direncinin Belirlenmesi 76
3.5.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi 77
3.6. Bulgular ve Tartışma 78
3.6.1. Fiziksel Özellikler 78
3.6.1.1. Hava Kurusu Yoğunluk 78
3.6.1.2. Geri Esneme Oranı..... 81
3.6.1.3. Sıkışma Oranı..... 85
3.6.1.4. Kalınlığına Şişme Oranı..... 89
3.6.2. Mekanik Özellikler..... 94
3.6.2.1. Eğilme Direnci 94
3.6.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü 100
3.6.2.3. Çekme-Makaslama Direnci 107
3.6.2.4. Yüzeye Dik Çekme Direnci 113
3.6.2.5. Mekanik Özelliklerinin Gri İlişkisel Analiz ile Değerlendirilmesi..... 119
3.6.2.6. Doğrulama Deneyi 125
3.7. Sonuçlar..... 126

BÖLÜM 4 FARKLI ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BÜKÜLMÜŞ YOĞUNLAŞTIRILMIŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE'NİN (byTKK) MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ 131

4.1. Materyal..... 131
4.1.1. Rezistans Isıtmalı Bükme Pres Kalıplarının Üretimi 131
4.1.2. Ağaç Malzeme ve Kaplamaların Hazırlanması..... 132
4.1.3. Yapıştırıcılar..... 132
4.2. Parametre Tasarımı..... 133
4.3. Bükülmüş Yoğunlaştırılmış Tabakalı Kaplama Kereste Üretimi..... 137
4.4. Yöntem 139
4.4.1. Fiziksel Özellikler 139
4.4.1.1. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi..... 139

4.4.1.2. Yoğunluğun Belirlenmesi 139
4.4.1.3. Sıkıştırma Oranının Belirlenmesi 140
4.4.1.4. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi 140
4.4.2. Mekanik Özellikler 140
4.4.2.1. Diyagonal Çekme Deneyinde Moment Taşıma Kapasitesi ve Rijitliğin Belirlenmesi 142
4.4.2.2. Diyagonal Basma Deneyinde Moment Taşıma Kapasitesi ve Rijitliğin Belirlenmesi 143
4.4.2.3. Diyagonal Çekme Deneyinde Yorulma Dayanımının Belirlenmesi 144
4.4.2.4. Diyagonal Basma Deneyinde Yorulma Dayanımının Belirlenmesi 145
4.5. Bulgular ve Tartışma 146
4.5.1. Fiziksel Özellikler 146
4.5.1.1. Hava Kurusu Yoğunluk 147
4.5.1.2. Sıkışma Oranı 149
4.5.1.3. Geri Esneme Oranı 153
4.5.2. Mekanik Özellikler 155
4.5.2.1. Diyagonal Çekmede Moment Taşıma Kapasitesi 155
4.5.2.2. Diyagonal Çekmede Rijitlik 158
4.5.2.3. Diyagonal Basmada Moment Taşıma Kapasitesi 161
4.5.2.4. Diyagonal Basmada Rijitlik 164
4.5.2.5. Mekanik Özelliklerin Gri İlişkisel Analiz ile Değerlendirilmesi 167
4.5.2.6. Doğrulama Deneyi 170
4.5.2.7. Diyagonal Çekmede Yorulma 171
4.5.2.8. Diyagonal Basmada Yorulma 172
4.6. Sonuçlar 174

BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 179

KAYNAKLAR 185

ÖZGEÇMİŞ 195

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No		Sayfa No
1.1:	Yıllara göre Türkiye'deki odun üretimi	2
1.2:	Kavisli mobilya parçaları örnekleri	16
1.3:	Meşe odununda bükme esnasında oluşan deformasyon ve gerilmeler	17
1.4:	Bükme işlemi esnasında oluşan iç gerilmeler	18
1.5:	Kullanılan kaplama kalınlığı ve yoğunluğu ile yapıştırıcı katı madde miktarının tabakalı kaplama malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi	20
1.6:	Amorf polimerlerin elastikiyet modülü üzerine sıcaklığın etkisi	26
1.7:	Yarı kristal selüloz, hemiselüloz ve ligninin camsı geçiş sıcaklığı ile rutubet arasındaki ilişki	28
1.8:	Balsa odunu için basınç gerilmesi-deformasyon grafiği	29
1.9:	Taguchi tabalı gri ilişkisel analizin uygulama aşamaları	37
2.1:	I-214 klonu Melez Kavak tomruklar	43
2.2:	Milli kaplama soyma makinesi	44
2.3:	Soğutma tertibatlı hidrolik pres	45
2.4:	Kaplamalar için TM yoğunlaştırma sürecinin aşamaları	46
2.5:	Yapışma direnci numunesi	50
2.6:	I-214 klonu melez kavak kaplamaların presten hemen sonra ve hava kurusu sıkıştırma oranlarını karşılaştırması	52
2.7:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için S/G oranı ana etki grafiği	56
2.8:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için ikili etkileşim grafiği	58
3.1:	Kaplama katmanlarının içinde sıcaklık yayılımının ölçümü	64
3.2:	170ºC'de sıcaklığın kaplama taslaklarında yayılım hızı	65
3.3:	190ºC'de sıcaklığın kaplama taslaklarında yayılım hızı	65
3.4:	Çekme makaslama direnci deney numunesi	66
3.5:	TKK yapışma yüzeyi kırılma oranları	68
3.6:	yTKK plakaların üretim süreci	72
3.7:	yTKK üretiminde presleme süreci	73
3.8:	Presleme öncesi yTKK taslağı	74
3.9:	Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü test düzeneği	76

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No		Sayfa No
3.10:	yTKK çekme makaslama direnci test numunesi	77
3.11:	Yüzeye dik çekme direnci deney numunesi ve test düzeneği	77
3.12:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için S/G oranı ana etki grafiği	80
3.13:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için S/G oranı ana etki grafiği	81
3.14:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı ana etki grafiği	84
3.15:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı ana etki grafiği	85
3.16:	%50 oranında sıkıştırılmış yTKK levhaların katman yapısı	87
3.17:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkışma oranları için S/G oranı ana etki grafiği	88
3.18:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkıştırma oranları için S/G oranı ana etki grafiği	89
3.19:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı ana etki grafikleri	92
3.20:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı ana etki grafikleri	93
3.21:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı ana etki grafiği	95
3.22:	ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilme direnci ikili karşılaştırmaları	97
3.23:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı ana etki grafiği	99
3.24:	FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilme direnci ikili karşılaştırmaları	100
3.25:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı ana etki grafiği	102
3.26:	ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü ikili karşılaştırmaları	104
3.27:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı ana etki grafiği	105

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No		Sayfa No
3.28:	FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü ikili karşılaştırmaları	106
3.29:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı ana etki grafiği	108
3.30:	ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci ikili karşılaştırmaları	110
3.31:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı ana etki grafiği	111
3.32:	FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci ikili karşılaştırmaları	113
3.33:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı ana etki grafiği	114
3.34:	ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci ikili karşılaştırmaları	116
3.35:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı ana etki grafiği	117
3.36:	FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci ikili karşılaştırmaları	119
3.37:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G ana etki grafiği	121
3.38:	ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çoklu performanslarları için ikili karşılaştırmalar	122
3.39:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G ana etki grafiği	124
3.40:	FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için ikili karşılaştırmalar	125
4.1:	Bükme pres kalıbının üretimi ve montajı	132
4.2:	Bükme pres kalıbı ve kaplama taslağı sıkıştırma simülasyonu	134
4.3:	byTKK'lerin bükme bölgesinde oluşan kırılmalar	135
4.4:	byTKK üretiminde kullanılan bükme pres makinesi	138

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No		Sayfa No
4.5:	byTKK üretiminde pres tablasıyla malzeme arasındaki boşluğun malzeme sıcaklığına etkisinin simülasyonu	138
4.6:	Pnömatik yorulma deney düzeneği ve kontrol sistemi	141
4.7:	a) Belirlenen örnek sandalye oluşan en yüksek gerilmeler	142
4.8:	byTKK diyagonal çekmede deney düzeneği	142
4.9:	byTKK diyagonal basma deney düzeneği	143
4.10:	Diyagonal çekme deneyinde yükleme genliği	145
4.11:	Diyagonal basma deneyinde yükleme genliği	146
4.12:	byTKK'lerin yoğunlukları için S/G oranı ana etki grafiği	149
4.13:	byTKK'lerin sıkışma oranı için S/G oranı ana etki grafiği	150
4.14:	byTKK levhaların düz bölgesinin katman yapısı	151
4.15:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen byTKK levhaların katman kesiti	152
4.16:	byTKK levhaların kavisli bölgesinin katman yapısı	152
4.17:	byTKK'lerin geri esneme oranları için S/G oranı ana etki grafiği	154
4.18:	byTTK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için S/G oranı ana etki grafiği	156
4.19:	byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri	158
4.20:	byTTK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için S/G oranı ana etki grafiği	159
4.21:	byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için ikili etkileşim grafikleri	161
4.22:	byTTK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için S/G oranı ana etki grafiği	162
4.23:	byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri	164
4.24:	byTTK'lerin diyagonal basmada rijitlik için S/G oranı ana etki grafiği	165
4.25:	byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik için ikili etkileşim grafikleri	167
4.26:	byTKK'lerin çoklu performansları için S/G oranı ana etki grafiği	169
4.27:	byTKK'lerin çoklu performansları için ikili karşılaştırma grafikleri	170
4.28:	Diyagonal çekme deneyinde 1000. ve 25000. tekrarda yük sehim grafiği	172
4.29:	Diyagonal basma deneyinde 1000. ve 25000. tekrarda yük sehim grafiği	173

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No		Sayfa No
1.1:	Bazı hızlı gelişen ağaç türleri için ortalama yıllık hacim artımı ve idare süresi	6
1.2:	Bazı hızlı gelişen ağaç türlerinin yoğunluk ve mekanik özellikleri	7
1.3:	Kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	10
1.4:	Bazı yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin uygulama koşulları	13
1.5:	Yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin yoğunluğu ve mekanik özellikleri	14
2.1:	Üre formaldehit ve polivinil asetat yapıştırıcılarının teknik özellikleri ve karışım reçetesi	44
2.2:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan yTKK üretim koşulları	46
2.3:	I-214 klonu Melez Kavak kaplamaların yoğunlaştırma öncesi ve sonrası rutubet miktarı ve yoğunluğu	51
2.4:	I-214 klonu Melez Kavak kaplamaların yoğunlaştırmanın hemen sonrasında ve hava kurusu haldeki sıkışma, anlık geri esneme ve geri esneme oranları	51
2.5:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı	53
2.6:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için çok faktörlü varyans analizi sonuçları	53
2.7:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için grupları arası farkın önem kontrolü	54
2.8:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan yTKK üretimi için belirlenen parametreler ve seviyeleri	55
2.9:	Taguchi L4 ortogonal deney tasarımına göre yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı	56
2.10:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için S/G oranı yanıt tablosu	56
2.11:	Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için çok faktörlü varyans analizi	57
3.1:	yTKK üretiminde hedeflenen sıkışma oranına göre kullanılan kaplama kalınlıkları	63
3.2:	yTKK üretiminde kullanılan yapıştırıcıların teknik özellikleri ve karışım reçeteleri	63
3.3:	Ön Denemeler için TKK üretimi parametreleri	66
3.4:	Farklı pres sıcaklıklarında üretilen TKK'lerin yapışma direnç değerleri ve tek yönlü varyans analizi sonucu	67

TABLOLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tablo No		Sayfa No
3.5:	170ºC'de farklı sürelerde preslenen TKK'lerin yapışma dayanımı için Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	68
3.6:	yTKK üretimi için belirlenen parametreler ve seviyeleri	71
3.7:	L9 ortogonal deneme desenine göre ÜF ve FF yapıştırıcıları kullanılarak üretilen yTKK ve TKK için pres koşulları	71
3.8:	Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin hava kurusu yoğunlukları	79
3.9:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'ların yoğunlukları için S/G oranı yanıt tablosu	79
3.10:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'ların sıkıştırma oranı için S/G oranı yanıt tablosu	81
3.11:	Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin anlık geri esneme ve geri esneme oranları	82
3.12:	yTKK'lerin anlık geri esneme ve geri esneme oranları için gruplar arası farkın önem kontrolü	82
3.13:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı yanıt tablosu	83
3.14:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı yanıt tablosu	84
3.15:	Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin sıkışma oranları	85
3.16:	yTKK'lerin sıkışma oranı için gruplar arası farkın önem kontrolü	86
3.17:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkıştırma oranı için S/G oranı yanıt tablosu	87
3.18:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkıştırma oranı için S/G oranı yanıt tablosu	88
3.19:	Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları	90
3.20:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı yanıt tabloları	91

TABLOLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tablo No — **Sayfa No**

3.21: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı yanıt tabloları 93

3.22: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin eğilme dirençleri 94

3.23: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı yanıt tablosu 95

3.24: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme direnci için çok faktörlü varyans analizi 96

3.25: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme dirençleri için gruplar arası farkın önem kontrolü 97

3.26: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı yanıt tablosu 98

3.27: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 99

3.28: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme dirençleri için gruplar arası farkın önem kontrolü 100

3.29: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri 101

3.30: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı yanıt tablosu 102

3.31: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 103

3.32: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için gruplar arası farkın önem kontrolü 103

3.33: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı yanıt tablosu 104

3.34: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 105

3.35: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için gruplar arası farkın önem kontrolü 106

TABLOLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tablo No		Sayfa No
3.36:	Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin çekme makaslama direnci değerleri	107
3.37:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı yanıt tablosu	108
3.38:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları	109
3.39:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için grupları arası farkın önem kontrolü	110
3.40:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı yanıt tablosu	111
3.41:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları	112
3.42:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için gruplar arası farkın önem kontrolü	112
3.43:	Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin yüzeye dik çekme direnci	113
3.44:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı yanıt tablosu	114
3.45:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları	115
3.46:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme dirençleri için gruplar arası farkın önem kontrolü	116
3.47:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı yanıt tablosu	117
3.48:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları	117
3.49:	FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci için gruplar arası farkın önem kontrolü	118
3.50:	ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için referans serisi ve normalizasyon matrisi	120

TABLOLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tablo No — **Sayfa No**

3.51: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve performans sıralaması 120

3.52: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G oranı yanıt tablosu 121

3.53: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 122

3.54: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için referans serisi ve normalizasyon matrisi 123

3.55: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve performans sıralaması 123

3.56: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G oranı yanıt tablosu 124

3.57: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 125

3.58: GİA sonucu belirlenen en ideal üretim koşullarına göre üretilen yTKK levhaların doğrulama deney sonuçları ve Taguchi metoduna göre tahmin değerleri 126

4.1: byTKK üretiminde kullanılan yapıştırıcıların teknik özellikleri ve karışım reçeteleri 133

4.2: byTKK üretiminde kullanılan kaplama kalınlıkları ve katman yapısı 135

4.3: byTKK üretiminde uygulanan pres süreleri 136

4.4: L9 ortogonal deneme desenine göre byTKK üretim parametreleri ve seviyeleri 137

4.5: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTKK'lerin hava kurusu yoğunluğu 147

4.6: byTKK'lerin yoğunlukları için gruplar arası farkın önem kontrolü 148

4.7: byTTK'lerin yoğunlukları için S/G oranı yanıt tablosu 148

4.8: byTKK'lerin yoğunluğu için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 149

4.9: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTKK'lerin sıkışma oranı 150

4.10: byTTK'lerin sıkışma oranı için S/G oranı yanıt tablosu 150

4.11: byTKK'lerin sıkışma oranı için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 151

4.12: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin, geri esneme ve sıkışma oranları 153

TABLOLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tablo No — **Sayfa No**

4.13: byTTK'lerin geri esneme oranları için S/G oranı yanıt tablosu 153
4.14: byTKK'lerin geri esneme oranı için çok faktörlü varyans analizi sonuçları 154
4.15: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi 155
4.16: byTTK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için S/G oranı yanıt tablosu 156
4.17: byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için çok faktörlü varyans analizi 157
4.18: byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için gruplar arası farkın önem kontrolü 157
4.19: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal çekmede rijitlik değerleri 158
4.20: byTTK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için S/G oranı yanıt tablosu 159
4.21: byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için çok faktörlü varyans analizi 160
4.22: byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için gruplar arası farkın önem kontrolü ... 160
4.23: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi 161
4.24: byTTK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için S/G oranı yanıt tablosu 162
4.25: byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için çok faktörlü varyans analizi 163
4.26: byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için gruplar arası farkın önem kontrolü 163
4.27: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal basmada rijitlik değerleri..... 165
4.28: byTTK'lerin diyagonal basmada rijitlik için S/G oranı yanıt tablosu..... 165
4.29: byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik için çok faktörlü varyans analizi..... 166
4.30: byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik için gruplar arası farkın önem kontrolü ... 166
4.31: byTKK'lerin çoklu performansları için referans serisi ve normalizasyon matrisi... 168
4.32: byTKK'lerin çoklu performansları için fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve performans sıralaması..... 168

TABLOLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Tablo No		Sayfa No
4.33:	byTKK'lerin çoklu performansları için S/G oranı yanıt tablosu	169
4.34:	byTKK'lerin çoklu performansları için çok faktörlü varyans analizi.....	170
4.35:	GİA sonucu belirlenen en ideal üretim koşullarına göre üretilen byTKK levhaların doğrulama deney sonuçları ve Taguchi metoduna göre tahmin değerleri	171
4.36:	byTKK ve kontrol numunelerin diyagonal çekmede yorulma dayanımı	172
4.37:	byTKK ve kontrol numunelerin diyagonal basmada yorulma dayanımı.....	173

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\perp$	:	Liflere dik yönde
//	:	Liflere paralel yönde
c	:	Faktörlerin toplam serbestlik derecesi
d_0	:	Tam kuru yoğunluk
d_{hk}	:	Hava kurusu yoğunluk
Δ	:	Fark
dk.	:	Dakika
ε	:	Gri ilişkisel katsayı
F	:	Kopma kuvveti
F_α	:	α önem düzeyi için F değeri
m_0	:	Tam kuru ağırlık
M_b	:	Diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi
$M_ç$	:	Diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi
m_{hk}	:	Hava kurusu rutubette ilk ağırlık
n_{eef}	:	Etkin ölçülen sonuçların sayısı
η_G	:	En iyi seviyeler için hesaplanan S/G oranını
$\bar{\eta}_G$	:	Parametrelerin S/G oranları ortalaması
r	:	Doğrulama deney sayısı
r_{hk}	:	Hava kurusu denge rutubet miktarı
R_b	:	Diyagonal basmada rijitlik
$R_ç$	:	Diyagonal çekmede rijitlik
S	:	Standart sapma
S/G	:	Sinyal gürültü oranı
SO_{hk}	:	Hava kurusu rutubetteki sıkışma oranı
SO_{ilk}	:	Sıkıştırma işlemi sonrası pres açıldıktan hemen sonra ölçülen sıkışma oranı

T_g	:	Camsı geçiş sıcaklığı
t_{hk}	:	Hava kurusu rutubetteki kalınlık
t_{ilk}	:	Sıkıştırma işlemi sonrası pres açıldıktan hemen sonra ölçülen kalınlık
t_k	:	Kaplamanın ilk kalınlığı
t_{ms}	:	Yoğunlaştırmada kullanılan mekanik stopların kalınlığı
τ	:	Yapışma veya çekme makaslama direnci
x^o	:	İstenilen ideal değer
V_e	:	Hata serbestlik derecesi
y_i	:	Performans yanıtı
γ	:	Gri ilişkisel derece

KISALTMALAR

AGE	:	Anlık geri esneme
bTKK	:	Bükülmüş tabakalı kaplama kereste
byTKK	:	Bükülmüş yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste
ÇKKV	:	Çok kriterli karar verme
ÇMD	:	Çekme makaslama direnci
DB	:	Diyagonal basma
DB-M	:	Diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi
DB-R	:	Diyagonal basmada rijitlik
DÇ	:	Diyagonal çekme
DÇ-M	:	Diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi
DÇ-R	:	Diyagonal çekmede rijitlik
ED	:	Eğilme direnci
EEM	:	Eğilmede elastikiyet modülü
FF	:	Fenol formaldehit

GA	:	Güven aralığı
GE	:	Hava kurusu rutubetteki geri esneme
GİA	:	Gri ilişkisel analiz
K	:	Kontrol
Kavak-K	:	Kavak kontrol grubu
Kayın-K	:	Kayın kontrol grubu
KO	:	Kareler ortalaması
KŞO	:	Kalınlığına şişme oranı
KT	:	Kareler toplamı
L	:	Boyuna yön
max.	:	Minimum
min.	:	Maksimum
NPC	:	National poplar commision
OGM	:	Orman genel müdürlüğü
psi	:	İnç kare başına libre (Pounds per square inch)
PVAc	:	Polivinil asetat
R	:	Radyal yön/yüzey
SO	:	Sıkıştırma oranı
T	:	Teğet yön/yüzey
THM	:	Termo hidro mekanik
TKK	:	Tabakalı kaplama kereste
TM	:	Termo mekanik
TOBB	:	Türkiye Odalar ve Borsalar Bitliği
TÜİK	:	Türkiye istatistik kurumu
ÜF	:	Üre formaldehit
ÜF55	:	%55 katı madde miktarına sahip üre formaldehit yapıştırıcısı
ÜF65	:	%65 katı madde miktarına sahip üre formaldehit yapıştırıcısı

YDÇD : Yüzeye dik çekme direnci

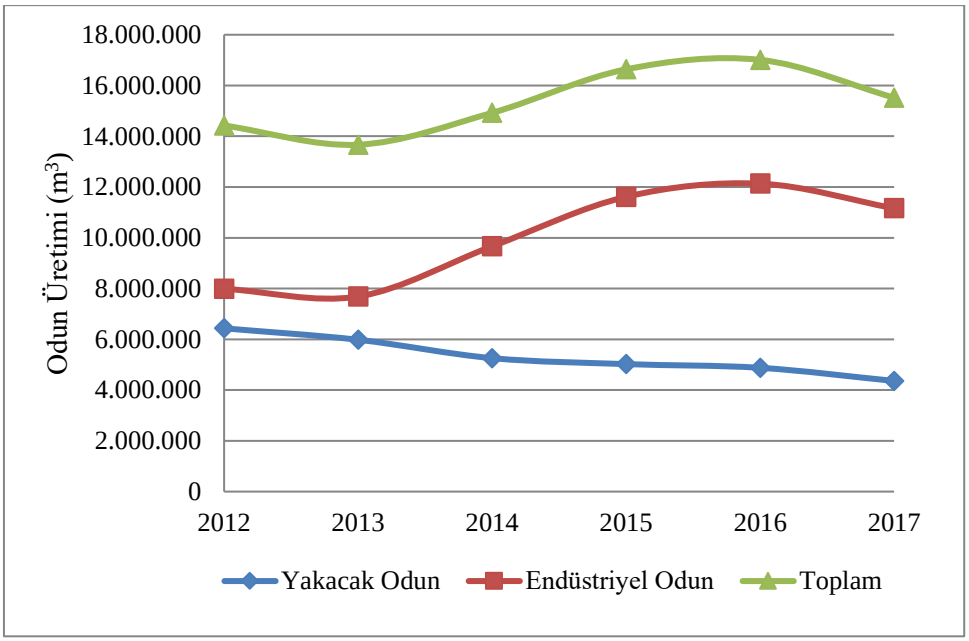
yTKK : Yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyada artan nüfus, gelişen teknoloji ve değişen yaşam alışkanlıkları mobilya ihtiyacının, buna bağlı olarak da üretiminin hızla artmasına neden olmaktadır. Mobilya üretiminde Çin ve Amerika Birleşik Devletleri açık ara başı çekerken Türkiye 5,8 milyar dolarlık üretim hacmi ile Dünya mobilya pazarında %1,2'lik paya sahiptir (TOBB, 2018). Ancak, T.C. Kalkınma Bakanlığı'nın 2015 yılında yayınladığı 10. kalkınma planına göre Türkiye 2023'de yıllık 25 milyar dolarlık üretim, 10 milyar dolarlık ihracat ile dünya sıralamasında ilk 10, Avrupa'da ise ilk 5'te olma hedefiyle çalışmalarını sürdürmektedir (Anonim, 2015). Bu hedefler ve toplam istihdamın %4,7'sine denk gelen 177.994 kişilik sigortalı çalışanı (TÜİK, 2017) ile mobilya sanayi ülkemizde hem ekonomik hem de sosyal yönden lokomotif sektörlerden biridir.

Mobilya üretiminde metal, cam, plastik vb. kullanılıyor olsa da ana malzemeyi odun ve odun kökenli kompozit malzemeler oluşturmaktadır. Kaplan (2006) ülkemizde odun talebinin 24 milyon m^3'e ulaştığını ve bunun %60'ının endüstriyel odun olduğunu belirtmiştir. Bu talebin 8 milyon m^3'ü devlet ormanlarından karşılanırken 3-3,5 milyon m^3'ü özel sektör ormanlarından karşılanmaktadır. Kalan 1,5-2 milyon m^3 ise ithalat yoluyla temin edilmektedir. Orman Genel Müdürlüğü'nün 2017 yılı istatistiklerine göre devlet ormanlarından elde edilen endüstriyel odun miktarı 2017 yılında 11 milyon m^3'e ulaşsa da mevcut talebi karşılamaktan çok uzaktır (Şekil 1.1). Özellikle mobilya endüstrisinin ihtiyaç duyduğu yüksek kaliteli odun ihtiyacının %80'i ithal edilmektedir (Kaplan, 2006). İç kaynaklardan karşılanamayan endüstriyel odun ihtiyacının ithalat yolu ile karşılanması, teminde yaşanabilecek gecikmeler, dışa bağımlılığın ve maliyetlerin artması gibi nedenlerden ötürü sektörün rekabet gücünü zayıflattığı gibi sürdürülebilir bir yöntem de değildir. Diğer yandan, gelişen teknoloji, artan nüfus ve değişen tüketim alışkanlıkları nedeniyle oduna hammadde olarak duyulan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde ülkemizde mobilya sektörünün gelişimi ve hedefleri önünde duran en büyük sorunlarından biri hammadde açığıdır (Anonim, 2015; TOBB, 2015, 2018).



Şekil 1.1: Yıllara göre Türkiye'deki odun üretimi (OGM, 2018).

Doğal ormanlarda odun artımı yıllık ortalama 1-3 m^3/ha düzeyinde kalmaktadır (Birler, 2009). Diğer yandan, ülkemiz doğal orman varlığının yaklaşık %86'sını oluşturan Meşe, Kızılçam, Karaçam, Kayın ve Sarıçam ağaçları (OGM, 2015) için Orman Genel Müdürlüğü tarafından belirlenen idare süreleri ortalama 80 ila 100 yıl arasında değişmektedir. Yani bugün ekimi yapılacak bir ağacın hammadde olarak kullanılabilmesi için 80 ila 100 yıl geçmesi gerekmektedir. Bu açıdan bakıldığında hammadde sorunu için en efektif çözüm hızlı gelişen ağaç türlerinden endüstriyel ormanlar oluşturulması olarak gözükmektedir (Anonim, 2015; Birler, 2009; TOBB, 2018).

Türkiye'de yetiştirilen başta Kavak türleri olmak üzere Okaliptüs, Sahil Çamı, Monteri Çamı, Kızılçam, Karaçam, Kazdağı Göknarı, Kızılağaç, Dişbudak ve Çınar gibi türler hızlı gelişen ağaç türleri sınıfına girmektedir (Birler, 2009). Özellikle yaygın olarak tesis edilen özel Kavak ağaçlandırmaları, endüstriyel plantasyonlar için iyi bir örnek teşkil etmektedir. Kavak odunu daha çok kağıtçılıkta, MDF, yonga levha, kontrplak, kibrit ve ambalaj sandığı imalinde kullanılmaktadır. Bunların dışında düşük yoğunluğu dolayısıyla düşük mekanik özelliklerinden dolayı kavak odununun mobilya endüstrisinde kullanılabilirliği sınırlı düzeyde kalmaktadır.

Düşük yoğunluklu ağaç odunlarının mekanik özellikleri çeşitli modifikasyon yöntemleri uygulanarak iyileştirilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan yoğunlaştırma işlemi, günümüzde yoğun olarak çalışılan bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. Odun yoğunlaştırma işlemi genel olarak kimyasal madde enjeksiyonu ve/veya mekanik olarak ağaç malzemenin liflere dik yönde sıkıştırılması şeklinde yapılmaktadır.

Ağaç malzemenin çeşitli polimerlerin emdirilerek yoğunlaştırılması endüstriyelleşmiş başarılı örnekleri olan bir uygulamadır. Ancak, bu uygulama sonucunda malzemenin doğal görünümünü kaybederek plastik malzeme gibi gözükmesi mobilya imalatında kullanımını sınırlamaktadır.

Odunun liflere dik yönde sıkıştırılarak yoğunlaştırılmasında ise ağaç malzemenin doğal görünümü ve yapısı bozulmadığından dolayı ilgi çekmektedir. Odun yoğunlaştırma konusunda 1900 yılında ABD'de Sears tarafından alınan ilk patentin ardından konu yoğun olarak çalışılmış ve yeni teknikler geliştirilmiştir (bkz. Bölüm 1.3.1). Geliştirilen bu tekniklerde yüksek sıcaklık ve su buharının yumuşatıcı etkisinden yararlanılarak yoğunlaştırma prosesinin önündeki en büyük sorunlardan biri olan geri esneme kısmen azaltılabilmiştir. Ancak, termo-hidro-mekanik (THM) yoğunlaştırma (modifikasyon) olarak adlandırılan bu işlemlerde kullanılan yüksek sıcaklık ve pres basıncının yanında uygulama süresinin uzunluğu nedeniyle artan üretim maliyetleri yoğunlaştırılmış malzemelerin endüstriyelleşmesinin ve kullanımının önündeki en büyük engeli oluşturmaktadır.

Maliyet artışına neden olan yüksek sıcaklık ve basınç uygulaması ağaç işleri endüstrisinde yoğunlaştırma işleminin dışında bükme işleminde de kullanılmaktadır. Mobilyaların köşelerinde tasarımı gereği kavisli elemanlar uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Estetik amaçla üretilen ve kullanım yeri itibariyle yüksek dayanım özelliklerine ihtiyaç duyulmayan yerlerde kertme, birleştirme ve kesme yöntemleri uygulanabilmektedir. Fakat yüksek direnç özelliklerinin arandığı kavisli taşıyıcı elemanların üretiminde bu yöntemler uygun değildir ve/veya fire oranı yüksektir (As ve Büyüksarı, 2010). Bu gibi durumlarda ağaç malzemenin bükülmesi en uygun yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.

Bükme işleminde, ağaç malzemenin kalınlığı arttıkça ve bükme çapı küçüldükçe oluşan iç gerilmelerden dolayı bükülen bölgede geri esneme, kalıcı deformasyonlar ve kırılmalar

meydana gelebilmektedir. Ağaç malzemenin bükme işlemi öncesinde buharlama ve ısıtma işlemi ile yumuşatılması bu sakıncaları ortadan kaldırabilmektedir. Ancak, THM olarak da tanımlanabilecek olan bükme esnasında buharlama ve kurutma işlemleri işlem süresini uzatmaktadır.

Kavisli parçaların üretiminde, iç gerilmeleri azaltmak için kalın masif parçalar yerine ince kaplamalardan üretilen tabakalı kaplama kereste (TKK) kullanılabilmektedir. Bükülmüş TKK, üst üste yerleştirilen tutkallanmış kaplamaların, kavisli pres kalıpları arasında sıkıştırılarak şekillendirilmesi suretiyle elde edilmektedir. Yapıştırıcının hızlı kürlenebilmesi için presleme, yüksek sıcaklık altında veya buna alternatif yöntemler (yüksek frekans veya radyo frekans ısıtma) kullanılarak uygulanmaktadır. TKK, masif malzemeye çok yakın mekanik özelliklere sahip olması, boyutsal olarak kararlılığı ve imalatta sağladığı kolaylıklarından dolayı diğer odun esaslı malzemeler karşısında ön plana çıkmaktadır. Özellikle laminasyon işlemi sırasında kullanılan yapıştırıcının sertleşmeden bükme işleminin yapılabilmesi, kaplama katmanlarının birbiri üzerinde kayabilmesine olanak tanıması ve ince kaplama katmanlarından meydana gelmesinden dolayı bükme işlemi esnasında oluşan iç gerilmeleri minimuma indirmektedir. Bütün bu özellikleri TKK'nin kavisli taşıyıcı parçaların imalatında kolaylıkla kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Özetlemek gerekirse, mekanik yoğunlaştırma işlemi Kavak gibi hızlı gelişen fakat düşük mekanik özelliklere sahip ağaç odunlarının dirençlerinin arttırılabilmesi ve yeni kullanım alanlarının bulunabilmesi açısından büyük potansiyel ihtiva etmektedir. Diğer yandan, yoğunlaştırma, laminasyon ve bükme işlemleri yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilmektedir. Yani bu üretim proseslerinin birleştirilmesi, üretim süresi kısaltılarak üretim maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Hedefleri

Bu çalışmada temel olarak kavak odununa mobilya endüstrisinde yeni kullanım alanlarının oluşturulması amaçlanmıştır. Böylece piyasada düşük maliyetlere ve bol miktarda temin edilebilen kavak odunu ile mobilya endüstrisinin maliyetlerinin düşürülmesine ve hammadde açığının kapatılmasına katkı sağlanabilecektir. Ayrıca, endüstriyel ormanlardan

elde edilen hammaddenin kullanım oranının artmasına, dolayısıyla da doğal ormanlar üzerinde oluşan baskıyı azaltmaya katkıda bulunmak da çalışmanın bir diğer amacıdır.

Bu çalışma kapsamında; Kavak kaplamalardan, yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (yTKK) ve bükülmüş yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (byTKK) üretim olanakları irdelenmiş ve optimum üretim parametreleri belirlenmiştir. Bu sayede, Kavak ağacından, mekanik özellikleri iyileştirilmiş ve doğal görünümü bozulmamış malzeme üretmek hedeflenmiştir.

Bu amaçlar ve hedefler doğrultusunda, çalışma üç aşamalı olarak yürütülmüştür.

1. Çalışmanın ilk aşamasında, önceden yoğunlaştırılmış Kavak kaplamalardan TKK üretimine öncelik verilmiştir. Literatür incelendiğinde, bu konuda yapılmış çalışmalarla karşılaşılmaktadır. Bu çalışmalarda, yoğunlaştırılmış kaplamalardan daha az yapıştırıcı ve daha düşük pres basıncı kullanarak tabakalı malzeme üretiminin mümkün olabileceği ve mekanik özelliklerde iyileşme sağlanabileceği belirtilmektedir (Bekhta ve Marutzky, 2007; Kamke, 2007; Kutnar vd., 2007; Candan vd., 2010; Bekhta vd., 2012, 2018). Yapılan bir diğer çalışmada vakum preste kavisli mobilya elemanlarının üretimi ve avantajlarına değinilmiştir (Altınok vd., 2009; Kahraman, 2010). Ancak, vakum preste uygulanabilen basınç miktarının sınırlı olması bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır. Bu çerçevede ilk olarak, düşük pres basıncı uygulamasının, TKK'lerin yapışma dayanımı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Çalışmanın ikinci aşamasında yüksek sıcaklık ve pres basıncına ihtiyaç duyulan iki işlem olan yoğunlaştırma ve TKK üretimi birleştirilerek, yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (yTKK) üretilebilirliği incelenmiştir. Böylece üretim süresinin ve maliyetlerinin azaltılabileceği öngörülmektedir. Bu kapsamda yTKK üretimi açısından önem arz eden üretim parametreleri ve bunların en uygun seviyeleri belirlenmiştir.

3. Son aşamada ise yüksek sıcaklık ve pres basıncına ihtiyaç duyulan yoğunlaştırma, bükme ve TKK üretimi aşamaları birleştirilerek, bükülmüş yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (byTKK) üretilebilirliği

incelenmiştir. Bu kapsamda byTKK üretimi açısından önem arz eden üretim parametreleri ve bunların en uygun seviyeleri belirlenmiştir.

1.2. Hızlı Gelişen Ağaç Türleri

Yıllık odun artımı 10 m^3/ha'dan fazla olan, diğer bir tanımlama ile çevresindeki yerli ağaç türlerinin idare süresinin 1/3'ü kadar sürede aynı çap miktarına ulaşan ağaç türleri "*hızlı gelişen ağaç türleri*" olarak sınıflandırılmaktadır. Bu ağaç türlerinin hasat süreleri ise genellikle 10 ila 30 yıl arasında değişmektedir. Türkiye'de yetişen, başta kavak türleri olmak üzere Okaliptüs türleri, Sahil Çamı, Monteri Çamı, Kızılçam, Karaçam, Kazdağı Göknarı, Kızılağaç, Dişbudak ve Çınar gibi türler hızlı gelişen ağaç sınıfına girmektedir (Birler, 2009). Bazı hızlı gelişen ağaç türleri ile yapılan denemelerde elde edilen ortalama odun artımı ve idare süresi verileri Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Bazı hızlı gelişen ağaç türleri için ortalama yıllık hacim artımı ve idare süresi.

Ağaç Türü	Yıllık Odun Artımı (m^3/ha)	İdare Süresi (Yıl)	Kaynak
Kavak	7,1 - 97,1	11-13	(Birler, 1983; Birler vd., 1992; Tunçtaner vd., 2004)
Okaliptüs	3,2 - 35,3	8-13	(Birler *et al.*, 1994)
Kızılağaç	8,8 - 21,0	20-35	(Batu ve Kapucu, 1995)
Monteri Çamı	8,8 - 22,4	20-24	(Birler, 2009)
Sahil Çamı	5,0 - 22,4	25-33	(Özcan, 2003)
Kızılçam	3,3 - 11,2	30-50	(Usta, 1991)

Bu özellikleriyle hızlı gelişen ağaç türleri hammadde açığının kısa sürede kapanmasına katkı yapabileceği aşikar olsa da, elde edilecek odunu sadece miktar olarak değerlendirmek yanlış olur. Elde edilen odun, kullanılış yerinin gerekliliklerini sağladığı sürece uygun bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Yoğunluk, odun için en belirleyici özelliktir ve mekanik özelliklerle doğrudan ilişkilidir. Yani yoğunluk arttıkça odunun mekanik özellikleri de artar (Bodig ve Jayne, 1993; Bowyer vd., 2003). Ağaçlarda büyüme hızı arttıkça, her sene oluşan yıllık halkaların genişliği de arttırmaktadır. İğne yapraklı ağaçlarda yıllık halka genişliği arttıkça, içindeki ilkbahar odunu iştiraki artmakta, dolayısıyla da yoğunluk düşmektedir (Zobel ve van Buijtenen, 1989; Göker, 1998; Bowyer vd., 2003). Ayrıca, düşük yoğunluklu iğne yapraklı

ağaç türleri makinelerde işlenirken bıçağın odunu kesmek yerine ezerek yolması sonucu düzgün olmayan yüzey oluşumu gözlenebilmektedir (Göker, 1998).

Yapraklı ağaç türlerinde ise durum biraz daha karışıktır. Halkalı traheli türlerde, yıllık halka genişliği yani büyüme hızı arttıkça yoğunluk artmaktadır. Dağınık traheli yapraklı ağaç türlerinde ise büyüme hızındaki artışın yoğunluk üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı belirtilmektedir (Zobel ve van Buijtenen, 1989; Bowyer vd., 2003). Ancak, dağınık traheli ağaç türlerinde yıllık halka genişliği arttıkça odunun teknolojik özelliklerinde bazı sakıncalar oluşabilmektedir (Göker, 1998).

Tablo 1.2: Bazı hızlı gelişen ağaç türlerinin yoğunluk ve mekanik özellikleri.

Ağaç Türü	**Hava Kurusu Yoğunluk**	**Liflere Paralel Çekme Direnci**	**Liflere Paralel Basınç Direnci**	**Liflere Paralel Makaslama Direnci**	**Eğilme Direnci**	**Kaynak**
	g/cm^3	**N/mm^2**				
Amerikan Kavağı (*Populus deltoides*)	0,40	-	33,30	-	65,15	(Acar, 2006)
Melez Kavak (*Populus euramericana* cv.) I-214	0,38	87,80	39,80	5,65	65,40	(Bal, 2011)
Okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis*)	0,62	110,7	59,60	9,86	95,60	(Bal, 2011)
Kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. barbata)	0,49	74,83	41,48	6,35	77,53	(As vd., 2001)
Monteri Çamı (*Pinus radiata*)	0,43	-	36,70	4,90	67,90	(As vd., 2001)
Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.)	0,43	33,91	32,70	6,31	43,37	(Erten ve Sözen, 1986)
Kızılçam (*Pinus brutia*)	0,53	47,00	45,00	7,00	82,00	(As vd., 2001)

Literatür incelemesi sonucunda bazı hızlı gelişen ağaç türlerinin yoğunlukları ve mekanik özellikleri Tablo 1.2'de gösterilmiştir. Örnek çalışmalarda da görüldüğü üzere, Kavak ağacı en düşük yoğunluğa ve mekanik özelliklere sahip türlerdendir. Buna rağmen Tablo 1.2'de görüldüğü gibi çok hızlı büyümesi ve kısa idare süresi Kavak yetiştiriciliğine olan ilginin sürmesine neden olmaktadır.

1.2.1. Kavak Türleri

Kavak türleri çok hızlı büyümeleri ve kısa idare süresi nedeniyle hammadde sorununa çözüm açısından dikkat çeken türlerdendir. Özellikle ülkemizde yaygın olarak tesis edilen özel kavak ağaçlandırmaları, endüstriyel plantasyonlar için iyi bir örnek teşkil etmektedir.

Kavak türlerinden Karakavak (*Populus nigra* L.) ülkemizde yüzyıllardan beri bilinen ve yetişen bir ağaçtır. 1962 yılında kurulan Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü tarafından ülkemizde yetiştirilmesi uygun Kavak türleri ve klonların belirlenmesi amacıyla birçok çalışma yürütülmüş ve yürütülmektedir. Bu çalışmalar sonucunda, yerli türlerden Karakavağın (*Populus nigra* L.) Gazi, Anadolu, Behiçbey, Geyve ve Kocabey isimleriyle tescillenen klonlarının yetiştirilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir (Birler, 2009). Yabancı kökenli türler olarak ise I-214 ve I-45/51 klonu Melez Kavak (*Populus euramericana* cv.) ile Samsun (I-77/51) ve İzmit (S-307/26) klonu Amerikan Kavaklarının (*Populus deltoides*) ülkemizde başarı ile yetiştirilebileceği belirlenmiştir (Birler, 2010).

Ülkemizde ticari olarak en çok kullanılan türler Samsun klonu Amerikan Kavağı ve I-214 klonu Melez Kavaktır (Akgül, 2015). Mevcut durumda, her yıl yaklaşık 6,2 milyon fidan üretilmektedir. Bunun yaklaşık 1,9 milyonu ağırlıklı olarak Melez ve Amerikan Kavaklarının I-214 ve Samsun klonlarından oluşmaktadır. Kalan fidanlar ise yaşlı Karakavakların genç sürgünlerinden elde edilmektedir. Mevcut 125000 hektar Kavak plantasyonunun 65000 hektarında Melez ve Amerikan Kavağı yetiştirilmektedir. Bunun sonucu elde edilen 3,5 milyon m^3 odunun %60'ı yani yaklaşık 2,1 milyon m^3'ü bu iki türden elde edilmektedir (NPC, 2012).

Karasal iklimin hüküm sürdüğü bölgelerde yerli türlerden Karakavağın yetiştirilmesi tavsiye edilmektedir. I-45/51 klonu Melez Kavak olumsuz iklim koşullarına, Samsun klonu Amerikan Kavağı ve I-214 klonu Melez Kavağa göre daha dayanıklıdır. Samsun klonu Amerikan Kavağı, özellikle kuraklık ve kötü iklim koşullarına karşı hassastır. Bu nedenle sulama ve bakım çalışmalarının düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Ancak, Samsun klonu Amerikan Kavağı ve I-214 klonu Melez Kavak, Marmara ve Karadeniz Bölgelerinin sahil/sahil ardı kesimlerinde (1000 m'ye kadar) küçük çiftliklerde sıklıkla yetiştirilmektedir (Birler, 2009, 2010; NPC, 2012; Velioğlu ve Akgün, 2016).

Bu çalışma kapsamında, özellikle diğerlerine göre daha yüksek büyüme hızına sahip, birçok denemede başarılı sonuçlar elde edilmiş ve yaygın olarak ekimi yapılan I-214 klonu Melez Kavak (*Populus euramericana* cv.) ve Samsun (I-77/51) klonu Amerikan Kavağı (*Populus deltoides*) üzerine odaklanılmıştır.

1.2.2. Kavak Odununun Teknolojik Özellikleri

Kavak odunu yeni kesildiğinde parlak, zamanla matlaşan beyazımsı sarı renkte oduna sahiptir. Düşük tekstüre sahip odununda yıllık halkalar arasında önemli farklılıklar bulunmamaktadır (Birler, 2010). Dağınık traheli yapraklı ağaçlar sınıfına giren Kavak odununun %30'u trahelerden oluşur ve yaz odununa doğru trahelerin çaplarında düşüş gözlemlenmektedir. Trahe çapı ve miktarı odunun tutkallama ve permeabilite özelliklerini büyük ölçüde etkilemesinden ötürü önemlidir (Ahmed vd., 2011). Bundan dolayı Kavak odununda biçme, kurutma ve kaplama soyma işlemlerinde, kullanım yerlerinde arzu edilmeyen bir durum olan yünlü yüzey oluşabilmektedir (Göker, 1998).

Kavak ağacı, çok hızlı büyümesinden dolayı doğal ormanlarda yetişen ağaç türlerine kıyasla çok daha geniş yıllık halka oluşturur. Kavak ağacı kaba dokulu olmasından dolayı yüksek oranda rutubet tutmaktadır. Bu nedenle kavak odunu nemli ortamlarda yüksek, iyi kurutulmuş kuru ortamda ise düşük oranda çalışma özelliği göstermektedir (Birler, 2010).

Kavak odunu yaklaşık olarak %50 oranında Selüloz, %30 oranında hemiselüloz ve %20 oranında Ligninden oluşmaktadır. Melez Kavak odunu, Amerikan Kavağınınkine kıyasla biraz daha fazla lignin ihtiva etmektedir (Birler, 2010).

1.2.3. Kavak Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Tunçtaner vd. (2004) yaptıkları çalışmada, 6 farklı deneme alanında yetiştirilen 20 farklı Kavak klonundan elde edilen odunların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda I-214 Melez Kavak (*Populus euramericana* cv.) ve Samsun (I-77/51) Amerikan Kavağı (*Populus deltoides*) için elde edilen veriler Tablo 1.3'te özetlenmiştir.

Literatür incelendiğinde I-214 klonu Melez Kavak odununun yoğunluğu, genel olarak Samsun klonu Amerikan Kavağına göre düşük çıkmaktadır (As vd., 2001; Tunçtaner vd., 2004; Acar, 2006; Koçer vd., 2007).

Tablo 1.3: Kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Tunçtaner vd., 2004).

Tür	**Tam Kuru Yoğunluk (g/cm^3)**	**Hava Kurusu Yoğunluk (g/cm^3)**	**Daralma (%)**		**Genişleme (%)**		**Eğilme Direnci (N/mm^2)**	**// Basınç Direnci (N/mm^2)**	**Dinamik Şok Direnci (kN/cm)**	**Janka Sertlik (N/mm^2)**		
			R	**T**	**R**	**T**				**L**	**R**	**T**
Samsun (I-77/51) Amerikan Kavağı	0,37	0,40	2,58	7,10	2,92	7,40	83,99	29,15	0,29	33,43	20,00	20,00
I-214 Melez Kavak	0,32	0,34	1,97	6,44	2,64	6,98	53,89	28,88	0,17	27,72	14,00	13,91

L: boyuna-, R: radyal-, T: teğet- yön veya yüzey, //: liflere paralel

Ağaç malzemede yoğunluk arttıkça çalışma oranı da artar. Buna paralel olarak, Samsun klonu Amerikan Kavağı odununun daralma ve genişleme oranı I-214 klonu Melez Kavağınkine kıyasla daha yüksek çıkmıştır (Tunçtaner vd., 2004).

Literatürde yapılan çalışmalarda, yoğunluk değerlerine paralel olarak, Samsun klonu Amerikan Kavağı odununun mekanik özelliklerinin, I-214 klonu Melez Kavağınkine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (As vd., 2001; Tunçtaner vd., 2004; Acar, 2006; Koçer vd., 2007).

Kavak odunu kağıt, kibrit, ambalaj sandığı imalatında kullanılmasının yanında MDF, yonga levha, kontrplak gibi yarı mamul malzeme üretiminde de kullanılmaktadır (Birler, 2010). Mobilya için hafiflik, aranan bir özelliktir. Bu bakımdan düşük yoğunluklu odunlar mobilya imalatında tercih edilebilir. Ancak, ağaç malzemelerin mekanik ve teknolojik özelliklerinin birçoğu yoğunluklarıyla doğrudan ilişkili olduğundan, Kavak odunu ve kompozitleri yüksek yoğunluklu ağaç türlerine göre düşük direnç özelliklerine sahiptir (Bodig ve Jayne, 1993; Bozkurt ve Göker, 1996; Bowyer vd., 2003). Bu durum Kavak ve Kavak TKK'lerin taşıyıcı mobilya elemanlarında kullanımını sınırlamaktadır. Ayrıca, hızlı

gelişen ağaç türleri, yüksek kalitede odun ve kaplamalar için iyi bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmemektedir (Kaplan, 2006).

Literatür incelendiğinde ağaç malzemelerin özelliklerini iyileştirebilmek için çeşitli modifikasyon işlemlerinin uygulandığı birçok örneğe rastlanmaktadır. Bir sonraki bölümde kavak ağacının mekanik özelliklerini iyileştirmede kullanılabilecek "*odun modifikasyon yöntemleri*" açıklanacaktır.

1.3. Odun Modifikasyonu

Gelişen teknolojiyle birlikte, ağaç malzemenin birçok özelliği farklı muamele (modifikasyon) teknikleri kullanılarak iyileştirilebilmektedir. Odun modifikasyonu olarak adlandırılan bu işlemler kimyasal ve mekanik muamele olmak üzere iki kısımda sınıflandırılabilir. Bu uygulamalar ile odunun, boyutsal kararlılık, homojenlik, anizotropi, ateş ve organizmalara karşı, mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir (Kollmann vd., 1975; Navi ve Sandberg, 2012).

Kimyasal modifikasyon, odunun çeşitli kimyasallar ile muamelesi, karıştırılması veya emprenyesi ile aralarında kimyasal reaksiyon ve bağlanma esasına dayanmaktadır. Ağaç malzemenin fiziksel yapısını değiştirerek (kaplama, yonga, lif vb.) üretilen kontrplak, yonga ve lif levha gibi kompozit malzemeler bu yöntemin en sık rastlanan örnekleridir. Odunun, doğal karakteristiğini tamamen değiştirecek şekilde kimyasallarla muamelesi (ligno selüloz, sıvılaştırma vb.) ile odunun yapısını fazla bozmadan uygulanan asetillendirme, eterleştirme işlemi, polimerler, doğal reçineler, parafin, sülfür veya erimiş metaller vb. sıvı maddelerle emprenyesi (yoğunlaştırma) de kimyasal modifikasyon olarak tanımlanabilir (Kollmann vd., 1975; Navi ve Sandberg, 2012).

Mekanik modifikasyon ise sıcaklık ve su (nem) etkisiyle yumuşatılan odunun mekanik olarak şekillendirilmesi veya sıkıştırılması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemler, odunun kaynatarak birleştirilmesi, şekillendirilmesi, yoğunlaştırılması, masif veya lamine malzemenin bükülmesi ve bu işlemler sonrası geri esnemenin önlenmesi amacıyla kullanılabilmektedir (Kollmann vd., 1975; Navi ve Sandberg, 2012).

Geri dönüştürülebilir bir malzeme olan odunun çeşitli kimyasalların emdirilerek yoğunlaştırılmasında kullanılan sıvı maddeler, çoğunlukla odunun doğal yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, sadece enerji, basınç ve rutubet etkisiyle uygulanan termo hidro-mekanik (THM) modifikasyon yöntemleri önemli avantaja sahiptir (Navi ve Sandberg, 2012).

Daha önce de bahsedildiği üzere ağaç malzemenin mekanik özellikleri ile yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, özellikle düşük yoğunluklu hızlı gelişen ağaç türleri odunlarının mekanik özelliklerini geliştirme ve yeni kullanım alternatifleri türetme potansiyellerinden dolayı yoğunlaştırma ve bükme üzerinde durulacaktır.

1.3.1. Yoğunlaştırma

Odunun yoğunluğunun arttırılması neticesinde mekanik özelliklerinin iyileşeceği fikrinden yola çıkarak, yoğunluğu arttırılmasına yönelik birçok modifikasyon yöntemi geliştirilmiştir. Yoğunlaştırma olarak adlandırılan bu modifikasyon yöntemlerinde odun, kimyasal, mekanik veya ikisi birlikte kullanılarak muamele edilebilmektedir. Kimyasal yöntemde, odunun hücre boşlukları (lümen) sıvı maddeler emdirilerek doldurulmaktadır. Mekanik yoğunlaştırmada ise odun liflere dik yönde sıkıştırılmaktadır (Kollmann vd., 1975; Navi ve Sandberg, 2012). Bu çalışma kapsamında kısaca "*yoğunlaştırma*" diye anacağımız bu yöntem, genel olarak yumuşatma, liflere dik yünde sıkıştırma (yoğunlaştırma), soğutma ve sabitleme olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmektedir (Morsing, 2000). Yoğunlaştırma işlemi, ağaç malzemeyi yumuşatmak için kullanılan rutubetin kontrol edilemediği açık sistemlerde uygulanıyorsa termo mekanik (TM) yoğunlaştırma, rutubetin kontrol edilebildiği kapalı sistemde uygulanıyorsa termo hidro mekanik (THM) yoğunlaştırma olarak adlandırılmaktadır (Skyba, 2008).

1.3.1.1. Termo Mekanik Yoğunlaştırma

Odun yoğunlaştırma konusu, 1900 yılında ABD'de Sears tarafından alınan ilk patentin ardından yoğun olarak çalışılmış ve ardından Walch ve Watts (1923), Oleheimer (1929), Brossmanes (1931), Esselen (1934) ve Olson (1934) tarafından çeşitli patentler alınmıştır. Bu patentlerin neredeyse tamamında odun mekanik olarak sıkıştırılmakta, ancak

yumuşatma ve geri esnemenin engellenmesi için herhangi bir işlem uygulanmamaktadır (Kollmann vd., 1975). Ticarileşen bazı yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin uygulama koşulları Tablo 1.4'te özetlemiştir.

Tablo 1.4: Bazı yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin uygulama koşulları.

Ürün	Rutubet Miktarı	Emprenye	Pres Basıncı (N/mm^2)	Uygulama Sıcaklığı (ºC)	Kaynak
Lignostone (1940-Almanya)	%13'e kadar	-	25	140	(Kutnar ve Sernek, 2007)
Lignofol (1940-Almanya)	%3-8		34		(Blomberg, 2006)
Impreg (2006-USA)		Fenolik reçine	-	70-105	(Blomberg, 2006)
Staypak (1948-USA)	%6-10	Fenolik reçine	10-14	149-182	(Seborg vd., 1956)
Compreg (1948-USA)	%8-9	Fenolik reçine	7	105-150	(Stamm ve Seborg, 1941)

Avrupa'da ticarileşen ilk sıkıştırılmış masif ahşap 1930'da "*Lignostone*" adıyla Almanya'da piyasaya sürülmüştür. Bu yöntemde, yüksek sıcaklık (140 ºC) ve pres basıncı (25 N/mm^2) altında radyal yönde sıkıştırılan odun hücre duvarlarının, kendi yapısında bulunan lignin, hemiselüloz, reçine vb. maddeler aracılığıyla birbirine yapıştığının tesadüfen fark edilmesiyle bulunmuştur. Elde edilen yoğunlaştırılmış odunun mekanik özelliklerinde artış gözlemlense de rutubetli ortamda boyutsal kararlılığı düşüktür (Reichers, 1939; Kutnar ve Sernek, 2007).

Odunun sıkıştırılarak mekanik özelliklerinde önemli düzeyde artış sağlanmasına rağmen odunun anizotropik yapısından dolayı bu artış sadece boyuna yönde anlam ifade etmektedir. Bu noktadan yol çıkarak, takip eden yıllarda yoğunlaştırılmış lamine malzemeler "*Lignofol*" adıyla ticarileşmiştir. Lignofol, 2-4 mm kalınlığındaki kaplamaların sentetik yapıştırıcı kullanılarak çok yüksek basınç altında (34 N/mm^2) yapıştırılması ile üretilmiştir. Aynı yıllarda "*Jicwood*" ve "*Jablo*" adlarıyla İngiltere'de benzer ürünler üretilmiştir (Reichers, 1939; Kollmann vd., 1975; Morsing ve Hoffmeyer, 1998; Kutnar ve Sernek, 2007; Skyba, 2008; Navi ve Sandberg, 2012).

Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) ticarileşen diğer iki ürün olan "*Impreg*" ve "*Compreg*" oduna fenolik reçinelerin emdirilerek sıcaklık etkisiyle kürlenmesi ve bu sayede su/rutubet etkisiyle şişme-geri esnemenin engellenmesi prensibine dayanmaktadır.

Impreg'de ağaç malzemeye ağırlıkça yaklaşık %30 oranında sentetik reçine emprenye edilmekte ve normal sıcaklık ve pres basıncı altında reçinenin kürlenmesi sağlanmaktadır (Stamm ve Seborg, 1936; Kollmann vd., 1975). Compreg'de ise ağaç malzemeye fenolik reçine emdirilmekte ve yüksek basınç altında sıkıştırma gerçekleşmektedir. Ayrıca, fenolik reçinelerin yumuşatıcı etkisinden dolayı daha düşük pres basıncı uygulayarak (1000 psi) 1,2-1,35 g/cm^3 arasında yoğunluk elde edilebilmektedir (Stamm ve Seborg, 1941; Kollmann vd., 1975).

Compreg, oduna emdirilen reçineden dolayı çok katı ve kırılgan bir malzemedir. ABD'de geliştirilen diğer bir ürün olan "*Staypak*", Compreg'in aksine reçine emdirilmeden yoğunlaştırılmaktadır ve bu sayede elastik bir malzeme elde edilebilmektedir. Ancak, bu durum malzemenin boyutsal kararlılığını etkilemekte ve malzeme yoğunlaştırma öncesindeki kalınlığına geri esnemektedir. Staypak üretiminde, odunun yapı taşlarından biri olan ve çimento görevi gören ligninin akışkan hale gelmesine yetecek düzeyde sıcaklık uygulanarak, sıkıştırma esnasında biriken iç gerilmeler azaltılır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta yoğunlaştırılan odun veya kaplamanın pres basıncı kaldırılmadan önce sıcaklığın 100 ºC'nin altına düşürülmesidir. Aksi halde malzeme önemli oranda geri esneyecektir (Seborg vd., 1956; Kollmann vd., 1975; Kultikova, 1999). Bahsi geçen bu ürünlerin yoğunluk ve mekanik özelliklerine ilişkin örnekler Tablo 1.5'te gösterilmektedir.

Tablo 1.5: Yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin yoğunluğu ve mekanik özellikleri.

Ürün	**Yoğunluk**	**// Çekme Direnci**	**// Basınç Direnci**	**⊥ Basınç Direnci**	**Eğilme Direnci**	**Elastikiyet Modülü**	**Kaynak**
	(g/cm^3)	**(N/mm^2)**					
Lignostone	1,4	245	137	88	245	27468	(Reichers, 1939)
Lignofol	1,3	196-294	180-210	80-160	245-275	24525-29430	(Reichers, 1939)
Compreg	1,2-1,35	276	138		276	27579-34474	(Stamm ve Seborg, 1941)
Staypak	1,37		295	157		32700	(Blomberg, 2006)

//: liflere paralel, ⊥: liflere dik

Geliştirilen diğer bir yöntemde ise, hızlıca 260 ºC'ye ısıtılan kavak paneller sonsuz bant preste 7 N/mm^2 basınçla yoğunlaştırıldıktan sonra baskı altındayken hızlıca soğutularak

üretilmiştir. Dakikada 7,5 m hızında üretimin yapılabildiği bu sistemde, malzemede yüzeysel bir yoğunlaşma elde edilmektedir (Morsing ve Hoffmeyer, 1998).

1.3.1.2. Termo Hidro Mekanik Yoğunlaştırma

Buraya kadar anlatılan yöntemlerde odunun rutubetini tam olarak kontrol etmek mümkün olmadığından, bu yöntemler kısaca termo mekanik (TM) yoğunlaştırma olarak adlandırılabilirler (Skyba, 2008). Diğer yandan, kapalı sistemde odunun rutubeti ve sıcaklığı kontrol edilerek yoğunlaştırma işlemi gerçekleştirilebilir. Termo hidro mekanik (THM) yoğunlaştırma olarak adlandırılan bu yöntem 1990'da sonra hızlı şekilde gelişmiştir (Navi ve Sandberg, 2012). Navi ve Girardet (2000) yaptıkları çalışmada odunu 150 ºC'de doymuş buhar ve 13 N/mm^2'ye kadar çıkarılan basınçta sıkıştırılarak yoğunlaştırmışlardır. Sonuç olarak elde edilen THM yoğunlaştırılmış odun daha az hidroskopik özellikte ve daha stabil olduğu belirlenmiştir (Navi ve Girardet, 2000).

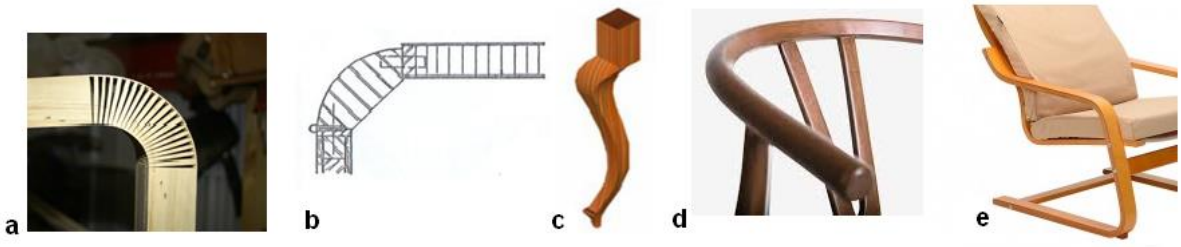
Bloomberg ve Persson (2004) de patentini aldıkları üründe (CaLignum) odun, yağ dolu kauçuk diyafram içinde 14 N/mm^2 basınç uygulanarak yoğunlaştırılmıştır. Bu yöntemle elde edilen odun düzgün olmayan bir şekle sahip olsa da yoğunluğu yönünden homojen bir yapıya sahiptir (Blomberg ve Persson, 2004).

Kamke ve Sizemore (2005) geliştirdikleri yoğunlaştırma metodunda, odunun viskoelastik özelliğinden yararlanmıştır. Viskoelastik-termal sıkıştırma (VTC) olarak adlandırdıkları bu yöntemle yüksek buhar basıncı uygulanan odun, hücre duvarlarında kırılma olmaksızın %100-300 oranında yoğunlaştırılabilmektedir (Kamke ve Sizemore, 2005).

1.3.2. Bükme

Kavisli ahşap elemanların üretiminde bükme tekniğinin geçmişi uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Amerikan yerlilerinin kar ayakkabısı ve kızağı yapımında kullanımı, Japonların "kanjiki" adı verilen geleneksel kar ayakkabısı ve Orta Çağ Avrupa'sında (M.S. 1100-1400) dahi rastlanan bükme sandalyeler bunlara örnek olarak gösterilebilir (Navi ve Sandberg, 2012). Günümüzde ise bükülmüş ağaç malzeme başta mobilya elemanları olmak üzere tekne, müzik aleti, kemerli kapı, fıçı ve sepet vb. yapımında sıklıkla kullanılmaktadır (Berkel, 1968; As ve Büyüksarı, 2010).

Estetik amaçla üretilen ve kullanım amacı itibariyle yüksek dayanım özelliklerine ihtiyaç duyulmayan yerlerde kertme, birleştirme ve kesme yöntemleri uygulanabilmektedir (Şekil 1.2a,b,c,). Fakat yüksek direnç özelliklerinin arandığı kavisli taşıyıcı elemanların üretiminde bu yöntemler uygun değildir ve/veya fire oranı yüksektir (As ve Büyüksarı, 2010).

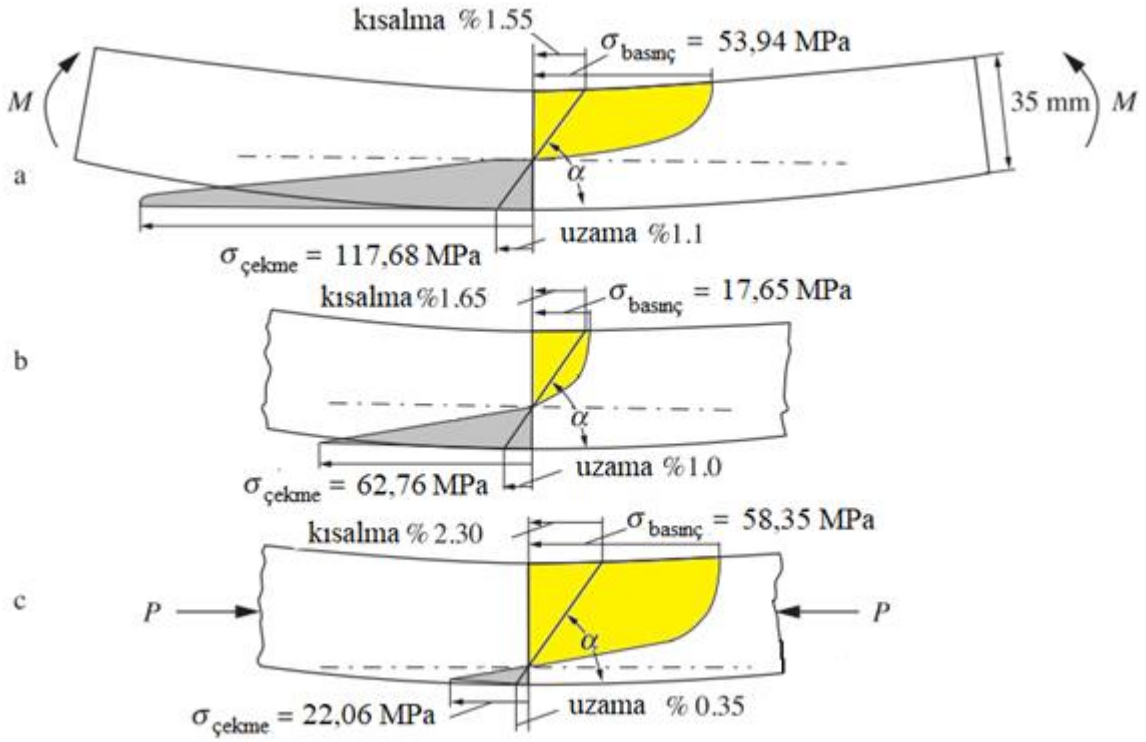


Şekil 1.2: Kavisli mobilya parçaları örnekleri a) kertme yöntemi, b) birleştirme yöntemi, c) kesme yöntemi, d) bükme yöntemi, e) bükülmüş tabakalı kaplama kereste (bTKK).

Bükme işlemi (Şekil 1.2d,e) ise, talaşsız bir imalat yöntemi olması ve odunun lif yönünün yükün uygulanacağı eksene uygun şekilde yönlendirmesi dolayısıyla kavisli parçaların üretiminde fire, verimlilik ve maliyet açısından en iyi alternatiftir (Navi ve Sandberg, 2012). Ancak, bükme işlemi ile keskin köşe elde etme imkanı yoktur ve ağaç malzemenin kalınlığı arttıkça ve bükme çapı küçüldükçe oluşan iç gerilmelerden dolayı bükülen bölgede geri esneme, kalıcı deformasyonlar hatta kırılmalar meydana gelebilmektedir. Bükme işlemi esnasında kırılma genellikle dışbükey yüzeyden (çekme gerilmesi) gerçekleşmektedir. Yani bir odunun bükme çapı, onun dayanabileceği çekme gerilmesine, başka bir ifadeyle dışbükey yüzeyde oluşan deformasyona bağlıdır (As ve Büyüksarı, 2010).

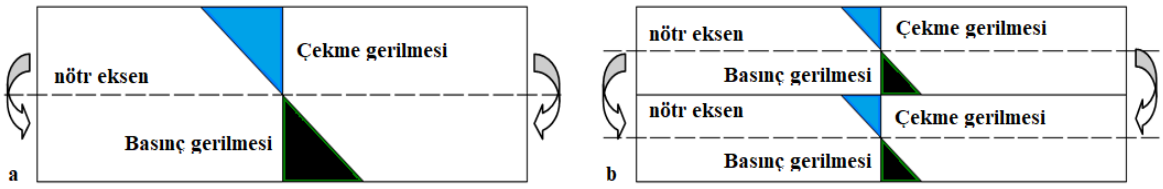
Bu durumu engellemek için ağaç malzeme bükme işlemi öncesinde kimyasallar (üre, amonyak vb.) kullanılarak veya buharlamak ve ısıtmak suretiyle yumuşatılmaktadır. Bu anlamda bükme işlemi de bir termo hidro mekanik (THM) modifikasyon yöntem olarak ele alınmaktadır. Yumuşatma işlemi sonucunda basınç altında kırılma deformasyonunda (strain) şiddetli bir artış gözlemlenirken, bu değişim çekme gerilmesi altındaki sınırlı düzeyde gerçekleşmektedir. Bu sayede dışbükey yüzeydeki çekme gerilmesi azaltılabilmektedir (As ve Büyüksarı, 2010; Navi ve Sandberg, 2012).

Bükme işlemi esnasında dışbükey yüzeyde oluşan çekme gerilmesini azaltmanın diğer bir yöntemi ise destek demiri kullanmaktır. Bu sayede bükülen parçada nötr eksen dışbükey yüzeye doğru kaymakta ve oluşan çekme gerilmesinde önemli düzeyde azalma sağlanabilmektedir (As ve Büyüksarı, 2010; Navi ve Sandberg, 2012). Fessel (1951) yaptığı çalışmada meşe odununu yumuşatmadan, yumuşatarak ve destek demiri kullanarak bükmüş, oluşan deformasyon ve gerilmeleri belirlemiştir (Şekil 1.3). Çok genel bir kabulle ağaç malzeme, işlem görmemiş halde kalınlığının 50 katı, yumuşatma işleminden sonra 30 katı, yumuşatıldıktan sonra destek şeridi kullanarak ise kalınlığı kadarlık bir yarıçapta bükülebilmektedir (Navi ve Sandberg, 2012).



Şekil 1.3: Meşe odununda bükme esnasında oluşan deformasyon ve gerilmeler a) yumuşatılmamış, b) yumuşatılmış, c) yumuşatılmış ve destek şeridi kullanılmış (Fessel, 1951).

Ağaç malzemenin kalınlığı arttıkça ve bükme çapı küçüldükçe oluşan iç gerilmelerin şiddeti artmaktadır. Oluşan bu iç gerilmeleri azaltmanın bir diğer yolu da kullanılan malzemenin kalınlığının azaltılmasıdır (Şekil 1.4). Bu maksatla kalın masif odun yerine 1-5 mm kalınlığındaki kaplamaların üst üste yapıştırılması suretiyle üretilen tabakalı kaplama kerestenin (TKK) kullanılması önemli avantajlar sağlayacaktır (Navi ve Sandberg, 2012).



Şekil 1.4: Bükme işlemi esnasında oluşan iç gerilmeler a) tek parça çubuk, b) 2 katmanlı lamine çubuk.

Stevens ve Turner (1970) bu avantajları aşağıdaki şekilde özetlemiştir

- Tüm ağaç türleriyle küçük bükme çapları elde edilebilmektedir.
- Çeşitli odun kusurları tolere edilebilir.
- Fire oranı daha düşüktür.
- Boyuna ve enine ekleme yapılarak daha uzun ve geniş parçalar bükülebilir.
- Stabilizasyonu daha kolaydır ve geri esnemesi daha düşüktür.
- Yumuşatma işlemine ihtiyaç duyulmaz.

Dezavantajları ise (Stevens ve Turner, 1970);

- Daha fazla teknik bilgi ve ekipmana ihtiyaç duyulur.
- Kullanılan yapıştırıcıdan dolayı makineler kirlenebilmekte ve temizleme güçlükleri oluşabilmektedir.
- Yapıştırma hattı malzemenin en kesitinde gözükebilmektedir.
- Kaplamaların soyulması, kurutulması, yapıştırıcı sürülmesi vb. işlemler üretim maliyetlerini arttırmaktadır.

1.3.3. Tabakalı Kaplama Kereste

Daha önce de bahsedildiği üzere, odunun çeşitli boyutlarda parçalandıktan (kaplama, yonga, lif vb.) sonra farklı şekillerde birleştirilerek, odunun sahip olduğu özelliklerin geliştirilmesi ve/veya değiştirilmesi suretiyle kullanım amaçlarına uygun yeni malzeme oluşturulması (kontratabla, kontrplak, TKK, yonga levha, lif levha vb.), odun modifikasyonunun en sık rastlanan şekillerinden biridir. TKK, masif malzemeye çok yakın mekanik özelliklere sahip olması, boyutsal olarak kararlılığı ve imalatta sağladığı

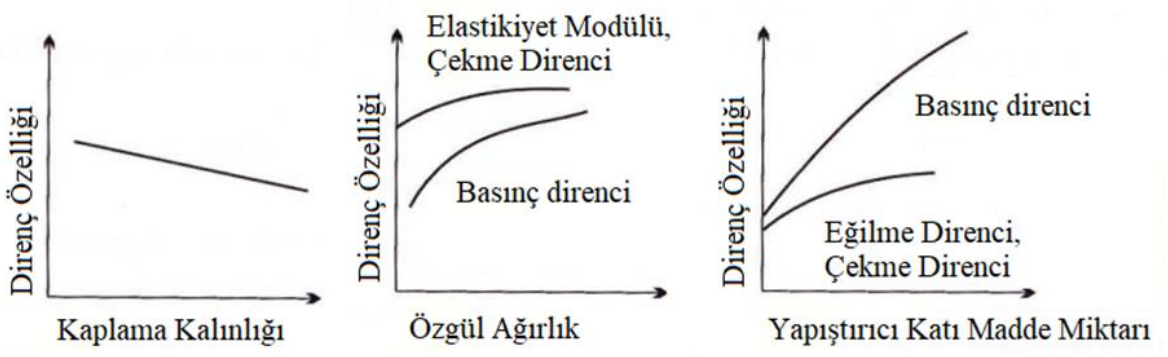
kolaylıklarından dolayı diğer odun esaslı malzemeler karşısında ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda özellikle, kaplamaların lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde üst üste yapıştırılması suretiyle üretilen tabakalı kaplama kerestenin (TKK) orijinal adıyla *laminated veneer lumber* (*LVL*) taşıyıcı elemanlarda kullanımı artış göstermektedir (Dunky ve Niemz, 2002).

TKK üretiminin ilk aşaması, hazırlanan tomruklardan kaplamaların elde edilmesidir. Ancak, tomruklar kaplama üretimi öncesinde, sıcaklık ve su/buhar etkisiyle yumuşatılması gereklidir. Bu sayede pürüzsüz bir kaplama yüzeyi elde edebilmek için tomruk elastikiyet kazanırken, diğer yandan sıcaklık etkisiyle iç gerilmeler azaltılır ve odunda renk dengesi sağlanır (Dunky ve Niemz, 2002; Navi ve Sandberg, 2012). Kızılağaç, Ihlamur ve Manolya gibi bazı ağaç türleri taze halde yeterli plastik özelliğe sahip olması nedeniyle ön işlemsiz de soyulabilir. Kaplama üretimi öncesinde tomrukların rutubetinin %50-60 arasında ve yeknesak şekilde dağılmış olması kalite açısında tavsiye edilmektedir (Çolakoğlu, 2004).

Tomruklardan kaplama üretiminde soyma, kesme ve biçme olmak üzere 3 yöntem kullanılmaktadır (Navi ve Sandberg, 2012). Sonsuz genişlikte kaplama üretilebilmesi ve üretim hızı gibi avantajlarından ötürü kullanılan toplam kaplama miktarının %95'i soyma yöntemi ile üretilmektedir. Kalan miktarın %3-4'ü kesme, %1'i ise biçme yöntemi kullanılarak, dekoratif amaçlarla üretilmektedir (Navi ve Sandberg, 2012).

Soyma işlemi esnasında kesme açısı yüzey kalitesi üzerinde etkili olan faktörlerdendir. Tomruğa saplanan bıçak kaplamayı keser ve yukarı doğru kaldırır. Bu esnada kaplama bükülür. İçerdiği ligninin daha plastik ve çözülebilir özellikte olmasından dolayı (Kollmann vd., 1975) yapraklı ağaç tomruklarının bükülmesi esnasında daha az kesme çatlağı oluşmaktadır. Bundan dolayı yapraklı ağaçların, iğne yapraklılara göre kaplama üretimi için daha uygun olduğu söylenebilir. Yoğunluğu çok yüksek ağaçlarda, yüksek kesme direnci nedeniyle çatlak oluşumu riski yüksektir. Yoğunluğu çok düşük tomruklarda ise düşük kesme direnci nedeniyle liflerdeki kopmalar kaplamalarda yüzey kusurları oluşturabilir (Çolakoğlu, 2004). Tabakalı kaplama malzeme üretiminde kullanılan ağacın yoğunluğu ve üretilen kaplamanın kalınlığının mekanik özellikleri üzerine etkisi Şekil 1.5'te gösterilmektedir.

İstenilen kalınlık ve genişlikte üretilen soyma kaplamalar rutubet miktarı %4-8 olana kadar kurutulmalıdır. Kaplamalar genellikle sıcak hava etkisiyle, dönmeyi engellemek için bant şeklindeki tel ızgaralar arasında sıkıştırılarak uygulanır (Çolakoğlu, 2004).



Şekil 1.5: Kullanılan kaplama kalınlığı ve yoğunluğu ile yapıştırıcı katı madde miktarının tabakalı kaplama malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi (Niemz, 1993).

Kurutulan kaplamaların yüzeyine silindirli tutkal sürme makineleri ile üretici firma tavsiyesine uyulacak miktarda yapıştırıcı sürülür ve kaplamalar üst üste dizilerek TKK taslakları oluşturulur. Bu taslaklara, yapıştırıcının yüzeye yeknesak şekilde yayılması ve kaplama tarafından emilmesi amacıyla ön pres uygulanır. Daha sonra, kaplama taslakları sıcak pres veya kavisli parça üretilecekse bükme preste yumuşak ağaç türleri için 0,8-1,2 N/mm^2, sert ağaç türleri için ise 1,2-1,8 N/mm^2 basınç altında yapıştırılarak TKK üretilir (Dunky ve Niemz, 2002). Kullanılan yapıştırıcının katı madde miktarının tabakalı kaplama malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisi Şekil 1.5'te gösterilmektedir.

Bükülmüş tabakalı kaplama kereste (bTKK) üretiminde form kararlılığının ve direnç özelliklerinin artması için daha yüksek pres basıncı uygulanabilmektedir. Kavak gibi düşük yoğunluklu kaplamalar bu pres basınçlarında, özellikle sıcak pres uygulamalarında bir miktar yoğunlaşabilmektedir. Bao vd. (2001) yaptıkları çalışmada 300 g/m^2 yapıştırıcı uygulayarak, 160˚C sıcaklıkta, 1,5 N/mm^2 basınç altında ve 20 dk. presleyerek ürettikleri TKK'de kullandıkları Kavak kaplamaların yoğunluğunda yaklaşık %30 artış gözlemlenmiştir. 20˚C'de, 0,7 N/mm^2 basınç altında 20 dk. preslenen Karakavak TKK'de ise yoğunlaşma oranı %5 olarak gerçekleşmiştir (Keskin ve Togay, 2003).

1.3.3.1. Tabakalı Kaplama Kereste Üretiminde Kullanılan Yapıştırıcılar

Aynı veya birbirine benzer materyallerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. İlk çağdan kalma tarihi kalıntılarda, yapıştırıcıların silah, araç-gereçlerde ve sanat eserlerinde kullanıldığı görülmüştür. Bu dönemlerde kullanılan yapıştırıcılar kemik, deri, kan, süt gibi doğal ürünlerden elde edilmekteydi. Yapıştırıcılar için tarihi dönüm noktası, sentetik reçinelerin bulunması olmuştur. 1907 yılında L. Baeckland tarafından fenol ve formaldehit temelli plastik (bakalit) için alınan ilk patentin ardından, endüstriyel yapıştırıcıların üretilmesi 1930'lu yılları bulmuş ve doğal yapıştırıcıların yerini almıştır (Zeppenfeld ve Grunwald, 2005). Günümüzde tabakalı ağaç malzeme üretiminde yapıştırıcı olarak üre-, fenol-, melamin- formaldehit ve bunların karışımları kullanılırken, bunlardan üre formaldehit (ÜF) ve fenol formaldehit (FF) en çok kullanılanlardır. Diğer yandan, termoplastik özellikteki polivinil asetat (PVAc) ve termoset yapıdaki poliüretan bazlı yapıştırıcılar da ağaç işleri endüstrisinde kullanılan diğer önemli yapıştırıcı türleridir (Dunky ve Niemz, 2002; Çolakoğlu, 2004).

1.3.3.2. Üre Formaldehit Yapıştırıcısı

Ağaç işleri endüstrisi tarafından en çok kullanılan yapıştırıcı türüdür. Toz ve sıvı halde temin edilebilen yapıştırıcı, üre ve formaldehit moleküllerinin kondenzasyon reaksiyonu sonucu sertleşir. Dunky ve Niemz (2002) ÜF yapıştırıcısı kullanımının sağladığı avantajları aşağıdaki şekilde özetlemiştir:

- Suda çözünebilir.
- Hazırlanması ve kullanımı kolaydır.
- Farklı tür ağaçlarla sorun çıkarmadan kullanılabilir.
- Soğuk, sıcak veya yüksek frekans sistemde uygulanabilir.
- Farklı tür yapıştırıcılarla kombine edilerek kullanılabilir.
- Hızlı sertleşir ve termoset özelliktedir.
- Yüksek dayanımda ve renksiz yapıştırma katmanı oluşturur.
- Depolama ve kullanılan aletlerin temizlenmesi kolaydır.
- Yanmaz.
- Bol miktarda, kolayca ve ucuza temin edilebilir.

Diğer yandan, ÜF yapıştırıcılarının bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar (Dunky ve Niemz, 2002):

- Suya ve rutubete karşı özellikle yüksek sıcaklıklarda hassasiyet gösterir.
- Uygulama esnasında yayılan formaldehit gazı iş güvenliği riski oluşturur.
- Kullanım yerindeki formaldehit emisyonu sorunu.

ÜF yapıştırıcısı sertleşme reaksiyonu asidik ortamda gerçekleşmektedir. Reaksiyon ya serbest formaldehit moleküllerinin sertleştiricilerle reaksiyonu ya da çözeltiye asit eklenmesi suretiyle başlamaktadır. Sertleştirici olarak amonyum tuzları kullanılmakla birlikte endüstriyel uygulamalarda amonyum klorür (NH_4Cl) ve amonyum nitratın (NH_4NO_3) amonyum sülfata ($(NH_4)_2SO_4$) göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Dunky ve Niemz, 2002).

ÜF yapıştırıcılarında sıcaklığın sertleşme hızı üzerinde çok büyük etkisi vardır. Bu nedenle, yapıştırıcı soğuk preslemeye uygun olsa da lamine kaplama malzeme üretiminde genellikle 90-110 ºC aralığında sıcak pres uygulanarak kürlenme sağlanır. Pres esnasında yapıştırıcı katmanı yeterli dayanım özelliğini kazanmış olsa da sıcaklık altında pres süresi uzatıldığında yapışma dayanımında az da olsa artış gözlemlenir (Dunky ve Niemz, 2002; Özdemir, 2009).

Kondenzasyon reaksiyonu sonunda sertleşen ÜF yapışma katmanı, yüksek direnç ve düşük elastikiyet özelliklerine sahip olmasının yanında kırılgan bir yapıya sahiptir. Yüksek sıcaklık etkisiyle kürlenenler, soğuktakilere göre daha yoğun, sıkı ve homojen bir moleküler dizilişe sahiptir (Zeppenfeld ve Grunwald, 2005).

ÜF yapıştırıcısına elastik özellik katacak en basit yumuşatıcı madde sudur. Bu sayede elastik bir yapışma katmanı elde edilebilse de, yüksek sıcaklık etkisiyle gerçekleşen hidroliz sonucu bozulma kaçınılmazdır. Diğer yandan, PVAc dispersiyonu ve çok değerli alkoller de yumuşatıcı etkisi yapan katkı maddelerindendir (Zeppenfeld ve Grunwald, 2005)

ÜF yapıştırıcısı serleşme reaksiyonunun kısmen geri dönüşümlü yapısından dolayı üre ve formaldehit molekülleri arasında oluşan bağlar hidrolize dayanıklı değildir. Özellikle

50 ºC'nin üzerindeki sıcaklıklarda bağlardaki bozulma çok daha hızlı şekilde gerçekleşir. Diğer yandan, 160 ºC'nin üzerindeki sıcaklıklarda da yapıştırıcı filmi hidrolize uğrar. Kimyasal bağlardaki bozulmanın miktarı arttıkça yapışma dayanımı düşmektedir. Bundan dolayı, ÜF yapıştırıcılarının suya dayanım gereken yerlerde kullanımı tavsiye edilmemektedir (Dunky ve Niemz, 2002).

1.3.3.3. Fenol Formaldehit Yapıştırıcısı

Ağaç işleri endüstrisinde fenol formaldehit (FF) yapıştırıcıları, aminoplastik temelli yapıştırıcılardan sonraki diğer önemli grubu oluşturur. Genellikle suya ve değişken iklim şartlarına dayanım istenen yerlerde kullanılırlar. Sıcaklık etkisiyle sertleşen FF yonga levha, lif levha, OSB ve kontrplak üretiminde sıklıkla kullanılır. Ayrıca, kullanım yerinde formaldehit salınımının çok düşük olmasından dolayı sıfır emisyon levhaların üretiminde de kullanılmaktadır (Dunky ve Niemz, 2002).

Diğer yandan, aminoplastik yapıştırıcılara göre yavaş sertleşmesi, pahalı olması, asidik yapılı Meşe, Huş, kestane gibi ağaç türlerinin yapıştırılmasında sorunlar oluşması, yüksek oranda su tutması ve koyu renkli yapışma katmanı en önemli dezavantajlarıdır (Dunky ve Niemz, 2002).

FF yapıştırıcıları asidik veya alkali (bazik) ortamda üretilmelerine göre sırasıyla "*novalak*" ve "*resol*" olarak adlandırılan iki türü vardır. Novalak, fenol moleküllerinin az miktarda formaldehitle reaksiyonu sonucu elde edilir ve kürlenme için sertleştirici kullanılması zaruridir. Asidik özellikte olmasından dolayı tabakalı malzeme imalatında pek kullanılmaz (Çolakoğlu, 2004; Zeppenfeld ve Grunwald, 2005).

Bazik ortamda sertleşen Resol ise 1 mol fenol ile 1,8-2,5 mol formaldehitin reaksiyonu sonucu elde edilir. Oluşan bu egzotermik reaksiyon sonucu yükselen sıcaklık sonucu yüksek polimerizasyon derecesine sahip yapıştırıcı katmanı elde edilir (Zeppenfeld ve Grunwald, 2005). Formaldehit bolluğu neticesinde, daha yoğun-sıkı bir zincir yapısı, daha yüksek direnç, elastikiyet, rutubete dayanımı, boyut stabilitesi ve düşük tutuşma özelliklerine sahip yapışma elde edilir (Çolakoğlu, 2004). Resol yonga ve lif levha üretimi ile yüzeysel yapıştırmalarda sıklıkla kullanılır (Zeppenfeld ve Grunwald, 2005).

Resol genellikle 135-165 ºC arasındaki sıcaklıklarda sertleştirilir. Reaksiyon hızı sertleşme sıcaklığıyla doğrudan ilişkili olup, sıcaklık artışıyla üstel olarak azalır. Ancak, kondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşan su moleküllerinin yüksek sıcaklıkta buharlaşması sonucu yapıştırıcı katmanında baloncuklar oluşabilmektedir. Diğer yandan, tabakalı malzemelerin üretiminde yüksek sıcaklık etkisiyle odun ve kullanılan yapıştırıcının içinde bulunan suyun buharlaşması ile oluşan buhar basıncı nedeniyle pres açıldığında patlama gerçekleşebilmekte ve TKK katmanları birbirinden ayrılabilmektedir. Bu durumu önlemek için malzeme üretimi esnasında pres basıncı kaldırılmadan önce sıcaklığın 90 ºC'nin altına düşürülmesi gerekmektedir (Dunky ve Niemz, 2002; Zeppenfeld ve Grunwald, 2005).

1.3.3.4. Polivinil Asetat Yapıştırıcısı

Çok çeşitli türleri bulunan polivinil asetat (PVAc) yapıştırıcıları ağaç işleri endüstrisinde en çok kullanılan yapıştırıcı türlerindendir. Özellikle yanmazlığı, sağlığa zararlı olmayışı, neredeyse sınırsız depolama ömrü, boşluk doldurma özelliği, renksiz yapıştırma katmanı oluşturması, zayıf asidik yapısı, suda inceltilebilmesi, su ile kolay temizlenebilmesi, diğer yapıştırıcı türleri ile uyumluluğu ve düşük viskozitesi gibi özelliklerinden ötürü geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Fiziksel olarak sertleşen PVAc yapıştırıcıları, içeriğindeki suyun odun yüzeyinde emilmesi veya buharlaşması sonucu polimer zincirlerinin birbirine yaklaşması ve uygun seviyede basınç uygulanmasıyla tutunma sağlanır (Dunky ve Niemz, 2002; Zeppenfeld ve Grunwald, 2005).

Yapıştırma işlemi esnasında sıcaklığın arttırılması, suyun uzaklaşmasını hızlandırdığından kürlenme süresi azalmaktadır. Özellikle kimyasal reaksiyon sonucu ağ yapı oluşturan türlerde artan pres sıcaklığı, yapışma dayanımını arttırmaktadır. Genel olarak 40 ºC'nin üzerindeki sıcaklıklarda akma özelliği göstermektedir. Diğer yandan, PVAc yapıştırma katmanı su ile çözülmemesine rağmen, suyu emmesi ve şişmesi nedeni ile dayanımında önemli miktarda düşüş gözlemlenmektedir (Dunky ve Niemz, 2002).

PVAc yapıştırıcıları boşluk doldurma özelliğinden ötürü mobilya birleştirmelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer yandan, yapılan çalışmalarda PVAc yapıştırıcıların tabakalı kaplama malzeme üretiminde termoset özellikli (ÜF, FF, Poliüretan vb.) yapıştırıcı türler ile rekabet edebilir özellikler gösterdiği raporlanmıştır (Shukla ve Kamdem, 2009; Hashim vd., 2011; de Melo ve Del Menezzi, 2015; Gašparík vd., 2017).

1.4. Termo Mekanik Modifikasyona İşlem Parametreleri

Yukarıda anlatılan TM yoğunlaştırma, bükme ve kaplamalardan TKK üretim işlemlerinin hepsinde, ağaç malzeme çeşitli şekillerde değiştirilerek ve/veya dönüştürülerek özelliklerinde iyileşmeler elde edilmesi nedeniyle odun modifikasyon yöntemleri olarak adlandırılabilmektedir. Diğer yandan, bu üç işlem esnasında da yüksek sıcaklık, basınç kullanıldığı için kısaca TM modifikasyon olarak adlandırılabilmektedir.

TM modifikasyon işlemi esnasında uygulanan pres sıcaklığı, basıncı, süresi, odunun rutubet miktarı gibi parametreler uygulanan işlemin başarısı ve elde edilen malzemenin özellikleri açısından büyük öneme sahiptir. Diğer yandan, yukarıda bahsedilen üç işlemin birleştirilerek uygulanması, bu parametrelerin hassas bir şekilde irdelenerek optimize edilmesiyle mümkündür.

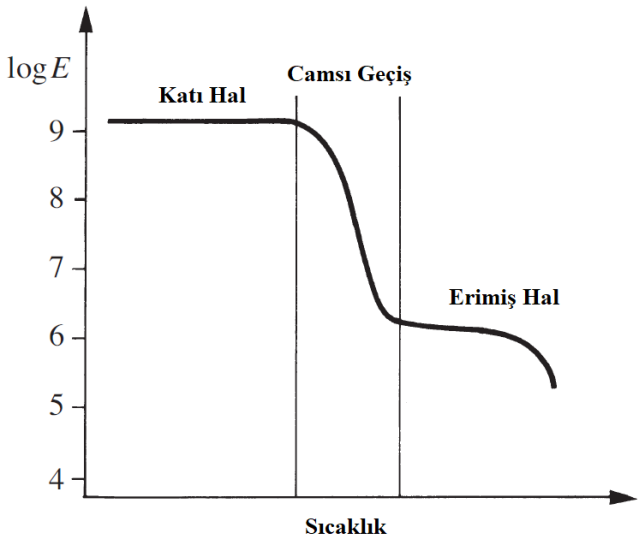
1.4.1. Sıcaklık

Yoğunlaştırma ve bükme işlemleri, odunun fiziksel etkilerle şekillendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu şekillendirme esnasında hücre duvarlarında kırılmalar ve kalıcı deformasyonlar olmaması için odunun önceden yumuşatılması gerekmektedir. Odunun yumuşatılması ise sıcaklık ve rutubetin etkisiyle gerçekleşmektedir.

Odun; selüloz, hemiselüloz ve lignin olmak üzere üç temel organik makro moleküller yapıdan oluşmaktadır. Bu bileşenlerden hemiselüloz ve lignin amorf yapıdayken, selüloz kristal ve yarı kristal bir yapıya sahiptir. Odun sıcaklık ve rutubet etkisinde kaldığında amorf yapıdaki bileşenler yumuşamakta ve kolayca deforme olabilmektedir. Diğer yandan, sıcaklığın aşırı yükseltilmesiyle odunun kimyasal yapısında bozulmalar meydana gelebilmekte, bundan dolayı da mekanik özelliklerinde düşüş gözlenebilmektedir (Navi ve Sandberg, 2012; Pelit vd., 2018).

Normal hava koşullarında katı halde bulunan polimer malzemeler, belirli bir sıcaklığın üzerine ısıtıldığında moleküler bağlar (Van der Wals, Hidrojen bağları) zayıflar ve elastikiyet modülü hızla düşmeye başlar (Şekil 1.6). Bu sıcaklık seviyesine camsı geçiş sıcaklığı (T_g) denir. Bu şekilde ısıtılan polimerin elastikiyet modülü 3000-4000 kat azalma

ve uzama kabiliyetinde yaklaşık 100 kat artış gözlemlenebilir. Böylece moleküler hareket/kaymalar mümkün hale gelir (Navi ve Sandberg, 2012).



Şekil 1.6: Amorf polimerlerin elastikiyet modülü üzerine sıcaklığın etkisi (Navi ve Sandberg, 2012).

Sıcaklığın odunun temel bileşeni olan selüloz, hemiselüloz ve lignin üzerine etkileri farklılık göstermektedir. Su içermeyen selüloz için camsı geçiş sıcaklığı kristallik derecesine bağlı olarak değişmekle birlikte 200-250 ºC arasındayken, hemiselüloz için bu değer 150-220 ºC arasındadır. Ligninin camsı geçiş sıcaklığı ise 140-190 ºC arasında değişkenlik göstermektedir (Navi ve Sandberg, 2012).

Genel olarak polimerler camsı geçiş sıcaklığının 25 ºC üstündeki sıcaklıklarda kolaylıkla şekillendirilebilmektedir (Navi ve Sandberg, 2012). Yoğunlaştırma ve bükme işlemlerinde bu kıstas dikkate alınarak sıcaklık seviyesinin ayarlanması önem arz etmektedir. Ancak, sıcaklık 200 ºC'nin üzerine çıktığında odunda fiziksel ve kimyasal bozulmalar meydana gelmekte ve mekanik özelliklerinde düşüş gözlenebilmektedir (Chow ve Pickles, 1971; Gunduz vd., 2009; Aydemir vd., 2010; Tumen vd., 2010; Sinha vd., 2011a).

Hillis ve Rozsa (1978) yaptıkları çalışmada, kuru haldeki izole hemiselüloz ve ligninin 160-200 ºC arasında yumuşamaya başladığı, ancak rutubetin etkisiyle hemiselülozun 54-56 ºC'de, ligninin ise 72-128 ºC aralığında yumuşamaya başladığı belirtilmektedir. Diğer yandan, uygulanan ön ısıtma işlemi ile amorf odun bileşenlerinin yumuşama

sıcaklığının önemli oranda düştüğünü belirtmişlerdir. Ön ısıtma için en uygun uygulama süresinin ise 2 saat olduğu belirtilmiştir (Hillis ve Rozsa, 1978).

Yoğunlaştırma esnasında uygulanan yüksek sıcaklığın bir diğer önemli etkisi de geri esnemenin azalması yönündedir. Fang vd. (2012) 160-220 ºC arasındaki sıcaklıklarda yoğunlaştırdıkları kavak kaplamalarda, sıcaklık arttıkça geri esnemenin azaldığını belirtmişlerdir. Kudeka ve Resekta (2011) yaptıkları çalışmada, yüksek sıcaklıkta preslenen Kayın odununu sıcaklık arttıkça boyutsal olarak daha kararlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, geri esneme, yoğunlaştırma sonrası uygulanan ısıl işlem ile de (180-240 ºC arasındaki sıcaklıklarda) engellenebilmektedir (Li vd., 2013).

Diğer yandan, tabakalı malzeme üretiminde kullanılan yapıştırıcı ile sıcaklık arasında da bir etkileşim söz konusu olmaktadır. Sıcaklığın mümkün mertebe yüksek tutulması yapıştırıcının kürlenmesi için gerekli olsa da ağaç malzemenin zarar görmesine neden olabilmektedir (Gerhards, 1982; Dunky ve Niemz, 2002; Zhou vd., 2012).

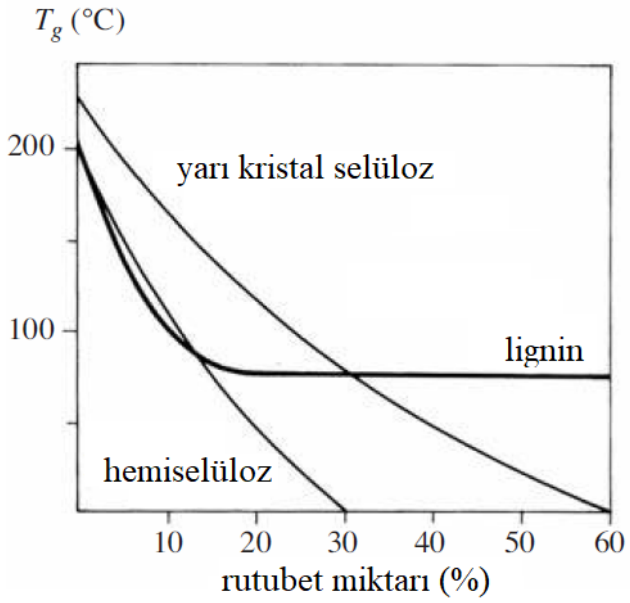
Bu açıdan bakıldığında yoğunlaştırma, bükme ve TKK üretiminin aynı anda gerçekleştirilmesi açısından pres sıcaklığı en önemli parametrelerden biri olarak ön plana çıkmaktadır.

1.4.2. Rutubet Miktarı

Daha önce de belirtildiği üzere sıcaklık ve rutubet miktarı TM modifikasyon işlemi esnasında odunun yumuşatılmasında kullanılan en önemli parametrelerdir. Ağaç malzeme sıcaklık etkisiyle yumuşamaktadır, ancak rutubetin varlığında bu yumuşama daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir.

Odunun camsı geçiş sıcaklığı rutubete miktarıyla ters orantılı şekilde değişmektedir (Chow ve Pickles, 1971; Navi ve Sandberg, 2012). Odunun amorf bileşenlerinin camsı geçiş sıcaklığının ile rutubet miktarı arasındakiilişki Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Bol miktarda hidroksil (-OH) grubu ihtiva eden yarı kristal selüloz ve hemiselülozun camsı geçiş sıcaklığı rutubetin etkisiyle oda sıcaklığının altına düşebilmektedir. Diğer yandan, az miktarda hidroksil grubu ihtiva eden ligninde, rutubetin etkisi daha azdır (Navi ve

Sandberg, 2012). Rutubet miktarı %10'un üzerine çıktığında ligninin T_g değeri 100 ºC'nin altına düşmekte, bu seviyeden sonra düşüş yavaşlamakta ve durmaktadır (Salmén, 1982).



Şekil 1.7: Yarı kristal selüloz, hemiselüloz ve ligninin camsı geçiş sıcaklığı ile rutubet arasındaki ilişki (Salmén, 1982).

Navi ve Girardet (2000) yaptıkları çalışmada, 150 °C'de doymuş buhar varlığında yoğunlaştırdıkları Kayın odununun, düşük rutubet miktarında yoğunlaştırılanlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Diğer yandan, yüksek rutubet miktarının yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen yoğunlaştırma işlemi esnasında olumsuz sonuçlar doğurduğu ve odun rutubetinin %13'ün üzerine çıkmaması gerektiği raporlanmıştır (Navi ve Girardet, 2000).

Odun içinde bulunan su 100 ºC'nin üzerine çıkıldığında buhar formuna geçmektedir. 120, 160 ve 200 ºC'lere ısıtılan ve %24 oranında rutubet ihtiva eden odunun içinde sırasıyla 0,2, 0,45 ve 0,6 N/mm^2 buhar basıncı oluşmaktadır (Udaka ve Furuno, 2005). Bu basınç patlama riskini doğurmaktadır. Patlama riskini azaltabilmek için rutubet miktarının %13'ü geçmemesi tavsiye edilmektedir (Navi ve Girardet, 2000).

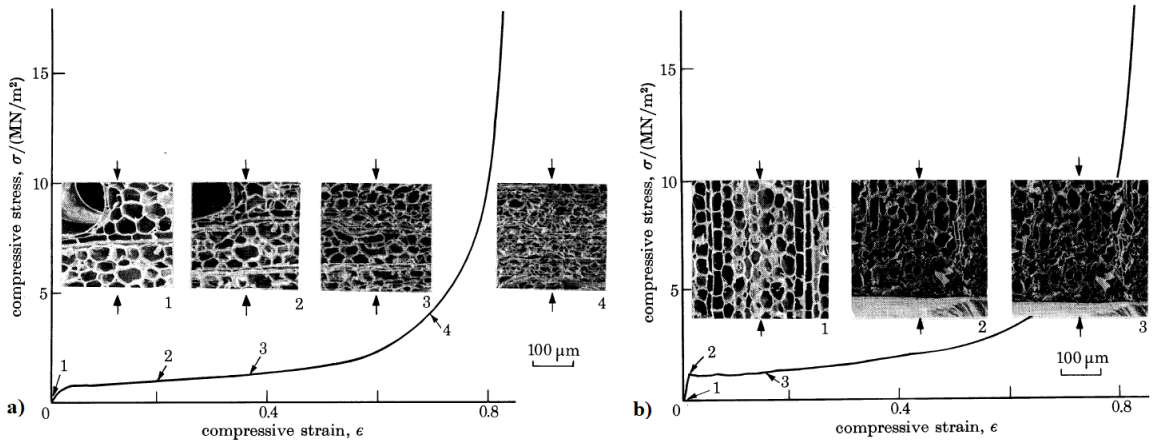
Benzer şekilde, tabakalı malzeme üretiminde de patlama ve tabakaların birbirinden ayrılması durumu sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Burada, odunun kendi rutubetinin yanında, kullanılan yapıştırıcının içinde bulunan suyun da buharlaşması, riski daha da arttırmaktadır.

Aydın vd. (2006) yaptıkları çalışmada, farklı rutubet miktarına sahip kaplamalardan kontrplak üretmiş ve yapışma dayanımını incelemiştir. Sonuç olarak en yüksek yapışma dayanımı %4-6 oranında rutubet ihtiva eden kaplamalarda elde edilirken, rutubet miktarı arttıkça yapışma dayanımının düştüğü raporlanmıştır.

Benzer şekilde kavisli parçaların üretiminde odun bükme işlemi öncesinde buharlanarak yumuşatılmaktadır. Bu sayede bükme işlemi esnasında oluşan iç gerilmeler minimuma indirilerek iç kırılmaların önüne geçilir. Lamine malzemelerin bükülmesinde ideal kaplama rutubeti %12-20 olması önerilmektedir (Luy vd., 1968).

1.4.3. Pres Basıncı

Pres basıncı özellikle yoğunlaştırma işlemindeki mekanik etkinin kaynağıdır. Liflere dik yönde uygulanan baskı ile ağaç malzeme sıkıştırılmakta ve yoğunlaşmaktadır. Sıcaklık ve rutubet etkisiyle önceden yumuşatılan ağaç malzemenin daha düşük basınç ile aynı oranda yoğunlaşması mümkün olabilmektedir.



Şekil 1.8: Balsa odunu için basınç gerilmesi-deformasyon grafiği a) teğet yüzey b) radyal yüzey (Easterling vd., 1982).

Şekil 1.8'de Balsa odununu basınç yüklemesi altındaki davranışı görülmektedir. Balsa odununun hücre duvarları, teğet ve radyal yöndeki basınç yüklemesinde (elastik bölge limiti içinde) eğilme davranışı göstermektedir. Radyal yöndeki yüklemede, yükleme yönünde uzanan öz ışınları güçlendirici plaka etkisi yapmaktadır (Easterling vd., 1982).

Elastik bölge limiti aşıldığında, teğet yüklemede hücre duvarları kalıcı deformasyona (eğilme) uğrar ve kırılır. Radyal yüklemede ise öz ışınlarının güçlendirici etkisinden dolayı deformasyon kademeli olarak ve yüzeyden içe doğru gerçekleşir (Easterling vd., 1982).

Yu vd. (2017) yaptıkları çalışmada hava kurusu rutubetteki Kavak odununu 0-200 N/mm^2 arasındaki basınçlarda sıkıştırmışlardır. Sonuç olarak 50 N/mm^2 basınç altında sıkıştırılan odununun yoğunluğunda %71 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Pres basıncı 50 N/mm^2 dan 100 N/mm^2 ya çıkarıldığında yoğunlaşma oranında sadece %15'lik bir artış gözlemlenirken basıncın daha da arttırılması durumunda yoğunlaşma oranında anlamlı bir yükseliş gözlemlenmemiştir. 50 N/mm^2 basınç altında yoğunlaşmanın büyük oranda gerçekleşmiş olması, Kavak odununda bol miktarda bulunan ince hücre duvarlı ve geniş lümenli trahelerin düşük pres basınçlarında dahi göçmesinden kaynaklanmaktadır (Yu vd., 2017).

Uygulanan basınç sıkışma oranı üzerinde belirleyici etkiye sahipken, elde edilen yoğunlaşma oranı üretilen malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda yoğunlaşma oranı arttıkça mekanik özelliklerde artış olduğu raporlanmıştır. Diğer yandan, düşük pres basıncı kullanılarak yoğunlaştırılan TKK'lerin (*Staypak*) geri esneme oranının, yüksek basınç kullanılarak yoğunlaştırılmış malzemelere oranla daha büyük olduğu ve bu nedenle yoğunlaştırılmış TKK'lerin yoğunluğu en az 1,3 g/cm^3 olacak şekilde yoğunlaştırılması gerektiği belirtilmiştir (Seborg vd., 1956).

Diğer yandan, Blomberg (2006) yaptığı çalışmada, 140 N/mm^2 basıncın odunun kompakt bir yapı alması için yeterli olduğunu ancak pres basıncı kaldırıldığında odunun yüksek oranda geri esnediğini belirtmiştir. Bu durum, pres basıncının arttırılmasının plastik deformasyonu arttırmadığını göstermektedir. Plastik deformasyonu arttırmak dolayısıyla da geri esnemeyi azaltabilmek için yoğunlaştırma işleminin daha yıkıcı (hücre duvarlarının çökmesi) gerçekleşmesi gerektiği belirtilmektedir (Blomberg ve Persson, 2004; Blomberg, 2006).

TKK üretiminde pres basıncı, yapıştırıcının malzeme yüzeyine eşit şekilde yayılması, yeterli penetrasyonun sağlanması ve fazla yapıştırıcının kenarlardan taşarak ince bir yapıştırma katmanının elde edilebilmesi açısından önemlidir. Özellikle kavisli parçaların

üretiminde kalıp yüzeylerinin yükleme eksenine dik olmamasından ötürü levha yüzeyine yeknesak bir basınç uygulanamamaktadır (Wu vd., 1999). Bu durumda en düşük basınç oluşacak yüzeye göre basıncın ayarlanması başarılı bir yapışma için büyük önem taşımaktadır.

1.4.4. Pres Süresi

Daha önce sıcaklığın yoğunlaştırma, bükme ve tabakalı malzeme üretimi ile ilişkisinden bahsedilmişti. Bu karmaşık etkileşim içerisinde sıcaklık seviyesi kadar, uygulama süresi de büyük önem arz etmektedir.

Kudeka ve Resekta (2011) yaptıkları çalışmada yüksek sıcaklıkta preslenen Kayın odununu boyutsal kararlılığının, pres süresindeki artışa bağlı olarak iyileştiğini belirtmişlerdir. Seborg vd. (1956) yaptıkları çalışmada ısıtma zamanındaki artışın malzemenin boyutsal kararlılığını arttırdığını rapor etmiştir. Tümen vd. (2010) yaptıkları çalışmada ise, ısıl işlem uygulanan odunda termal bozulmanın sıcaklık ve uygulama süresine paralel olarak arttığını belirlemişlerdir.

Pres süresi, TKK üretiminde yapıştırıcının kürlenmesi için de önemli bir faktördür. Uygulanan pres süresinin az olması durumunda kürlenme tam gerçekleşmediğinden güçlü bir yapışma elde edilemeyecektir. Bu açıdan uygulanan pres süresinin pres sıcaklığı ve kullanılan yapıştırıcının türü de dikkate alınarak, kürlenmenin tam olarak gerçekleşmesine müsaade edecek kadar uzun tutulması zorunludur.

Diğer yandan, TM modifikasyon için uygulanacak pres süresi, pres sıcaklığı, rutubet miktarı, levha büyüklüğü ve kalınlığı gibi faktörlerle ilişkili olarak değişiklik göstermektedir (Seborg vd., 1956).

1.5. Deney Tasarımı

Bir ürünün/prosesin iyileştirilmesinde veya kalitenin arttırılmasında deneysel çalışmalar vazgeçilmezdir. Ancak, kalite birçok faktör, bunların farklı seviyeleri (girdi) ve birbirleri ile etkileşimlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Mevcut durumda zaten yeterince karmaşık olan bu süreç, ürün veya prosesin kalitesini belirleyen birden çok

özellik (sonuç) söz konusuysa daha da karışık hale gelmektedir. Bir ürünün/prosesin girdi değişkenleri üzerinde yapılan değişikliklerin, sonuç değişkenler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, gözlenmesi, yorumlanması ve en iyi sonucu veren kombinasyonun bulunması sürecine kısaca deney tasarımı (DT) denilmektedir.

Deney tasarımı kavramı ilk olarak 1920'de İngiliz istatistikçi Ronald Fisher ortaya atılmıştır. Fisher, farklı deneme gruplarının sonuç ortalamaları arasında fark olup olmadığını belirlemede kullanılan varyans analizini (ANOVA) de geliştirmiştir. Bugün geleneksel yöntemler olarak anılan DT uygulamalarında sadece bir parametre değiştirilirken, diğerleri sabit tutularak sisteme etkisi incelenir. Böylece bir değişkenin çıktı özellik üzerine etkisi belirlenmeye çalışılır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009). Örnek vermek gerekirse 5 parametreli ve her parametrenin 3'er seviyesinin olduğu bir çalışma düşünülürse, toplamda 3^5=243 deneme grubu oluşur. Her bir deneme grubu için 10 numune üretilecek olsa 2430 numune hazırlanması gerekir. Küçük ölçekli bir DT olan bu örnekte bile, 2430 numune hazırlanması, test edilmesi ve analizi oldukça uzun sürecek ve maliyetli olacaktır. Yapılacak bir çalışmada harcanan zaman ve maliyet ile elde edilecekler arasındaki ilişki çok önemlidir.

1.5.1. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi 1950'li yıllarda Genici Taguchi tarafından, deney sayısını azaltarak maliyet ve zamandan tasarruf sağlayarak süreç iyileştirmek amacıyla Japonya'da geliştirilmiş bir tasarım ve optimizasyon yöntemdir. Kalite güvencede Taguchi'yi farklı yapan felsefe, kalite kontrolü üretim sürecinde (on-line) veya sonrasında değil, öncesinde (off-line) tasarım aşamasında uygulanmasıdır.

Bugün Taguchi metodu, bilim insanları tarafından da en çok kullanılan DT yöntemlerinden biridir. Taguchi metodunda, tüm kombinasyonları içeren tam faktöriyel deneme yerine ortogonal dizinlerden yararlanılır. Ortogonal dizilerden yararlanılarak, yukarıdaki 5 faktör 3 seviyeden oluşan örnek çalışma 243 deneme grubu yerine sadece 27 deneme grubu ile uygulanabilmektedir. Bu sayede büyük oranda maliyet avantajı sağladığı gibi, hızlı şekilde kalite problemlerinin çözülebilmesini de sağlamaktadır.

Taguchi metodunda kalitenin sağlanması için üç aşama tanımlanmıştır. Bunlar (Gökçe ve Taşgetiren, 2009);

- *Sistem tasarımı*: Eldeki bütün materyaller ve mevcut teknolojik yenilikler araştırılıp sisteme uygulanabiliği değerlendirilir.

- *Parametre tasarımı*: Ürün/süreç yenileme ve iyileştirmesinin en önemli adımıdır. Üretilecek ürünün veya uygulanacak yöntemin özelliklerinin en iyi hale getirilebilmesi için kullanılan parametreler optimize edilir ve parametrelerin en iyi seviyeleri belirlenir. Ürün/süreç kalitesini olumsuz yönde etkileyecek kontrol edilemeyen parametreler belirlenir ve bunların etkisinin en aza indirilmesine çalışılır. Parametre tasarımı genel olarak aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanır (Sarpkaya, 2014).

  a. Faktör ve etkileşimlerinin belirlenmesi
  b. Faktör seviyelerinin belirlenmesi
  c. Belirlenen faktör ve seviyelerine uygun ortogonal dizinin oluşturulması
  d. Deneylerin yapılması
  e. Verilerin analiz edilmesi
  f. Faktörlerin ideal seviyelerinin belirlenmesi
  g. Doğrulama deneylerinin yapılması

- *Tolerans tasarımı*: Bu aşamada, parametre belirleme aşamasında istenilen sonuca ulaşılmadığı durumda, gözlenen değerlerden faydalanılarak ürünün hedef değerden sapma nedenleri belirlenir ve en aza indirgenmesine çalışılır.

Taguchi metodunda, kayıp fonksiyonu olarak da bilinen ve 3 farklı amaca uygun şekilde sinyal/gürültü (S/G) oranı fonksiyonları kullanılır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009);

Sonuç değerin küçük olmasının istendiği durumda (en küçük en iyi)

$$S/_G = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \quad (1)$$

Sonuç değerin büyük olmasının istendiği durumda (en büyük en iyi)

$$S/_G = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2)$$

Hedeflenen değerin en iyi olması durumunda ise (nominal en iyi)

$$S/_G = -10 \log\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2}\right) \quad (3)$$

Eşitlikte y_i. Performans yanıtı, i: gözlem değeri, n: bir denemedeki tekrar sayısı, $\bar{y}$: gözlem değerlerinin ortalaması ve S^2: gözlem değerlerinin varyansını göstermektedir. Sonuç olarak en yüksek S/G oranını veren kombinasyon en iyi sonuç olarak değerlendirilir.

Taguchi metodunun son aşamasında ise doğrulama deneylerinin yapılmasıdır. Bu aşamada belirlenen en ideal faktör kombinasyonu için performans düzeyi deneysel olarak belirlenir ve Taguchi metodu ile %95 güven düzeyinde tahmin edilebilirliği sorgulanır. Optimum parametreler için en iyi performans düzeyi (PD_t) Eşitlik 4 ve 5 kullanılarak hesaplanmaktadır (Kara ve Öztürk, 2019).

$$\eta_G = \bar{\eta}_G + (A - \bar{\eta}_G) + (B - \bar{\eta}_G) + (C - \bar{\eta}_G) + \cdots \quad (4)$$

$$PD_t = 10^{-\eta_G / 20} \quad (5)$$

Burada η_G: en iyi seviyeler için hesaplanan S/G oranını, *A, B, C*, … : parametrelerin S/G oranı ortalamasını, $\bar{\eta}_G$: parametrelerin S/G oranları ortalamasını göstermektedir.

Taguchi metoduna göre belirlenen en iyi performans düzeyinin güven aralığı (*GA*) ise Eşitlik 6 ve 7'ye göre hesaplanmaktadır (Kara ve Öztürk, 2019; Pamukçu, 2019).

$$n_{eef} = \frac{1}{1+c} \quad (6)$$

$$GA = \sqrt{F_{\alpha,1,SD_e} \times V_e \times \left(\frac{1}{n_{eef}} + \frac{1}{r}\right)} \quad (7)$$

Burada n_{eef}: etkin ölçülen sonuçların sayısını, F: α önem düzeyi için F değerini V_e: hata serbestlik derecesi, r: doğrulama deney sayısını, c: faktörlerin toplam serbestlik derecesini göstermektedir. Sonuç olarak doğrulama deneyleri sonucu belirlenen performans düzeyinin, Taguchi yöntemi ile tahmin edilen değer ± GA değeri sınırları içinde olması gerekir (Kivak, 2014; Kara ve Öztürk, 2019; Pamukçu, 2019).

Literatür incelendiğinde, Taguchi metodunun kullanıldığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Güler (2013) yaptığı çalışmada, Kızılçam kerestenin planyalama işlemi esnasında yüzey kalitesini etkileyen 5 parametrenin (bıçak sayısı, kesme derinliği, kesme açısı, besleme hızı ve işleme yönü) en iyi seviyeleri Taguchi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada ise CNC freze ile işlenen Karaçam odununun yüzey pürüzlülüğü, bıçak dönme hızı, ilerleme hızı ve işlem derinliği parametrelerinin en uygun seviyeleri Taguchi yöntemine uygulanarak belirlenmiştir (Hazır ve Koç, 2016). Koç vd. (2017) yaptıkları diğer bir çalışmada ise, CNC freze işleminde kullanılan malzeme, dönme hızı ve ilerleme hızı parametrelerini yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve en iyi sonucu veren parametre seviyeleri araştırılmıştır. Pamukçu (2019) yaptığı çalışmada, kriojenik işlemin Sarıçam odununun mekanik özellikleri üzerine etkilerini işlem sıcaklığı ve rutubet miktarı parametreleri dikkate alınarak belirlemiş ve optimize etmiştir.

1.6. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

İşletmeler, kalite sorumluları, tasarımcılar veya bilim insanları karar alırken, sadece doğru/güvenilir verilere ihtiyaç duymazlar. Tek bir kriter üzerinden karar verilmesi gerekseydi geleneksel karar analiz yöntemleri kullanılabilecekken, karar süreçlerinde genellikle birbiri ile çelişen birçok kıstas mevcuttur. Bundan dolayı, güvenilir veriler kadar uygun bir değerlendirme yöntemine de ihtiyaç duyulur.

Birden çok değerlendirme kriterine göre eş zamanlı olarak karar alma sürecinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılır. ÇKKV yöntemleri genel olarak şu adımlar izlenerek uygulanır (Yıldırım, 2011).

- Kriter ve alternatifler belirlenir.
- Kriterlerin önem dereceleri belirlenir.
- Alternatifler, tüm kriterler dikkate alınarak değerlendirilir ve sıralanır.

Literatür incelendiğinde, birçok ÇKKV yöntemi ile karşılaşılmaktadır. Bu yöntemlerin en büyük avantajı nitel ve nicel verileri aynı anda değerlendirebilme imkanı sağlamasıdır. Ancak, hiçbiri diğerlerine tam bir üstünlük sağlayamamaktadır (Yıldırım, 2011).

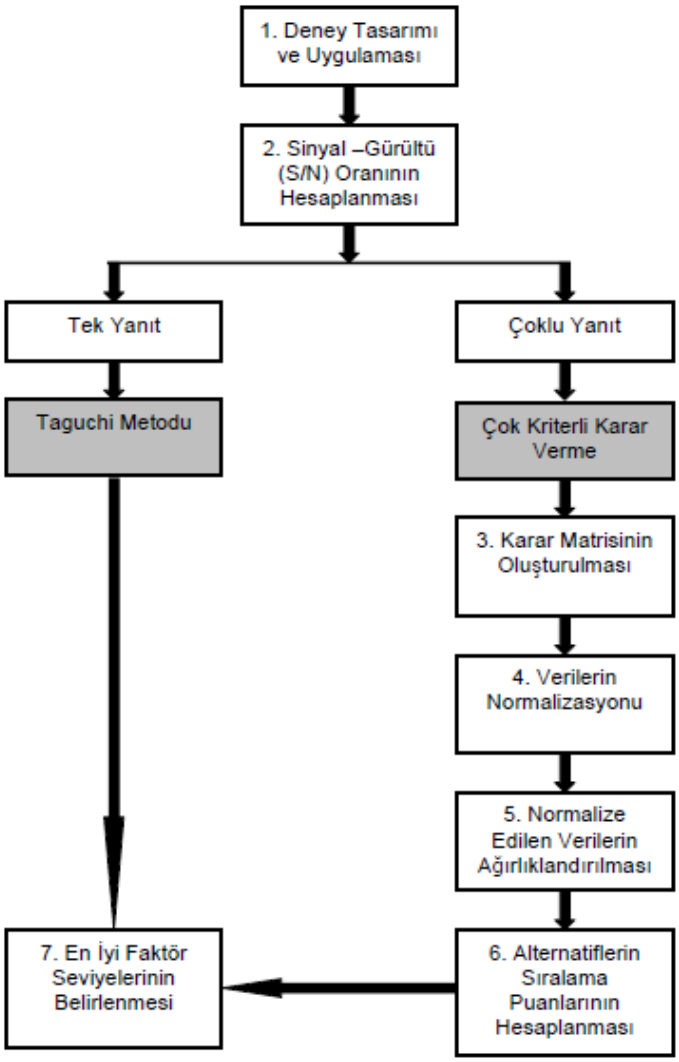
Daha önce de bahsedildiği üzere, DT yöntemleri kullanılarak tek bir performans kriterini optimize eden faktör kombinasyonun belirlemesi mümkündür. Ancak, birden çok kriterin varlığında, bunlardan sadece birini en iyi yapan sonuçların bulunması anlamsızdır. Bu durumda ÇKKV yöntemleri ile DT yöntemleri bütünleşik olarak kullanılabilmektedir. Literatür incelendiğinde özellikle gri ilişkisel analiz (GİA) ile Taguchi yönteminin birlikte başarıyla kullanıldığı birçok çalışma ile karşılaşılmaktadır (Lin, 2004; Tosun, 2006; Boydak, 2008; Sarpkaya, 2014; Yavuz, 2017).

1.6.1. Gri İlişkisel Analiz

Gri ilişkisel analiz (GİA) ilk defa 1982'de Tayland'da Julong Deng tarafından geliştirilmiştir. GİA, az veya kesikli bilginin, çok veri ve belirsizliğin olduğu durumlarda alternatif ve etkili bir yöntem olarak ön plana çıkmaktadır. Gri teori, çok değişkenli istatistiklerle hiçbir dağılıma uymayan, yeterli veri içermeyen ve belirsizlikten dolayı modellenemeyen problemlere çözüm getirebilmektedir. GİA'da "siyah" bilginin olmadığını gösterirken, "beyaz" bilgiye tam olarak sahip olunduğunu ifade eder. Bazı bilgilerin bilinirken, bazılarının bilinmediği durum ise "gri" olarak tanımlanır (Yıldırım, 2011).

1.6.2. Taguchi Metodu ve Gri İlişkisel Analizin Bütünleşik Olarak Uygulanması

GİA ile Taguchi yöntemi birlikte uygulanması ile birden çok performans kriteri tek bir yanıta dönüştürülerek ürün/proses üzerinde etkili parametreler optimize edilir. Sekil 1.9'da Taguchi tabanlı GİA'nın uygulama aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 1.9: Taguchi tabalı gri ilişkisel analizin uygulama aşamaları (Yıldırım, 2011).

Gri ilişkisel Analiz aşağıdaki adımlar takip edilerek uygulanır. Bu adımlardan 1, 8, 9 ve 10 Taguchi metodunun uygulamalarını içerirken, 3, 4, 5, 6 ve 7. aşamalar GİA'nın uygulamalarıdır (Yıldırım, 2011).

Adım 1: İyileştirilecek ürün/proses için Taguchi DT'na göre deneyler yapılır ve belirlenen her bir performans kriteri için S/G oranları Eşitlik 1-3 kullanılarak hesaplanır (bkz. Bölüm 1.5.1).

Adın 2: Bu adımda, n uzunluğundaki referans serisi (en iyi değerler) Eşitlik 8'e göre belirlenir. Burada S/G oranı yerine, deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler de kullanılabilir.

$$x_0 = [x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots\dots, x_0(n)] \quad (8)$$

Adım 3: Uygulamada, belirlenen her bir performans kriterinin sonuçları farklı birimlerde olabilmektedir. Ayrıca, bu sonuçların değişim aralıklarında büyük farklılıklar olabilmektedir. Uygulanan GİA ile doğru verilere ulaşabilmek için bu verilerin aynı birime dönüştürülmesi ve değişim aralığını belirli küçük bir aralığa çekilmesi faydalıdır. Bu amaçla veriler normalize edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise performans kriterleri için "en büyük en iyi", "en küçük en iyi" ve "nominal en iyi" amaç fonksiyonlarından hangisinin uygulanacağıdır. Buna amaç fonksiyonlarına göre normalize edilmiş değerler aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmaktadır.

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - min\, x_i^0(k)}{max\, x_i^0(k) - min\, x_i^0(k)} \quad (En\ büyük\ en\ iyi) \quad (9)$$

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{max\, x_i^0(k) - min\, x_i^0(k)} \quad (En\ küçük\ en\ iyi) \quad (10)$$

$$x_i(k) = 1 - \frac{|\, x_i^0(k) - x^0\,|}{max\, x_i^0(k) - min\, x^0} \quad (Nominal\ en\ iyi) \quad (11)$$

Eşitliklerde $x_i(k)$; x^0 serisinin normalize edilmiş hali, $x_i^0(k)$; i. alternatif k. yanıt değeri, $min\, x_i^0(k)$; en düşük performans değeri, $max\, x_i^0(k)$; en yüksek performans değeri, x^0; istenilen ideal değeri ifade etmektedir.

Adım 4: Bu aşamada normalize edilen performans kriterler değerleri için referans serileri belirlenmektedir. Referans serisi Eşitlik 12'ye göre belirlenir. Alternatiflerin referans serisine yakınsaması amaçlanır.

$$x^0 = [x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots\dots, x_0(n)] = (1, 1, 1, \dots, 1) \quad (12)$$

x^0; istenilen ideal değeri ifade etmektedir

Adım 5: Bu aşamada, belirlenen amaç fonksiyonuna göre fark değerler Eşitlik 13-15'e göre hesaplanır.

$$\Delta_{max} = max_j\ max_k \left| x_0(k) - x_j(k) \right| \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad k = 1, 2, \dots, n \tag{13}$$

(en büyük en iyi)

$$\Delta_{min} = min_j\ min_k \left| x_0(k) - x_j(k) \right| \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad k = 1, 2, \dots, n \tag{14}$$

(en küçük en iyi)

$$\Delta_{0i} = \left| x_0(k) - x_j(k) \right| \tag{15}$$

($nominal\ en$ iyi)

Adım 6: Bu aşamada gri ilişkisel katsayı hesaplanır. K, n uzunluktaki seride k. sayıyı gösterirken $\varepsilon(x_o(k), x_i(k))$ k. noktadaki gri ilişkisel katsayıdır ve Eşitlik 16'ya göre hesaplanır.

$$\varepsilon\left(x_0(k), x_i(k)\right) = \frac{\Delta_{min} + \xi\ \Delta_{max}}{\Delta_{0i} + \xi\ \Delta_{max}} \tag{16}$$

$\xi \in (0,1)$ arasında bir ayrım katsayısıdır ve genellikle 0,5 olarak kullanılır.

Adım 7: Bu aşamada gri ilişkisel derece hesaplanmaktadır. Bu katsayı bir x_i serisi ile en iyi sonuç olan referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin ölçüsüdür. Bu değer ne kadar büyük olursa seriler arası ilişki o kadar kuvvetli demektir. Gri ilişkisel derece, her bir kriterin ağırlığı ($W_i(k)$) ile gri ilişki katsayısı çarpılarak hesaplanır (Eşitlik 17).

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} \varepsilon(x_0(k), x_i(k).(W_i(k)) \tag{17}$$

Adım 8: Elde edilen gri ilişkisel derece birden çok performans kriterinin sonuçlarının tek bir değer olarak gösterimidir. Bu değerler kullanılarak tekrar Taguchi analizi yapılır ve tüm performans kriterlerini aynı anda optimize eden parametre seviyeleri belirlenir.

Adım 9: ANOVA testi uygulanarak parametrelerin çoklu performans üzerine etkileri belirlenir.

Adım 10: Son aşamada ise doğrulama deneyleri yapılır. Öncelikle Eşitlik 4 ve 5 kullanılarak GİA ile belirlenen ideal parametre seviyelerine göre her bir performans kriteri için tahmini performans değerleri hesaplanır. Sonrasında ise Eşitlik 6 ve 7 kullanılarak performans değerleri için güven aralığı ve değişim aralığı belirlenir. Akabinde GİA ile belirlenen ideal parametre seviyelerine göre doğrulama numuneleri üretilir, deneyi yapılır ve bu sonuçların belirlenen değişim aralığı içinde olup olmadığı kontrol edilir.

BÖLÜM 2

PRES BASINCININ YOĞUNLAŞTIRILMIŞ KAVAK KAPLAMALARIN YAPIŞMA DAYANIMI ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Daha önce de belirtildiği üzere bu çalışmada, düşük yoğunluklu Kavak kaplamalardan üretilen TKK'lerde, TM yoğunlaştırma işlemi uygulanması ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve taşıyıcı mobilya elemanlarında kullanılabilirliği incelenmektedir. Bu aşamada akla gelen ilk soru yTKK'lerin hangi yöntemle üretilebileceğidir. Bu noktadan yola çıkarak çalışmanın bu aşamasında önceden yoğunlaştırılmış kaplamalardan yTKK üretilebilirliğine öncelik verilmiştir.

Üretilen TKK'nin direnç özellikleri açısından yapışma kalitesinin önemi büyüktür. Literatürde yoğunlaştırılmış odun ve kaplamanın yapışma özellikleri üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Jennings vd., 2005; Bekhta ve Marutzky, 2007; Kamke, 2007; Kutnar vd., 2007; Bekhta vd., 2012, 2018). Yoğunlaştırılma işleminde yüksek sıcaklık ve basıncın etkisiyle hücre duvarları ile odun yüzeyindeki yarık ve çatlakların göçmesi sonucu ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğünde önemli oranda azalma gözlemlenmekte, daha düz bir yüzey elde edilmekte, geçirgenlik (permeabilite) de azaltmaktadır. Bunlara bağlı olarak da daha az yapıştırıcı ve düşük basınç uygulanarak başarılı bir yapıştırma elde etmek mümkün olabilmektedir (Bekhta ve Marutzky, 2007; Kamke, 2007; Candan vd., 2010; Bekhta vd., 2012; Büyüksari, 2013).

Jennings vd. (2005) yaptıkları çalışmada, FF kullanılarak yapıştırılan yoğunlaştırılmış ve yoğunlaştırılmamış odunların benzer yapışma performansı gösterirken, isosiyanat (pMDI) kullanarak yapıştırılan odunlarda yoğunlaştırma işlemi uygulananların daha iyi yapışma performansı gösterdiğini raporlamıştır. Bekhta ve Markutzy (2007) yaptıkları çalışmada, daha az yapıştırıcı (FF) kullanarak ve daha düşük pres basıncı uygulayarak TM yoğunlaştırılmış Kayın kaplamalarla üretilen kontrplakların, yoğunlaştırılmamış kaplamalarla üretilenlere kıyasla benzer veya biraz daha yüksek yapışma dayanımı elde edilebileceğini belirtmişlerdir (Bekhta ve Marutzky, 2007). Bekhta vd. (2012, 2018) Huş kaplama ve FF yapıştırıcısı kullanarak ürettikleri kontrplaklarda da benzer sonuçlar

bulmuştur. Yine literatürde rastlanan bazı çalışmalarda, yoğunlaştırılmış odunun yoğunlaştırılmamışlara kıyasla daha iyi yapışma performansı gösterdiğini belirtmiştir (Jennings vd., 2005; Kutnar vd., 2007). Ancak, ağaç malzemenin yüzeyinde fiziksel ve kimyasal değişiklikler olduğundan dolayı, elde edilen bu sonuçlar kullanılan yapıştırıcı türüne göre değişiklikler gösterebilmektedir (Kamke, 2007).

Mobilya endüstrisinde vakum presler sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle motifli kapakların kaplanmasında kullanılan bu sistem, bükülmüş mobilya elemanlarının üretiminde de kullanım alanı bulabilmektedir. Vakum pres uygulamasının düzgün olmayan yüzeylerin preslenebilmesi, tüm yüzeyde eşit basınç oluşturması ve düşük işletme maliyetleri gibi avantajlarının yanında, uygulanabilir basıncın ve sıcaklığın sınırlı olması gibi dezavantajları mevcuttur (Kahraman, 2010). Yoğunlaştırılmış kaplamaların daha az yapıştırıcı ve düşük pres basıncı kullanarak yapıştırılması ile normal koşullardaki yapıştırmaya benzer veya daha yüksek dayanım değerlerinin elde edilebilmesi, vakum (membran) preslerin yoğunlaştırılmış kaplamalardan TKK üretiminde kullanılabilirliği fikrini doğurmuştur.

Bu noktadan yola çıkarak çalışmanın ilk aşamasında, yoğunlaştırılmış kavak kaplamalardan TKK üretiminde, pres basıncının yapışma dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir. Özellikle vakumlu membran preslerin üretim, maliyet ve sağlık açısından sağlayabileceği avantajalar göz önünde bulundurularak, düşük pres basıncının etkisi üzerine odaklanılmıştır.

Çalışmanın bu aşaması, bilim ve teknolojide Avrupa iş birliği için oluşturulmuş olan ve araştırma projelerinin Avrupa düzeyinde koordinasyonunu sağlayan uluslararası bir kuruluş olan COST (European Cooperation in Science and Technology) tarafından, COST Action FP1303 aksiyonu, STSM (Short Term Scientific Mission) programı kapsamında desteklenmiştir.

2.1. Materyal

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ile ilgili gerekli bilgiler özet halinde açıklanmıştır.

2.1.1. Ağaç Malzeme

Çalışmanın bu aşamasında İtalya'da geliştirilen ve ülkemizde ekimi tavsiye edilen Melez Kavak türlerinden (*Populus euramericana* cv.) I-214 klonu kullanılmıştır. Tomruklar, Karabük'ün Eskipazar ilçesinde yaklaşık 800 m rakımdan kesilen ağaçlardan, TS 3273 (1979) standardına uygun olarak düzgün gövdeli, biyolojik zararlılara maruz kalmamış, az budaklı olanlarından 2 adet seçilerek temin edilmiş olup çapları yaklaşık 45 cm'dir. 250 cm uzunluğundaki tomruklar 60 cm boyunda kesilmiş, bu sayede soyma kaplamaların boyunun yoğunlaştırma ve yapıştırma işleminde kullanılan preslere uygun olması sağlanmıştır (Şekil 2.1).

Şekil 2.1: I-214 klonu Melez Kavak tomruklar (*Populus euramericana* cv.).

2.1.2. Kaplamaların Hazırlanması

Kaplamalar Düzce'deki özel bir işletmede, milli kaplama soyma makinesi kullanılarak üretilmiştir (Şekil 2.2). Tomruklar soyma işleminden önce yaklaşık 18 saat süre ile buharlama işlemine tabi tutulmuştur. Çalışmanın bu aşamasında 3 mm, 3,5 mm, 4 mm ve kontrol numunesi olarak (yoğunlaştırılmayacak) 2 mm olmak üzere 4 farklı kalınlıkta kaplamalar üretilmiştir. Soyma işlemi sonunda 60 x 60 cm boyutlarında soyma kaplamalar elde edilmiştir. Yüksek oranda rutubet ihtiva eden kaplamalar, soyma işleminin hemen ardından %8-10 rutubet oranına gelene kadar kurutulmuştur.

Şekil 2.2: Milli kaplama soyma makinesi.

2.1.3. Yapıştırıcılar

Çalışmanın bu aşamasında ağaç işleri endüstrisinde sıklıkla kullanılan, soğuk yapıştırmaya uygun yapıştırıcı türlerinden üre formaldehit (ÜF) ve polivinil asetat (PVAc) yapıştırıcıları tercih edilmiştir. Toz haldeki üre formaldehit yapıştırıcısı Duranate & Vivan Adesivi'den (Duroxill 850), polivinil asetat esaslı sıvı emülsiyon yapıştırıcısı ise Beta Kimya San. ve Tic. AŞ.'den (Apel D3) temin edilmiştir. Kullanılan yapıştırıcıların bazı teknik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Kullanıma hazır halde satılan PVAc yapıştırıcısı olduğu gibi, toz haindeki ve kendinden setrleştiricili ÜF ise ağırlıkça %50 oranında su ile karıştırılarak hazırlanmıştır.

Tablo 2.1: Üre formaldehit (Duroxil 850) ve polivinil asetat (Apel D3) yapıştırıcılarının teknik özellikleri ve karışım reçetesi.

Özellikler	**Üre Formaldehit (Duroxill 850)**	**Polivinil Asetat (Apel D3)**
Yoğunluk (g/cm^3)	0,5	1,09
Viskozite (mPa.s)	5000 - 9000	21000 ± 5000
Katı madde miktarı (%)	50 - 70	46 ± 2
pH	7	4 - 5,5
Karışım*	%50 Su	-

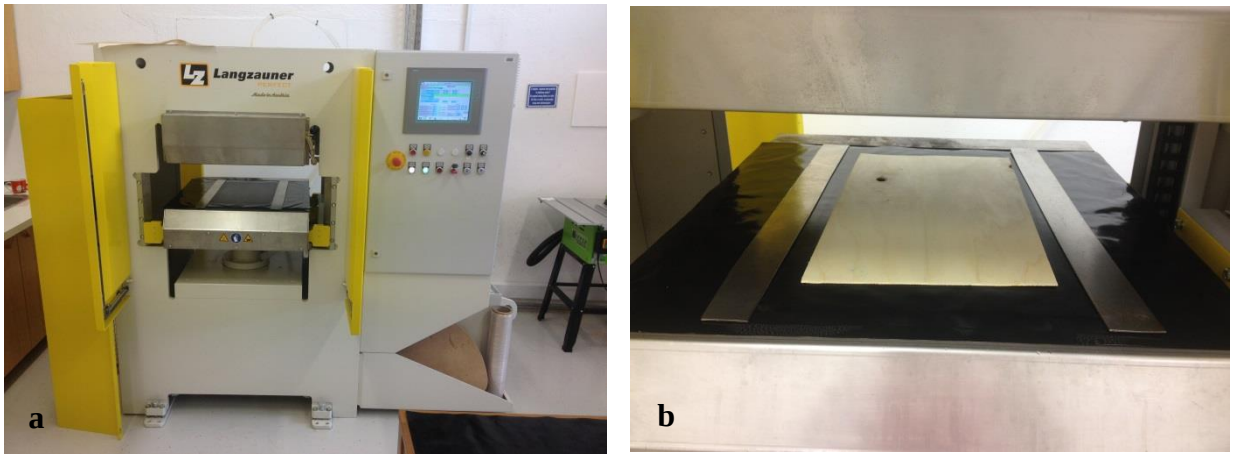
* Yapıştırıcı ana maddesinin ağırlıkça %'si

2.2. Deneme Levhalarının Hazırlanması

Bu bölümde yapışma mukavemetinin belirlenebilmesinde kullanılacak olan 4 katmanlı TKK deneme levhalarının üretim aşamaları anlatılmıştır.

2.2.1. Termo Mekanik Yoğunlaştırma

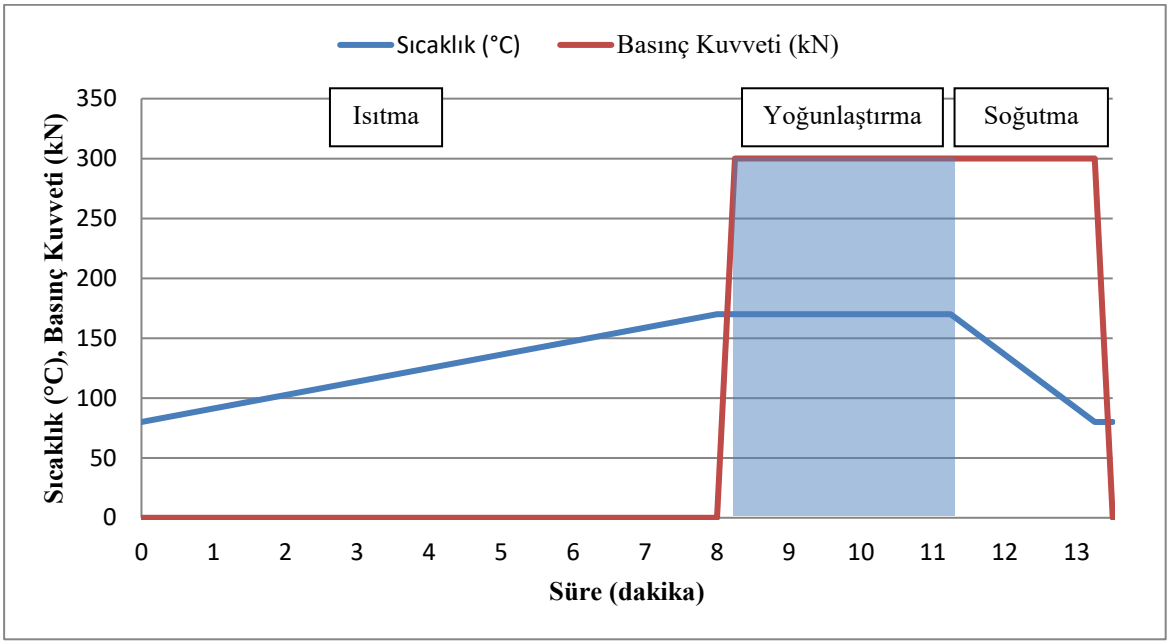
Öncelikle yaklaşık 50 x 30 cm boyutlarında kesilen soyma kaplamalar 20 ºC, %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelene kadar iklimlendirme dolabında şartlandırılmıştır. TM yoğunlaştırma, BREST-Pohištvo d.o.o. (Cerknica, Slovenya) firmasının laboratuvarlarında, Langzauner Perfect model (Lambrechten, Avusturya) soğutma sistemli, hidrolik sıcak preste uygulanmıştır (Şekil 2.3a).



Şekil 2.3: Soğutma tertibatlı hidrolik pres (Langzauner).

TM yoğunlaştırma işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda kaplamaların 2 mm son kalınlığa ulaşması hedeflenmiştir. Bu amaçla 2 mm kalınlığında mekanik stoplardan yararlanılmıştır (Şekil 2.3b). Öncelikle kaplamalar prese yerleştirilip çok düşük pres basıncı altında sıcaklık 170 ºC'ye ulaşıncaya kadar (yaklaşık 8 dakika) beklenmiştir. Ardından, kaplamalar 300 kN yük yani yaklaşık 2,1 N/mm^2 basınç altında 3 dakika sıkıştırılmıştır. Son aşamada ise basınç altında pres sıcaklığı 170 ºC'den 80 ºC'ye düşürülmüştür. Bu sayede yüksek sıcaklık sonucu kaplamanın içinde oluşan su buharının yoğuşması, dolayısıyla da buhar basıncının düşürülmesi sağlanarak malzemenin patlaması ve/veya geri esnemesi minimize edilmiştir. Yaklaşık 13-14 dakika süren

TM yoğunlaştırma süreci (Şekil 2.4), pres açılıp yoğunlaştırılmış kaplamaların presten çıkarılmasıyla sonlandırılmıştır.



Şekil 2.4: Kaplamalar için TM yoğunlaştırma sürecinin aşamaları.

Sonuç olarak 3, 3,5 ve 4 mm kalınlığındaki kaplamalar 2 mm son kalınlığa getirilerek sırasıyla %50, 75 ve 100 oranında sıkıştırılmıştır. Yoğunlaştırılan kaplamalar 20 ºC, %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelene kadar şartlandırılmıştır.

2.2.2. Yoğunlaştırılmış Kaplamalardan Tabakalı Kaplama Kereste (TKK) Üretimi

Üretici firma tavsiyeleri dikkate alınarak hazırlanan yapıştırıcılar, merdaneli tutkal sürme aleti ile kaplamaların tek yüzüne sürülmüştür. Ardından kaplamalar, lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde üst üste yerleştirilerek TKK taslakları oluşturulmuş ve pres makinesine yerleştirilmiştir. TKK taslakları 180 ton kapasiteli hidrolik preste (Cemil Usta SSP-180 T) 0,25, 0,50 ve 0,75 N/mm^2 olmak üzere 3 farklı pres basıncı altında sıkıştırılarak yapışma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yapıştırıcı türlerine göre uygulanan pres parametreleri (üretici firma tavsiyelerine göre) Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.2: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan yTKK üretim koşulları.

Yapıştırıcı	Pres Sıcaklığı (ºC)	Tutkal Miktarı (g/m^2)	Pres Süresi (dk.)
ÜF	60	150	15
PVAc			12

2.3. Yöntem

Bu bölümde yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK levhalardan kesilen numuneler ve deneysel çalışmaların uygulanışı açıklanmıştır.

2.3.1. Fiziksel Özellikler

Bu bölümde üretilen deneme levhaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan çalışmalar açıklanmıştır.

2.3.1.1. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi

Kaplamaların ve yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen TKK'lerin rutubet tayini TS EN 322 (1999) standardına uygun şekilde belirlenmiştir. TKK örnekler için 50 x 50 x kalınlık mm boyutlarında ve hava kurusu rutubetteki numunelerin ilk ağırlıkları (m_{hk}) ±0,01 g hassasiyetle belirlenmiştir. Kaplamaların rutubet tayininde ise, malzeme çok ince olduğundan dolayı numune boyutları 100 x 100 x kalınlık (mm) olarak kullanılmıştır.

Ardından numuneler etüv fırında, 103 ±2 ºC sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek tam kuru hale getirilmiştir. Numuneler tekrar tartılarak tam kuru ağırlıkları (m_0) belirlenmiştir.

Ölçümleri yapılan numunelerin hava kurusu denge rutubet miktarı (r_{hk}) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır;

$$r_{hk}\ (\%) = \frac{m_{hk} - m_0}{m_0} \times 100 \qquad (18)$$

2.3.1.2. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi

Deneme plakalarının yoğunlukları TS EN 323 (1999) standardında belirtildiği şekilde belirlenmiştir. TKK örnekleri için 50 x 50 x kalınlık mm boyutlarındaki örneklerin hava kurusu haldeki (m_{hk}) ağırlıkları ±0,01 g hassasiyetle ölçülmüştür. Kaplamalarda ise malzeme çok ince olduğundan dolayı numune boyutları 100 x 100 x kalınlık mm olarak

belirlenmiştir. Numunelerin tam kuru haldeki (m_0) ağırlıkları ise 103±2 ºC sıcaklığındaki etüv fırında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra ölçülerek elde edilmiştir. Ardından numunelerin boyutları (*a: boy, b: genişlik, t: kalınlık*) dijital kumpas kullanılarak ±0,01 mm hassasiyette ölçülmüştür. Ölçümü yapılan örneklerin hava kurusu (d_{hk}) ve tam kuru haldeki (d_o) yoğunlukları aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır;

$$d_{hk}\ (g/cm^3) = \frac{m_{hk}}{a \times b \times t} \quad (19)$$

$$d_0\ (g/cm^3) = \frac{m_0}{a \times b \times t} \quad (20)$$

2.3.1.3. Sıkışma Oranının Belirlenmesi

Ağaç malzemelerin yoğunlukları, mekanik özellikleri doğrudan etkilemesinden dolayı önem arz etmektedir. Bu yüzden uygulanan TM yoğunlaştırma işlemi sonrası TKK'lerin yoğunluklarının belirlenmesi önem arz etmektedir ki bu da sıkışma oranı ile doğru orantılıdır. Bu maksatla öncelikle kaplamaların ilk kalınlıkları (t_k) ±0,01 mm hassasiyette dijital kumpas kullanılarak belirlenmiştir. Ardından yoğunlaştırılan kaplamaların kalınlıkları presten çıkarıldıktan hemen (t_{ilk}) sonra ölçülmüştür. Pres sonrası ilk kalınlıklar, kaplamaların 6 farklı noktasından alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle tespit edilmiştir. Soğutulan deneme plakaları 20 ºC ve %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırılarak oda şartlarındaki son şeklini alması sağlanmış ve tekrar 6 farklı noktadan kalınlıkları ölçülüp ortalaması alınarak kaplamaların hava kurusu kalınlıkları (t_{hk}) tespit edilmiştir. Yapılan ölçümlerden sonra kaplamaların sıkışma oranları (SO_{ilk}*: iklimlendirme öncesi sıkışma oranı,* SO_{hk}*: iklimlendirme sonrası hava kurusu sıkışma oranı*) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır;

$$SO_{ilk}\ (\%) = \frac{t_k - t_{ilk}}{t_{ilk}} \times 100 \quad (21)$$

$$SO_{hk}\ (\%) = \frac{t_k - t_{hk}}{t_{hk}} \times 100 \quad (22)$$

2.3.1.4. Anlık Geri Esneme ve Geri Esneme Oranının Belirlenmesi

TM yoğunlaştırma işleminin başarı ölçütlerinden bir diğeri de geri esneme oranıdır. Geri esneme, hedeflenen kalınlıktan yani mekanik stop kalınlığından sapma olarak da tanımlanabilir. Kaplamaların yoğunlaştırılmasında 2 mm kalınlığında mekanik stoplar (t_{ms}=*2 mm*) kullanılmıştır (Şekil 2.3b).

Yoğunlaştırma işlemi sonrasında iki tür geri esnemeden bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki, pres tablası açıldığı anda malzemenin içinde oluşan iç gerilmelerin serbest kalmasıyla tetiklenen anlık geri esnemedir (*AGE*). Diğeri ise malzeme 20 ºC ve %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa geldiğinde oluşan hava kurusu haldeki geri esnemedir (*GE*). Geri esneme oranları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır;

$$AGEO\ (\%) = \frac{t_{ilk} - t_{ms}}{t_{ms}} \times 100 \quad (23)$$

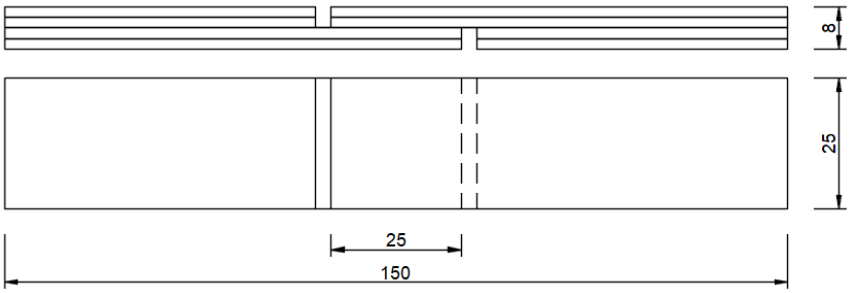
$$GEO\ (\%) = \frac{t_{hk} - t_{ms}}{t_{ms}} \times 100 \quad (24)$$

2.3.2. Mekanik Özellikler

Bu bölümde yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan çalışmalar açıklanmıştır.

2.3.2.1. Yapışma Dayanımının Belirlenmesi

2 farklı yapıştırıcı türü ve 3 farklı pres basıncı altında üretilen ve 4 katmandan oluşan TKK'lerden her bir test grubu için 10 adet numune kesilmiş (Şekil 2.5) ve yapışma mukavemet testleri TS EN 314-1 (1998) standardına uygun şekilde, 50 kN kapasiteli üniversal test cihazında (UTEST 7012) yürütülmüştür.



Şekil 2.5: Yapışma direnci numunesi (4 tabakalı TKK) (TS EN 314-1).

Deney sonucunda yapışma direnci aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır. Burada; τ: yapışma direnci (N/mm^2), F: kopma kuvveti (N), l: kesme yüzey uzunluğu (mm), b: kesme yüzey genişliğini (mm) ifade etmektedir.

$$\tau\ (N/mm^2) = \frac{F}{l \times b} \tag{25}$$

2.4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında, TM yoğunlaştırma işlemi uygulanmış Melez Kavak kaplamalar, 0,25, 0,50 ve 0,75 N/mm^2 pres basıncı altında, üre formaldehit ve polivinil asetat yapıştırıcıları kullanılarak yapıştırılmış ve kısmen düşük pres basıncı uygulamasının yapışma dayanımı üzerine etkisi belirlenmiştir.

2.4.1. Fiziksel Özellikler

Ağaç malzemelerin birçok özelliği doğrudan rutubet ve yoğunluktan etkilenmektedir. Bu yüzden tüm üretim ve test aşamaları öncesinde bu ölçümler yapılmıştır. Yoğunlaştırma öncesi, yoğunlaştırma işleminin hemen sonrasında ve yoğunlaştırma sonrası hava kurusu rutubette yapılan ölçümler sonucu elde edilen rutubet miktarı ve yoğunluğu Tablo 2.3'te verilmiştir.

I-214 klonu Melez Kavak kaplamaların yoğunlaştırma işlemi öncesi %13,71-14,68 düzeyindeki hava kurusu denge rutubeti, yoğunlaştırma işlemi sonrasında %1,80-4,51 seviyesine düşmüştür. TM yoğunlaştırma işleminin sonrasında değişmez ağırlığa gelene kadar 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında iklimlendirilen kaplamaların denge rutubeti ise

ancak %8,74-9,83 seviyelerine ulaşabilmiştir. Bu durum ağaç malzemenin histerez özelliği ile açıklanabilir (Bozkurt ve Göker, 1996).

Tablo 2.3: I-214 klonu Melez Kavak kaplamaların yoğunlaştırma öncesi ve sonrası rutubet miktarı ve yoğunluğu.

Sıkıştırma Oranı (%)	Yoğunlaştırma Öncesi Kaplama (Hava Kurusu)			Yoğunlaştırılmış Kaplamalar (Presten Hemen Sonra)		Yoğunlaştırılmış Kaplama (Hava Kurusu)	
	Kalınlık (mm)	Rutubet (%)	Yoğunluk (g/cm^3)	Rutubet (%)	Yoğunluk (g/cm^3)	Rutubet (%)	Yoğunluk (g/cm^3)
Kontrol	2,13	14,25	0,35	-	-	-	-
50	3,01	14,17	0,37	4,51	0,56	9,83	0,52
75	3,56	14,68	0,37	1,80	0,63	8,74	0,57
100	4,08	13,71	0,35	3,35	0,62	9,40	0,56

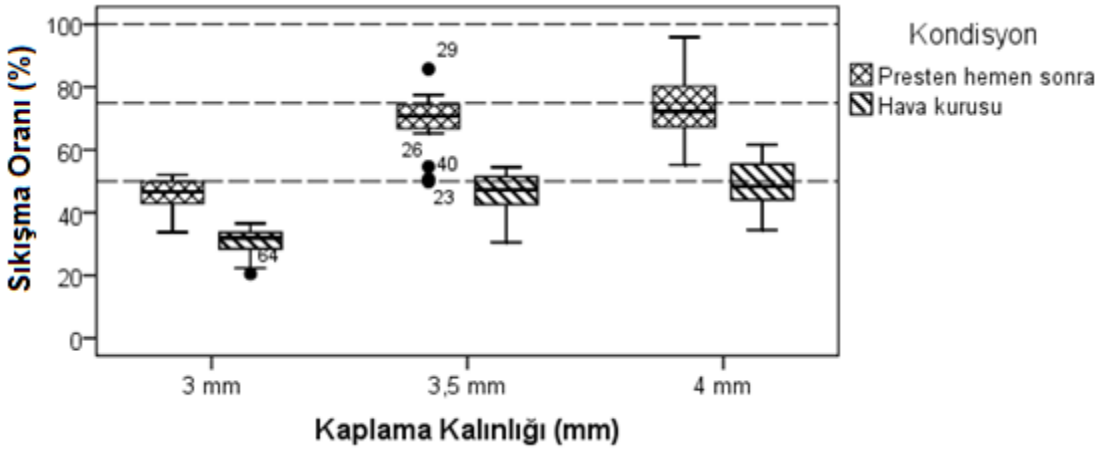
Uygulanan TM yoğunlaştırma işlemi, kaplamaların yoğunluklarında önemli düzeyde artışa neden olmuştur. 3, 3,5 ve 4 mm kalınlıklarındaki kaplamaların 0,35-0,37 g/cm^3 olan yoğunlukları, TM yoğunlaştırma işleminin hemen ardından yapılan ölçümlerde sırasıyla 0,56, 0,63 ve 0,62 g/cm^3'e çıkmıştır. Ardından, 20 ºC ve %65 bağıl nemde şartlandırılan kaplamaların yoğunlukları sırasıyla 0,52, 0,57 ve 0,56 g/cm^3'e düşmüştür. Sıkıştırma esnasında oluşan iç gerilmelerin serbest kalması sonucu malzemenin ilk boyutlarına dönme eğiliminden yani geri esnemeden (spring back) kaynaklanan bu durum, TM yoğunlaştırma işleminde oluşan en önemli problemlerden biridir (Skyba, 2008; Bekhta vd., 2018). Soğutmalı hidrolik preste uygulanan TM yoğunlaştırma işlemi sonucunda kaplamaların sıkışma (Şekil 2.6) ve geri esneme oranları Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: I-214 klonu Melez Kavak kaplamaların yoğunlaştırmanın hemen sonrasında ve hava kurusu haldeki sıkışma, anlık geri esneme ve geri esneme oranları.

Kaplama Kalınlığı* (mm)	Presten Hemen Sonra		Hava Kurusu	
	Sıkışma Oranı (%)	Anlık Geri Esneme (%)	Sıkışma Oranı (%)	Geri Esneme (%)
2 (Kontrol)	-	-	-	-
3 (%50)	46,00	3,11	30,73	15,16
3,5 (%75)	69,08	5,39	46,21	21,83
4 (%100)	74,31	17,32	49,22	36,84

* Parantez içinde sıkıştırma oranı belirtilmektedir.

3 ve 3,5 mm kalınlığındaki kaplamalarda pres açıldığında yapılan ölçümlerde, sırasıyla %46 ve %69 oranlarında sıkışmıştır. Anlık geri esneme ise sırasıyla %3,11 ve %5,39'luk oranlarla kabul edilebilir sınırlarda gerçekleşmiştir. 4 mm kalınlığındaki kaplamalarda ise %17,32'lik oldukça yüksek anlık geri esneme oranıyla %74,31 oranında sıkışma elde edilebilmiştir. Ancak, 20 ºC ve %65 bağıl nemde şartlandırılan 3, 3,5 ve 4 mm kalınlığındaki yoğunlaştırılmış kaplamaların geri esneme oranları sırasıyla %15,16, %21,83 ve %36,84'e yükselmiştir. Hava kurusu rutubetteki kaplamaların son sıkışma oranları da sırasıyla %30,73, %46,21 ve %49,22 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2.6: I-214 klonu melez kavak kaplamaların presten hemen sonra ve hava kurusu sıkışma oranlarını karşılaştırması.

Sonuç olarak uygulanan TM yoğunlaştırma işlemi sonucunda I-214 klonu kaplamaların yoğunluklarında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış, yani sıkışma gözlemlenmiştir. Ancak, yoğunlaştırma işleminin ardından iklimlendirilen kaplamalarda önemli düzeyde geri esneme, buna bağlı olarak da hedeflenen sıkıştırma oranlarında sapma gözlemlenmiştir. Bu sapma sıkıştırma miktarının artması ile paralel olarak artış göstermiştir. Ábrahám vd. (2010) yaptıkları çalışmada benzer şekilde, TM yöntemle yoğunlaştırılan Kavak odununda sıkıştırma oranının artmasıyla geri esnemenin arttığını belirtmiştir.

2.4.2. Yapışma Dayanımı

Farklı oranlarda yoğunlaştırılan kaplamalardan üre formaldehit (ÜF) ve polivinil asetat (PVAc) yapıştırıcıları kullanılarak, farklı pres basınçları altında üretilen numunelerin yapışma dayanımı sonuçları Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı.

Yapıştırıcı	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Basıncı					
		0,25 N/mm^2		0,50 N/mm^2		0,75 N/mm^2	
		Yapışma Dayanımı (N/mm^2)					
		$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
ÜF	Kontrol	2,19	0,714	2,83	0,609	3,52	0,605
	50	4,74	0,630	4,99	0,570	4,89	0,682
	75	5,18	1,713	*	*	8,07	1,098
	100	4,48	0,981	4,06	0,929	4,56	0,612
PVAc	Kontrol	2,30	0,829	3,88	0,728	4,26	0,908
	50	4,27	0,454	*	*	5,60	0,715
	75	4,64	1,026	7,00	0,891	5,64	0,803
	100	5,18	0,862	5,49	0,573	5,01	0,545

$\bar{x}$. Yapışma dayanımı aritmetik ortalaması, S: Standart sapma
*:Deney numuneleri hazırlanırken meydana gelen bir kaza sonucu yapışma dayanımları belirlenememiştir

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonuçlarına göre sıkıştırma oranı ve pres basıncının yapışma dayanımı üzerinde anlamlı etkileri olduğu, yapıştırıcı türünün ise anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (Tablo 2.6). Sıkıştırma oranının % 46,5 gibi yüksek bir oranla yapışma dayanımı üzerine en etkili faktör olduğu görülmüştür. Anlamlı farkın gözlendiği faktörler için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) testi uygulanmıştır.

Tablo 2.6: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Yapıştırıcı Türü	1	3,78	3,556	0,061	0,6
Sıkıştırma oranı	3	277,21	86,871	0,000	46,5
Pres Basıncı	2	56,81	26,705	0,000	9,5
Hata	233	263,80			44,3
Toplam	254	595,52			100,0

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, $p \leq 0,05$, KT = 0,557

Sıkıştırma oranı için uygulanan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 2.7'de verilmiştir. En yüksek yapışma dayanımı %75 oranında sıkıştırılan kaplamalarda elde edilirken, bunu

%50 ve %100 oranında sıkıştırılan numuneler takip etmiştir. Farklı oranlarda sıkıştırılan kaplamaların tümünün yapışma dayanımları, yoğunlaştırılmayan kontrol numunelerine kıyasla istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek bulunmuştur.

Tablo 2.7: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için grupları arası farkın önem kontrolü (Duncan).

Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**			**Pres Basıncı (N/mm^2)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**		**1**	**2**	**3**
75	6,12			0,75	5,18		
50		4,87		0,50		4,71	
100		4,81		0,25			4,20
Kontrol			3,21				

x̄: Yapışma dayanımı aritmetik ortalaması, $p \leq 0,05$

Bekhta vd. (2018) yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuştur. Ön presleme (yoğunlaştırma) işlemine tabi tutulan kaplamalardan üretilen kontrplak levhaların makaslama dayanımlarında anlamlı artış olduğunu belirtmişlerdir. Bu artış, ön presleme işlemi sonucu kaplamanın yüzey pürüzlülüğündeki ve soyma işlemi esnasında kaplama yüzeyinde oluşan dalgalanmaların azalmasına bağlanabilir (Bekhta ve Marutzky, 2007; Bekhta vd., 2012, 2018).

TKK üretiminde uygulanan pres basıncı için çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 2.7'de verilmiştir. En yüksek yapışma dayanımı 0,75 N/mm^2 pres basıncı uygulamasında elde edilmiştir. En düşük yapışma dayanımı ise 0,25 N/mm^2 pres basıncı uygulamasında elde edilmiştir. Pres basıncındaki düşüş, yapışma dayanımı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı azalmaya neden olmaktadır.

Kurt (2010) yaptığı çalışmada, I-214 klonu Melez Kavak kaplamalardan melamin üre formaldehit yapıştırıcısı kullanarak, 110 ºC'de ve 1,2 N/mm^2 pres basıncı altında ürettiği TKK'lerin yapışma dayanımını 4 N/mm^2 olarak bulmuştur. Kurt vd. (2012) yaptıkları diğer bir çalışmada fenol formaldehit yapıştırıcısı kullanarak 140 ºC'de ve 1,2 N/mm^2 pres basıncı altında ürettiği I-214 Melez Kavağı TKK'lerin yapışma dayanımlarını 4,53 N/mm^2 olarak belirlemiştir. Bu sonuçlarla karşılaştırıldığında, I-214 klonu Melez Kavak kaplamalardan düşük pres basınçlarında üretilen TKK'lerin yapışma dayanımları, yoğunlaştırılmamış kaplamalar kullanıldığında oldukça düşükken, TM yoğunlaştırılmış

kaplamalar kullanıldığında kıyaslanabilir düzeyde olduğu görülmektedir. Yani, uygulanan TM yoğunlaştırma işleminin, düşük pres basıncı uygulanarak üretilen TKK'de yapışma dayanımı üzerine olumlu etkisinin olduğu söylenebilir.

2.4.3. Yapışma Dayanımı (Taguchi Yöntemi)

Bu aşamada, önceki bölümde klasik DT yöntemlerine göre tam faktöriyel olarak düzenlenen ve klasik istatistik yöntemlerle (çok faktörlü varyans analizi ve gruplar arası farkın önem kontrolü) analiz edilen çalışma, Taguchi yöntemi uygulanarak tekrar analiz edilmiş ve sonuçları kıyaslanmıştır. Ancak, faktör seviyelerindeki farklılıklardan ötürü uygulanan Taguchi analizinde numune grupları ortogonal dizinlere uyumsuzluk göstermektedir. Bu nedenle parametre tasarımında aşağıda belirtilen düzenlemeler yapılmıştır.

- *Sıkıştırma oranı*: Kontrol grubu (yoğunlaştırılmamış) numunelerden en düşük yapışma dayanımı elde edilmiş olması ve %100 oranında sıkıştırılan numunelerde çok yüksek oranda geri esneme olmasından ötürü deneme deseninden çıkartılmıştır.

- *Pres basıncı*: En düşük yapışma dayanımı 0,25 N/mm^2 pres basıncı uygulanan numunelerde elde edilmesinden dolayı deneme deseninden çıkartılmıştır.

Yapılan düzenlemelere göre belirlenen 3 faktörün (yapıştırıcı türü, sıkıştırma oranı ve pres basıncının) 2'şer seviyesi Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan yTKK üretimi için belirlenen parametreler ve seviyeleri.

Parametre	**Seviye**	
	1	**2**
Yapıştırıcı Türü	ÜF	PVAc
Sıkıştırma oranı (%)	50	75
Pres basıncı (N/mm^2)	0,50	0,75

Sonuç olarak 3 faktörün 2 seviyesi seklinde oluşturulan L4 ortogonal dizin ve yapışma dayanımı sonuçları Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9: Taguchi L4 ortogonal deney tasarımına göre yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı.

Deney Grubu	Yapıştırıcı türü	Sıkıştırma oranı (%)	Pres basıncı (N/mm^2)	Yapışma dayanımı (N/mm^2)	
				$\bar{x}$	S/G
1	ÜF	50	0,50	4,99	14,1762
2	ÜF	75	0,75	8,07	17,8874
3	PVAc	50	0,75	5,60	15,5180
4	PVAc	75	0,50	7,00	16,7150

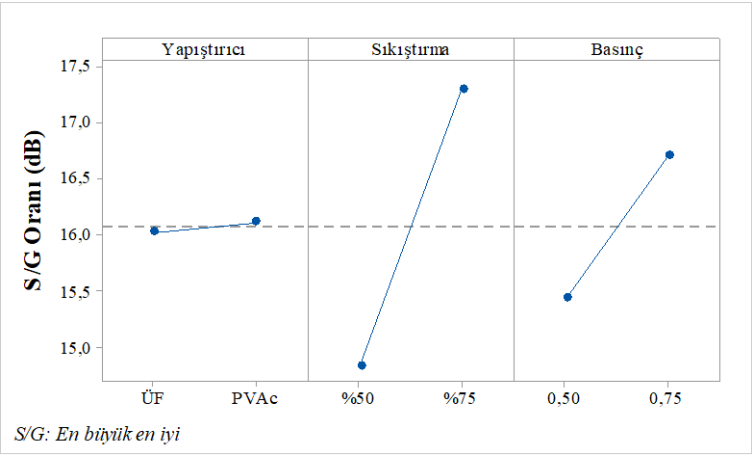
$\bar{x}$: aritmetik ortalama, S/G: sinyal gürültü oranı

Uygulanan Taguchi analizi sonucunda elde edilen sinyal gürültü oranı (S/G) yanıt tablosuna göre, yapışma dayanımı üzerine en etkili faktörler sırasıyla sıkıştırma oranı, pres basıncı ve yapıştırıcı türü olarak belirlenmiştir (Tablo 2.10).

Tablo 2.10: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı türü	Sıkıştırma oranı	Pres basıncı
1	16,03	14,85	15,45
2	16,12	17,3	16,7
Fark (max-min)	0,08	2,45	1,26
Sıralama	3	1	2

Yapışma dayanımı için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre yapıştırıcı türleri arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiş ancak sıkıştırma oranı olarak %75 ve pres basıncı olarak ise 0,75 N/mm^2'lik faktör seviyeleri en iyi sonuçları veren kombinasyon olmuştur.



Şekil 2.7: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 2.11), sıkıştırma oranının yapışma dayanımı üzerinde istatistiksel olarak önemli fark oluşturduğu görülmüştür. Faktör etki düzeylerine bakıldığında ise S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak, en yüksek etkiye sahip üretim faktörünün sıkıştırma oranı olduğu (%45), bunu sırasıyla yapıştırıcı türü ve pres basıncının takip ettiği görülmüştür.

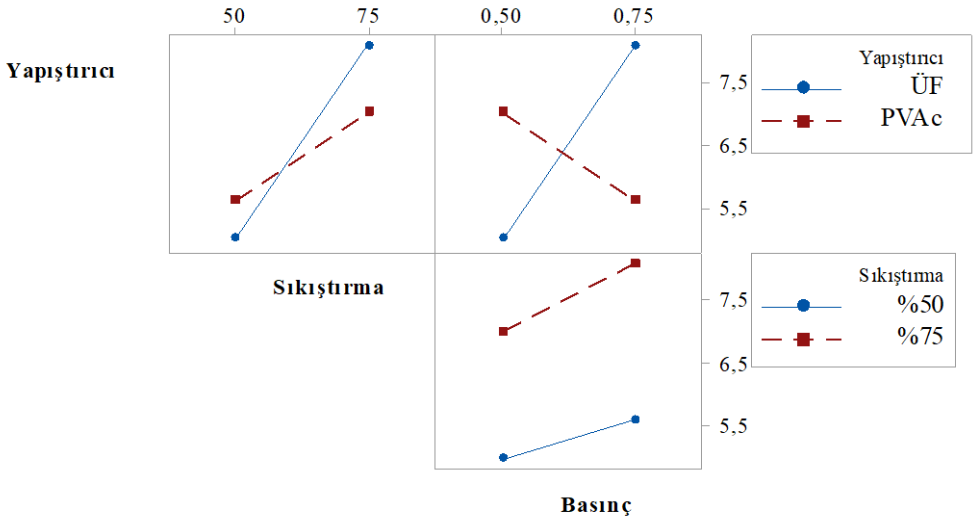
Tablo 2.11: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	**SD**	**KT (Tip 3)**	**KO**	**F-değeri**	**p-değeri**	**Etki Oranı (%)**
Düzeltilmiş Model	*3*	*60,527*	20,176	*17,672*	*0,000*	*45,3*
Yapıştırıcı Türü	1	5,355	5,355	4,690	0,034	4,0
Sıkıştırma Oranı	1	60,287	60,287	52,804	0,000	45,0
Pres Basıncı	1	0,012	0,012	0,010	0,919	0,0
Hata	64	73,068	1,142			54,7
Düzeltilmiş Toplam	*67*	*133,596*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, $p \leq 0,05$, KT = 0,453

İkili etkileşim grafiği incelendiğinde (Şekil 2.8) ise pres basıncı-sıkıştırma oranı arasında etkileşim gözlemlenmezken, yapıştırıcı türü-pres basıncı ile yapıştırıcı türü-sıkıştırma oranı arasında ise etkileşim belirlenmiştir. Yani ÜF yapıştırıcısı kullanılan numunelerde en iyi yapışma dayanımının 0,75 N/mm^2'lik pres basıncında ve %75 sıkıştırma oranında elde edilirken, PVAc yapıştırıcısıyla üretilenlerde ise 0,50 N/mm^2'lik pres basıncında ve %50 sıkıştırma oranında elde edileceği tespit edilmiştir.

Son olarak, Taguchi metodu ile belirlenen en ideal faktör seviyelerine göre yapışma dayanımı tahmin edilmiş (Eşitlik 4 ve 5) ve Tablo 2.12'deki veriler ile Eşitlik 7 kullanılarak güven aralığı olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre deneysel sonucun 8,07 ±1,34 N/mm^2 yani 6,73 ile 9,41 N/mm^2 aralığında yer alması gerekmektedir. Doğrulama deneyi için en ideal üretim koşulu olan PVAc yapıştırıcısı, %75 sıkıştırma oranı ve 0,75 N/mm^2 pres basıncına göre üretilen TKK'lerin yapışma dayanımı olan 7,43 N/mm^2, bu güven aralığı içinde yer almaktadır.



Şekil 2.8: Yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen yTKK'lerin yapışma dayanımı için ikili etkileşim grafiği.

2.5. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında öncelikle I-214 klonu Melez Kavak kaplamalar 170 ºC'de yaklaşık 2,1 N/mm^2 basınç altında 3 dakika preslenerek yoğunlaştırılmıştır. Bu kaplamalardan ÜF ve PVAc yapıştırıcıları ile kısmen düşük pres basıncı altında TKK levhalar üretilmiştir. Elde edilen yTKK'lerin yapışma dayanımları test edilerek, düşük pres basıncının ve kaplamalara uygulanan TM yoğunlaştırma işleminin levhaların yapışma dayanımı üzerine etkisi incelenmiştir.

Uygulanan TM yoğunlaştırma işlemi ile kaplamaların yoğunluklarında önemli düzeyde artışa sağlanmıştır. Ancak, pres açıldığı anda yani baskı kaldırıldığında TM yoğunlaştırma işlemi esnasında oluşan iç gerilmelerin serbest kalmasına bağlı olarak özellikle %100 oranında sıkıştırılması hedeflenen kaplamalarda, %17,32 gibi oldukça yüksek bir oranda anlık geri esneme gerçekleşmiştir. Ardından 20 ºC ve %65 bağıl nemde hava kurusu rutubete şartlandırılan %50, %75 ve %100 oranlarında sıkıştırılması hedeflenen kaplamalarda sırasıyla %15, %22 ve %37 oranlarında geri esneme gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak da sıkışma oranları sırasıyla %31, %46 ve %49 oranlarında kalmıştır. Yani hedeflenen oranlarda yoğunlaştırma gerçekleştirebilmek için kaplamaların belirlenen kalınlıktan daha fazla sıkıştırılması gerekmektedir. Bu sıkıştırma miktarı da istenen sıkıştırma oranına paralel olarak artış göstermektedir.

Yapılan istatistik analizler sonucunda, kaplamalara uygulanan yoğunlaştırma işleminin TKK'lerin yapışma dayanımı üzerine anlamlı bir artış sağladığı belirlenmiştir. Bu artış en fazla %75 oranında sıkıştırılan (hedeflenen) kaplamalarda gerçekleşmiştir.

TKK üretiminde uygulanan farklı pres basınçlarından 0,75 N/mm^2 pres basıncında en yüksek yapışma dayanımı elde edilirken pres basıncı düştükçe, yapışma dayanımında anlamlı bir düşüş gözlemlenmiştir.

Taguchi analizi sonucunda, tam faktöriyel denemelerde elde edildiği gibi yapışma dayanımı üzerine en etkili faktör sıkıştırma oranı olarak bulunmuştur. En yüksek yapışma dayanımını veren kombinasyon %75 sıkıştırma oranı ve 0,75 N/mm^2 pres basıncında elde edileceği belirlenmiştir. Kullanılan faktörlerin ikili etkileşimlerine bakıldığında yapıştırıcı-pres basıncı arasında kuvvetli etkileşimin olduğu gözlemlenmiştir. Yani ÜF yapıştırıcısı için 0,75 N/mm^2 pres basıncı uygulandığında en yüksek yapışma dayanımı elde edilirken, PVAc yapıştırıcısı için 0,50 N/mm^2 pres basıncında en yüksek yapışma dayanımı elde edilmektedir. Tam faktöriyel deneme ile Taguchi yöntemi sonuçları kıyaslandığında, sonuçların birebir aynı olduğu gözlemlenmiştir. Yani Taguchi yönteminin TKK üretiminde en uygun parametre seviyelerinin belirlenmesinde maliyet ve zaman tassarrufu sağlayarak güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, kaplamaların önce yoğunlaştırılması, ardından yapıştırılması ile daha az yapıştırıcı ve düşük pres basıncı kullanarak TKK üretilmesi mümkün olsa da, pres basıncın vakum (membran) preslerde uygulanabilecek seviyelere doğru düşürülmesiyle yapışma dayanımında önemli düzeyde düşüş gözlemlenmektedir. Diğer yandan, yoğunlaştırılan kaplamaların eğilmede elastikiyet modülündeki artışa bağlı olarak bükmede yaşanabilecek güçlükler de dikkate alındığında vakum preste byTKK'nin üretilmesinin güç olduğu ve birleştirilmiş yöntemin denenmesine karar verilmiştir.

BÖLÜM 3

FARKLI ÜRETİM PARAMETRELERİNİN YOĞUNLAŞTIRILMIŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE'NİN (yTKK) MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Önceki bölümde uygulanan, önceden yoğunlaştırma işlemi uygulanmış kaplamalardan TKK üretilmesine örnek olarak literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu uygulamada tüm kaplamalar eşit şartlarda yoğunlaştırıldığından, üretilen TKK katmanları eşit kalınlıkta olabilmektedir. Ancak, iki farklı pres işlemi hem zaman hem de maliyet dezavantajı oluşturmaktadır.

Diğer yandan hem TM yoğunlaştırma hem de TKK üretimi yüksek sıcaklık ve basınç altında uygulanan işlemlerdir. Çalışmanın bu aşamasında, bu benzerlikten yola çıkarak zaman ve maliyet avantajı sağlayabileceği düşüncesiyle, TM yoğunlaştırma ve TKK üretim süreçlerinin birleştirilerek yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (yTKK) üretilebilirliği incelenmiştir.

Çalışma kapsamında ilk olarak, yTKK için performans kriterleri ve bunları etkileyen üretim parametreleri belirlenmiştir. Ardından, performans kriteri olarak belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri en iyi yapan üretim parametre seviyeleri, Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, Taguchi yöntemiyle birlikte bir ÇKKV yöntemi olan gri ilişkisel analiz (GİA) uygulanarak, belirlenen bu özellikleri aynı anda eniyileyen (çoklu performans) üretim koşulları belirlenmiştir.

3.1. Materyal

Bu bölümde, yTKK üretiminde kullanılan malzemeler ile ilgili gerekli bilgiler özet halinde açıklanmıştır.

3.1.1. Ağaç Malzeme

Çalışmanın bu aşamasında, Samsun Kavağı olarak tescillenen I-77/51 klonu Amerikan kavağı (*Populus deltoides*) türü tercih edilmiştir. Tomruklar, Düzce'den yaklaşık 250 m rakımdan kesilen ağaçlardan TS 3273 (1983) standardına uygun olarak temin edilmiştir.

Samsun Kavağı, diğer kavak türlerine göre başta kuraklık olmak üzere olumsuz hava koşullarına karşı daha duyarlı olmasına rağmen I-214 klonu Melez Kavak'tan daha hızlı gelişim göstermektedir (Koçer vd., 2007). Düzgün gövde ve az budak oluşturan Samsun Kavağı özellikle Marmara ve Karadeniz bölgeleri gibi suyu bol ve ılıman iklime sahip bölgelerde hızlı gelişmesi nedeniyle sıklıkla yetiştirilmektedir (Birler, 2010).

3.1.2. Kaplamaların Hazırlanması

Samsun kavağı tomruklar kesimi yapıldıktan sonra soyma kaplama imalatı yapan bir işletmeye götürülmüş ve kesimden 2 gün sonra soyma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tomruklar yaş halde olduklarından ötürü tekrar buharlama işlemine tabi tutulmamıştır. Önceki bölümde kullanılan kaplama kalınlıkları (2, 3, 3,5 ve 4 mm), soyma işlemi esnasında oluşan güçlükler ve boyuna yönde oluşan yarılmalardan dolayı düşürülmüştür. Bundan dolayı, yTKK üretiminde kullanılmak üzere 1,8 mm, 2,1 mm ve 2,4 mm ile kontrol numuneleri için ise (yoğunlaştırılmayacak) 1,2 mm kaplamalar milsiz soyma makinesi aracılığıyla üretilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında da önceki bölümde olduğu gibi %50, %75 ve %100 oranlarında sıkışma hedeflenmiştir.

Yapılan ön çalışmalar sonucunda, yoğunlaştırma işlemi sonrası pres açıldığında önemli miktarda anlık geri esneme gözlemlenmiştir, yani sıkışma oranı istenilen seviyeden düşük gerçekleşmektedir. Bundan dolayı uygulamada hedeflenen sıkışma oranının tutturulabilmesi için sıkıştırma oranı bir miktar yüksek tutulmuştur (teorik sıkışma oranı) (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: yTKK üretiminde hedeflenen sıkışma oranına göre kullanılan kaplama kalınlıkları.

Kaplama kalınlığı (mm)	Katman Sayısı	Teorik TKK Taslak Kalınlığı (mm)	Hedeflenen TKK Kalınlığı (mm)	Teorik Sıkışma Oranı (%)	Hedeflenen Sıkışma Oranı (%)
1,2	9	10,8	10	8	0
1,8		16,2		62	50
2,1		18,9		89	75
2,4		21,6		116	100

Soyma işlemi ardından 230 cm boyunda ve 60 cm eninde soyma kaplamalar elde edilmiştir. Yüksek oranda rutubet ihtiva eden kaplamalar, soyma işleminin hemen ardından %8-12 rutubet oranına gelene kadar kurutulmuştur.

3.1.3. Yapıştırıcılar

TM yoğunlaştırma ve TKK üretim süreçlerinin birleştirilmesi nedeniyle kullanılan yapıştırıcıların yüksek sıcaklığa uygun olması gerektiğinden, sıcak preslemeye uygun olmayan PVAc yapıştırıcısı deneme dışına çıkarılmıştır. Bunun yerine çalışmanın bu kısmında, tabakalı malzeme üretiminde sıklıkla kullanılan ve sıcak preslemeye uygun üre formaldehit (ÜF) ve fenol formaldehit (FF) yapıştırıcıları kullanılmıştır. Polisan Kimya San. A.Ş.'den temin edilen sıvı haldeki ÜF (Poliüre 2265) ve FF (Polifen 47) yapıştırıcılarının bazı teknik özellikleri ve karışım reçeteleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: yTKK üretiminde kullanılan yapıştırıcıların teknik özellikleri ve karışım reçeteleri.

Özellikler	**Üre Formaldehit (Poliüre 2265)**	**Fenol Formaldehit (Polifen 47)**
Yoğunluk (g/cm^3)	1,275-1,285	1,2-1,215
Viskozite (mPa.s)	400-700	250-500
Katı madde miktarı (%)	64-66	46-48
pH	8-9	10,5-13
Karışım		
Sertleştirici*	%10 – NH_4Cl/Su çözeltisi (%10'luk)	-
Katkı Maddesi*	%20 - buğday unu	%2 buğday nişastası

* Katı madde ve karışım miktarları, yapıştırıcı ana maddesinin ağırlıkça %'si olarak verilmiştir.

3.2. Ön Denemeler

Bu bölümde, parametre tasarımı aşamasında üretilen yTKK'lerin performansı üzerine etkili olacak üretim faktörleri ve bunların seviyelerinin belirlenebilmesi amacıyla yürütülen ön denemeler açıklanmıştır.

3.2.1. yTKK Taslakları İçinde Sıcaklık Yayılımının Belirlenmesi

Hem TM yoğunlaştırma ve hem de TKK üretim proseslerinde kaplama taslaklarının istenilen sıcaklığa ulaşması için ısınma süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi taktirde daha yüksek sıcaklıktaki dış kısımlar yüksek oranda sıkışırken iç kısımlar daha düşük oranda yoğunlaşacaktır. Bu ön deneme ile kaplama katmanlarının hedeflenen sıcaklığa ulaşması için geçen sürenin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Denemede 170 ºC ve 190 ºC pres sıcaklıkları denenmiştir. 2,4 mm 9 kat kaplama (hava kurusu rutubette) yapıştırıcı kullanılmadan üst üste yerleştirilmiştir. Ölçümü yapılacak kaplama katmanının içine dijital termometrenin girebileceği bir kertik açılmış ve Şekil 3.1'de görüldüğü şekilde pres tablaları arasında sıkıştırılmıştır. Ardından da kaplamalardaki sıcaklık değişimi kaydedilmiştir.

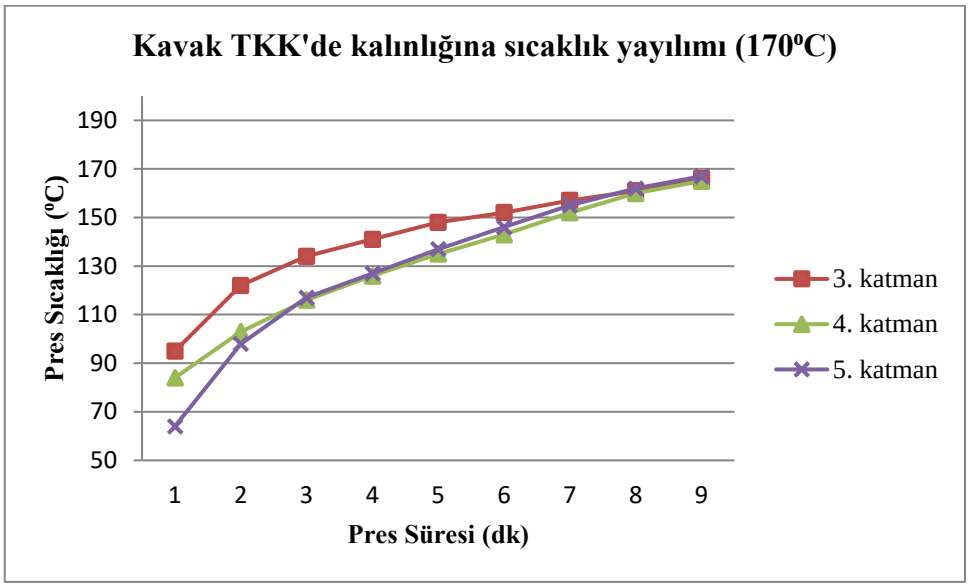
Şekil 3.1: Kaplama katmanlarının içinde sıcaklık yayılımının ölçümü.

Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler Şekil 3.2 ve 3.3'te verilen grafiklerde gösterilmektedir.

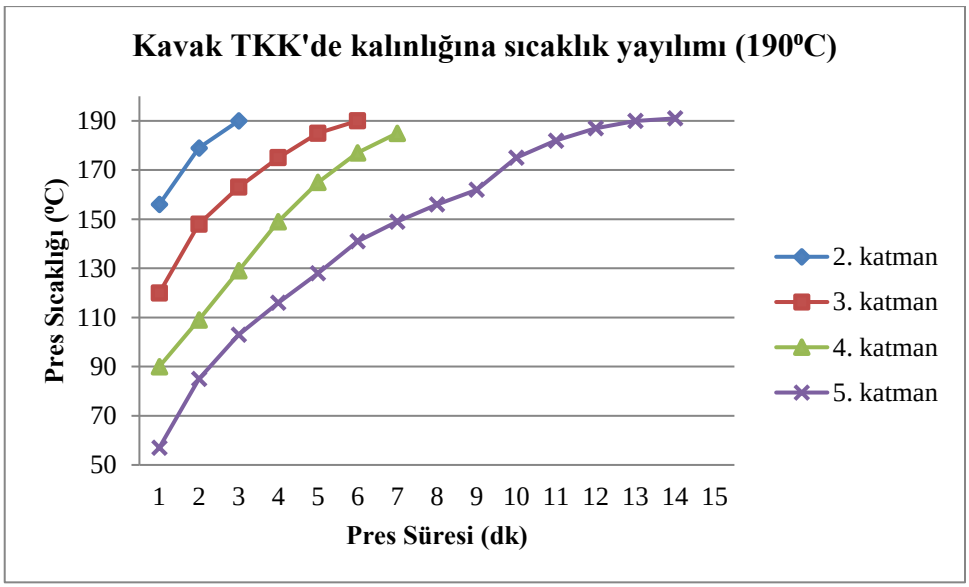
Sonuçlar incelendiğinde taslakların ortası olan 5. katmanda (pres tablası yüzeyine 10,6 mm mesafede) sıcaklığın pres sıcaklığına ulaşması 170 ºC'de yaklaşık 9 dk. 190 ºC'de ise

12 dk. sürmüştür. Literatürde ise mm başına 1 dakikalık ısınma süresinin uygun olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak yTKK üretim aşamasında kaplamaların istenilen sıcaklığa ulaşması için 10 dakikalık ısınma süresinin yeterli olacağı düşünülmüş ve tüm deneme grupları için standart olarak kullanılması kararlaştırılmıştır.



Şekil 3.2: 170ºC'de sıcaklığın kaplama taslaklarında yayılım hızı.



Şekil 3.3: 190ºC'de sıcaklığın kaplama taslaklarında yayılım hızı.

3.2.2. Yüksek Sıcaklık ve Pres Süresinin TKK'nin Yapıştırma Dayanımı Üzerine Etkisi

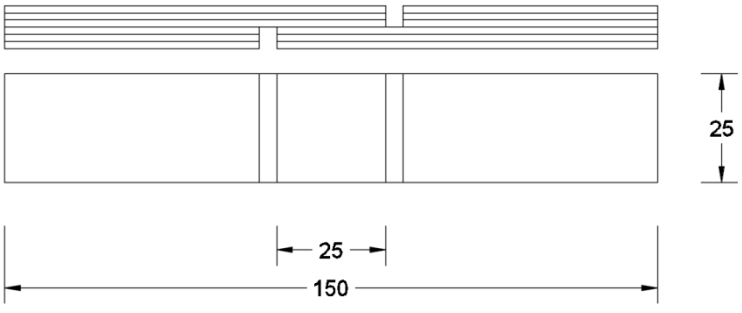
TM yoğunlaştırma prosesi yüksek sıcaklık altında gerçekleştiğinden, kullanılan yapıştırıcıların buna uygun olması gerekmektedir. Ayrıca, yoğunlaştırma için kullanılan pres sıcaklığı ve süresi yapıştırıcılar için tavsiye edilen seviyelerin üzerindedir. Bu noktadan yola çıkarak yürütülen bu ön çalışmada, yüksek sıcaklık ve pres süresinin TKK'nin yapıştırma dayanımı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada Bölüm 3.1.1, 3.1.2 ve 3.1.3'te açıklanan materyallerden sadece 1,8 mm kalınlığında Samsun Kavağı kaplamalar ile fenol formaldehit yapıştırıcısı Polifen 47 (Polisan/Kocaeli) kullanılmıştır. Kaplamaların tek yüzüne m^2'ye 180 g gelecek şekilde FF yapıştırıcısı, merdaneli tutkal sürme aleti ile uygulanmıştır. TKK taslakları 6 kaplama katmanından oluşacak şekilde hazırlanmış ve 180 ton baskı kapasiteli hidrolik preste (Cemil Usta SSP-180) 1 N/mm^2 basınç altında preslenmiştir. TKK'ler 2 farklı pres sıcaklığı (140 ºC ve 170 ºC) ve 3 farklı pres süresi (10, 15 ve 20 dk.) uygulanarak üretilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Ön Denemeler için TKK üretimi parametreleri.

TKK	Pres Sıcaklığı	Pres Süresi
A	140ºC	10 dk.
B	170ºC	10 dk.
C	170ºC	15 dk.
D	170ºC	20 dk.

Çekme makaslama direnci Bölüm 2.3.2.1'de açıklandığı şekliyle uygulanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Çekme makaslama direnci deney numunesi (ölçüler mm).

Farklı pres sıcaklığı ve süreleri uygulanarak üretilen TKK'lerin yapışma dirençleri tek yönlü varyans (ANOVA) analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma yöntemleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

3.2.2.1. Ön Deneme Bulguları ve Tartışma

Tablo 3.4'te, farklı pres sıcaklıklarında üretilen TKK'lerin yapışma dayanımı sonuçları gösterilmektedir. Sonuç olarak, pres sıcaklığının 140 ºC'den 170 ºC'ye çıkartılması ile yapışma direncinde 5,28 N/mm^2'den 7,21 N/mm^2'ye istatistiksel olarak ($p=0,05$) anlamlı bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum sıcaklık etkisi ile sertleşen fenol formaldehit yapıştırıcılarında, pres sıcaklığının arttırılması ile kürlenme oranının artmasına bağlanabilir (Dunky ve Niemz, 2002)

Tablo 3.4: Farklı pres sıcaklıklarında üretilen TKK'lerin yapışma direnç değerleri ve tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonucu.

TKK	Pres Sıcaklığı	Pres Süresi	Yapışma Direnci (N/mm^2)		Standart Hata	p değeri
			$\bar{x}$	S		
A	140ºC	10 dk.	5,28	0,180	0,322	0,000
B	170ºC	10 dk.	7,21	0,695		

$\bar{x}$: aritmetik ortalama, S: standart sapma

Pers süresinin yapışma dayanımı üzerine etkisini gösteren Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Tablo 3.5'te gösterilmektedir. Sonuç olarak 170 ºC'de 10 dakika preslenen TKK'de en yüksek yapışma direnci (7,21 N/mm^2) belirlenmiştir. Pres süresinin uzatılması yapışma dayanımında istatistiksel olarak ($p=0,05$) anlamlı bir düşüşe sebep olmaktadır. Diğer yandan, pres süresinin 15 dakikadan 20 dakikaya uzatılmasıyla yapışma direncinde düşüş gözlemlense de bu düşüş istatistiksel olarak ($p=0,05$) anlamlı değildir.

FF yapıştırıcısı kullanılarak uygulanan yapıştırma işleminde pres sıcaklığı kürlenmenin tamamlanması için mümkün mertebe yüksek tutulmalıdır. Ancak, yüksek pres sıcaklıklarında ağaç malzeme zarar görebilir (Gerhards, 1982; Dunky ve Niemz, 2002; Sinha vd., 2011b; Zhou vd., 2012). Ayrıca, kontrplak üzerine yapılan çalışmalarda, sıcaklığın ve uygulama süresinin arttırılmasıyla eğilme direncinin azaldığı raporlanmış (Sinha vd., 2011b; Zhou vd., 2012) ve sıcak pres süresinin 15 dakikanın üzerine çıkmaması gerektiği belirtilmiştir (Zhou vd., 2012). Çalışma sonucunda pres süresinin uzatılması

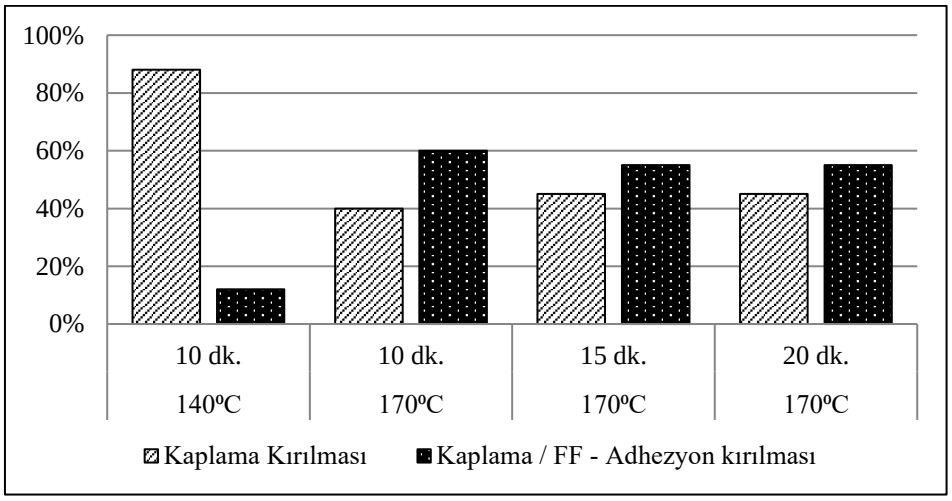
sonucu gözlemlenen yapışma direncindeki düşüş, sıcaklık etkisiyle ağaç malzemenin zarar görmesinden kaynaklanmış olabilir.

Tablo 3.5: 170ºC'de farklı sürelerde preslenen TKK'lerin yapışma dayanımı için Duncan ($p \leq 0,05$) çoklu karşılaştırma test sonuçları.

TKK	Pres Sıcaklığı	Pres Süresi	Yapışma Dayanımı (N/mm^2)		
			Homojenlik Grubu		S
			1	2	
B	170 ºC	10 dk.	7,21		0,695
C	170 ºC	15 dk.		5,75	1,183
D	170 ºC	20 dk.		5,39	0,423

S: Standart sapma

TKK'lerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde (Şekil 3.5), 140 ºC'de 10 dakika preslenen numunelerde %88 oranında kaplama kırılması ve %12 oranında kavak/FF ara kesitinde adezyon kırılması gözlemlenmiştir. 170 ºC'de preslenen TKK'lerde ise kaplama kırılması oranı (%40-45) anlamlı şekilde düşerken, adezyon kırılması oranı (%55-60) yükselmiştir. Sıcaklık artışı yapıştırıcıların viskozitesinde düşüşe ve odunda termal genleşmeye sebep olmaktadır. Bu da yapıştırıcının oduna penetrasyonunu dolayısıyla da odunun mekanik özelliklerini arttırabilmektedir (Kamke ve Lee, 2007). Makaslama direncindeki artışa rağmen kaplama kırılma oranındaki düşüş, yapıştırıcının oduna penetrasyonu, dolayısıyla da odunun mekanik özelliklerinin artmasından kaynaklanıyor olabilir.



Şekil 3.5: TKK yapışma yüzeyi kırılma oranları.

3.2.2.2. Ön Deneme Sonuçları

Bu çalışma kapsamında, pres sıcaklığı ve süresinin FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen kavak TKK'nin yapışma direnci üzerine etkisi incelenmiştir.

- Pres sıcaklığının fenol formaldehit yapıştırıcısı kullanılarak üretilen TKK'lerin yapışma direnci üzerine etkisi incelendiğinde 170 ºC'de preslenen TKK'lerde 140 ºC'de preslenenlere göre daha yüksek yapışma direnci elde edilmiştir.
- Yüksek sıcaklıkta (170 ºC) preslenen TKK'lerde pres süresinin yapışma direnci üzerine etkisi incelendiğinde ise en iyi sonuçlar pres süresi 10 dakika olduğunda elde edilmiştir. 170 ºC'de pres süresinin 15 dakikadan 20 dakikaya uzatılmasının yapışma direnci üzerine anlamlı bir etkisi gözlemlenmemiştir.

Sonuç olarak, 170 ºC üzerindeki pres sıcaklıklarında pres süresi uzamaya başladığında kaplamaların dayanımında düşüş gözlenebileceği kanaati oluşmuştur. Ayrıca, 190 ºC sıcaklıkta yapılan denemelerde kaplamaların renginde koyulaşma gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, yTTK üretiminde kullanılacak pres sıcaklığının üst sınırı 170 ºC olarak belirlenmiştir. Ancak, TM yoğunlaştırma sürecinde sıkışma nedeniyle yapışma dayanımını etkileyen farklı reaksiyonların oluşabileceği unutulmamalıdır.

3.3. Parametre Tasarımı

Taguchi yönteminin ilk aşaması parametre tasarımıdır. Bu aşamada, ürün/proses kalite özelliklerine etkisi olan üretim faktörleri ve bunların seviyeleri belirlenir. Bu amaçla, yTKK üretim faktörlerinden sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve uygulanan yapıştırıcı miktarı optimize edilmesi gereken parametreler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu parametrelerin her biri için 3'er seviye belirlenmesi kararlaştırılmıştır.

Kavak gibi düşük yoğunluklu ağaç türlerinden üretilen normal TKK'de uygulanan pres basıncı nedeniyle (0,8-1 N/mm^2) %10-20 oranlarında yoğunlaşma gerçekleşebilmektedir. Bir yoğunlaştırmadan bahsedebilmek için normal üretim esnasında gerçekleşen bu oranlardan daha yüksek değerler hedeflenmelidir. Yürütülen bu çalışmada, sıkıştırma oranı faktörü için %50, 75 ve 100 olmak üzere 3 seviye belirlenmiştir. Daha yoğun malzemelerin

mobilya endüstrisinden kullanımının uygun olmayacağından dolayı, sıkıştırma oranı üst sınırı %100 olarak belirlenmiştir.

Parametrelerden bir diğeri olan pres sıcaklığının seviyelerini belirlemek için literatür taraması (bkz. Bölüm 1.4.1) ve ön çalışmalar yürütülmüştür (bkz. Bölüm 3.2.1 ve 3.2.2). Bu ön çalışmaların sonucunda üç önemli sonuca ulaşılmıştır.

- Üretim esnasında pres sıcaklığının yTKK taslaklarının en iç noktasına ulaşması için yaklaşık 10 dk. süreye ihtiyaç duyulmaktadır.
- Pres sıcaklığının 140 ºC'den 170 ºC'ye yükseltildiğinde FF yapıştırıcısı kullanılan TKK'lerde yapışma dayanımında artış gözlemlenmiştir.
- Ancak, 170 ºC pres sıcaklığı uygulandığında pres süresinin uzamasıyla yapışma dayanımında düşüş gözlemlenmiştir.

TM yoğunlaştırma işleminde sıcaklık etkisiyle ağaç malzemenin yumuşaması hedeflenir. Literatür incelendiğinde kuru haldeki izole hemiselüloz ve ligninin 160-200 ºC arasında yumuşamaya başladığı, ancak rutubetin etkisiyle yumuşama sıcaklığının hemiselüloz için 54-56 ºC, lignin içinse 72-128 ºC seviyelerine düştüğü belirtilmektedir (Hillis ve Rozsa, 1978). Ayrıca, farklı sıcaklıklarda yapılan ön denemelerde pres sıcaklığı 190 ºC'ye çıkarıldığında kavak kaplamalarda renk değişimi gözlemlenmiştir. Yapılan ön çalışmalar ve literatür araştırması sonucunda pres sıcaklığı parametresi için 130, 150 ve 170 ºC olmak üzere 3 seviye belirlenmiştir.

Bir diğer üretim parametresi olan pres süresi için 3, 5 ve 7 dakika olmak üzere 3 seviye belirlenmiştir. Ön ısıtma için ihtiyaç duyulan süre de eklendiğinde yoğunlaştırma süresinin daha da uzatılması ekonomik olmayacağı düşünülmüştür. Ayrıca, yapılan ön denemelerde, belirlenen bu pres (yoğunlaştırma) süresinin, yTKK içinde oluşan buhar basıncının azaltılması için yeterli olduğu belirlenmiştir.

Yapıştırıcı miktarının seviyeleri belirlenirken üretici firmanın tavsiyeleri dikkate alınmıştır. Bu tavsiyeler doğrultusunda ÜF için 150 g/m^2, FF için ise 180 g/m^2 uygulama miktarı normal kabul edilmiş, bunların 30 g aşağısı ve yukarısı olacak şekilde 3 seviye belirlenmiştir.

Kullanılan iki yapıştırıcı türü için belirlenen üretim parametreleri ve seviyeler Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: yTKK üretimi için belirlenen parametreler ve seviyeleri.

Parametre	**Seviye**		
	1	**2**	**3**
Sıkıştırma oranı* (%)	50 (62)	75 (89)	100 (116)
Pres sıcaklığı (ºC)	130	150	170
Pres süresi** (dakika)	3	5	7
Yapıştırıcı miktarı*** (g/m^2)	120, 150	150, 180	180, 210

* : Hedeflenen sıkışma oranı olup parantez içinde teorik sıkıştırma oranı verilmektedir.
** : Sıkışmanın gerçekleştiği süre. Ön presleme, ısınma ve kürlenme için geçen 1+10 dk. bu süreye dahil değildir.
*** : Sırasıyla yTKK üretiminde kullanılan ÜF ve FF miktarı.

Taguchi metodunda, çok değişkenli çalışmaları kolaylaştırmak için ortogonal dizilerden yararlanılır. Böylece daha az deneme ile aynı sonuca ulaşılabilir. Yani zaman ve maliyet avantajları sağlar. 4 faktör ve 3'er seviye olarak tasarlanan bu çalışmada tam faktöriyel tasarım uygulansaydı, $3^4 = 81$ deneme grubu oluşturulması gerekirdi. Taguchi yönteminde ise aynı çalışma L9 ortogonal dizine göre toplam 9 deneme grubu ile yürütülebilmektedir.

Tablo 3.7: L9 ortogonal deneme desenine göre ÜF ve FF yapıştırıcıları kullanılarak üretilen yTKK ve TKK (kontrol) için pres koşulları.

Deney Grubu	**Sıkıştırma oranı* (%)**	**Pres sıcaklığı (ºC)**	**Pres süresi (dk.)**	**Yapıştırıcı miktarı*** (g/m^2)**
1	50 (62)	130	3**	120, 150
2	50 (62)	150	5**	180, 210
3	50 (62)	170	7**	150, 180
4	75 (89)	130	5**	150, 180
5	75 (89)	150	7**	120, 150
6	75 (89)	170	3**	180, 210
7	100 (116)	130	7**	180, 210
8	100 (116)	150	3**	150, 180
9	100 (116)	170	5**	120, 150
K	0 (8)	110, 140***	10	150, 180

* : Hedeflenen sıkışma oranı olup parantez içinde teorik sıkıştırma oranı verilmektedir.
** : Sıkışmanın gerçekleştiği süre. Ön presleme, ısınma ve kürlenme için geçen 1+10 dk. bu süreye dahil değildir.
*** : Sırasıyla yTKK üretiminde kullanılan ÜF ve FF miktarı.

Bu kapsamda, 4 parametre ve 3'er seviye olarak tasarlanan çalışmaya uygun olarak L9 dizini kullanılmış (Tablo 3.7) ve bu diziler ÜF ve FF yapıştırıcıları için ayrı ayrı

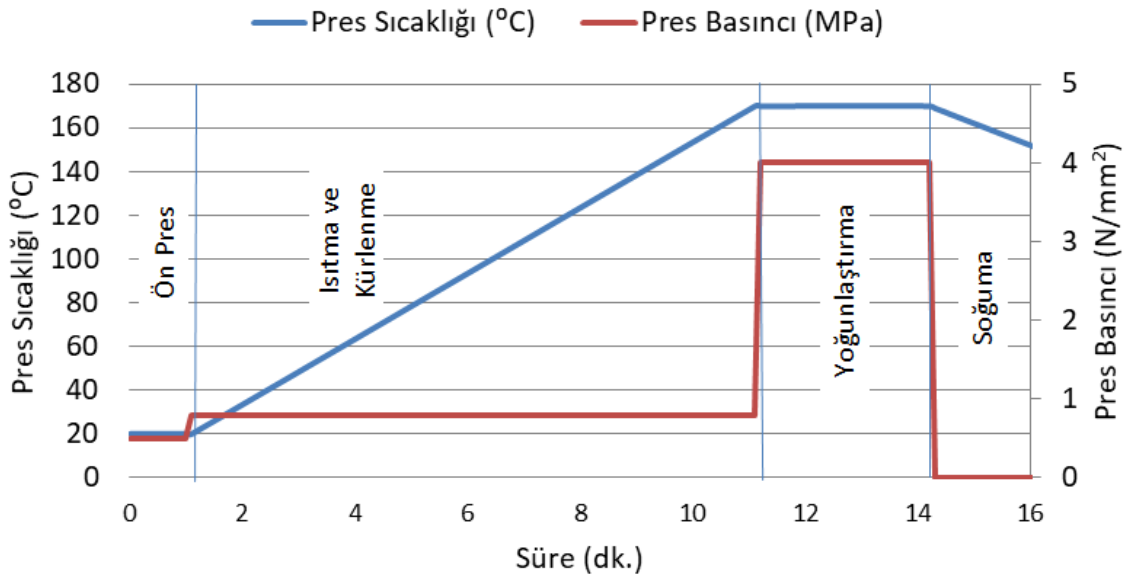
uygulanmıştır. Ayrıca, yTKK'leri kıyaslamak amacıyla yoğunlaştırma işlemi uygulanmamış kontrol plakaları Tablo 3.7'deki koşullarda üretilmiştir.

3.4. Yoğunlaştırılmış Tabakalı Kaplama Kereste Üretimi

Üretilen soyma kaplamalar 60 x 30 cm ebatlarında kesildikten sonra 20 ºC ve %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelene kadar şartlandırılmıştır (Şekil 3.6f). Hazırlanan yapıştırıcı karışımları (Şekil 3.6a) belirlenen gramaja uygun olarak merdaneli tutkal sürme aleti ile kaplamaların tek yüzlerine uygulanmıştır (Şekil 3.6b,c). Ardından, 9 kat kaplama lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde üst üste yerleştirilerek yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (yTKK) taslakları oluşturulmuştur. Öncelikle, hazırlanan taslaklar 0,5 N/mm^2 basınç altında 1 dk. sıkıştırılarak ön presleme (soğuk) işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.6d). Takiben, levhalar sıcak prese yerleştirilerek kaplamaların tamamının istenilen sıcaklığa ulaşabilmesi için 10 dk. 0,8 N/mm^2 basınç altında preslenmiştir. Bu süreç esnasında yapıştırıcının sertleşmesi de gerçekleşmekte yani TKK oluşmaktadır. Ardından ise basınç 4 N/mm^2'ye çıkarılarak TKK'lerin sıkışması sağlanmıştır. Bu esnada farklı kalınlıkta kaplamalardan üretilen yTKK'lerin son kalınlıklarının eşit olabilmesi için 1 cm kalınlığında mekanik stoplar kullanılmıştır (Şekil 3.6e). Son olarak pres açılarak üretilen yTKK'ler soğutulmuştur.

Şekil 3.6: yTKK plakaların üretim süreci.

Örnek bir süreç şeması Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Burada yoğunlaştırmanın uygulama süresi ve bu esnadaki pres sıcaklığı Taguchi metoduna göre belirlenen parametrelere seviyelerine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.7: yTKK üretiminde presleme (yoğunlaştırma) süreci.

3.5. Yöntem

Bu bölümde üretilen yTKK levhalardan kesilen numuneler ve deneysel çalışmaların uygulanışı açıklanmıştır.

3.5.1. Fiziksel Özellikler

Bu bölümde üretilen deneme levhaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan çalışmalar açıklanmıştır.

3.5.1.1. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi

Üretimde kullanılan kaplamaların ve yTKK'lerin denge rutubet miktarları TS EN 322 (1999) standardına uygun şekilde belirlenmiştir (bkz. Böl. 2.3.1.1).

3.5.1.2. Hava Kurusu Yoğunluğun Belirlenmesi

Deneme plakalarının yoğunlukları TS EN 323 (1999) standardında belirtildiği şekilde belirlenmiştir (bkz. Böl. 2.3.1.2).

3.5.1.3. Sıkıştırma Oranının Belirlenmesi

yTKK'lerin sıkışma oranları (*SO*) Bölüm 2.3.1.3'de anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır. Ancak, kaplamaların dalgalı yapısı ve aralarında boşluklar oluşması nedeniyle oluşturulan taslaklarının kalınlıklarının kumpas yardımıyla ölçülmesi mümkün olmamıştır (Şekil 3.8). Bu nedenle TKK taslaklarının ilk kalınlıkları, kaplama kalınlığı (t_k) ile katman sayısının (k) çarpılmasıyla elde edilmiştir. Bu durumda sıkıştırma oranının hesaplanmasında kullanılan eşitlik aşağıdaki şekle dönüşmüştür.

$$SO_{ilk}\ (\%) = \frac{(t_k \times k) - t_{ilk}}{t_{ilk}} \times 100 \quad (26)$$

$$SO_{hk}\ (\%) = \frac{(t_k \times k) - t_{hk}}{t_{ilk}} \times 100 \quad (27)$$

Şekil 3.8: Presleme öncesi yTKK taslağı.

3.5.1.4. Anlık Geri Esneme ve Geri Esneme Oranlarının Belirlenmesi

yTKK'lerin anlık geri esneme ve geri esneme oranları Bölüm 2.3.1.4'de anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır. Ancak, çalışmanın bu aşamasında 10 mm kalınlığında mekanik stoplar kullanılmıştır (t_{ms}=*10 mm*).

3.5.1.5. Kalınlığına Şişme Oranının Belirlenmesi

Odun higroskopik özelliğe sahip bir malzemedir, yani su ile temas ettiğinde veya bağıl nemdeki değişime bağlı olarak bünyesine su alır veya verir. Bundan dolayı boyutlarında, (özellikle radyal ve teğet yönlerde) değişimler gözlemlenir. Malzeme tercihinde istenmeyen bu duruma karşı yoğunlaştırılmış malzemeler daha hassastır. Bundan dolayı, üretilen malzemelerin rutubet değişimlerine karşı davranışı ayrıca önem taşımaktadır.

Üretilen yTKK'lerden TS EN 317 (1999)'a uygun şekilde kalınlığına şişme numuneleri hazırlanmış ve 20 ºC ve %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırılmış. Hava kurusu rutubetteki bu numunelerin ilk kalınlıkları (t_{hk}) ±0,01 mm hassasiyetteki dijital kumpasla ölçülmüştür. Ardından numuneler 2, 24, 72 ve 168 saat süreyle suda bekletildikten sonra (t_T) *(T: suda bekleme süresi*) tekrar kalınlıkları ölçülmüştür. Kalınlığına şişme oranı (*KŞO*) aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir:

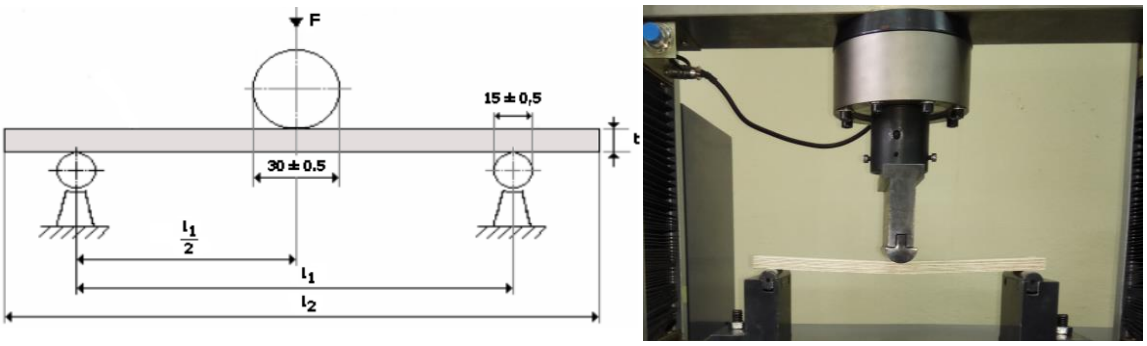
$$KŞO\ (\%) = \frac{t_T - t_{hk}}{t_{hk}} \times 100 \qquad (28)$$

3.5.2. Mekanik Özellikler

Bu bölümde üretilen yTKK levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan çalışmalar açıklanmıştır.

3.5.2.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Üretilen yTKK'lerin eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülü (EEM) testleri TS EN 310 (1999) standardına uygun şekilde yürütülmüştür. Şekil 3.9'da ED ve EEM test numunesi ve deney düzeneği gösterilmektedir.



F: Kuvvet (N), T: Numune kalınlığı (mm), l_1: Dayanaklar arası açıklık (20t±50 mm), l_2: Deney numunesinin uzunluğu (l_1+50 mm)

Şekil 3.9: Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü test düzeneği (TS EN 310).

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü aşağıda verilen eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$ED\ (N/mm^2) = \frac{3 \times F_{max} \times l_1}{2 \times b \times t^2} \quad (29)$$

$$EEM\ (N/mm^2) = \frac{(F_2 - F_1) \times l_1}{4 \times b \times t^3 \times (a_2 - a_1)} \quad (30)$$

Burada;

F_{max}: Kırılma kuvveti

F_2 ve F_1: Sırasıyla kırılma kuvvetinin yaklaşık olarak %40'ı ve %10'u

a_2 ve a_1: Yük sehim grafiğinde sırasıyla F_2 ve F_1'e karşılık gelen sehim miktarı.

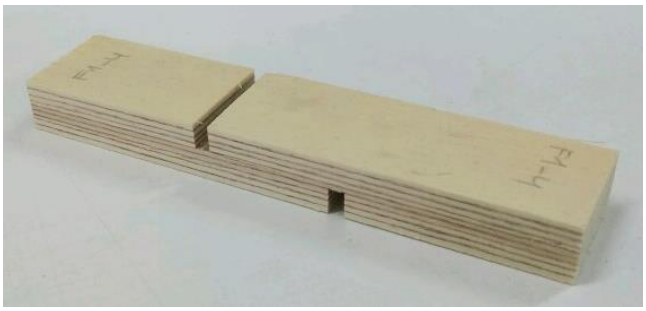
l_1: Dayanak noktaları arası mesafe

b: Deney parçasının genişliği

t: Deney parçasının kalınlığı

3.5.2.2. Çekme Makaslama Direncinin Belirlenmesi

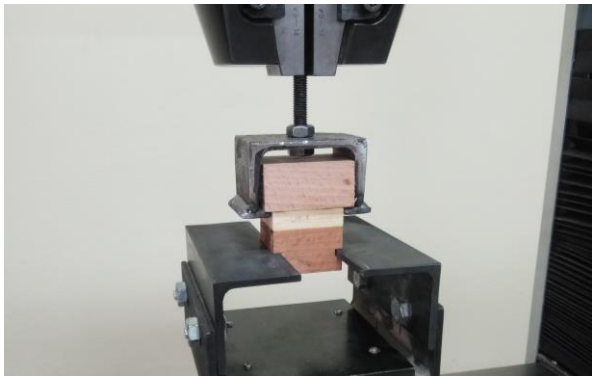
yTKK'lerin çekme makaslama direnci Bölüm 2.3.2.1'de açıklandığı şekilde çekme makaslama direnci (ÇMD) testi ile belirlenmiştir. 9 kat kaplamadan üretilen yTKK'lerin ÇMD test numunesi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10: yTKK çekme makaslama direnci test numunesi.

3.5.2.3. Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi

Yüzeye dik çekme direnci (YDÇD) deneyi TS EN 319 (1999) standardında belirtilen esaslara uygun olarak yürütülmüştür. İklimlendirme dolabında 20 ºC ve %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırılan numunelerin test makinesi çenelerine bağlanabilmesi için kayın ağacından takozlar yapıştırılmıştır. Bu takozlar deneme numunelerine çift komponentli epoksi yapıştırıcı ile (404 Plastik Çelik) yapıştırılmış ve sertleşmesi için 3 gün oda sıcaklığında preslenmiştir. Deneyler 50 kN kapasiteli üniversal test makinesinde (UTSET 7012) yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Yüzeye dik çekme direnci deney numunesi ve test düzeneği.

Test öncesinde numunelerin kırılma yüzey alanının (A) hesaplanabilmesi için ölçüleri ±0,01 mm duyarlılığında dijital kumpasla ölçülmüştür. Test sonucunda belirlenen kırılma kuvveti (F_{max}) yardımıyla yüzeye dik çekme direnci aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$YDÇD\ (N/mm^2) = \frac{F_{max}}{A} \tag{31}$$

3.6. Bulgular ve Tartışma

Bu bölüm, üretilen yTKK'lerin deneysel çalışma sonucunda elde edilen bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini içermektedir. Taguchi analizi için belirlenen üretim faktörleri, yapıştırıcı türüne göre farklı etkileşimler gösterebileceği düşünülerek, bulgular ÜF ve FF yapıştırıcıları için ayrı ayrı incelenecektir.

3.6.1. Fiziksel Özellikler

Bu bölümde üretilen yTKK'lerin denge rutubet miktarı, hava kurusu yoğunluk, anlık geri esneme, geri esneme, sıkışma oranı ve kalınlığına şişme özellikleri incelenecektir.

Samsun Kavağı tomruklardan üretilen soyma kaplamaların 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar iklimlendirilmesi sonrasında elde edilen hava kurusu rutubet miktarı ortalama %13, yoğunluğu ise 0,49 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Kaplamaların tam kuru yoğunluğu ise 0,44 g/cm^3'tür. Üretim esnasında uygulanan sıcaklık etkisiyle rutubet içeriği azalan yTKK'lerin, 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar iklimlendirilmesi sonrasında hava kurusu rutubet miktarı %12 olarak belirlenmiştir.

3.6.1.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Taguchi L9 ortogonal deneme desenine göre üretilen yTKK'lerin 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırıldıktan sonraki hava kurusu yoğunluk değerleri Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonuçlarına göre, yTKK levhaların hepsinin yoğunlukları, kontrol grubu levhalarınkine göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek çıkmıştır. Diğer yandan, kullanılan yapıştırıcı türü, uygulanan sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarının yoğunluk üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 3.8: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin hava kurusu yoğunlukları.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m²)	Hava Kurusu Yoğunluk (g/cm³)	
					ÜF	FF
1	50	130	3*	130, 150	0,68	0,64
2	50	150	5*	180, 210	0,68	0,69
3	50	170	7*	150, 180	0,70	0,71
4	75	130	5*	150, 180	0,69	0,72
5	75	150	7*	130, 150	0,69	0,74
6	75	170	3*	180, 210	0,67	0,67
7	100	130	7*	180, 210	0,67	0,67
8	100	150	3*	150, 180	0,68	0,72
9	100	170	5*	130, 150	0,64	0,65
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	0,55	0,55

* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
** : Sırasıyla ÜF ve FF kullanılan levhalardaki değerler

ÜF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Hava Kurusu Yoğunluğu

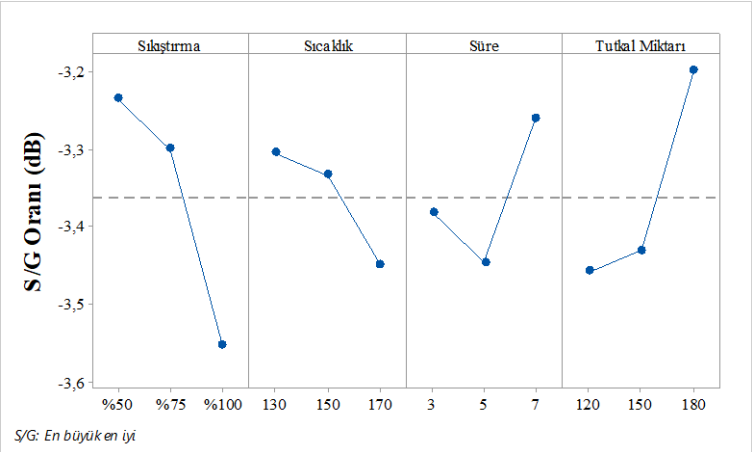
ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 3.9) incelendiğinde, yoğunluk üzerine en etkili üretim faktörünün beklenildiği üzere sıkıştırma oranı olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla yapıştırıcı miktarı, pres süresi ve pres sıcaklığı olarak takip etmektedir.

Tablo 3.9: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'ların yoğunlukları için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	-3,236	-3,306	-3,382	-3,458
2	-3,301	-3,334	-3,446	-3,431
3	-3,552	-3,449	-3,261	-3,2
Fark (max-min)	0,316	0,142	0,185	0,258
Sıralama	1	4	3	2

S/G: En büyük en iyi

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 3.12'de verilmiştir. Buna güre en yüksek yoğunluk değerini veren parametre kombinasyonu %50 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 7 dakikalık pres süresi ve 180 g/m²'lik yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.12: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için S/G oranı ana etki grafiği.

Sıkıştırma oranı verileri incelendiğinde, beklenenin tersine en yüksek yoğunluk değeri %50 oranında sıkıştırılan numunelerde elde edilmiş ve sıkıştırma oranı arttıkça yoğunluğun düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, uygulanan sıkıştırma oranı artışına paralel olarak artan GE oranından kaynaklanmaktadır (bkz. Bölüm 3.6.1.2).

Kullanılan yapıştırıcı hücre boşluğu ve hücre duvarına nüfuz ederek boşlukları doldurduğundan dolayı, miktarı arttıkça yoğunlukta beklendiği üzere artış gözlemlenmiştir.

FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Hava Kurusu Yoğunluğu

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 3.10) incelendiğinde, yoğunluk üzerine en etkili üretim faktörünün pres sıcaklığı olduğu ve bunu sırasıyla yapıştırıcı miktarı, sıkıştırma oranı ve pres süresinin takip ettiği belirlenmiştir. Bu durum, FF yapıştırıcısının sıcaklığa karşı daha hassa olduğu ve uygulamada bu parametrenin daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

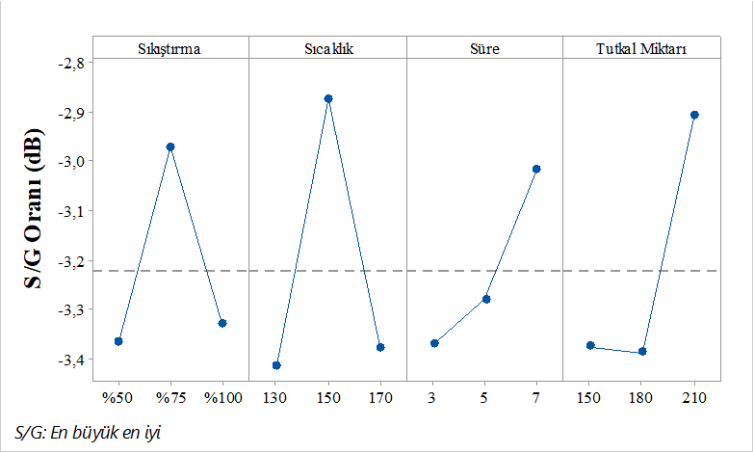
FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 3.13'te verilmiştir. Buna güre en yüksek yoğunluk değerini veren parametre kombinasyonu %75 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakikalık pres süresi ve 180 g/m^2'lik yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.10: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'ların sıkıştırma oranı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	-3,367	-3,414	-3,371	-3,375
2	-2,971	-2,873	-3,278	-3,386
3	-3,329	-3,379	-3,018	-2,906
Fark (max-min)	0,396	0,541	0,353	0,48
Sıralama	3	1	4	2

S/G: En büyük en iyi

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerde en yüksek yoğunluk değeri 150 ºC pres sıcaklığında elde edilirken, sıcaklığın düşmesi veya artması yoğunluğun düşmesine neden olmuştur. Diğer yandan, beklenildiği üzere sıkıştırma oranı %50'den %75'e çıkarıldığında yoğunluk değerleri artarken, %100 olduğunda düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 3.13: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların yoğunlukları için S/G oranı ana etki grafiği.

3.6.1.2. Geri Esneme Oranı

Taguchi L9 ortogonal deneme desenine göre üretilen yTKK'lerin anlık geri esneme (AGE) yani pres açıldıktan hemen sonraki ilk boyutuna dönme eğilimi ile 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırıldıktan sonraki geri esneme (GE) oranları Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin anlık geri esneme ve geri esneme oranları.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m²)	Anlık Geri Esneme Oranı (%)		Geri Esneme Oranı (%)	
					ÜF	FF	ÜF	FF
1	50	130	3*	130, 150	6	19	09	22
2	50	150	5*	180, 210	11	10	14	13
3	50	170	7*	150, 180	04	6	9	11
4	75	130	5*	150, 180	37	42	43	48
5	75	150	7*	130, 150	32	22	38	28
6	75	170	3*	180, 210	30	32	37	40
7	100	130	7*	180, 210	35	34	45	43
8	100	150	3*	150, 180	46	33	53	39
9	100	170	5*	130, 150	30	33	43	43
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	-	-	1	1

* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
** : Sırasıyla ÜF ve FF kullanılan levhalardaki değerler

Uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, yTKK'lerin, kontrol numunelerine kıyasla AGE ve GE oranlarında istatistiktiksel olarak önemli miktarda artış olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan, kullanılan yapıştırıcı türünün yTKK'lerin AGE ve GE oranları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi ile üretim parametrelerinin AGE ve GE üzerine etkisi irdelenmiş ve sonuç olarak pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarının, AGE ve GE üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının ise AGE ve GE oranları üzerine anlamlı etkisinin ($p \leq 0,05$) olduğu gözlemlenmiş ve gruplar arası farkın önem kontrolü (Post-Hoc) testi uygulanmıştır (Tablo 3.12).

Tablo 3.12: yTKK'lerin anlık geri esneme ve geri esneme oranları için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Sıkıştırma Oranı (%)	Anlık Geri Esneme Oranı (%)			Geri Esneme Oranı (%)		
	Homojenlik Grupları			Homojenlik Grupları		
	1	2	3	1	2	3
Kontrol	0			1		
%50		9			13	
%75			33			39
%100			35			44
Sig.	1,00	1,00	0,52	1,00	1,00	0,17

Duncan, $p \leq 0,05$

Sonuç olarak kontrol gruplarından sonra en düşük anlık geri esneme ve geri esneme %50 oranında sıkıştırılan levhalarda, sırasıyla %9 ve %13 gibi makul düzeyde elde edilmiştir. %75 ve %100 oranında sıkıştırılan levhalarda ise %39-44 arasında değişen, oldukça yüksek oranlarda geri esneme gözlemlenmiştir.

ÜF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Geri Esneme Oranları

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların geri esneme oranı için S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 3.13) incelendiğinde, geri esneme oranı üzerine en etkili üretim faktörünün sıkıştırma oranı olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı takip etmiştir.

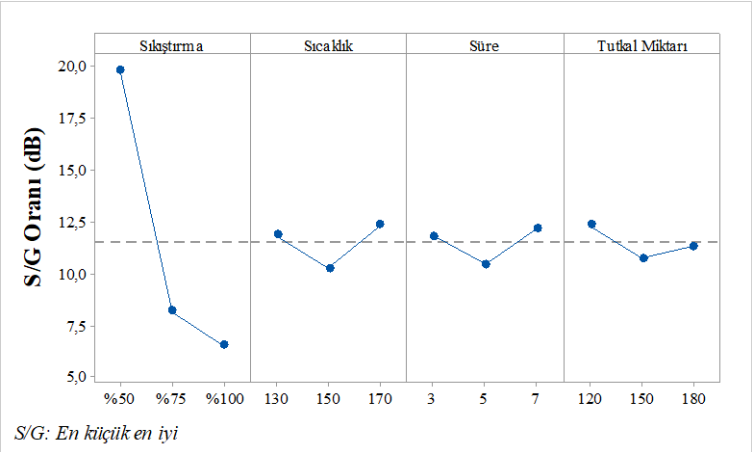
Tablo 3.13: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	19,785	11,865	11,816	12,362
2	8,171	10,256	10,474	10,774
3	6,529	12,364	12,196	11,35
Fark (max-min)	13,256	2,108	1,722	1,589
Sıralama	1	2	3	4

S/G: En küçük en iyi

Geri esneme oranını en küçük yapan kombinasyon, S/G oranı ana etki grafiğinde gösterilmektedir (Şekil 3.14). Bu sonuçlara göre ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhalarda en düşük geri esneme oranı 120 g/m^2 yapıştırıcı uygulanan ve 170 ºC'de 7 dakika preslenerek %50 oranında sıkıştırılan numunelerde gözlemlenmiştir.

Şekil 3.14 incelendiğinde uygulanan sıkıştırma oranının arttıkça S/G oranının azaldığı, yani geri esneme oranının arttığı net bir şekilde görülmektedir. Aynı durum pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı için söylemek mümkün değildir.



Şekil 3.14: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı ana etki grafiği.

FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Geri Esneme Oranı

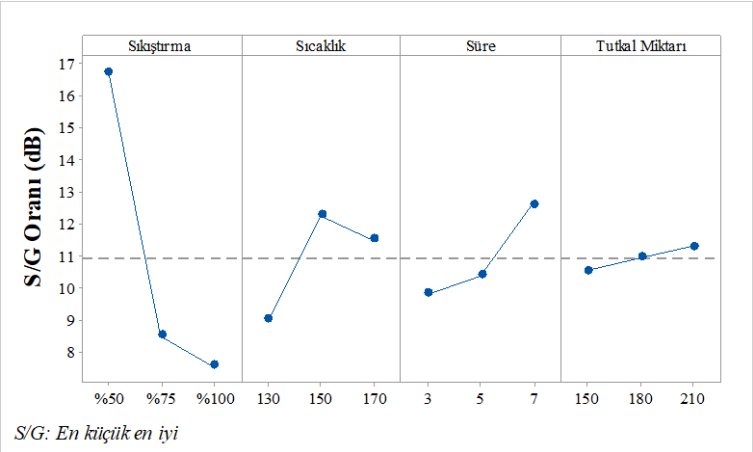
FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların geri esneme oranı için S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 3.14) incelendiğinde ise, ÜF yapıştırıcısı kullanılanlarla benzer şekilde GE üzerine en etkili üretim faktörleri sırasıyla sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı olarak görülmektedir.

Tablo 3.14: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	16,722	9,037	9,821	10,557
2	8,513	12,269	10,405	10,953
3	7,591	11,52	12,6	11,316
Fark (max-min)	9,131	3,233	2,779	0,759
Sıralama	1	2	3	4

S/G: En küçük en iyi

FF kullanılan yTKK'ler için geri esneme oranını en iyileyen yani en küçük yapan parametre kombinasyonu %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı miktarı olarak belirlenmiştir (Şekil 3.15). FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde de ÜF kullanılanlardaki gibi sıkıştırma oranı arttıkça geri esneme oranının arttığı net bir şekilde gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.15: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin geri esneme oranı için S/G oranı ana etki grafiği.

3.6.1.3. Sıkışma Oranı

Taguchi L9 ortogonal deneme desenine göre üretilen yTKK'lerin 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırıldıktan sonraki sıkışma oranı (SO) verileri Tablo 3.15'te gösterilmiştir.

Tablo 3.15: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin sıkışma oranları.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m^2)	Sıkışma Oranı (%)	
					ÜF	FF
1	50	130	3*	130, 150	49	33
2	50	150	5*	180, 210	42	43
3	50	170	7*	150, 180	49	46
4	75	130	5*	150, 180	32	28
5	75	150	7*	130, 150	37	48
6	75	170	3*	180, 210	38	35
7	100	130	7*	180, 210	49	51
8	100	150	3*	150, 180	41	55
9	100	170	5*	130, 150	51	51
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	11	11

* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
** : Sırasıyla ÜF ve FF kullanılan levhalardaki değerler

Uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, yTKK'lerin, kontrol numunelerine kıyasla sıkışma oranlarında istatistiktiksel olarak önemli miktarda artış olduğu

gözlemlenmiştir. Diğer yandan, kullanılan yapıştırıcı türünün yTKK'lerin sıkışma oranları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

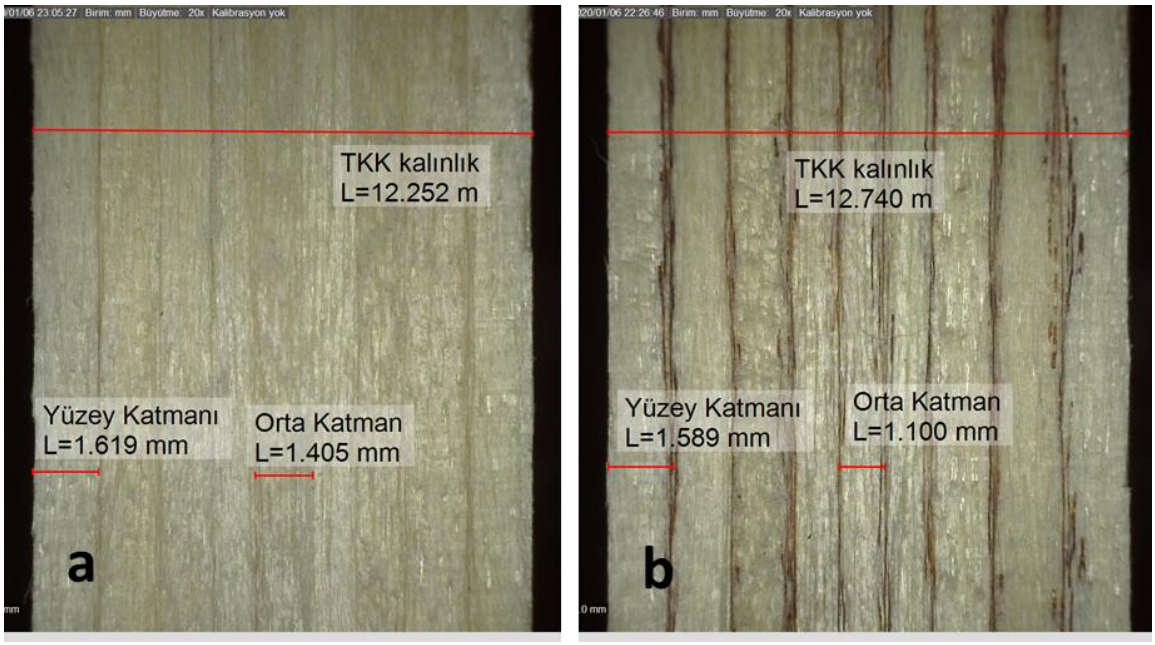
Uygulanan çok faktörlü varyans analizi ile üretim parametrelerinin SO üzerine etkisinin anlamlılığı ($p \leq 0,05$) incelenmiştir. Sonuç olarak, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarının, SO üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı, sıkıştırma oranının (hedeflenen) ise anlamlı etkisinin ($p \leq 0,05$) olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3.16). Sonuçlar incelendiğinde en yüksek sıkışma oranı, %100 ve %50 oranında sıkıştırılan numunelerde gerçekleşmiştir. Bunu %75 oranında sıkıştırılan yTKK'ler takip etmiştir.

Tablo 3.16: yTKK'lerin sıkışma oranı için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Seviye	**Sıkışma Oranı (%)**		
	Homojenlik Grupları		
	1	**2**	**3**
100	50		
50	44	44	
75		37	
K			11
Sig.	0,16	0,09	1,00

Duncan, $p \leq 0,05$

yTKK levhaların katman yapıları incelendiğinde iç katmanların yüzeye göre bir miktar daha fazla yoğunlaştığı yani sıkıştığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.16). Bu durum, ön ısıtma ile homojen bir sıcaklık dağılımının elde edildiği kaplama taslaklarının, orta kısımlarındaki rutubet muhtevasının yüksek olmasına (Kollmann vd., 1975) bağlı olarak daha fazla yumuşamış olmasına atfedilebilir. Kontrol grubu Kavak TKK'lerde ise bu durum söz konusu değildir.



Şekil 3.16: a) ÜF ve b) FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen %50 oranında sıkıştırılmış yTKK levhaların katman yapısı (x20).

ÜF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Sıkışma Oranı

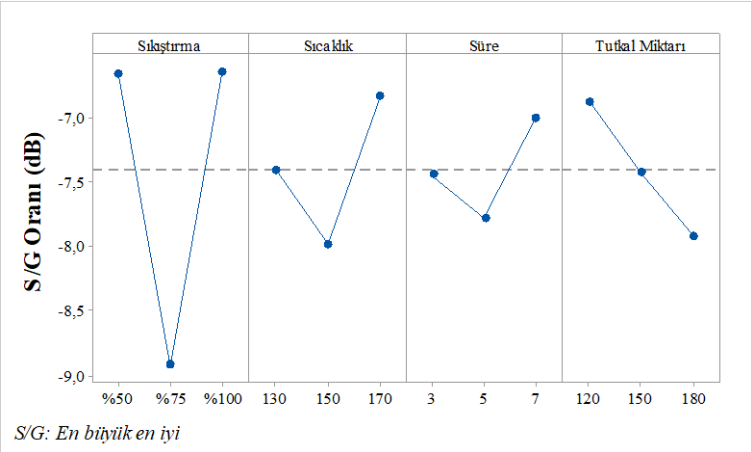
ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların sıkışma oranı için S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 3.17) incelendiğinde, en etkili üretim faktörlerinin sırasıyla sıkıştırma oranı (hedeflenen), pres sıcaklığı, yapıştırıcı miktarı ve pres süresi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.17: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkıştırma oranı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	-6,659	-7,404	-7,445	-6,875
2	-8,919	-7,981	-7,782	-7,432
3	-6,647	-6,84	-6,999	-7,918
Fark (max-min)	2,272	1,142	0,783	1,043
Sıralama	1	2	4	3

S/G: En büyük en iyi

Sıkışma oranı için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 3.17'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek sıkışma, 180 g/m^2 yapıştırıcı uygulanan ve 170 ºC'de 7 dakika preslenerek %100 oranında sıkıştırılması hedeflenen numunelerde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.17: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkışma oranları için S/G oranı ana etki grafiği.

FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Sıkışma Oranı

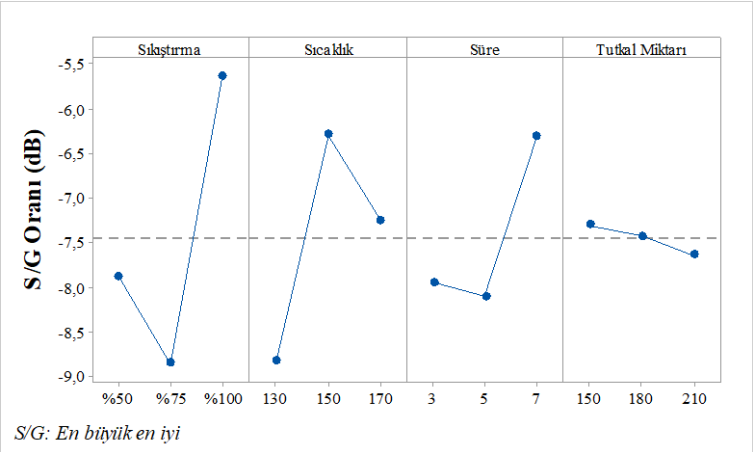
FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların gerçekleşen sıkışma oranı için S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 3.18) incelendiğinde, en etkili üretim faktörlerinin ÜF kullanılanlarda olduğu gibi sırasıyla sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.18: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkıştırma oranı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	-7,870	-8,812	-7,934	-7,295
2	-8,847	-6,29	-8,098	-7,416
3	-5,624	-7,238	-6,308	-7,629
Fark (max-min)	3,223	2,522	1,791	0,334
Sıralama	1	2	3	4

S/G: En büyük en iyi

FF yapıştırıcısı kullanılan numunelerde sıkışma oranı için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 3.18'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhalarda en yüksek sıkışma oranı elde edilen parametre kombinasyonu %100'lük sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 150 g/m^2 yapıştırıcı miktarı olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin sıkıştırma oranları için S/G oranı ana etki grafiği.

3.6.1.4. Kalınlığına Şişme Oranı

Üretilen levhaların 2, 24, 72 ve 168 saat suda bekletilmesi suretiyle elde edilen ortalama kalınlığına şişme oranı (KŞO) değerleri Tablo 3.19'da verilmiştir.

yTKK üretiminin KŞO üzerine etkisini görmek için uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, üretilen yTKK'lerin 24, 72 ve 168 saat suda bekletildikten sonraki kalınlığına şişme değerleri, kontrol numunelerine kıyasla istatistiksel şekilde yüksek bulunmuştur. Ancak, 2 saat suda bekletilen yTKK'lerin kalınlığına şişme oranları kontrol grubuna kıyasla yüksek çıksa da istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

Diğer yandan, uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, kullanılan yapıştırıcı türünün suda bekletilen yTKK'lerin KŞO üzerinde istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturduğu ve FF yapıştırıcısı kullanılanların, ÜF kullanılanlara kıyasla daha düşük KŞO değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.19: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları.

Deney Grubu	Sıkıştırma oranı (%)	Pres sıcaklığı (ºC)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı miktarı** (g/m^2)	Kalınlığına Şişme Oranı (%)							
					ÜF				FF			
					2 saat	24 saat	72 saat	168 saat	2 saat	24 saat	72 saat	168 saat
1	50	130	3*	130, 150	7,54	17,26	19,72	20,74	1,22	4,96	6,53	6,99
2	50	150	5*	180, 210	7,40	16,48	18,15	18,84	1,28	5,50	6,28	7,58
3	50	170	7*	150, 180	10,81	19,63	21,38	22,58	2,52	7,55	9,83	10,50
4	75	130	5*	150, 180	4,39	9,12	10,16	10,79	2,24	6,14	7,57	8,61
5	75	150	7*	130, 150	6,85	16,87	18,79	19,80	2,30	9,40	13,29	14,59
6	75	170	3*	180, 210	5,79	17,59	19,25	20,44	2,14	6,25	8,62	9,41
7	100	130	7*	180, 210	9,75	20,23	21,86	22,81	1,44	5,71	6,95	7,95
8	100	150	3*	150, 180	5,10	13,50	15,35	16,01	2,86	8,06	10,16	11,50
9	100	170	5*	130, 150	10,05	18,82	21,11	22,45	3,70	9,54	11,83	12,59
K	0	110, 140**	10	150, 180	0,96	2,32	2,76	3,10	0,88	1,92	2,07	2,48

* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
** : Sırasıyla ÜF ve FF kullanılan levhalardaki değerler

Diğer yandan, kontrol numuneleri dışarda tutularak, uygulanan gruplar arası farkın önem kontrolü ile üretim parametrelerinin yTKK'lerin kalınlığına şişme özellikleri üzerine etkisinin anlamlılığı ($p \leq 0,05$) incelenmiştir. Sonuç olarak, sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarının kalınlığına şişme oranı üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

ÜF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Kalınlığına Şişme Oranları

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların KŞO üzerine en etkili faktörleri gösteren S/G oranı yanıt tablosu aşağıda gösterilmektedir (Tablo 3.20). Tablo incelendiğinde ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerde 2 saatlik suda bekletilme sonrasında KŞO üzerine en etkili faktör sıkıştırma oranı olurken 24, 72 ve 48 saat suda bekletilen numunelerde en etkili faktörün yapıştırıcı miktarı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, TM yoğunlaştırma işlemi sonucu malzeme içerisinde oluşan iç gerilmelerin iklimlendirme sırasında tam olarak gevşememesi ve ilk 2 saatlik suda bekletme süresinde bu artık iç gerilmelerin boşalmasına atfedilebilir.

Tablo 3.20: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı (dB) yanıt tabloları.

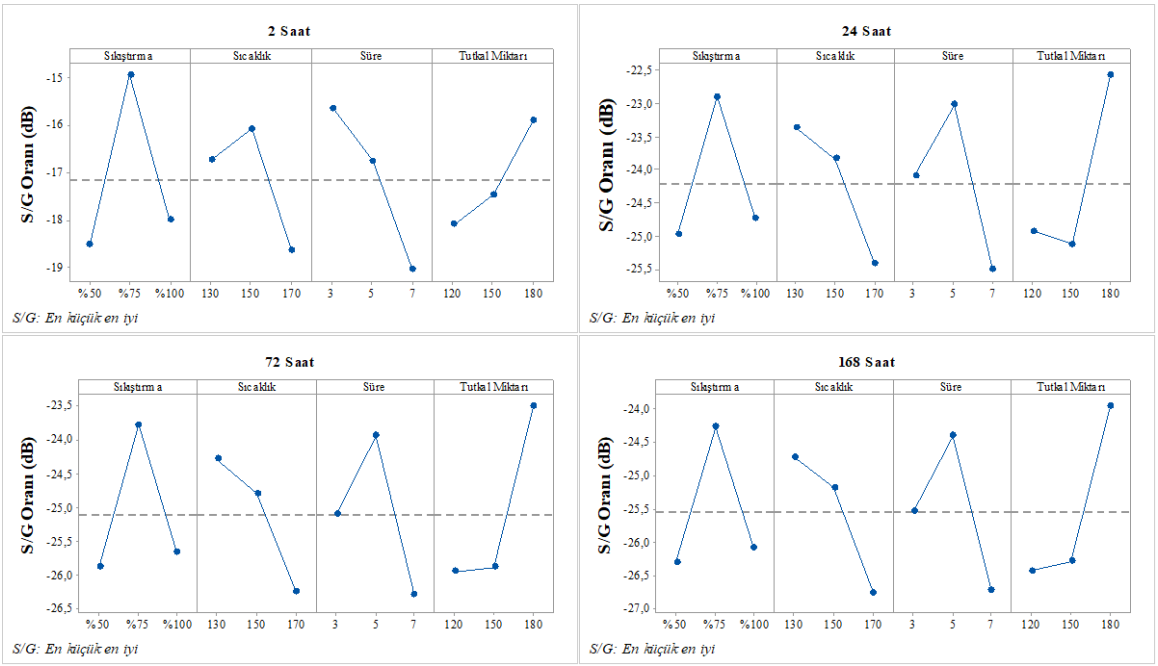
Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı		Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
2 saat						**24 saat**			
1	-18,53	-16,72	-15,65	-18,1		-24,98	-23,35	-24,08	-24,92
2	-14,94	-16,08	-16,76	-17,47		-22,88	-23,83	-23,01	-25,12
3	-17,99	-18,66	-19,06	-15,89		-24,74	-25,42	-25,51	-22,56
Fark	3,60	2,57	3,40	2,21		2,10	2,06	2,49	2,56
Sıralama	1	3	2	4		3	4	2	1
72 saat						**168 saat**			
1	-25,89	-24,28	-25,1	-25,96		-26,31	-24,72	-25,55	-26,43
2	-23,77	-24,79	-23,94	-25,89		-24,27	-25,17	-24,40	-26,29
3	-25,67	-26,26	-26,29	-23,49		-26,09	-26,77	-26,72	-23,94
Fark	2,12	1,98	2,35	2,47		2,04	2,05	2,33	2,49
Sıralama	3	4	2	1		4	3	2	1

S/G: En küçük en iyi

ÜF kullanılarak üretilen yTKK'lerin 2 saat suda bekletimesi sonrasıkalınlığına şişme oranını minimum yapan faktör seviye kombinasyonu %75 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 180 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir. 24, 72 ve 168 saat suda bekletilen numunelerde ise %75 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 5 dakika pres süresi ve 180 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması en düşük kalınlığına şişme oranının elde edildiği varyasyonlar olmuştur (Şekil 3.19).

Kalınlığına şişme oranının sıkıştırma oranı arttıkça artması beklenen bir durumdur. Ancak, ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerde en fazla kalınlığına şişme %50 oranında sıkıştırılan levhalarda gözlemlenmiştir. Bu durum, %75 ve %100 oranında sıkıştırılan levhaların yüksek oranda geri esnemesi, yani kalınlığına şişme deneyi öncesinde iç gerilmelerin büyük oranda boşalmasından kaynaklanıyor olabilir.

Şekil 3.19'a göre, uygulanan pres sıcaklığı ile kalınlığına şişme oranı arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Yani pres sıcaklığı arttıkça kalınlığına şişme oranı da artmaktadır. Tutkal miktarı ile ise ters orantılı bir ilişkiden, yani tutkal miktarı arttıkça daha düşük miktarda kalınlığına şişme gözlemlendiğinden söz edilebilir.



Şekil 3.19: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı ana etki grafikleri.

FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK'lerin Kalınlığına Şişme Oranları

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların KŞO üzerine en etkili faktörleri gösteren S/G oranı yanıt tablosu aşağıda gösterilmektedir (Tablo 3.21). Tablo incelendiğinde FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerde süre farketmeksizin KŞO üzerine en etkili faktör pres sıcaklığı olurken bunu sırasıyla yapıştırıcı miktarı, sıkıştırma miktarı ve pres süresi takip etmiştir.

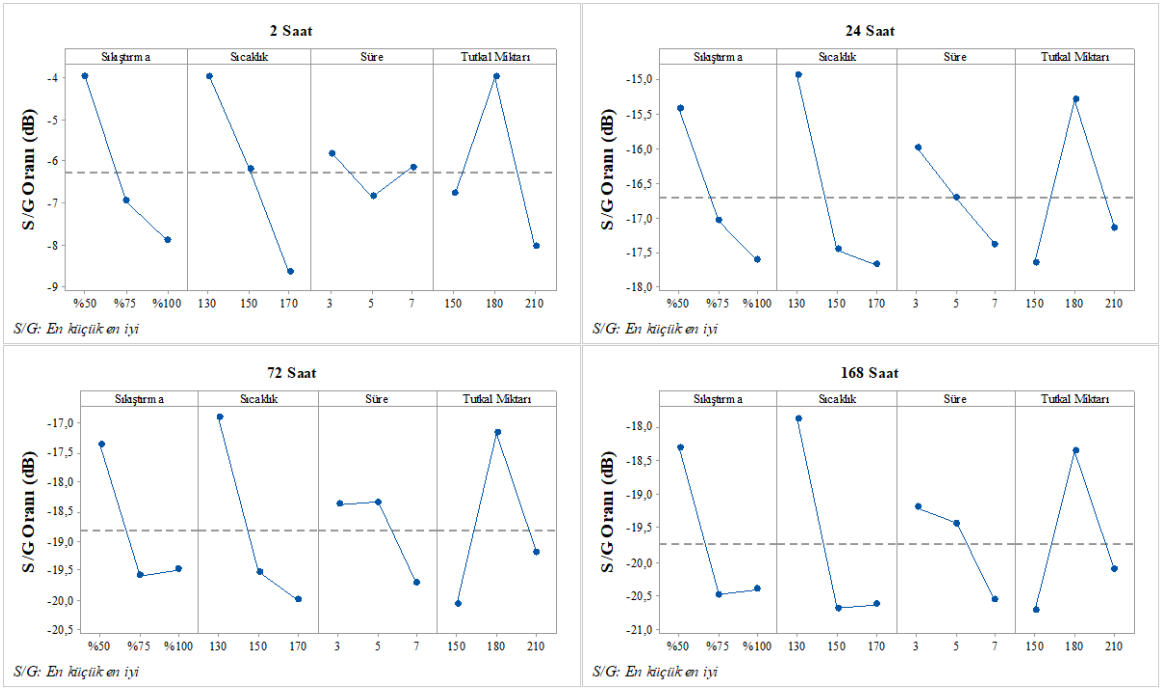
FF kullanılan yTKK'lerin için kalınlığına şişme oranını minimum yapan faktör seviye kombinasyonu %50 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 180 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir (Şekil 3.20).

Beklenildiği üzere, FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerde %50 oranında sıkıştırılan levhalar en düşük kalınlığına şişme özelliği gösteren grubu oluştururken, uygulanan sıkıştırma oranı arttıkça KŞO artmaktadır. Diğer yandan, uygulanan pres sıcaklığı ve pres süresi ile KŞO arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Yani pres sıcaklığı ve pres süresi arttıkça KŞO da artmaktadır.

Tablo 3.21: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı (dB) yanıt tabloları.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı		Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
2 saat						**24 saat**			
1	-3,967	-3,956	-5,817	-6,775		-15,43	-14,94	-15,99	-17,66
2	-6,955	-6,182	-6,845	-3,976		-17,05	-17,46	-16,72	-15,29
3	-7,886	-8,670	-6,146	-8,057		-17,62	-17,69	-17,39	-17,15
Fark	3,919	4,714	1,029	4,082		2,19	2,75	1,40	2,37
Sıralama	3	1	4	2		3	1	4	2
72 saat						**168 saat**			
1	-17,37	-16,9	-18,38	-20,07		-18,30	-17,87	-19,19	-20,72
2	-19,59	-19,52	-18,33	-17,17		-20,49	-20,7	-19,43	-18,36
3	-19,48	-20,01	-19,72	-19,19		-20,41	-20,63	-20,57	-20,11
Fark	2,22	3,10	1,39	2,91		2,19	2,83	1,38	2,37
Sıralama	3	1	4	2		3	1	4	2

S/G: En küçük en iyi



Şekil 3.20: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin kalınlığına şişme oranları için S/G oranı ana etki grafikleri.

3.6.2. Mekanik Özellikler

Bu bölüm, 4 faktör ve 3 seviyesi olarak düzenlenen Taguchi L9 ortogonal deneme düzenine göre yürütülen eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme makaslama ve yüzeye dik çekme direnci testlerini kapsamaktadır. Her mekanik özellik için Taguchi yöntemi ile en etkili faktörler ve en iyi seviyeleri belirlendikten sonra, gri ilişkisel analiz (GİA) uygulanarak tüm mekanik özellikler için optimum parametre varyasyonu belirlenmiştir.

3.6.2.1. Eğilme Direnci

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen deneme levhalarının ve kontrol grubuna ait ortalama eğilme direnci değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.22: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin eğilme dirençleri.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m²)	Eğilme Direnci (N/mm²)					
					ÜF			FF		
					x̄	S	S/G	x̄	S	S/G
1	50	130	3*	130, 150	122,56	13,797	42,62	87,95	7,631	38,81
2	50	150	5*	180, 210	103,52	6,060	40,27	96,87	2,870	39,71
3	50	170	7*	150, 180	104,11	7,002	40,31	112,77	11,457	41,90
4	75	130	5*	150, 180	88,06	5,571	38,85	88,21	4,661	38,88
5	75	150	7*	130, 150	97,52	12,817	39,61	107,87	6,359	40,62
6	75	170	3*	180, 210	119,66	8,248	41,51	87,80	8,208	38,78
7	100	130	7*	180, 210	78,97	3,217	37,93	86,91	2,316	38,77
8	100	150	3*	150, 180	83,87	4,468	38,44	93,09	8,227	39,29
9	100	170	5*	130, 150	71,16	3,871	37,01	84,42	4,671	38,50
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	82,77	2,852	-	75,74	2,928	-

x̄: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, S/G: Sinyal/Gürültü oranı
* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
** : Sırasıyla ÜF ve FF için kullanılan yapıştırıcı miktarı

Uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda kullanılan yapıştırıcı türünün, üretilen yTKK'lerin eğilme direnci üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

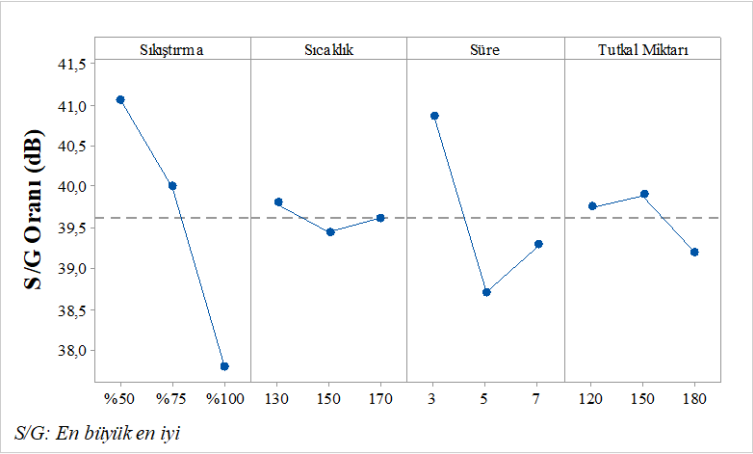
ÜF yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Eğilme Direnci

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, eğilme direnci üzerine en etkili üretim faktörlerinin sırasıyla sıkıştırma oranı, pres süresi, yapıştırıcı miktarı ve pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Tablo 3.23).

Tablo 3.23: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	41,07	39,80	40,86	39,75
2	39,99	39,44	38,71	39,90
3	37,80	39,61	39,28	39,20
Fark (max-min)	3,27	0,36	2,15	0,70
Sıralama	1	4	2	3

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, ÜF kullanılan yTKK'lerin eğilme direncini en yüksek yapan faktör seviye kombinasyonunun %50 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 150 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı ana etki grafiği.

Sıkıştırma oranının eğilme direnci üzerine etkisi incelendiğinde, aralarında beklenilenin aksine ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Yani uygulanan sıkıştırma (hedeflenen) oranı arttıkça, eğilme direnci azalmaktadır. Bunun nedeni, kaplama taslaklarının üretimi esnasında sıkışması, ancak pres açıldıktan sonra geri esneme sonucu hedeflenen sıkışmanın yani yoğunluk artışının elde edilememesi olduğu düşünülmektedir.

Diğer yandan, artan sıkıştırma oranı (basınç) uygulaması ile odun dokusunda daha fazla iç kırılmalar ve göçmelerin oluşması da (Blomberg, 2006; Bekhta vd., 2012; Yu vd., 2017), sıkıştırma oranı arttıkça eğilme direncindeki düşüşe neden olabilir.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 3.24), pres sıcaklığının ÜF yapıştırıcısı ile üretilen levhaların eğilme direnci üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı, sıkıştırma oranı, pres süresi ve uygulanan yapıştırıcı miktarının ise istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak sıkıştırma oranının %57,9 gibi çok yüksek bir oranla eğilme direnci üzerine en çok etkiye sahip faktör olduğu görülmüştür.

Tablo 3.24: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme direnci için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	**SD**	**KT (Tip 3)**	**KO**	**F-değeri**	**p-değeri**	**Etki Oranı (%)**
Düzeltilmiş Model	*8*	*11830,19*	1478,774	*24,088*	*0,000*	*84,6*
Sıkıştırma oranı	2	8091,66	4045,832	65,902	0,000	57,9
Pres Sıcaklığı	2	83,62	41,811	0,681	0,513	0,6
Pres Süresi	2	3383,04	1691,521	27,553	0,000	24,2
Yapıştırıcı Miktarı	2	572,87	286,436	4,666	0,016	4,1
Hata	35	2148,69	61,391			15,4
Düzeltilmiş Toplam	*43*	*13978,88*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, $p \leq 0,05$, KT = 0,846

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) testi uygulanmıştır (Tablo 3.25). ÜF yapıştırıcısı kullanılan deneme levhalarına uygulanan sıkıştırma oranının eğilme direnci üzerine etkisi incelendiğinde, en iyi sonuçların %50 oranında sıkıştırılan numunelerde elde edildiği ve bunu %75 oranında sıkıştırılan numunelerin takip ettiği gözlemlenmektedir. En düşük eğilme direncini veren homojenlik grubunu ise %100 oranında sıkıştırılan ve yoğunlaştırılmayan kontrol numuneleri oluşturmaktadır. Bu verilerle S/G ana etki grafiği ile karşılaştırıldığında, sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Pres süresinin etkisi incelendiğinde, eğilme direnci açısından en iyi sonuçlar 3 dakika sıkıştırılan levhalarda elde edilirken, en kötü sonuçlar kontrol grubu levhalarda gözlemlenmiştir.

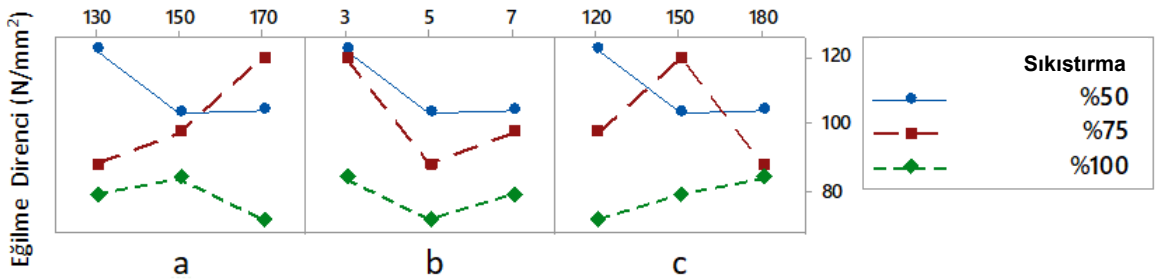
Tablo 3.25: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme dirençleri için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Eğilme Direnci (N/mm²)							
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**			**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**		**1**	**2**	
50	109,17			170	98,31		
75		101,74		150	94,97		
Kontrol			82,77	130	94,67		
100			78,00	Kontrol		82,77	
Sig.	1,000	1,000	0,164	Sig.	0,315	1,000	
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**			**Yapıştırıcı Miktarı (g/m²)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**		**1**	**2**	**3**
3	107,70			150	100,72		
7		93,53		120	95,26	95,26	
5		87,58	87,58	180		92,01	
Kontrol			82,77	Kontrol			82,77
Sig.	1,000	0,085	0,161	Sig.	0,113	0,341	1,000

Duncan, p≤0,05

Yapıştırıcı miktarının eğilme direnci üzerine etkisi incelendiğinde, tüm grupların kontrol grubu numunelerden daha yüksek eğilme direncine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum yTKK üretiminde uygulanan yoğunlaştırma işleminin eğilme direnci üzerine olumlu etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Zira kontrol grubu levhaların üretiminde de üretici firma tavsiyelerine uygun olarak 150 g/m^2 yapıştırıcı uygulanmıştır.

Sıkıştırma oranı ile diğer pres parametrelerinin etkileşimini gösteren grafik incelendiğinde sıkıştırma oranı ile pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı arasında etkileşimden söz etmek mümkündür. Bu etkileşim özellikle %50 ile %75'lik sıkıştırma oranı seviyesinde gözlemlenmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilme direnci üzerine sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi ve c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Eğilme Direnci

FF yapıştırıcısı kullanılan levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, eğilme direnci üzerine en etkili üretim faktörünün pres süresi olduğu gözlemlenmiştir. Bunu sırasıyla sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı takip etmiştir (Tablo 3.26).

Tablo 3.26: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

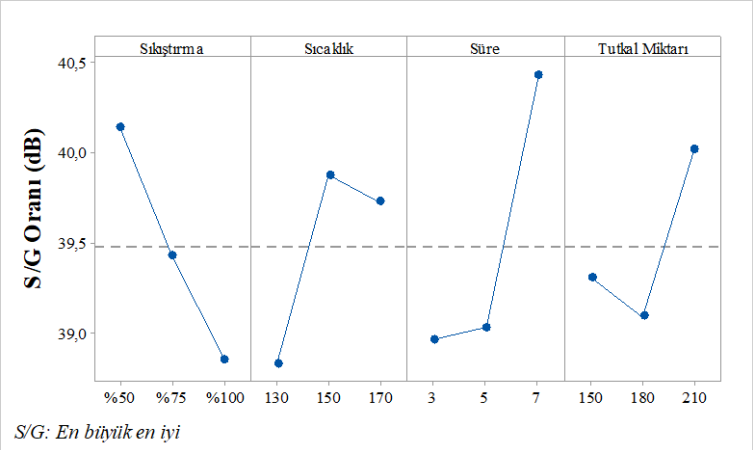
Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	40,14	38,82	38,96	39,31
2	39,43	39,88	39,03	39,09
3	38,85	39,73	40,43	40,02
Fark (max-min)	1,29	1,05	1,47	0,93
Sıralama	2	3	1	4

Eğilme direnci için S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde (Şekil 3.23), FF kullanılan yTKK'lerin eğilme direncini en yüksek yapan faktör seviye kombinasyonu %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir.

ÜF ile üretilenlerle benzer şekilde, FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerde de uygulanan sıkıştırma oranı ile eğilme direnci arasında beklenilenin aksine ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin uygulanan sıkıştırma oranı artışına paralel olarak, artan geri esneme oranı sonucu elde edilen levhaların yoğunluklarında anlamlı bir farkın oluşmaması ile malzeme içerisinde artan iç kırılmaların olduğu düşünülmektedir (Blomberg, 2006; Bekhta vd., 2012; Yu vd., 2017). Diğer yandan, FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK levhalarda pres süresi arttıkça eğilme direncinin arttığı gözlemlenmektedir.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 3.27), kullanılan tüm üretim faktörlerinin, FF yapıştırıcısı ile üretilen levhaların eğilme direnci üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu görülmektedir. Üretim faktörlerinin eğilme direnci üzerindeki etki düzeyi incelendiğinde ise pres süresinin %29,7'lik oranla en etkili faktör olduğu gözlemlenmiştir. S/G oranı yanıt tablosu sonuçlarının aksine pres sıcaklığının etkisi (%19,7), sıkıştırma oranının etkisinden (%17,1) yüksek çıkmıştır. Bu

durumun sebebi Taguchi analizinin hesaplamalarında standart sapmayı da (gürültü) içermesinden kaynaklanmaktadır (Unal ve Dean, 1991).



Şekil 3.23: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilme direnci için S/G oranı ana etki grafiği.

Tablo 3.27: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*8*	*3660,32*	*457,54*	*10,283*	*0,000*	*70,2*
Sıkıştırma oranı	2	893,62	446,81	10,042	0,000	17,1
Pres Sıcaklığı	2	1028,16	514,08	11,554	0,000	19,7
Pres Basıncı	2	1551,11	775,56	17,430	0,000	29,7
Yapıştırıcı Miktarı	2	409,43	204,71	4,601	0,017	7,8
Hata	35	1557,31	44,49			29,8
Düzeltilmiş Toplam	*43*	*5217,63*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, $p \leq 0,05$, KT = 0,702

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.28). Tüm deneme gruplarının eğilme dirençlerinde kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı artış gözlemlenmiştir.

FF yapıştırıcısı kullanılan deneme levhalarına uygulanan sıkıştırma oranının eğilme direnci üzerine etkisi incelendiğinde %50 ve 75 oranında sıkıştırılan denem grubu en iyi sonucu veren homojenlik grubunu oluşturmuştur. 150 ve 170 ºC'lik pres sıcaklığı, 7 dakikalık pres süresi ve 210g/m^2 yapıştırıcı uygulaması en yüksek eğilme direncinin elde edildiği

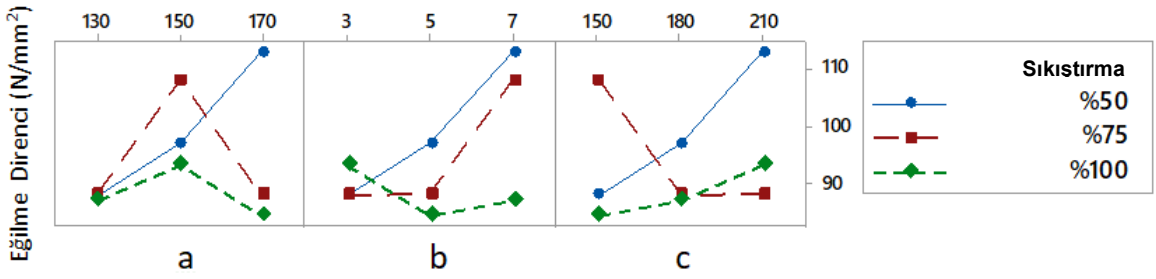
homojenlik gruplarını oluşturmaktadır. Bu verilerle, S/G ana etki grafiği ile karşılaştırıldığında, sonuçların tutarlı olduğu görülmektedir.

Tablo 3.28: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilme dirençleri için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Eğilme Direnci (N/mm²)							
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**			**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**		**1**	**2**	**3**
50	98,22			150	99,27		
75	94,63			170	93,73		
100		88,14		130		87,69	
Kontrol			75,74	Kontrol			75,74
Sig.	0,218	1,000	1,000	Sig.	0,061	1,000	1,000
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**			**Yapıştırıcı Miktarı (g/m²)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**		**1**	**2**	**3**
7	101,78			210	96,97		
5		89,83		150	93,41	93,41	
3		89,61		180		90,53	
Kontrol			75,74	Kontrol			75,74
Sig.	1,000	0,939	1,000	Sig.	0,223	0,322	1,000

Duncan, p≤0,05

FF kullanılarak üretilen levhalarda, sıkıştırma oranı parametresi ile pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı arasında ikili etkileşim olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.24). Bu etkileşim özellikle %50 ile %75'lik sıkıştırma oranı seviyesinde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.24: FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilme direnci üzerine sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi ve c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

3.6.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen deneme levhaları ve kontrol grubuna ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri Tablo 3.29'da verilmiştir.

Tablo 3.29: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m²)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm²)					
					ÜF			FF		
					x̄	S	S/G	x̄	S	S/G
1	50	130	3*	130, 150	14122	2374,50	83,74	10643	588,59	80,51
2	50	150	5*	180, 210	11476	284,61	81,19	11071	470,34	80,87
3	50	170	7*	150, 180	11926	580,03	81,50	12403	830,44	82,79
4	75	130	5*	150, 180	10429	1009,40	80,26	10657	685,40	80,51
5	75	150	7*	130, 150	10425	1579,22	80,11	11798	545,01	81,41
6	75	170	3*	180, 210	10821	581,26	80,65	10027	944,27	79,93
7	100	130	7*	180, 210	7722	550,44	77,70	10389	327,72	80,32
8	100	150	3*	150, 180	9391	870,77	79,37	11208	886,15	80,93
9	100	170	5*	130, 150	6362	429,64	76,02	9441	574,21	79,46
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	10222	263,68	-	10440	351,84	-

x̄: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, S/G: Sinyal/Gürültü oranı
*: Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
**: Sırasıyla ÜF ve FF için kullanılan yapıştırıcı miktarı

Uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, kullanılan yapıştırıcı türünün yTKK'nin eğilmede elastikiyet modülü üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

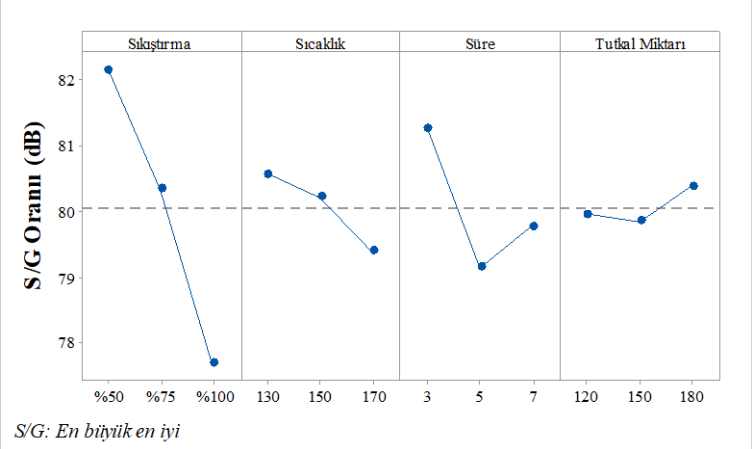
ÜF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Eğilmede Elastikiyet Modülü

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, eğilmede elastikiyet modülü üzerine en etkili üretim faktörleri sırasıyla sıkıştırma oranı, pres süresi, pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı olarak belirlenmiştir (Tablo 3.30).

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde ise, ÜF kullanılan yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülünü en yüksek yapan faktör seviye kombinasyonunun %50 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 180 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.25).

Tablo 3.30: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	82,14	80,57	81,25	79,96
2	80,34	80,22	79,16	79,85
3	77,70	79,39	79,77	80,38
Fark (max-min)	4,45	1,17	2,10	0,53
Sıralama	1	3	2	4



Şekil 3.25: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı ana etki grafiği.

Sıkıştırma oranının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi incelendiğinde, eğilme direncinde olduğu gibi (bkz. Bölüm 3.6.2.1) beklenilenin aksine ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Yani uygulanan sıkıştırma (hedeflenen) oranı arttıkça, eğilmede elastikiyet modülü azalmaktadır.

ÜF yapıştırıcısı ile üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü için uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonuçları Tablo 3.31'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı ve pres süresinin eğilmede elastikiyet modülü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu, yapıştırıcı miktarının ise anlamlı etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak sıkıştırma oranının eğilmede elastikiyet modülü üzerine %68,6 gibi çok yüksek bir etki oranına sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3.31: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*8*	*194626993,63*	*24328374,20*	*21,850*	*0,000*	*83,3*
Sıkıştırma oranı	2	160216275,92	4642333209,65	71,946	0,000	68,6
Pres Sıcaklığı	2	8491356,09	80108137,96	3,813	0,032	3,6
Pres Süresi	2	30793287,22	4245678,04	13,828	0,000	13,2
Yapıştırıcı Miktarı	2	2488470,47	15396643,61	1,117	0,338	1,1
Hata	35	38970571,04	1244235,23			16,7
Düzeltilmiş Toplam	*43*	*233597564,67*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT = 0,833

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.32).

Tablo 3.32: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için gruplar arası farkın önem kontrolü.

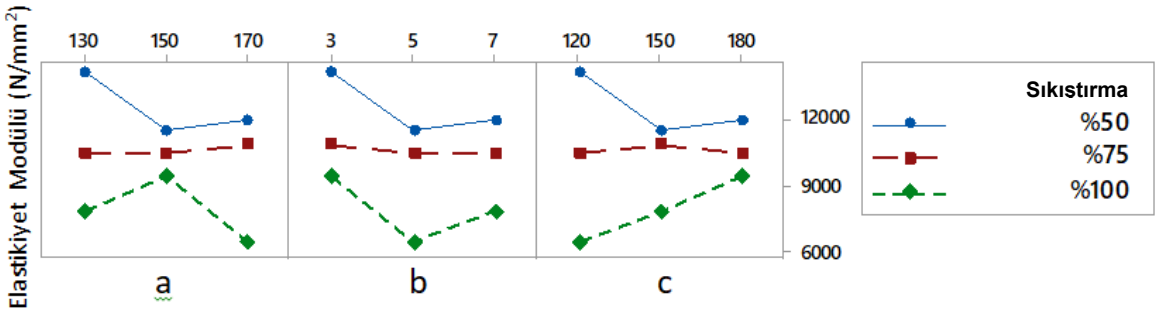
Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm²)					
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**			**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**
	1	**2**	**3**		**1**
50	12393			130	10517
75		10558		150	10431
Kontrol		10222		Kontrol	10222
100			7825	170	9703
Sig.	1,000	0,460	1,000	Sig.	0,107
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**			**Yapıştırıcı Miktarı (g/m²)**	**Homojenlik Grupları**
	1	**2**			**1**
3	11253			180	10582
Kontrol		10222		Kontrol	10222
7		10024		120	10030
5		9422		150	10006
Sig.	1,000	0,101		Sig.	0,253

Duncan, p≤0,05

Sıkıştırma oranının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi incelendiğinde, en iyi sonuçların %50 oranında sıkıştırılan numunelerde elde edildiği görülmektedir. Bunu %75 oranında sıkıştırılan ve yoğunlaştırılmayan kontrol grubu levhalar takip etmiştir. %13,2'lük etkiye sahip pres süresi dikkate alındığında ise 3 dakika en yüksek eğilmede elastikiyet modülünü veren grubu oluştururken, 5 ve 7 dakikalık uygulamalar kontrol grubu ile ikinci grubu oluşturuşlardır. Bu değerler ile S/G ana etki grafiğinde elde edilen veriler tutarlılık

göstermektedir. Uygulanan farklı pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı seviyelerine göre üretilen yTKK'ler, kontrol grubundan ayrışmamıştır.

Eğilmede elastikiyet modülü için ikili etkileşim grafikleri incelendiğinde, sıkıştırma oranı ile diğer faktörlerin arasında etkileşimin varlığından söz etmek mümkün değildir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi ve c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

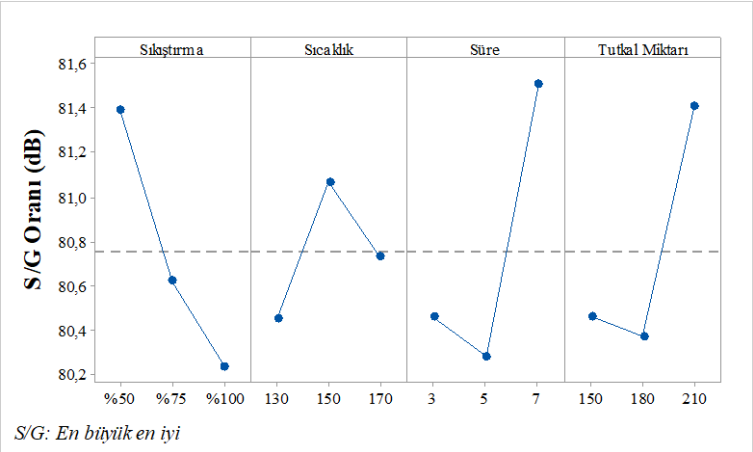
FF yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Eğilmede Elastikiyet Modülü

FF yapıştırıcısı kullanılan levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, eğilmede elastikiyet modülü üzerine en etkili üretim faktörlerinin sırasıyla pres süresi, sıkıştırma oranı, yapıştırıcı miktarı ve pres sıcaklığı olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.33).

Tablo 3.33: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	81,39	80,45	80,46	80,46
2	80,62	81,07	80,28	80,37
3	80,24	80,73	81,51	81,41
Fark (max-min)	1,15	0,62	1,23	1,04
Sıralama	2	4	1	3

Eğilme direnci için S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde (Şekil 3.27), FF kullanılan yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülünü en yüksek yapan faktör seviye kombinasyonunun %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.27: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için S/G oranı ana etki grafiği.

Sıkıştırma oranının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi incelendiğinde, eğilme direncinde olduğu gibi (bkz. Bölüm 3.6.2.1) beklenilenin aksine ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Yani uygulanan sıkıştırma (hedeflenen) oranı arttıkça, eğilmede elastikiyet modülü azalmaktadır.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 3.34), kullanılan tüm üretim faktörlerinin FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerinde istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu görülmektedir. Üretim faktörlerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etki düzeyi incelendiğinde ise pres süresinin %22,6, sıkıştırma oranının %16,6, yapıştırıcı miktarının 15,7 ve pres sıcaklığının %12,8 oranında etkisi olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.34: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	**SD**	**KT (Tip 3)**	**KO**	**F-değeri**	**p-değeri**	**Etki Oranı (%)**
Düzeltilmiş Model	*8*	*29753934,70*	*3719241,84*	*8,206*	*0,000*	*65,2*
Sıkıştırma oranı	2	7591598,80	3795799,40	8,375	0,001	16,6
Pres Sıcaklığı	2	5832347,64	2916173,82	6,434	0,004	12,8
Pres Süresi	2	10317437,26	5158718,63	11,382	0,000	22,6
Yapıştırıcı Miktarı	2	7158904,54	3579452,27	7,898	0,001	15,7
Hata	35	15862799,55	453222,84			34,8
Düzeltilmiş Toplam	*43*	*45616734,25*				*100,0*

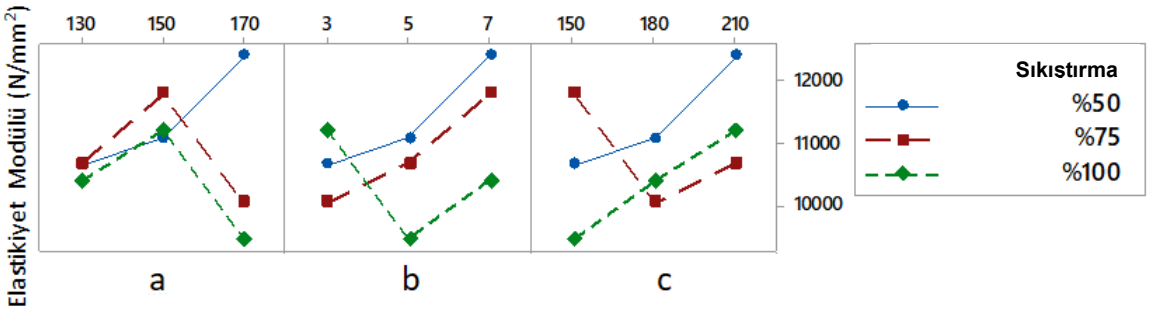
SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, $p \leq 0,05$, KT = 0,652

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.35). FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin üretim faktörlerinin eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi incelendiğinde, en iyi sonuçların %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakikalık pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması ile elde edildiği ve kontrol grubu levhalardan istatistiksel olarak anlamlı düzeyde iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Diğer deneme grubu ise kontrol grubundan ayrışmamıştır.

Tablo 3.35: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm^2)					
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**		**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**		**1**	**2**
50	11299		150	11359	
75	10827	10827	130		10563
Kontrol		10440	170		10496
100		10346	Kontrol		10440
Sig.	0,114	0,126	Sig.	1,000	0,694
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**		**Yapıştırıcı Miktarı (g/m^2)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**		**1**	**2**
7	11468		210	11353	
3		10626	150		10627
Kontrol		10440	180		10496
5		10390	Kontrol		10440
Sig.	1,000	0,452	Sig.	1,000	0,549

Duncan, p≤0,05



Şekil 3.28: FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü üzerine sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi ve c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin eğilmede elastikiyet modülü için ikili etkileşim grafikleri incelendiğinde, sıkıştırma oranı ile diğer faktörlerin arasında etkileşimin varlığından söz edebilir (Şekil 3.28).

3.6.2.3. Çekme-Makaslama Direnci

Tablo 3.36: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin çekme makaslama direnci değerleri.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m²)	Çekme Makaslama Direnci (N/mm²)					
					ÜF			FF		
					x̄	S	S/G	x̄	S	S/G
1	50	130	3*	130, 150	4,15	0,34	12,30	7,96	0,60	17,97
2	50	150	5*	180, 210	6,77	1,77	15,85	7,98	1,80	17,61
3	50	170	7*	150, 180	5,39	1,68	13,91	6,58	0,86	16,19
4	75	130	5*	150, 180	5,25	0,42	14,34	7,09	0,71	16,90
5	75	150	7*	130, 150	4,68	0,39	13,35	6,06	0,71	15,48
6	75	170	3*	180, 210	5,23	0,43	14,29	5,14	0,76	13,92
7	100	130	7*	180, 210	5,63	0,83	14,79	8,40	2,26	17,23
8	100	150	3*	150, 180	5,33	0,53	14,44	7,85	1,39	17,59
9	100	170	5*	130, 150	8,07	1,77	17,43	6,73	0,24	16,55
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	5,50	0,37	-	5,28	0,18	-

x̄: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, S/G: Sinyal/Gürültü oranı
* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir)
** : Sırasıyla ÜF ve FF için kullanılan yapıştırıcı miktarı

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen deneme levhaları ve kontrol grubuna ait çekme makaslama direnci değerleri Tablo 3.36'da verilmiştir.

Uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci, ÜF yapıştırıcısı kullanılanlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur.

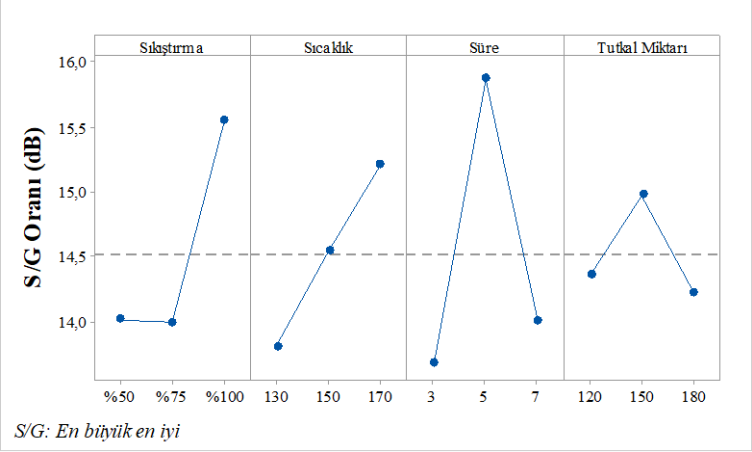
ÜF yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Çekme Makaslama Direnci

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, çekme makaslama direnci üzerine en etkili üretim faktörlerinin sırasıyla pres süresi, sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.37).

Tablo 3.37: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	14,02	13,81	13,68	14,36
2	13,99	14,55	15,87	14,98
3	15,55	15,21	14,01	14,23
Fark (max-min)	1,56	1,40	2,20	0,75
Sıralama	2	3	1	4

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde ise, ÜF kullanılan yTKK'lerin çekme makaslama direncini en yüksek yapan faktör seviye kombinasyonu %100 sıkıştırma oranı, 170 ºC pres sıcaklığı, 5 dakika pres süresi ve 150 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı ana etki grafiği.

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü analizlerinden farklı olarak, sıkıştırma oranının çekme makaslama direnci üzerine etkisi incelendiğinde, en iyi sonuçları %100 sıkıştırma oranında yoğunlaştırılan numunelerde elde edilmiştir. Ayrıca, pres sıcaklığı artışına paralel olarak, çekme makaslama direncinde artış gözlenmiştir.

ÜF yapıştırıcısı ile üretilen levhalar için uygulanan çok faktörlü varyans analizine göre (Tablo 3.38), sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı ve pres süresinin çekme makaslama direnci üzerine istatistiksel olarak anlamlı etkisi gözlemlenirken, kullanılan yapıştırıcı miktarı anlamlı bir fark oluşturmamıştır. Pres süresinin etki düzeyi %28,1 olarak bulunurken, sıkıştırma oranının etkisi %13,7 ve pres sıcaklığınınki ise %11,5'tir.

Tablo 3.38: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	**SD**	**KT (Tip 3)**	**KO**	**F-değeri**	**p-değeri**	**Etki Oranı (%)**
Düzeltilmiş Model	*8*	*53,786*	*6,723*	*5,658*	*0,000*	*55,7*
Sıkıştırma oranı	2	13,189	1416,828	5,550	0,008	13,7
Pres Sıcaklığı	2	11,059	6,595	4,654	0,016	11,5
Pres Süresi	2	27,239	5,530	11,463	0,000	28,2
Yapıştırıcı Miktarı	2	2,298	13,620	0,967	0,390	2,4
Hata	36	42,775	1,149			44,3
Düzeltilmiş Toplam	*44*	*96,561*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, $p \leq 0,05$, KT = 0,557

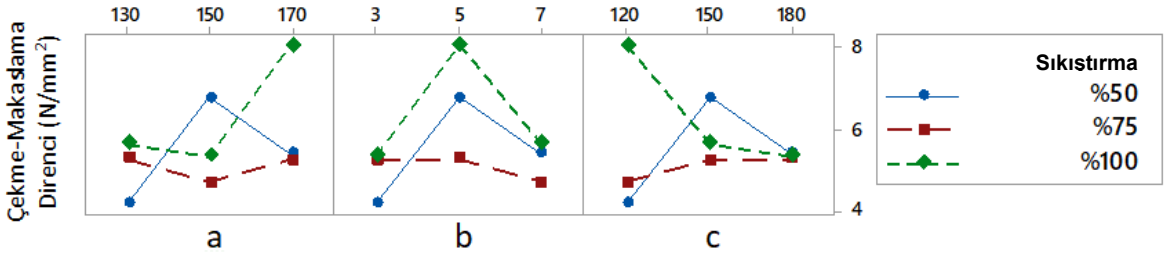
Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme grupları ile kontrol levhalarının kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.39). Elde edilen sonuçlara göre sıkıştırma oranı %100 olduğunda, en yüksek çekme makaslama direncinin elde edilmesine rağmen, kontrol grubu numunelerle kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır. Sadece 5 dakikalık pres süresi uygulanan yTKK'lerin çekme makaslama dirençleri kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur.

Çekme makaslama direnci için ikili etkileşim grafikleri incelendiğinde, sıkıştırma oranı ile pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı arasında özellikle %50 ve %75'lik sıkıştırma oranlarında etkileşim tespit edilmiştir (Şekil 3.30).

Tablo 3.39: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için grupları arası farkın önem kontrolü.

Çekme Makaslama Direnci (N/mm²)					
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**		**Pres Süresi (ºC)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**		**1**	**2**
100	6,34		170	6,23	
Kontrol	5,50	5,50	150	5,59	5,59
50	5,44	5,44	Kontrol	5,50	5,50
75		5,05	130		5,01
Sig.	0,092	0,406	Sig.	0,177	0,280
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**		**Yapıştırıcı Miktarı (g/m²)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**		**1**	
5	6,69		150	5,87	
Kontrol		5,50	120	5,63	
7		5,23	Kontrol	5,50	
3		4,90	180	5,32	
Sig.	1,000	0,268	Sig.	0,322	

Duncan, p≤0,05



Şekil 3.30: ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci üzerine sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi ve c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

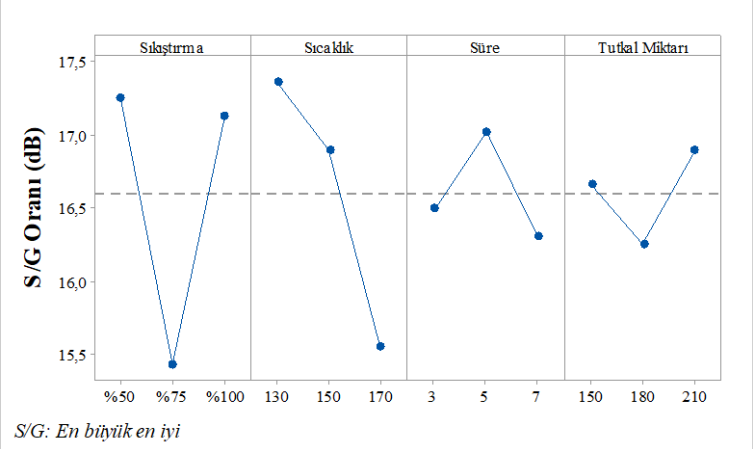
FF yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Çekme Makaslama Direnci

FF yapıştırıcısı kullanılan levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, üretim faktörlerinin çekme makaslama direnci üzerine etki sırası, sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.40).

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde ise, en yüksek çekme makaslama direncini veren kombinasyonun %50 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 5 dakika pres süresi ve 210 g/m² yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.31).

Tablo 3.40: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	17,25	17,37	16,49	16,67
2	15,44	16,90	17,02	16,25
3	17,13	15,55	16,30	16,89
Fark (max-min)	1,82	1,81	0,72	0,64
Sıralama	1	2	3	4



Şekil 3.31: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çekme makaslama direnci için S/G oranı ana etki grafiği.

FF yapıştırıcısı ile üretilen levhalar için uygulanan çok faktörlü varyans analizine göre, sıkıştırma oranı ve pres sıcaklığı faktörlerinin çekme makaslama direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi gözlemlenirken, uygulanan pres süresi ve yapıştırıcı miktarının ise anlamlı bir etkisi bulunamamıştır. Üretim faktörlerinin eğilme direnci üzerindeki etki düzeyi incelendiğinde ise sıkıştırma oranının %22,9 ve pres sıcaklığının %22,4 oranında etkisi olduğu bulunmuştur (Tablo 3.41).

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanmasın için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.42). %100 ve 50 oranlarında sıkıştırılan levhalar, kontrol numunelerine göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek çekme makaslama direnci gösteren homojenlik grubunda yer almıştır. Ayrıca, 130 ve 150 ºC sıcaklıkta preslenen levhaların çekme makaslama dirençleri, kontrol grubundan anlamlı şekilde yüksek bulunmuştur. Bu değerler ile S/G ana etki grafiğinde elde edilen veriler tutarlılık göstermektedir. yTKK üretiminde kullanılan pres süresi ve yapıştırıcı miktarı seviyeleri arasında istatistiksel

olarak anlamlı fark olmasa da, bu deneme gruplarının hepsinin çekme makaslama direnci kontrol grubuna göre önemli düzeyde yüksek bulunmuştur.

Tablo 3.41: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*8*	*45,47*	*5,684*	*3,932*	*0,002*	*46,6*
Sıkıştırma oranı	2	22,29	11,144	7,709	0,002	22,9
Pres Sıcaklığı	2	21,81	10,904	7,543	0,002	22,4
Pres Süresi	2	0,73	0,363	0,251	0,779	0,7
Yapıştırıcı Miktarı	2	0,65	0,324	0,224	0,800	0,7
Hata	36	52,04	1,446			53,4
Düzeltilmiş Toplam	*44*	*97,51*				*100,0*

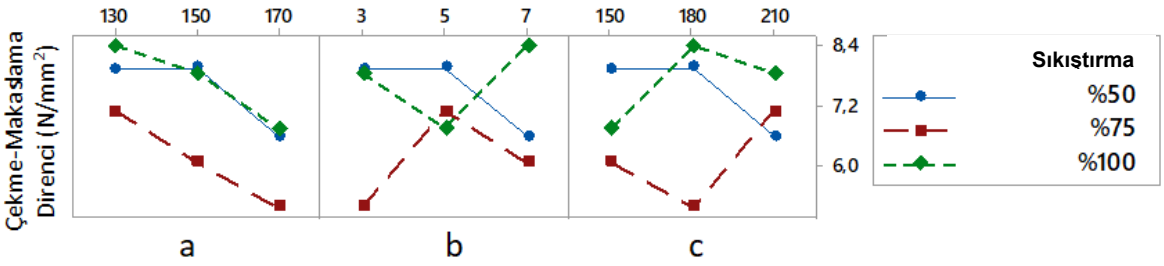
SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT = 0,466

Tablo 3.42: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Çekme Makaslama Direnci (N/mm^2)					
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**		**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**		**1**	**2**
100	7,66		130	7,82	
50	7,51		150	7,30	
75		6,10	170		6,15
Kontrol		5,28	Kontrol		5,28
Sig.	0,768	0,118	Sig.	0,313	0,097
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**		**Yapıştırıcı Miktarı (g/m^2)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**		**1**	**2**
5	7,27		180	7,18	
7	7,02		210	7,17	
3	6,98		150	6,92	
Kontrol		5,28	Kontrol		5,28
Sig.	0,605	1,000	Sig.	0,640	1,000

Duncan, p≤0,05

FF yapıştırıcısı kullanılan levhaların çekme makaslama direnci için ikili etkileşim grafikleri incelendiğinde, sıkıştırma oranının ile pres süresi ve yapıştırıcı miktarı arasında etkileşimden söz edilebilir (Şekil 3.32).



Şekil 3.32: FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci üzerine sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi ve c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

3.6.2.4. Yüzeye Dik Çekme Direnci

Tablo 3.43: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen yTTK ve kontrol numunelerinin yüzeye dik çekme direnci.

Deney Grubu	Sıkıştırma Oranı (%)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres süresi (dk.)	Yapıştırıcı Miktarı** (g/m²)	Yüzeye Dik Çekme Direnci (N/mm²)					
					ÜF			FF		
					x̄	S	S/G	x̄	S	S/G
1	50	130	3*	130, 150	1,25	0,20	1,71	1,36	0,11	2,62
2	50	150	5*	180, 210	1,47	0,29	2,94	1,68	0,11	4,46
3	50	170	7*	150, 180	1,22	0,03	1,73	1,57	0,30	5,46
4	75	130	5*	150, 180	1,51	0,17	3,49	1,75	0,17	4,75
5	75	150	7*	130, 150	1,02	0,13	0,02	1,68	0,06	4,47
6	75	170	3*	180, 210	1,51	0,16	3,48	1,64	0,08	4,29
7	100	130	7*	180, 210	1,21	0,18	3,30	1,51	0,16	5,23
8	100	150	3*	150, 180	1,27	0,05	2,03	1,54	0,06	3,72
9	100	170	5*	130, 150	0,85	0,04	-1,38	1,38	0,15	2,66
K	0 (8)	110, 140**	10	150, 180	1,15	-	-	1,61	-	-

x̄: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, S/G: Sinyal/Gürültü oranı
* : Sıkışmanın gerçekleştiği süre (1+10 dk. ön presleme + ısınma/kürlenme süreleri dahil değildir).
** : Sırasıyla ÜF ve FF için kullanılan yapıştırıcı miktarı

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen deneme levhaları ve kontrol grubuna ait yüzeye dik çekme direnci değerleri Tablo 3.43'te verilmiştir.

Kullanılan yapıştırıcı türünün yTKK'nin yüzeye dik çekme direnci üzerine etkisini görmek amacıyla uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda, FF yapıştırıcısı kullanılarak

üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci, ÜF yapıştırıcısı kullanılanlara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur.

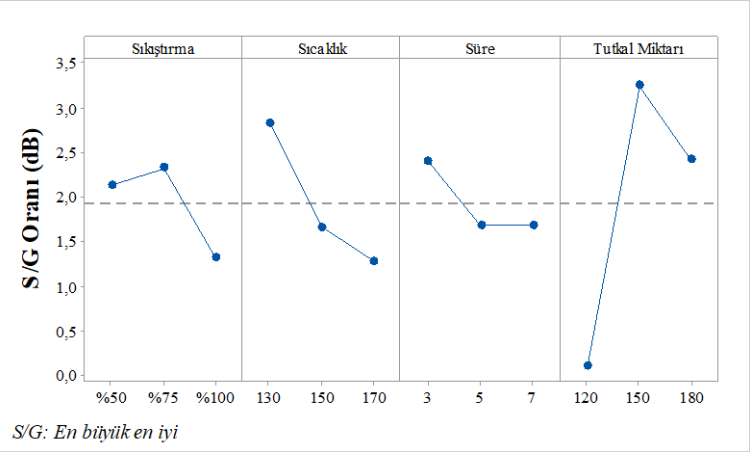
ÜF yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Yüzeye Dik Çekme Direnci

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, yüzeye dik çekme direnci üzerine en etkili üretim faktörlerinin sırasıyla yapıştırıcı miktarı, pres sıcaklığı, sıkıştırma oranı ve pres süresi olarak belirlenmiştir (Tablo 3.44).

Tablo 3.44: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	2,13	2,83	2,41	0,11
2	2,33	1,67	1,68	3,24
3	1,31	1,28	1,68	2,42
Fark (max-min)	1,02	1,55	0,72	3,13
Sıralama	3	2	4	1

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, ÜF kullanılan yTKK'lerin yüzeye dik çekme direncini en büyük yapan faktör kombinasyonunun %75 sıkıştırma oranı, 130 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 150 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.33). Uygulanan pres sıcaklığı ile yüzeye dik çekme direnci arasında doğrusal bir ilişkiden söz etmek mümkünken, diğer faktörlerde bu doğrusallık söz konusu değildir.



Şekil 3.33: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 3.45), yapıştırıcı miktarı ve sıkıştırma oranının yTKK levhaların yüzeye dik çekme direnci üzerinde istatistiksel olarak önemli fark oluşturduğu görülmüştür. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak, en yüksek etkiye sahip üretim faktörünün yapıştırıcı miktarı (%38,9) olduğu belirlenmiştir. Bunu %16,4'lük etki oranıyla sıkıştırma oranının takip etmiştir.

Tablo 3.45: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	**SD**	**KT (Tip 3)**	**KO**	**F-değeri**	**p-değeri**	**Etki Oranı (%)**
Düzeltilmiş Model	*8*	*1,184*	*0,15*	*5,927*	*0,001*	*73,6*
Sıkıştırma oranı	2	0,263	40,37	5,268	0,017	16,4
Pres Sıcaklığı	2	0,068	0,13	1,363	0,282	4,2
Pres Süresi	2	0,153	0,03	3,053	0,074	9,5
Yapıştırıcı Miktarı	2	0,626	0,08	12,536	0,000	38,9
Hata	17	0,425	0,31			26,4
Düzeltilmiş Toplam	*25*	*1,609*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, $p \leq 0,05$, KT = 0,736

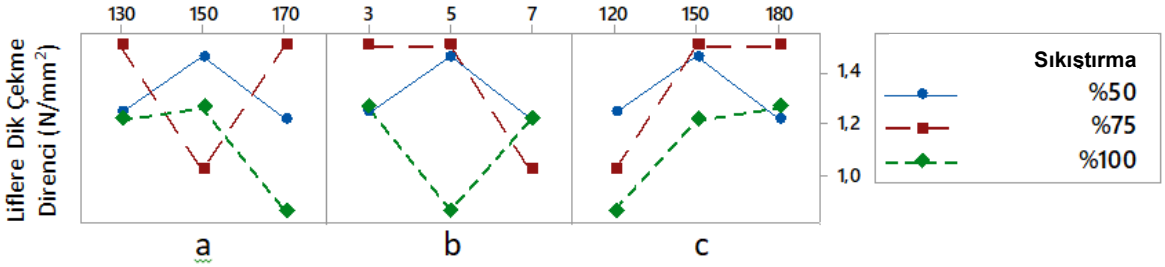
Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.46). Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek yüzeye dik çekme direnci, sıkıştırma oranı %75 olduğunda elde edilmiştir. Bunu sırasıyla %50 sıkıştırılan yTTK, kontrol grubu ve %100 sıkıştırılan yTKK levhalar takip etmiştir. Kontrol grubu ile %50 ve %100 oranında sıkıştırılan levhaların yüzeye dik çekme dirençleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Diğer yandan, 150 g/m^2'lik yapıştırıcı uygulanan yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci, kontrol grubu levhalara göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek bulunmuştur.

İkili etkileşim grafiği incelendiğinde, sıkıştırma oranı ile pres sıcaklığı ve pres süresi arasında etkileşimin varlığından söz edilebilecekken, sıkıştırma oranı ile yapıştırıcı miktarı arasında zayıf etkileşim söz konusudur (Şekil 3.34).

Tablo 3.46: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme dirençleri için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Yüzeye Dik Çekme Direnci (N/mm²)							
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**			**Pres Süresi (ºC)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**		**1**		
75	1,35			130	1,34		
50	1,31	1,31		150	1,25		
Kontrol		1,15	1,15	170	1,20		
100			1,10	Kontrol	1,15		
Sig.	0,689	0,085	0,542	Sig.	0,065		
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**			**Yapıştırıcı Miktarı (g/m²)**	**Homojenlik Grupları**		
	1				**1**	**2**	**3**
3	1,34			150	1,42		
5	1,28			180	1,33	1,33	
Kontrol	1,15			Kontrol		1,15	1,15
7	1,14			120			1,04
Sig.	0,051			Sig.	0,334	0,053	0,213

Duncan, p≤0,05



Şekil 3.34: ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci üzerine sıkıştırma oranı ile pres sıcaklığı (a), pres süresi (b) ve yapıştırıcı oranı (c) ikili karşılaştırmaları.

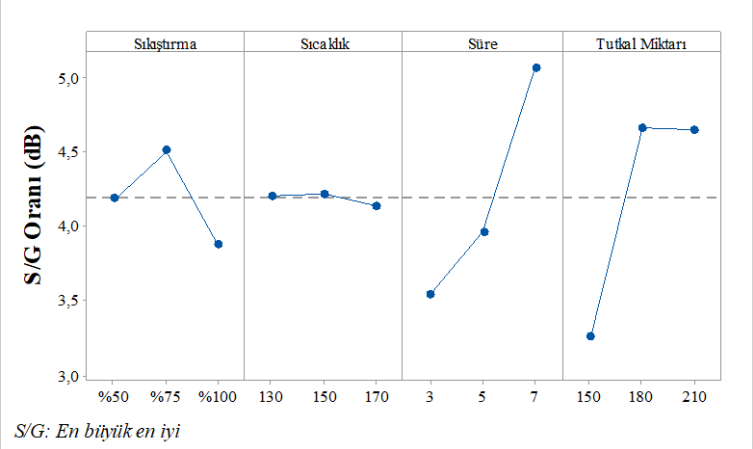
FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Eğilme Direnci

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen levhaların S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, yüzeye dik çekme direnci üzerine en etkili üretim faktörlerinin sırasıyla pres süresi, yapıştırıcı miktarı, sıkıştırma oranı ve pres sıcaklığı olduğu görülmüştür (Tablo 3.47).

Yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde ise, FF kullanılan yTKK'lerin yüzeye dik çekme direncini en yüksek yapan faktör seviye kombinasyonu %75 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 180 g/m² yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir (Şekil 3.35). Yüzeye dik çekme direnci ile pres süresi ve yapıştırıcı miktarı arasında doğrusal bir ilişkinin varlığından söz etmek mümkündür.

Tablo 3.47: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	4,18	4,20	3,54	3,25
2	4,51	4,22	3,96	4,66
3	3,87	4,14	5,06	4,64
Fark (max-min)	0,63	0,08	1,52	1,41
Sıralama	3	4	1	2



Şekil 3.35: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin yüzeye dik çekme direnci için S/G oranı ana etki grafiği.

Çok faktörlü varyans analizi sonuçlarına göre (Tablo 3.48), sıkıştırma oranı ve yapıştırıcı miktarının yüzeye dik çekme direnci üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür. Yüzeye dik çekme direnci üzerine en etkili faktör %28,2 ile sıkıştırma oranı olurken, bunu %15,9 etki oranıyla yapıştırıcı miktarı olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.48: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*8*	*0,437*	*0,055*	*2,887*	*0,034*	*59,1*
Sıkıştırma oranı	2	0,208	0,104	5,510	0,015	28,2
Pres Sıcaklığı	2	0,053	0,027	1,403	0,275	7,2
Pres Basıncı	2	0,038	0,019	1,008	0,387	5,2
Yapıştırıcı Miktarı	2	0,117	0,059	3,101	0,073	15,9
Hata	16	0,303	0,019			40,9
Düzeltilmiş Toplam	*24*	*0,739*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT = 0,593

Çok faktörlü varyans analizi sonuçları ile Taguchi S/G oranı yanıt tablosu karşılaştırıldığında farklı sonuçların elde edildiği gözlemlenmektedir. Faktör etki sıralamasında oluşan bu fark, varyans analizinde ortalama değerlerin, Taguchi analizinde ise ortalama değerlerin yanında standart sapmanın da hesaplamalarda dikkate alınmasından kaynaklanmaktadır (Unal ve Dean, 1991).

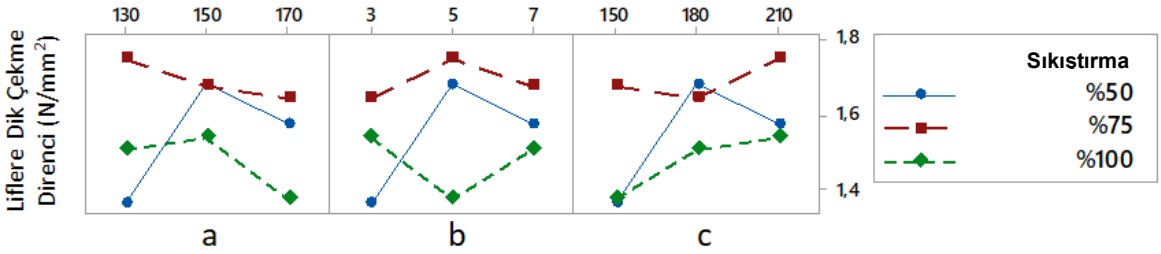
Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan deneme gruplarının kontrol levhaları ile kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 3.49). Sonuç olarak pres sıcaklığı, pres süresi ve yapıştırıcı miktarı faktör seviyeleri ile kontrol numunelerinin yüzeye dik çekme dirençleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

FF kullanılarak üretilen levhalarda, sıkıştırma oranı parametresi ile pres sıcaklığı ve pres süresi arasında ikili etkileşim olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.36). Bu etkileşim, özellikle %50 ile %100 sıkıştırma oranı seviyesinde gözlemlenmektedir. Sıkıştırma oranı ile yapıştırıcı miktarı arasında ise zayıf bir etkileşimden söz etmek mümkündür.

Tablo 3.49: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Yüzeye Dik Çekme Direnci (N/mm2)				
Sıkıştırma Oranı (%)	**Homojenlik Grupları**		**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**
	1	**2**		**1**
75	1,69		150	1,64
Kontrol	1,61	1,61	Kontrol	1,61
50	1,55	1,55	130	1,54
100		1,49	170	1,53
Sig.	0,171	0,142	Sig.	0,245
Pres Süresi (dk.)	**Homojenlik Grupları**		**Yapıştırıcı Miktarı (g/m^2)**	**Homojenlik Grupları**
	1			**1**
Kontrol	1,61		210	1,63
5	1,61		180	1,63
7	1,60		Kontrol	1,61
3	1,52		150	1,47
Sig.	0,354		Sig.	0,099

Duncan, $p \leq 0,05$



Şekil 3.36: FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin yüzeye dik çekme direnci üzerine sıkıştırma oranı ile pres sıcaklığı (a), pres süresi (b) ve yapıştırıcı oranı (c) ikili karşılaştırmaları.

3.6.2.5. Mekanik Özelliklerinin Gri İlişkisel Analiz ile Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında, belirlenen 4 üretim parametresinin 3 farklı seviyesine göre üretilen yTKK'lerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme makaslama direnci ve yüzeye dik çekme direnci özelliklerine göre en ideal üretim koşulları, bir ÇKKV yöntemi olan GİA uygulanarak belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalara iki farklı yapıştırıcı türü (ÜF ve FF) için ayrı ayrı yürütülmüştür.

ÜF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Performans Kriterlerinin Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

GİA'nın ilk aşamasında ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların performans kriteri olarak belirlenen mekanik özellikleri ve bunların en yüksek seviyeleri Tablo 3.50'de gösterilmiştir. Performans kriteri olarak belirlenen mekanik özellikler için en yüksek değer en iyi sonuç olarak ele alınmıştır. Yani referans serisi, ölçülen her bir mekanik özelliğin en yüksek değeri olarak kabul edilmiştir.

GİA'nın 2. aşamasında ölçüm değerlerinin en yükseği 1, en düşüğü ise 0 olacak şekilde normalize edilmiştir. Bu değerlerin gösterildiği normalizasyon matrisi Tablo 3.50'de verilmiştir. Veriler en yüksek en iyi prensibine dayanarak Eşitlik 9'a göre hesaplanmıştır.

GİA'nın 3. aşamasında normalize edilen değerlerle, referans serisi arasındaki fark Eşitlik 13'e göre belirlenmiştir. Analizin 4. aşamasında ise uzaklık değerleri kullanılarak Eşitlik 16'ya göre gri ilişkisel katsayı değerleri hesaplanmış. GİA'nın 5. aşamada ise tüm performans kriterlerinin gri ilişkisel katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak her bir

deneme grubu için gri ilişkisel derece hesaplanmış (Eşitlik 17) ve en büyük en iyi olacak şekilde sıralanmıştır. Hesaplanan fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve sıralama sonuçları Tablo 3.51'de gösterilmiştir.

Tablo 3.50: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için referans serisi ve normalizasyon matrisi.

Deney Grubu	Mekanik Özellikler (N/mm^2)				Normalizasyon Matrisi			
	ED	EEM	ÇMD	YDÇD	ED	EEM	ÇMD	YD ÇD
1	122,56	14121,75	4,15	1,25	1,00	1,00	0,00	0,60
2	103,52	11475,60	6,77	1,47	0,63	0,66	0,67	0,93
3	104,11	11926,00	5,39	1,22	0,64	0,72	0,31	0,56
4	88,06	10429,00	5,25	1,51	0,33	0,52	0,28	1,00
5	97,52	10425,00	4,68	1,02	0,51	0,52	0,14	0,25
6	119,66	10821,00	5,23	1,51	0,94	0,57	0,27	1,00
7	78,97	7721,80	5,63	1,21	0,15	0,18	0,38	0,55
8	83,87	9391,20	5,33	1,27	0,25	0,39	0,30	0,62
9	71,16	6361,83	8,07	0,85	0,00	0,00	1,00	0,00
Referans Serisi	122,56	14121,75	8,07	1,51	1,00	1,00	1,00	1,00

ED: eğilme direnci, EEM: eğilmede elastikiyet modülü, ÇMD: çekme makaslama direnci, YDÇD: yüzeye dik çekme direnci

Tablo 3.51: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve performans sıralaması.

Deney Grubu	Fark Değer				Gri İlişkisel Katsayı				Gri İlişkisel Derece	Sıra
	ED	EEM	ÇMD	YDÇD	ED	EEM	ÇMD	YDÇD		
1	0,00	0,00	1,00	0,40	1,00	1,00	0,33	0,55	0,722	1
2	0,37	0,34	0,33	0,07	0,57	0,59	0,60	0,88	0,662	3
3	0,36	0,28	0,69	0,44	0,58	0,64	0,42	0,53	0,544	5
4	0,67	0,48	0,72	0,00	0,43	0,51	0,41	1,00	0,587	4
5	0,49	0,48	0,86	0,75	0,51	0,51	0,37	0,40	0,446	8
6	0,06	0,43	0,73	0,00	0,90	0,54	0,41	1,00	0,711	2
7	0,85	0,82	0,62	0,45	0,37	0,38	0,45	0,52	0,429	9
8	0,75	0,61	0,70	0,38	0,40	0,45	0,42	0,57	0,459	7
9	1,00	1,00	0,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,500	6

ED: eğilme direnci, EEM: eğilmede elastikiyet modülü, ÇMD: çekme makaslama direnci, YDÇD: yüzeye dik çekme direnci

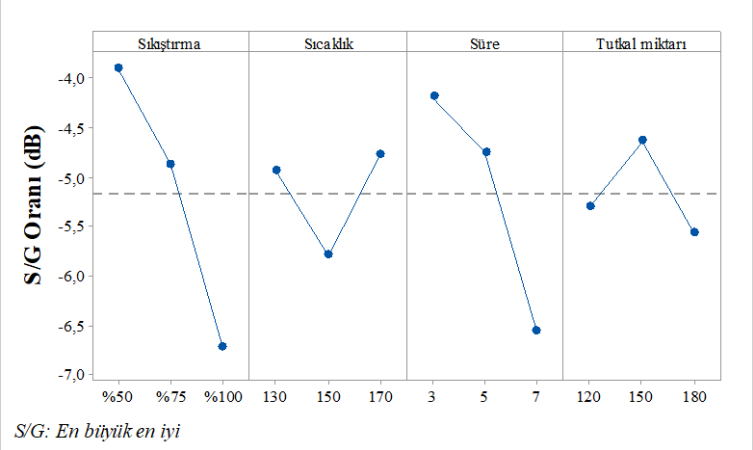
Uygulanan GİA neticesinde hesaplanan gri ilişkisel derece değerleri L9 ortogonal dizine göre faktör ve seviyeleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ÜF

yapıştırıcısı kullanılan yTKK levhaların çoklu performansı üzerine en etkili faktör sıkıştırma oranı olurken, bunu sırasıyla pres süresi, yapıştırıcı miktarı ve pres sıcaklığı takip etmiştir (Tablo 3.52).

Tablo 3.52: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	-3,905	-4,933	-4,184	-5,288
2	-4,865	-5,783	-4,743	-4,63
3	-6,706	-4,76	-6,549	-5,558
Fark (max-min)	2,801	1,023	2,365	0,927
Sıralama	1	3	2	4

S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, çoklu performansı için en ideal faktör seviyeleri %50 sıkıştırma oranı, 170 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 150 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G ana etki grafiği.

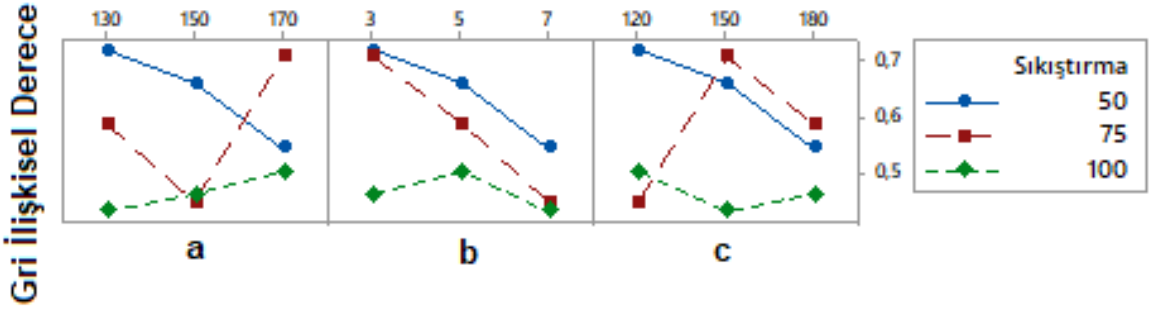
ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin mekanik özelliklerinin çoklu olarak değerlendirilmesi ile elde edilen gri ilişkisel derece değerlerine çok faktörlü varyans analizi uygulanarak, üretim faktörlerinin çoklu performans üzerine etki düzeyi hesaplanmış ve Tablo 3.53'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre sıkıştırma oranı ve pres süresi sırasıyla %48 ve %37,7'lik etki oranlarıyla çoklu performans üzerinde önemli düzeyde etkiye sahipken, pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarının etkisinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.53: ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT	Etki Oranı (%)
Sıkıştırma oranı	2	0,049899	48,0%
Pres Sıcaklığı	2	0,007153	6,9%
Pres Süresi	2	0,039199	37,7%
Yapıştırıcı Miktarı	2	0,007661	7,4%
Hata	-	-	-
Toplam	8	0,103912	100,0%

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, p≤0,05

ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çoklu performansı için ikili etkileşim grafikleri incelendiğinde, sıkıştırma oranının ile pres sıcaklığı ve yapıştırıcı miktarı arasında özellikle %75'lik sıkıştırma oranlarında etkileşim tespit edilmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38: ÜF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

FF Yapıştırıcısı Kullanılarak Üretilen yTKK Levhaların Performans Kriterlerinin Gri İlişkisel Analiz Yöntemine Göre Değerlendirilmesi

GİA'nın ilk aşamasında, FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların performans kriteri olarak belirlenen mekanik özellikleri ve bunların en yüksek seviyeleri Tablo 3.54'te gösterilmiştir. Performans kriteri olarak belirlenen mekanik özellikler için en yüksek değer en iyi sonuç olarak ele alınmıştır. Yani referans serisi, ölçülen her bir mekanik özelliğin en yüksek değeri olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.54: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için referans serisi ve normalizasyon matrisi.

Deney Grubu	Mekanik Özellikler (N/mm^2)				Normalizasyon Matrisi			
	ED	EEM	ÇMD	YDÇD	ED	EEM	ÇMD	YDÇD
1	87,95	10643,00	7,96	1,36	0,12	0,41	0,87	0,00
2	96,87	11071,40	7,98	1,68	0,44	0,55	0,87	0,82
3	112,77	12403,25	6,58	1,57	1,00	1,00	0,44	0,55
4	88,21	10657,40	7,09	1,75	0,13	0,41	0,60	1,00
5	107,87	11798,20	6,06	1,68	0,83	0,80	0,28	0,82
6	87,80	10026,60	5,14	1,64	0,12	0,20	0,00	0,73
7	86,91	10388,80	8,40	1,51	0,09	0,32	1,00	0,37
8	93,09	11207,80	7,85	1,54	0,31	0,60	0,83	0,46
9	84,42	9440,80	6,73	1,38	0,00	0,00	0,49	0,04
Referans Serisi	112,77	12403,25	8,40	1,75	1,00	1,00	1,00	1,00

ED: eğilme direnci, EEM: eğilmede elastikiyet modülü, ÇMD: çekme makaslama direnci, YDÇD: yüzeye dik çekme direnci

Tablo 3.55: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK levhaların çoklu performansları için fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve performans sıralaması.

Deney Grubu	Fark Değer				Gri İlişkisel Katsayı				Gri İlişkisel Derece	Sıra
	ED	EEM	ÇMD	YDÇD	ED	EEM	ÇMD	YDÇD		
1	0,88	0,59	0,13	1,00	0,36	0,46	0,79	0,33	0,485	7
2	0,56	0,45	0,13	0,18	0,47	0,53	0,79	0,74	0,632	3
3	0,00	0,00	0,56	0,45	1,00	1,00	0,47	0,53	0,750	1
4	0,87	0,59	0,40	0,00	0,37	0,46	0,55	1,00	0,595	4
5	0,17	0,20	0,72	0,18	0,74	0,71	0,41	0,73	0,649	2
6	0,88	0,80	1,00	0,27	0,36	0,38	0,33	0,65	0,432	8
7	0,91	0,68	0,00	0,63	0,35	0,42	1,00	0,44	0,555	5
8	0,69	0,40	0,17	0,54	0,42	0,55	0,75	0,48	0,549	6
9	1,00	1,00	0,51	0,96	0,33	0,33	0,49	0,34	0,376	9

ED: eğilme direnci, EEM: eğilmede elastikiyet modülü, ÇMD: çekme makaslama direnci, YDÇD: yüzeye dik çekme direnci

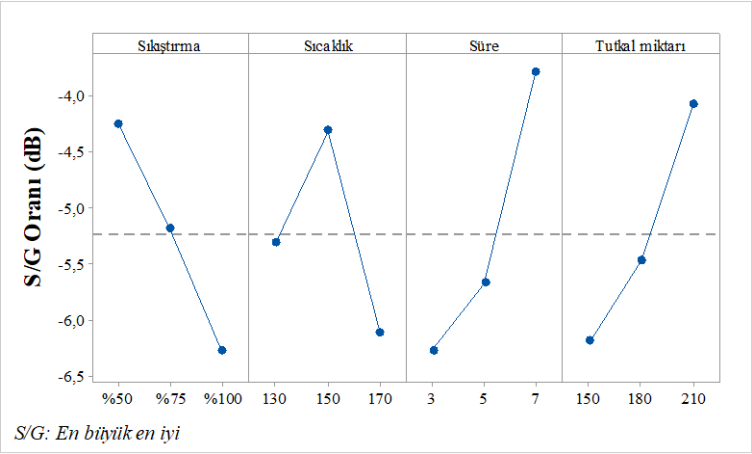
GİA'nın 3. aşamasında normalize edilen değerlerle, referans serisi arasındaki fark Eşitlik 13'e göre belirlenmiştir. Analizin 4. aşamasında ise uzaklık değerleri kullanılarak Eşitlik 16'ya göre gri ilişkisel katsayı değerleri hesaplanmış. GİA'nın 5. aşamada ise tüm performans kriterlerinin gri ilişkisel katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak her bir deneme grubu için gri ilişkisel derece hesaplanmış (Eşitlik 17) ve en büyük en iyi olacak şekilde sıralanmıştır. Hesaplanan fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve sıralama sonuçları Tablo 3.55'te gösterilmiştir.

Uygulanan GİA neticesinde hesaplanan gri ilişkisel derece değerleri L9 ortogonal dizine göre faktör ve seviyeleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK levhaların çoklu performansı üzerine en etkili faktör pres süresi olurken, bunu sırasıyla sıkıştırma oranı, yapıştırıcı miktarı ve pres sıcaklığı takip etmiştir (Tablo 3.56).

Tablo 3.56: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Sıkıştırma oranı	Pres sıcaklığı	Pres Süresi	Yapıştırıcı Miktarı
1	-4,253	-5,3	-6,26	-6,18
2	-5,188	-4,315	-5,666	-5,46
3	-6,273	-6,099	-3,788	-4,074
Fark (max-min)	2,021	1,783	2,471	2,106
Sıralama	3	4	1	2

Bu sonuçlara göre en yüksek değeri veren faktör seviyeleri %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması en ideal faktör seviyelerini göstermektedir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTTK'lerin çoklu performansları için S/G ana etki grafiği.

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin mekanik özelliklerinin çoklu olarak değerlendirilmesi ile elde edilen gri ilişkisel derece değerlerine çok faktörlü varyans analizi uygulanarak, üretim faktörlerinin çoklu performans üzerine etki düzeyi hesaplanmış ve Tablo 3.57'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre pres süresi %40 oranla çoklu performans üzerinde en etkili sahipken, yapıştırıcı miktarının ve sıkıştırma oranı faktörleri %24

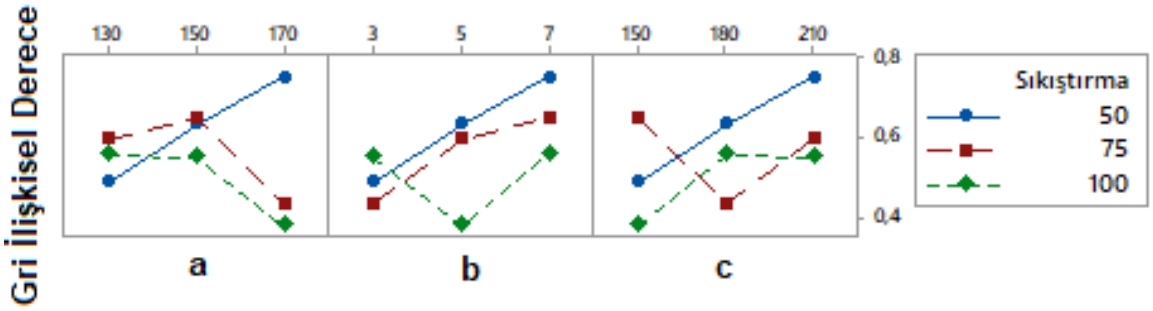
oranıyla önemli oranda etkiye sahiptir. Pres sıcaklığının ise %12 oranıyla en düşük etkiye sahip faktör olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.57: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT	Etki Oranı (%)
Sıkıştırma oranı	2	0,02504	23,52%
Pres Sıcaklığı	2	0,01316	12,36%
Pres Süresi	2	0,04223	39,67%
Yapıştırıcı Miktarı	2	0,02603	24,45%
Hata	-	-	-
Toplam	8	0,10646	100,0%

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, p≤0,05

FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen yTKK'lerin çoklu performansı için sıkıştırma oranı ile diğer parametreler arasındaki ikili etkileşim grafikleri incelendiğinde, pres sıcaklığı için %50 sıkıştırma oranının, pres süresi için %100 sıkıştırma oranının, yapıştırıcı miktarı için ise %75'lik sıkıştırma oranının diğerlerinden farklılaştığı görülmüştür (Şekil 3.40).



Şekil 3.40: FF yapıştırıcısı ile üretilen yTKK'lerin çoklu performansları için sıkıştırma oranı ile a) pres sıcaklığı, b) pres süresi c) yapıştırıcı oranı ikili karşılaştırmaları.

3.6.2.6. Doğrulama Deneyi

Uygulanan Taguchi tabanlı GİA'ya göre çoklu performansı en iyi yapan faktör seviyelerine dikkate alınarak yTKK doğrulama levhası üretilmiştir ve her bir deney için 3'er numune üretilmiştir. Doğrulama deney sonuçları ile Taguchi yöntemine göre mekanik özelliklerin tahmini değerleri (Eşitlik 4 ve 5'e göre hesaplanmıştır) Tablo 3.58'de gösterilmiştir. yTKK levhaların performans kriterleri olarak belirlenen ED, EEM, ÇMD ve YDÇD için güven aralığı (GA) Tablo 3.24, 3.27, 3.31, 3.34, 3.38, 3.41, 3.45 ve 3.48'deki

veriler ile Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmıştır. GA ve doğrulama deneyi sonucu elde edilen değerlerin değişim aralığı Tablo 3.58'de gösterilmiştir.

Tablo 3.58: GİA sonucu belirlenen en ideal üretim koşullarına göre üretilen yTKK levhaların doğrulama deney sonuçları ve Taguchi metoduna göre tahmin değerleri.

Deney Grubu		**ED**	**EEM**	**ÇMD**	**YDÇD**
		N/mm^2			
ÜF	Güven Aralığı	12,58	1792	1,72	0,95
	Değişim Aralığı	115,39≤ ≤140,55	10978≤ ≤14562	3,89≤ ≤7,33	0,53≤ ≤2,43
	Doğrulama	123,41	11059	9,40	1,42
	Tahmin	127,97	12770	5,61	1,48
	Hata Oranı (%)	-3,56	-13,40	67,56	-4,05
	İyileşme Oranı (%)	+49 (82,77)	+8 (10222)	+71 (5,50)	+23 (1,15)
FF	Güven Aralığı	10,71	1081	1,92	0,24
	Değişim Aralığı	106,34≤ ≤127,76	12058≤ ≤14220	5,81≤ ≤9,65	1,43≤ ≤1,91
	Doğrulama	117,41	12566	8,27	1,83
	Tahmin	117,05	13139	7,73	1,67
	Hata Oranı (%)	-3,08	-4,36	+6,99	+9,58
	İyileşme Oranı (%)	+55 (75,74)	+20 (10440)	+57 (5,28)	+14 (1,61)

Parantez içinde kıyaslamada kullanılan kontrol grubu Kavak TKK mekanik özellikleri belirtilmektedir.

Bu sonuçlara göre her iki yapıştırıcı türü için doğrulama deneyi sonucu elde edilen ED, EEM ve YDÇD değerleri %95 güven düzeyine göre belirlenen değişim aralığı içinde yer almaktadır. Sadece ÇMD değeri sınır değerlerin üstünde bulunmuştur. Buradan yola çıkarak, Taguchi tabanlı GİA ile yTKK'lerin üretim parametrelerinin güvenle ve daha düşük maliyetlerle tahmin edilebileceği söylenebilir.

3.7. Sonuçlar

Çalışmanın bu aşamasında, yoğunlaştırma ve TKK üretim proseslerini birleştirerek yTKK üretilebilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, yTKK performans (fiziksel ve mekanik) özelliklerini etkileyen üretim parametreleri (sıkıştırma oranı, pres sıcaklığı, pres basıncı ve kullanılan yapıştırıcı miktarı) Taguchi yöntemine göre optimize edilmiştir. Son olarak yTKK'lerin mekanik özellikleri (ED, EEM, ÇMD ve YDÇD) dikkate alınarak çoklu performansı yani tüm mekanik özellikleri aynı anda en iyi yapan parametre seviyeleri GİA uygulanarak belirlenmiştir.

Kontrol grubu ile kıyaslandığında, üretilen yTKK'lerin yoğunluk değerlerinde anlamlı artış belirlenmiştir. Diğer yandan, kullanılan yapıştırıcı türünün yoğunluk ve sıkışma oranı

üzerine anlamlı bir etkisi görülmemiştir. Beklenenin aksine, uygulanan sıkıştırma oranı ile yTKK'lerin yoğunluk ve sıkışma oranları arasında doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. Bu durum, sıkıştırma oranının artmasıyla üretilen levhalarda gerçekleşen şiddetli geri esnemeye atfedilebilir.

Üretilen yTKK levhaların iç katmanları, yüzey katmanlara kıyasla daha fazla yoğunlaşmıştır. Bu durum orta katmanlarda rutubet miktarının daha yüksek olması ve buna bağlı olarak odunun amorf bileşenlerinin (hemiselüloz ve lignin) daha fazla yumuşaması, dolayısıyla da daha fazla yoğunlaşmasından (sıkışmasından) kaynaklanıyor olabilir.

Geri esneme oranı dikkate alındığında, kullanılan yapıştırıcı türünün anlamlı bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir. Geri esneme oranı üzerine en etkili faktör sıkıştırma oranı olurken, aralarında doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Özellikle %75 ve %100 oranındaki sıkıştırmalarda, geri esneme oranında şiddetli bir artış gözlemlenmektedir. Benzer şekilde %75 ve %100 oranında sıkıştırılan malzemelerde, pres açıldığında önemli düzeyde anlık geri esneme gözlemlenmiştir. Bu durum malzeme içinde oluşan iç gerilmeler ve yüksek sıcaklık neticesinde oluşan buhar basıncından kaynaklanıyor olabilir. Buna istinaden, yTKK üretimi için %75 ve %100 sıkıştırma oranlarının uygun olmadığı söylenebilir.

FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'ler, ÜF kullanılanlara kıyasla suda bekletme sonucu daha düşük oranda kalınlığına şişmiştir. ÜF kullanılan yTKK'lerde 2 saat suda bekletme sonrasında KŞO üzerine en etkili faktör sıkıştırma oranı olurken, sonrasındaki süreçte yapıştırıcı miktarı en önemli faktör olmaktadır. FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde ise tüm seviyelerde pres sıcaklığı en önemli faktör olarak ön plana çıkmaktadır.

Kullanılan yapıştırıcı türünün mekanik özellikler üzerine etkisi incelendiğinde, FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde, ÜF kullanılanlara kıyasla daha yüksek ÇMD ve YDÇD elde edilmiştir. ED ve EEM açısından ise anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin ED ve EEM üzerine en etkili üretim parametreleri sırasıyla sıkıştırma oranı ve pres süresidir. FF kullanılanlar için ise pres süresi en etkili faktör olarak belirlenmiş olup bunu sıkıştırma oranı takip etmiştir. İki yapıştırıcı türü

içinde %50 sıkıştırma oranı en iyi sonucu verirken, ÜF için 3 dakika FF için ise 7 dakika pres süresi uygulandığında daha yüksek ED ve EEM elde edilmiştir.

ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin ÇMD üzerine en etkili üretim faktörü pres süresi, FF yapıştırıcısı kullanılanlarda ise sıkıştırma oranı olduğu belirlenmiştir. ÜF kullanılanlarda en yüksek ÇMD %100 sıkıştırılan yTKK'lerde, FF kullanılanlarda %50 ve %100 sıkıştırılanlarda elde edilmiştir.

ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin YDÇD üzerine en etkili üretim faktörünün yapıştırıcı miktarı olduğu belirlenmiştir. FF yapıştırıcısı kullanılanlarda ise en etkili faktörün pres süresi olurken yapıştırıcı miktarı bunu takip etmiştir.

Uygulanan GİA sonucunda, çoklu performans üzerine en etkili faktörler ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde sırasıyla sıkıştırma oranı ve pres süresi olurken, FF yapıştırıcısı kullanılanlarda pres süresi ve sıkıştırma oranı olarak belirlenmiştir.

Doğrulama deneyleri sonucunda, ED, EEM ve YDÇD değerleri %95 güven düzeyine göre belirlenen değişim aralığı içinde yer almaktadır. Sadece ÇMD değerleri sınır değerlerin üstünde bulunmuştur. Yani Taguchi tabanlı GİA kullanılarak yTKK'lerin üretim parametreleri güvenle ve daha düşük maliyetlerle tahmin edilebileceği söylenebilir.

Sonuç olarak %75 ve %100 oranında sıkıştırılan yTKK'lerde çok yüksek oranda geri esneme gözlemlenmiş, buna bağlı olarak da hedeflenen sıkışma elde edilememiştir. Bu durum %75 ve %100 sıkıştırma oranlarının mevcut şartlarda üretim açısından uygun olmadığına işaret etmektedir. Üretimde soğutmalı pres kullanımı ile presleme esnasında sıcaklık etkisiyle malzeme içinde oluşan buhar basıncının düşürülebileceği ve daha yüksek oranlarda sıkıştırma işleminin uygulanabileceği düşünülmektedir. Performans kriteri olarak belirlenen ED, EEM, ÇMD ve YDÇD'ni aynı anda en iyi yapan yani çoklu performans için en önemli üretim parametrelerinin sıkıştırma oranı ve pres süresi olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, yTKK için en uygun ve en iyi performansı veren üretim parametre seviyeleri ise ÜF yapıştırıcısı kullanılanlar için %50 sıkıştırma oranı, 130 veya 170 ºC pers sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 150 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir. FF kullanılan yTKK'ler için ise %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pers sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir.

Uygulanan yöntemle kavak TKK'lerin ED'nde %49-55, ÇMD'nde ise %57-71 oranında iyileşme elde edilmiştir. EEM ve YDÇD değerlerindeki iyileşme ise %8-23 ile sınırlı düzeyde kalmıştır. Sonuç olarak, mekanik özelliklerde sağladığı iyileşmenin yanında üretimde sağladığı maliyet ve süre avantajları da dikkate alındığında birleştirilmiş yöntemle yTKK üretiminin uygun olduğu söylenebilir.

BÖLÜM 4

FARKLI ÜRETİM PARAMETRELERİNİN BÜKÜLMÜŞ YOĞUNLAŞTIRILMIŞ TABAKALI KAPLAMA KERESTE'NİN (byTKK) MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bu bölümde, uygulama aşamalarındaki benzerliklerden dolayı bükme, TM yoğunlaştırma ve TKK üretimi birleştirilerek kavak kaplamalardan bükülmüş, yoğunlaştırılmış tabakalı kaplama kereste (byTKK) üretilebilirliği incelenmiştir. Çalışmada üretilen byTKK'lerin diyagonal çekme ve diyagonal basma dayanımları ile rijitliklerini aynı anda optimize eden üretim parametreleri Taguchi deney tasarım yöntemi ile bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olan gri ilişkisel analiz (GİA) uygulanarak belirlenmiştir.

4.1. Materyal

Bu bölümde, byTKK üretiminde kullanılan malzemeler ile ilgili gerekli bilgiler özet halinde açıklanmıştır.

4.1.1. Rezistans Isıtmalı Bükme Pres Kalıplarının Üretimi

Ağaç işleri endüstrisinde özellikle sandalye, koltuk ve masa imalatında sıklıkla kullanılan bükülmüş tabakalı kaplama kereste (bTKK) üretiminde sağladığı birçok avantajdan dolayı radyo (yüksek) frekans presler kullanılmaktadır. Ancak, uygulanan bu sistemde ağaç malzeme değil yüksek oranda su ihtiva eden yapıştırıcı katmanı ısınmakta ve hızla sertleşmektedir. Ağaç malzemedeki sıcaklık artışı ise ancak 70-80 ºC düzeyine ulaşabilmektedir. Yoğunlaştırma işleminde ise ağaç malzemenin amorf bileşenlerinin (hemiselüloz ve lignin) yumuşayabilmesi için sıcaklığın 130-140 ºC'nin üzerine çıkması gerekmektedir. Bu maksatla mevcut 180 ton kapasiteli hidrolik pres modifiye edilmiştir. Tablaları sökülüp, yerine alüminyum malzemeden üretilen, rezistans ısıtmalı pres kalıbı monte edilmiştir.

Öncelikle 20 mm kalınlığındaki alüminyum plakalar CNC freze makinesinde Şekil 4.1'de görüldüğü şekliyle işlenmiştir. Bu plakalar, 28 cm uzunluğundaki uçlarına diş açılmış

demirler ile birbirlerine hassas bir şekilde birleştirilmiştir. Sonrasında rezistanslar ve termokupllar kalıpta bırakılan boşluklara yerleştirilmiştir. Son olarak da hazırlanan pres kalıbı mevcut presin elektronik aksamına entegre edilerek monte edilmiştir (Şekil 4.1).

Şekil 4.1: Bükme pres kalıbının üretimi ve montajı.

4.1.2. Ağaç Malzeme ve Kaplamaların Hazırlanması

Ağaç malzeme ve kaplamaların hazırlanması ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 3.1.1 ve 3.1.2'de açıklanmaktadır.

Çalışmanın bu aşamasında, kontrol grubu olarak yoğunlaştırılmamış Samsun Kavağı'na ek olarak, ülkemizde bTKK üretiminde en sık kullanılan ağaç türü olan Doğu Kayını (*Fagus Orientalis*) kullanılmıştır. Kayın kaplamalar bTKK malzemeden sandalye üreten bir firmadan, kullandıkları standart kalınlıkta (1,4 mm) temin edilmiştir.

4.1.3. Yapıştırıcılar

Taguchi deney tasarımı, çok fazla denemenin yapılması gereken durumlarda ortogonal dizileri kullanarak çok daha az deneme ile sonuca ulaşmayı sağlar. Ortogonal dizilerde, üretim faktörlerinin seviye sayısında farklılıklar olması durumunda, deneme sayılarında artış olabilmektedir. Örneğin 3 faktör 3 seviye olarak belirlenen bir deney tasarımına L9 ortogonal dizin uyarken 3 faktörün ikisi 3, biri 2 seviye olması durumunda L18 dizisine uymaktadır. Yani iki kat fazla deneme yapılması gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada üretim parametrelerinden biri olarak belirlenen yapıştırıcı türü de 3 çeşide çıkarılmıştır.

byTKK üretiminde, Bölüm 3.1.3 de açıklanan fenol formaldehit (Polifen 47) ve %65 katı madde miktarına sahip üre formaldehit (Poliüre 2265) yapıştırıcılarının yanında, ek olarak yine Polisan Kimya San. A.Ş.'de üretilen ve tabakalı malzeme imalatında kullanılan %55 katı madde miktarına sahip (Poliüre 7455) yapıştırıcısı kullanılmıştır.

Ayrıca, yapılan ön denemeler sonucunda üretilen byTKK'lerde buhar basıncı nedeniyle patlama sorunu ile karşılaşılmıştır. Bu sorunların giderilmesi amacıyla yapıştırıcı reçetelerinde aşağıda belirtilen bazı değişikliklere gidilmiştir.

- yTTK üretiminde FF yapıştırıcısına ağırlıkça %2 oranında eklenen buğday nişastası %5'e çıkartılmıştır.
- ÜF (Poliüre 2265) yapıştırıcısında sertleştirici olarak %10'luk yerine %20'lik NH_4Cl çözeltisi kullanılmıştır.
- Çalışmaya yeni eklenen ÜF (Poliüre 7455) yapıştırıcısının reçetesi elastik bir katmanı oluşturacak şekilde hazırlanmıştır (Dunky ve Niemz, 2002).

Kullanılan yapıştırıcıların hazırlama reçeteleri ve bazı özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

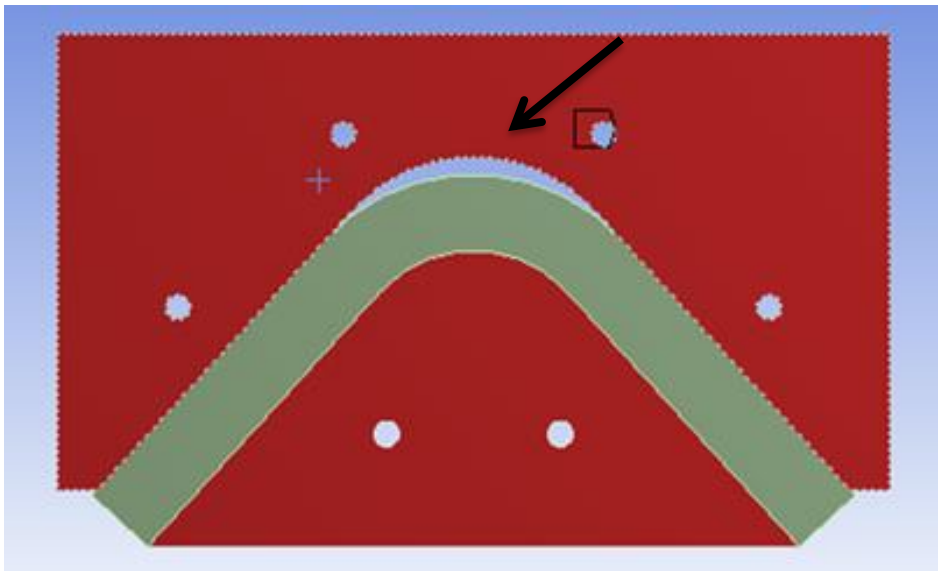
Tablo 4.1: byTKK üretiminde kullanılan yapıştırıcıların teknik özellikleri ve karışım reçeteleri.

Özellik	**ÜF55 (Poliüre 7455)**	**ÜF65 (Poliüre 2265)**	**FF (Polifen 47)**
Yoğunluk (g/cm^3)	1,23	1,28	1,21
Viskozite (Pa.s)	0,16	0,48	0,45
Katı madde miktarı (%)	%55	%65	%47
pH	8-9	8-9	10,5-13
Karışım			
Sertleştirici	%20 (%20'lik NH_4Cl/Su + %20'lik Üre/Su çözeltisi)	%10 (%20'lik NH_4Cl/Su çözeltisi)	-
Dolgu maddesi	%40 buğday unu	%20 buğday unu	%5 (Buğday Nişastası)
Su	%10	-	-
Viskozite (Pa.s)	4,796	2,386	4,303

[1] Katkı madde miktarı, karışım oranları ağırlıkça % olarak verilmiştir.

4.2. Parametre Tasarımı

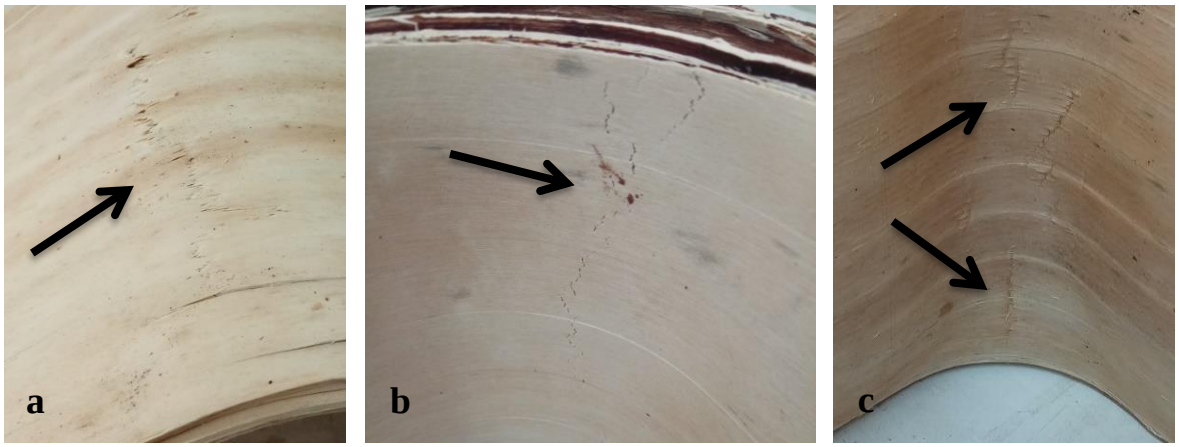
Bu bölümde, Bölüm 3'te olduğu gibi Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmış ve öncelikli olarak malzeme özellikleri üzerinde etkili olan üretim parametreleri ve seviyeleri belirlenmiştir. Bu parametreler, önceki bölümde anlatılan çalışmalar ve yapılan ön denemeler dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2: Bükme pres kalıbı ve kaplama taslağı sıkıştırma simülasyonu.

Bükme işlemi esnasında yoğunlaştırılacak kaplama yığınının kalınlığı, elde edilecek byTKK'nin son kalınlığından fazladır. Bundan dolayı, pres kapanırken malzemenin düz kısmı sıkışmaya başladığında, bükülmüş kısmın bir yüzü henüz pres tablasına temas etmemektedir (Şekil 4.2). Pres tablası kapanmaya devam ettiğinde iki durum ortaya çıkabilmektedir.

- İlkinde, sıkıştırma işlemi esnasında pres kalıbının kapanması sonucu, bükme bölgesinde çekme gerilmesi oluşturmaktadır. Bundan dolayı, bükülmüş bölgenin dışbükey (Şekil 4.3a) ve/veya içbükey (Şekil 4.3b) yüzeylerinde çekme kırıkları oluşabilmektedir.
- İkinci durumda ise pres kalıbının kapanmasıyla malzemenin bükme bölgesinin içbükey yüzeyinde basınç gerilmesi oluşabilmektedir. Bu durum, içbükey yüzeyde ezilme şeklinde kırılmalara neden olabilmektedir (Şekil 4.3c).



Şekil 4.3: byTKK'lerin bükme bölgesinde oluşan kırılmalar.

Yapıla ön üretimlerde %50 oranında sıkıştırılan kaplamalarda bu sorun aşılabilirken, %75 ve 100 oranında sıkıştırmalarda bu sorun aşılamamıştır. Diğer yandan, yTKK üretiminde de (bkz. Bölüm 3) bu sıkıştırma oranlarında çok yüksek geri esneme gerçekleştiği, buna bağlı olarak istenen sıkışma oranı ve mekanik özelliklerin elde edilemediği sonucuna varılmıştır. Bu yüzden sıkıştırma oranı deneme deseninden çıkarılmış ve sadece %50 oranında sıkıştırma uygulanmıştır.

Diğer yandan, byTKK üretiminde farklı kaplama kalınlıklarının mekanik özellikleri etkileyebileceği düşüncesiyle üretim faktörlerine kaplama kalınlığı eklenmiştir ve 1,8, 2,1 ve 2,4 mm olmak üzere 3 kaplama kalınlığı varyasyonu kullanılmıştır. Bu durumda, sıkışma oranı (%50) sabit kalabilmesi için katman sayısı farklılaştırılmıştır. Üretiminde kullanılan kaplama kalınlıkları ve byTKK katman yapısı Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: byTKK üretiminde kullanılan kaplama kalınlıkları ve katman yapısı.

Kaplama Kalınlığı (mm)	**byTKK Katman Sayısı**	**Toplam Kalınlık (mm)**	**Pres Sonrası Kalınlık (mm)**	**Tahmini Sıkışma Oranı (%)**
1,8	13	23,4	15	56
2,1	11	23,1		54
2,4	10	24		60

Bölüm 3'te açıklanan çalışmada, ÜF için 150 g/m^2, FF için ise 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması en uygun seviye olarak belirlenmiştir. Bu sonuç dikkate alarak yapıştırıcı

miktarı deney tasarımından çıkarılarak byTKK üretiminde belirlenen bu miktarlarda yapıştırıcı kullanılmıştır.

byTKK üretimi esnasında kaplamaların içinde bulunan ve kullanılan yapıştırıcının içeriğindeki su, yüksek sıcaklık etkisiyle buharlaşmaktadır. Bu buhar baskı kaldırılmadan önce malzemeden tahliye edilmelidir. Aksi takdirde oluşan basınç nedeniyle patlamaya ve kaplama katmanlarının birbirinden ayrılmasına sebep olmaktadır. Ön denemelerde pres işleminin, buhar çıkışı sonlanıncaya kadar sürdürülmesi gerektiğini göstermiştir. Ayrıca, Bölüm 3.2.2'de anlatılan ön denemede, pres süresinin uzatılmasının çekme makaslama direnci üzerine olumsuz etkisini göstermiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda pres süresi deney parametrelerinden çıkarılmıştır. Bu durumda, patlamaya neden olmayacak mümkün olan en kısa sürede presleme işleminin tamamlanması gerekmektedir. Önceki çalışmalar ve ön üretimler dikkate alınarak presleme işlemi, malzemeden buhar çıkışının sonlanmasının ardından 2 dakika daha beklenerek sonlandırılmasının uygun ve güvenli olacağı kararlaştırılmıştır. Farklı deneme gruplarının üretim esnasında gerçekleşen pres süreleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: byTKK üretiminde uygulanan pres süreleri.

Yapıştırıcı Türü	**ÜF55**			**ÜF65**			**FF**		
Kaplama kalınlığı (mm)	1,8	2,1	2,4	1,8	2,1	2,4	1,8	2,1	2,4
Pres süresi (dk.)	20	15	10	20	15	11	25	20	15

Bölüm 3'te açıklanan çalışmada, yapıştırıcı türü analiz edilen parametreler arasına alınmamıştır. ÜF ve FF yapıştırıcıları için ayrı ayrı iki analiz yürütülerek optimum üretim parametreleri belirlenmiş ve bunlardan yukarıda açıklandığı gibi çalışmanın deney tasarımında yararlanılmıştır. Böylece yapıştırıcı türleri ile diğer faktörlerin ikili etkileşiminden kaynaklanan farklılıklar azaltılmaya çalışılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında ise yapıştırıcı türünün byTKK'nin mekanik özelliklerine etkisini belirleyebilmek için deneme desenine eklenmiştir. Ortogonal deneme dizinlerine uyumluluk gösterebilmesi için de 3 seviye yani 3 yapıştırıcı türü kullanılmıştır (bkz. Bölüm 4.1.3).

Pres sıcaklığı hem yoğunlaştırma hem de bükme proseslerinin önemli parametrelerinden biridir. Bu nedenle pres sıcaklığı, üretilecek malzemenin özelliklerini etkileyebileceği düşüncesiyle deneme desenine eklenmiştir (bkz. Bölüm 1.4.1 ve 3.2.3).

Sonuç olarak yapıştırıcı türü, kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı olmak üzere 3 üretim faktörünün 3'er seviyesi olacak şekilde L9 ortogonal dizini oluşturulmuştur (Tablo 4.4).

Tablo 4.4: L9 ortogonal deneme desenine göre byTKK üretim parametreleri ve seviyeleri.

Deney Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (C°)
1	ÜF55	1,8	130
2	ÜF55	2,1	150
3	ÜF55	2,4	170
4	ÜF65	1,8	150
5	ÜF65	2,1	170
6	ÜF65	2,4	130
7	FF	1,8	170
8	FF	2,1	130
9	FF	2,4	150

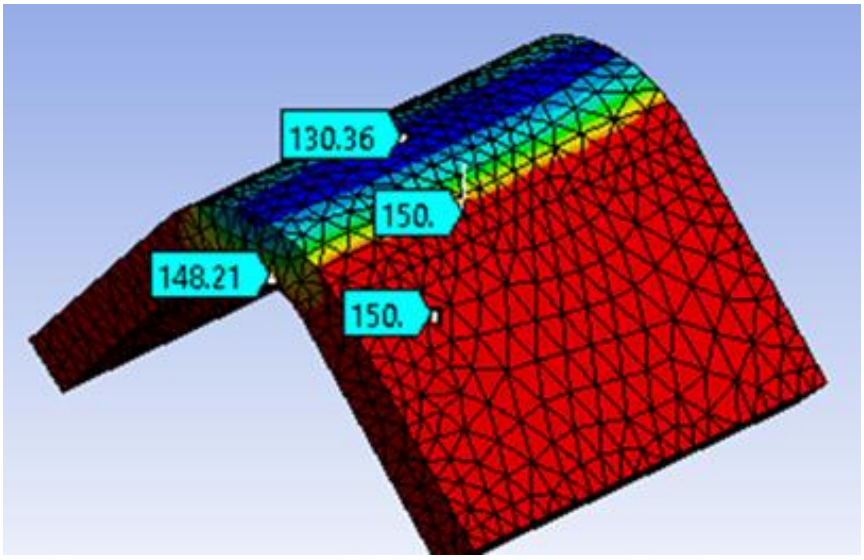
4.3. Bükülmüş Yoğunlaştırılmış Tabakalı Kaplama Kereste Üretimi

Kaplama taslakları 200 mm (en) x 350 mm (boy) olacak şekilde kesilmiş ve 20ºC, %65 bağıl nemde değişmez ağırlığa gelene kadar şartlandırılmıştır. Hazırlanan yapıştırıcı karışımları merdaneli tutkal sürme aleti ile kaplamaların tek yüzlerine uygulanmış ve Tablo 4.4'te belirtilen şekilde byTKK taslakları oluşturulmuştur.

Bu taslaklara, ön form vermek ve yapıştırıcının kaplama yüzeyine yayılmasını sağlamak amacıyla soğuk vidalı preste 1 dakika ön presleme işlemi uygulanmıştır (Şekil 4.4a). Ardından taslaklar sıcak bükme prese yerleştirilmiştir ve sıkıştırma işlemine geçilmiştir (Şekil 4.4b). Daha önce açıklandığı gibi, kaplama yığınının kalınlığı byTKK'nin son kalınlığından fazla olduğu için malzemenin düz kısmı sıkışmaya başladığında, bükülmüş kısmın bir yüzü henüz pres tablasına temas etmemektedir (Şekil 4.2). Yani kaplama yığınının kalınlığı yaklaşık 24 mm'yken bükülmüş bölgede pres kalıpları arası mesafe yaklaşık ~28 mm olmaktadır. Bu durum malzemenin yüzeyinde sıcaklık ve basınç farklarına neden olmaktadır. Sonlu elemanlar metodu ile 150 ºC'de yapılan bir simülasyonun sonucu Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Önceki çalışmada uygulandığı gibi

(bkz. Bölüm 3.4) malzemenin hedeflenen sıcaklığa ulaşması beklenip sıkıştırmak istenirse yapıştırıcı sertleşecektir. Bu esnada byTKK yüzeyinde oluşan sıcaklık ve basınç farklarında dolayı yapıştırma kalitesini olumsuz etkileyebileceği gibi sıkıştırma işlemi esnasında oluşan iç gerilmelerden dolayı yapıştırma katmanında makaslama kırılmalar meydana gelebilecektir.

Şekil 4.4: byTKK üretiminde kullanılan a) soğuk, vidalı ön pres makinesi, b) sıcak hidrolik bükme pres makinesi.



Şekil 4.5: byTKK üretiminde pres tablasıyla malzeme arasındaki boşluğun malzeme sıcaklığına etkisinin simülasyonu (ANSYS).

Bundan dolayı, sıcak pres prosesi 3 aşamalı olarak uygulanmıştır. Sıkıştırmanın ilk pres aşamasında basınç, arada kalan boşluk kapanıncaya kadar arttırılmıştır. Yani taslakların düz kısımları, kalan boşluk kadar (yaklaşık 4 mm) sıkıştırılmıştır. Ardından 20 saniye su buharı çıkışı için beklenmiş ve tekrar basınç arttırılarak taslaklar yaklaşık 12 mm daha sıkıştırılmıştır. Tekrar 20 saniye, oluşan buharın tahliyesi için beklenip yaklaşık 12 mm daha sıkıştırılarak pres tam kapalı konuma getirilmiştir. Ardından da malzemeden buhar çıkışı bitmesini takiben 2 dakika daha beklenerek pres tablası açılmıştır ve süreç sonlandırılmıştır.

Son olarak, diyagonal çekme ve basma deney numuneleri genişliği 20 mm, iki ucu arasındaki mesafe 220 mm olacak şekilde kesilmiştir. Ardından 20 ºC sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar iklimlendirilerek deneye hazır hale getirilmiştir.

4.4. Yöntem

Bu bölümde üretilen byTKK'lerden kesilen numuneler ve uygulanan deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

4.4.1. Fiziksel Özellikler

Bu bölümde üretilen deneme levhaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar açıklanmıştır.

4.4.1.1. Denge Rutubet Miktarının Belirlenmesi

Üretimde kullanılan kaplamaların ve byTKK'lerin denge rutubet miktarları TS EN 322 (1999) standardına uygun şekilde belirlenmiştir (bkz. Böl. 2.3.1.1).

4.4.1.2. Yoğunluğun Belirlenmesi

Deneme plakalarının yoğunlukları TS EN 323 (1999) standardında belirtildiği şekilde belirlenmiştir (bkz. Böl. 2.3.1.2).

4.4.1.3. Sıkıştırma Oranının Belirlenmesi

byTKK'lerin sıkıştırma oranları Bölüm 3.5.1.3'te anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır.

4.4.1.4. Geri Esneme Oranının Belirlenmesi

byTKK'lerin geri esneme oranları Bölüm 3.5.1.4'te anlatıldığı şekilde hesaplanmıştır. Çalışmanın bu aşamasında 15 mm kalınlığında mekanik stoplar kullanılmıştır (t_{ms}=*15 mm*).

4.4.2. Mekanik Özellikler

Bükülmüş numunelerde mekanik özellikleri belirlemeye yönelik herhangi bir standart bulunmamaktadır. Ancak, literatürde L şeklindeki mobilya elemanlarının testinde diyagonal çekme ve basma deneyleri uygulanmaktadır (Cai vd., 1995; Wu vd., 1998; Wu ve Furuno, 1999; Gürey vd., 2002; Zhang vd., 2005; Altınok vd., 2009; Kahraman, 2010; Efe vd., 2014; Smardzewski vd., 2017; Özdemir ve Ciritcioğlu, 2018).

Çalışma kapsamında, üretilen byTKK'lerin mekanik özellikleri statik ve dinamik testler olmak üzere iki aşamalı olarak yürütülmüştür. Öncelikle uygulanan diyagonal çekme ve basma deneyleri (statik) ile L şeklindeki kavisli elemanların en zayıf noktası olan bükme bölgesinin moment taşıma kapasitesi ile rijitliği belirlenmiş ve Taguchi tabanlı GİA ile en uygun üretim koşulları belirlenmiştir. Deneyler 50 kN kapasiteli üniversal test cihazında (UTEST 7012) yürütülmüştür.

Diğer yandan, bükülmüş malzemeler sıklıkla sandalye/koltuklarda kullanılmakta ve tekrar eden yükler altında zorlanmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, statik testlerle belirlenen direnç özellikleri malzemenin dayanım özellikleri hakkında bilgi verse de üretilen byTKK'lerin mobilyada kullanılabilirliği konusuna tam olarak açıklık getirememektedir. Bu çalışma kapsamında, byTKK plakaların tekrar eden yükler altındaki (dinamik) dayanımı, yani yorulma özellikleri, TS EN 1728 ve TS EN 12520 standartları (oturma yeri ve arkalık yorulma deneyi) dikkate alınarak belirlenmiştir.

Deneyler özel olarak hazırlanan pnömatik yorulma deney düzeneğinde yürütülmüştür (Şekil 4,6). Oynar başlıklı çeneler yardımıyla bağlanan deney numunelerine uygulanan yük

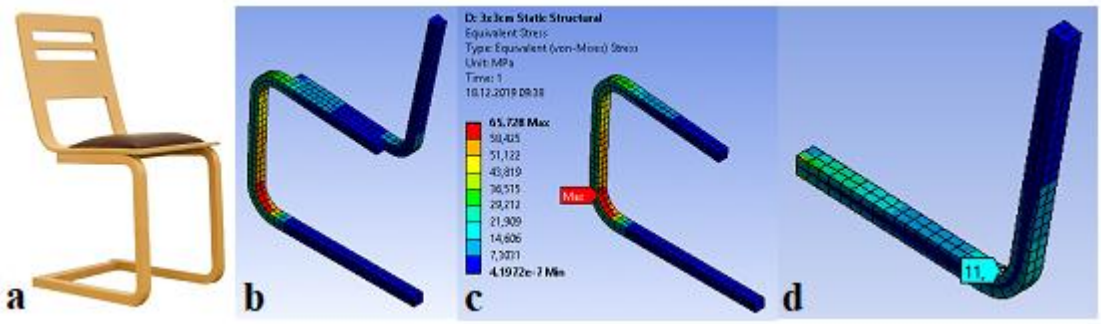
sisteme bağlanan 50 kN kapasiteli yük hücresi, deformasyon ise LPDT (Lineer Potansiyometrik Diferansiyel Transduser) ile belirlenmiştir.

Uygulanan diyagonal çekme ve basma deneyi (statik) sonucunda en iyi sonucu veren 4 ve 8 numaralı deneme grubu numunelere yorulma deneyi uygulanmıştır (bkz. Bölüm 4.5.2.5). Bu numuneler yoğunlaştırılmadan üretilen Kavak ve Kayın bTKK'ler ile kıyaslanmıştır.

Şekil 4.6: Pnömatik yorulma deney düzeneği a) numunelerin bağlantı şekli b) yükleme ve kontrol sistemi.

Yorulma (dinamik) deney tasarımı yapılırken öncelikle, halen üretilmekte olan örnek bir sandalye modeli seçilmiş ve bir sonlu elemanlar analizi programı olan ANSYS'te modellenmiştir. Burada sandalye taşıyıcı elemanlarının kesit alanı 30 x 30 mm olarak alınmıştır. Modellenen bu sandalye, TS EN 1728 (2013) ve TS EN 12520 (2016) standartlarında belirtilen şekilde yüklenerek sandalyenin kavisli bölgelerinde oluşan en yüksek gerilmeler (açma ve kapama yüklemesinde) belirlenmiştir (Şekil 4.7).

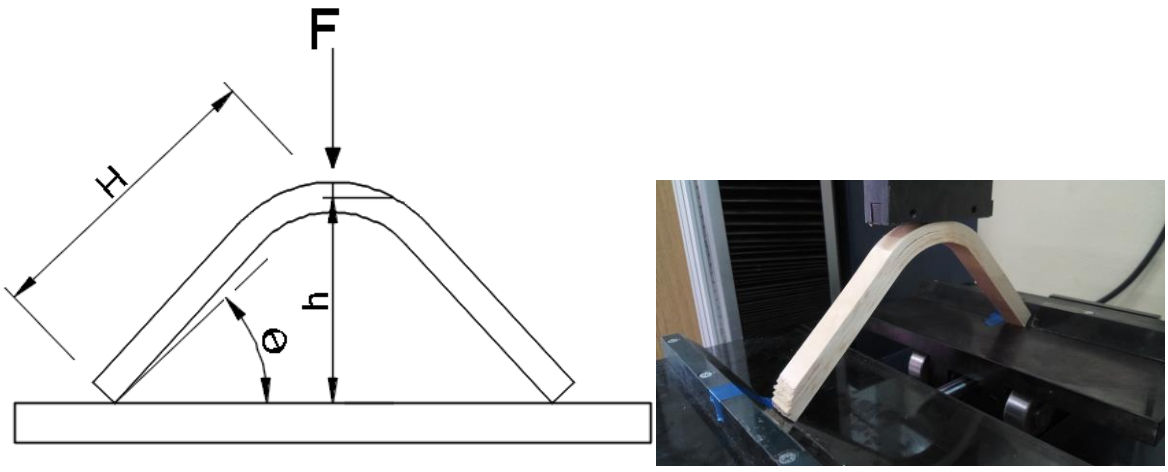
Üretilen byTKK numuneler ile örnek sandalyenin kavisli parçalarının kesit alanı aynı olmadığından dolayı, numunelerde aynı gerilmeler farklı kuvvetler uygulanınca elde edilebilecektir. Bu nedenle byTKK numunelerde aynı gerilmeleri oluşturacak yük miktarının hesaplanması gerekmiştir. Hesaplanan bu kuvvet, TS EN 12520 standardında belirtildiği şekilde 25000 tekrar olacak şekilde numunelere yüklenmiştir.



Şekil 4.7: a) Belirlenen örnek sandalye b) SEM model c) bükülmüş bölgede oluşan en yüksek kapama gerilmesi d) bükülmüş bölgede oluşan en yüksek açma gerilmesi.

4.4.2.1. Diyagonal Çekme Deneyinde Moment Taşıma Kapasitesi ve Rijitliğin Belirlenmesi

Diyagonal çekme deney düzeneği L şeklindeki parçaların açma zorlamasına karşı direncini ölçmek için kullanılmaktadır (Şekil 4.8). Deneyler 50 kN kapasiteli üniversal test cihazında yapılmıştır.



Şekil 4.8: byTKK diyagonal çekmede (açma) deney düzeneği.

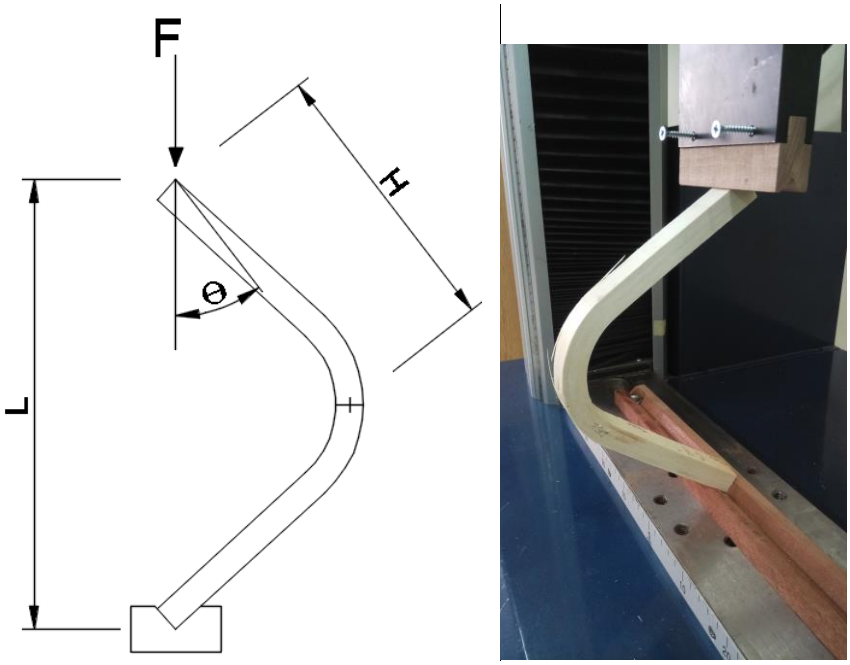
byTKK diyagonal çekme deneyi numunelerinde moment taşıma kapasitesi ($M_ç$) ve rijitliği ($R_ç$) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Burada*: F:* kırılma kuvveti, *s:* sehim, *H:* destek noktası ile parça merkezi arası açıklık, *h:* yükseklik *ve Θ:* yüksüz konumdaki açıyı (43,29º) belirtmektedir.

$$M_ç\ (Nm) = \frac{F}{2} \times H \times cos\ (sin^{-1}\left(\frac{h-s}{H}\right)) \qquad (32)$$

$$R_{ç}\ (Nm/Derece) = \frac{M_{ç}}{sin^{-1}\left(\frac{h-s}{H}\right)-\theta} \quad (33)$$

4.4.2.2. Diyagonal Basma Deneyinde Moment Taşıma Kapasitesi ve Rijitliğin Belirlenmesi

Diyagonal basma deney düzeneği L şeklindeki parçaların dayanımını ölçmek için kullanılmaktadır (Şekil 4.9). Deneyler 50 kN kapasiteli üniversal test cihazında (UTEST) yapılmıştır.



Şekil 4.9: byTKK diyagonal basma (kapama) deney düzeneği.

byTKK diyagonal basma deneyi numunelerinde moment taşıma kapasitesi (M_b) ve rijitliği (R_b) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Burada, *F:* kırılma kuvveti, *s:* sehim, *L:*iki destek noktası arası açıklık, *H:* destek noktası ile parça merkezi arası açıklık ve *Θ:* yüksüz konumdaki açıyı (37,7º) belirtmektedir.

$$M_b(Nm) = F \times (\frac{L-s}{2}) \times \tan\left(cos^{-1}\left(\frac{L-s}{2H}\right)\right) \quad (34)$$

$$R_b(Nm/Derece) = \frac{M_B}{cos^{-1}\left(\frac{L-s}{2H}\right)-\theta} \quad (35)$$

4.4.2.3. Diyagonal Çekme Deneyinde Yorulma Dayanımının Belirlenmesi

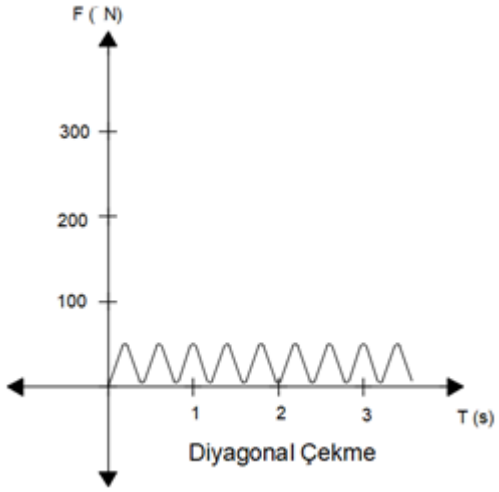
Çalışma kapsamında 3 boyutlu olarak modellenen örnek sandalye, TS EN 1728 ve TS EN 12520 standartlarında belirtilen oturma yeri ve arkalık yorulma deneyine göre yüklenerek SEM analizi uygulanmıştır. Böylece model sandalyenin kavisli bölgelerinde oluşan en yüksek açma gerilmesi (diyagonal çekme) belirlenmiştir. SEM sonuçlarına göre, en yüksek açma gerilmesinin 12 N/mm2 ile örnek sandalyeni sırtlık ve oturma kısımlarının birleştiği yerde oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4.7d). Hesaplanan bu gerilmenin 20 mm genişliğinde ve 15 mm kalınlığındaki byTKK numunelerde oluşması için uygulanması gereken kuvvet Eşitlik 34 ve 36 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$ED\ (N/mm^2) = -\frac{M \times y}{I} \quad (36)$$

Burada; *ED:* modelleme sonucu elde edilen en yüksek eğilme direnci (açma), *M:* moment, *y:* nötr eksenin en üst/alt noktaya olan mesafesi, *I:* atalet momentini göstermektedir.

Hesaplama sonucunda diyagonal çekme (yorulma) deneyinde numunelere uygulanacak kuvvet 44 N olarak hesaplanmıştır. Yükleme frekansı 4 Hz'nin üzerine çıktığında ağaç malzemede ısınmaya bağlı olarak rutubet kaybı, buna bağlı olarak da yorulma davranışında farklılıklar gözlemlenebilmektedir (Smith vd., 2003). Bu nedenle yükleme frekansı 2,5 Hz olarak belirlenmiştir. Her tekrar sonrasında uygulanan yük tamamen boşaltılmamış, bağlantı yerlerindeki boşluklardan oluşabilecek vuruntuları önlemek amacıyla alt sınır gerilmesi maksimum yükün %2-5'i olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 4.10).

Belirlenen bu kuvvet, byTKK numunelere 25000 sefer yüklenmiştir. Yükleme sonucu kırılma görülmediyse byTKK'lerin bahsi geçen sandalye üretimi için yeterli dayanıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu yükleme koşullarına göre dayanıklı çıkan numunelerin dayanım sınırını belirleyebilmek için uygulanan yük miktarı kademeli olarak arttırılarak deney (numune kırılıncaya kadar) tekrar edilmiştir.

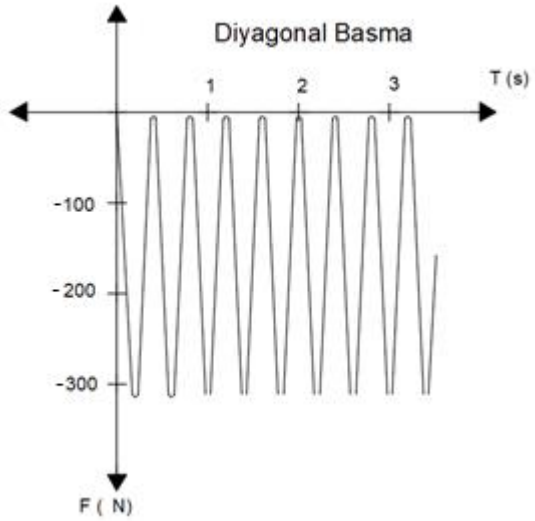


Şekil 4.10: Diyagonal çekme deneyinde yükleme genliği.

4.4.2.4. Diyagonal Basma Deneyinde Yorulma Dayanımının Belirlenmesi

Örnek sandalyeye uygulanan SEM analizi sonucunda kavisli bölgelerinde oluşan en yüksek kapanma gerilmesi 65 N/mm2 olarak ve sandalye ayağının ön alt köşesinde oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 4.7c). Hesaplanan bu gerilmenin 20 mm genişliğinde ve 15 mm kalınlığındaki byTKK numunelerde oluşması için uygulanması gereken kuvvet Eşitlik 34 ve 36 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda diyagonal basma (yorulma) deneyinde numunele uygulanacak kuvvet 314 N olarak hesaplanmıştır. Yükleme frekansı 4 Hz'nin üzerine çıktığında ağaç malzemede ısınmaya bağlı olarak rutubet kaybı, buna bağlı olarak da yorulma davranışında farklılıklar gözlemlenebilmektedir (Smith vd., 2003). Bu nedenle yükleme frekansı 2,5 Hz. olarak belirlenmiştir. Her tekrar sonrasında uygulanan yük tamamen boşaltılmamış, bağlantı yerlerindeki boşluklardan oluşabilecek vuruntuları önlemek amacıyla alt sınır gerilmesi maksimum yükün %2-5'i olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 4.11).

Bu kuvvet byTKK numunelere 25.000 sefer yüklenmiştir. Yükleme sonucu kırılma görülmediyse byTKK'lerin bahsi geçen sandalye üretimi için yeterli dayanıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu yükleme koşullarına göre dayanıklı çıkan numunelerin dayanım sınırını belirleyebilmek için uygulanan yük miktarı kademeli olarak arttırılarak deney (numune kırılıncaya kadar) tekrar edilmiştir.



Şekil 4.11: Diyagonal basma deneyinde yükleme genliği.

4.5. Bulgular ve Tartışma

Bu kısımda, TM yoğunlaştırma ve bükme işlemi birleştirilerek üretilen byTKK'nin fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilgili bulgular yer almaktadır.

4.5.1. Fiziksel Özellikler

Bükme, TM yoğunlaştırma ve TKK üretimini birlikte uygulanmasıyla üretilen byTKK'nin denge rutubet miktarı, yoğunluğu, geri esneme ve sıkışma oranı bulguları bu bölümde derlenmiştir.

Samsun Kavağı tomruklardan üretilen soyma kaplamaların 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar iklimlendirilmesi sonrasında elde edilen hava kurusu rutubet miktarı %13, yoğunluğu ise ortalama 0,49 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Kaplamaların tam kuru yoğunluğu ise 0,44 g/cm^3'tür. Kontrol grubu numunelerin üretiminde kullanılan Doğu Kayını kaplamaların hava kurusu rutubet oranı %11, yoğunluğu 0,67 g/cm^3, tam kuru yoğunluğu ise 0,61 g/cm^3 olarak bulunmuştur.

4.5.1.1. Hava Kurusu Yoğunluk

Taguchi L9 ortogonal deneme desenine göre üretilen byTKK'lerin 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırıldıktan sonraki hava kurusu yoğunluk değerleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTKK'lerin hava kurusu yoğunluğu.

Deneme Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Yoğunluk (g/cm^3)
1	ÜF55	1,8	130	0,76
2	ÜF55	2,1	150	0,81
3	ÜF55	2,4	170	0,77
4	ÜF65	1,8	150	0,79
5	ÜF65	2,1	170	0,79
6	ÜF65	2,4	130	0,74
7	FF	1,8	170	0,76
8	FF	2,1	130	0,84
9	FF	2,4	150	0,80
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	0,52
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	0,77

Üretilen byTKK'lerin yoğunluklarının kontrol grubu numunelerinkilerle kıyaslanabilmesi için uygulanan tek yönlü varyans analizi ve gruplar arası farkın önem kontrolü sonuçları Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Kavak ve Kayın kaplamalardan üretilen kontrol grubu bTKK'lerin yoğunlukları, kullanılan kaplamaların yoğunluklarıyla kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli düzeyde sırasıyla %6 ve %15 oranlarında artış göstermiştir.

Ortogonal deneme desenine göre üretilen bütün byTKK'lerin yoğunluklarında da, yoğunlaştırılmadan üretilen Kavak TKK'lerinkine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artış gözlemlenmiştir. Diğer yandan, sadece 8 ve 2 numaralı byTKK deneme gruplarının yoğunluklarının, Kayın TKK'lerinkinden önemli düzeyde yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.6: byTKK'lerin yoğunlukları için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Yoğunluk (g/cm^3)								
Deney Grubu	**Homojenlik Grupları**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
8	0,84							
2		0,81						
9		0,80	0,80					
4		0,79	0,79	0,79				
5		0,79	0,79	0,79				
3			0,77	0,77	0,77			
Kayın-K			0,77	0,77	0,77			
1				0,76	0,76			
7				0,76	0,76			
6					0,74			
Kayın						0,67		
Kavak-K							0,53	
Kavak								0,49
Sig.	1,000	,222	,072	,077	,072	1,000	1,000	1,000

Duncan, p≤0,05

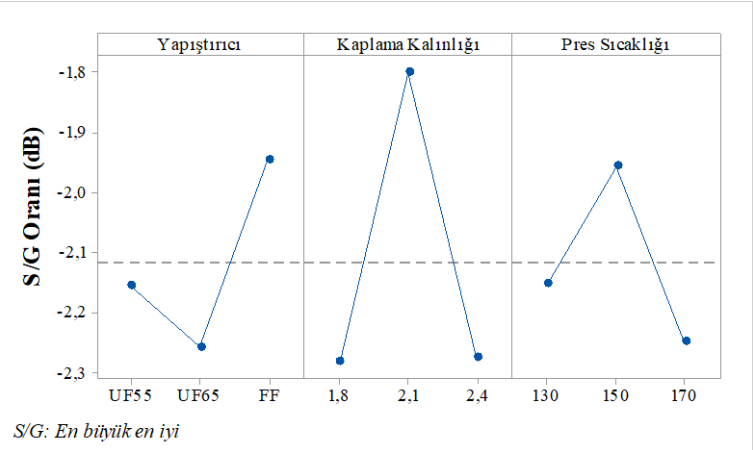
Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 4.7) incelendiğinde, yoğunluk üzerine en etkili faktörün kaplama kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla yapıştırıcı türü ve pres sıcaklığı takip etmiştir.

Tablo 4.7: byTTK'lerin yoğunlukları için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	**Yapıştırıcı Türü**	**Kaplama Kalınlığı**	**Pres Sıcaklığı**
1	-2,155	-2,281	-2,150
2	-2,256	-1,801	-1,957
3	-1,944	-2,273	-2,248
Fark (max-min)	0,312	0,481	0,291
Sıralama	2	1	3

S/G: En büyük en iyi

byTKK'lerin yoğunlukları için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Buna güre en yüksek yoğunluk değerini veren parametre kombinasyonu FF yapıştırıcısı, 2,1 mm kaplama kalınlığı ve 150 ºC pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.12: byTKK'lerin yoğunlukları için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.8), byTKK'lerin yoğunluğu üzerinde en yüksek etkiye sahip üretim parametresinin %49 gibi yüksek bir oranla kaplama kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, hiçbir faktörün byTKK'lerin yoğunluğu üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.8: byTKK'lerin yoğunluğu için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Yapıştırıcı	2	0,001240	0,84	0,542	16,7
Kaplama Kalınlığı	2	0,003671	2,50	0,286	49,3
Pres Sıcaklığı	2	0,001066	0,73	0,579	14,3
Hata	2	0,001468			19,7
Toplam	8	0,007444			100,0

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, $p \leq 0,05$, KT = 0,803

4.5.1.2. Sıkışma Oranı

Taguchi L9 ortogonal deneme desenine göre üretilen byTKK'lerin 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırıldıktan sonraki sıkışma oranları Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 4.10) incelendiğinde sıkışma oranı üzerine en etkili faktörün kaplama kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla pres sıcaklığı ve yapıştırıcı türü takip etmiştir.

Tablo 4.9: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTKK'lerin sıkışma oranı.

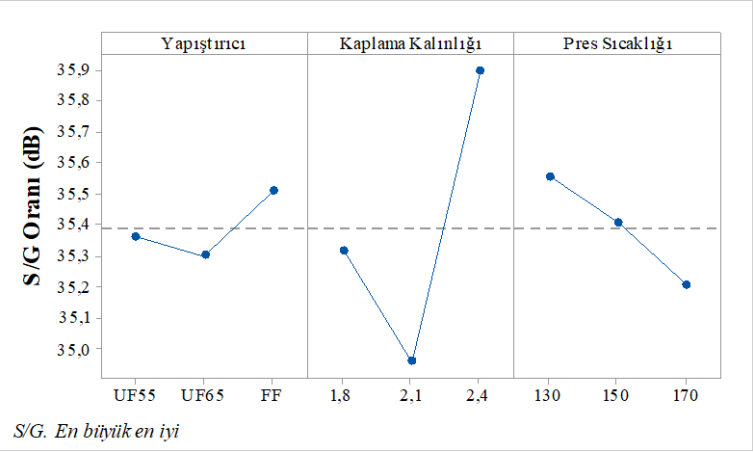
Deneme Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Sıkışma Oranı (%)
1	ÜF55	1,8	130	59
2	ÜF55	2,1	150	56
3	ÜF55	2,4	170	61
4	ÜF65	1,8	150	58
5	ÜF65	2,1	170	54
6	ÜF65	2,4	130	63
7	FF	1,8	170	58
8	FF	2,1	130	58
9	FF	2,4	150	63

Kavak-K	ÜF55	1,8	90	9
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	4

Tablo 4.10: byTTK'lerin sıkışma oranı için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	35,36	35,32	35,56
2	35,30	34,96	35,41
3	35,51	35,89	35,21
Fark (max-min)	0,21	0,93	0,35
Sıralama	3	1	2

byTKK'lerin sıkışma oranı için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir. Buna güre en yüksek sıkışma oranı değerini veren parametre kombinasyonu FF yapıştırıcısı, 2,4 mm kaplama kalınlığı ve 130 ºC pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.13: byTKK'lerin sıkışma oranı için S/G oranı ana etki grafiği.

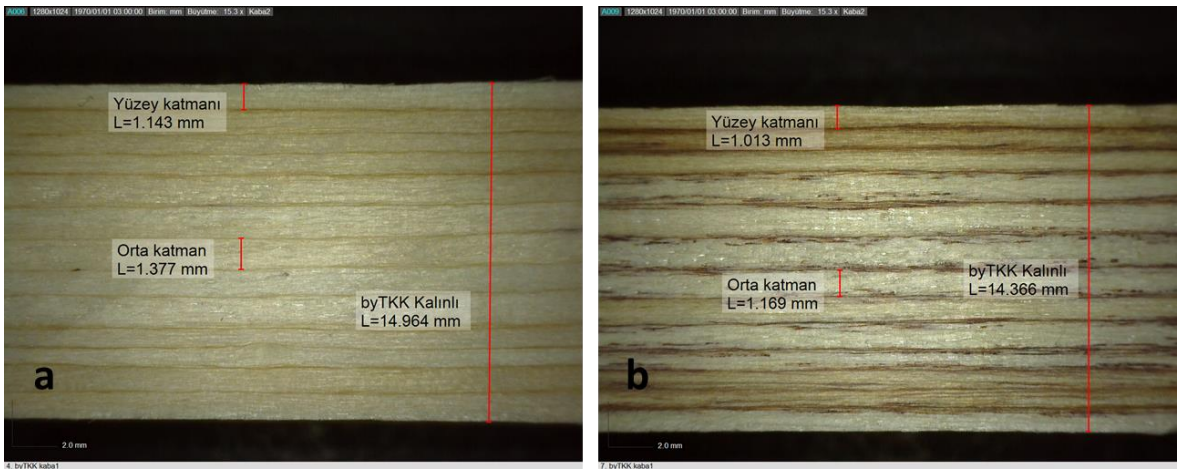
Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.11), byTKK'lerin sıkışma oranı üzerinde en büyük etkiye sahip üretim parametresinin %84 gibi çok yüksek bir oranla kaplama kalınlığı olduğu belirlenmiştir. Kaplama kalınlığının yanında pres sıcaklığının da sıkışma oranı üzerinde %11 oranında ve istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.11: byTKK'lerin sıkışma oranı için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

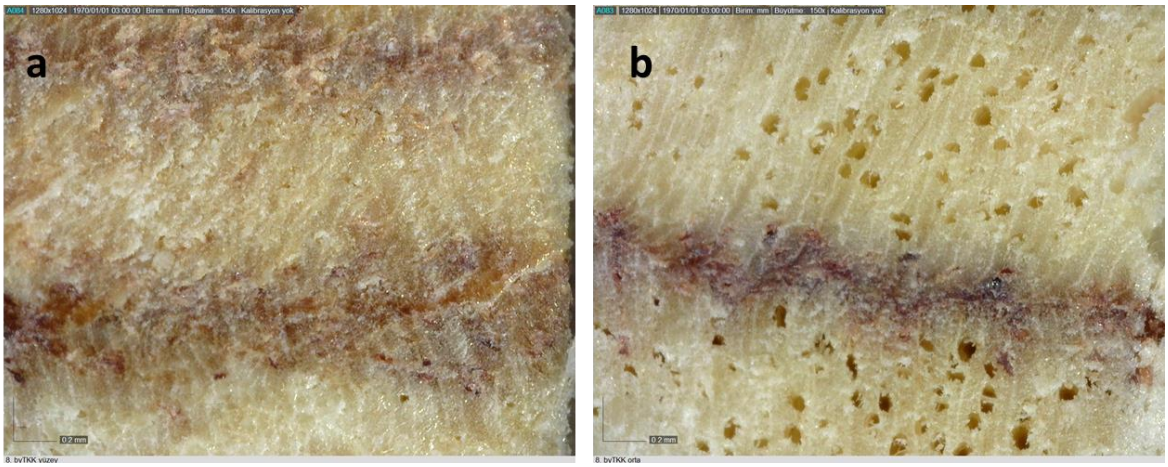
Faktör	SD	KT	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Yapıştırıcı	2	2,8889	13	0,071	4,0
Kaplama Kalınlığı	2	61,5556	277	0,004	84,4
Pres Sıcaklığı	2	8,2222	37	0,026	11,3
Hata	2	0,2222			0,3
Toplam	8	72,8889			100,0

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, $p \leq 0,05$, KT = 0,997

byTKK levhaların katman yapıları incelendiğinde yüzey katmanların ortaya göre bir miktar daha fazla yoğunlaştığı yani sıkıştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.14). byTKK üretim prosesinde, düz yTKK'lerden farklı olarak ön ısıtma işlemi uygulanamaması,sıkıştırma işlemi esnasında levhanın yüzey ve orta katmanları arasında sıcaklık farkına neden olmaktadır. Bu sıcaklık farkı nedeniyle sıcak olan yüzey katmanları, orta katmanlara göre daha fazla yumuşamakta dolayısıyla da sıkışmaktadır (yoğunlaşmaktadır). Şekil 4.15'te görüldüğü üzere yüzey katmanında trahe boşlukları sıkışma esnasında göçmesi nedeniyle görünmezken, orta katmanlarda traheler görülebilmektedir.

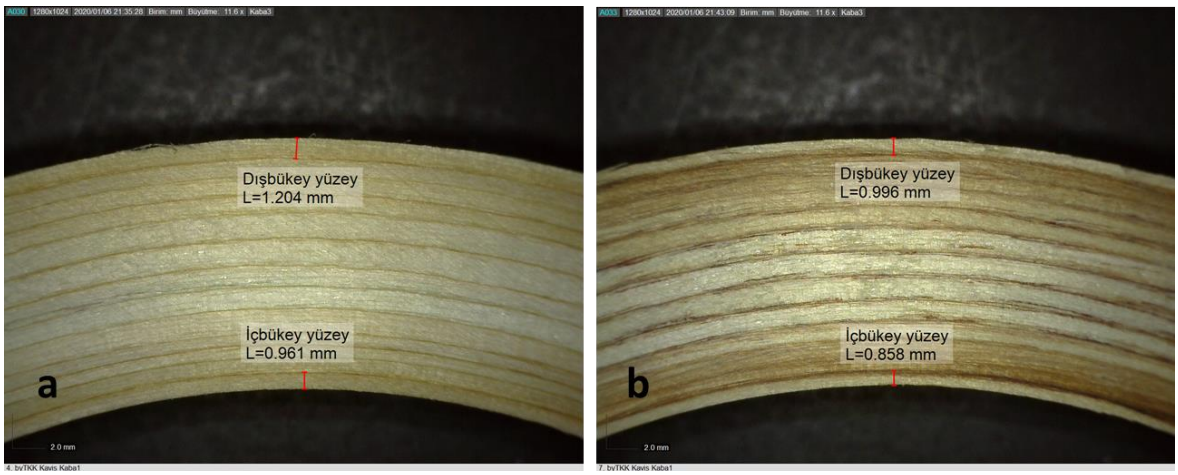


Şekil 4.14: a) ÜF ve b) FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen byTKK levhaların düz bölgesinin katman yapısı (x15).



Şekil 4.15: FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen byTKK levhaların a) yüzey katmanı b) orta katman kesiti (x150).

Benzer şekilde byTKK'lerin kavisli bölgesinde içbükey katman, dışbükey katmana göre daha fazla yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.16). byTKK kaplama taslakları bükme kalıbına konulup ön sıkıştırma işlemi uygulandığında kavisli bölgede oluşan boşluk (Şekil 4.2) nedeniyle, levhanın içbükey yüzeyi ile dışbükey yüzeyi arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır (Şekil 4.5). Bu sıcaklık farkı nedeniyle byTKK'lerin içbükey yüzeyi dışbükey yüzeye göre daha fazla yumuşamakta dolayısıyla da daha fazla sıkışmaktadır (yoğunlaşmaktadır).



Şekil 4.16: a) ÜF ve b) FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen byTKK levhaların kavisli bölgesinin katman yapısı (x11).

4.5.1.3. Geri Esneme Oranı

Taguchi L9 ortogonal deneme desenine göre üretilen byTKK'lerin 20 ºC ve %65 bağıl nem şartlarında değişmez ağırlığa gelinceye kadar şartlandırıldıktan sonraki geri esneme oranları Tablo 4.12'de gösterilmiştir. Geri esneme oranı, %6,52 ile en yüksek ölçüldüğü 4 numaralı deneme grubunda dahi makul seviyelerdedir.

Tablo 4.12: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin, geri esneme ve sıkışma oranları.

Deney Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Geri Esneme Oranı (%)
1	ÜF55	1,8	130	3,21
2	ÜF55	2,1	150	4,28
3	ÜF55	2,4	170	5,90
4	ÜF65	1,8	150	6,52
5	ÜF65	2,1	170	6,15
6	ÜF65	2,4	130	3,65
7	FF	1,8	170	3,99
8	FF	2,1	130	4,33
9	FF	2,4	150	5,54
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	-
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	-

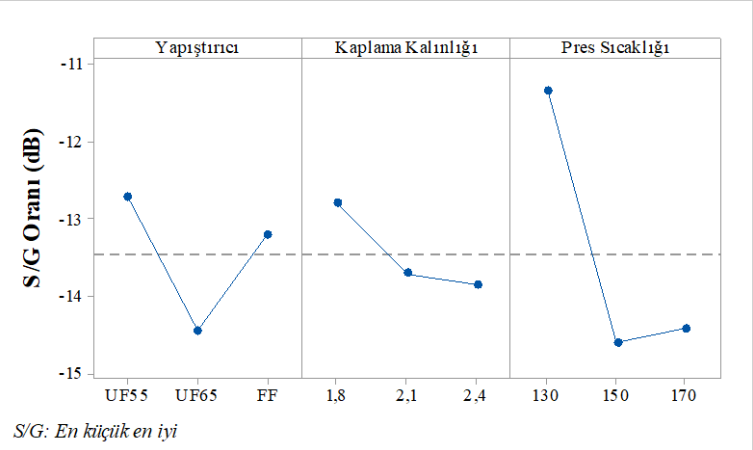
Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu (Tablo 4.13) incelendiğinde, geri esneme oranı üzerine en etkili faktörün pres sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Bunu sırasıyla yapıştırıcı türü ve kaplama kalınlığı takip etmiştir.

Tablo 4.13: byTTK'lerin geri esneme oranları için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	-12,72	-12,81	-11,36
2	-14,43	-13,71	-14,59
3	-13,21	-13,84	-14,41
Fark (max-min)	1,71	1,03	3,23
Sıralama	2	3	1

byTKK'lerin geri esneme oranı için en uygun seviyeleri veren S/G oranı ana etki grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir. Buna güre en düşük geri esneme oranını veren parametre

seviyelerinin, ÜF55 yapıştırıcısı, 1,8 mm kaplama kalınlığı ve 130 ºC pres sıcaklığı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.17: byTKK'lerin geri esneme oranları için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.14), byTKK'lerin geri esneme oranı üzerinde en büyük etkiye sahip üretim parametresinin %48 gibi yüksek bir oranla pres sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, hiçbir faktörün byTKK'lerin geri esneme oranı üzerine istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.14: byTKK'lerin geri esneme oranı için çok faktörlü varyans analizi sonuçları.

Faktör	SD	KT	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Yapıştırıcı Türü	2	1,6500	0,42	0,706	14,3
Kaplama Kalınlığı	2	0,3413	0,09	0,921	30,0
Pres Sıcaklığı	2	5,5871	1,41	0,415	48,4
Hata	2	3,9685			34,4
Toplam	8	11,5468			100,0

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, $p \leq 0,05$, KT = 0,656

byTKK üretimi esnasında kaplamaların yeterli sıcaklığa ulaşmadan sıkıştırılmasından dolayı amorf odun bileşenlerinin yeterince yumuşamadan sıkıştırma işlemi gerçekleşmiştir. Buna bağlı olarak da yoğunlaştırma işlemi daha yıkıcı olarak gerçekleşmiş, yani hücre duvarlarında kırılma ve göçmeler olmuş olabilir. Yıkıcı bir yoğunlaştırma işlemi sonucu geri esnemenin azalması (Blomberg, 2006), byTKK'lerin geri esneme oranının bu denli düşük olmasının nedeni olabilir. Ancak, yoğunlaştırma işlemi esnasında yıkıcılık düzeyi yani hücre duvarında kırılma ve göçmelerin artışına bağlı olarak mekanik özelliklerde düşüş gözlenmektedir (Yu vd., 2017).

4.5.2. Mekanik Özellikler

Mobilya endüstrisinde L şeklinde konstrüksiyonların performansını belirlemede moment taşıma kapasiteleri ve rijitlik dikkate alınmaktadır (Cai vd., 1995; Zhang vd., 2005; Efe vd., 2014; Smardzewski vd., 2016, 2017; Özdemir ve Ciritcioğlu, 2018). Bu bölümde, üretilen byTKK'lerin performans düzeyini belirlemede kullanılan diyagonal çekme ve basma deneylerinden elde edilen moment taşıma kapasitesi ve rijitlik bulguları yer almaktadır. Ayrıca, uygulanan bu statik testler sonucunda en iyi sonucu veren numunelerin, tekrar eden yükler altındaki diyagonal çekme ve basma dayanımları incelenerek kontrol grubu numunelerle kıyaslanmıştır. Kontrol grubu numunelerin üretiminde, yoğunlaştırılmamış 1,8 mm kalınlığında Amerikan Kavağı (I-77/51) (*Populus deltoides*) kaplamalar ile endüstride kavisli elemanların üretiminde sıklıkla kullanılan 1,4 mm kalınlığında Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) kaplamalar kullanılmıştır.

4.5.2.1. Diyagonal Çekmede Moment Taşıma Kapasitesi

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen byTKK ve kontrol numunelerinin diyagonal çekmede moment taşıma kapasiteleri (DÇ-M) Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi.

Deney Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Diyagonal Çekmede Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)		
				x̄	S	S/G
1	ÜF55	1,8	130	29,03	6,05	28,70
2	ÜF55	2,1	150	33,77	1,58	30,55
3	ÜF55	2,4	170	27,97	1,17	28,92
4	ÜF65	1,8	150	44,87	2,74	33,00
5	ÜF65	2,1	170	34,35	5,85	30,38
6	ÜF65	2,4	130	37,98	6,07	31,36
7	FF	1,8	170	34,27	5,32	30,47
8	FF	2,1	130	37,49	4,15	31,35
9	FF	2,4	150	30,84	1,37	29,76
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	36,62	8,89	-
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	71,05	11,30	-

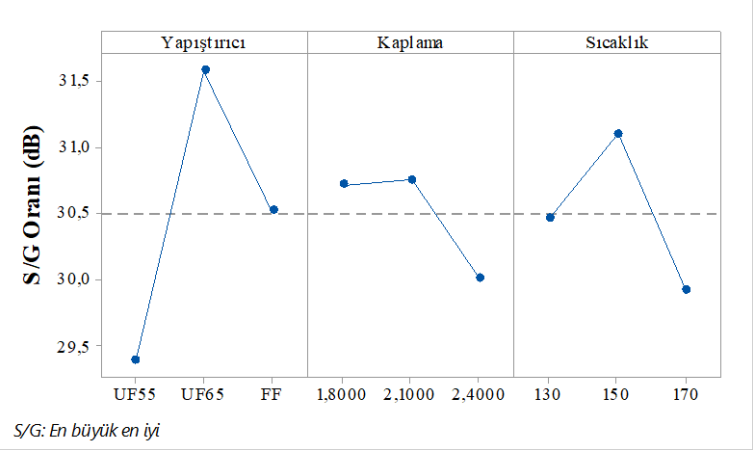
x̄: Aritmetik ortalama, S/G: Sinyal gürültü oranı, S: Standart sapma

Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde, diyagonal çekme deneyinde moment taşıma kapasitesi üzerine en etkili üretim faktörleri sırasıyla yapıştırıcı türü, pres sıcaklığı ve kaplama kalınlığı olarak belirlenmiştir (Tablo 4.16).

Tablo 4.16: byTTK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	29,39	30,72	30,47
2	31,58	30,76	31,11
3	30,53	30,01	29,92
Fark (max-min)	2,19	0,75	1,18
Sıralama	1	3	2

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, byTKK'lerin diyagonal çekme deneyinde en yüksek moment taşıma kapasitesinin elde edileceği parametre kombinasyonunun ÜF65 yapıştırıcısı, 2,1 mm kaplama kalınlığı ve 150 ºC pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: byTTK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.17), üretilen levhaların diyagonal çekme deneyinde moment taşıma kapasitesi üzerine kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığının anlamlı bir etkisinin olmadığı, yapıştırıcı türünün ise istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak yapıştırıcı türünün %34,4'lük bir oranla diyagonal çekme deneyinde moment taşıma kapasitesi üzerine en etkili faktör olduğu görülmüştür.

Tablo 4.17: byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*6*	*674,884*	*112,481*	*4,764*	*0,002*	*49,7*
Yapıştırıcı Türü	2	467,420	233,710	9,898	0,001	34,4
Kaplama Kalınlığı	2	94,893	47,446	2,009	0,152	7,0
Pres Sıcaklığı	2	112,570	56,285	2,384	0,110	8,3
Hata	29	684,746	23,612			50,4
Düzeltilmiş Toplam	*35*	*1359,629*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT = 0,497

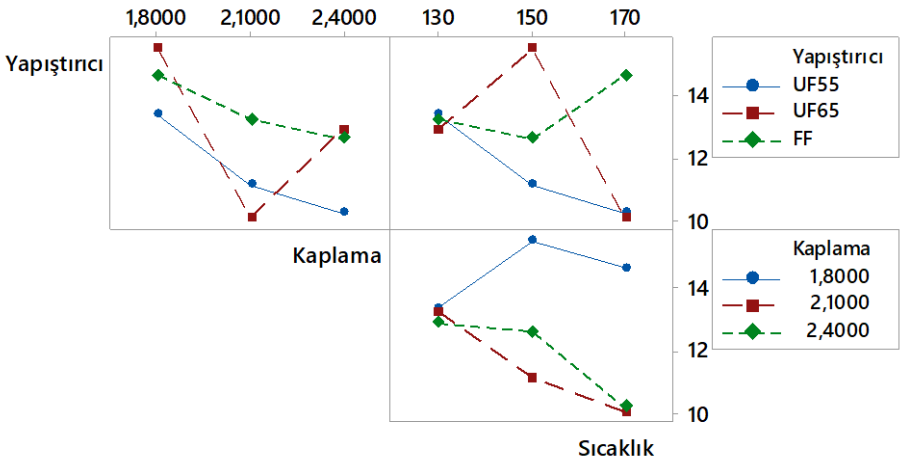
Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan byTKK deneme gruplarının kontrol numunelerle kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 4.18). Sonuç olarak, sadece Kayın grubu kontrol numunelerin (Kayın-K) moment taşıma kapasitesi, diğer numunelerden istatistiksel olarak önemli düzeyde (p≤0,05) pozitif ayrışmıştır. Kavak kontrol (Kavak-K) ve byTKK numuneler arasında ise diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi açısından anlamlı bir fark belirlenememiştir.

Tablo 4.18: byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Diyagonal Çekmede Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)									
Yapıştırıcı Türü	**Homojenlik Grupları**			**Kaplama Kalınlığı (mm)**	**Homojenlik Grupları**		**Pres Sıcaklığı (ºC)**	**Homojenlik Grupları**	
	1	**2**	**3**		**1**	**2**		**1**	**2**
Kayın-K	71,05			Kayın-K	71,05		Kayın-K	71,05	
ÜF65		39,07		Kavak-K		36,62	Kavak-K		36,62
Kavak-K		36,62	36,62	1,8		36,06	150		36,49
FF		34,20	34,20	2,1		35,20	130		34,83
ÜF55			30,26	2,4		32,27	170		32,20
Sig.	1,00	0,18	0,08	Sig.	1,00	0,24	Sig.	1,00	0,24

Duncan, p≤0,05

Diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Yapıştırıcı türü ile kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığının etkileşimlerine bakıldığında ÜF55 ile FF yapıştırıcıları arasında önemli bir fark gözlemlenmezken, bunların ÜF65 yapıştırıcısı ile aralarında bir fark gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı arasında ise zayıf bir etkileşimin varlığından söz etmek mümkündür.



Şekil 4.19: byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri.

4.5.2.2. Diyagonal Çekmede Rijitlik

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen byTKK ve kontrol numunelerinin diyagonal çekmede rijitlik (DÇ-R) değerleri Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal çekmede rijitlik değerleri.

Deney Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Diyagonal Çekmede Rijitlik (Nm/Derece)		
				x̄	S	S/G
1	ÜF55	1,8	130	13,36	0,98	22,46
2	ÜF55	2,1	150	11,14	0,83	20,88
3	ÜF55	2,4	170	10,21	0,48	20,16
4	ÜF65	1,8	150	15,50	2,13	23,59
5	ÜF65	2,1	170	10,05	2,63	19,16
6	ÜF65	2,4	130	12,88	2,33	21,78
7	FF	1,8	170	14,62	3,34	22,73
8	FF	2,1	130	13,22	2,06	22,21
9	FF	2,4	150	12,60	2,87	21,30
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	12,01	4,96	-
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	16,06	1,47	-

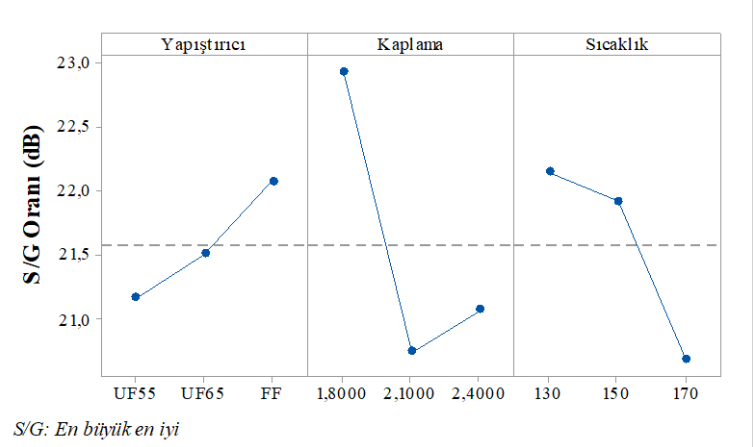
x̄: Aritmetik ortalama, S/G: Sinyal gürültü oranı, S: Standart sapma

Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde diyagonal çekme deneyinde rijitlik üzerine en etkili üretim faktörleri sırasıyla kaplama kalınlığı, pres sıcaklığı ve yapıştırıcı türü olarak belirlenmiştir (Tablo 4.20).

Tablo 4.20: byTTK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	21,17	22,93	22,15
2	21,51	20,75	21,92
3	22,08	21,08	20,68
Fark (max-min)	0,91	2,18	1,47
Sıralama	3	1	2

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, diyagonal çekme deneyinde en yüksek rijitlik değerinin elde edileceği parametre kombinasyonunun FF yapıştırıcısı, 1,8 mm kaplama kalınlığı ve 130 ºC pres sıcaklığı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20: byTTK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.21), üretilen levhaların diyagonal çekme deneyinde, rijitlik üzerine yapıştırıcı türü ve pres sıcaklığının anlamlı bir etkisinin olmadığı, kaplama kalınlığının ise istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak kaplama kalınlığının %26,9'luk bir oranla diyagonal çekme deneyinde rijitlik üzerine en etkili faktör olduğu görülmüştür.

Tablo 4.21: byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	SD	KT	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*6*	*104,53*	*17,421*	*3,767*	*0,007*	*43,8*
Yapıştırıcı Türü	2	22,66	11,328	2,450	0,104	9,5
Kaplama Kalınlığı	2	64,13	32,063	6,934	0,003	26,9
Pres Sıcaklığı	2	17,75	8,873	1,919	0,165	7,4
Hata	29	134,11	4,624			56,2
Düzeltilmiş Toplam	*35*	*238,63*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT=0,438

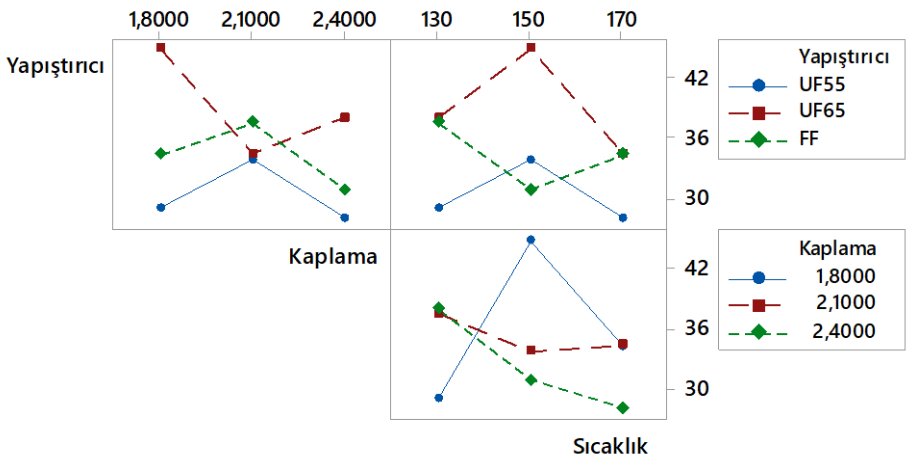
Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan byTKK deneme gruplarının kontrol numunelerle kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 4.22). Sonuç olarak, Kayın grubu kontrol numuneleri ile FF yapıştırıcısı ve 1,8 mm kalınlığında kaplamalarla üretilen byTKK'lerde en yüksek rijitlik değeri elde edilmiştir. Pres sıcaklığı açısından ise kayın kontrol grubu numunelerde en yüksek rijitlik değeri elde edilmiştir. Kavak kontrol ve byTKK numuneler arasında ise rijitlik açısından anlamlı bir fark belirlenememiştir.

Tablo 4.22: byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Diyagonal Çekmede Rijitlik (Nm/Derece)									
Yapıştırıcı Türü	Homojenlik Grupları		Kaplama Kalınlığı	Homojenlik Grupları			Pres Sıcaklığı	Homojenlik Grupları	
	1	2	(mm)	1	2	3	(ºC)	1	2
Kayın-K	16,06		Kayın-K	16,06			Kayın-K	16,06	
FF	13,48	13,48	1,8	14,49	14,49		130		13,15
ÜF65		12,81	Kavak-K		12,01	12,01	150		13,08
Kavak-K		12,01	2,4		11,90	11,90	Kavak-K		12,01
ÜF55		11,57	2,1			11,47	170		11,63
Sig.	0,07	0,21	Sig.	0,26	0,08	0,71	Sig.	1,00	0,31

Duncan, p≤0,05

Diyagonal çekmede rijitlik için ikili etkileşim grafikleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Yapıştırıcı türü ile kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığının etkileşimlerine bakıldığında ÜF55 ile FF yapıştırıcıları arasında önemli bir fark gözlemlenmezken, bunların ÜF65 yapıştırıcısı ile aralarında bir fark gözlemlenmektedir. Kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı arasında da ikili etkileşim söz konusu olup, 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalarla 2,1 ve 2,4 mm kalınlığındakiler arasında fark mevcuttur.



Şekil 4.21: byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitlik için ikili etkileşim grafikleri.

4.5.2.3. Diyagonal Basmada Moment Taşıma Kapasitesi

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen byTKK ve kontrol numunelerinin diyagonal basmada moment taşıma kapasiteleri (DB-M) Tablo 4.23'te verilmiştir.

Tablo 4.23: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi.

Deney Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Diyagonal Basmada Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)		
				x̄	S	S/G
1	ÜF55	1,8	130	72,13	0,98	37,11
2	ÜF55	2,1	150	90,49	0,83	39,07
3	ÜF55	2,4	170	78,83	0,48	37,92
4	ÜF65	1,8	150	90,59	2,13	39,10
5	ÜF65	2,1	170	81,84	2,63	38,23
6	ÜF65	2,4	130	78,89	2,33	37,93
7	FF	1,8	170	58,89	3,34	35,29
8	FF	2,1	130	78,84	2,06	37,89
9	FF	2,4	150	70,79	2,87	36,91
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	56,53	2,00	-
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	75,79	1,85	-

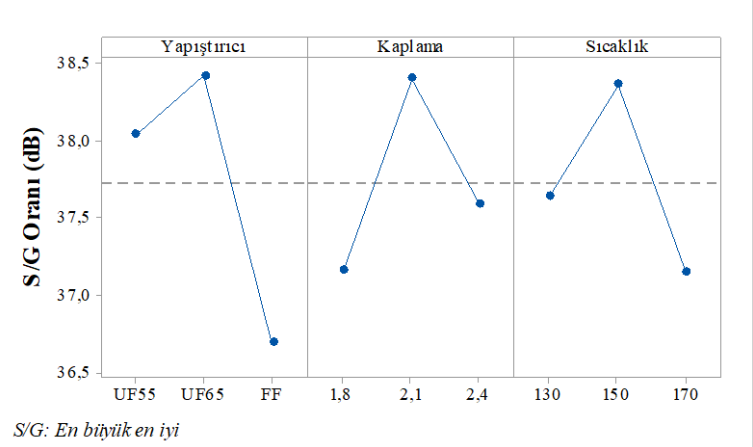
x̄: Aritmetik ortalama, S/G: Sinyal gürültü oranı, S: Standart sapma

Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde diyagonal basma deneyinde moment taşıma kapasitesi üzerine en etkili üretim faktörleri sırasıyla yapıştırıcı türü, kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Tablo 4.24).

Tablo 4.24: byTTK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	38,04	37,17	37,65
2	38,42	38,4	38,36
3	36,7	37,59	37,15
Fark (max-min)	1,72	1,23	1,21
Sıralama	1	2	3

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, diyagonal basma deneyinde en yüksek moment taşıma kapasitesinin elde edileceği parametre kombinasyonunun ÜF65 yapıştırıcısı, 2,1 mm kaplama kalınlığı ve 150 ºC pres sıcaklığı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22: byTTK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.25), üretilen levhaların diyagonal basma deneyinde tüm üretim parametrelerinin moment taşıma kapasitesi üzerine istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip olduğu görülmektedir. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak, yapıştırıcı türünün %34,2'lük bir oranla diyagonal basma deneyinde moment taşıma kapasitesi üzerine en etkili faktör olduğu görülmüştür.

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan byTKK deneme gruplarının kontrol numunelerle kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 4.26). Üretilen tüm byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasiteleri, Kavak kontrol numunelerine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek çıkmıştır. Kullanılan yapıştırıcı türü dikkate alındığında en iyi sonuçlar ÜF65 yapıştırıcısında elde edilmiştir. ÜF55 ve FF yapıştırıcısı kullanılan byTKK'lerin diyagonal basmada moment

taşıma kapasiteleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Kaplama kalınlığı dikkate alındığında en iyi sonuçlar, 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalardan üretilen byTKK'lerde elde edilmiştir. Kayın kontrol numuneleri ile 2,4 ve 2,1 mm kalınlığında kaplamalardan üretilen byTKK'ler aynı homojenlik grubunda yer almıştır. Uygulanan pres basıncı dikkate alındığında ise en iyi sonuçlar, 150 ºC'de elde edilmiştir. Kayın kontrol numuneleri ile 130 ve 170 ºC'de preslenen byTKK'ler aynı homojenlik grubunda yer almıştır.

Tablo 4.25: byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	**SD**	**KT (Tip 3)**	**KO**	**F-değeri**	**p-değeri**	**Etki Oranı (%)**
Düzeltilmiş Model	*6*	2703,693	450,615	10,794	0,000	69,1
Yapıştırıcı Türü	2	1339,513	669,757	16,044	0,000	34,2
Kaplama Kalınlığı	2	637,991	318,996	7,641	0,002	16,3
Pres Sıcaklığı	2	726,188	363,094	8,698	0,001	18,6
Hata	29	1210,613	41,745			30,9
Düzeltilmiş Toplam	*35*	3914,306				100,0

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT=0,691

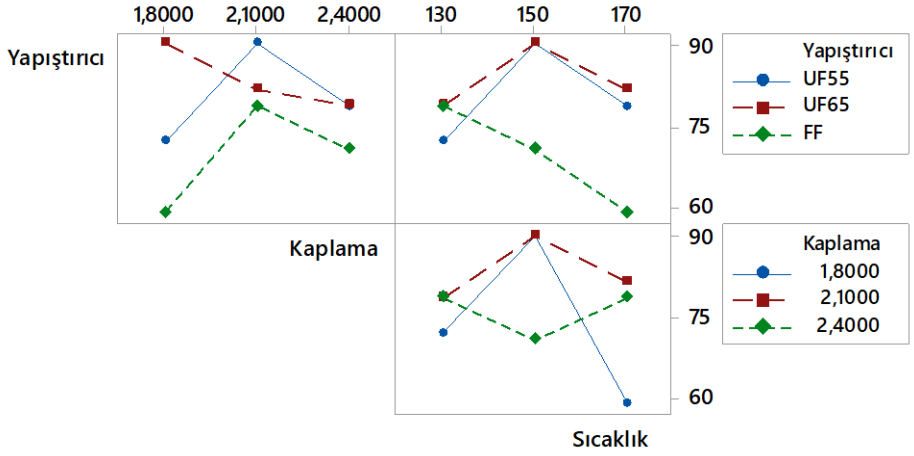
Tablo 4.26: byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Diyagonal Basmada Moment Taşıma Kapasitesi (Nm)								
Yapıştırıcı Türü	**Homojenlik Grupları**				**Kaplama Kalınlığı (mm)**	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**	**4**		**1**	**2**	**3**
ÜF65	83,77				2,1	83,72		
ÜF55	80,48	80,48			2,4		76,17	
Kayın-K		75,79	75,79		Kayın-K		75,79	
FF			69,51		1,8		73,87	
Kavak-K				56,53	Kavak-K			56,53
Sig.	0,32	0,16	0,06	1,00	Sig.	1,00	0,51	1,00

Pres Sıcaklığı (ºC)	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**
150	83,95		
130		76,62	
Kayın-K		75,79	
170		73,19	
Kavak-K			56,53
Sig.	1,00	0,33	1,00

Duncan, p≤0,05

Diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Yapıştırıcı türü ile kaplama kalınlığı arasındaki ikili etkileşim incelendiğinde, ÜF65 yapıştırıcısı ile diğerleri aralarında bir fark gözlemlenmektedir. Yapıştırıcı türü ile pres sıcaklığı arasında ise FF yapıştırıcısı ÜF yapıştırıcılarında ayrılmaktadır. Kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı arasında da ikili etkileşim söz konusu olup, 2,4 mm kalınlığındaki kaplamalarla 1,8 ve 2,1 mm kalınlığındakiler arasında fark mevcuttur.



Şekil 4.23: byTKK'lerin diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri.

4.5.2.4. Diyagonal Basmada Rijitlik

Taguchi analizi için L9 ortogonal dizine göre üretilen byTKK ve kontrol numunelerinin diyagonal basmada rijitlik (DB-R) değerleri Tablo 4.27'de verilmiştir.

Üretilen byTKK'lerin S/G oranı yanıt tablosu incelendiğinde diyagonal basma deneyinde rijitlik üzerine en etkili üretim faktörleri sırasıyla yapıştırıcı türü, kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Tablo 4.28).

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, byTKK'lerin diyagonal çekme deneyinde en yüksek rijitlik değerinin elde edileceği parametre kombinasyonunun ÜF55 yapıştırıcısı, 1,8 mm kaplama kalınlığı ve 170 ºC pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Şekil 4.24).

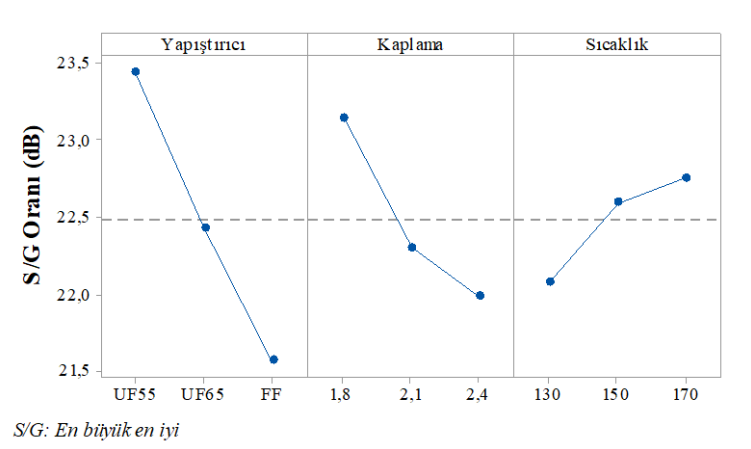
Tablo 4.27: Taguchi L9 ortogonal deney tasarımına göre üretilen byTTK'lerin diyagonal basmada rijitlik değerleri.

Deney Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (°C)	Diyagonal Basmada Rijitlik (Nm/Derece)		
				x̄	S	S/G
1	ÜF55	1,8	130	15,96	1,44	23,97
2	ÜF55	2,1	150	13,67	1,51	22,59
3	ÜF55	2,4	170	15,61	1,62	23,75
4	ÜF65	1,8	150	15,77	2,16	23,74
5	ÜF65	2,1	170	13,88	0,88	22,80
6	ÜF65	2,4	130	11,00	0,92	20,75
7	FF	1,8	170	13,06	2,89	21,73
8	FF	2,1	130	11,94	0,37	21,53
9	FF	2,4	150	12,02	1,39	21,46
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	8,13	1,53	-
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	10,20	0,53	-

x̄: Aritmetik ortalama, S/G: Sinyal gürültü oranı, S: Standart sapma

Tablo 4.28: byTTK'lerin diyagonal basmada rijitlik için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	23,44	23,15	22,08
2	22,43	22,31	22,6
3	21,57	21,99	22,76
Fark (max-min)	1,87	1,16	0,68
Sıralama	1	2	3



Şekil 4.24: byTTK'lerin diyagonal basmada rijitlik için S/G oranı ana etki grafiği.

Uygulanan çok faktörlü varyans analizi sonucuna göre (Tablo 4.29), üretilen levhaların diyagonal basma deneyinde rijitlik üzerine pres sıcaklığının anlamlı bir etkisinin olmadığı, yapıştırıcı türü ve kaplama kalınlığının ise istatistiksel olarak önemli ($p \leq 0,05$) etkiye sahip

olduğu görülmektedir. Diğer yandan, S/G yanıt tablosu verilerine paralel olarak yapıştırıcı türünün %25,5'lik bir oranla diyagonal basma deneyinde rijitlik üzerine en etkili faktör olduğu görülmüştür.

Tablo 4.29: byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	SD	KT (Tip 3)	KO	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Düzeltilmiş Model	*6*	*84,373*	*14,062*	*4,363*	*0,003*	*47,5*
Yapıştırıcı Türü	2	45,277	22,638	7,025	0,003	25,5
Kaplama Kalınlığı	2	29,682	14,841	4,605	0,018	16,7
Pres Sıcaklığı	2	9,415	4,707	1,461	0,249	5,3
Hata	29	93,460	3,223			52,6
Düzeltilmiş Toplam	*35*	*177,833*				*100,0*

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, KO: kareler ortalaması, p≤0,05, KT=0,475

Taguchi L9 ortogonal dizine göre oluşturulan byTKK deneme gruplarının kontrol numunelerle kıyaslanması için gruplar arası farkın önem kontrolü (Duncan) uygulanmıştır (Tablo 4.30). Sonuç olarak, bütün byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik değerleri, Kayın ve Kavak kaplamalarla üretilen bTKK'lerinkinden (kontrol grupları) istatistiksel olarak anlamlı (p≤0,05) düzeyde yüksek çıkmıştır.

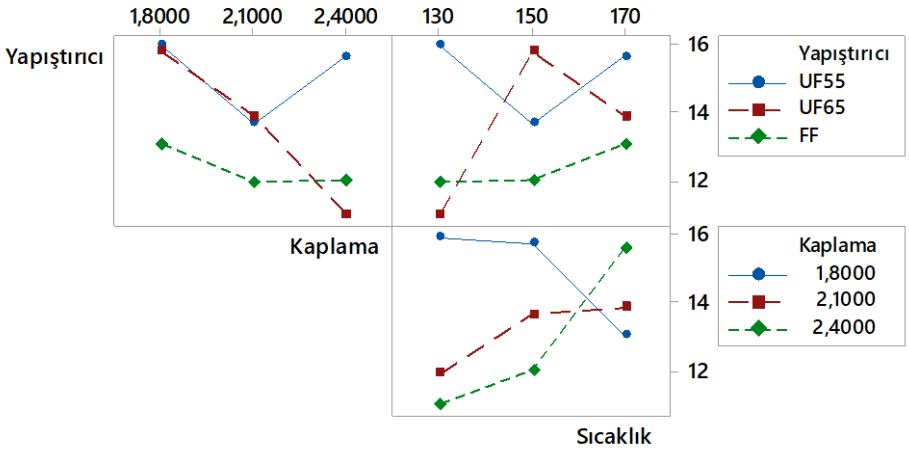
Tablo 4.30: byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik için gruplar arası farkın önem kontrolü.

Diyagonal Basmada Rijitlik (Nm/Derece)									
Yapıştırıcı Türü	**Homojenlik Grupları**				**Kaplama Kalınlığı (mm)**	**Homojenlik Grupları**			
	1	**2**	**3**	**4**		**1**	**2**	**3**	**4**
ÜF55	15,08				1,8	14,93			
ÜF65	13,55	13,55			2,1	13,16	13,16		
FF		12,34			2,4		12,88		
Kayın-K			10,20		Kayın-K			10,20	
Kavak-K				8,13	Kavak-K				8,13
Sig.	0,11	0,20	1,00	1,00	Sig.	0,07	0,76	1,00	1,00

Pres Sıcaklığı (ºC)	**Homojenlik Grupları**		
	1	**2**	**3**
170	14,18		
150	13,82		
130	12,96		
Kayın-K		10,20	
Kavak-K			8,13
Sig.	1,00	0,33	1,00

Duncan, p≤0,05

Diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi için ikili etkileşim grafikleri Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Yapıştırıcı türü ile kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığının etkileşimlerine bakıldığında ÜF55 ile FF yapıştırıcıları arasında önemli bir fark gözlemlenmezken, bunların ÜF65 yapıştırıcısı ile aralarında özellikle 2,4 mm kaplama kalınlığında ve 170 ºC'de bir fark söz konusudur. Kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı arasında ise pres sıcaklığı 170 ºC olarak ayarlandığında ikili etkileşim söz konusudur.



Şekil 4.25: byTKK'lerin diyagonal basmada rijitlik için ikili etkileşim grafikleri.

4.5.2.5. Mekanik Özelliklerin Gri İlişkisel Analiz ile Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında, belirlenen 3 üretim parametresinin 3 farklı seviyesine göre üretilen byTKK'lerin diyagonal çekme ile basma deneylerinde moment taşıma kapasitesi ve rijitlik özelliklerine göre en ideal üretim koşulları, bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemi olan gri ilişkisel analiz (GİA) uygulanarak belirlenmiştir.

GİA'nın ilk aşamasında byTKK'lerin performans kriteri olarak belirlenen mekanik özellikleri ve bunların en yüksek seviyeleri Tablo 4.31'de gösterilmiştir. Performans kriteri olarak belirlenen mekanik özellikler için en yüksek değer en iyi sonuç olarak ele alınmıştır. Yani referans serisi, ölçülen her bir mekanik özelliğin en yüksek değeri olarak kabul edilmiştir.

GİA'nın 2. aşamasında ölçüm değerlerinin en yükseği 1, en düşüğü ise 0 olacak şekilde normalize edilmiştir. Bu değerlerin gösterildiği normalizasyon matrisi Tablo 4.31'de verilmiştir. Veriler en yüksek en iyi prensibine dayanarak Eşitlik 9'a göre hesaplanmıştır.

Tablo 4.31: byTKK'lerin çoklu performansları için referans serisi ve normalizasyon matrisi.

Deney Grubu	Mekanik Özellikler				Normalizasyon Matrisi			
	$M_ç$	$R_ç$	M_b	R_b	$M_ç$	$R_ç$	M_b	R_b
1	29,03	13,36	72,13	15,96	0,06	0,61	0,42	1,00
2	33,77	11,14	90,49	13,67	0,34	0,20	1,00	0,54
3	27,97	10,21	78,83	15,61	0,00	0,03	0,63	0,93
4	44,87	15,50	90,59	15,77	1,00	1,00	1,00	0,96
5	34,35	10,05	81,84	13,88	0,38	0,00	0,72	0,58
6	37,98	12,88	78,89	11,00	0,59	0,52	0,63	0,00
7	34,27	14,62	58,89	13,06	0,37	0,84	0,00	0,42
8	37,49	13,22	78,84	11,94	0,56	0,58	0,63	0,19
9	30,84	12,60	70,79	12,02	0,17	0,47	0,38	0,20
Referans Serisi	44,87	15,50	90,59	15,95	1,00	1,00	1,00	1,00

$M_ç$: diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi, $R_ç$: diyagonal çekmede rijitlik, M_b: diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi, R_b: diyagonal basmada rijitlik,

GİA'nın 3. aşamasında normalize edilen değerlerle, referans serisi arasındaki fark Eşitlik 13'e göre belirlenmiştir. 4. aşamasında ise uzaklık değerleri kullanılarak Eşitlik 16'ya göre gri ilişkisel katsayı değerleri hesaplanmış. 5. aşamada ise tüm performans kriterlerinin gri ilişkisel katsayılarının aritmetik ortalaması alınarak her bir deneme grubu için gri ilişkisel derece hesaplanmış (Eşitlik 17) ve en büyük en iyi olacak şekilde sıralanmıştır. Hesaplanan fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve sıralama sonuçları Tablo 4.32'de gösterilmiştir.

Tablo 4.32: byTKK'lerin çoklu performansları için fark değerler, gri ilişkisel katsayılar, gri ilişkisel derece ve performans sıralaması.

Deney Grubu	Fark Değer				Gri İlişkisel Katsayı				Gri İlişkisel Derece	Sıra
	$M_ç$	$R_ç$	M_b	R_b	$M_ç$	$R_ç$	M_b	R_b		
1	0,94	0,39	0,58	0,00	0,35	0,56	0,46	1,00	0,592	2
2	0,66	0,80	0,00	0,46	0,43	0,38	0,99	0,52	0,583	3
3	1,00	0,97	0,37	0,07	0,33	0,34	0,57	0,88	0,532	4
4	0,00	0,00	0,00	0,04	1,00	1,00	1,00	0,93	0,983	1
5	0,62	1,00	0,28	0,42	0,45	0,33	0,64	0,54	0,492	8
6	0,41	0,48	0,37	1,00	0,55	0,51	0,58	0,33	0,492	7
7	0,63	0,16	1,00	0,58	0,44	0,76	0,33	0,46	0,499	6
8	0,44	0,42	0,37	0,81	0,53	0,54	0,57	0,38	0,509	5
9	0,83	0,53	0,62	0,80	0,38	0,48	0,44	0,39	0,423	9

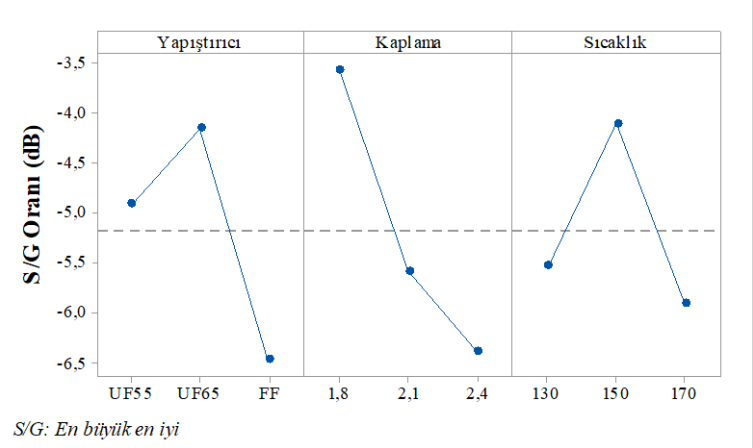
$M_ç$: diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi, $R_ç$: diyagonal çekmede rijitlik, M_b: diyagonal basmada moment taşıma kapasitesi, R_b: diyagonal basmada rijitlik,

Uygulanan GİA neticesinde hesaplanan gri ilişkisel derece değerlerine L9 ortogonal dizine göre tekrar Taguchi analizi uygulanmış. Elde edilen sonuçlara göre, byTKK'lerin çoklu performansı üzerine en etkili faktörün kaplama kalınlığı olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla yapıştırıcı türü ve pres sıcaklığı takip etmiştir (Tablo 4.33).

Tablo 4.33: byTKK'lerin çoklu performansları için S/G oranı (dB) yanıt tablosu.

Seviye	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı	Pres Sıcaklığı
1	-4,909	-3,581	-5,525
2	-4,156	-5,577	-4,108
3	-6,465	-6,373	-5,898
Fark (max-min)	2,309	2,793	1,790
Sıralama	2	1	3

S/G oranı ana etki grafiği incelendiğinde, çoklu performans için en ideal faktör seviyeleri ÜF65 yapıştırıcısı, 1,8 mm kaplama kalınlığı ve 150 ºC pres sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26: byTKK'lerin çoklu performansları için S/G oranı ana etki grafiği.

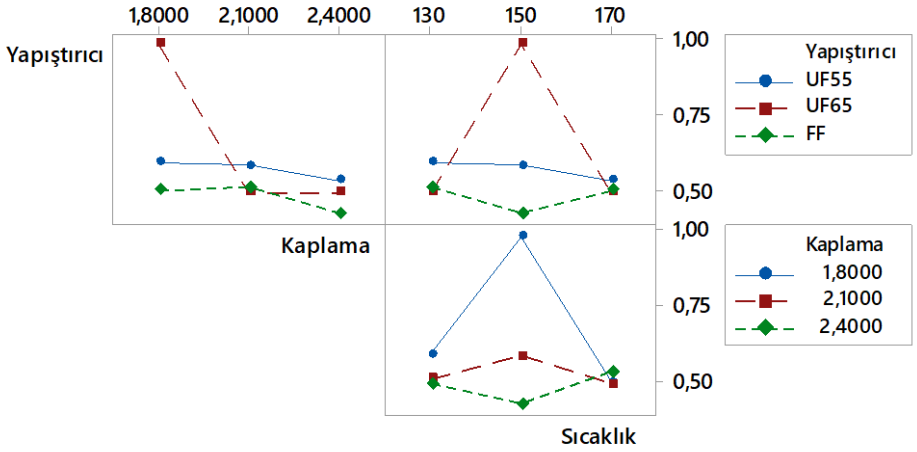
byTKK'lerin mekanik özelliklerinin çoklu olarak değerlendirilmesi ile elde edilen gri ilişkisel derece değerlerine çok faktörlü varyans analizi uygulanarak, üretim faktörlerinin, çoklu performans üzerine etki düzeyi hesaplanmış ve Tablo 4.34'te gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre yapıştırıcı türü, pres sıcaklığı ve kaplama kalınlığı çoklu performans üzerinde sırasıyla %33,7 ve %22,4 ve %19,5'lik etkiye sahipken, bu etkiler istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmamıştır.

Tablo 4.34: byTKK'lerin çoklu performansları için çok faktörlü varyans analizi.

Faktör	SD	KT	F-değeri	p-değeri	Etki Oranı (%)
Yapıştırıcı türü	2	0,07252	1,38	0,420	33,7
Kaplama Kalınlığı	2	0,04197	0,80	0,556	19,5
Pres Sıcaklığı	2	0,04806	0,92	0,522	22,4
Hata	2	0,05247			24,4
Toplam	8	0,21502			100,0

SD: serbestlik derecesi, KT: kareler toplamı, p≤0,05, KT=0,756

byTKK'lerin çoklu performansı için ikili etkileşim grafikleri Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Yapıştırıcı türü ile kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığının etkileşimlerine bakıldığında, ÜF55 ile FF yapıştırıcıları arasında fark gözlemlenmezken, bunların ÜF65 yapıştırıcısı ile aralarında kaplama kalınlığı 1,8 mm ve pres sıcaklığı 150 ºC olduğunda fark söz konusudur. Kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı arasında da ikili etkileşim söz konusu olup, 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalarla 2,1 ve 2,4 mm kalınlığındakiler arasında fark mevcuttur.



Şekil 4.27: byTKK'lerin çoklu performansları için ikili karşılaştırma grafikleri.

4.5.2.6. Doğrulama Deneyi

Uygulanan Taguchi tabanlı GİA'ya göre çoklu performansı en iyi yapan faktör kombinasyonu deneme deseninin içinde yer almaktadır. Bu yüzden yeni levha üretilmemiş, fazla parçalardan her bir deney grubu için 2'şer numune daha kesilerek testleri yapılmıştır. Doğrulama deney sonuçları ve Taguchi yöntemine göre mekanik özelliklerin tahmini değerleri (Eşitlik 4 ve 5'e göre hesaplanmıştır) Tablo 4.35'te gösterilmiştir. byTKK

levhaların performans kriterleri olarak belirlenen DÇ-M, DÇ-R, DB-M ve DB-R için GA Tablo 4.17, 4.21, 4.25, 4.29'daki veriler ile Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmıştır. GA ve doğrulama deneyi sonucu elde edilen değerlerin değişim aralığı Tablo 4.35'de gösterilmiştir.

Tablo 4.35: GİA sonucu belirlenen en ideal üretim koşullarına göre üretilen byTKK levhaların doğrulama deney sonuçları ve Taguchi metoduna göre tahmin değerleri.

Deney Grubu	**DÇ-M (Nm)**	**DÇ-R (Nm/Derece)**	**DB-M (Nm)**	**DB-R (Nm/Derece)**
Güven Aralığı	8,28	3,62	10,88	3,02
Değişim Aralığı	34,32≤ ≤50,88	11,52≤ ≤18,76	74,87≤ ≤96,63	11,96≤ ≤18,00
Doğrulama	45,83	14,34	92,29	15,34
Tahmin	42,60	15,14	85,75	14,98
Hata Oranı (%)	7,58	-5,28	7,63	2,40
Kavak-K'e kıyasla İyileşme Oranı (%)	25 (36,62)	19 (12,01)	63 (56,53)	89 (8,13)
Kayın-K'e Kıyasla İyileşme Oranı (%)	-36 (71,05)	-11 (16,06)	22 (75,79)	50 (10,20)

DÇ-M: diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi, DÇ-R: diyagonal çekmede rijitlik, DB-M: diyagonal çekmede moment taşıma kapasitesi, DB-R: diyagonal çekmede rijitlik, Kavak-K: Kavak kontrol, Kayın-K: Kayın kontrol
Parantez içinde kıyaslamada kullanılan kontrol grubu TKK mekanik özellikleri belirtilmektedir.

Bu sonuçlara göre doğrulama deneyi sonucu elde edilen DÇ-M, DÇ-R, DB-M ve DB-R değerleri %95 güven düzeyine göre belirlenen değişim aralığı içinde yer almaktadır. Buradan yola çıkarak, Taguchi tabanlı GİA ile byTKK'lerin üretim parametreleri güvenle ve daha düşük maliyetlerle tahmin edilebileceği söylenebilir.

4.5.2.7. Diyagonal Çekmede Yorulma

Diyagonal çekmede yorulma deneyi sonucunda, numunelerin 25000 tekrar yükleme sonrasında kırılmadan dayanabildiği yük seviyeleri Tablo 4.36'da listelenmiştir.

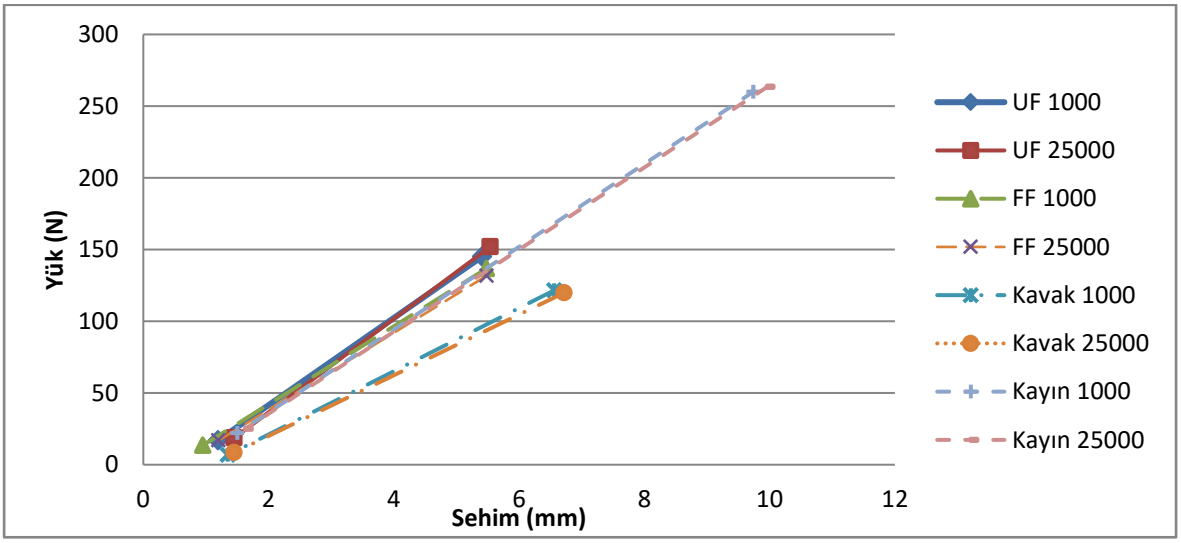
Sonuçlar incelendiğinde Kayın kontrol numuneleri 264 N ile en yüksek diyagonal çekmede yorulma dayanımı gösteren grubu oluşturmuştur. byTKK numuneler arasında ÜF65 yapıştırıcısı kullanılanlar (143 N), FF'e göre (132 N) daha yüksek yorulma dayanımı gösterirken, yoğunlaştırılmamış Kavak kaplamalardan üretilen bTKK'ler 121 N ile en düşük yorulma dayanımı gösteren grup olmuştur. Ancak, bütün deneme grupları

TS EN 1728 ve TS EN 12520 standartlarının (oturma yeri ve arkalık yorulma deneyi) uyarlanmasıyla belirlenen 44 N'luk sınır değerin çok üstünde dayanım göstermiştir.

Tablo 4.36: byTKK ve kontrol numunelerin diyagonal çekmede yorulma dayanımı.

Deneme Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (°C)	En Yüksek Yorulma Yükü (N)
4	ÜF65	1,8	150	143 (3,25)
8	FF	2,1	130	132 (3)
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	121 (2,75)
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	264 (6)

Parantez içinde TS EN 12520 de belirtilen oturma yeri ve arkalık deneyinin gerektirdiği seviyesinin (44N) kaç katı yüke dayandığı belirtilmektedir



Şekil 4.28: Diyagonal çekme deneyinde 1000. ve 25000. tekrarda yük sehim grafiği.

Yük sehim grafikleri incelendiğinde numunelerin başlangıçtaki (ilk 1000 tekrar) ve bitişteki (25000. tekrar) yük sehim grafikleri arasında önemli bir fark (kayma) belirlenememiştir. Diğer yandan, Kavak-K grubu numunelerin yükleme karşısında daha fazla şekil değiştirdiği söylenebilir (Şekil 4.28).

4.5.2.8. Diyagonal Basmada Yorulma

Diyagonal basmada yorulma deneyi kapsamında, numunelerin 25.000 tekrar yüklemeye kırılmadan dayanabildiği yük seviyeleri Tablo 4.37'te listelenmiştir.

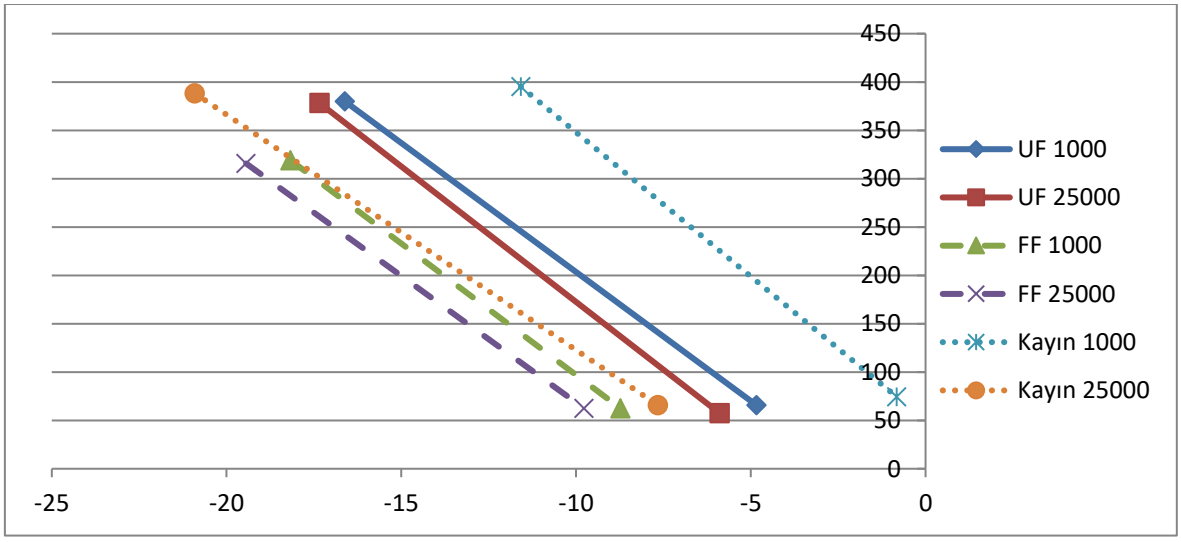
Tablo 4.37: byTKK ve kontrol numunelerin diyagonal basmada yorulma dayanımı.

Deneme Grubu	Yapıştırıcı Türü	Kaplama Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (ºC)	En Yüksek Yorulma Yükü (N)
4	ÜF65	1,8	150	392 (1,25)
8	FF	2,1	130	314 (1)
Kavak-K	ÜF55	1,8	90	-*
Kayın-K	ÜF55	1,4	90	392 (1,25)

Parantez içinde TS EN 12520 de belirtilen oturma yeri ve arkalık deneyinin gerektirdiği seviyesinin (314N) kaç katı yüke dayandığı belirtilmektedir

* TS EN 1728 ve TS EN 12520 standartlarının uyarlanmasıyla hesaplanan yük sınırı olan 314 N'a dayanmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde, ÜF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen byTKK deneme grubu ile Kayın kontrol numuneleri 392 N ile en yüksek diyagonal basmada yorulma dayanımı gösteren grubu oluşturmuştur. FF yapıştırıcısı kullanılarak üretilen byTKK numuneler, TS EN 1728 ve TS EN 12520 standartlarının uyarlanmasıyla hesaplanan yük sınırı olan 314 N'a dayanmıştır. Kavak kontrol grubu numuneler ise örnek sandalye için belirlenen alt sınır olan 314'luk yükün 25.000 kere yüklenmesine dayanım gösterememiş ve kırılmıştır.



Şekil 4.29: Diyagonal basma deneyinde 1000. ve 25000. tekrarda yük sehim grafiği.

Yük sehim grafikleri incelendiğinde numunelerin ilk 1000 ve son 1000 yüklemedeki yük-sehim grafiklerinde bir kaymanın olduğu görülmektedir. Bu durum, diyagonal basmada bu yük seviyelerinde kalıcı deformasyonların başladığına işaret etmektedir.

Ayrıca, yük sehim grafikleri kıyaslandığında, eğimlerinde yani yorulma yüklemesi altındaki elastikiyet özelliklerinde belirgin bir farklılık gözlemlenememiştir (Şekil 4.29).

4.6. Sonuçlar

Çalışmanın bu aşamasında, bükme, TM yoğunlaştırma ve TKK üretim prosesleri birleştirilerek aynı anda uygulanmış, bu sayede düşük yoğunluklu Kavak kaplamalardan, mekanik özellikleri geliştirilmiş TKK üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, byTKK performans (fiziksel ve mekanik) özelliklerini etkileyen üretim parametreleri (yapıştırıcı türü, kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı) Taguchi DT yöntemiyle optimize edilmiştir. Ardından byTKK'lerin çoklu performansını yani tüm mekanik özelliklerini (diyagonal çekme ve basmada moment taşıma kapasitesi ve rijitlik) aynı anda en iyi yapan parametre seviyeleri GİA uygulanarak belirlenmiştir. Son olarak da en iyi sonuçların elde edildiği byTKK'ler tekrar eden yükler altındaki (yorulma) dayanım özellikleri belirlenmiştir.

Birleştirilmiş yöntemle üretilen byTKK'lerin yoğunluklarında önemli düzeyde artış sağlamıştır. Kayın kaplamalardan üretilen bTKK'ler ile kıyaslandığında, 8 ve 2 numaralı deneme grubu byTKK'ların yoğunluğu anlamlı düzeyde yüksek çıkarken, diğer deneme grupları ile aralarında anlamlı bir fark tespit edilememiştir.

Üretilen byTKK'lerde geri esneme çok düşük oranlarda (%3,21-6,52 aralığında) gerçekleşmiştir. Yoğunlaştırma işlemindeki en büyük sorunlardan olan geri esnemenin düşük olması istenen bir durum olsa da, bu durumun ağaç malzeme yeterince ısınmadan sıkıştırılması sonucunda, hücre duvarlarında gerçekleşen kırılma ve göçmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

byTKK levhaların yüzey katmanları orta katmanlara göre, içbükey yüzeyleri de dışbükey yüzeylerine göre bir miktar daha fazla yoğunlaşmıştır. Bu durum, sıkıştırma işlemi esnasında oluşan sıcaklık farkı nedeniyle yüzey katmanı ve içbükey yüzeyin daha fazla ısınmasına bağlanabilir.

Diyagonal çekmede deneyinde yapıştırıcı türü, moment taşıma kapasitesi üzerinde en etkili üretim parametresi olurken, seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir. %65 katı madde miktarına sahip ÜF yapıştırıcısı en iyi sonuçları verirken, bunu

FF takip etmiştir. Kontrol numuneleri ile kıyaslandığında, byTKK'lerin diyagonal çekmede moment taşıma kapasiteleri, Kayın bTKK'lerden anlamlı düzeyde düşük çıkmıştır. Kavak bTKK ile kıyaslandığında ise fark gözlemlenmemiştir. Yani, uygulanan yoğunlaştırma yöntemi ile mekanik özelliklerde beklenen artış gerçekleşmemiştir. Bu durum, kaplamalar yeterince ısınmadan uygulanan sıkıştırma işlemi sonucu hücre duvarlarında gerçekleşen kırılma ve göçmeler (Blomberg, 2006) sonucu mekanik özelliklerin düşmesinden kaynaklanıyor olabilir (Bekhta vd., 2012; Yu vd., 2017).

Diyagonal çekme deneyinde rijitlik dikkate alındığında, kaplama kalınlığı en etkili üretim parametresi olurken, seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir. 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalar en iyi sonuçları vermiştir. Kaplama kalınlığı azaldıkça kullanılan kaplama katman sayısı artmakta dolayısıyla da yapıştırıcı miktarı artmaktadır. Kürlenmiş yapıştırıcının elastikiyet modülü ağaç malzemeye göre oldukça yüksektir. 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalardan üretilen byTKK'lerin en yüksek rijitlik değerine sahip olması, kullanılan yapıştırıcı miktarına bağlı olarak malzemenin elastikiyet özelliklerindeki artıştan kaynaklanıyor olabilir. Kontrol numuneleri ile kıyaslandığında, byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitliği Kayın bTKK'lerden düşük çıkmıştır. Ancak, bu düşüş 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalardan üretilen byTKK'lerde istatistiksel olarak anlamlı değildir. Kavak bTKK ile kıyaslandığında ise fark gözlemlenmemiştir. Yani, uygulanan yoğunlaştırma yöntemi ile rijitlikte anlamlı bir artış sağlanamamıştır.

Diyagonal basma deneyinde de yapıştırıcı türü, moment taşıma kapasitesi üzerinde en etkili üretim parametresi olurken, bunu kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı takip etmiştir. Kullanılan yapıştırıcı türü dikkate alındığında, ÜF kullanılan byTKK'ler, FF kullanılanlara göre momente karşı daha dirençli bulunmuştur. Kayın kontrol numuneleri ile kıyaslandığında ÜF65 yapıştırıcısıyla üretilen byTKK'lerin moment taşıma kapasiteleri istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur. Diğer yandan, byTKK numunelerin moment direnci, Kavak bTKK'ye göre yüksek bulunmuştur. Yani, uygulanan yoğunlaştırma işlemi ile diyagonal basmada moment taşıma kapasitesinde anlamlı bir artış gözlemlenmiş, piyasada en sık kullanılan kayın bTKK'nin seviyesine ulaşılmış hatta geçilmiştir.

Diyagonal basma deneyinde rijitlik dikkate alındığında, yapıştırıcı türü en etkili üretim parametresi olurken, bunu kaplama kalınlığı ve pres sıcaklığı takip etmiştir. Yapıştırıcı türü

ve kaplama kalınlığının seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmiştir. ÜF yapıştırıcısı ile üretilen byTKK'lerin FF kullanılanlara kıyasla daha rijit oldukları gözlemlenmiştir. Diğer yandan, 1,8 mm kalınlığındaki kaplamalar en iyi sonuçları vermiştir. Diyagonal çekmede olduğu gibi, kaplama kalınlığı azaldıkça kullanılan yapıştırıcı miktarındaki artışa bağlı olarak byTKK'lerin rijitliğinin arttığı düşünülmektedir. Üretilen byTKK'lerin diyagonal çekmede rijitliğinin kontrol grubu numunelere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yani, uygulanan yoğunlaştırma işlemi ile rijitlikte önemli düzeyde artış sağlamıştır.

Uygulanan GİA ile byTKK'lerin çoklu performansı (Diyagonal çekme-basmada moment taşıma kapasiteleri ve rijitlikleri) üzerine en etkili faktör olarak kaplama kalınlığının olduğu, bunu yapıştırıcı türü ve pres sıcaklığının takip ettiği belirlenmiştir. ÜF kullanılan byTKK'ler FF kullanılanlara göre daha iyi performans göstermiştir. Kaplama kalınlığının düşürülmesinin byTKK'lerin çoklu performansında artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. ÜF kullanılarak üretilen byTKK'lerde pres sıcaklığı önem arz etmezken, FF için 150 ºC pres sıcaklığında üretilenlerin daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Taguchi tabanlı GİA'nın son aşamasında uygulanan doğrulama deneyleri sonucunda, performans değerlerinin %95 güven düzeyinde tahmin edilebildiği belirlenmiştir. Diğer yandan, uygulanan birleştirilmiş yöntemle üretilen byTKK'lerde, kapanma yüklemesine karşı önemli miktarda (%63) artış sağlandığı gözlemlenmiştir. Endüstriyel uygulamalara göre ise (Kayın kontrol) %22'lik bir artış sözkonusudur. Aynı sonuçlar açma yüklemesinde elde edilememiştir. Uygulanan yöntemle açma yüklemesine karşı moment direncinde sadece %22 oranında bir artış elde edilebilmiştir.

Uygulanan statik testlerin ardından en iyi sonuçların elde edildiği byTKK'ler ile yoğunlaştırılmamış Kavak ve endüstride en sık kullanılan tür olan Kayın kaplamalardan üretilen bTKK'ler, yorulma dayanımlarına göre kıyaslanmıştır. Sonuç olarak diyagonal çekmede yorulma direnci açısından byTKK numuneler, Kavak kontrol numuneleri ile kıyaslandığında daha yüksek dayanım göstermiştir. ÜF yapıştırıcısı ile üretilenlerde, FF'e göre daha yüksek dayanım göstermiştir. Kayın kontrol numuneler ise yorulma yüküne karşı en yüksek dayanım gösteren grubu oluşturmuştur.

Diyagonal basmada yorulma dayanımı incelendiğinde ise Kavak kontrol numuneler, örnek sandalye tasarımına göre TS EN 12520 de belirtilen oturma yeri ve arkalık deneyinin gerekleri yerine getirememiştir. FF yapıştırıcısı kullanılan yapıştırıcılar 314 N ile gereklilikleri yerine getirirken, ÜF kullanılan byTKK ile Kayın kontrol numuneleri 392 N ile en yüksek diyagonal basmada yorulma dayanımının elde edildiği grubu oluşturmuştur.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kavak ağacı, ülkemizde bolca yetiştirilen ve hızlı gelişen ağaç türlerinin başında gelmektedir. Ancak, Kavak ağacı düşük yoğunluğu, dolayısıyla da düşük mekanik özelliklerinden dolayı yeterli ilgiyi görememekte ve kullanım alanları sınırlı kalmaktadır. Düşük yoğunluklu odunlarda yoğunlaştırma işlemi ile mekanik özelliklerin iyileştirilmesi oldukça ilgi çeken ve araştırılan bir konudur. Ancak, üretilen ürünün özelliklerinde kaynaklanan sorunlar dışında (günümüzde kısmen giderilmiştir) prosesin uzun ve enerji giderlerinin fazlalığı dolayısıyla maliyetlerin artması, yöntemin endüstriyel olarak uygulanmasının önündeki en büyük engeldir.

Yoğunlaştırma işleminde kullanılan ve üretim maliyetlerini artmasına neden olan yüksek sıcaklık-pres basıncına, TKK üretiminde ve bükme işlemlerinde de ihtiyaç duyulmakta ve mobilya endüstrisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu noktadan hareketle, zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabileceği düşüncesiyle yoğunlaştırma ile TKK üretimi ve/veya bükme işlemleri birleştirilerek Kavak kaplamalardan yTKK ve byTKK üretilmesi hedeflenmiştir.

Literatür incelendiğinde, yoğunlaştırılmış kaplamalardan lamine malzeme üretimi üzerine birçok çalışma mevcuttur. Sonuç olarak da yoğunlaştırma uygulanması ile daha az yapıştırıcı kullanarak ve düşük pres basıncı altında tabakalı malzeme üretiminin mümkün olabileceği belirtilmektedir (Jennings vd., 2005; Bekhta ve Marutzky, 2007; Kamke, 2007; Kutnar vd., 2007; Bekhta vd., 2012, 2018). Diğer yandan, teknik nedenlerden dolayı pres basıncının yükseltilemediği vakum pres ile bTKK üretiminde birçok avantaj sağlayabilmektedir (Altınok vd., 2009; Kahraman, 2010). Bu noktadan yola çıkarak, çalışmanın ilk aşamasında yoğunlaştırılmış Kavak kaplamalardan vakum preste bTKK üretilebilirliği incelenmiştir. İlk olarak da düşük pres basıncının yoğunlaştırılmış Kavak kaplamalardan üretilen TKK'nin çekme makaslama direnci üzerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Soğutmalı preste uygulanan yüzeye dik yönde TM sıkıştırma işlemi sonucunda, kaplamaların yoğunluklarında anlamlı bir artış gözlemlenmiştir, ancak

sıkıştırma oranı artışına paralel olarak geri esnemede şiddetli artış gözlemlenmiştir.

- Kaplamalara uygulanan TM yoğunlaştırma işlemi ile üretilen TKK'lerin yapışma dayanımında anlamlı bir artış sağlanmıştır. En yüksek artış %75 sıkıştırma oranında elde edilmiştir.

- En yüksek yapışma dayanımı 0,75 N/mm^2 pres basıncında elde edilmiş olup, pres basıncı düştükçe çekme makaslama direncinde de düşüş gözlemlenmiştir.

- Tam faktöriyel uygulanan bu çalışmanın verileri kullanılarak, Taguchi DT yöntemi uygulanmış ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Yani, Taguchi DT yönteminin ağaç işleri endüstrisinde üretim parametrelerinin optimizasyonunda güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

Sonuç olarak, yoğunlaştırılmış kaplamaların kullanımı ile çekme makaslama direnci artmış olsa da pres basıncının düşmesi yapışma dayanımını zayıflatmaktadır. Bu nedenle kaplamaların önce yoğunlaştırılıp ardından TKK üretimi fikrinden vazgeçilmiş ve yoğunlaştırma ile TKK üretimi ve/veya bükme işlemlerinin birleştirilerek yTKK ve/veya byTKK üretimi hedeflenmiştir. Ancak, zaten yeterince karmaşık ve zor olan yoğunlaştırma işleminin, TKK üretimi ve/veya bükme işlemi ile birleştirilerek uygulanmasında, üretim parametrelerinin optimizasyonu büyük önem arz etmektedir. En uygun üretim parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi DT yöntemi ile birlikte bir ÇKKV yöntemi olan GİA kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşaması olarak TM yoğunlaştırma ve TKK üretimi birleştirilerek düz yTKK üretilmesi ve üretim parametrelerinin mekanik özelliklere göre optimizasyonu hedeflenmiştir. Deneme deseni sıkıştırma oranı (%50, 75 ve 100), pres sıcaklığı (130, 150 ve 170 ºC), pres süresi (3, 5 ve 7 dakika) ve yapıştırıcı miktarı (normal, +30 g ve -30 g) olmak üzere 4 üretim parametresi ve 3'er seviyeye uygun L9 ortogonal deneme desenine göre tasarlanmıştır. Taguchi yöntemi, iki farklı yapıştırıcı türü (ÜF, FF) için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu kısımda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Üretilen yTKK'lerin yoğunluklarında anlamlı bir artış gözlemlenmiştir. Ancak, sıkıştırma oranı arttıkça geri esnemede şiddetli bir artış gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak da hedeflenen sıkışma oranlarından uzaklaşılmıştır. Özellikle %75 ve %100 oranında sıkıştırılan numunelerde şiddetli oranda anlık geri esneme gözlemlenmiştir. Buradan yola çıkarak %75 ve %100 oranında sıkıştırmanın üretim yöntemi olarak çok uygun olmadığı söylenebilir.

- Kullanılan yapıştırıcı türünün yoğunluk, geri esneme ve sıkışma oranı üzerine anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

- Ancak, FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin kalınlığına şişme oranı, ÜF kullanılanlara göre oldukça düşük çıkmıştır. Diğer yandan, kullanılan yapıştırıcı miktarının KŞO için büyük önem arz ettiği, ÜF için kullanılan yapıştırıcı miktarı arttıkça azaldığı, FF için ise normal miktar olan 180 g/m^2 en iyi sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir.

- Kullanılan yapıştırıcı türünün mekanik özellikler üzerine etkisi incelendiğinde, FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde, ÜF kullanılanlara kıyasla daha yüksek ÇMD ve YDÇD elde edilmiştir. ED ve EEM açısından ise anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.

- ED ve EEM için en önemli üretim parametreleri sıkıştırma oranı ve pres süresi olarak belirlenmiştir. ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin ÇMD için en etkili üretim parametresinin pres süresi, FF yapıştırıcısı kullanılanlar içinse sıkıştırma oranı olduğu belirlenmiştir. ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin YDÇD için en etkili üretim parametresi yapıştırıcı miktarı, FF yapıştırıcısı kullanılanlar için ise pres süresi ve yapıştırıcı miktarı olduğu belirlenmiştir.

- Uygulanan GİA sonucunda ise çoklu performans üzerine en etkili faktörler, ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde sırasıyla sıkıştırma oranı ve pres süresi olurken, en uygun üretim koşullarının %50 sıkıştırma oranı, 170 ºC pres sıcaklığı, 3 dakika pres süresi ve 120 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olduğu belirlenmiştir.

- FF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerin çoklu performansı üzerine en etkili üretim parametreleri ise pres süresi ve sıkıştırma oranı olarak belirlenmiştir. En ideal seviyeleri ise %50 sıkıştırma oranı, 150 ºC pres sıcaklığı, 7 dakika pres süresi ve 210 g/m^2 yapıştırıcı uygulaması olarak belirlenmiştir.

Özetlemek gerekirse, sıkıştırma oranı arttıkça geri esnemede gerçekleşen şiddetli artışa bağlı olarak istenilen sıkışma elde edilememektedir. Buna bağlı olarak da mekanik özelliklerde ya düşüş gerçekleşmiş ya da beklenen iyileşme gözlemlenememiştir. Bu nedenle %50 oranında sıkıştırma en ideal seviye olarak gözlemlenmiştir. Diğer yandan, ÜF yapıştırıcısı kullanılan yTKK'lerde pres süresi ile çoklu performans arasında ters orantılı FF kullanılanlarda ise doğru orantılı bir ilişki söz konusudur. Yani ÜF kullanıldığında 3 dakikalık, FF kullanıldığında ise 7 dakikalık pres süresi ile en iyi performansın elde edildiği açık şekilde belirlenmiştir.

Birleştirilmiş yöntemle üretilen yTKK'lerin çekme makaslama direnci, önceden yoğunlaştırılmış kaplamalardan üretilen TKK'ninki ile kıyaslandığında önemli düzeyde yüksek olduğu görünmektedir. Sonuç olarak yoğunlaştırma ile TKK üretiminin birleştirilerek uygulanabileceği, ancak geri esnemenin iyileştirilmesi gereken önemli bir problem olduğu söylenebilir.

Bu çalışma kapsamında en ilkel yoğunlaştırma metodu olan TM yoğunlaştırma kullanılmıştır. İlerleyen çalışmalarda soğutmalı pres veya gelişmiş THM yoğunlaştırma metotları kullanılarak geri esneme sorununa çare bulunabilir.

Çalışmanın son aşamasında ise yoğunlaştırma, TKK üretimi ve bükme işlemlerinin birlikte kullanılarak kavisli mobilya elemanlarının üretilmesi ve en ideal üretim şartlarının belirlenmesi (statik mekanik özelliklere göre) hedeflenmiştir. Statik testler sonucu en iyi sonucu veren deneme grubu numunelerin yorulma dayanımları belirlenmiş ve kontrol grubu numunelerle kıyaslanmıştır.

Bölüm 2 ve 3'te anlatılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve bu aşamada yapılan ön denemeler sonucunda parametre tasarımında bazı güncellemeler ve düzenlemeler yapılmıştır. Çalışma, yapıştırıcı türü (ÜF55, ÜF65 ve FF), kaplama kalınlığı (1,8, 2,1 ve 2,4 mm) ve pres sıcaklığı (130, 150 ve 170 ºC) olmak üzere 3 üretim parametresi ve

bunların 3'er seviyesi olacak şekilde Taguchi L9 DT'na göre yürütülmüştür. Bu kısımda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Uygulanan birleştirilmiş yöntemle üretilen byTKK'lerin yoğunluklarında önemli düzeyde artış gerçekleşmiş ve Kayın numunelerin yoğunluk düzeyine gelmiştir. Diğer yandan, byTKK'lerde önceki Bölüm 2 ve 3'de anlatılan çalışmalara göre çok düşük oranda geri esneme gözlemlenmiştir. Bu durum, üretim sürecinin (kaplama taslaklarının yeterince ısınmadan sıkıştırılma zorunluluğundan dolayı) yani yoğunlaştırma işleminin daha yıkıcı olması, hücre duvararının göçmesi ve/veya kırılmasından kaynaklanıyor olabilir (bkz. Bölüm 4.2).

- Moment taşıma kapasitesi dikkate alındığında hem diyagonal çekmede hem de basmada en etkili üretim parametresinin yapıştırıcı türü olduğu ve en iyi sonuçların ÜF65 yapıştırıcısı ile elde edildiği belirlenmiştir.

- Diyagonal çekmede rijitlik dikkate alındığında en etkili faktör kaplama kalınlığı olurken, 1,8 mm kalınlıkta en iyi sonuçlar elde edilmektedir. Diyagonal basmada rijitlik için en etkili faktörler sırasıyla yapıştırıcı türü ve kaplama kalınlığı olurken, en iyi sonuçlar ÜF55 ve 1,8 mm kalınlıkta elde edilmiştir.

- Uygulanan GİA sonucunda ise çoklu performans üzerine en etkili faktörün kaplama kalınlığı olduğu ve kalınlık arttıkça çoklu performansın kötüleştiği belirlenmiştir.

Statik testlerin ardından üretilen byTKK'lerin çoklu performansa göre en iyi sonucu veren byTKK'lerin yorulma dayanımları belirlenmiş ve kontrol numuneleri ile kıyaslanmıştır. Bu amaçla her bir yapıştırıcı türü için en iyi sonucu veren birer grup (ÜF için 4 numaralı, FF için 8 numaralı byTKK grubu) TS EN 1728 ve TS EN 12520 standartlarında belirtilen yükleme koşullarına göre dayanıklı olup olmadığı incelenmiştir.

- Diyagonal çekmede yorulma dayanımı dikkate alındığında, ÜF65 yapıştırıcısı kullanılan byTKK, örnek sandalyede oluşanın 3,25 katı, FF kullanılan ise 3 katı yüke dayanmıştır. Ancak, yoğunlaştırılmadan üretilen Kavak bTKK'lerle kıyaslandığında önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Kayın kontrol numuneler ise örnek sandalyede oluşanın 6 katı yüke dayanmıştır.

- Diyagonal basmada yorulma dayanımı dikkate alındığında ise ÜF65 yapıştırıcısı kullanılan byTKK ile Kayın kontrol numuneleri örnek sandalyede oluşan gerilmenin 1,25 katına dayanım gösterirken, FF kullanılan byTKK ancak standardın gerektirdiği yüke dayanmıştır. Kavak kontrol grubu numuneler ise standardın gereklerini karşılayamamıştır.

Özetlemek gerekirse uygulanan üretim yöntemi ile açma zorlamasına karşı istenilen seviyede iyileşme sağlanamazken, kapama zorlamasına karşı direnç önemli oranda artmıştır. Benzer sonuçlar yorulma yüklemesinde de tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak byTKK'lerin mobilyada kullanımında kapanma gerilmesine (diyagonal basma) maruz kalacak şekilde tasarlanması tavsiye edilebilir. Diğer yandan, sıkıştırma işlemi esnasında kaplama taslaklarının yeterli sıcaklığa ulaşmıyor olması önemli bir problemdir. Bu sorunu engelleyecek şekilde özel bir pres tasarlanması ile mekanik özelliklerde daha da artışın elde edilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ábrahám, J., Németh, R. ve Molnár, S. (2010). Thermo-mechanical densification of pannónia poplar. In *The Final Conference of COST Action E53: The Future of Quality Control for Wood and Wood Products*, Edinburg, pp 282–292.

Acar, F.C. (2006). Paulownia'nın odun özelliklernin kavak ve okaliptüs ile karşılaştırılması. *Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi*, 1: 1–29.

Ahmed, S.A., Chun, S.K., Miller, R.B., Chong, S.H. ve Kim, A.J. (2011). Liquid penetration in different cells of two hardwood species. *Journal of Wood Science*, 57 (3): 179–188.

Akgül, S. (2015). İzmit yöresindeki kavak ağaçlandırmalarında kullanılan dikim materyallerinin irdelenmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1 (2 A): 1–6.

Altınok, M., Söğütlü, C. ve Kahraman, N. (2009). Vakumlu membran preste üretilmiş ahşap lamine elemanların yapışma performanslarının belirlenmesi. *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1): 51–60.

Anonim (2015). Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 - Mobilya Çalışma Grubu Raporu. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

As, N. ve Büyüksarı, Ü. (2010). Masif ağaç malzemenin bükülmesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 60 (1): 29–37.

As, N., Koç, H.K., Doğu, D., Atik, C., Aksu, B. ve Erdinler, S. (2001). Türkiyede yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51 (1): 71–88.

Aydemir, D., Gunduz, G. ve Onat, S.M. (2010). The impacts of heat treatment on lap joint shear strength of black pine wood. *Journal of Adhesion*, 86 (9): 904–912.

Aydin, I., Colakoglu, G., Colak, S. ve Demirkir, C. (2006). Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood. *Building and Environment*, 41 (10): 1311–1316.

Bal, B.C. (2011). Okaliptüs (*Eucalyptus grandis*) Odununun Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri ve Lamine Ağaç Malzeme Üretiminde Kullanılması Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 158 s.

Bao, F., Fu, F., Choong, E. ve Hse, C.Y. (2001). Contribution factor of wood properties of three poplar clones to strength of laminated veneer lumber. *Wood and Fiber Science*, 33 (3): 345–352.

Batu, E. ve Kapucu, F. (1995). Doğu Karadeniz Bölgesi kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. barbata) meşcerelerinde bonitet endeks ve hasılat tablosu düzenlemesi. *1. Ulusal Ormancılık Kongresi*, Trabzon, s. 349–362.

Bekhta, P. ve Marutzky, R. (2007). Reduction of glue consumption in the plywood production by using previously compressed veneer. *Holz als Roh - und Werkstoff*, 65 (1): 87–88.

Bekhta, P., Niemz, P. ve Sedliacik, J. (2012). Effect of pre-pressing of veneer on the glueability and properties of veneer-based products. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70 (1–3): 99–106.

Bekhta, P., Sedliačik, J. ve Jones, D. (2018). Effect of short-term thermomechanical densification of wood veneers on the properties of birch plywood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76 (2): 549–562.

Berkel, A. (1968). Ağaç malzeme bükme tekniği ve kullanış yerleri. *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, B 13 (1): 27–43.

Birler, A.S. (1983). I-214 Melez Kavağı Plantasyonlarında Hasılat Araştırmaları. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Hasılatı ve Biyometri Bilim Dalı, İzmit, 163 s.

Birler, A.S. (2009). *Endüstriyel Orman Ağaçlandırmaları*. T.C. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi No:4, Özlem Matbaası, İzmit.

Birler, A.S. (2010). *Türkiye'de Kavak Yetiştirme / Fidanlık - Ağaçlandırma - Koruma - Hasılat - Ekonomi - Odun özellikleri*. Ed. M. Ercan, A. Karakaş, C. Fidan, F. Selek, T. Kahraman, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü: İzmit.

Birler, A.S., Diner, A. ve Koçer, S. (1992). Karakavak Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları. Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, İzmit.

Birler, A.S., Koçer, S., Avcıoğlu, E., Diner, A., Gürses, M.K. ve Gülbaba, A.G. (1994). Okaliptüs Ağaçlandırmalarında Hacim ve Kuru Madde Hasılatı. Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 171, 120 s.

Blomberg, J. (2006). Mechanical and Physical Properties of Semi-Isostatically Densified Wood, PhD Thesisi, Luleå University of Technology, Division of Wood Science and Technology, p. 62.

Blomberg, J. ve Persson, B. (2004). Plastic deformation in small clear pieces of Scots pine (Pinus sylvestris) during densification with the CaLignum process. *Journal of Wood Science*, 50 (4): 307–314.

Bodig, J. ve Jayne, B.A. (1993). *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Reprint ed. Krieger Publishing Company: Florida.

Bowyer, J.L., Shmulsky, R. ve Haygreen, J.G. (2003). *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. 4. Edition. Iowa State Press: Iowa.

Boydak, M. (2008). Türkiye'de endüstriyel plantasyonlar ve önemi. *I. Ulusal Okaliptüs Sempozyumu*, Ed. M. Yılmaz, A.E. Akay, A. Yüksel, Tarsus, 1–11.

Bozkurt, Y. ve Göker, Y. (1996). *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi*. İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi: İstanbul, 374 s.

Büyüksari, Ü. (2013). Surface characteristics and hardness of MDF panels laminated with thermally compressed veneer. *Composites Part B: Engineering*, 44 (1): 675–678.

Cai, L., Wang, F. ve Tan, H. (1995). Study on the strength of moltinject corner joints of furniture. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53 (6): 385–388.

Candan, Z., Hiziroglu, S. ve McDonald, A.G. (2010). Surface quality of thermally compressed Douglas fir veneer. *Materials and Design*, 31 (7): 3574–3577.

Chow, S.Z. ve Pickles, K.J. (1971). Thermal softening and degradation of wood and bark. *Wood and Fiber Science*, 3 (3): 166–178.

Çolakoğlu, G. (2004). *Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi: Trabzon.

de Melo, R.R. ve Del Menezzi, C.H.S. (2015). Influence of adhesive type on the properties of LVL made from paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) plantation trees. *Drvna Industrija*, 66 (3): 205–212.

Dunky, M. ve Niemz, P. (2002). *Holzwerkstoffe und Leime*. Springer Verlag: Berlin, Heidelberg.

Easterling, K.E., Harrysson, R., Gibson, L.J. ve Ashby, M.F. (1982). On the mechanics of balsa and other woods. *Proceedings of The Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 383 (1784): 31–41.

Efe, H., Özen, E., Danaci, E., Kasal, A. ve Demirci, S. (2014). L-tipi mobilya köşe birleştirmelerde malzeme çeşidi ve birleştirme tekniğinin moment taşıma kapasitesine etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14 (1): 15–23.

Eraslan, İ. (1983). Hızlı büyüyen ağaç türlerinin önemi, tanımı ve Türkiye'de bu türlerle kurulacak plantasyonların potansiyel üretim kapasitesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 33 (2): 1–27.

Erten, P. ve Sözen, R. (1986). Sahil Çamının (*Pinus pinaster* Ait.) Bazı Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri. Ormancılık Araştırma Enstitüsü yayınları Teknik Bülten Seri No: 200, 27 s.

Fang, C.H., Mariotti, N., Cloutier, A., Koubaa, A. ve Blanchet, P. (2012). Densification of wood veneers by compression combined with heat and steam. *European Journal of Wood and Wood Products*, 70 (1–3): 155–163.

Fessel, F. (1951). Probleme beim Holzbiegen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 9 (2): 56–62.

Gašparík, M., Gaff, M., Ruman, D., Záborský, V., Kašičková, V., Sikora, A. ve Štícha, V. (2017). Shear bond strength of two-layered hardwood strips bonded with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. *BioResources*, 12 (1): 495–513.

Gerhards, C.C. (1982). Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects. *Wood and Fiber Sciene*, 14 (1): 4–36.

Gökçe, B. ve Taşgetiren, S. (2009). Kalite için deney tasarımı. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1): 71–83.

Göker, Y. (1998). Hızlı gelişen ağaç türleri odunlarının kullanım değerinin üzerine etkili olan faktörler. *Workshop - Hızlı Gelişen Türlerle Yapılan Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi ve Yapılacak Çalışmalar*, Orman Bakanlığı: Ankara, 183–190.

Güler, G. (2013). Planyalanmış Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ürünlerinde Taguchi Deney Tasarımı ile Optimum İşleme Şartlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 50 s.

Gunduz, G., Aydemir, D. ve Karakas, G. (2009). The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials and Design*, 30 (10): 4391–4395.

Gürey, A., Kılıç, M. ve Özyurt, A. (2002). Mobilya köşe birleştirmelerde kullanılan farklı birleştirme elemanlarının diyagonal çekme direnci üzerine etkilerinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 131–137.

Hashim, R., Sarmin, S.N., Sulaiman, O. ve Yusof, L.H.M. (2011). Effects of cold setting adhesives on properties of laminated veneer lumber from oil palm trunks in comparison with rubberwood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 69 (1): 53–61.

Hazır, E. ve Koç, K.H. (2016). Optimization of wood surface machining parameters in CNC routers : Response surface methodology (RSM) approach. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 5 (10): 494–501.

Hillis, W.E. ve Rozsa, A.N. (1978). The softening temperatures of wood. *Holzforschung*, 32 (2): 68–73.

Jennings, J.D., Zink-Sharp, A., Kamke, F.A. ve Frazier, C.E. (2005). Properties of compression densified wood. Part I: Bond performance. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 19 (13–14): 1249–1261.

Kahraman, N. (2010). Vacumlu Membran Preslerde Kavisli Lamine Ahşap Elemanları Üretilebilirliğinin Deneysel İncelenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstütüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 151 s.

Kamke, F.A. (2007). Laminated composites from densified wood. In *Proceedings of the 5th COST E34 International Workshop on Bonding of Modified Wood*, Eds. M. Sernek, Tiskarna Pleško d.o.o: Bled, Slovenia, 77–86.

Kamke, F.A. ve Lee, J.N. (2007). Adhesive penetration in wood - a review. *Wood and Fiber Science*, 39 (2): 205–220.

Kamke, F. ve Sizemore, H. (2005). Viscoelastic Thermal Compression of Wood. Patent Pub. No.: US 2005/0006004 A1, p. 14.

Kaplan, E. (2006). Türkiye'de orman ürünleri arz-talebi ve endüstriyel plantasyonların önemi. *Orman Mühendisliği*, 43 (7-8–9): 31–32.

Kara, F. ve Öztürk, B. (2019). Comparison and optimization of PVD and CVD method on surface roughness and flank wear in hard-machining of DIN 1.2738 mold steel. *Sensor Review*, 39 (1): 24–33.

Keskin, H. ve Togay, A. (2003). Doğu kayını (*fagus oriantalis* L.) ve kara kavak (*Populus nigra* L.) kombinasyonu ile üretilmiş lamine ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A (3): 101–114.

Kivak, T. (2014). Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 50 (1): 19–28.

Koc, K.H., Erdinler, E.S., Hazir, E. ve Öztürk, E. (2017). Effect of CNC application parameters on wooden surface quality. *Measurement*, 107: 12–18.

Koçer, S., Diner, A. ve Şener, G. (2007). Samsun (I-77/51 *P. deltoides* Bartr.) Kavağı için Hacim Tablosu Düzenlenmesi ve Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi. Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 204, 42 s.

Kollmann, F.F.P., Kuenzi, E.W. ve Stamm, A. J. (1975). *Principles of Wood Science and Technology II: Wood Based Materials*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Kudela, J. ve Resetka, M. (2011). Influence of high pressing temperature on dimensional stability of beech wood. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology*, (75): 19–25.

Kultikova, E.V. (1999). Structure and Properties Relationships of Densified Wood. Master Thesis, State University, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, Virginia, p. 137.

Kurt, R. (2010). Suitability of three hybrid poplar clones for laminated veneer lumber manufacturing using melamine urea formaldehyde adhesive. *BioResources*, 5 (3): 1868–1878.

Kurt, R., Meriç, H., Aslan, K. ve Çil, M. (2012). Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing using three hybrid poplar clones. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36 (2): 237–245.

Kutnar, A., Kamke, F.A. ve Sernek, M. (2007). Bonding of densified hybrid poplar with phenol formaldehyde adhesive. In *Proceedings of the 5th COST E34 International Workshop on Bonding of Modified Wood*, Bled, Slovenia, pp. 87–94.

Kutnar, A. ve Sernek, M. (2007). Densification of wood. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 82: 53–62.

Li, L., Gong, M., Yuan, N. ve Li, D. (2013). An optimal thermo-hydro-mechanical densification (THM) process for densifying balsam Fir wood. *BioResources*, 8 (3): 3967–3981.

Lin, C.L. (2004). Use of the Taguchi method and grey relational analysis to optimize turning operations with multiple performance characteristics. *Materials and Manufacturing Processes*, 19 (2): 209–220.

Luy, J.A., Sexton, E.E. ve Whalin, R.W. (1968). *Laminating and Bending: A Base Syllabus on Woodtechnology*. EKU Graphic Arts Department, George Brown, Chairman: Kentucky.

Morsing, N. ve Hoffmeyer, P. (1998). Densification of Wood: The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to Grain. Technical University of Denmark BYG-Rapport No R-79, Kgs. Lyngby, Denmark.

Navi, P. ve Girardet, F. (2000). Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood. *Holzforschung*, 54 (3): 287–293.

Navi, P. ve Sandberg, D. (2012). *Thermo - Hydro - Mechanical Processing of Wood*. Eds. M. Rappaz, EPFL Press: Lausanne.

Niemz, P. (1993). *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. DRW-Verlag: Stuttgart.

NPC (2012). National Poplar Commission of Turkey (Period: 2008-2012): Outline for National Reports on Activities Related to Poplar and Willow Cultivation Exportation and Utilization, Ministry of Forest and Water Affairs, Ankara.

OGM (2015). Türkiye Orman Varlığı. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.

OGM (2018). Orman Genel Müdürlüğü İstatistikleri - 2017. Ankara.

Özcan, B.G. (2003). Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait) Ağaçlandırmalarında Artım ve Büyüme. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 195, 155 s.

Özdemir, S. (2009). Alterungsmechanismen von Klebstoffen für tragende Holzbauteile. Master Thesis, Universität für Bodenkultur, Institut für Holzforschung, Wien, p. 65.

Özdemir, S. ve Ciritcioğlu, H.H. (2018). The strength properties of furniture corner joints assembled with fasteners applicable without pre-drilling process. In *International Forest Product Congress*, Trabzon, p.116.

Pamukçu, E. (2019). Kriyojenik İşlemin Sarıçam Odunu Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 112 s.

Pelit, H., Budakçı, M. ve Sönmez, A. (2018). Density and some mechanical properties of densified and heat post-treated Uludağ Fir, linden and black poplar woods. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76 (1): 79–87.

Reichers, K. (1939). Über Verwendung und Prüfung von hochverdichtetem Holz. *Holz als Roh- und Werkstoffe*, 2 (3): 109–116.

Salmén, L. (1982). Temperature and Water Induced Softening Behaviour of Wood Fiber Based Materials. PhD Thesis, The Royal Institute of Technology, Department of Paper Technology, Stockholm, p. 120

Sarpkaya, Ç. (2014). Taguchi Metoduna Dayalı Gri İlişkiler Analizi ile Haşıl Prosesinin Optimizasyonu. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 141 s.

Seborg, R.M., Millet, M.A. ve Stamm, A.J. (1956). Heat-Stabilized Compressed Wood (Staypak). Forest Product Laboratory Raport No: 1580, Medison, Wisconsin.

Shukla, S.R. ve Kamdem, D.P. (2009). Properties of laboratory made yellow poplar (liriodendron tulipifera) laminated veneer lumber: Effect of the adhesives. *European Journal of Wood and Wood Products*, 67 (4): 397–405.

Sinha, A., Gupta, R. ve Nairn, J.A. (2011a). Thermal degradation of bending properties of structural wood and wood-based composites. *Holzforschung*, 65 (2): 221–229.

Sinha, A., Nairn, J.A. ve Gupta, R. (2011b). Thermal degradation of bending strength of plywood and oriented strand board: A kinetics approach. *Wood Science and Technology*, 45 (2): 315–330.

Skyba, O. (2008). Durability and Physical Properties of Thermo-Hygro-Mechanically (THM)-densified Wood. PhD Thesis, ETH, Zurich, p. 154.

Smardzewski, J., Rzepa, B. ve Kiliç, H. (2016). Mechanical properties of externally invisible furniture joints made of wood-based composites. *BioResources*, 11 (1): 1224–1239.

Smardzewski, J., Słonina, M. ve Maslej, M. (2017). Stiffness and failure behaviour of wood based honeycomb sandwich corner joints in different climates. *Composite Structures*, 168: 153–163.

Smith, I., Landis, E. ve Gong, M. (2003). *Fracture and Fatigue in Wood*. John Willey & sons Ltd.: West Sussex.

Stamm, A.J. ve Seborg, R.M. (1936). Minimizing wood schrinkage and swelling: Treating with syntetic resin forming materials. *Industrial and Engineering Chemistry*, 28 (10): 1164–1169.

Stamm, A.J. ve Seborg, R.M. (1941). Resin-Treated, Compressed Wood. Forest Product Laboratory Raport No: R1268, Medison, Wisconsin.

Stevens, W.C. ve Turner, N. (1970). *Wood Bending Handbook*. H.M. Stationery Office: London.

TOBB (2015). Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu 2015. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Orman Ürünleri Meclisi, Ankara.

TOBB (2018). *Türkiye Mobilya Ürünleri Meclisi Sektör Raporu - 2017*. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Yayın No 2018/304. Gökçe Ofset: Ankara.

Tosun, N. (2006). Determination of optimum parameters for multi-performance characteristics in drilling by using grey relational analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (5–6): 450–455.

TÜİK (2017). Yıllar İtibari ile Türkiye Mobilya Üretim ve Tüketimi, İş İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu, *Bilgi İşlem Merkezi Veri Tabanı*.

TS 3273 (1979). Soyma kaplamalık kavak tomruğu.

TS EN 12520 (2016). Mobilya - Mukavemet, dayanıklılık ve emniyet - Evlerde kullanılan oturma elamanları için gerekler.

TS EN 1728 (2013). Ev mobilyası - Oturma elemanları - mukavemet ve dayanıklılığın tayini için deney metotları.

TS EN 310 (1999). Ahşap esaslı levhalar - Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini.

TS EN 314-1 (1998). Kontrplak kaplanmış - Yapışma kalitesi bölüm 1: Deney metotları

TS EN 317 (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar - Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini.

TS EN 319 (1999). Yonga levhalar ve lif levhalar - Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini.

TS EN 322 (1999). Ahşap esaslı levhalar - Rutubet miktarının tayini.

TS EN 323 (1999). Ahşap esaslı levhalar - Birim hacim ağırlığının tayini.

Tumen, I., Aydemir, D., Gunduz, G., Uner, B. ve Cetin, H. (2010). Changes in the chemical structure of thermally treated wood. *BioResources*, 5 (3): 1936–1944.

Tunçtaner, K., As, N. ve Özden, Ö. (2004). Bazı Kavak Klonlarının Büyüme Performansları, Odunlarının Bazı Teknolojik Özellikleri ve Kağıt Üretimine Uygunlukları Üzerine Araştırmalar. T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten No: 196, 91 s.

Udaka, E. ve Furuno, T. (2005). Relationships between pressure in a closed space and set recovery of compressive deformation of wood using a closed heating system. *Mokuzai Gakkaishi/Journal of the Japan Wood Research Society*, 51 (3): 153-158.

Unal, R. ve Dean, E.B. (1991). Taguchi approach to design optimization for quality and cost: An overview. In *Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts*, Hampton, pp. 1–10.

Usta, H.Z. (1991). Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırmalarında Hasılat Araştırmaları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları Teknik Bülten Seri No: 121: 138 s.

Velioğlu, E. ve Akgün, S. (2016). Türkiye'deki Kavak ve Söğütler - Ulusal Kavak Komisyonu'nun Ülke Gelişim Raporu 2012-2015. Orman Genel Müdürlüğü, Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, İzmit.

Wu, Z.H. ve Furuno, T. (1999). Stress distributions and failure types of curved laminated veneer lumber for use in furniture under loading. *Journal of Wood Science*, 45 (2): 134–142.

Wu, Z.H., Furuno, T. ve Yoshihara, H. (1999). Calculation models of pressure and position of curved laminated veneer lumber in molds during pressing. *Journal of Wood Science*, 45 (3): 213–220.

Wu, Z.H., Furuno, T. ve Zhang, B.Y. (1998). Properties of curved laminated veneer lumber made from fast-growing species with radiofrequency heating for use in furniture. *Journal of Wood Science*, 44 (4): 275–281.

Yavuz, M. (2017). Delme İşlemlerinde Takım Geometrisinin Etkilerinin Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 180 s.

Yıldırım, S. (2011). Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 56 s.

Yu, Y., Zhang, F., Zhu, S. ve Li, H. (2017). Effects of high-pressure treatment on poplar wood: Density profile, mechanical properties, strength potential index, and microstructure. *BioResources*, 12 (3): 6283–6297.

Zeppenfeld, G. ve Grunwald, D. (2005). *Klebstoffe in der Holz- und Möbelindustrie*. 2. DWR Verlag: Leinfelden-Echterdingen.

Zhang, J., Efe, H., Erdil, Y.Z., Kasal, A. ve Man, N. (2005). Moment resistance of multiscrew L-type corner joints. *Forest Products Journal*, 55 (10): 56–63.

Zhou, J., Hu, C., Hu, S., Yun, H., Jiang, G. ve Zhang, S. (2012). Effects of temperature on the bending performance of wood-based panels. *BioResources*, 7 (3): 3597–3606.

Zobel, B.J. ve van Buijtenen, J.P. (1989). *Wood Variation - Its Sousas and Control*. 1st edition , Eds. T.E. Timell, Springer Verlag: Berlin, Heidelberg.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	:	Serkan ÖZDEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi	:	Rize, 1978

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi	:	1998, Hacettepe Üniversitesi, Mesleki Teknoloji Yüksek Okulu, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği, Ankara
Yüksek Lisans Öğrenimi	:	2009, Universität für Bodenkultur, Institute für Holzforschung, Wien
Bildiği Yabancı Diller	:	Almanca, İngilizce

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar

İlçe, A.C., Budakçı, M., Özdemir, S. ve Akkuş, M. (2015). Analysis of usability in furniture production of wood plastic laminated board. *BioResources*, 10 (3): 4300–4314.

Özkaya, K., Ayrılmış, N. ve Özdemir, S. (2015). Potential use of waste marble powder as adhesive filler in the manufacture of laminated veneer lumber. *BioResources*, 10 (1): 1686–1695.

Özdemir, S. ve Ciritcioğlu, H.H. (2018). The strength properties of furniture corner joints assembled with fasteners applicable without pre-drilling process. In *International Forest Products Congress – ORENKO 2018*, Trabzon, p. 116.

Ciritcioğlu, H.H. ve Özdemir, S. (2017). Production of jute fiber reinforced casein bio composite: the effect of water and heat on mechanical properties. *In IV. International Multidisciplinary Congress of Eurasia*, Rome, p. 109.

Ciritcioğlu, H.H., Keleş, M., Korkmaz, M, Özdemir, S. ve Ayan, S. (2016). User satisfaction of permanent housing space usage in Duzce case. In *International Furniture Congress*, Muğla, p. 55.

Özdemir, S., Tankut, N. ve Kutnar, A. (2014). Bonding quality of laminated veneer lumber manufactured from densified poplar veneers the effect of pressure level. In *Performance and maintenance of bio-based building materials influencing the life cycle and LCA - 1st Conference - COST ACTION FP1303*, Kranjska Gora, s. 65-66

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Öğretim Görevlisi, Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği
(2017-Devam Ediyor)

Öğretim Görevlisi, Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi
(2010-2017)

Proje Sorumlusu, EFON Mobilya Alüminyum İnş. İth. İhr. San. Tic. A.Ş. (2001-2002)

Proje Sorumlusu, İKOOR Mobilya İmalat Koordinasyon San. Tic. A.Ş. (2000-2001)

Üretim Planlama, OSTİM Mobilya Ltd. Şti. (1998-1999)

İletişim

E-Posta Adresi	:	serkanozdemir@duzce.edu.tr
Telefon	:	+90 380 5421133 (2108)

Tarih	:	27/01/2020 (Tez sınav tarihi)