

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Salih DURAN**

**ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHA (MDF) ÜRETİM  
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA, 2019**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHA (MDF) ÜRETİM  
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

**Salih DURAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez .../.../2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
DANIŞMAN

.....  
Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU  
ÜYE

.....  
Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE  
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK  
Enstitü Müdürü**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

**ÖZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHA (MDF) ÜRETİM  
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

**Salih DURAN**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
Yıl: 2019, Sayfa: 79  
Jüri : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
: Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE  
: Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU

Orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretiminde üretim parametreleri ürünün tipine göre değişmektedir. Her yeni ürün geçişinde bu parametreleri uygun değerlere ayarlamak için maliyeti yüksek deneme üretimleri yapmak ve kalitesizlik maliyetine katlanmak gerekir. Deneme üretimleri kaynaklı maliyetin önüne geçmek için matematiksel modelleme ile çözüm aranmıştır. Bu çalışma global ölçekli bir MDF üretim firmasının Adana tesisinde yapılmıştır. Öncelikle firma için kritik bir ürün seçilip o ürüne ait bir yıllık üretimler takip edilmiş ve çalışmaya konu veriler tutulmuştur. MDF üretimindeki yönetimin belirlediği tüm üretim parametreleri dikkate alınmıştır. Beklenen kalite çıktı değerleri için tüm üretim parametrelerinin optimum değerleri bulunmuştur. Vida tutma ve çekme kalite çıktıları üzerinde etkili olan üretim parametreleri istatistiksel analiz ile belirlenmiştir. Çekme ve vida tutmayı maksimize eden tek amaç fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu amaçlar dikkate alınarak çok amaçlı önceliklendirmesiz hedef programlama ile optimum/etkin üretim parametre değerleri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üretim parametreleri, çok amaçlı modelleme, optimizasyon, maksimizasyon

## ABSTRACT

### MSc. THESIS

# OPTIMIZATION OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARD (MDF) PRODUCTION PARAMETERS

Salih DURAN

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
Year: 2019, Pages: 79  
Jury : Assoc. Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
: Asst. Prof. Dr. Fikri EGE  
: Asst. Prof. Dr. Melik KOYUNCU

In medium density fiberboard (MDF) production, production parameters vary according to the type of product. In order to adjust these parameters to appropriate values with each new product transition, it is necessary to make costly trial production and bear the cost of poor quality. In order to avoid the cost of trial production, a solution was searched with mathematical modeling. This study was carried out in Adana facility of a global MDF production company. Firstly, a critical product was selected for the company and one-year productions of that product were followed and the data subject to the study were kept. All production parameters determined by responsables in MDF production are taken into consideration. Optimum values of all production parameters were found for expected quality output values. Production parameters which have an effect on screw holding and internal bond quality outputs were determined by statistical analysis. The single purpose functions are constructed to maximize internal bond and screw holding. Considering these objectives, optimum / effective production parameter values were obtained with multi-purpose non-prioritized goal programming.

**Keywords:** Production parameters, multipurpose modeling, optimization, maximization

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Sanayileşme ve üretimin her geçen gün öneminin daha da arttığı günümüzde, gerek iç pazarlarda ve gerekse dış pazarlarda rekabet edebilmek için üretim maliyetlerini düşürmek ve müşteri beklentilerini tam ve zamanında karşılamak gerekir. Ağaç bazlı panel sektörü, yaşam alanlarının ihtiyacı mobilyaların hammaddesi olan orta yoğunlukta lif levha (MDF), yonga levha gibi ağaç bazlı panelleri üretir. Sonuçta üretilen levhalar mutfak dolabı ve kapı gibi her evde bulunan mobilyaların hammaddesini oluşturduğu için mobilya sektörünün beklediği kalite değerlerine sahip olması istenir. Orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretimi tamamen entegre bir sistem ile üretilmektedir. Üretim sırasında üretimi etkileyen sıcaklık, basınç, buhar, serme lif rutubeti, tutkal gibi birçok üretim parametresi olup her birinin üretim üzerindeki etkileri bilinmelidir. Üretimde kullanılan üretim parametre değerlerinin üretim öncesinde modelleme çalışmalarına dayalı ayarlanamaması nedeni ile ürünler ya olması gereken kalite sınıfında üretilmemekte ya da istenen üründen başka bir ürün üretilmektedir. Bu durum da kalitesizlik maliyetine ya da dönüştürülen ürünün olması gereken birim maliyetinden daha yüksek maliyetle üretilmesine neden olmaktadır. Bu durumda maliyet izlenebilirliği de yapılamaz dolayısıyla özellikle satış yönüyle yanlış kararlar alınmasına neden olmaktadır. Ayrıca planlanan zamanda üretim yapılamadığı için müşteri memnuniyetsizliği veya müşteri kayıpları oluşmaktadır.

Mevcut durumda ilk üretimlerde tecrübe ya da tahmine dayalı parametre ayarları girilerek üretime başlanır, üretimden çıkan ilk ürünler kalite testlerine tabi tutulur ve kalite test sonuçlarına göre üretim parametre değerlerine müdahale edilir. Üretim sürekli proses olduğundan kalite test sonuçları gelene kadar kayıplar yaşanmaktadır. Yeni üretilecek ürünlerin özellikleri pazarın talebi doğrultusunda işletmeye iletilmektedir. Üretim başlamadan doğru parametre değerlerini bilmek ve ayarlamak olası kayıpların önüne geçecektir. Bu doğrultuda çalışmada MDF üretim tesisinde seçilen kritik ürüne ait bir yıllık süredeki üretim parametre değerleri ve

kalite çıktı verileri tutulmuştur. Verilen değerler grafikler ile analiz edilerek verilerin hangi değerlerde yoğunlaştığı, sapan değerler olup olmadığı gözlemlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak öncelikle istatistiksel analiz yapılmış ve bu analiz ile vida tutma, çekme ve su alma kalite çıktıları üzerinde etkisi olan üretim parametreleri belirlenmiştir. Tüm üretim parametrelerinin kalite çıktıları üzerine etkileri tekil olarak değil tamamı üzerinden analiz yapılarak tespit edilmiştir. Bu analizlerde Beşinci bölge sıcaklığının çekme üzerinde etkisi olmadığı diğer parametrelerin ise etkisinin olduğu görülmüştür. Tüm üretim parametrelerinin vida tutma kalite çıktısı üzerinde etkisinin olduğu yine regresyon analizlerinde tespit edilmiştir. Su alma kriteri üzerinde ise Birinci bölge sıcaklığı ve Orta Basınç üretim parametrelerinin etkili olmadığı diğer üretim parametrelerinin ise etkili olduğu görülmüştür.

Regresyon analizi ile vida tutma, çekme ve su alma kalite çıktıları üzerinde etkili üretim parametrelerinin belirlenmesinden sonra çekme ve vida tutma kalite çıktılarını maksimize eden tek amaçlı fonksiyonlar oluşturulmuştur. İşletme yetkilileri ile görüşülerek gerek tecrübe ve gerekse makinelerin teknik özellikleri gereği üretim parametreleri ile ilgili kısıtlar belirlenmiştir. Bu kısıtlar ile üretim parametrelerinin birbiri ile ilişkileri ve her bir üretim parametresinin olabileceği maksimum ve minimum değerler matematiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca kalite çıktılarının olması gereken değerleri matematiksel eşitliklerle belirlenmiştir. Oluşturulan tek amaçlı fonksiyonlar bu kısıtlar göz önünde bulundurularak LINGO paket programı ile çözülmüş ve çekme ile vida tutmayı ayrı ayrı maksimum yapan optimum üretim parametre değerleri bulunmuştur. Ancak tek başına vida tutmayı veya tek başına çekmeyi maksimize etmek ürün kalite beklentilerini karşılamaz. Seçilen ürün için hem vida tutma hem de çekme aynı öneme sahip kalite çıktıları olup ikisinin de aynı anda beklenen seviyede olması istenir.

Bu doğrultuda ikisi de aynı öneme sahip olduğu için hem vida tutmayı hem de çekmeyi maksimize etmek için çok amaçlı matematiksel modelleme

yöntemlerinden önceliklendirmesiz hedef programlama kullanılarak LINGO paket programı ile etkin üretim parametre değerleri bulunmuştur.





## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez aşamasında bana her konuda yardımcı olup yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Ali KOKANGÜL'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez aşamasında tüm sorularıma cevap veren, yol gösteren, anlayış gösterip destek veren Dr. Öğr. Üyesi Cansu DAĞSUYU 'na şükranlarımı sunarım.

Jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU ve Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE'ye değerli katkı ve yorumları için çok teşekkür ederim.

Çalışmanın yapıldığı Adana'daki MDF tesisinde tez için gerekli veriler ve üretimleri takip noktasında bana destek olan başta fabrika direktörü Ergin TURAN olmak üzere Mustafa KARAMANLI, Alper Can AKIN, Ümit CANPOLAT, Yusuf YENİÇUN ve Uğur SARIGÜL'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim esnasında özellikle tez aşamasında bana motivasyon veren sevgili eşim Sonay DURAN ve oğlum Bera DURAN'a çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....	III
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER .....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Orta Yoğunlukta Lif Levha ( MDF).....	1
1.2. Türkiye MDF Sektörü.....	7
1.3. Problemin Tanımı .....	9
1.4. Çalışmanın Amacı.....	11
1.5. Çalışmanın Kapsamı .....	12
1.6. Çalışmanın Adımları .....	13
1.7. Orijinal Katkılar .....	13
1.8. Çalışmanın Organizasyonu .....	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	15
2.1. Ağaç Bazlı Panel Sektöründe Yapılan Çalışmalar .....	15
2.2. Diğer Sektörlerde Yapılan Çalışmalar .....	17
2.3. Literatür Değerlendirmesi .....	20
3. MATERYAL VE METOD.....	23
3.1. Materyal .....	23
3.1.1. Tutkal.....	24
3.1.2. Buhar.....	26
3.1.3. Çalışmada Kullanılan Testler.....	27

3.1.4. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar.....	33
3.2. Metod.....	33
3.2.1. Regresyon Analizi.....	33
3.2.2. Matematiksel Programlama .....	34
3.2.3. Hedef Programlama .....	34
3.2.4. Hedef Programlama Türleri .....	36
3.2.4.1. Amaç Fonksiyonlarının Öncelik Seviyelerine Göre Hedef Programlama Türleri .....	36
3.2.4.2. Karar Değişkenlerinin Alabilecekleri Değerlere Göre Hedef Programlama.....	36
3.2.4.3. Katsayı Özelliklerine Göre Hedef Programlama.....	36
3.2.4.4. Hedeflerin Niteliklerine Göre Hedef Programlama.....	37
3.2.5. Doğrusal Programlama .....	37
3.2.6. Çalışmada Oluşturulan Matematiksel Model.....	38
3.2.6.1. Varsayımlar .....	38
3.2.6.2. Notasyon.....	39
3.2.6.3. Tek Amaçlı Matematiksel Modeller.....	41
3.2.6.4. Çok Amaçlı Matematiksel Modeller .....	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
4.1. Veri Analizi.....	47
4.1.1. Üretim Parametrelerinin Çekme Mukavemetine Etkisi .....	51
4.1.2. Üretim Parametrelerinin Su Alma Üzerine Etkisi .....	53
4.1.3. Üretim Parametrelerinin Vida Tutma Üzerine Etkisi .....	56
4.1.4. Hata Hesaplama .....	58
4.1.5. Literatür ve Veri Analizi Değerlendirmesi .....	59
4.2. Matematiksel Model .....	60
4.2.1. Tek Amaçlı Matematiksel Model Sonuçları.....	60
4.2.1.1. Çekme Mukavemetini Maksimum Yapan Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi .....	60

4.2.1.2. Vida Tutmayı Maksimum Yapan Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi .....	64
4.2.2. Çok Amaçlı Matematiksel Model Yaklaşımı .....	66
4.2.2.1. Çekme ve Vida Tutmayı Maksimum Yapan Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi .....	66
4.2.3. Tek Amaçlı Model Sonuçları İle Çok Amaçlı Model Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
5.1. Sonuçlar .....	71
5.2. Öneriler .....	73
KAYNAKLAR .....	75
ÖZGEÇMİŞ .....	79



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 1.1.	Türkiye Ağaç Bazlı Sanayi Üretim Kapasitesi .....	7
Çizelge 1.2.	Türkiye MDF Üretimi Yapan Firmaların Günlük Üretim Kapasiteleri .....	8
Çizelge 3.1.	Çalışmada Kullanılan Üretim Parametrelerinin Maksimum ve Minimum Değer Aralıkları .....	24
Çizelge 4.1.	Çekme Mukavemetine Ait Regresyon Modeli Özet Tablosu .....	52
Çizelge 4.2.	Çekme Mukavemeti Varyans Analizi Tablosu .....	52
Çizelge 4.3.	Çekme Mukavemeti Katsayılar Tablosu.....	53
Çizelge 4.4.	Su Almaya Ait Regresyon Modeli Özet Tablosu.....	54
Çizelge 4.5.	Su Alma Varyans Analizi Tablosu .....	54
Çizelge 4.6.	Su Alma Katsayılar Tablosu .....	55
Çizelge 4.7.	Vida Tutmaya Ait Regresyon Modeli Özet Tablosu .....	56
Çizelge 4.8.	Vida tutmaya Ait Varyans Analizi Tablosu.....	56
Çizelge 4.9.	Vida Tutma Katsayılar Tablosu.....	57
Çizelge 4.10.	Çekme Kalite Kriteri İçin Hata Değerleri .....	58
Çizelge 4.11.	Vida Tutma Kalite Kriteri İçin Hata Değerleri .....	59
Çizelge 4.12.	Maksimum Çekmeye Ait Üretim ve Kalite Parametreleri.....	64
Çizelge 4.13.	Maksimum Vida Tutmaya Ait Üretim ve Kalite Parametreleri.....	65
Çizelge 4.14.	Maksimum Vida Tutma ve Maksimum Çekmeye Ait Önceliklendirmesiz Hedef Programlama Sonuçları.....	67
Çizelge 4.15.	Tek Amaçlı Model ve Önceliklendirmesiz Hedef Programlama Sonuçları .....	69



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1. MDF Üretim Süreci (URL-2, 2019).....	2
Şekil 1.2. MDF Tesisi Yongalama Ünitesi.....	3
Şekil 1.3. MDF Tesisi Serme Ünitesi.....	5
Şekil 1.4. MDF Tesisi Presleme Ünitesi.....	6
Şekil 1.5. MDF Tesisi Zımpara ve Ebatlama Ünitesi.....	7
Şekil 1.6. Türkiye'nin MDF/HDF İhracat ve İthalatı (URL-3,2019).....	9
Şekil 3.1. Tutkal Üretim Tesisi Örneği.....	26
Şekil 3.2. Vida Tutma Testi İçin Delinen Numune Levhalar.....	27
Şekil 3.3. Vida Tutma Testi İçin Vidalanan Numune Levhalar.....	28
Şekil 3.4. Test Cihazında Vida Tutma Testi.....	29
Şekil 3.5. Çekme Testi İçin Kesilen Numune Levha Parçaları.....	30
Şekil 3.6. Isıtılmış Plakalara Silikon Sıkılması.....	30
Şekil 3.7. Isıtılmış Plakalar İle Numune Levhaların Yapıştırılması.....	31
Şekil 3.8. Test Cihazında Çekme İşlemi.....	32
Şekil 3.9. Test Cihazında Çekme İşlemi Sonu.....	32
Şekil 4.1. MDF Panel Üretiminde Kullanılan Buhar ve Tutkal Değerleri.....	47
Şekil 4.2. MDF Panel Üretiminde Kullanılan Serme Lif Rutubeti ve Pres Hızı Değerleri.....	48
Şekil 4.3. MDF Panel Üretimi Esnasındaki 1. Ve 2. Bölge Sıcaklıkları Değerleri.....	49
Şekil 4.4. MDF Panel Üretimi Esnasındaki 3. Ve 4. Bölge Sıcaklıkları Değerleri.....	49
Şekil 4.5. MDF Panel Üretimi Esnasındaki 5. Ve 6. Bölge Sıcaklıkları Değerleri.....	50
Şekil 4.6. MDF Panel Üretimi Esnasındaki Yüksek ve Orta Basınç Değerleri.....	50
Şekil 4.7. MDF Panel Üretimi Esnasındaki Düşük Basınç Değerleri.....	51



## SİMGELER VE KISALTMALAR

MC%	: Kurutulmuş talaş nemi içeriği
RSM	: Yanıt yüzeyi Metodolojisi (Response surface methodology)
MOR	: Kırılma dayanımı (Modulus Of Rupture)
MOE	: Elastisite modülü (Modulus Of Elasticity)
(S / N)	: Sinyal / Gürültü oranı
ANOVA	: Varyans analizi (Analysis Of Variance)
UF	: Üre Formaldehit
MF	: Melamin Formaldehit
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
MDF	: Orta Yoğunlukta Lif Levha (Medium Density Fiberboard)



## 1. GİRİŞ

Ağaç bazlı panel sektöründe kullanılan odun hammaddesinin hem kullanım alanının çeşitlenmesi hem de hammadde tedarikindeki güçlükler nedeniyle sektörü masif ağaç malzemeye alternatif üretmeye zorlamıştır. Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) masif ağaç malzemeye alternatif olarak geliştirilmiş levha ürünlerinin en önemlilerindendir (Akgül, Çamlıbel ve Gedik, 2013). Artan nüfus ile paralel olarak konut ihtiyacının artması sonucunda ağaç bazlı panellere olan ihtiyaç da artmıştır.

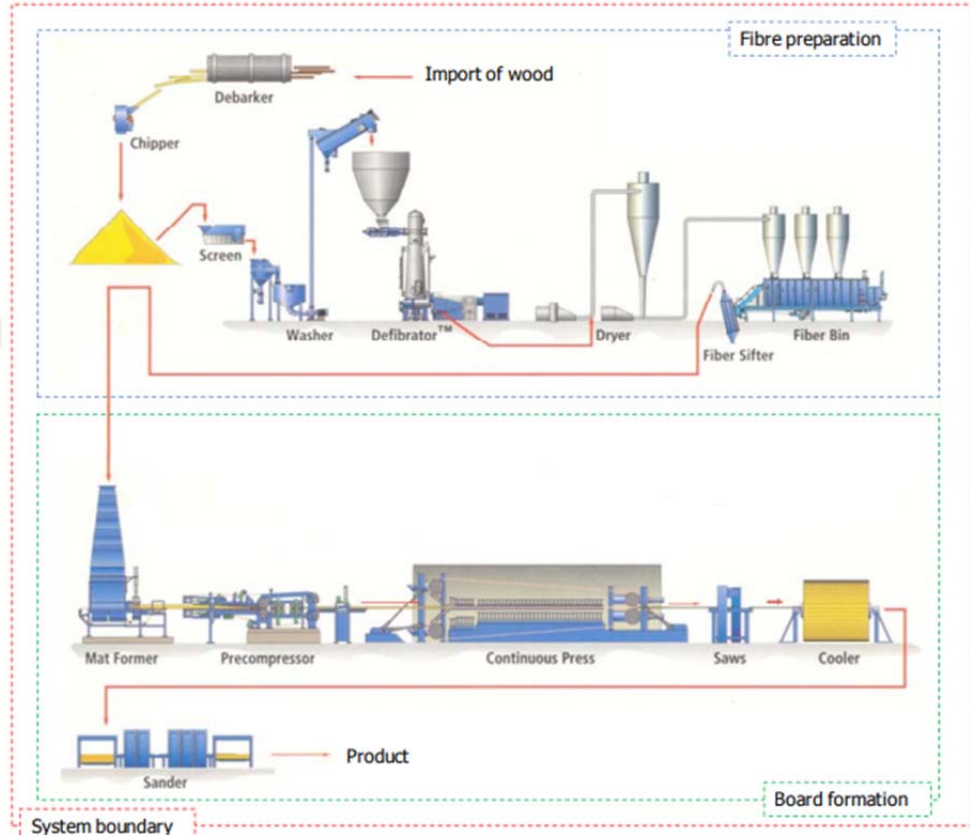
Dünyada MDF üretimi sürekli yükseliş trendindedir. Daha önce yonga levhaya alternatif olarak üretilen MDF hızlı gelişmesiyle yonga levhayı geçmiştir. MDF'nin hızla yükselmesine neden olan en önemli etkenler; hammadde isteğinin yongalevhadan daha geniş sınırlar içinde olması, masif ağaç malzeme gibi işlenebilmesinden dolayı başta mobilya endüstrisi olmak üzere birçok kullanım alanında yongalevha ve kontrplak yerine fazla tercih edilmesi, fiziksel özelliklerinin ve mekanik direnç değerlerinin daha iyi olmasıdır (Ayrılmış, 2000).

### 1.1. Orta Yoğunlukta Lif Levha ( MDF)

MDF, sert ve yumuşak odun liflerinin kurutularak yüksek basınç ve sıcaklık altında preslenmesi sonucu reçine (tutkal) bağlayıcılarıyla birleştirilmesiyle oluşur. MDF üretim prosesi özet olarak Şekil 1.1. de gösterilmiştir. MDF üretimi aşağıdaki aşamalardan oluşur.

- ✓ Kabuk Soyma
- ✓ Yongalama
- ✓ Yonga (Chips) yıkama
- ✓ Liflendirme
- ✓ Tutkallama
- ✓ Serme
- ✓ Presleme

## ✓ Zımpara ve Ebatlama



Şekil 1.1. MDF Üretim Süreci (URL-2, 2019)

MDF üretim aşamalarından aşağıda özet olarak bahsedilmiştir.

- ✓ **Kabuk Soyma** : Hammadde olarak odun veya odunun yongalanmış hali (chips) kullanılabilir. Eğer odun kullanılacaksa öncelikle kabukların odunlardan ayrılması gerekir. Bunun için odunlar stok sahasından alınarak kabuk soyma ünitesine beslenir. Odunun stok sahasında kalma süresi önemli bir etken olup belli bir süreyi aşarsa odunun kalitesi özellikle lif yapısı bozulacağından mdf üretimine de olumsuz etkisi olacaktır. Ayrıca

en önemli etkenlerden biri olan odunun nem değeri olup odun hammaddesi satın alınırken bu değere azami dikkat edilmelidir.

- ✓ **Yongalama** : Kabuk soyma ünitesinde kabukları soyulan odunlar yongalama ünitesine beslenir ve burada yonga (chips) haline dönüştürülür (Şekil 1.2.). Yongaların hepsinin eşit boyutlarda olması istenir. Bu yüzden yongalama yapılırken bu husus dikkate alınmalıdır. Yongalama ünitesine beslenen odunların belirli bir çapı geçmemesi gerekir. Bu yüzden çaplı odunlar yongalama ünitesine gönderilmeden önce çap azaltma işlemi uygulanmalıdır.



Şekil 1.2. MDF Tesisi Yongalama Ünitesi

- ✓ **Yonga Yıkama** : Yongalama sonrası odun yongaları yonga istif sahasında yonga türlerine göre istiflenir. Daha sonra ürün reçetesindeki miktarlara

göre yongalar karıştırılarak yonga yıkama alanına bantlar vesilesi ile gönderilir. Burada istenmeyen malzemeler yongalardan ayrılır.

- ✓ **Liflendirme:** Yongaların pişirme kazanında sıcak buhar verilerek yumuşatılması ile liflendirme gerçekleştirilir. Lifin kimyasal yapısı bozulmamalı. Elde edilecek liflerin kalitesi kullanılan ağaçların türüne, yonga boyutlarına ve dağılımına, ön buhar basıncına, pişirme kazanındaki bekleme süresine, uygulanan sıcaklığa, segmentlerin profiline, diskler arasındaki açıklığa, disk hızına ve diskler arasındaki bekleme süresine göre değişmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).
- ✓ **Tutkallama :** Liflendirme sonrası tutkallama işlemi yapılır. Kullanılan tutkal da ürün tipine göre değişir. Suya dayanıklı tutkal, yangına dayanıklı tutkal ve dış ortama dayanıklı olmayan tutkallar kullanılabilir.
- ✓ **Serme :** Lifler makinedeki tırmıklar vasıtası ile serme ünitesinde üretilecek ürünün kalınlığına göre belli bir kalınlıkta düz bir pasta haline getirilir. Pasta kalınlığı üretilecek ürünün kalınlığına göre değişir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. MDF Tesisi Serme Ünitesi

- ✓ **Presleme** : Serme ünitesinden sonra oluşturulan pasta presleme ünitesine gelir ve burada istenen kalınlık değerine ulaşana kadar sıkıştırılır (Şekil 1.4.). Pasta kızgın yağ plakaları yardımı ile ısınan çelik banta basınç pistonları yardımı ile basınç uygulanması ile sıkıştırılır. Sıcaklık ve basınç altında lif içindeki tutkal reaksiyona girer ve liflerin birbirine yapışması sağlanır. Presleme süresi tutkalın sertleşme süresine, uygulanan sıcaklığa, levha yoğunluğuna, pasta rutubetine ve üretilecek levha kalınlığına göre değişmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).



Şekil 1.4. MDF Tesisi Presleme Ünitesi

- ✓ **Zımpara ve Ebatlama:** MDF levhalar sürekli pres sonrası ingilizce masterboard olarak adlandırılan ana levha boyutlarında üretilerek zımpara öncesi istif sahasında bekletilir. Burada levhaların türüne göre belirli bir sıcaklık değerine düşmesi gerekir. Zımpara öncesi kondisyonlama levhanın kalitesini etkileyen unsurlardandır. Kondisyonlanan ana levhalar zımparaya beslenerek burada zımparalanır ve kullanılacak levha boyutuna göre ebatlanır (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. MDF Tesisi Zımpara ve Ebatlama Ünitesi

## 1.2. Türkiye MDF Sektörü

Türkiye’de de dünya ile paralel olarak MDF üretimi artmış ve Çizelge 1.1. de gösterildiği üzere yıllık 6 milyon m<sup>3</sup> ün üzerinde MDF üretir hale gelmiştir. Çizelge 1.1. de görüleceği üzere ağaç bazlı panel olarak MDF, Yongalevha ve OSB üretilmektedir. Yoğunluk kapasitenin önemli bir kısmı MDF ve Yongalevhadır. Son yıllarda MDF yatırımları artmıştır ve kapasitelerden de görüleceği üzere MDF kapasitesi Yongalevha üretim kapasitesinin % 33 önüne geçmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye Ağaç Bazlı Sanayi Üretim Kapasitesi

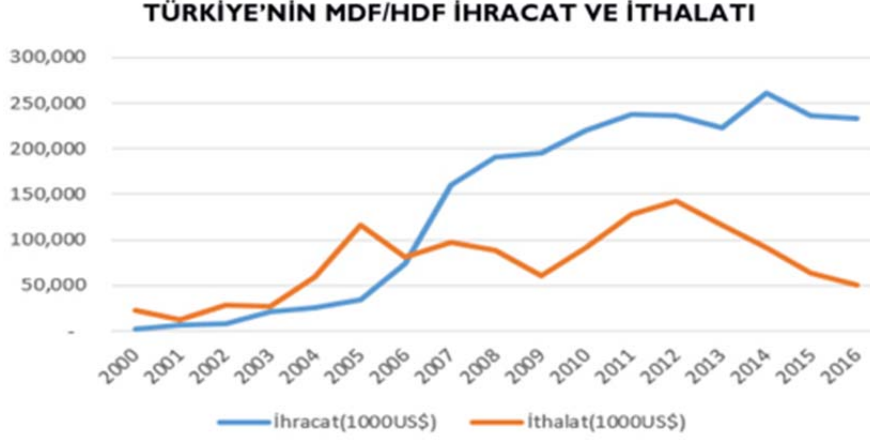
2017 YILI AĞAÇ BAZLI PANEL SEKTÖRÜ KURULU KAPASİTESİ	
Yonga Levha	5.113.920 (m <sup>3</sup> /yıl)
Lif Levha (MDF)	6.779.200 (m <sup>3</sup> /yıl)
OSB	240.000 (m <sup>3</sup> /yıl)

Bu üretim rakamını Çizelge 1.2. de gösterildiği gibi 15 ayrı firma yapmaktadır. Üretim miktarının % 42 sini Çizelge 1.2. de gösterilen ilk iki firma yapmaktadır.

Çizelge 1.2. Türkiye MDF Üretimi Yapan Firmaların Günlük Üretim Kapasiteleri

<b>TÜRKİYEDEKİ MDF ÜRETİCİLERİ</b>	<b>KAPASİTE</b>
Yıldız Entegre Ağaç San.Ve Tic. A.Ş.	5.100 m <sup>3</sup> /gün
Kastamonu Entegre Ağaç San. Ve Tic. A.Ş.	3.875 m <sup>3</sup> /gün
Çamsan Entegre Ağaç. San. Ve Tic. A.Ş.	2.000 m <sup>3</sup> /gün
Starwood Orman Ürünleri A.Ş.	1.925 m <sup>3</sup> /gün
Yıldız Sunta MDF A.Ş.	1.800 m <sup>3</sup> /gün
AGT Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.	1.325 m <sup>3</sup> /gün
Teverpan Ağaç Sanayii A.Ş.	1.335 m <sup>3</sup> /gün
Divapan Entegre Ağaç Panel San. Tic. A.Ş.	1.070 m <sup>3</sup> /gün
Çamsan Poyraz A.Ş.	820 m <sup>3</sup> /gün
Vezirağaç Vezirköprü Orman Ür. Ve Gıda A.Ş.	600 m <sup>3</sup> /gün
SFC (Kronospan) Entegre Orman Ür. San.Tic. A.Ş.	475 m <sup>3</sup> /gün
Beypan A.Ş.	300 m <sup>3</sup> /gün
SBS A.Ş.	300 m <sup>3</sup> /gün
Balkanlar MDF A.Ş.	200 m <sup>3</sup> /gün
Selolit A.Ş.	60 m <sup>3</sup> /gün
<b>TOPLAM</b>	<b>21.185 m<sup>3</sup>/gün</b>

Artan talep ile birlikte kapasite de artmış hatta kapasite talebinde üzerine çıkmış ve bu durum da ihracat ithalat dengesine olumlu yansımıştır. 2000 yılından itibaren ihracat düzenli olarak artarken özellikle 2012 den sonra ithalat rakamları önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 1.6.). Talep Türkiye de üretilen ürünlere dönmüştür. Bunun sonucunda yurtiçinde yapılan üretimlere ait ürünlerden ithal edilen ürünlere göre kalite çıktıkları noktasında beklenti düzeyi artmıştır.



Şekil 1.6. Türkiye'nin MDF/HDF İhracat ve İthalatı (URL-3,2019)

### 1.3. Problemin Tanımı

Gerek ihracat pazarlarında ve gerekse iç piyasa da rekabet edebilmek için üretilen ürünlerin gerekli kalite özelliklerine sahip olması beklenir. Her gün binlerce m<sup>3</sup> ürün istenen çekme, vida tutma değerlerine sahip olmadığı için kullanılamaz kabul ediliyor ve hurdaya ayrılmaktadır. Bunun da işletmelere olan maliyeti çok yüksek olmaktadır. Ana kalite problemleri aşağıda belirtilmiştir.

- Zayıf iç kısım
- Yüksek yüzey yoğunluğu
- Düşük elastikiyet modülü ve yırtılma
- Düşük iç yapıştırma
- Yüksek talaş
- Yüksek su emme ve yüksek boyutlu şişme
- Yanlarda kabarcıklar ve üfleme
- Çözgü

Bu kalite problemlerine üretim yapan makinenin o anki basınç, sıcaklık, hız gibi birçok üretim parametresi etkilidir. Üretim parametre değerlerinin olması gereken değerlerde olmaması bu kalitesizliklere neden olmaktadır. Örneğin yeterli sıcaklık ve basınç yoksa ve tutkal reaksiyona girip lif ile yeterli yapışmayı sağlamamışsa levhanın iç kısmı zayıf olur. Kalite problemleri ürünlerin özellikle mobilya endüstrisinin beklentilerini karşılamadığından hurdaya ayrılmasına neden olur. Dolayısıyla üretim işletmeleri zarara uğramaktadır. Ürünler zamanında teslim edilmediği için de hem mobilya endüstrisi hem de son tüketici maddi olarak kayıp yaşar.

Mali kayıpların yanında bir diğer olumsuzluk ise çevreye verdiği zarardır. Zira ürünler kullanım sonrası çabuk deforme olup mobilya atıklarının artmasına neden olur. Örneğin yüksek talaş çıkması hem çevresel anlamda olumsuzluk oluşturur hem de mali kayba neden olur. Henüz ülkemizde mobilya atıklarının değerlendirilerek tekrar kullanımı noktasında yeterli altyapı ve faaliyet yoktur.

Kalite problemleri bir diğer hasarı da işgücü noktasında verir. Yüksek yüzey yoğunluğu kalite problemi malzemeyi işlerken daha çok işgücü ve enerji harcanmasına neden olur. Dolayısıyla bu problemlerden ötürü mobilya endüstrisi firmaları birim zamanda daha fazla ürün üretmek için daha çok işgücü harcamak durumunda kalır ki bu da aynı zamanda mali kayıptır.

MDF kalite problemlerine üretim parametreleri yanında kullanılan odun hammaddesinin satın alındığı zaman ki nem değeri, kullanılan yonganın boyutları, ağaç türü, pişirme süresi, segmentlerin durumu ve bunun gibi birçok etken etkilidir. Bu etkilerin bir kısmı üretim esnasında iyi yönetilerek tolera edilir.

MDF üretiminde kullanılan lifin oluşumu pişirme kazanında buhar ile yapılmaktadır. Burada kullanılan buhar miktarı lifin kalitesini belirleyen etmenlerdendir. Dolayısıyla buhar miktarı önemli bir üretim parametresidir. Liflere kurutma sonrası tutkallama ünitesinde tutkal verilir.

Tutkal liflerin birbirine yapışmasını sağlayan kimyasaldır. Tutkalı gerektiği kadar kullanmak gerekir. Zira fazla kullanım hem maliyet hem de istenmeyen

kalite değerlerine sebep olabilir. Gereğinden az kullanım ise kalitesizlik maliyetine neden olur.

Preslemeye girmeden önceki pasta denilen taslak levhanın rutubeti levhanın özelliklerini etkileyen önemli etkenlerdendir. Lif rutubetinin çok az olması durumunda levhanın yüzey tabakaları yeterince sıkıştırılamaz ve bunun sonucunda gevşek ve zayıf yüzü levhalar elde edilir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001).

Presleme kısmında sıcaklık ve basınç altında taslak levha sıkıştırılarak lif içindeki tutkal reaksiyona girer ve liflerin birbirine yapışması sağlanır. Burada oluşan reaksiyonun yeterince olması gerekir. Aksi takdirde levha istenen özelliklerde çıkmayacaktır. Dolayısıyla presleme kısmındaki pres hızı, uygulanan sıcaklık ve basınç parametresi ürün kalitesini belirler.

Pres hızı, sıcaklık, basınç, serme lif rutubeti, buhar ve tutkal gibi üretim parametrelerinin levhanın üzerindeki etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi ve beklenen çekme ve vida tutma gibi değerlerin elde edilmesi için optimum sıcaklık, basınç, pres hızı, serme lif rutubeti tutkal ve buhar değerlerinin tespit edilememesi kalitesiz ürünün çıkmasına neden olmaktadır. Bu da şirkete yüksek kalitesizlik maliyeti olarak yansımaktadır.

Özetle gerek makine özellikleri ve gerekse hammadde özelliği gibi birçok etmen kalite problemlerine neden olabilir. Bu kalite problemleri üretim esnasında üretim parametre değerlerine müdahale edilerek çözülebilir. Bu sayede hammadde ve sonrasında gelen kalitesizlikler giderilir. Dolayısıyla üretim parametrelerinin değerlerinin belirlenmesi firmalar için büyük önem göstermektedir.

#### **1.4. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmanın amacı MDF levhalarının istenen çekme ve vida tutma değerlerine sahip olması yani beklenen kalite özelliklerine sahip olması için sıcaklık, basınç, pres hızı, serme lif rutubeti, tutkal ve buhar gibi üretim parametrelerinin optimizasyonu sağlamak, yani olması gereken üretim parametre

değerlerini belirlemektir. Bu sayede kalitesizlik maliyeti ortadan kalkacak ayrıca maliyeti yüksek deneme üretimlerinin önüne geçilecektir.

Bu çalışma sonucunda;

- ✓ MDF üretim parametrelerinin birbiri ile ilişkilerinin tespit edilmesi
- ✓ Kalite çıktılarının optimum değerlerinin belirlenmesi
- ✓ Hangi üretim parametresinin hangi kalite çıktıları üzerinde etkili olduğunun belirlenmesi
- ✓ Kurulacak matematiksel model ile üretim denemelerinin minimize edilmesi
- ✓ Matematiksel model ile MDF üretiminde kullanılan üretim parametrelerinin optimum değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

### 1.5. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma ile öncelikle olması gereken kalite özellikleri belirlenmiş ve bunların TSE değerleri alınmıştır. Üretimde kullanılan üretim parametreleri incelenmiş ve parlak ürün üretiminde kullanılan levhanın üretiminde kullanılan parametrelerin değerleri takip edilmiş ve bunların verileri tutulmuştur. Daha sonra bu verilerle istatistiksel analizler yapılmıştır.

Her ürünün üretimi yapıldıktan sonra testler yapılabilmektedir. Test sonuçlarını almak belirli bir süre almakta bu esnada da üretim devam etmektedir. Herhangi bir testte olumsuz sonuç çıkarsa sonuca göre müdahale yapıldığından üretim başlangıcından test sonucu alınıncaya kadarki sürede üretim devam ettiğinden sonuçta yüksek miktarda maliyet oluşmaktadır. Bu çalışmanın kapsamını üretim parametre değerlerinin ilgili ürün üretiminde tutulması ve optimum üretim parametre değerlerinin belirlenmesi için ilgili matematiksel modelin kurulması ve problemin çözülmesi oluşturmaktadır.

### 1.6. Çalışmanın Adımları

Bu çalışmada takip edilen adımlar aşağıda belirtilmiştir;

- ✓ Çalışmada öncelikle incelenecek problem belirlenmiştir.
- ✓ Daha önce belirlenen problem ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş, kullanılan yöntemler irdelenmiştir.
- ✓ Çalışmada dikkate alınan problemin önceki çalışmalardan farklı yönleri belirlenmiştir.
- ✓ Çalışmanın amacı, kısıtları, kullanılacak verilerin tutulması, karar değişkenleri elde edilmiştir.
- ✓ MDF tesisinde ilgili üretim parametre değerleri tutulmuş ve ilgili üretimlerin test sonuçları alınmıştır.
- ✓ İlgili veriler üzerinden istatistiksel analiz yapılmıştır.
- ✓ Üretim parametreleri arasındaki fonksiyonel ilişki belirlenmiştir.
- ✓ Amaç fonksiyonları ve kısıtlar doğrultusunda matematiksel model oluşturulmuştur.
- ✓ Matematiksel model LINGO paket programı ile çözülmüştür.
- ✓ Amaç fonksiyonları aynı öneme sahip olduğundan çözümde Önceliklendirmesiz Hedef Programlama kullanılmıştır.
- ✓ Modelin çözülmesi ile elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.
- ✓ Bundan sonraki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

### 1.7. Orijinal Katkılar

Çalışmada kullanılan orijinal katkılar aşağıdadır.

- ✓ Bu çalışmada tutkal ve buhar bir parametre olarak değerlendirilip olması gereken optimum değerleri belirlenmiştir.
- ✓ MDF üretiminde kullanılan tüm üretim parametrelerinin matematiksel model ile optimum değerleri belirlenmiştir.

- ✓ MDF sektöründe ilk kez üretim parametreleri kalite çıktıları dikkate alınarak optimize edilmiştir. Optimum üretim parametreleri vida tutma ve çekmeyi maksimize eden iki amaç fonksiyonu dikkate alınarak bulunmuştur.
- ✓ Birkaç MDF üretim parametresinin birbiri ile ilişkisi değil tüm parametlerin istenen çıktı değerleri için olması gereken optimum değerleri belirlenmiştir.

### 1.8. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın bundan sonraki aşamalarında sırasıyla, ikinci aşamada ağaç bazlı panel sektöründe ve diğer sektörlerde üretim parametrelerinin optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalara değinilmiş, üçüncü bölümde kullanılan model ve metotlar ile toplanan veriler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise kullanılan model ve metotla elde edilen sonuçların yorumlaması yapılmıştır. Beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları verilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Üretim parametreleri ile ilgili önceki çalışmalar, ağaç bazlı panel sektöründe ve diğer sektörlerde yapılan çalışmalar olmak üzere iki başlıkta incelenmiştir.

### 2.1. Ağaç Bazlı Panel Sektöründe Yapılan Çalışmalar

Nemli ve ark. (2007), matın nem içeriğinin, reçine miktarının, talaş tozu kullanımının ve pres süresinin yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemiştir. Yonga levhanın fiziksel özelliğinde kalınlığına şişme; mekanik özelliğinde kırılma dayanımı, elastisite modülü ve yüzeye dik çekme direnci ele alınmıştır. Elde edilen sonuçta, %20'ye kadar talaş tozu kullanımı yüzey pürüzsüzlüğünü artırırken, % 20'nin üzerindeki toz kullanımı ile yüzey pürüzlülüğü artırılmıştır. Ayrıca matın nem içeriği, toz kullanımı, reçine miktarı ve pres süresi, fiziksel ve mekanik özellikleri ve yonga levha yüzeyinin pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemiştir.

Zhang ve ark. (2008), mükemmel mukavemet ağırlık oranı ve hammadde tasarrufu ile talebi yükselişte olan içi boş çekirdek (tubular) yonga levha üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Ağaç bazlı panel üretiminde tutkal kullanılmaktadır. Tutkal yapımında ise formaldehit kimyasalı da kullanılır. Tutkaldaki serbest formaldehit miktarı formaldehit emisyonu olarak E0, E1 ve E2 olarak adlandırılır. EN 13986 Avrupa standardı EN 120 perforatör yöntemine göre E1 üst sınır değeri ağaç bazlı paneller için 8mg/100g dır (Özluoğlu ve İstek, 2015). Bu sınır değerinin üstündekiler E2 olarak adlandırılır. Bu çalışmanın amacı E1 dereceli performans ile içi boş çekirdek yonga levhanın üretim sürecini optimize etmektir. Sonuçlar, E1 dereceli yonga levha üretmek için optimal üretim parametrelerinin %5 reçine içeriği, %2 formaldehit süpürücü ilavesi, 160°C ekstrüzyon sıcaklığı ve 0.35 m/dak ekstrüzyon hızı olduğunu göstermiştir.

Islam ve ark. (2011), çok yanıtli optimizasyon kullanarak yonga levha üretim parametrelerinin optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. İlk olarak Plackett-Burman tasarımı, yonga levha üretimi için önemli işlem parametrelerinin taranması ve daha ayrıntılı bir deneyde zaman ve paraya yatırım yapmadan önce önemsiz faktörlerin ortadan kaldırılması için kullanılmıştır. Literatür taramasının ardından yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen yedi önemli parametre belirlenmiştir. Seçilen yedi parametre pul kalınlığı, pul uzunluğu, kurutulmuş talaş nemi içeriği (MC%), tutkal miktarı, pres süresi, basınç ve pres sıcaklığı iken Plackett-Burman tasarımıyla pul kalınlığı, kurutulmuş talaş nemi içeriği ve pres sıcaklığı parametrelerinin yonga levhanın özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu belirlendi. Bu işlemden sonra kırılma dayanımı (MOR) ve elastisite modülünü (MOE) etkileyen pul kalınlığı, kurutulmuş talaş nemi içeriği ve pres sıcaklığı parametrelerinin en iyi değerlerinin bulunması için Box-Behnken tasarımı Yanıt Yüzey Metodolojisi olarak uygulandı. MOR ve MOE için ANOVA analizleri sonuçları incelendiğinde MOR için  $R^2$  değeri 0.975 iken MOE için  $R^2$  değeri 0.966 olarak bulunmuştur.

Eltawahni ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada deney tasarımına (DOE) dayanarak MDF 'nin lazerle kesilmesini sunmuşlardır. Orta yoğunluklu lif levhaların (MDF) lazerle kesilmesi karmaşık bir işlemdir ve işlem parametrelerinin kombinasyonlarının seçimi, kesim bölümünün en yüksek kalitesini elde etmek için gereklidir. Sonuç olarak, optimum kesim kombinasyonları, yüksek kaliteli işlem ve düşük maliyet dikkate alınarak bulunmuştur.

Ferra ve ark (2012), bu çalışmada maksimum iç bağ kuvveti ve minimum formaldehit salınımına sahip parçacık levhaları üretmek için seçilen 3 faktörü (üre ilavesi sayısı, üre ilavesi arasındaki zaman aralığı ve yoğunlaşma pH'ı) optimize etmek için bir deney metodolojisi tasarımı kullanmışlardır. Yoğunlaşma pH'ının, İç Bağ (IB) kuvvetinin artırılmasında ve Formaldehit Emisyonunun (FE) azaltılmasında önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Ardışık üre ilavesinin reçine performansı üzerinde gözle görülür bir etkiye sahip olduğu da gözlemlenmiştir.

Üre formaldehit reçinelerinin üretilmesi için optimum koşullar, istenen fonksiyonlar kullanılarak cevap yüzey metodolojisi ile önerilmiş ve test edilmiştir.

Demirkır ve ark. (2013) yapay sinir ağları modeliyle kontrplaklarda yapışma gücünde bir kayıp olmadan en iyi üretim parametre değerlerini bulmayı hedefleyen bir çalışma ortaya koymuşlardır. En yüksek yapışma gücünü veren sıcaklık aralıklarını farklı içerikli kontrplaklar için bulmuşlardır.

Prakash ve ark. (2014), çalışmalarında en yaygın ve temel işlemlerden biri olan delme işlemi parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Taguchi' nin deney tasarımı ve deneysel bir modelleme yaklaşımı olan yanıt yüzeyi metodolojisi kullanılmıştır. İngilizce Response surface methodology (RSM) olarak adlandırılan yanıt yüzey metodolojisi, birden çok çıktının çeşitli parametrelerden etkilendiği problemlerin modellenmesi ve analizi için kullanılır. Dört farklı parametre, üç farklı seviyede analiz edilmiştir. Çalıştırılan modelin doğrulanması için ANOVA analizi yapılmıştır ve sonucunda 0.97 R<sup>2</sup> değeri ile yüzey pürüzlülüğünü en çok etkileyen parametre bulunmuştur.

Li ve ark. (2016), MDF parametreleri optimizasyonu için bir sinir ağı modeli önermişlerdir. Islam ve ark. (2011) gibi, bu çalışmada da kırılma dayanımı, elastisite modülü ve farklı olarak yüzeye dik çekme direncine odaklanılmıştır.

## 2.2. Diğer Sektörlerde Yapılan Çalışmalar

Fisher (1948) tarafından 1920'li yıllarda geliştirilen deneysel tasarım metodlarından sonra süreç parametreleri sayısı arttıkça çok sayıda deney yapılmak zorunda kalınmıştır. Bu problemi çözmek için az sayıda deneyle tüm parametreleri dikkate alabilen Taguchi yöntemi geliştirilmiştir. Yang ve Tarng (1998), Taguchi yöntemini kullanarak tornalama süreçlerindeki kesici ekipman parametrelerinin en iyi değerlerini bulmayı hedefleyen bir çalışma yapmışlardır. En iyi kesici ekipman parametre değerlerinin yanında operasyonun performansını etkileyen önemli parametreler de varyans analizi ile belirlemiş ve doğrulanmıştır. Çalışmanın

sonucunda değişen kesici parametreleriyle ekipman ömrü ve yüzey pürüzlülüğündeki iyileştirme %250 olarak bulunmuştur.

Değirmencioğlu ve Yazgı (2006), Yanıt (Tepki) Yüzeyi Metodolojisini (RSM) anlatmak üzere yaptıkları çalışmada metodolojinin temel prensiplerini ve tarımsal mekanizasyon alanına giren konularda yapılan çalışmalarını ele almışlardır.

Farklı sektörlerde parametreler üzerinde yapılan optimizasyon çalışmalarına örnek olarak Lotfy ve ark. (2006)'nın yaptığı çalışma gösterilebilir. Sitrik asit üretimindeki parametrelerin etkilerini optimize ettikleri çalışmada, RSM ile en iyi süreç şartlarını bulmuşlardır. Sitrik asit üretimi için optimum pH, fermantasyon sıcaklığı gibi değerler bulunmuştur.

Nalbant ve ark. (2006), Taguchi yöntemini kullanarak tornalama işlemindeki yüzey pürüzlülüğü için en iyi kesici parametre değerlerini bulmuştur. Ortogonal dizi, sinyal/ gürültü oranı ve varyans analizi AISI 1030 çeliklerinin tornalama işlemindeki performans özelliklerini çalışmak üzere kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametreler bulunmuştur. Parametrelerin ilk değerlerinden sonra yüzey pürüzlülüğündeki iyileştirme %335 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda çıkarılan sonuçlar içinde; Taguchi yönteminin kolay, sistematik ve etkili bir yöntem olduğu, yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için uygun bir metot olduğu gibi çıkarımlar da vardır.

Oktem ve ark. (2007), çalışmalarında ortoz parçası için ince kabuklu plastik bileşenlerin üretimi sırasında süreç parametrelerine bağlı büzülme değişimi ile ilgili çarpışma problemini azaltmak için Taguchi optimizasyon tekniğinin uygulanması ele alınmıştır. Bu amaçla, üç seviyeli L27 ve L9 Taguchi ortogonal tasarımına dayanan proses parametrelerinin kombinasyonu kullanılarak bir dizi MoldFlow analizi gerçekleştirilmiştir. Sinyal-gürültü (S / N) ve varyans analizi (ANOVA), optimum seviyeleri bulmak ve süreç parametrelerinin çarpıtma ve büzülme üzerindeki etkisini göstermek için kullanılır. Sonuçlar, çarpıtma ve büzülmenin yaklaşık% 2,17 ve% 0,7 oranında arttığını göstermektedir. Optimum

işlem parametreleri seviyesi belirlendikten sonra Taguchi tekniğinin etkinliğini kanıtlamak için bir doğrulama testi de yapılmıştır.

Gopalsamy ve ark. (2009), sertleştirilmiş çeliğin sert işlenmesindeki uç frezeleme için optimum süreç parametrelerine Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Bu parametrelere varyans analizi uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kesme hızı en etkili parametre olarak bulunmuştur.

Vankanti ve Ganta (2014) sundukları çalışmada delme işlemindeki parametrelerin optimizasyonunu ele almışlardır. Taguchi deney tasarımı uygulanarak gerçekleştirilen çalışmada dört farklı parametrenin delme işlemi üzerindeki etkileri incelenmek istenmiştir. Her bir parametrenin önemi ölçmek için bu çalışmada Pareto ANOVA kullanılmıştır. Pareto ANOVA, varyans analizinin basit halidir ve Pareto prensibine dayanır.

Temel işleme prensiplerinden biri olan tornalama işlemi istenilen kalitede ürünü elde etmek adına kritik bir işlemdir ve üretimde önemli bir yere sahiptir. Saurabh vd. (2015), çalışmalarında süreç parametrelerini optimize etmek için etkili bir yöntem olan Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Bu yaklaşımla süreç parametreleri ve optimal değerleri incelenmiştir. Çalışma sonun yüzey pürüzlülüğü optimizasyonu için en önemli faktör kesme derinliği olarak belirlenmiştir.

Bıyık ve ark. (2016), cıvata gibi bağlantı elemanlarının projeksiyon kaynağı ile kaynatılırken çapak oluşumu problemini en aza indirmeyi hedefleyen bir çalışma ortaya koymuşlardır. Süreç parametrelerinin etki dereceleri ile en iyi değerleri Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden olan kompozit çekicilik fonksiyonu yaklaşımıyla belirlenmiştir. Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemler sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda doğrulama deneyleri yapılmış ve bu iki yöntem kıyaslanmıştır. Performans değerlendirme sonuçlarına göre belirlenmiş parametrelerin etkenleri ve optimal değerleri belirlenmiştir.

Yıldız ve Yıldız (2017), çalışmalarında imalat sanayinde optimizasyon problemlerini çözmek için yeni bir algoritma (moth-flame optimization) önerisi

sunmuşlardır. Çalışmadaki amaç, çok amaçlı freze işlemlerinde kar oranını en üst düzeye çıkarmaktır. Algoritma, frezeleme işlemlerinde optimum işleme parametrelerinin belirlenmesi için başarıyla kullanılmıştır. Sonuçlar, bu algoritmanın üretim problemlerinin optimizasyonunda önemli bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Fedai ve ark (2018), işleme parametrelerinin AISI 4140 çeliğinin frezelemede çeşitli yüzey pürüzlülüğü özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, Taguchi L9 ortogonal dizisi göz önüne alınarak tasarlanmış ve kontrol faktörlerinin yanıtlar üzerindeki önemini belirlemek için varyans analizi yapılmıştır. Çok amaçlı Taguchi tekniği kullanılarak yüzey pürüzlülüğü özelliklerinin minimum değerleri bulunmuştur.

### 2.3. Literatür Değerlendirmesi

Literatürde daha çok ağaç bazlı panellerden yonga levha üretim parametreleri üzerine çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Çalışmalarda daha çok yanıt yüzey metodolojisi ve taguchi yöntemi kullanılmıştır. Literatürde üretim parametrelerinin tamamı değil birkaçı ile talaş tozu kullanımı gibi diğer bazı etmenlerin yonga levhanın fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir (Nemli ve ark. 2007). Çalışmalarda sadece E1 (Formeldehit Emisyon Miktarı) dereceli levha çıkması için gerekli optimal üretim parametreleri belirlenmiştir (Zhang ve ark. 2008). Çalışmalarda kalite çıktıları üzerinde etkili üretim parametrelerinin tamamının optimize eden araştırmalara rastlanmamıştır. MDF üretim parametreleri üzerine yapılan yeterli çalışma olmamakla birlikte daha ziyade çıktılar üzerine odaklanılmıştır.

Diğer sektörlerde üretim parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili yapılan literatür incelemesinde, üretim parametrelerinin ürünlerin hangi özelliği üzerinde ne kadar etkili olduğuna dair çalışmalara yoğunlaşıldığı görülmüştür. Optimizasyon problemlerinin çözümünde hangi yöntemlerin etkili olduğu araştırılmıştır (Yıldız ve Yıldız, 2017). Sadece bir kalite çıktısı dikkate alınarak ve

Taguchi ile çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinden kompozit çekicilik fonksiyonu kullanılarak çözüm elde edilmiştir (Bıyık ve ark. 2016).

Literatürde MDF üretiminde birden çok kalite çıktısını aynı anda ideal yapan optimum üretim parametrelerinin matematiksel modeller ile belirlenmesine dönük çalışmalara rastlanmamıştır. Birden çok kalite çıktısını aynı anda beklenen seviyede gerçekleştiren optimum üretim parametrelerinin matematiksel modeller ile belirlenmesi hem kolay hem de maliyeti düşük bir yöntemdir. Bu çalışmada vida tutma ve çekmeyi aynı anda maksimize eden optimum üretim parametreleri tek amaçlı ve çok amaçlı matematiksel modeller ile belirlenmiştir. Çok amaçlı modellerin çözümünde önceliklendirmesiz hedef programlama kullanılmıştır.



### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan materyaller ağaç bazlı panel sektörünün global şirketlerinden olan bir işletmenin Adana MDF tesisinden alınmıştır. Çalışmada mutfak dolapları gibi mobilya endüstrisinin kullandığı parlak ürünlerin üretiminde kullanılan MDF ürününe ait veriler üzerinde çalışılmıştır. Tesisin 2018 yılında 1 yıllık sürede ilgili ürüne ait üretim verileri tutulmuş ve çalışmada bu veriler kullanılmıştır. İlgili tesis Türkiye ve Dünyada önemli Pazar payına sahip olup yüksek miktarlarda ürün satışı gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla ürünlerin kalite problemi yaşamaması durumunda işletmenin zararı da aynı oranda yüksek olacaktır. Dolayısıyla müşterinin kalite beklentisinin standartlar doğrultusunda karşılanması hedeflenmektedir. Çalışmada kullanılan ürün için Çekme ve Vida tutma en önemli kalite parametreleridir. Maksimum çekme ve maksimum vida tutma değerlerini elde etmeyi sağlayan optimum üretim parametrelerini bulmak için aşağıdaki veriler gerekli olacaktır.

- ✓ Çizelge 3.1. de çalışmada kullanılan üretim parametrelerinin alabileceği maksimum ve minimum değer aralıkları
- Buhar miktarı gerek enerji tesisinin kapasitesi ve gerekse makinelerin teknik özellikleri gereği 11-18 t/h arasında değişmektedir. 11 t/h altında makinelerin çalışmasında ve lifi kurutma noktasında problemler yaşanır.
- Tutkal presleme esnasında reaksiyona girerek liflerin yapışmasını sağlayan önemli bir kimyasaldır. Aynı zamanda maliyet kalemidir. 60 kg ın altında levha özelliklerine olumsuz etkisi vardır. 90 kg ve üstü de satış yönüyle birim maliyetleri olumsuz etkiler.
- Serme lif rutubeti üretim içi önemli bir parametre olup üretilecek levhanın mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi vardır. Gerek kurutma kısmından

gelen değerler ve gerekse makinenin teknik özellikleri nedeniyle %8- %13 aralığında değişmektedir.

- Çizelge 3.1.deki diğer üretim parametrelerinin minumum ve maksimum değer aralıkları makinenin teknik özelliklerinden gelmektedir.
- ✓ Su alma, Çekme ve Vida tutma kalite çıktılarının ölçümü için test cihazları ve test sonuçları
- ✓ Üretim parametrelerinin birbiri ile olan ilişkilerinin matematiksel yorumu
- ✓ Üretim parametreleri ve kalite çıktıları ile ilgili kısıtlar.

Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Üretim Parametrelerinin Maksimum ve Minumum Değer Aralıkları

Üretim Parametreleri	Minumum Değer	Maksimum Değer
Buhar (V) - (t/h)	11	18
Tutkal (G) - (Kg/m <sup>3</sup> )	60	90
Serme Lif Rutubeti (M) – (%)	8	13
Pres Hızı (S) – (mm/dk)	60	1300
Birinci Bölge Sıcaklığı ( $T_1$ ) – (°C)	210	225
İkinci Bölge Sıcaklığı ( $T_2$ ) – (°C)	220	240
Üçüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_3$ ) – (°C)	220	240
Dördüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_4$ ) – (°C)	200	230
Beşinci Bölge Sıcaklığı ( $T_5$ ) – (°C)	170	200
Altıncı Bölge Sıcaklığı ( $T_6$ ) – (°C)	165	190
Yüksek Basınç (HP) – (MegaNewton)	5	20
Orta Basınç (MP) – (MegaNewton)	0	3
Düşük Basınç (MP) – (MegaNewton)	5	15

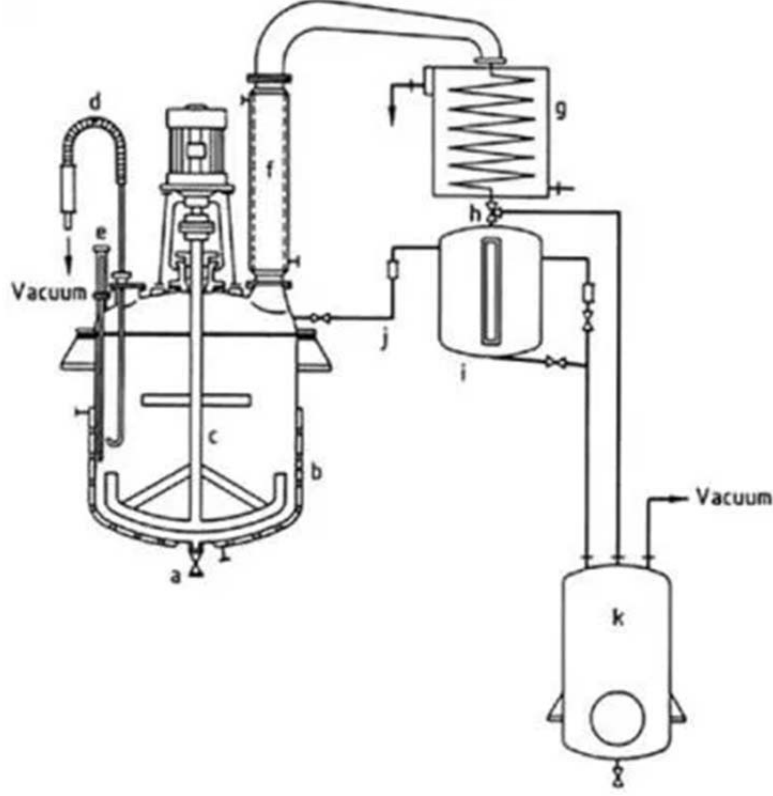
### 3.1.1. Tutkal

Tutkal sıcaklık ve basınç altında reaksiyona girerek liflerin birbirine bağlanmasını sağlayan önemli bir parametredir. Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinde Üre Formaldehit (UF) ve Melamin Formaldehit (MF) olmak üzere

temelde iki tutkal türü kullanılmaktadır. Formaldehit, tesisin tutkal üretim işletmesinde metanol hammaddesi kullanılarak üretilmektedir. Üre ve Melamin ise diğer yardımcı kimyasallar gibi farklı tedarikçilerden temin edilmektedir.

- ✓ **Üre Formaldehit** : UF tutkalı üre ile melaminin mevcut moleküllerinden ayrılan moleküllerin yeni molekül oluşturmaya dayanan kondensasyon tepkimesi ürünüdür (Filiz ve Ark, 2011). Tutkalın özelliklerini tutkal üretim esnasındaki PH seviyesi, tepkime süresi gibi süreçler belirler. UF tutkalı dış hava şartlarına dayanıklı bir tutkal değildir. Üre formaldehit tutkalı ile Melamin formaldehit tutkalı karıştırılarak dış hava şartlarına dayanıklı tutkal elde edilebilir. Bu sayede özellikle suya dayanıklı MDF üretimi yapılabilir. Diğer özellikler sabit olduğunda tutkalı artırmak üretilen ürünün direncini artırabilir ancak tutkalı artırmakta maliyeti artıran ana unsurlardandır.
- ✓ **Melamin Formaldehit** : Melamin formaldehit tutkalı da Üre formaldehit tutkalına benzer üretim tipine sahip olup üre formaldehit tutkalına göre neme karşı daha dayanıklıdır. Ancak üre formaldehit tutkalına göre maliyetli bir tutkaldır.

Şekil 3.1. de örnek tutkal üretim tesisi görülmektedir.



Şekil 3.1. Tutkal Üretim Tesisi Örneği

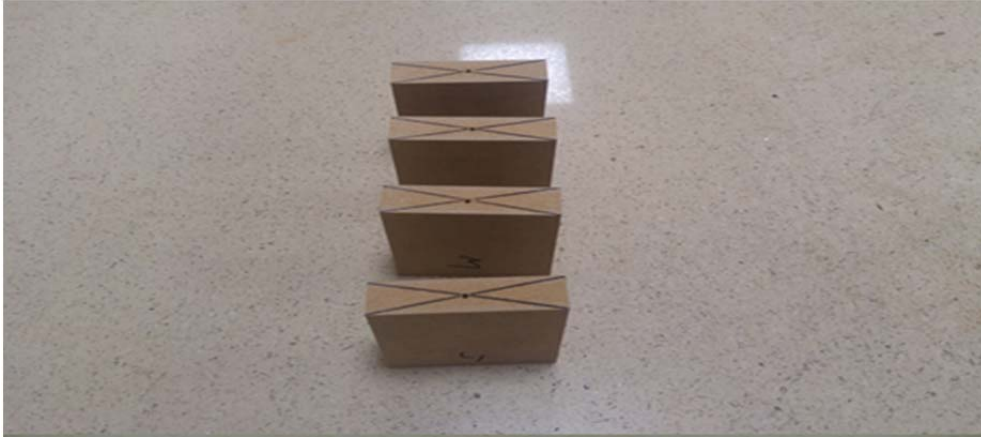
### 3.1.2. Buhar

Buhar, hem tesisteki birçok makinenin çalışması hem de işletmenin amiral gemisi niteliğindeki press kısmının, kurutmanın çalışması için temel parametrelerdendir. MDF tesisi buharı yüksek kapasiteye sahip enerji işletmesinde üretmektedir. Kazan da yakıt olarak odunların soyulması ile elde edilen kabukları ve press öncesi burun diye tabir edilen kısmın açılması ile ortaya çıkan lif atıkları ve zımpara tozlarını kullanmaktadır. Bu sayede üretim atıklarını büyük ölçüde tekrar kullanmakta olup bunun da çevreye olumlu yansması olmaktadır.

### 3.1.3. Çalışmada Kullanılan Testler

Üretimden çıkan ürünlerin beklentileri karşılayıp karşılamadığını yapılan bazı kalite testleri ile görüp ona göre müdahale edilir. Matematiksel model çözümümüz ile bu yaklaşımda da önemli ölçüde değişiklik olacaktır. Aşağıda bazı testlerin yapılma yöntemlerinden bahsedilmiştir.

- ✓ **Vida Tutma :** Vida tutma özelliği bir mobilya sektörü için çok önemli bir özelliktir. Levhalar beklenen vida tutma değerine sahip olmadığı takdirde levhaların montajı da mümkün olmaz. Vida tutma testi için alınan test levhasından 75X75 mm ebadında numuneler kesilir ve Şekil 3.2. teki gibi merkezinden delinir.



Şekil 3.2. Vida Tutma Testi İçin Delinen Numune Levhalar

Şekil 3.3. teki gibi piyonlar matkap yardımı ile vidalanır.



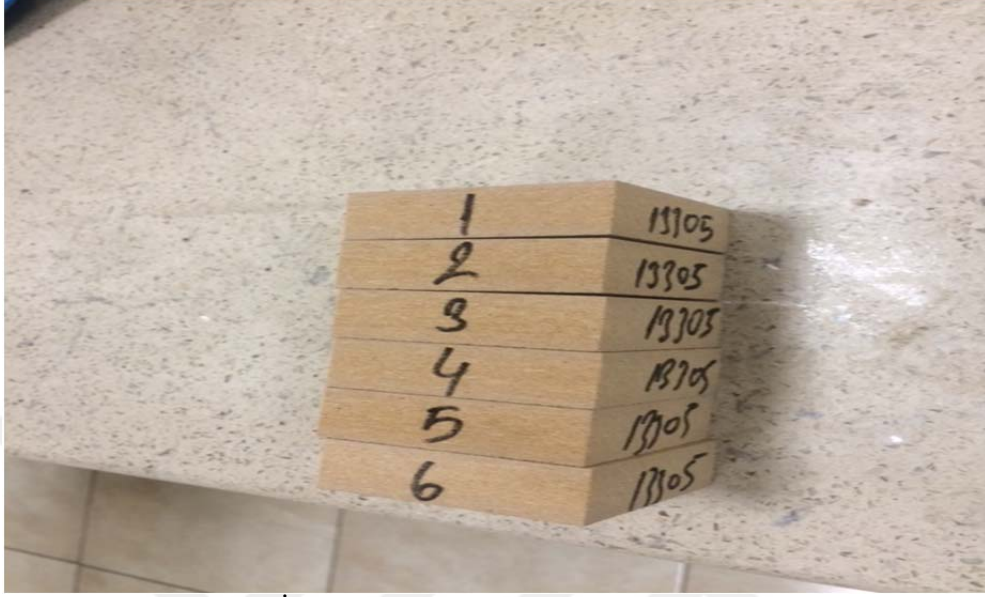
Şekil 3.3. Vida Tutma Testi İçin Vidalanan Numune Levhalar

Daha sonra vidalanan bu levhalar İmal IB 600 test cihazında Şekil 3.4. teki gibi çekilir ve test sonuçlanır.



Şekil 3.4. Test Cihazında Vida Tutma Testi

- ✓ **Çekme** : Test için alınan levhaların farklı bölgelerinden 50X50 mm ebadında Şekil 3.5. teki gibi numuneler kesilir.



Şekil 3.5. Çekme Testi İçin Kesilen Numune Levha Parçaları

Isıtılmış metal plakalara Şekil 3.6. daki gibi silikon sıkılır.



Şekil 3.6. Isıtılmış Plakalara Silikon Sıkılması

Numune levha parçaları ısıtma plakaları ile Şekil 3.7. deki gibi yapıştırılır.



Şekil 3.7. Isıtılmış Plakalar İle Numune Levhaların Yapıştırılması

Yapışma işleminden sonra soğutma yapılır. Daha sonra Şekil 3.8. – 3.9 deki gibi İmal IB 600 test cihazında çekme işlemi yapılarak test sonlandırılır.



Şekil 3.8. Test Cihazında Çekme İşlemi



Şekil 3.9. Test Cihazında Çekme İşlemi Sonu

### 3.1.4. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

2018 yılı boyunca çalışmada baz alınan ürüne ait üretim parametre verileri ile vida tutma, su alma ve çekme kalite çıktıları veri seti olarak tutulmuş ve SPSS yazılımı ile regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi ile etkili değişkenler belirlenmiş ve bu verilere göre kurulan matematiksel model LINGO yazılımı ile çözülmüştür.

### 3.2. Metod

Çalışmada öncelikle problemin tanımı yapılmış ve daha sonra 2018 yılı içinde çalışmada dikkate alınan ürünün üretimine ait veriler tutulmuştur. Daha sonra tutulan veriler ile regresyon analizi yapılarak üretim parametrelerinin hangi çıktılar üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Regresyon analizi sonuçlarına dayanarak tek amaçlı matematiksel modeller kurularak çözülmüştür. Daha sonra bu çıktılarına göre çok amaçlı matematiksel model kurulmuş ve öncelikli hedef programlama ile çözülmüştür.

#### 3.2.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi iki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, değişkenlerden birisi belirli bir birim değiştiğinde diğerinin nasıl bir değişim gösterdiğini inceleyen istatistiksel yöntemdir (Köse, 2008). İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemede kullanılan bir analizdir.

Tahmin değişkeni olarak bir değişken kullanıldı ise basit regresyon, tahmin değişkenleri olarak iki veya daha fazla değişken kullanıldı ise çoklu regresyon analizinden söz etmek mümkündür (Gültekin, 2013). İçinde birden fazla bağımsız değişken ile bir adet bağımlı değişkenler içeren regresyon modelleri çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır.

Basit doğrusal regresyon modeli  $y = \beta_0 + \beta_1x + e$  olarak, çoklu doğrusal regresyon modeli  $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \dots + \beta_nx_n + e$  olarak gösterilir.

$y$  = Bağımlı değişken

$x_i$  = Bağımsız değişkenler

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$\beta_i$  = Tahmin edilecek parametreler

$e$  = Hata terimi

Çoklu regresyon modelinin varsayımları aşağıda verilmiştir. (SABIS).

- ✓ Normallik dağılımı
- ✓ Doğrusallık
- ✓ Hata terimlerinin ortalaması 0'dır
- ✓ Sabit varyans
- ✓ Otokorelasyon olmaması
- ✓ Bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantının olmaması

### 3.2.2. Matematiksel Programlama

Günümüzde bilim insanları gerçekleri matematiksel yöntemlerle ifade etmek isterler. Gerçekleri matematiksel yöntemlerle ifade etme düşünce ve işlem şekline matematiksel modelleme denir (Tutak ve Güder, 2014).

Optimizasyon modelleri doğrusal, doğrusal olmayan programlama, tamsayı, gerçek değerli programlama, stokastik, deterministik programlama, tek ve çok amaçlı programlama şeklinde sınıflara ayrılabilir. (Dağsuyu, 2017).

### 3.2.3. Hedef Programlama

Hedef programlamanın temeli doğrusal programlamaya dayanır. Hedef programlamada karar vericiden, her bir amaç için ulaşılmasını arzu ettiği bir hedef değer belirlemesi istenir. Daha sonra, tercih edilen çözüm bu hedef değerlerden sapmaları minimum kılan çözüm olarak belirlenir (Evren ve Ülengin, 1992).

Hedef programlama ile birden çok amacı aynı anda sağlayan optimum çözümlere ulaşılabilir. Hedef programlama modelinin çözümü ile problem çözümünden bir maksimum ya da minimum sonuç elde edilmez. Bu teknik ile amaçlar ile belirlenen amaçlardan sapmalar minimize edilmeye çalışılır. Çözümde bir amaç sağlanmaya çalışılırken diğer amaçtan uzaklaşabilecektir. Hedef programlama birbirine zıt amaçları bir arada değerlendirmeye imkan sağlar. Hedef programlama sadece amaçların özelliklerini değil aynı zamanda bunların kıyaslamasını ve hedef değerlerini de belirler (Alp, 2008).

Hedef programlamanın yapısını aşağıdaki unsurlar oluşturur.

- ✓ **Amaçlar :** Problem sahiplerinin beklentilerinin genel ifadesidir.
- ✓ **Hedefler:** Amaçların daha da netleştirilerek rakamlara dönüşmüş halidir.
- ✓ **Karar Değişkenleri:** Problem sahibi tarafından değeri bilinmek istenen bilinmeyen değişkenlerdir.
- ✓ **Sapma Değişkenleri:** Hedeflenen değer ile gerçekleşen arasındaki farkın adıdır. Negatif ve pozitif sapma diye iki farklı adlandırma yapılır.
- ✓ **Sistem Kısıtları:** Problemin incelendiği sistemin doğası gereği olan kısıtları ifade eder.
- ✓ **Hedef Kısıtları:** Problem sahibinin ulaşmak istediği hedeflerin kısıtlarını gösterir.
- ✓ **Başarı Fonksiyonları:** Hedeften olabilecek sapmaları minimize eden fonksiyonlardır.
- ✓ **Amaç Fonksiyonu:** Başarı fonksiyonu ile birden fazla amaç öncelik ve ağırlıklandırılarak tek amaca düşürülür. Buna göre amaç hedeften olumsuz sapmaları minimize etmektir.

### 3.2.4. Hedef Programlama Türleri

Hedef programlama özelliklerine ve varsayımlarına göre aşağıdaki şekilde dört ana başlıkta sınıflandırılabilir (Alp, 2008).

#### 3.2.4.1. Amaç Fonksiyonlarının Öncelik Seviyelerine Göre Hedef Programlama Türleri

- ✓ **Doğrusal Hedef Programlama:** Sistem, amaç fonksiyonu ve kısıtların doğrusal olduğu programlardır.
- ✓ **Doğrusal Olmayan Hedef Programlama:** Doğrusal programlamadaki 3 unsurdan birinin doğrusal olmadığı hedef programlama türüdür.

#### 3.2.4.2. Karar Değişkenlerinin Alabilecekleri Değerlere Göre Hedef Programlama

- ✓ **Sürekli Hedef Programlama:** İlgili modeldeki tüm değişkenlerin süreklilik gösterdiği hedef programlardır.
- ✓ **Tamsayılı Hedef Programlama:** Karar değişkenlerinden en az bir tanesinin tamsayı olması istenen programlardır.
- ✓ **0-1 Hedef Programlama:** Çalışma sonunda yalnızca iki alternatifin olduğu hedef programlama türleridir.

#### 3.2.4.3. Katsayı Özelliklerine Göre Hedef Programlama

- ✓ **Deterministik Hedef Programlama:** Değişken ve sabitlerin katsayılarının net olarak bilindiği program türleridir.
- ✓ **Stokastik Hedef Programlama:** Yeni bir çalışma metolojisi olup üzerinde çalışmalar devam etmektedir.
- ✓ **Bulanık Hedef Programlama:** Çalışmayı yapan problemdeki bazı verileri tam olarak ifade edemez. İfade edemediği dataları da yok ya da sabit sayıya göre hareket etmek yerine bulanık matematiksel yöntemlerle çözüm arar.

#### 3.2.4.4. Hedeflerin Niteliklerine Göre Hedef Programlama

- ✓ **Tek Hedefli Hedef Programlama:** En basit hedef programlama türü olup çalışmayı yapan sadece bir hedefe odaklanır.
- ✓ **Önceliksiz Hedef Programlama:** Birden çok hedef olup bunların hepsi aynı öneme sahiptir. Hedefler arasında farklı öncelik yada ağırlık yoktur.
- ✓ **Ağırlıklı Hedef Programlama:** Bu programlama özellikle sapma değişkenlerinin ölçü birimlerinin birbirinden farklı olduğu durumlarda gündeme gelir. Çalışmayı yapan kişi hedefleri önem düzeyine göre ağırlıklandırır.
- ✓ **Öncelikli Hedef Programlama:** Çalışmayı yapan kişi hedefleri hiyerarşik bir düzende önem düzeyine göre sınıflandırır ve daha sonra buna göre çözüme ulaşmaya çalışır. Birinci hedefi gerçekleştirmeden diğer hedefe ulaşmak önemli değildir.
- ✓ **Ağırlıklı & Öncelikli Hedef Programlama:** Çok hedefli programlamada hedefler arasında öncelik tayin edilerek sırayla hedefler gerçekleştirilmeye çalışılır. Bu tarz durumlarda bazen sapma değişkenleri bazen aynı öneme sahip olabilir. Bu gibi durumlarda ağırlıklandırma yapılarak çözüme gidilir.

#### 3.2.5. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama, iyi tanımlanmış doğrusal eşitliklerin veya eşitsizliklerin kısıtlayıcı koşulları altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu en iyi yapan değişken değerlerinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel programlama yöntemidir (URL-1, 2019). Doğrusal model doğrusal kısıtlar altında doğrusal fonksiyonun sonucunu maksimum ya da minimum yapar.

Bir problemin doğrusal programlama modeli yaklaşımına sahip olması için aşağıdaki nitelikleri taşıması gerekir.

- ✓ Toplanabilirlik
- ✓ Oranlık
- ✓ Bölünebilirlik
- ✓ Belirlilik

Bir doğrusal programlamanın oluşturulma aşamaları aşağıdaki gibidir.

- ✓ **Karar değişkenlerinin belirlenmesi:** Doğrusal programlama oluşturulurken öncelikle karar değişkenlerinin tamamının açık olarak belirlenmesi gerekir.
- ✓ **Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi:** Karar değişkenlerinin maksimizasyonu veya minimizasyonu demektir.
- ✓ **Kısıtların Belirlenmesi:** İşletmelerde sınırsız kaynak olanağı yoktur. Dolayısıyla her problemin çözümünde mutlaka bu kısıtlar dikkate alınmalıdır.
- ✓ **İşaret Kısıtlaması:** Değişkenlerin pozitifliği ve negatifliğinin tanımlandığı kısıtlamalardır.

Bu çalışmada iki değişik amaç fonksiyonu dikkate alınarak hedef programlama yapılmıştır. Çalışmada tek amaçlı modelleme yapılmış daha sonra hedef programlamada birden fazla amaç dikkate alınarak optimum çözümlere ulaşılmıştır. Çalışmada model oluştururken gözetilen varsayımlar aşağıdadır.

### 3.2.6. Çalışmada Oluşturulan Matematiksel Model

#### 3.2.6.1. Varsayımlar

Kurulan matematiksel model için dikkate alınan varsayımlar aşağıdadır.

1. Aynı MDF ürününün üretimleri takip edilmiş ve o ürünün verileri kullanılmıştır.

2. Kalite testleri yapılırken ortam şartları sabit kabul edilmiştir.
3. Kalite test sonuçları bir partideki tüm ürünler için geçerli sayılmıştır.
4. Üretim hattı sürekli bir proses olup prosesin durmadığı kabul edilmiştir.
5. Sıcaklık kızgın yağ ile sağlanmakta olup üretim esnasında yeterli yağın olduğu kabul edilmiştir.
6. Stok sahasından alınan ağaç rutubetleri sabit kabul edilmiştir.
7. Buhar üretiminin sürekli ve istenen miktarda olduğu dikkate alınmıştır.
8. Belirlenen ürün için gerekli tutkal türünün stokta yeterli miktarda olduğu düşünülmüştür.

### 3.2.6.2. Notasyon

Çalışmada kurulan modelde kullanılan notasyonlar aşağıdaki gibidir.

$Z_{\text{çekme}}$  : Çekme fonksiyonu

$Z_{\text{vidatutma}}$  : Vida tutma fonksiyonu

WT : Su alma

V : Üretimlerde kullanılan buhar miktarı.(t/h)

$V_l$ : Üretimde kullanılacak en düşük buhar miktarı (t/h)

$V_u$ : Üretimde kullanılacak en yüksek buhar miktarı (t/h)

G: Üretimlerde kullanılan tutkal miktarı. (kg/m<sup>3</sup>)(Katı)

$G_l$ : Üretimlerde kullanılacak en düşük tutkal miktarı. (kg/m<sup>3</sup>)(Katı)

$G_u$ : Üretimlerde kullanılacak en yüksek tutkal miktarı. (kg/m<sup>3</sup>)(Katı)

M : Üretimlerde kullanılan serme lif rutubeti (%)

$M_l$  : Üretimlerde kullanılacak en düşük serme lif rutubeti (%)

$M_u$ : Üretimlerde kullanılacak en yüksek serme lif rutubeti (%)

S : Üretimlerde kullanılan pres hız değeri (mm/dk)

$S_l$ : Üretimlerde kullanılacak en düşük pres hız değeri (mm/dk)

$S_u$ : Üretimlerde kullanılacak en yüksek pres hız değeri (mm/dk)

$T_1$ : Üretimlerde kullanılan pres ısıtma plakaları 1. bölge sıcaklığı (°C)

- $T_{1_l}$ : Pres ısıtma plakaları 1. bölge sıcaklığı için alt limit değeri (°C)  
 $T_{1_u}$ : Pres ısıtma plakaları 1. bölge sıcaklığı için üst limit değeri (°C)  
 $T_2$ : Üretimlerde kullanılan pres ısıtma plakaları 2. bölge sıcaklığı (°C)  
 $T_{2_l}$ : Pres ısıtma plakaları 2. bölge sıcaklığı için alt limit değeri (°C)  
 $T_{2_u}$ : Pres ısıtma plakaları 2. bölge sıcaklığı için üst limit değeri (°C)  
 $T_3$ : Üretimlerde kullanılan pres ısıtma plakaları 3. bölge sıcaklığı (°C)  
 $T_{3_l}$ : Pres ısıtma plakaları 3. bölge sıcaklığı için alt limit değeri (°C)  
 $T_{3_u}$ : Pres ısıtma plakaları 3. bölge sıcaklığı için üst limit değeri (°C)  
 $T_4$ : Üretimlerde kullanılan pres ısıtma plakaları 4. bölge sıcaklığı (°C)  
 $T_{4_l}$ : Pres ısıtma plakaları 4. bölge sıcaklığı için alt limit değeri (°C)  
 $T_{4_u}$ : Pres ısıtma plakaları 4. bölge sıcaklığı için üst limit değeri (°C)  
 $T_5$ : Üretimlerde kullanılan pres ısıtma plakaları 5. bölge sıcaklığı (°C)  
 $T_{5_l}$ : Pres ısıtma plakaları 5. bölge sıcaklığı için alt limit değeri (°C)  
 $T_{5_u}$ : Pres ısıtma plakaları 5. bölge sıcaklığı için üst limit değeri (°C)  
 $T_6$ : Üretimlerde kullanılan pres ısıtma plakaları 6. bölge sıcaklığı (°C)  
 $T_{6_l}$ : Pres ısıtma plakaları 6. bölge sıcaklığı için alt limit değeri (°C)  
 $T_{6_u}$ : Pres ısıtma plakaları 6. bölge sıcaklığı için üst limit değeri (°C)  
 $HP$ : Üretimlerde kullanılan yüksek basınç değeri (Meganewton)  
 $HP_l$ : Yüksek basınç için alt limit değeridir (Meganewton)  
 $HP_u$ : Yüksek basınç için üst limit değeri (Meganewton)  
 $MP$ : Üretimlerde kullanılan orta basınç değeri (Meganewton)  
 $MP_l$ : Orta basınç için alt limit değeri (Meganewton)  
 $MP_u$ : Orta basınç için üst limit değeri (Meganewton)  
 $LP$ : Üretimlerde kullanılan düşük basınç değeri (Meganewton)  
 $LP_l$ : Düşük basınç için alt limit değeri (Meganewton)  
 $LP_u$ : Düşük basınç için üst limit değeri (Meganewton)  
 $Opt\_Cek$ : Hesaplanan optimum çekme değeri

Opt\_Vida : Hesaplanan optimum vida tutma değeri

$S_1^+$  : Optimum çekme değerinden pozitif sapma miktarı

$S_1^-$  : Optimum çekme değerinden negatif sapma miktarı

$S_2^+$  : Optimum vida tutma değerinden pozitif sapma miktarı

$S_2^-$  : Optimum vida tutma değerinden negatif sapma miktarı

$Opt_{S_1^-}$  : Çekme değerinden negatif sapan miktarın optimum değeri

$Opt_{S_2^-}$  : Vida tutma değerinden negatif sapan miktarın optimum değeri

$R_s$  : Pres hızının değişim katsayısı

$R_{t_i}$  : i. Bölge sıcaklık katsayısı  $i=1,2,3$

$R_m$  : Serme lif rutubeti katsayısı

$ideal_{çekme}$  = ideal çekme değeri

$ideal_{vidatutma}$  = ideal vidatutma değeri

$ideal_{sualma}$  = ideal çekme değeri

### 3.2.6.3. Tek Amaçlı Matematiksel Modeller

Bu çalışmada ilgili MDF işletme yönetimi beklentisi doğrultusunda çekme ve vida tutma maksimizasyonu olmak üzere iki farklı amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır.

**Amaç Fonksiyonu 1 : Çekme Maksimizasyonu :** Üretilen MDF nin kullanım sırasında deforme olmaması için çekme değerinin yüksek olması istenir. Çekme değeri maksimizasyonuna ait formülasyon eşitlik 3.1.'de verilmiştir.

$$\text{Max Çekme} = f(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \quad (3.1.)$$

Matematiksel modellerde amaç fonksiyonu kurulurken belli bazı kısıtlar dikkate alınır. Zira işletmeler sınırsız kaynaklara sahip değil ve kullanılan ekipmanların işlemleri yapabilme kabiliyetlerinin sınırları vardır.

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinin geçmiş verilerine göre buhar miktarı için kısıt 3.2.'deki eşitlikte verilmiştir. Buhar miktarı enerji üretim tesisinin

kapasitesi makinenin teknik özellikleri gereği bu değerler arasındadır. Minimum değer in altında olursa veya maksimum değer in üstü makinenin çalışmasını durdurabilir.

$$V_l \leq V \leq V_u \quad (3.2.)$$

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinin geçmiş verilerine göre tutkal miktarı için kısıt 3.3.'deki eşitlikte verilmiştir. Maksimum miktarın üstü maliyet ve kalite anlamında olumsuz etkiler. Minimum değer in altı ise levhanın oluşumunu sağlamaz. Zira tutkal reaksiyon ile liflerin birbirine yapışmasını sağlayan en önemli unsurlardandır.

$$G_l \leq G \leq G_u \quad (3.3.)$$

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinin geçmiş verilerine göre serme lif rutubeti için kısıt 3.4.'deki eşitlikte verilmiştir. Serme lif rutubeti makinenin teknik özellikleri gereği belirtilen değerler arasında seyrederek.

$$M_l \leq M \leq M_u \quad (3.4.)$$

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinde kullanılan pres makinesinin teknik özelliklerine göre pres hız değeri için kısıt 3.5.'deki eşitlikte verilmiştir. Makinenin özelliğinden geliyor olup bu değerlerin altı veya üstünde çalışılması makineye zarar verir.

$$S_l \leq S \leq S_u \quad (3.5.)$$

Sıcaklık üretim parametresi çıktı parametreleri üzerinde etkilidir. Sıcaklık üretim parametresinin değeri sıcaklık plakaları bazında kısıt olarak (3.6)-(3.11)

eşitliklerinde verilmiştir. Bu değerler makinenin özelliklerinden gelmekte olup minimum değerlerin altında veya maksimum değerlerin üstünde olmamalıdır.

$$T_{1l} \leq T_1 \leq T_{1u} \quad (3.6.)$$

$$T_{2l} \leq T_2 \leq T_{2u} \quad (3.7.)$$

$$T_{3l} \leq T_3 \leq T_{3u} \quad (3.8.)$$

$$T_{4l} \leq T_4 \leq T_{4u} \quad (3.9.)$$

$$T_{5l} \leq T_5 \leq T_{5u} \quad (3.10.)$$

$$T_{6l} \leq T_6 \leq T_{6u} \quad (3.11.)$$

Basınç üretim parametresi çıktı parametreleri üzerinde etkilidir. Basınç üretim parametresinin değeri basınç düzeyi bazında kısıt olarak (3.12)-(3.14) eşitliklerinde verilmiştir. Basınç minimum ve maksimum değerleri makinenin teknik özelliklerinden gelmekte olup minimum değerlerin altında ve maksimum değerlerin üstünde olamaz.

$$HP_1 \leq HP \leq HP_u \quad (3.12.)$$

$$MP_1 \leq MP \leq MP_u \quad (3.13.)$$

$$LP_1 \leq LP \leq LP_u \quad (3.14.)$$

Pres hızı ile ısıtma plakaları 1. 2. Ve 3. Bölge sıcaklıkları arasındaki ilişki kısıt olarak 3.15'te gösterilmiştir. Bu kısıtlar makinenin teknik özellikleri ve uzman görüşleri ile belirlenmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } T_i &= (T_1 T_2 T_3) R_{t_i}; S = S R_s \\ \text{aksi halde } T_i &= (T_1 T_2 T_3) \text{ ve } S = S \end{aligned} \quad (3.15.)$$

Pres hızı ile serme lif rutubeti arasındaki ilişki kısıt olarak 3.16.'da gösterilmiştir. Bu kısıt uzman kişiler tarafından iletilip makinenin teknik özelliklerinden gelmektedir.

$$\text{Eğer } M = MR_m ; S = S R_s$$

$$\text{Aksi halde } M = M \text{ ve } S = S \quad (3.16.)$$

Üretimlerde kullanılan üretim parametrelerinin gerek makine özellikleri nedeniyle ve gerekse şu ana kadar ki tecrübelerle göre negatif olmama kısıtı 3.17. eşitliğinde verilmiştir.

$$V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP \geq 0 \quad (3.17.)$$

Çıktı değişkenleri için firmanın ve standartların Türk Standartları Enstitüsü (TSE) belirlediği aralıklar dikkate alınmıştır. Firmanın standartları genel olarak TSE standartlarından daha üst seviyededir.

$$f(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \geq \text{ideal}_{\text{çekme}} \quad (3.18.)$$

$$g(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \geq \text{ideal}_{\text{vidatutma}} \quad (3.19.)$$

$$h(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \leq \text{ideal}_{\text{sualma}} \quad (3.20.)$$

Eşitlik 3.1 amaç fonksiyonu, eşitlik (3.2)-(3.20) kısıtları dikkate alınarak modellenmekte ve üretilen levhaların çekme özelliğinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır.

**Amaç Fonksiyonu 2 : Vida Tutma Maksimizasyonu :** MDF ürünleri son kullanıcı aşamasında birbirine monte edildiği için vida tutma özelliğinin çok iyi olması beklenir. Vida tutma değeri maksimizasyonuna ait formülasyon eşitlik 3.21.'de verilmiştir.

$$\text{Max VidaTutma} = g(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \quad (3.21.)$$

Eşitlik 3.21 amaç fonksiyonu, eşitlik (3.2)-(3.20) kısıtları dikkate alınarak modellenmekte ve üretilen levhaların vida tutma özelliğini maksimize etmektedir.

#### 3.2.6.4. Çok Amaçlı Matematiksel Modeller

Problemlerin karmaşıklaştığı günümüzde bazı problemleri çözmek için birden fazla amacı aynı anda çözmek gerekebilir. Bir amacı maksimize etmek isterken başka bir amacı minimize etmek gerekebilir. Bazı durumlarda amaçlar birbiri ile çelişir dolayısıyla bu problemlerin zorluk derecesi arttığı için çözmek te zorlaşır.

Bu çalışmada iki farklı amaç fonksiyonu dikkate alınarak önceliklendirmesiz hedef programlama kullanılarak optimum çözümler elde edilmiştir.

##### Önceliklendirmesiz Hedef Programlama

Bu çalışmada dikkate alınan tek amaçlı modeller ile MDF levhannın üretiminde kullanılan üretim parametrelerinin optimum değerleri belirlenmektedir. Çekme maksimizasyonu ve vida tutma maksimizasyonu olmak üzere 2 farklı amaç fonksiyonunun ikili kombinasyonu için önceliklendirmesiz hedef programlama modeli oluşturulmaktadır. Bu yöntemde her iki amaçta aynı önem düzeyine sahiptir.

##### Çekme ve Vida Tutmayı maksimum yapan üretim parametrelerinin belirlenmesi

Hedef programlama modelinde çekme maksimizasyonu ve vida tutma maksimizasyonunun aynı anda dikkate alınması durumunda eşitlik (3.1.) ile tek amaçlı çekme maksimizasyonu modelinden ve eşitlik (3.21.) ile tek amaçlı vida tutma maksimizasyonu modelinden elde edilen optimum çekme ve optimum vida tutma değerlerinden negatif sapma miktarlarının minimizasyonu amaçlanmaktadır. Çekme ve vida tutma maksimizasyonunun aynı anda amaçlandığı

önceliklendirmesiz hedef programlama modelinde amaç fonksiyonu negatif sapmaların minimizasyonu olarak eşitlik (3.22.) ile tanımlanmıştır. Tek amaçlı modelde yer alan kısıtlara ek olarak eşitlik (3.23.) – (3.25) modele eklenerek aynı anda çekme ve vida tutmayı maksimize eden etkili çözümler bulunabilir.

$$\text{Minz } S_1^- + S_2^- \quad (3.22.)$$

$$f(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) + S_1^+ - S_1^- = \text{Opt\_Cek} \quad (3.23.)$$

$$g(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) + S_2^+ - S_2^- = \text{Opt\_Vida} \quad (3.24.)$$

$$S_1^- \text{Opt\_Vida} = S_2^- \text{Opt\_Cek} \quad (3.25.)$$

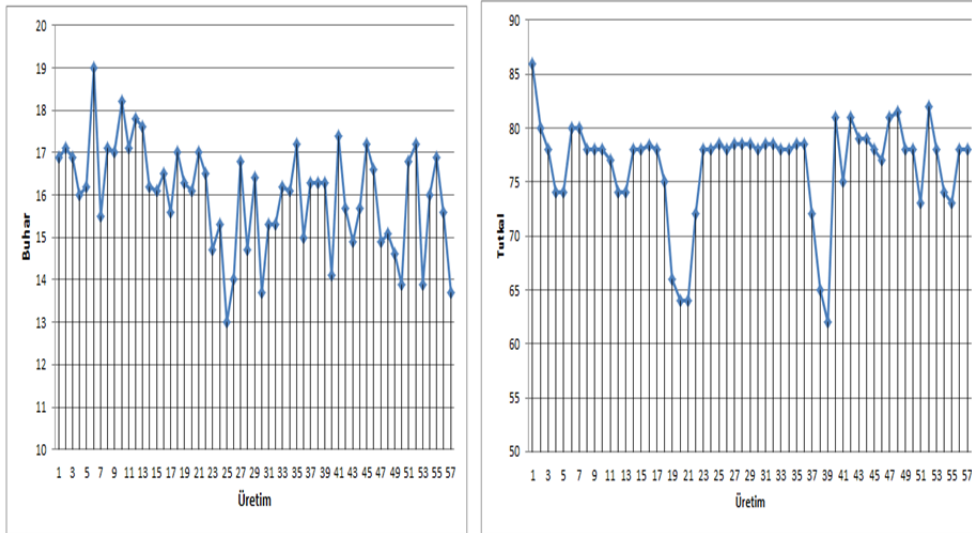
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma ile ağaç bazlı panel sektörünün global oyuncularından olan Adana daki bir firmadan alınan gerçek verilerle MDF üretiminde firmanın ve standartların beklediği kalite spektlerine ulaşmak için optimum üretim parametreleri belirlenmiştir.

##### 4.1. Veri Analizi

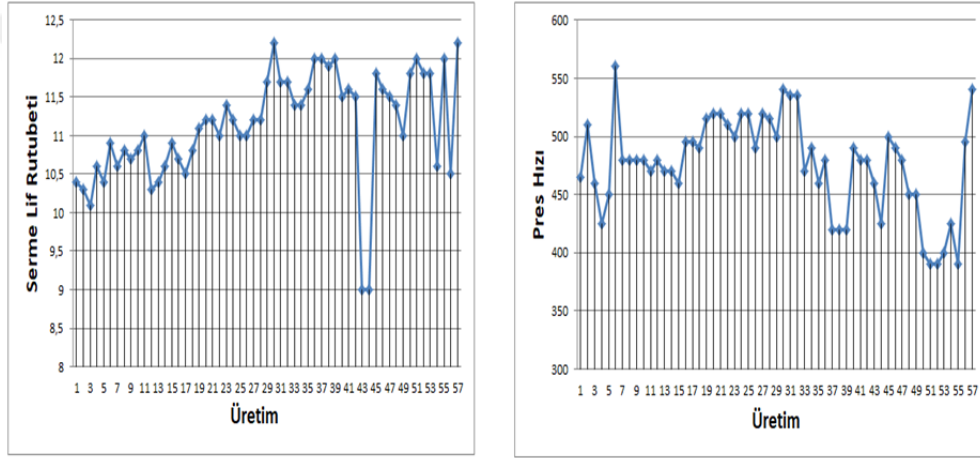
Ağaç bazlı panel sektörünün dünyadaki önemli şirketlerinden olan bir firmanın Adana daki MDF tesisleri üretim verilerinden alınan üretim parametre değerlerinin maksimum ve minumum değerleri Çizelge 3.1. de verilmiştir. Verilerin maksimum minumum değerleri arasındaki değişimin analiz edilmesiyle oluşturulan grafikler Şekil (4.1) – (4.7) gösterilmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.1. de MDF üretiminde kullanılan Buhar ve Tutkal değerleri verilmiştir. Buhar parametresinin 14-16 t/h arasında sık olduğu, tutkal parametresinin ise 75-80 Kg/m<sup>3</sup> arasında yoğunlaştığı görülmektedir.



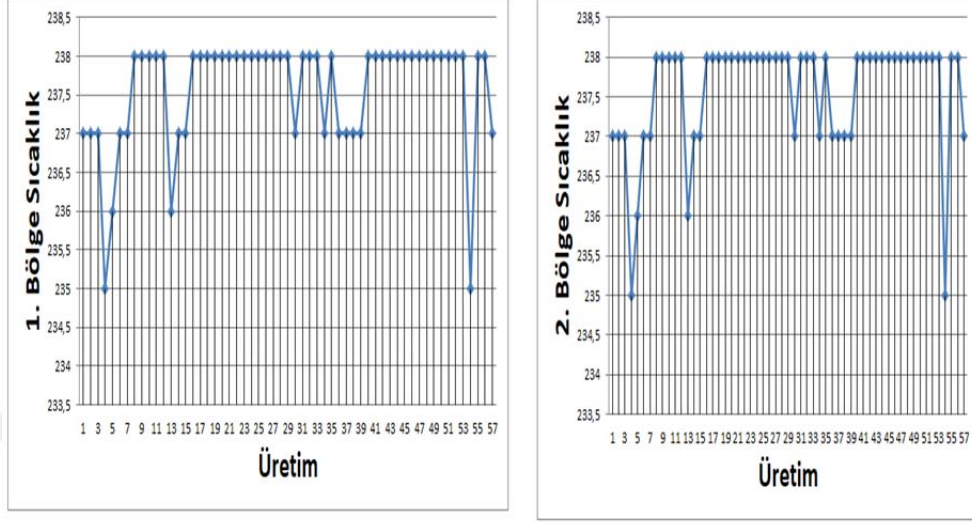
Şekil 4.1. MDF Panel Üretiminde Kullanılan Buhar ve Tutkal Değerleri

Aşağıdaki Şekil 4.2. de MDF üretiminde kullanılan Serme Lif Rutubeti ve Pres Hızı üretim parametrelerinin değerleri verilmiştir. Serme Lif rutubetinin % 10- % 12 arasında yoğunlaştığı görülmüştür. % 9 un altında da sapan değerler mevcuttur. Pres hızı parametresinin ise 450-550 mm/dk arasında yoğunlaştığı görülmektedir. 400 mm/dk nın altındaki değerler üretim kapasitesini çok olumsuz etkiler. Kaliteyi bozmadan birim zamanda olabildiğince fazla üretim yapılması beklenir.



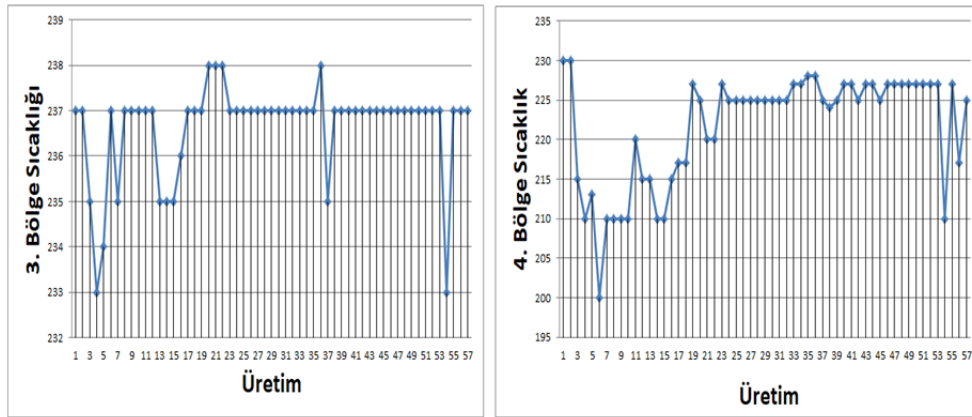
Şekil 4.2. MDF Panel Üretiminde Kullanılan Serme Lif Rutubeti ve Pres Hızı Değerleri

Aşağıdaki Şekil 4.3. de MDF üretimi sırasındaki 1. Ve 2. Bölge plakalarının sıcaklık değerleri verilmiştir. 1. Ve 2. Bölge sıcaklık plakalarının 238 santigrat derece de yoğunlaştığı görülmüştür. Sıcaklık değerinin 235 derece olduğu üretimlerde gözlemlenmiştir.



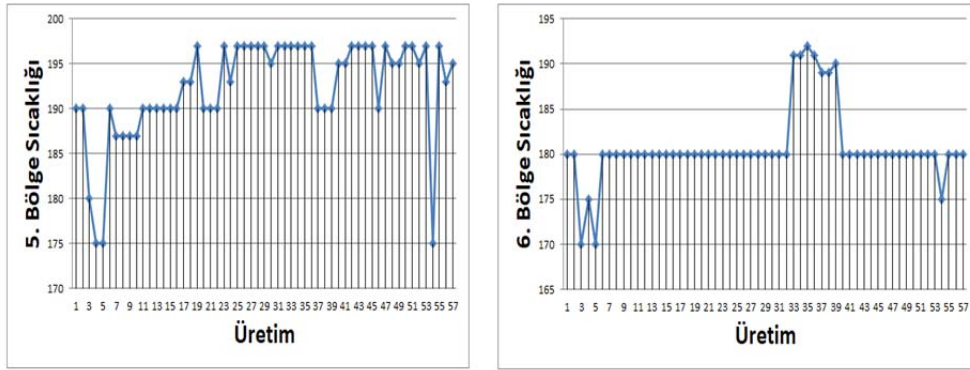
Şekil 4.3. MDF Panel Üretimi Esnasındaki 1. Ve 2. Bölge Sıcaklıkları Değerleri

Aşağıdaki Şekil 4.4. de MDF üretimi sırasındaki 3. Ve 4. Bölge plakalarının sıcaklık değerleri verilmiştir. 3. Bölge sıcaklık plakalarının 237 santigrat derece de yoğunlaştığı görülmüştür. 4. Bölge sıcaklık plakalarının ise 225-230 santigrat derece aralıklarında yoğunlaştığı görülmüştür.



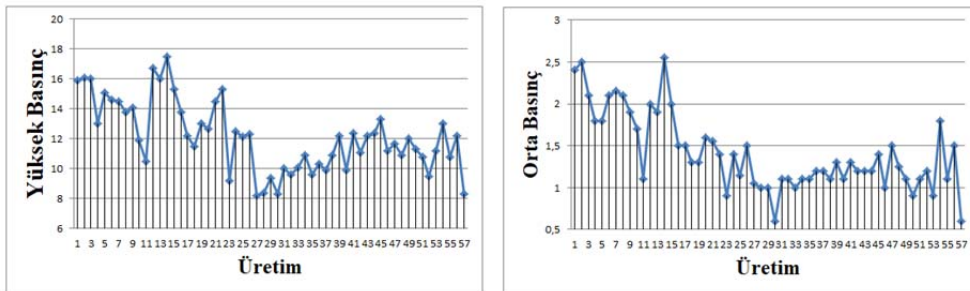
Şekil 4.4. MDF Panel Üretimi Esnasındaki 3. Ve 4. Bölge Sıcaklıkları Değerleri

Aşağıdaki Şekil 4.5. de MDF üretimi sırasındaki 5. Ve 6. Bölge plakalarının sıcaklık değerleri verilmiştir. 5. Bölge sıcaklık plakalarının 190-200 santigrat derece arasında yoğunlaştığı görülmüştür. 6. Bölge sıcaklık plakalarının ise 180 santigrat derecede yoğunlaştığı görülmüştür. Kazan da yaşanan olumsuz bir durumda sıcaklığın düşmesi ile kalitenin düştüğü bir müddet sonra ise üretimin durmasına kadar giden süreçlerin yaşanması olasıdır.



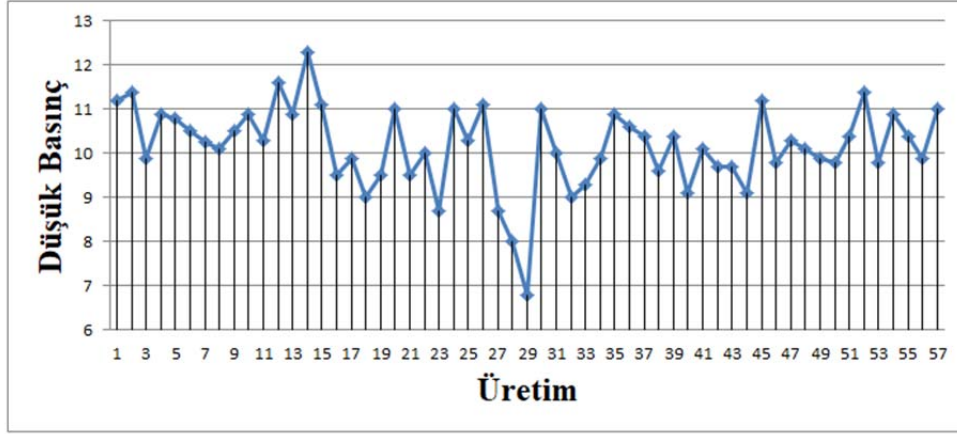
Şekil 4.5. MDF Panel Üretimi Esnasındaki 5. Ve 6. Bölge Sıcaklıkları Değerleri

Aşağıdaki Şekil 4.6. da MDF üretimi sırasındaki Yüksek Basınç ve Orta Basınç değerleri verilmiştir. Yüksek Basınç parametresinin 8-14 meganewton arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Orta Basınç parametresinin 1-2 meganewton arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Basınç değerlerinin çok dalgalanması istenmez.



Şekil 4.6. MDF Panel Üretimi Esnasındaki Yüksek ve Orta Basınç Değerleri

Şekil 4.7.'de MDF üretimi sırasındaki Düşük Basınç değerleri verilmiştir. Düşük Basınç parametresinin 9-12 meganewton arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Basınç değerlerinin değişkenliği malzemenin mukavemetini olumsuz etkiler.



Şekil 4.7. MDF Panel Üretimi Esnasındaki Düşük Basınç Değerleri

Tesiste üretim esnasındaki parametre değerleri her üretim için ayrı ayrı tutulmuş ve veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan tüm üretim parametrelerinin Çekme, Vida Tutma ve Su Alma kalite çıktı değerleri üzerindeki etkileri SPSS programında regresyon analizi yapılarak tespit edilmiştir. Çalışmada ilgili ürüne ait 2018 yılında yapılan 1 yıllık üretimlerden alınan veriler kullanılmıştır.

#### 4.1.1. Üretim Parametrelerinin Çekme Mukavemetine Etkisi

Çalışmada Buhar, Tutkal, Serme Lif Rutubeti, Prez Hızı, Pres Isıtma Plakaları Bölge Sıcaklıkları ve Basınç gibi değişken üretim parametrelerinin bağımlı değişken konumundaki Çekme değeri ile ne derece ilişkili olduğu R kare değerine bakılarak değerlendirilebilir. SPSS teki analiz sonucunda çekme mukavemetindeki değişimin %90,2 lik kısmı bahse konu üretim parametrelerindeki değişimler tarafından açıklanabilmektedir. Bunun anlamı bağımlı değişkendeki

yani üretim parametrelerindeki değişimin % 90,2 si modele giren çekme tarafından açıklanmaktadır.

Çizelge 4.1. Çekme Mukavemetine Ait Regresyon Modeli Özet Tablosu

Model	R	$R^2$	Düzeltilmiş $R^2$	Standart Tahmin Hatası
1	,950	,902	,869	,02424

Doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen R kare değeri modelin kullanılabilirliği için gerekli düzeydedir. Modelin kabul edilebilirliği için varyans analizinin de yapılması önemlidir. Eğer F değeri anlamlı olarak değerlendirilirse elde edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılır. Sig değeri 0,05 ten küçük ise F değeri anlamlıdır şeklinde değerlendirilir. Çizelge 4.1. da anlamlılık düzeyi değeri 0,05 ten küçük olup model anlamlıdır.

Çizelge 4.2. Çekme Mukavemeti Varyans Analizi Tablosu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi
Regresyon	,226	14	,016	27,499	,000 <sup>a</sup>
Hata (Artık)	,025	42	,001		
Toplam	,251	56			

Optimum üretim parametre değerlerinin belirlenebilmesi için katsayılar çizelgesinin değerlendirilmesi gerekir. Coefficient (Katsayı) denklemin anlamlılık seviyesini gösterip regresyon katsayılarını belirtmektedir. Çizelge 4.3 te görüleceği üzere üretim parametreleri ile çekme değeri arasında anlamlı bir ilişki vardır. Yüksek basınç ve ikinci bölge sıcaklıkları presin teknik özellikleri gereği etki notasında zayıftır.

Çizelge 4.3. Çekme Mukavemeti Katsayılar Tablosu

Model	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Anlamlılık Düzeyi
	B	Standart Hata	Beta		
1 (Sabit)	,300	1,675		,179	,859
Buhar Miktarı	,008	,004	,144	2,143	,038
Tutkal Miktarı	,003	,001	,238	3,661	,001
Sermelifrutubeti	,022	,007	,230	3,247	,002
Pres hızı	-,001	,000	-,400	-6,631	,000
Birincibölge Sıcaklığı	-,016	,004	-,489	-4,162	,000
İkincibölge Sıcaklığı	-,002	,010	-,018	-,165	,870
Üçüncübölge Sıcaklığı	,022	,007	,350	2,995	,005
Dördüncübölge Sıcaklığı	-,004	,001	-,421	-4,756	,000
Beşincibölge Sıcaklığı	-1,155	,001	-,001	-,009	,993
Altıncübölge Sıcaklığı	-,003	,001	-,217	-3,021	,004
Yüksek Basınç	-,007	,009	-,236	-,737	,465
Orta Basınç	,047	,022	,321	2,176	,035
Düşük Basınç	,021	,010	,294	2,047	,047

Üretim parametrelerinin alabileceği değerler çizelge 4.3. teki verileri kullanarak elde edilen eşitlik (4.1.) formül kullanılarak bulunabilir.

$$Z_{\text{çekme}} = 0.008V + 0.003G + 0.022M - 0.001S - 0.016T_1 + 0.022T_3 - 0.004T_4 - 0.003T_6 + 0.047MP + 0.021LP \quad (4.1.)$$

#### 4.1.2. Üretim Parametrelerinin Su Alma Üzerine Etkisi

Su almanın buhar, tutkal, serme lif rutubeti, pres hızı, ikinci bölge, üçüncü bölge, dördüncü bölge, beşinci bölge ile altıncı bölge plaka sıcaklıkları ve düşük basınç üretim parametrelerine bağlı regresyon modeli SPSS te elde edilmiştir.

Seçilen ürünün 2018 yılı boyunca bir yıllık 57 üretimine ait verilerin SPSS teki analizi sonucunda Su Alma daki değişimin %90,1 lik kısmı bahse konu üretim parametrelerindeki değişimler tarafından açıklanabilmektedir.

Çizelge 4.4. Su Almaya Ait Regresyon Modeli Özet Tablosu

Model	R	$R^2$	Düzeltilmiş $R^2$	Standart Tahmin Hatası
1	,949	,901	,868	1,81707

Su Almaya ait varyans analizi tablosunda anlamlılık düzeyi değeri 0,05 ten küçük olup F değeri anlamlıdır. Dolayısıyla modelde anlamlıdır.

Çizelge 4.5. Su Alma Varyans Analizi Tablosu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi
Regresyon	1263,653	14	90,261	27,337	,000a
Hata (Artık)	138,673	42	3,302		
Toplam	1402,326	56			

Optimum üretim parametre değerlerinin belirlenebilmesi için katsayılar çizelgesinin değerlendirilmesi gerekir. Coefficient (Katsayı) denklemin anlamlılık seviyesini gösterip regresyon katsayılarını belirtmektedir. Çizelge 4.6 te görüleceği üzere üretim parametreleri ile su alma değeri arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Çizelge 4.6. Su Alma Katsayılar Tablosu

Model		Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Anlamlılık Düzeyi
		B	Standart Hata	Beta		B
1	(Sabit)	453,833	125,556		3,615	,001
	Buhar Miktarı	1,242	,272	,307	4,560	,000
	Tutkal Miktarı	-,583	,070	-,539	-8,288	,000
	Sermelifrutubeti	-3,929	,514	-,543	-7,647	,000
	Pres hızı	-,060	,007	-,491	-8,120	,000
	Birincibölge Sıcaklığı	,542	,282	,226	1,921	,062
	İkinci Bölge Sıcaklığı	-4,084	,731	-,596	-5,586	,000
	Üçüncü Bölge Sıcaklığı	2,697	,552	,572	4,886	,000
	Dördüncü Bölge Sıcaklığı	-,696	,063	-,977	-11,016	,000
	Beşinci Bölge Sıcaklığı	,957	,101	1,080	9,494	,000
	Altıncı Bölge Sıcaklığı	-,825	,086	-,692	-9,588	,000
	Yüksek Basınç	-,921	,693	-,427	-1,329	,191
	Orta Basınç	2,374	1,633	,215	1,454	,153
	Düşük Basınç	4,243	,769	,794	5,519	,000

Optimum üretim parametre değerlerinin belirlenebilmesi için katsayılar çizelgesinin değerlendirilmesi gerekir. Katsayılar tablosu denklemin anlamlılık seviyesini gösterip regresyon katsayılarını belirtmektedir. Çizelge 4.6. da görüleceği üzere üretim parametreleri ile vida tutma değeri arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Üretim parametrelerinin alabileceği değerler Çizelge 4.6. deki veriler kullanılarak elde edilen eşitlik (4.2.) deki formül kullanılarak bulunur.

$$WT=453.833+1.242V-0.583G-3.929M-0.06S-4.084T_2+2.697T_3-0.696T_4+0.957T_5-0.825T_6+4.243LP \quad (4.2.)$$

#### 4.1.3. Üretim Parametrelerinin Vida Tutma Üzerine Etkisi

Vida tutmanın buhar, tutkal, serme lif rutubeti, pres hızı, birinci bölge, ikinci bölge, üçüncü bölge, dördüncü bölge, beşinci bölge ile altıncı bölge plaka sıcaklıkları, düşük basınç ve orta basınç üretim parametrelerine bağlı regresyon modeli SPSS te elde edilmiştir.

SPSS teki analiz sonucunda vida tutma değişiminin %90,3 lik kısmı bahse konu üretim parametrelerindeki değişimler tarafından açıklanabilmektedir. Bunun anlamı bağımlı değişkendeki yani üretim parametrelerindeki değişimin % 90,3 si modele giren vida tutma tarafından açıklanmaktadır.

Çizelge 4.7. Vida Tutmaya Ait Regresyon Modeli Özet Tablosu

Model	R	$R^2$	Düzeltilmiş $R^2$	Standart Tahmin Hatası
1	,950	,903	,871	19,89018

Çizelge 4.8. Vida tutmaya Ait Varyans Analizi Tablosu

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F Hesap İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi
Regresyon	154859,918	14	11061,423	27,960	,000a
Hata (Artık)	16616,012	42	395,619		
Toplam	171475,930	56			

Vida Tutmaya ait varyans analizi tablosunda anlamlılık düzeyi değeri 0,05 ten küçük olup F değeri anlamlıdır. Dolayısıyla modelde anlamlıdır.

Çizelge 4.9. Vida Tutma Katsayılar Tablosu

Model	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t	Anlamlılık Düzeyi
	B	Standart Hata	Beta		
(Sabit)	4499,124	1374,375		3,274	,002
Buhar Miktarı	28,171	2,980	,629	9,452	,000
Tutkal Miktarı	2,987	,770	,250	3,879	,000
Sermelif rutubeti	-33,722	5,625	-,421	-5,995	,000
Pres hızı	,576	,080	,430	7,180	,000
Birinci Bölge Sıcaklığı	10,439	3,091	,394	3,378	,002
İkinci Bölge Sıcaklığı	24,496	8,004	,323	3,061	,004
Üçüncü Bölge Sıcaklığı	-58,617	6,044	-1,123	-9,699	,000
Dördüncü Bölge Sıcaklığı	3,675	,692	,466	5,312	,000
Beşinci Bölge Sıcaklığı	-5,935	1,103	-,606	-5,380	,000
Altıncı Bölge Sıcaklığı	10,872	,942	,825	11,542	,000
Yüksek Basınç	6,915	7,587	,290	,911	,367
Orta Basınç	-78,020	17,872	-,639	-4,366	,000
Düşük Basınç	31,738	8,415	,537	3,772	,001

Optimum üretim parametre değerlerinin belirlenebilmesi için katsayılar çizelgesinin değerlendirilmesi gerekir. Coefficient (Katsayı) denklemin anlamlılık seviyesini gösterip regresyon katsayılarını belirtmektedir. Çizelge 4.9 da görüleceği üzere üretim parametreleri ile vida tutma değeri arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Üretim parametrelerinin alabileceği değerler Çizelge 4.8. deki veriler kullanılarak elde edilen eşitlik (4.3.) deki formül kullanılarak bulunur.

$$Z_{\text{vidatutma}} = 4499.124 + 28.171V + 2.987G - 33.722M + 0.576S + 10.439T_1 + 24.496T_2 - 58.617T_3 + 3.675T_4 - 5.935T_5 + 10.872T_6 - 78.020MP + 31.738LP \quad (4.3.)$$

**4.1.4. Hata Hesaplama**

Çalışmada 2018 yılı boyunca seçilen ürüne ait bir yıllık 57 üretimin verileri kullanılmıştır. 2019 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında seçilen ürünün 7 üretimine ait veriler üzerinden hesaplanan uygunluk yüzdesi değerleri Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11. de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Çekme Kalite Kriteri İçin Hata Değerleri

Üretim	Formül Değeri	Gerçek Değer	Mutlak Hata	Bağıl Hata	Uygunluk Yüzdesi
1	0,7562	0,74	0,0162	2,1892	97,8108
2	0,8254	0,80	0,0254	3,1750	96,8250
3	0,7986	0,78	0,0186	2,3833	97,6167
4	0,7606	0,75	0,0106	1,4080	98,5920
5	0,7369	0,72	0,0169	2,3472	97,6528
6	0,7767	0,76	0,0167	2,1974	97,8026
7	0,7220	0,71	0,0120	1,6901	98,3099
<b>Ortalama</b>	<b>0,7681</b>	<b>0,75</b>	<b>0,0166</b>	<b>2,1986</b>	<b>97,8014</b>

Seçilen ürünün tesiste 2019 yılı Temmuz ve Ağustos ayında üretimlerinden elde edilen çekme değeri ile aynı üretimlerdeki girdi parametrelerinin regresyon analizi sonucunda elde ettiğimiz formüle konulması ile elde edilen çekme değeri karşılaştırılmıştır. Buna göre çekme için hata oranı % 2,1986 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Vida Tutma Kalite Kriteri İçin Hata Değerleri

Üretim	Formül Değeri	Gerçek Değer	Mutlak Hata	Bağlı Hata	Uygunluk Yüzdesi
1	1023,3988	1029	5	0,50	99,50
2	1205,2863	1175	30	2,58	97,42
3	1056,5034	1055	2	0,14	99,86
4	1130,6535	1125	6	0,50	99,50
5	1051,7308	1049	3	0,26	99,74
6	973,6496	980	6	0,65	99,35
7	1058,1221	1057	1	0,11	99,89
<b>Ortalama</b>	<b>1071,3349</b>	<b>1067</b>	<b>8</b>	<b>0,68</b>	<b>99,32</b>

Vida tutma değeri için bağılı hata oranı % 0,68 olarak bulunmuş olup uygunluk yüzdesi 99,32 hesaplanmıştır. Bu verilere göre analiz sonucunda bulunan formül gerçek verilere yakın sonuçlar çıkarmaktadır. Dolayısıyla gerçeği yansıtmaktadır. Bu durum matematiksel modellerde bu formülasyonların kullanılabilirliğini göstermektedir.

#### 4.1.5. Literatür ve Veri Analizi Değerlendirmesi

Nemli ve arkadaşlarının 2007 yılında nem içeriği, tutkal miktarı, talaş tozu kullanımı ve pres süresinin yongalevhanın mekanik ve fiziksel özelliklerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceledikleri çalışmada nem içeriği ve pres süresinin yongalevhanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu çalışmada da Nemli ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya paralel olarak Tutkal miktarı ve Serme Lif rutubetinin vida tutma, çekme ve su alma kalite çıktı parametreleri üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğu görülmüştür.

Islam ve ark (2011) çok yanıtli optimizasyon kullanarak yonalevha üretim parametrelerinin optimizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada pul kalınlığı, pul uzunluğu, kurutulmuş nem içeriği, tutkal miktarı, pres süresi, basınç ve pres sıcaklığı olmak üzere yedi parametre dikkate almışlar. Plackett-Burman

tasarımıyla pul kalınlığı, kurutulmuş talaş nemi içeriği ve pres sıcaklığı parametrelerinin yonga levha özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada da Islam ve ark (2011) çalışmasına paralel olarak pres sıcaklıkları ve serme lif rutubetinin MDF kalite çıktıları yani özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Islam ve ark (2011) çalışmasında varyans analizi sonucunda kırılma dayanımı için  $R^2$  0,975 ve elastisite modülü için  $R^2$  0,966 olarak belirlenmiş. Bu çalışmadaki kalite çıktılarından çekme için  $R^2$  0,902, su alma için  $R^2$  0,901 ve vida tutma için  $R^2$  0,903 olarak bulunmuştur. Bu değerler Islam ve ark (2011) çalışması ile paralellik gösteriyor.

## 4.2. Matematiksel Model

### 4.2.1. Tek Amaçlı Matematiksel Model Sonuçları

#### 4.2.1.1. Çekme Mukavemetini Maksimum Yapan Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi

Kalitesizlik maliyeti çok yüksek olup her yeni üretime geçişte farklı üretim parametreleri uygulamanın sonucunda yüksek miktarda kalitesiz ürün çıkabilir ve bu da işletmeye maliyet olarak yansımaktadır. Ayrıca kalitesizlik nedeniyle müşteriye ürünün zamanında teslim edilmemesi de maliyeti hesaplanamayan kayıplara neden olabilir. Bu yüzden maliyeti yüksek deneme üretimleri yerine istatistiksel analiz ve matematiksel model kullanarak üretim parametrelerinin belirlenmesi ve sonraki üretimlerde kullanılması en uygun çözümdür. Bu kapsamda çekme mukavemetini maksimum yapan üretim parametrelerinin belirlenmesi eşitlik (4.1.) teki formül ile yapılabilir.

$$\begin{aligned} \text{Max Çekme} = & 0.008V + 0.003G + 0.022M - 0.001S - 0.016T_1 + 0.022T_3 - 0.004T_4 - \\ & 0.003T_6 + 0.047MP + 0.021LP \end{aligned} \quad (4.1.)$$

Bu amaç fonksiyonu ile birlikte aşağıdaki kısıtlar çalışmada dikkate alınmıştır.

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinin geçmiş verilerine göre buhar miktarı en yüksek 18 t/h, en düşük 11 t/h dır. Bahse konu kısıt 4.4.'deki eşitlikte verilmiştir.

$$11 \leq V \leq 18 \quad (4.4.)$$

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinin geçmiş verilerine göre tutkal miktarı için kısıt 4.5.'deki eşitlikte verilmiştir. Tutkal miktarı en düşük 60 kg/m<sup>3</sup>, en yüksek 90 kg/m<sup>3</sup> tür. 60 kg'ın altı ürünün müşteri tarafından beklenen kalite çıktılarını yakalamasını sağlamaz. Tutkal reaksiyon ile yapışmayı ağırlayan kimyasal olup aynı zamanda maliyet kalemidir de. Bu yüzden gereğinden fazla kullanılmak istenmez.

$$60 \leq G \leq 90 \quad (4.5.)$$

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinin geçmiş verilerine göre serme lif rutubeti için kısıt 4.6.'deki eşitlikte verilmiştir. Serme lif rutubeti en yüksek %13, en düşük % 8 olarak belirlenmiştir. Makinenin teknik özellikleri gereği bu değerlerin dışında olması istenmez.

$$8 \leq M \leq 13 \quad (4.6.)$$

Çalışmanın yapıldığı MDF tesisinde kullanılan pres makinesinin teknik özelliklerine göre pres hız değeri için kısıt 4.7.'deki eşitlikte verilmiştir. Makinenin teknik özelliklerine göre pres hızı 60 – 1300 mm/dk aralığındadır. Bunların dışında makine çalışması makine spektlerinin dışında olup yapılamaz.

$$60 \leq S \leq 1300 \quad (4.7.)$$

Sıcaklık üretim parametresi çıktı parametreleri üzerinde etkilidir. Sıcaklık üretim parametresinin değeri sıcaklık plakaları bazında kısıt olarak (4.8)-(4.13) eşitliklerinde verilmiştir. 1. Bölge 210-225 °C, 2. Bölge 220-240 °C, 3. Bölge 220-240 °C, 4. Bölge 200-230 °C, 5. Bölge 170-200 °C, 6. Bölge 165-190 °C değerler arasındadır. Bu değerler makinenin teknik özelliklerinde gelmektedir. Değerler dışında sıcaklıklarla çalışılmaz.

$$210 \leq T_1 \leq 225 \quad (4.8.)$$

$$220 \leq T_2 \leq 240 \quad (4.9.)$$

$$220 \leq T_3 \leq 240 \quad (4.10.)$$

$$200 \leq T_4 \leq 230 \quad (4.11.)$$

$$170 \leq T_5 \leq 200 \quad (4.12.)$$

$$165 \leq T_6 \leq 190 \quad (4.13.)$$

Basınç üretim parametresi çıktı parametreleri üzerinde etkilidir. Basınç üretim parametresinin değeri basınç düzeyi bazında kısıt olarak (4.14)-(4.16) eşitliklerinde verilmiştir. Yüksek basınç 5-20 Meganewton, Orta Basınç 0-3 Meganewton ve Düşük Basınç 5-15 Meganewton arasında değişmektedir. Basınç değerleri minimum ve maksimum olarak makinenin teknik özelliklerinden gelmektedir.

$$5 \leq HP \leq 20 \quad (4.14.)$$

$$0 \leq MP \leq 3 \quad (4.15.)$$

$$5 \leq LP \leq 15 \quad (4.16.)$$

Pres hızı ile ısıtma plakaları 1. 2. Ve 3. Bölge sıcaklıkları arasındaki ilişki kısıt olarak 4.17'te gösterilmiştir. 1., 2. Ve 3. Bölge sıcaklıkları % 5 düşerse pres

hızı da % 5 düşer. Bu kısıtlar uzman görüşleri ve makinenin teknik özelliklerinden yola çıkılarak belirlenmiştir.

Eğer  $T_i=(T_1 T_2 T_3)0.95$ ;  $S = S0.95$

Aksi halde  $T_i=(T_1 T_2 T_3)$  ve  $S=S$  (4.17.)

Pres hızı ile serme lif rutubeti arasındaki ilişki kısıt olarak 4.18'de gösterilmiştir. Serme lif rutubetinin % 1'lik azalmasında pres hızı da % 5 azalmaktadır. Makinenin teknik özellikleri ve uzman görüşlerinden yararlanılarak belirlenmiştir.

Eğer  $M = M0.99$ ;  $S= S0.95$

Aksi halde  $M=M$  ve  $S=S$  (4.18.)

Üretimlerde kullanılan üretim parametrelerinin gerek makine özellikleri nedeniyle ve gerekse şu ana kadar ki tecrübelerle göre negatif olmama kısıtı 4.19. eşitliğinde verilmiştir. Uzman görüşleri dikkate alınmıştır.

$V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP \geq 0$  (4.19.)

Çıktı değişkenleri için firmanın ve standartların Türk Standartları Enstitüsü (TSE) belirlediği aralıklar dikkate alınmıştır. Firmanın standartları genel olarak TSE standartlarından daha üst seviyededir. Çekmenin  $0.60 \text{ N/mm}^2$  den büyük veya eşit, Vida tutmanın 900 N dan büyük veya eşit olması, Su almanın %40 tan küçük olması beklenir. İlgili kısıtlar eşitlik (4.20.)-(4.22.) te verilmiştir.

$f(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \geq 0.60$  (4.20.)

$g(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \geq 900$  (4.21.)

$$h (V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) \leq 40 \quad (4.22.)$$

Eşitlik (4.4.) – (4.22.) te belirtilen kısıtlar dikkate alınarak çekme mukavemetinin maksimum yapan formülün çözülmesi ile elde edilen optimum üretim parametreleri ve kalite parametreleri çizelge 4.12. da verilmiştir.

Çizelge 4.12. Maksimum Çekmeye Ait Üretim ve Kalite Parametreleri

Üretim Parametreleri	Sonuçlar
Buhar (V) - (t/h)	18
Tutkal (G) - (Kg/m <sup>3</sup> )	90
Serme Lif Rutubeti (M) – (%)	8.2987
Pres Hızı (S) – (mm/dk)	390
Birinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>1</sub> ) – (°C)	210
İkinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>2</sub> ) – (°C)	236.5336
Üçüncü Bölge Sıcaklığı (T <sub>3</sub> ) – (°C)	240
Dördüncü Bölge Sıcaklığı (T <sub>4</sub> ) – (°C)	200
Beşinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>5</sub> ) – (°C)	170
Altıncı Bölge Sıcaklığı (T <sub>6</sub> ) – (°C)	165
Orta Basınç (MP) – (MegaNewton)	3
Düşük Basınç (MP) – (MegaNewton)	15
Kalite Parametreleri	Sonuçlar
Vida Tutma (N)	900
Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	1.2875

#### 4.2.1.2. Vida Tutmayı Maksimum Yapan Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi

Çekme gibi vida tutma da MDF ürünü için çok önemli bir kalite parametresidir. Ağaç bazlı panel, mobilya endüstrisinin yarımamulu olup mobilyanın üretiminde MDF panelin birbirine montajı vida ile yapılmakta dolayısıyla vida tutma özelliğinin iyi seviyede olması beklenir. Maksimum vida

tutma regresyon analizinde çıkan değerlerle parametrelerin çarpımı ile elde edilir. Maksimum vida tutmayı elde etmeyi sağlayan formül eşitlik (4.25.) te verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Max Vida Tutma} = & 4499.124 + 28.171V + 2.987G - \\ & 33.722M + 0.576S + 10.439T_1 + 24.496T_2 - 58.617T_3 + 3.675T_4 - 5.935T_5 + 10.872T_6 - \\ & 78.020MP + 31.738LP \end{aligned} \quad (4.3.)$$

Bu çalışmada amaç fonksiyonu ile birlikte eşitlik (4.4.) – (4.22.) teki kısıtlar dikkate alındı. Maksimum Vida tutma formülünün eşitlik (4.4.) – (4.22.) teki kısıtlar dikkate alınarak çözülmesi ile belirlenen optimum üretim parametre ve kalite parametrelerinin değerleri Çizelge 4.13. de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Maksimum Vida Tutmaya Ait Üretim ve Kalite Parametreleri

Üretim Parametreleri	Sonuçlar
Buhar (V) - (t/h)	18
Tutkal (G) - (Kg/m <sup>3</sup> )	90
Serme Lif Rutubeti (M) – (%)	8
Pres Hızı (S) – (mm/dk)	390
Birinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>1</sub> ) – (°C)	211.5625
İkinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>2</sub> ) – (°C)	220
Üçüncü Bölge Sıcaklığı (T <sub>3</sub> ) – (°C)	220
Dördüncü Bölge Sıcaklığı (T <sub>4</sub> ) – (°C)	200
Beşinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>5</sub> ) – (°C)	176.1317
Altıncı Bölge Sıcaklığı (T <sub>6</sub> ) – (°C)	190
Orta Basınç (MP) – (MegaNewton)	0
Düşük Basınç (LP) – (MegaNewton)	15
Kalite Parametreleri	Sonuçlar
Vida Tutma (N)	2163.186
Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	0.60

#### 4.2.2. Çok Amaçlı Matematiksel Model Yaklaşımı

Çalışmanın yapıldığı firma için dikkate alınan MDF ürünüde kalite çıktıları olan çekme ve vida tutma değeri aynı öneme sahip olup birbirleri arasında öncelik yoktur. Modelin çözümünde kullanılan hedef programlamanın temeli doğrusal programlamaya dayanır. Bu yöntemde çalışma yapılan yerdeki ilgiliden her bir amaç için erişilmesini istediği bir hedef değer belirlemesi istenir. Daha sonra istenen çözüm bu hedef değerlerden sapan değerleri minimum kılan çözüm çözüm olarak tayin edilir (Evren ve Ülengin, 1992). Hedef programlamanın önceliklendirmeli ve önceliklendirmesiz yaklaşımlarından önceliklendirmesiz yaklaşımı kullanılarak çözüme ulaşılmıştır. Önceliklendirmesiz yaklaşımda firmanın talebi doğrultusunda çekme maksimizasyonu ve vida tutma maksimizasyonu aynı öneme sahip kabul edilerek önceliklendirme yapılmamıştır. Mobilya endüstrisi için çekme ve vida tutma özelliği mobilyayı oluşturmak için levhadan beklenen olmazsa olmaz iki özelliğdir. Son kullanıcı için mobilyanın sağlamlığı ve montajının güçlü olması yüksek bir beklentidir. Bu kalite çıktılarından birisi diğerinden daha önemli değildir. Dolayısıyla herhangi birine ağırlık veya öncelik verilemez.

##### 4.2.2.1. Çekme ve Vida Tutmayı Maksimum Yapan Üretim Parametrelerinin Belirlenmesi

Çekmeyi maksimize eden üretim parametre değerleri çizelge (4.10.) da, vida tutmayı maksimize eden üretim parametre değerleri çizelge (4.11.) de verilmiştir. Hedef programlamada ilgili üretim parametreleri kullanılmıştır. Çekme ve vida tutmayı aynı anda maksimize ederken tek amaçlı modellerdeki kısıtlara ek olarak eşitlik (4.24.), (4.25.) ve (4.26.) kısıtları eklenmiştir. Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13. de optimum üretim parametre değerlerinden sapmaların minimizasyonu eşitlik (4.23.) da verilmiştir. Eşitlik (4.25.) deki optimum çekme değeri Çizelge 4.12. den, Eşitlik (4.26.) deki optimum vida tutma değeri Çizelge 4.13. ten, Eşitlik (4.26.) daki optimum çekme ve optimum vida tutma değerleri

Çizelge 4.12. ve Çizelge 4.13. den alınmıştır. Çekme ve vida tutmayı aynı anda optimum yapan modelleme LINGO paket programında yapılmıştır. Modele ait çözümler Çizelge 4.14. de verilmiştir.

$$\text{Minz } S_1^- + S_2^- \quad (4.23.)$$

$$f(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) + S_1^+ - S_1^- = 1.287 \quad (4.24.)$$

$$g(V, G, M, S, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, HP, MP, LP) + S_2^+ - S_2^- = 2163 \quad (4.25.)$$

$$S_1^- 2163 = S_2^- 1.287 \quad (4.26.)$$

Çizelge 4.14. Maksimum Vida Tutma ve Maksimum Çekmeye Ait Önceliklendirmesiz Hedef Programlama Sonuçları

Üretim Parametreleri	Sonuçlar
Buhar (V) - (t/h)	18
Tutkal (G) - (Kg/m <sup>3</sup> )	90
Serme Lif Rutubeti (M) - (%)	8
Pres Hızı (S) - (mm/dk)	390
Birinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>1</sub> ) - (°C)	210
İkinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>2</sub> ) - (°C)	223.7810
Üçüncü Bölge Sıcaklığı (T <sub>3</sub> ) - (°C)	227.9012
Dördüncü Bölge Sıcaklığı (T <sub>4</sub> ) - (°C)	200
Beşinci Bölge Sıcaklığı (T <sub>5</sub> ) - (°C)	170
Altıncı Bölge Sıcaklığı (T <sub>6</sub> ) - (°C)	190
Orta Basınç (MP) - (MegaNewton)	3
Düşük Basınç (LP) - (MegaNewton)	15
Amaç Fonksiyonları	Sonuçlar
Optimum Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	0.9398
Optimum Vida Tutma (N)	1578.681

### 4.2.3. Tek Amaçlı Model Sonuçları İle Çok Amaçlı Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tek amaçlı model sonuçları ile çok amaçlı önceliklendirmesiz hedef programlama sonuçları Çizelge 4.12. de verilmiştir. Buhar (V), Tutkal (G), Pres Hızı (S), Dördüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_4$ ) ve Düşük Basınç (LP) üretim parametrelerinin değerlerinin tek amaçlı ve çok amaçlı önceliklendirmesiz hedef programlama model sonuçlarında aynı olduğu görülmüştür. Serme lif rutubeti (M) vida tutma maksimizasyonu tek amaçlı model sonucu ile hedef programlama sonucunda aynı olup % 8 iken, çekme maksimizasyonunda % 8.2987 değerini almıştır. Birinci bölge sıcaklığı ( $T_1$ ) çekme maksimizasyonu ve hedef programlama sonuçlarında aynı olup 210 °C iken, vida tutma maksimizasyonunda 211.5625 °C bulunmuştur. İkinci bölge sıcaklığı ( $T_2$ ) her üç modelde de farklı olup vida tutma maksimizasyonunda 220 °C, çekme maksimizasyonunda 236.5336 °C ve önceliksiz hedef programlama sonucunda 223.7810 °C olarak elde edilmiştir. Üçüncü bölge sıcaklık ( $T_3$ ) çekme ve vida tutma maksimizasyonu ile önceliksiz hedef programlamada farklı sonuçlar elde edilmiştir. Vida tutma maksimizasyonunda 220 °C, çekme maksimizasyonu sonucunda 240 °C ve önceliklendirmesiz hedef programlama sonucunda 227.9012 °C olarak bulunmuştur. Beşinci bölge sıcaklığı ( $T_5$ ) vida tutma maksimizasyonunda 176.1317 °C, çekme maksimizasyonu ve önceliksiz hedef programlamada aynı olup 170 °C elde edilmiştir. Altıncı bölge sıcaklığı vida tutma maksimizasyonu ve önceliklendirmesiz hedef programlamada aynı olup 190 °C, çekme maksimizasyonunda ise 165 °C olarak bulunmuştur. Orta basınç (MP) vida tutma maksimizasyonunda 0 meganewton olarak bulunmuş, çekme maksimizasyonu ve önceliksiz hedef programlama model sonuçlarında aynı bulunmuş olup 3 meganewtondur.

Kalite çıktılarının tek amaçlı modeller ile önceliksiz hedef programlama model sonuçları Çizelge 4.15. de verilmiştir. Vida tutma maksimizasyonunda vida tutma değeri 2163.186 N, çekme değeri ise 0,60 N/mm<sup>2</sup> olup alt limittir. Çekme

maksimizasyonunda ise vida tutma değeri 900 N, çekme değeri 1.2875 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Burada da vida tutma değeri alt limit olarak bulunmuştur. Önceliksiz hedef programlama sonucunda vida tutma 1578.681 N, çekme ise 0.9398 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Tek Amaçlı Model ve Önceliklendirmesiz Hedef Programlama Sonuçları

Üretim	Vida Tutma	Çekme	Hedef
V - (t/h)	18	18	18
G - (Kg/m <sup>3</sup> )	90	90	90
M - (%)	8	8.2987	8
S - (mm/dk)	390	390	390
T <sub>1</sub> - (°C)	211.5625	210	210
T <sub>2</sub> - (°C)	220	236.5336	223.7810
T <sub>3</sub> - (°C)	220	240	227.9012
T <sub>4</sub> - (°C)	200	200	200
T <sub>5</sub> - (°C)	176.1317	170	170
T <sub>6</sub> - (°C)	190	165	190
MP - MegaNewton)	0	3	3
LP - (MegaNewton)	15	15	15
<b>Kalite</b>	<b>Vida Tutma</b>	<b>Çekme</b>	<b>Hedef</b>
Vida Tutma (N)	2163.186	900	1578.681
Çekme (N/mm <sup>2</sup> )	0.60	1.2875	0.9398



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye de 7, yurtdışında 5 olmak üzere toplam 12 üretim tesisi bulunan dünyanın önde gelen ağaç bazlı panel üreticilerinden biri olan özel bir firmanın Adana MDF tesislerinde üretim parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Ağaç bazlı panel üretimi gerek hammaddenin organik olması ve gerekse birçok parametreye dayalı entegre üretim yapılması nedeniyle karmaşık bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla her üretimde doğru üretim parametre değerleri ile üretime başlamak istenmiştir. Üretim başlangıcındaki ölçülmesi güç kalitesizlik maliyetlerini minimize etmek ve maliyeti yüksek deneme üretimlerini yapmamak gerekir. Bu yüzden matematiksel modelleme ile üretim parametrelerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmaya başlarken öncelikle işletme yetkilileri ile görüşülerek kendileri için kritik üretim parametreleri ve yine kendileri için önemli olan katma değeri yüksek ürün belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonrası toplam 13 üretim parametresi ortaya çıkmıştır. Ayrıca belirlenen ürün için kritik kalite parametreleri yani kalite çıktılarının ne olduğuna bakılmıştır. Vida tutma ve çekme kalite kriterini maksimize eden optimum üretim parametrelerini belirlemek amaçlanmıştır. Uzman kişilere göre ürün türüne göre kritik kalite çıktıları değişebilir ve bir ürün için önemli olan kalite çıktısı başka bir ürün için önemsiz olabilir. Bu çalışmada seçilen ürün için aynı öneme sahip vida tutma ve çekme kalite kriterleri dikkate alınmıştır.

2018 yılı boyunca seçilen ürünün üretimi takip edilmiş ve bir yıllık süredeki ilgili ürünün üretimlerinde belirlenen üretim parametreleri ve kalite çıktılarına ait veriler tutulmuştur. Literatür taraması yapılarak özellikle ağaç bazlı panel sektöründe bu alanda yapılan çalışmalar detaylı olarak araştırılmıştır. Tutulan bu veriler üzerinden istatistiksel analiz (regresyon analizi) yapılarak üretim parametrelerinin kalite çıktıları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çekme kalite çıktısı üzerinde Buhar (V), Tutkal (G), Serme Lif Rutubeti (M), Pres Hızı (S), Pres ısıtma Birinci Bölge Sıcaklığı ( $T_1$ ), Üçüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_3$ ), Dördüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_4$ ), Altıncı Bölge Sıcaklığı ( $T_6$ ), Orta Basınç (MP) ve Düşük Basınç (LP) üretim parametrelerinin etkili olduğu görülmüştür.

Vida tutma kalite çıktısı üzerinde Buhar (V), Tutkal (G), Serme Lif Rutubeti (M), Pres Hızı (S), Pres ısıtma Birinci Bölge Sıcaklığı ( $T_1$ ), İkinci Bölge Sıcaklığı ( $T_2$ ), Üçüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_3$ ), Dördüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_4$ ), Beşinci Bölge Sıcaklığı ( $T_5$ ), Altıncı Bölge Sıcaklığı ( $T_6$ ), Orta Basınç (MP) ve Düşük Basınç (LP) üretim parametrelerinin etkili olduğu görülmüştür.

Su alma kalite çıktısı üzerinde Buhar (V), Tutkal (G), Serme Lif Rutubeti (M), Pres Hızı (S), Pres ısıtma İkinci Bölge Sıcaklığı ( $T_2$ ), Üçüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_3$ ), Dördüncü Bölge Sıcaklığı ( $T_4$ ), Beşinci Bölge Sıcaklığı ( $T_5$ ), Altıncı Bölge Sıcaklığı ( $T_6$ ) ve Düşük Basınç (LP) üretim parametrelerinin etkili olduğu görülmüştür.

İstatiksel analizlerden sonra tek amaçlı modeller kurularak çözülmüş ve çekme kalite çıktısı ile vida tutma kalite çıktısını maksimize eden üretim parametre değerleri bulunmuştur.

Daha sonra kalite çıktı değerleri aynı öneme sahip olduğu için çok amaçlı model yaklaşımlarından önceliklendirmesiz hedef programlama kullanılarak çekme ve vida tutma kalite çıktılarını aynı anda maksimize eden etkin üretim parametreleri bulunmuştur. Hedef programlama çözümü bir dakikadan daha az sürmüştür. Bu sürenin az olması verileri bulunan ürünlere ait optimum üretim parametre değerlerinin hızlı belirlenmesini ve optimizasyon modellerinin uygulanabileceğini göstermektedir. Böylece tüm ürünlere çalışmayı yaygınlaştırmak işletme açısından faydalı ve kolay olacaktır.

Bu sonuçlar ile işletme ilgili ürünün çalışma sonrasındaki üretimlerinde çıkan değerleri üretim başlangıcında ayarlayarak olası kalitesizliklerin önüne geçecektir. Böylece verimliliğin artması beklenmektedir.

### 5.2. Öneriler

Bu çalışmada çekme ve vida tutma kalite çıktılarını aynı anda maksimize eden üretim parametre değerleri belirlenmiştir.

- ✓ Çalışmada bir ürün dikkate alınmıştır. Gelecek çalışmada özellikle benzer birden fazla ürün dikkate alınabilir.
- ✓ Bu çalışmada çekme ve vida tutma kalite çıktılarını en çoklayan sonuçlar elde edilmiştir. Sonraki çalışmalarda daha fazla kalite çıktılarının önemli olduğu ürün ya da ürünler seçilerek üç ve daha fazla kalite çıktısını aynı anda istenilen değerlerde yapan üretim parametre değerleri bulunabilir.
- ✓ Bazı ürünlerde kalite çıktıları arasında önem düzeyi farklılıkları vardır. Gelecek çalışmalarda üç ve üstü kalite çıktıları arasında önceliklendirme yapılarak uygun üretim parametreleri araştırılabilir.
- ✓ Sıcaklık üretim parametreleri kendi içinde detaylandırılarak sadece sıcaklık parametreleri üzerine bir çalışma yapılabilir. Bu sayede 6 sıcaklık bölgesi için etkin değerler bulunabilir.
- ✓ Buhar enerji işletmesinde üretilir dolayısıyla aynı zamanda bir maliyet kalemidir. Gelecek çalışmalarda bunun gibi maliyette eklenerek çözümler üretilebilir.



## KAYNAKLAR

- Akbulut, T., Ayrılmış, N. (2001). MDF Üretiminde Dikkate Alınması Gereken Hususlar. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. B, 51, (2)
- Akgül, M., Çamlıbel, O., Gedik, T. (2013). Türkiye Ve Dünyadaki MDF Endüstrisine Genel Bir Bakış. Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi. 9, (2), 117-125
- Alp, S., (2008). Doğrusal Hedef Programlama Yöntemi Kullanılarak Kentiçi Otobüsle Toplu Taşıma Sistemi İçin Bir Model Oluşturulması Ve Uygulanması. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
- Ayrılmış, N. (2000). Ağaç Türünün MDF Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bıyık, A., İnce, U., Ateş, F., Yetilmezsoy, K. (2016). Kaynak civatalarının projeksiyon kaynağı ile birleştirilmesinde çapaklanmanın azaltılmasına yönelik optimal proses parametrelerinin Taguchi ve çok amaçlı optimizasyon yöntemleriyle tespit edilmesi. Mühendis ve Makina, 57(677), 36-52.
- Dağsuyu, C., (2017). Yenidoğan Ünitesinde Sepsis Hastalık Teşhisinin Erken Konulmasında Skorum Çalışması Ve Enfeksiyon Minimizasyonu. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Değirmencioğlu, A., Yazgı, A. (2006). Tepki yüzeyleri metodolojisi “optimizasyon esaslı çalışmalara ilişkin teorik esaslar ve tarımsal mekanizasyon uygulamaları”. Tarım Makinaları Bilim Dergisi 2(2), 111-115.
- Demirkır, C., Özşahin, Ş., Aydın, İ., Ve Çolakođlu, G. (2013). Optimization Of Some Panel Manufacturing Parameters For The Best Bonding Strength Of Plywood. International Journal Of Adhesion And Adhesives. 46, 14-20.
- D. P. Singh, Dr & , Saurabh & Jassi, Jasbir & Mohammad, Aas & Jafri, Hasan. (2015). Machining parameter optimization using Taguchi Approach.

- Eltawahni, H. A. , Olabi, A. G., Benyounis, K. Y. (2011). Investigating the CO2 laser cutting parameters of MDF wood composite material.
- Evren, R., Ülengin, F. (1992), Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İtü Matbaası, Sayı:1490, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Filiz, M., Usta, P., Şahin, H.T. (2011), Melamin, Üre Formaldehit Tutkalı, Kızılçam Ve Çay Atıkları İle Elde Edilen Yonga Levhanın Bazı Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi
- Fisher, R.A. (1948). Statistical methods for research workers. Edinburgh : Oliver and Boyd.
- Gültekin, F. (2013) Regresyon Analizi. <http://w3.balikesir.edu.tr/~bsentuna/wp-content/uploads/2013/03/Regresyon-Analizi.pdf>
- Islam, A., Alam, R., Hannan, O. (2011). Multiresponse optimization based on statistical response surface methodology and desirability function for the production of particleboard. Composites: Part B 43, 861–868.
- João M. Ferra, Pedro C. Mena, Jorge Martins, Adélio M. Mendes, Mário Rui N. Costa, Fernão D. Magalhães & Luisa H. Carvalho (2010) Optimization of the Synthesis of Urea-Formaldehyde Resins using Response Surface Methodology, Journal of Adhesion Science and Technology, 24:8-10, 1454-1471
- Köse, S.K., (2008) Korelasyon ve Regresyon Analizi
- Li, Q., Liu, Y.,Zhu, L. (2016). Model building and optimization analysis of MDF continuous hot-pressing process by neural network. Mathematical Problems in Engineering. Article ID 1327235.
- Lotfy, W.A., Ghanem, K.M., El-Helow, E.R. (2006). Citric acid production by a novel Aspergillus niger isolate: II. Optimization of process parameters through statistical experimental designs. Bioresource Technology. 98, 3470–3477

- Myers R., Montgomery DC. (2002) Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments. second ed. New York: Wiley; 2002.
- Nalbant, M., Gökkaya, H., Sur, G. (2006). Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning. *Materials and Design*. 28, 1379-1385.
- Nemli, G., Aydın, İ., Zekoviç, E. (2007). Evaluation of some of the properties of particleboard as function of manufacturing parameters. *Materials and Design*. 28 (4), 1169-1176.
- Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, İ. (2007). Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part. *Materials and Design*. 28, 1271-1278.
- Özlısoylu, İ., İstek, A. (2015). Mobilya Üretiminde Kullanılan Panellerden Salınan Formaldehit Emisyonu Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi
- Prakash, S., Mercy, L., Goswami, K. (2014). A systemic approach for evaluating Surface Roughness parameters during drilling of Medium Density Fiberboard using Taguchi method. *Indian Journal of Science and Technology*. 7(11), 1888–1894.
- Rad, M. T., Bidhendi, I. M. (1997), On the optimization of machining parameters for milling operations. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 37 No. 1, 1-16.
- Tutak, T., Güder, Y. (2014). Matematiksel Modellemenin Tanımı, Kapsamı ve Önemi. *Turkish Journal of Educational Studies* 1 (1)
- Vankanti, V.K., Ganta, V. (2014). Optimization of process parameters in drilling of GFRP composite using Taguchi method. *Journal of Materials Research and Technology*. 3(1). 35-41.

- Yang, W. H., Tarn, Y.S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on Taguchi method. Journal of Materials Processing Technology. 84, 122-129.
- Yıldız, B. (2017). Moth-flame optimization algorithm to determine optimal machining parameters in manufacturing processes. Materialprufung. 59(5), 425-429.
- Zhang, Y., Zhao, M., Wang, W. (2008). Optimization of selected processing parameters for E1 grade tubular particleboard. China Wood Industry. 2008-4.
- URL-1 (2019),  
[http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/modellemeyegiris/acrobats/Ders%06\\_11.11.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/modellemeyegiris/acrobats/Ders%06_11.11.pdf)
- URL-2 (2019),  
[http://www.mdfrecovery.co.uk/wordpress/wpcontent/uploads/2015/02/WRAP-MDF\\_Recycling\\_-\\_demonstration\\_of\\_end\\_uses.pdf](http://www.mdfrecovery.co.uk/wordpress/wpcontent/uploads/2015/02/WRAP-MDF_Recycling_-_demonstration_of_end_uses.pdf)
- URL-3 (2019), <https://www.aimsaddegi.com/dunyanin-5-buyuk-ureticisi-turkiye-levha-sektoru-yeni-yatirimlarla-buyume-ataginda/>

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kozan / Adana'da doğdu. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinden mezun oldu. 2016 yılında Çukurova Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Askerlikten sonra 2006-2008 yılları arasında Tivoli Tekstil Tic.Ltd. Ş.'nde Satınalma ve Üretim Planlama Mühendisi olarak çalıştı. 2008-2011 yılları arasında ABC Deterjan San.Ve Tic. A.Ş.'nde Üretim Planlama Uzmanı olarak çalıştı. Kastamonu Entegre Ağaç San. Ve Tic. A.Ş.'nde 2011 yılında Üretim Planlama ve Lojistik mühendisi olarak başladığı işine Lojistik Yöneticisi olarak devam etmektedir.