

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Uğur SARIGÜL**

**AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE MDF HAMMADDE  
KARIŞIMININ BELİRLENMESİ VE MALİYET  
OPTİMİZASYONU**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA,2019**

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE MDF HAMMADDE  
KARIŞIMININ BELİRLENMESİ VE MALİYET OPTİMİZASYONU**

**Uğur SARIGÜL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 29/08/2019 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

#### AĞAÇ BAZLI PANEL ENDÜSTRİSİNDE MDF HAMMADDE KARIŞIMININ BELİRLENMESİ VE MALİYET OPTİMİZASYONU

Uğur SARIGÜL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
: Dr. Öğr. Üyesi Cansu DAĞSUYU  
Yıl: 2019, Sayfa: 91  
Jüri : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
: Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU  
: Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE

Orta yoğunluklu lif levha (MDF) üretiminde kalite kriterlerini etkileyen faktörlerin en önemlilerinden biri ürün reçetesinde kullanılan hammadde miktarlarıdır. Bu çalışma ağaç endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmenin, MDF üretim süreci için hammadde kullanım miktarlarının çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı üzerinde etkisini araştırmak için yapılmıştır. MDF levhanın çıktı parametrelerinden çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı üzerinde etkili olan hammaddelerin belirlenmesi için geçmiş üretim verileri analiz edilmiştir. Üretim maliyetini minimize; çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığını maksimize eden tek ve çok amaçlı matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çok amaçlı modellerin çözülmesinde önceliklendirmeli hedef programlama yaklaşımı ile etkin çözümler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** MDF, çok amaçlı modelleme, optimizasyon, çekme mukavemeti, eğilme direnci, yüzey sağlamlığı

## ABSTRACT

### MSc. THESIS

#### DETERMINATION OF MDF RAW MATERIAL MIXTURE AND COST OPTIMIZATION IN WOOD BASED PANEL INDUSTRY

Uğur SARIGÜL

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

Supervisor : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
: Asst. Prof. Dr. Cansu DAĞSUYU  
Year: 2019, Pages: 91  
Jury : Prof. Dr. Ali KOKANGÜL  
: Asst. Prof. Dr. Melik KOYUNCU  
: Asst. Prof. Dr. Fikri EGE

One of the most important factors affecting the quality criteria in medium density fiber board (MDF) is the amount of raw material used in the product bill. This study was conducted in order to investigate the effect of raw material usage amounts on internal bond, modulus of rupture and surface strength of a company operating in wood industry for MDF production process. Past production data were analyzed to determine the raw materials which are effective on internal bond, modulus of rupture and surface soundness of the output parameters of MDF board. Single and multi-objective mathematical models have been developed that minimizing production cost; maximizing internal bond, modulus of rupture and surface soundness single and multi-objective mathematical models have been developed. Effective solutions have been achieved with the sequential goal programming approach in solving multi-objective models.

**Keywords:** MDF, multi-objective modelling, optimization, internal bond, modulus of rupture, surface soundness

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Şirketlerin varlıklarını sürdürmeleri günümüzde çok hızlı değişen müşteri beklentilerine hizmet eden ürün/hizmet üretmekten geçmektedir. Üretilen ürün istenen şartları sağlarken üreticinin üretim maliyetini olabildiğince düşük tutup faaliyetlerine devam etmesi gerekmektedir. Üretimde kullanılacak reçetenin üretim başlarken belli olmaması istenen farklı ürün elde edilmesine ya da ıskartaya ayrılmasına neden olabilmektedir. Bu da üretim maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır. Uygulamada üretilecek ürün için geçmiş deneyimlere dayalı olarak reçete oluşturulur ve üretim başlar, üretim devam ederken test sonuçları yapılır ve çıkan sonuca göre reçeteye müdahalede bulunulur. Test sonucu çıkana kadar üretilen ürünlerin istenen şartları sağlayamaması riski mevcuttur. Bu sebeple çalışmanın yapıldığı MDF levha üretim tesisindeki belirlenen bir ürün için geçmiş iki yıllık üretim ve test raporları incelenmiştir. Elde edilen veriler incelenip minimum/maksimum değerleri ve yoğunlaştığı aralıklar tespit edilmiştir. Veriler üzerinde istatistiksel analiz yapıp regresyon analizi neticesinde çıktı parametreleri olan çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı üzerinde etkili olan girdi parametreleri belirlenmiştir.

Sonraki adımda çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı için regresyon modelleri oluşturulmuştur. Girdi parametresi olan ürün reçetesinde bulunan tutkal, sertleştirici, emülsiyon parafin, parafin, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okalıptüsün çekme mukavemeti üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Eğilme direnci için yine tüm girdi parametrelerinin etkili olduğu bulunmuştur. Yüzey sağlamlığı için emülsiyon parafinin ve parafinin etkili olmadığı bunların dışında kalan parametrelerin etkili olduğu istatistiksel analizler sonucunda elde edilmiştir.

Bu çalışmada MDF levha için ürün maliyet minimize eden ve istenilen çıktı parametreleri olan çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı maksimize eden tek amaçlı fonksiyonlar oluşturulmuştur. Çalışmada ağaç

hammaddesi olan am, huş, meşe, akaaa ve okalıptüs stok miktarlarının minimum ve maksimum değerleri göz önünde bulundurularak kısıt olarak belirtilmiştir. Girdi parametreleri için firma yetkilileri ile görüşülerek uygulamada var olan kısıtlar belirlenerek formüle edilmiştir. Girdi parametrelerinin birbirleriyle olan ilişkileri ve alabilecekleri minimum ve maksimum değerler kısıt olarak ifade edilmiştir. ıktı parametreleri için de olması gereken değerler eşitlik olarak ifade edilmiştir.

Sonraki aşama olarak oluşturulan tek amaçlı modeller belirlenen kısıtları sağlayacak şekilde GAMS paket programı ile çözülmüştür. Bu çözümlerle ürün maliyetini minimize eden, çekme mukavemetini, eğilme direncini ve yüzey sağlamlığını maksimize eden optimum hammadde değerleri bulunmuştur. Amaçların tek başına dikkate alınması beklentilerini karşılamayacağı için çok amaçlı optimizasyon tekniklerinden hedef programlama ile problem çözülmüştür. Hedef programlama modelleri Önceliklendirmeli hedef programlama yöntemi ile çözülmüştür. Firma için ilk öncelik yetkililerle yapılan görüşmede ürün maliyetini minimize edilmesi belirlenmiştir. İkinci ncelik olarak çekme mukavemeti maksimizasyonu seçilmiştir. nc ncelik olarak eğilme direnci maksimizasyonu belirlenmiş olup; dördüncü öncelik olarak da yüzey sağlamlığı maksimizasyonu belirlenmiştir.

Çalışmada ilk olarak MDF levha genel tanımı ve üretim süreçlerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde önceki çalışmalara yer verilmiştir. nc bölümde çalışmada kullanılan materyal ve metod ele alınmıştır. Dördüncü bölümde araştırma bulguları detaylandırılmış; beşinci ve son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her konuda yardımcı olan, tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren danışman hocalarım Prof. Dr. Ali KOKANGÜL'e ve Dr. Öğr. Üyesi Cansu DAĞSUYU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez jüri üyeleri sayın hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Melik KOYUNCU ve Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE'ye değerli yorum ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmada kullanılan verilerin temin edilmesini ve verilerin işlenmesinde gereken bilgiyi sağlayan uygulamanın yapıldığı firma yöneticilerine ve çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında desteğini hiç esirgemeyen sevgili eşim Semanur SARIGÜL'e, çocuklarım Demir ve Bora SARIGÜL'e yanımda oldukları için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışma süresince desteklerini her zaman gösteren annem Firdes SARIGÜL'e, babam Süleyman SARIGÜL'e, kardeşlerim Meral, Leyla ve Erdi SARIGÜL'e çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| ÖZ .....                                                | I   |
| ABSTRACT.....                                           | II  |
| GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....                                | III |
| TEŞEKKÜR.....                                           | V   |
| İÇİNDEKİLER.....                                        | VI  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                 | X   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                   | XII |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                            | XIV |
| 1. GİRİŞ.....                                           | 1   |
| 1.1. MDF Kavramı .....                                  | 2   |
| 1.1.1. Yoğunluğuna Göre Lif Levhalar.....               | 3   |
| 1.1.2. Liflerin Yönlendirmesine Göre Lif Levhalar ..... | 4   |
| 1.1.3. Üretim Yöntemine Göre Lif Levhalar.....          | 4   |
| 1.1.4. Kullanılan Tutkal Tipine Göre Lif Levhalar.....  | 4   |
| 1.1.5. Yüzey Yapısına Göre Lif Levhalar .....           | 4   |
| 1.2. MDF Üretim Aşamaları .....                         | 4   |
| 1.2.1. Hammadde Kabuk Soyma .....                       | 5   |
| 1.2.2. Yongalama .....                                  | 5   |
| 1.2.3. Yongaların Depolanması.....                      | 5   |
| 1.2.4. Yonga Eleme.....                                 | 6   |
| 1.2.5. Yonga Yıkama .....                               | 6   |
| 1.2.6. Liflendirme .....                                | 7   |
| 1.2.7. Lif Tutkallama.....                              | 7   |
| 1.2.8. Lif Kurutma .....                                | 7   |
| 1.2.9. Liflevha Taslağının Oluşturulması.....           | 8   |
| 1.2.10.Ön Presleme .....                                | 8   |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.11.Sıcak Presleme .....                                           | 8  |
| 1.2.12.Lif Klimatizasyonu .....                                       | 9  |
| 1.2.13.Zımparalama ve Boyutlandırma.....                              | 10 |
| 1.3. Problemin Tanımı .....                                           | 11 |
| 1.4. Çalışmanın Amacı .....                                           | 12 |
| 1.5. Çalışmanın Kapsamı .....                                         | 13 |
| 1.6. Çalışmanın Adımları .....                                        | 14 |
| 1.7. Orijinal Katkıları .....                                         | 14 |
| 1.8. Çalışmanın Organizasyonu .....                                   | 15 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....                                            | 17 |
| 2.1. Ağaç Bazlı Panel Levha .....                                     | 17 |
| 2.2. Matematiksel Modelleme.....                                      | 19 |
| 3. MATERYAL VE METOD.....                                             | 23 |
| 3.1. Materyal .....                                                   | 23 |
| 3.1.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller .....                         | 23 |
| 3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar.....                           | 26 |
| 3.2. Metod .....                                                      | 27 |
| 3.2.1. Regresyon Analizi.....                                         | 27 |
| 3.2.2. Matematiksel Modelleme.....                                    | 28 |
| 3.2.3. Hedef Programlama .....                                        | 29 |
| 3.2.3.1. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları .....                 | 29 |
| 3.2.3.2. Hedef Programlama Çeşitleri .....                            | 30 |
| 3.2.3.3. Ağırlıklı Hedef Programlama .....                            | 31 |
| 3.2.3.4. Öncelikli Hedef Programlama .....                            | 31 |
| 3.2.3.5. Minmax Hedef Programlama .....                               | 32 |
| 3.2.4. Doğrusal Programlama .....                                     | 33 |
| 3.2.4.1. Doğrusal Programlamanın Temel Varsayımları.....              | 34 |
| 3.2.4.2. Doğrusal Programlamada Modelin Oluşturulması<br>Süreci ..... | 37 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.5. Çalışmaya ait Matematiksel Model.....                                                  | 38 |
| 3.2.5.1. Varsayımlar .....                                                                    | 38 |
| 3.2.5.2. Notasyon.....                                                                        | 38 |
| 3.2.5.3. Tek Amaçlı Matematiksel Modeller.....                                                | 42 |
| 3.2.5.4. Önceliklendirmeli Hedef Programlama.....                                             | 48 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                                                  | 53 |
| 4.1. Veri analizi.....                                                                        | 53 |
| 4.2. Regresyon Modeli .....                                                                   | 55 |
| 4.3. Hata Hesaplama .....                                                                     | 63 |
| 4.4. Matematiksel Model .....                                                                 | 65 |
| 4.4.1. Tek Amaçlı Matematiksel Model Sonuçları .....                                          | 65 |
| 4.4.1.1. Maliyeti Minimum Yapan Ürün Reçete<br>Parametrelerinin Belirlenmesi .....            | 65 |
| 4.4.1.2. Çekme Mukavemetini Maksimum Yapan Ürün Reçete<br>Parametrelerinin Belirlenmesi ..... | 70 |
| 4.4.1.3. Eğilme Direncini Maksimum Yapan Ürün Reçete<br>Parametrelerinin Belirlenmesi .....   | 71 |
| 4.4.1.4. Yüzey Sağlamlığını Maksimum Yapan Ürün Reçete<br>Parametrelerinin Belirlenmesi ..... | 72 |
| 4.4.2. Amaç Fonksiyonlarının Önceliklendirilmesi .....                                        | 74 |
| 4.4.2.1. Birinci Öncelikli Amaç Olarak Maliyet Minimizasyonu<br>Model Çözümü; .....           | 74 |
| 4.4.2.2. İkinci Öncelikli Amaç Olarak Çekme Mukavemeti<br>Maksimizasyonu Model Çözümü .....   | 75 |
| 4.4.2.3. Üçüncü Öncelikli Amaç Olarak Eğilme Direnci<br>Maksimizasyonu Model Çözümü .....     | 76 |
| 4.4.2.4. Dördüncü Öncelikli Amaç Olarak Yüzey Sağlamlığı<br>Maksimizasyonu Model Çözümü ..... | 77 |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 4.4.3. Tek Amaçlı Model Sonuçları İle Çok Amaçlı Model |    |
| Sonuçlarının Karşılaştırılması.....                    | 78 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                           | 81 |
| 5.1. Sonuçlar .....                                    | 81 |
| 5.2. Öneriler .....                                    | 82 |
| KAYNAKLAR.....                                         | 85 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                          | 91 |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. Çalışmada Kullanılan Verilerin Değişim Aralığı.....                | 26 |
| Çizelge 4.1. Çekme Mukavemetinin Regresyon Modeline Ait Özet Çizelge.....       | 56 |
| Çizelge 4.2. Çekme Mukavemeti İçin Varyans Analizi Çizelgesi.....               | 57 |
| Çizelge 4.3. Çekme Mukavemeti İçin Katsayıları Çizelgesi .....                  | 57 |
| Çizelge 4.4. Eğilme Direnci Regresyon Modeline Ait Özet Çizelge.....            | 58 |
| Çizelge 4.5. Eğilme Direnci İçin Varyans Analizi Çizelgesi.....                 | 59 |
| Çizelge 4.6. Eğilme Direnci İçin Katsayıları Çizelgesi .....                    | 59 |
| Çizelge 4.7. Yüzey Sağlamlığı Regresyon Modeline Ait Özet Çizelge.....          | 60 |
| Çizelge 4.8. Yüzey Sağlamlığı İçin Varyans Analizi Çizelgesi.....               | 60 |
| Çizelge 4.9. Yüzey Sağlamlığı İçin Katsayıları Çizelgesi .....                  | 61 |
| Çizelge 4.10. Yenilenmiş Yüzey Sağlamlığı İçin Katsayıları Çizelgesi.....       | 62 |
| Çizelge 4.11. Yenilenmiş Yüzey Sağlamlığı İçin Varyans Analizi Çizelgesi .....  | 62 |
| Çizelge 4.12. Yenilenmiş Yüzey Sağlamlığı İçin Katsayı Çizelgesi .....          | 62 |
| Çizelge 4.13. Çekme Mukavemeti İçin Hata Değeri .....                           | 63 |
| Çizelge 4.14. Eğilme Direnci İçin Mutlak Hata Değerleri.....                    | 64 |
| Çizelge 4.15. Yüzey Sağlamlığı İçin Mutlak Hata Değerleri .....                 | 64 |
| Çizelge 4.16. Toplam Maliyeti Minimum Yapan Reçete Değeri .....                 | 69 |
| Çizelge 4.17. Ürün Reçetesinde Kullanılan Hammaddelerin Birim Fiyatları.....    | 69 |
| Çizelge 4.18. Çekme Mukavemetini Maksimum Yapan Reçete Değeri.....              | 70 |
| Çizelge 4.19. Eğilme Direncini Maksimum Yapan Reçete Değeri.....                | 71 |
| Çizelge 4.20. Yüzey Sağlamlığını Maksimum Yapan Reçete Değeri .....             | 72 |
| Çizelge 4.21. Matematiksel Modellerin Karşılaştırılması.....                    | 73 |
| Çizelge 4.22. Maliyeti Minimum Yapan Hedef Programlama Sonucu. ....             | 75 |
| Çizelge 4.23. Çekme Mukavemetini Yapan Hedef Programlama Sonucu .....           | 76 |
| Çizelge 4.24. Eğilme Direncini Maksimum Yapan Hedef Programlama<br>Sonucu ..... | 77 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.25. Yüzey Sağlamlığını Maksimum Yapan Hedef Programlama      |    |
| Sonucu .....                                                           | 78 |
| Çizelge 4.26. Tek Amaçlı Model ve Önceliklendirmeli HP Sonuçları ..... | 80 |



|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Ahşap esaslı kompozit levhaların yoğunluk, partikül büyüklüğü ve proses tipine göre sınıflandırılması ..... | 3  |
| Şekil 1.2. MDF Sıcak Pres Üretim Hattı.....                                                                            | 9  |
| Şekil 1.3. MDF Yıldız Soğutucu.....                                                                                    | 10 |
| Şekil 3.1. Sertleştirici oranı tutkal jelleşme süresi grafiği.....                                                     | 24 |
| Şekil 3.2. Katı Parafin .....                                                                                          | 25 |
| Şekil 4.1. MDF Levhada Kullanılan Tutkal ve Sertleştirici Miktarları.....                                              | 53 |
| Şekil 4.2. MDF Levhada Kullanılan Emülsiyon ve Parafin Miktarları.....                                                 | 54 |
| Şekil 4.3. MDF Levhada Kullanılan Formaldehit Tutucu ve Çam Miktarları .....                                           | 54 |
| Şekil 4.4. MDF Levhada Kullanılan Huş ve Meşe Miktarları .....                                                         | 55 |
| Şekil 4.5. MDF Levhada Kullanılan Akçaağaç ve Okaliptüs Miktarları .....                                               | 55 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

|      |                                                        |
|------|--------------------------------------------------------|
| MDF  | : Orta Yoğunluklu Lif Levha(Medium Density Fiberboard) |
| UF   | : Üre Formaldehit                                      |
| MF   | : Melamin Formaldehit                                  |
| DP   | : Doğrusal Programlama                                 |
| DPP: | : Doğrusal Programlama Problemleri                     |
| HP:  | : Hedef Programlama                                    |



## 1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızlı ilerleyişi, küreselleşme, kitle iletişim araçlarının yaygınlığı ve kullanımının artması, ulaşımın ağlarının yaygınlaşması şirketlerin rekabetini üst seviyeye çıkarmıştır. Bu rekabetten ayakta kalmak isteyen şirketler müşterinin beklentilerini karşılamak için yüksek kaliteli ürün veya hizmet üretirken karlılıklarını sağlayabilmek için de maliyetlerini düşürmeye çalışmaktadırlar. Müşteri beklentilerini karşılamak için üretilen üründe fazla hammadde kullanmak üretim maliyeti arttıracak ve kaynak israfı oluşacaktır. Maliyet düşürmek için hammadde kullanımı kısmak ise istenilen kalite seviyelerinin dışında daha düşük segmentte bir ürün oluşmasına yol açabilmektedir. Orta yoğunluklu lif levha (Medium Density Fiberboard- MDF) ana hammaddesi ağaç olan kompozit bir üründür. Ana hammaddesi olan ağaç her ne kadar yenilenebilir kaynak olsa da fazla kullanımı kaynak israfı ve maliyet artışına neden olmaktadır. Hem müşteri beklentileri karşılayacak hem de minimum maliyetle üretilecek ürün mevcut rekabet koşullarında şirketler için kaçınılmaz olmaktadır.

Mevcut pazar payını korumak hatta pazar payını arttırmak için işletmeler daha düşük maliyetle ve daha kaliteli olarak üretmek hedefi güderler. Kalite, bir ürün veya hizmetin özelliklerin belirlenen ya da olması muhtemel ihtiyaçları karşılama derecesidir. Bir ülkenin kalkınmışlık ve gelişmişlik seviyesinin somut kanıtı, şüphesiz ürettiği ürün ve hizmetlerin kalitesidir (Bozkurt,1995). Ürün girdi parametrelerinin doğru değerlerde olmasıyla ve devamlılığının sağlanması ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişkenliklerin azalmasına yol açacaktır. Bu azalma da kalitenin sürekliliğinin sağlanmasına neden olmaktadır. Süreklilik sağlanan kalite de ürüne ve markaya olan sadakati arttırmaktadır.

20.yüzyılın başında başlayan sanayileşme sürecinde masif ağaç malzemelerine göre daha ekonomik, daha dayanıklı malzemelerin üretilmesi sentetik tutkalların ortaya çıkmasıyla mümkün olmuştur (Dağlı, 2002). Daha

ekonomik ürün arzı beraberinde talebi de arttırdığından kıt kaynakların kullanımıyla müşteri beklentilerini karşılayan ürün üretmek çok daha önemli hale gelmiştir. İşletmelerin maliyetlerini minimize etmeleri ürünün rekabetçi fiyatla pazarda yerini almasına imkân sağlayacaktır. Bu durumda da ürüne olan talep artacağından, işletmelerin gelirlerini ve buna bağlı olarak da karlılıklarını arttırmaları olanağı ortaya çıkacaktır.

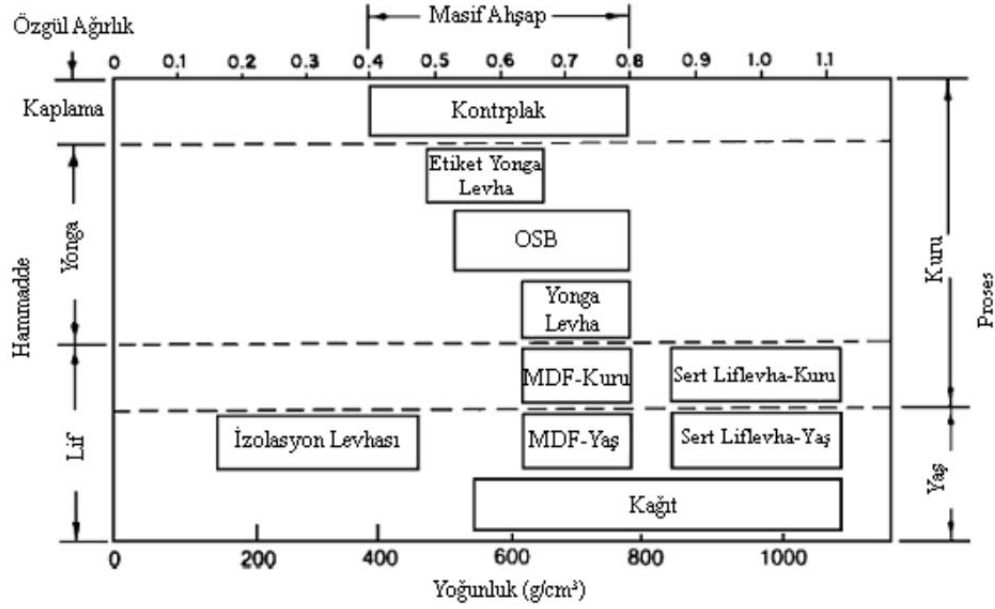
Bu tez çalışmasının birinci bölümünde sektörle ilgili genel bilgiler, problemin tanımı ve literatür çalışmalarına değinilmiştir. İkinci bölümde kullanılan materyal ve yöntemler ele alınmıştır. Üçüncü bölümde bir MDF işletmesinde regresyon analizi ve matematiksel model uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise uygulamanın sonuçları belirtilip, sonuçlar ile ilgili önerilerden bahsedilmiştir.

### 1.1.MDF Kavramı

Lif levha yapısında lignoselülozik madde bulunan odun ya da diğer hammaddelerden elde edilen liflerin tabii özelliklerinden faydalanılıp veya yapıştırıcı ilave edilerek elde edilen levha taslağının kurutulup preslenmesiyle elde edilen üründür (Eroğlu ve Usta, 2000). MDF üretimi kuru üretim yöntemi, yarı kuru üretim yöntemi ve yaş üretim yöntemiyle yapılmaktadır. Günümüzde ise üretimlerin tamamına yakını kuru yöntemle yapılmaktadır.

ISO 818 (1975)' e göre; doğal yapışma ve keçeleşme özelliğine sahip lignoselülozik liflerden elde edilen, kalınlığı 1,5 mm'den fazla olan homojen yapıda levhalar" olarak tanımlanmaktadır.

Ahşap esaslı kompozit levha ürünlerinin partikül büyüklüğü, yoğunluk ve proses tipine göre sınıflandırılması Şekil 1.1 de gösterilmiştir. Sol taraftaki dikey eksen kullanılan partikül büyüklüğünü gösterirken, yatay eksen ürünlerin yoğunluklarını göstermektedir. Sağ taraftaki dikey eksen proses tiplerini göstermektedir (Suchsland ve Woodson, 1986).



Şekil 1.1. Ahşap esaslı kompozit levhaların yoğunluk, partikül büyüklüğü ve proses tipine göre sınıflandırılması

Lif levhalar yoğunluk, liflerin yönlendirilmesi, üretim yöntemi, kullanılan tutkal tipi ve levhanın yüzey yapısına göre sınıflandırılmaktadır.

#### 1.1.1. Yoğunluğuna Göre Lif Levhalar

Yoğunluğuna göre Lif levhaların sınıflandırılması aşağıdaki gibidir(TS EN 316, 2011);

- Düşük yoğunlukta lif levhalar, LDF(Light Density Fiberboard) (400-560 kg/m<sup>3</sup>)
- Orta yoğunlukta lif levhalar, MDF( Medium Density Fiberboard) (560 kg/m<sup>3</sup> – 900 kg/m<sup>3</sup>)
- Yüksek yoğunlukta lif levhalar, HDF(High Density Fiberboard) (≥ 900 kg/m<sup>3</sup>)

**1.1.2. Liflerin Yönlendirmesine Göre Lif Levhalar**

Lif levhaların liflerin yönlendirmesine göre sınıflandırılması aşağıdaki gibidir;

- Lifleri yönlendirilmeden üretilen lif levhalar
- Lifleri yönlendirilerek üretilen lif levhalar

**1.1.3. Üretim Yöntemine Göre Lif Levhalar**

Üretim yöntemine göre lif levhaların sınıflandırılması aşağıdaki gibidir;

- Yaş yöntemle üretilen lif levhalar
- Yarı kuru yöntemle üretilen lif levhalar
- Kuru Yöntemle üretilen lif levhalar

**1.1.4. Kullanılan Tutkal Tipine Göre Lif Levhalar**

- Üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen lif levhalar
- Melamin formaldehit ve üre formaldehit tutkalının karışımından üretilen lif levhalar
- Fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen lif levhalar
- İzosiyanat tutkalı kullanılarak üretilen lif levhalar

**1.1.5. Yüzey Yapısına Göre Lif Levhalar**

- Bir yüzü düzgün, diğer yüzde elek izi olan lif levhalar
- İki yüzü düzgün lif levhalar

**1.2.MDF Üretim Aşamaları**

MDF ürünü en, boy, kalınlık, yoğunluk, kullanım alanı, yangına/neme dayanaklılık, yüksek freze kalitesi vb. gibi kriterlere göre çok fazla çeşitlilik gösterse bile üretim prosesi temel olarak değişmemektedir. MDF üretimindeki adımlar aşağıdaki gibidir:

**1.2.1. Hammadde Kabuk Soyma**

MDF üretiminde iğne yapraklı(ibreli) ve geniş yapraklı odunlar kullanılmaktadır. Bu hammaddelerin kullanım oranları üründen beklenen performansa ve hammadde stok durumuna bağlıdır. Odun kabuğunun kısa lifli olması nedeniyle lif üretimine olumsuz etkisi vardır, kabuklu lifin PH kontrolü zorlaşmakla beraber MDF üretiminde kullanılan kabuk oranının artması levhanın eğilme direnci, su alma ve şişme değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Kabuk soymak için günümüzde en sık kullanılan teknoloji, döner tipte tamburlu kabuk soyma makineleridir.

**1.2.2. Yongalama**

Kabuktan arındırılan odunun yongalara ayrılması ve kesilebilmesi için bıçak kesme kuvvetinin odunun direncinden fazla olması gerekmektedir. Yongalama şutundan dik bir şekilde bıçaklara giren odunlar ortalama 20x25x5 mm boyutlarında kesilirler. Yongalama işleminde yonga ebatlarının homojen olması, odun liflerinin kopmaması ve ezilmemesi istenir. Yonga ebatlarının homojen olmaması durumunda, boyutları birbirinden farklı yongaların pişirme kazanında pişirilmesi sırasında küçük yongalar fazla pişirilmeden dolayı hemen liflenirken, büyük formdaki yongalar liflenmeye karşı direnç gösterir ve liflenmeleri daha uzun sürer. Yongalanacak odunun yongalama makinesinin kesici bıçakları ile yaptığı aç verim üzerinde oldukça etkilidir. Yongalama yapan bıçak açısının 30°-35° aralığında olması yeterli olacaktır.(Eroğlu ve Usta, 2000)

**1.2.3. Yongaların Depolanması**

Yongalama makinesinden çıkan yongalar yonga taşıma bantlarıyla farklı farklı çelik veya betondan imal edilmiş olan silolara alınırlar. Yongaların silolardan boşaltılması şineke, hidrolik boşaltma sistemi veya döner helezon sisteminden herhangi biri ile olmaktadır. Yongaların siloda bekleme süreleri 10-15 günü geçmemelidir. Silolarda depolama lif levha üretimin kesintisiz yapılmasını ve

kontrol altında tutulmasını sağlar. Levhalardaki ağaç karışım oranları silolardaki döner helezonların devir sayıları ile ayarlanıp levhada hangi türden ne kadar ağaç olacağı bu sayede kontrol edilmektedir.(Ayrılmış, 2000)

#### 1.2.4. Yonga Eleme

Silolarda depolanan yongalar bantlar yardımıyla elenmek üzere eleklerle gönderilir. Yonga elekleri; döner silindirli, sallantılı, çalkantılı ve sarsıntılı çalkantılı eleklerdir. Lif levha endüstrisinde en çok kullanılan sarksak elek de denilen elek tipi üç katlı sarsıntılı eleklerdir. Yongalama esnasında tamamen oluşmayan homojenlik elek sayesinde sağlanmaktadır. Eleme ile, büyük boyutlu yongalar, kıymıklar, kırıntı, toz ve kabuklar ayrılmaktadır. Eleme sırasında en üstteki elek üzerinde toplanan büyük boyutlu parçalar tekrar yongalanmak üzere taşıma bantları ile yongalama ünitesine gönderilir. En alttaki elekte ise istenen boyutların altındaki toz ve küçük parçalar kazan dairesinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Orta kattaki elek üzerinde toplanan yongalar ise üretimde kullanılmaktadır.

#### 1.2.5. Yonga Yıkama

Yonga eleme makinesinde elenen yongalar, içlerinde bulunabilecek kum, ufak taş parçaları gibi istenmeyen maddelerden temizlenmek üzere yonga yıkama makinesine gönderilmektedir. Yongalar yıkanmadığı takdirde, liflendirme sırasında defibratör (refiner) diskleri üzerindeki segmentler bu maddelerden dolayı aşınabilmekte, buna bağlı olarak yüksek akım çekerek daha fazla elektrik sarf etmekte ve çalışma süreleri kısalmaktadır. Ürün içindeki bu malzemeler nedeniyle müşterideki ağaç işleme makinelerinin testerelerinin körelmesine sebep vermektedir.

**1.2.6. Liflendirme**

Lif levha endüstrisinde genel olarak üç farklı liflendirme teknolojisi kullanılmaktadır. Bunlar; mekanik liflendirme yöntemleri (taş mekanik liflendirme ve defibratörle mekanik liflendirme), kimyasal – mekanik yöntemler (Biffar Değirmeni ve Boja – Jung Defibratörü) ve termal mekanik yöntemler (Masonit Yöntemi ve Asplund Defibratör Yöntemi) olarak ifade edilmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Liflendirme işleminden önce yongalara sıcak buhar verilerek yongalar yumuşatılır. Sonrasında pişirme kazanına konik vidalı bir konveyör ile beslenirler. Vidalı konveyörün önündeki piston ile yongalara sıkıştırılır, bu sayede yongaların ezilmesi sağlanırken pişirme kazanındaki buharın da vidalı konveyöre girmesi de engellenmiş olur.

Lif üretimi yongaların 150-180 °C'ye kadar ısıtılması sonucunda odun ve diğer lignoselülozik maddelerde meydana gelen yumuşama etkisi esaslarına dayanmaktadır. Lif üretiminde liflerin orijinal yapısı ve kimyasal bileşimi aynı kalmaktadır ve verim %90-95 seviyelerindedir.

**1.2.7. Lif Tutkallama**

MDF üretim prosesinde tutkallama iki farklı yöntem ile yapılmaktadır.

1. Defibratör çıkışında yer alan enjektörler ile lifler kurutma borusuna girerken tutkallanması şeklindedir.
2. Liflerin önce kurutulup sonrasında tutkallama makinesine gelip, tutkallama makinesinde tutkallanması şeklindedir.

**1.2.8. Lif Kurutma**

Defibratör çıkışında tutkal ve diğer kimyasallar ilave edilen lifler, pnömatik olarak buhar basıncı yardımıyla kurutucuya gönderilir. Lifler kurutma ünitesinde sıcak hava akımı ile kurutulurken bir taraftan da kuru lif siklonuna

aktarılmaktadır. Kurutma işleminin ardından liflerin rutubet oranları yaklaşık %10 olmaktadır.

#### **1.2.9. Liflevha Taslağının Oluşturulması**

Kuru lif siklonundan gelen lifin tekdüze bir halde serilmesi ve liflerin prese girmeden liflevha taslağının her tarafının tek biçimli olması gerekmektedir.

#### **1.2.10. Ön Presleme**

Liflevha taslağı, serme bandı üzerindeki çift taraflı basınç silindirleri arasından geçerken ön presleme işlemine maruz kalmaktadır. Ön presleme sırasında taslağa herhangi bir sıcaklık uygulanmayıp, basınç uygulanmaktadır. Taslağa basınç uygulayan pres PVC esaslı bir malzeme olup üzerindeki delikler basınca maruz kalan taslaktaki sıkışan havanın atılması sağlayıp yüzeyin düzgünlüğünü sağlamasıdır.

#### **1.2.11. Sıcak Presleme**

Sıcak prese gelen taslak istenilen levha kalınlığına kadar sıkıştırılması için basınç uygulanırken, taslaktaki tutkalın sertleşmesi için gerekli olan sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Presteki ilk bölümde yüksek basınç, düşük sıcaklık uygulanır. İkinci bölümde düşük basınç yüksek sıcaklık uygulanır. Son bölümde ise basınç levha kalınlık ayarına göre yapılırken sıcaklık ilk iki bölümden daha düşük tutulur. Şekil 1.2.'de MDF sıcak pres üretim hattı görülmektedir.



Şekil 1.2. MDF Sıcak Pres Üretim Hattı

#### 1.2.12. Lif Klimatizasyonu

Sıcak pres işleminden çıkan levhalar istiflenmeden önce ilk sıcaklıklarını atmalıdırlar. Bu sebeple pres sonrası “Yıldız Soğutucu” denilen ünitelerde 30-45 dakika kadar bir süre bekletilip sonrasında zımparalama öncesi bekleyecekleri alanda istiflenirler. Şekil 1.3.’te prestan çıkıp ilk sıcaklıklarını atmaları için yıldız soğutucuda bekleyen levhalar görülmektedir.



Şekil 1.3. MDF Yıldız Soğutucu

#### 1.2.13. Zımparalama ve Boyutlandırma

Yıldız soğutucuda ilk sıcaklıklarını atan levhalar tutkalın sertleşmesi ve kondisyonlama işleminin devam ettiği için 1-4 gün süreyle istif olarak beklemektedir. Bekleme sırasında meydana gelen en önemli değişimler levha rutubeti ve sıcaklığın levhanın bütününde dengeye gelmesidir. Bekleme süresi dolan levhalar zımparalama işlemi ile levhadaki kalınlık farklılıkları ortadan kaldırılıp düzgün ve pürüzsüz bir yüzey kazandırılmaktadır (Boztürk, Göker, 1985). Levhanın boyutlandırılması işlemi zımparalamadan hemen sonra diagonal testereler ile istenilen ölçülere getirilmektedir.

### 1.3.Problemin Tanımı

İşletmelerin ana amaçları kar elde etmek ve kâr etme amacına yönelik faaliyetleri sürdürmektir. Kâr, en basit tanımıyla işletmelerin belli bir dönem sonunda elde ettiği toplam gelirler ile katlandığı toplam giderler arasındaki farktır. Bu fark pozitifse kâr, negatifse zarar olarak isimlendirilir. İşletmeler gelirlerini arttırarak kârlarını arttırabilecekleri gibi maliyelerini düşürerek de bunu gerçekleştirebilirler. Maliyeti en küçüklenecek unsurlardan bir tanesi de üretim maliyetidir. Ürünü meydana getiren hammadde ve yardımcı malzemelerin kullanımı ürünün istenen kalite parametrelerini sağlaması için gerektiğinden çok kullanılması üretim maliyetini arttırmaktadır. Aksi durumda ise ürün ağacındaki hammadde ve yardımcı malzemelerin gerektiği kadar kullanılmaması durumunda kalite parametrelerini sağlayamamış olacağından ürünün ıskartaya ayrılması söz konusu olacaktır, ıskartaya ayrılan ürünler başka sınıf bir ürün olarak değerlendirilse bile yine de üretim maliyetlerinin artması durumu oluşacaktır. Üretimde kullanılan ağaç hammaddelerin kullanım oranları ürünün yoğunluğunu etkilemektedir, bu sebeple ağaç hammaddesini yetersiz kullanmak üründen beklenen yoğunluk değerine ulaşamamasına neden olur. Kullanılan kimyasalların da ürün çıktı parametreleri üzerindeki etkileri göz önüne alındığında optimum karışım oranın belirlenmesi önem arz etmektedir.

Doğru hammaddeyi gerektiği kadar kullanmak kadar bu girdi parametrelerinin hangi çıktı parametreleri üzerinde etkisi olduğunun da tespiti oldukça önemlidir. Mevcut durumda ürünlerde kullanılacak hammadde miktarı bireysel tecrübeye bağlı olarak karar verilmekte ve reçete optimizasyonuna yönelik herhangi bir formülasyona göre yapılmamaktadır. Üretim başladıktan sonra yapılan laboratuvar testlerine göre reçeteye müdahale edilmektedir. Bu durum da yukarıda bahsedilen istenen değerleri sağlayamayan ürün ya da şartları sağlayan ama bunu sağlarken gerektiğinden fazla hammadde/yardımcı malzeme kullanılması durumu söz konusu olmaktadır. Kullanılan yardımcı malzemeler kimyasal yapılarından dolayı çevreye ve insan sağlığına zararlı gaz üretebilmektedir. Bu kapsamda da

düşünüldüğünde, ürün reçetelerindeki yardımcı malzeme miktarlarının optimum değerlerinin belirlenmesi çevre ve insan sağlığı için de büyük önem arz etmektedir.

Yapılan üretimler kullanılan reçetelerin ideal olmaması ana hammadde olan ağaç stoklarının tükenmesi ve daha sonraki üretimlerde bu hammaddelerinin kullanılamaması sorununa neden olmaktadır. Doğru hammaddeyi olması gereken miktarda kullanmak hammadde stokunu yönetmek için de büyük önem arz etmektedir. Hammadde stok kısıtı nedeniyle doğru ürüne doğru reçete kullanılmaması durumunda sonraki üretimlerdeki diğer ürünler için de yanlış hammadde kullanımına neden olacaktır. Ürünlere olan talep rassal olmaktadır. Ürün reçetesinde kullanılacak malzeme belirlenirken talep ve talebe bağlı depodaki ağaç hammadde stoklarının dikkate alınması gerekmektedir.

MDF levha üretildikten sonra ağaç yoğunluğunun sağlanması ile beraber reçetenin performans parametrelerini çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı değerleri göstermektedir. Bu parametreler için standartların belirlediği ya da müşteri beklentisine göre belirlenen değerlerin sağlanamaması durumunda ürün müşteriden şikâyet olarak geri dönüp müşteri ve pazar kaybı yaşanması söz konusu olmaktadır. Bu sebeple istenilen değerleri sağlayamayan ürünler ıskartaya ayrılmakta bu durum da üretim maliyetinin artmasına neden olmaktadır. İşletmeler ürünü üretirken geleneksel yöntem olan tecrübeye dayanarak reçete oluştururlar. Bu durum her zaman istenen sonucu vermemektedir ve bu sonuçların yüksek maliyetleri olmaktadır. Bu maliyetler ürünün daha rekabetçi bir fiyatla satılmasını ve daha fazla kâr elde edilmesine engel oluşturmaktadır. Bu çalışma ile rassal talebe sahip bir ürün için, ürün reçetesiyle ilgili tüm parametreler ve firmada yer alan ağaç stok miktarları entegre olarak ürün karışımının belirlenmesi için model oluşturulacaktır.

#### 1.4. Çalışmanın Amacı

İşletmelerin en büyük maliyet kalemlerinden birim ürün reçete maliyetinin düşürülmesi işletmelerin ana hedeflerinden biridir. Birim ürün reçete maliyetinin

yanında çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığının sağlanması da çalışmada ürünün üretiminde dikkate alınan hedeflerdir Üretim maliyetini oluşturan ürün reçetesinin gereğinden az ya çok olmasının neticeleri “Problemin Tanımı” başlığında değinildiği gibi olmaktadır.

Bu çalışma ile;

- Firmadaki kayıt altında tutulan üretim raporları ve test sonuçların incelenerek reçete oluşturma sistematığının geliştirilmesi
- Üretimde kullanılacak hammaddelerin belirlenmesi
- Hammadde çeşitleri ile kalite ve üretim parametreleri arasındaki fonksiyonel ilişkilerin oluşturulması
- Firma stoklarının ürün reçetelerinin oluşturulmasında dikkate alınması,
- Matematiksel model yaklaşımı ile müşteri taleplerinin minimum maliyetlerle ve ürünün gerektirdiği standartlarda sağlanması amaçlanmaktadır.

### 1.5. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada üretim maliyeti minimize edilirken, çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığının maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçlara ulaşacak ürün reçetesinin belirlenmesi temel kapsamı oluşturmaktadır.

Çalışmada ele alınan ürün maliyeti uygulanan reçetedeki miktarlar ve birim fiyatlarıyla oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak dikkate alınan kalite parametreleri ise TSE gereği sağlanması gereken standartlardır. Bu çalışmanın kapsamını MDF üretim tesisinin üretim ve test raporları incelenerek, girdi parametreleri ile çıktı parametreleri arasındaki fonksiyonel ilişkinin tespiti ve buna bağlı olarak matematiksel model kurulum optimizasyon programı ile modelin çözümü oluşturmaktadır.

**1.6. Çalışmanın Adımları**

Çalışmanın adımları aşağıdaki gibidir.

1. Çalışma kapsamında incelenecek problemin konusunun belirlenmesi
2. Belirlenen çalışma konusu ile ilgili olarak daha önce yapılan çalışmaların araştırılması ve yapılan bu çalışmalarda hesaba katılan parametrelerin, oluşturulan formüllerin, çözüm metotlarının ve kullanılan programların incelenmesi
3. Problemin daha önce yapılan çalışmalardan farklı yönlerinin ortaya konulması
4. Problemin amacı, kısıtlar, karar değişkenleri ve kullanılacak verilerin belirlenmesi ve elde edilmesi
5. Genel matematiksel modelin kurulması
6. Kullanılan verilerin istatistiksel analiziyle girdi ve çıktı parametreleri arasındaki matematiksel ilişkilerin çıkarılması
7. İşletmeden alınan veriler ile kurulan matematiksel modelin uygulanması
8. Elde edilen modeldeki sonuçların yorumlanması
9. Gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulması şeklindedir.

**1.7. Orijinal Katkıları**

Çalışmanın orijinal katkıları aşağıda verilmiştir:

1. Lif levha sektöründe MDF üretimindeki ürün reçetesinin matematiksel modellemeye dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir.
2. MDF üretiminde ürün reçetesinin oluşturulmasında hammadde stok durumunun göz önüne alan model ortaya konulmuştur.
3. Matematiksel modelleme yardımıyla MDF levhası için üretim maliyetinin optimum değeri hesaplanmıştır.

4. Matematiksel modelleme yardımıyla MDF levhası için çıktı parametrelerinin optimum değerleri hesaplanmıştır.
5. MDF imalatında mevcut olan deneyime dayalı imalat yerine bilimsel tekniklere dayalı imalata geçilecektir.

### 1.8. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın bundan sonra kalan dört bölümünde sırasıyla; ikinci bölümde lif levha ve yonga levha prosesi üzerine yapılan çalışmalar ve matematiksel modelleme konularında yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılmak amacıyla toplanan veriler, kurulan modeller ve kullanılan metotlar açıklanmıştır. Dördüncü bölümde kullanılan metotlar ve yapılan uygulama sonucu elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Beşinci ve son bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve ileride yapılacak çalışmalara önerilerde bulunulmuştur.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür araştırması ağaç bazlı panel levha üretiminde yapılan çalışmalar ve matematiksel modelleme çalışmaları şeklinde iki başlık şeklinde incelenmiştir.

### 2.1.Ağaç Bazlı Panel Levha

Ağaç bazlı panel levha üretimi inceleyen çalışmalar hakkındaki bilgiler ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

Akbulut ve ark.(2000), MDF üretiminde farklı ağaç karışım oranlarının yüzey emilimi ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. % 100 meşe, %100 kayın, %100 çam ve %40 meşe-%40 kayın-%20 çam karışımı kullanılarak üretilen deneme levhalarına yapılan testlerde %100 meşe ile üretilen levhaların yüzey emilim değeri düşükken, yüzey pürüzlülüğünün yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Yapılan korelasyon hesaplamasında üretilen levhaların yüzey emilimi değerleri ile yüzey pürüzlülüğü değerleri arasındaki  $R^2$  değeri 0,82 olarak bulunmuştur.

Khedari ve ark.(2004), izolasyon yonga levhasının düşük maliyetle üretilmesi için durian kabuğu ve hindistan cevizi lifinin farklı oranlarda karıştırarak levhada istenen şartları sağlayacak oranının ağırlıkça %10 durian kabuğu, %90 hindistan cevizi ile üretilen levha olduğunu ortaya koymuşlardır. Özellikle ısı iletkenlik katsayısının düşük olması nedeniyle elde edilen levhanın tavan ve duvar izolasyonunda kullanılabileceğini sonucuna varmışlardır.

Akgül ve Çamlıbel(2006), ormangülü ağacını (*R. ponticum* L.) farklı karışım oranlarıyla MDF üretiminde kullanıp ürünün fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisi araştırmışlardır. Çam ve meşe karışımıyla karşılaştırılan %100 ormangülü ağacıyla üretilen levhaların eğilme direncinin, elastikiyet modülünün, sertlik dayanımının daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Çekme direncinin çam/meşe karışımına yakın olmakla beraber düşük olduğu tespit edilmiştir.

Gul ve ark.(2006), çalışmalarında MDF levhanın mekanik ve fiziksel performansına sıcaklığın etkilerini araştırmışlardır. Farklı sıcaklarda üretilen MDF levhalarda ön ısıtma süresi, Üre-Formaldehit reçinesi, wax, pres süresi, levha ebatı gibi parametreler sabit tutulmuş ve levhalar 140, 160, 170 ve 185° C sıcaklıklarda üretilmiştir. Çekme direnci, eğilme direnci, su alma ve şişme değerlerinin hepsinin 140 °C'den 170 °C'ye kadar iyileştiğini gösterse de 185 °C'de çekme dayanımı hariç diğer değerlerin azaldığı tespit edilmiştir.

Çöpür ve ark.(2008), MDF üretiminde farklı oranlarda fındık iç ve dış kabuğu kullanarak ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. %100 ağaç lifiyle üretilen levha ile farklı oranlarda iç kabuk ve yine farklı oranda dış kabuk kullanılan levhaların özellikleri karşılaştırılmıştır. %10 iç kabuk kullanılan levhaların ve %30 dış kabuk kullanılan levhaların istenen mekanik özellik değerlerini taşıdığı sonucu elde edilmiştir.

Garay ve ark.(2009), yonga levha üretiminde pirinç, mısır, buğday anızı ve pirinç kabuğunu Monteri Çamı(Pinus radiata) ile karıştırarak levhanın çekme dayanımı, su alma ve şişme değerlerine etkilerini incelemişlerdir. 600 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklu ve %10 oranında tutkal ile üretilen levha değerleri yeterli değilken, levha yoğunluğu 650 kg/m<sup>3</sup>'e çıkarılıp tutkal miktarı da %15 olarak verildiğinde su alma ve şişme değerlerinin iyileştiğini saptamışlardır.

Eltawahni ve ark. (2011), çalışmalarında MDF levhalarının karbondioksit lazerle kesilmesi için Deney Tasarımı yöntemine dayanarak süreç parametrelerinin seçimini incelemişlerdir. Lazer gücü, kesim hızı, gaz basıncı ve odak noktası pozisyonu incelenen parametreler olmuştur. Çalışmada, kesme kalitesi; üst bölge kesme yolu genişliği, kesilen parça pürüzlülüğü ve işlem masrafları açısından ele alınarak optimum kesim kombinasyonları yüksek seviye işlem çıktısı ve düşük seviye kesim işlem maliyeti ortaya konulmuştur.

Boran ve ark.(2011), çalışmalarında farklı amin bileşikleri kullanarak MDF üretimindeki formaldehit emisyonunu azaltılmasını incelemişlerdir. Çalışmada Propylamine, Cyclopentylamine, Methylamine, Ethylamine kullanılmıştır. 170

°C’de üretilen tüm amin bileşikleriyle yapılan üretimlerde ürünün su alma, şişme, elastikiyet modülü gibi fiziksel ve mekanik özelliklerin arttığı gözlemlenmiştir. Perforatör metoduyla yapılan formaldehit ölçümlerinde düşük değeri Methylamine ile üretilen levhalarda sağlandığı gözlenmiştir (%1,4 Methylamine solüsyon oranıyla 2.11 mg/100 g emisyon ölçülmüştür).

Çolak ve ark.(2015), maliyet düşürmek ve atıkların değerlendirilmesi için yonga levha üretiminde kontraplak atıklarının kullanılması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Farklı oranlarda çam yongası ve çam yongası ile üretilmiş kontraplak atığından elde edilen levhalarda çekme mukavemeti, eğilme direnci ve şişme değerleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kontraplak atığı oranı artan levhalarda çekme mukavemeti ve eğilme direnci değerleri negatif yönde değişirken, şişme değerinde pozitif yönde değişkenlik olduğunu belirtmişlerdir.

Song ve ark.(2018), MDF üretiminde alternatif hammadde olarak bambu liflerini farklı oranlarda kullanarak levhanın mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, bambu lifleri kullanılan levhaların bazı özelliklerinin istenilen şartları sağladığını tespit etmişlerdir.

## 2.2. Matematiksel Modelleme

Matematiksel model için yapılan çalışmalar hakkındaki bilgiler ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

Yang ve Tarn (1997), Tornalama işlemleri için kesici parametrelerini optimize ettiği çalışmalarında S45C çelik kütüklerin tornalanmasında kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Her biri üç seviyeli üç temel faktörün tornalama işlemleri üzerindeki etkilerin neler olduğunu görmek için L9(3<sup>4</sup>) ortogonal dizinini kullanmışlardır. Deneylerden elde edilen veriler ise varyans analizi(ANOVA) yardımıyla analiz edilmiştir.

Dovey ve Matthews(1998), yaptıkları çalışmalarda matkap uçlarının fiziksel buhar biriktirme yöntemini(PVD) kullanarak titanyum nitrür kaplama

uygulamasında kayıp fonksiyonu performans istatistiği olarak kullanmışlardır. Taguchi metodu uygulaması sonucunda her ne kadar kaplama maliyetlerinde yüzde 25 oranında bir artış olsa da matkap uçlarının pasta tutma dirençlerinde yüzde 40'lık kalite artışı elde edilmiştir.

Karayılmazlar ve Balaban (2000), farklı MDF ürünlerinin üretildiği işletmelerde hangi üründen ne kadar üretilmesi gerekliliğiyle ilgili yaptıkların çalışmada tam sayılı doğrusal programlama modeli ile işletmenin belli bir dönem için hangi ürün çeşidinden ne kadar üreteceği, ne kadar satacağı, ne kadar ürünü stoklayacağını üretim, stok ve satış kısıtlarını dikkate alarak oluşturdukları model ile optimum üretim planı ile satışlardan elde edilecek geliri maksimize edecek şekilde belirlemişlerdir.

Yıldız ve ark.(2002), çalışmalarında *Pleurotus ostreatus* türü kültür mantarın üretiminde mantar alt tabaksında lignoselülozik atıklarının farklı kullanım oranlarının verime olan etkisi araştırmışlardır. İhlamur yaprağı, fındık yaprağı, titrek kavak yaprağı, saman, talaş ve atık kağıdı farklı oranlarda karıştırıp verime etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar varyans analiz ve Duncan testi ile değerlendirilmiştir ve en yüksek verimin %121,2 ile %50 saman+ %50 kağıt atığı karışımından elde edildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Gülenç ve Karabulut (2005), doğrusal hedef programlama modelini kullanarak lastik üretim miktarını üzerine çalışmışlardır. Stok/talep oranının istenen miktarda olması, üretim bütçesinin aşılmaması, depo kullanım oranının, mesai oranının minimizasyonu ve işletme kapasitesinin maksimizasyonu hedeflerine ulaşmak için optimum üretim miktarını bulmaya çalışmışlardır.

Ghosh ve ark. (2005), çalışmalarında hedef programlama ve oyun teorisini kullanarak pirinç üretiminde verimliliğe doğrudan etkisi olan gübredeki fosfor, nitrojen ve potasyum oranın optimum oranlarının belirlenip optimum gübrenin elde edilmesi üzerine çalışmışlardır.

Xing ve ark.(2007), üç katmanlı mdf üretiminin orta katmanında kabuk kullanmanın levha özellikleri üzerindeki etkisini cevap yüzey yöntemini kullanarak

araştırmışlardır. Bunu yaparken kara ladin kabuğu kullanılan orta katmanın tüm levhanın %50,60 ve 70'ini oluşturan ve lifteki reçine oranının %6, 8 ve 10'unu oluşturan levhalarla deney tasarımı yapılmıştır. Çıktı parametreleri olarak eğilme dayanımı, elastikiyet modülü, kopma dayanımı, su alma ve şişme değerlerini belirlemişlerdir. Tüm faktörlerin ayrı ayrı çıktı parametreleri üzerine etkileri olduğu, tüm etkileşimli faktörlerin ise anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Pati ve ark. (2008), çalışmalarında kağıt geri dönüşüm dağıtım ağı için çok amaçlı karışık tamsayılı hedef programlama modeli geliştirmişlerdir. geri dönüşümlü kâğıt dağıtım şebekesi için Karışık Tamsayılı Hedef Programlama (KTHP) modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile tersine lojistik maliyetlerinin azaltılması, kaynak noktalarında ayrıştırma sayesinde ürün kalitesinin artırılması ve atık kâğıt geri dönüşümü ile çevresel fayda sağlanması amaçlamaktadır.

Prakash ve ark.(2012), MDF panellerin yüzey pürüzlülüğünde delme parametrelerinin etkilerini Taguchi metodu ve regresyon modeliyle incelemişlerdir. Bu parametreler mil hızı, matkap ucu çapı ve matkap besleme hızı olarak ele alınmıştır. Üç seviyeli üç faktörün yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini bulmak için farklı kesim şartlarındaki Taguchi  $L_{27}$  ortogonal dizinini kullanmışlardır. ANOVA ve Taguchi methodu sonucuna göre yüzey pürüzlülüğüne en etkili parametrenin besleme hızı olduğunu tespit etmişlerdir. İkinci etken matkap ucu çapı, en az etkenin mil hızı olduğunu sonucu elde edilmiştir.

Akman ve Özkan(2011), sac imalatında karşılaşılan yapışma sorununa deney tasarımı yöntemi ile çözüm aramışlardır. Çalışma düşük karbonlu yassı çelik imalatı yapılan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Firmanın yeni devreye alınan tavlama fırınında tavlanan bobinlerin sonrasında gerilim giderme haddelenmesi sırasında birbirlerine yapıştığı ve buna bağlı olarak fire verildiği gözlemlenmiştir. Çalışmada bobin sarma gergisi, hidrojen miktarı ve ısıtma işlem sıcaklığı probleme etki eden faktörler olarak ele alınmıştır; bu parametreler ayrı ayrı ve ikili etkileşimler şeklinde incelenmiştir. İkili etkileşimlerin regresyon modeline dahil

edildiğinde  $R^2$  değerinin %98,79 gibi yüksek bir oran olduğu görülmüştür, p anlamlılık seviyesi ise 0,056 olmuştur. Parametreler etkileşim olmadan incelendiğinde ise  $R^2$  %82,17 hesaplanmış ve p anlamlılık değeri 0,019 olmuştur. Bu sebeple ikili etkileşimler çoklu regresyon denkleminde dahil edilmemiştir.

Eleli(2014), doğrusal programlama modeli ile un üretiminde minimum maliyet ile maksimum kaliteyi sağlayacak buğday karışımı optimizasyon çalışmasında gluten yüzdesi, direnç, elastikiyet, protein yüzdesi gibi istenen değerleri sağlayacak şekilde 9. Adımda çözüme ulaşmıştır.

#### **Literatür değerlendirmesi;**

Önceki çalışmalar incelendiğinde ağaç panel sektöründe yapılan çalışmalarda hammaddelerin bir veya bir kaçının kullanım oranının değişiminin sonuçların incelendiği çalışmalar bulunmuştur. Yapılan çalışmalarda hedef programlama konularının ayrı olarak ele alındığı çok fazla çalışma da vardır. Fakat literatür değerlendirildiğinde hedef programlama ile ağaç panel endüstrisinde hammadde karışım oranını belirleyen çalışmaya rastlanılmamıştır. Tez kapsamında hammadde stok miktarını dikkate alarak hedef programlama ile hammadde karışım optimizasyonu ile literatüre katkıda bulunulacaktır.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Çalışmada Kullanılan Materyaller

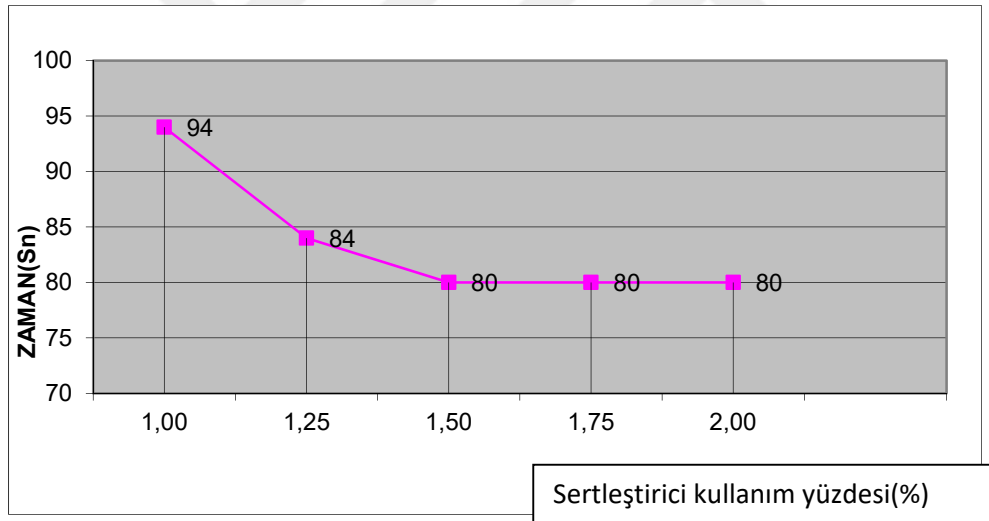
Ana konusu ağaç bazlı kompozit levha (MDF) üretiminde kullanılan girdi parametrelerinin optimizasyonu olan bu çalışma Adana organize sanayi bölgesinde bulunan Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii Adana tesislerinde yapılmıştır. MDF üretiminde temel proses sıcak preslemedir. MDF orta yoğunlukta bir lif levha olup, termomekanik olarak odun veya diğer lignosellülozik hammaddelerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra yaklaşık % 9-11 oranında termosetting (sıcakta sertleşen) karakterli bir yapıştırıcı ile tutkallanarak sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle oluşan bir malzemedir (Göker, 2002). MDF üretiminde kullanılan ana bileşimler şunlardır.

Ağaç: MDF üretimde yonga ile beraber temel hammaddedir. Çam(Pinus), Akçaağaç(Acer), Okaliptus(Eucalyptus), Meşe(Quercus), Kayın(Fagus) gibi pek çok türü endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de plantasyon yöntemiyle yetiştirilme yapılmamaktadır, Orman Genel Müdürlüğü ana tedarikçi konumundadır.

Tutkal: MDF üretiminde Üre Formaldehit ve Melamin-Üre formaldehit olmak üzere en yaygın iki çeşit tutkal kullanılmaktadır. Üre ve formaldehitin reaksiyona girmesiyle ortaya çıkan yapıştırıcıya üre formaldehit reçinesi denir. Farklı hazırlama ve tepkime şartları nedeniyle neredeyse sayısız çeşitte üre formaldehit reçinesi oluşturulabilir. Üre formaldehit reçinesi termosetting özellik göstermekte olup aminoplastik yapıştırıcıların en önemli grubunu oluşturur (Dunky, 1998). Fiyat avantajı ve düşük kürleşme süresi nedeniyle sektörde Üre-formaldehit tutkalın kullanımı daha yaygındır. levhadaki liflerin birbirine yapışmasını sağlar, rengi şeffaftır. Farklı konsantrasyon ve mol oranlarında

üretilecek levhaya karıştırılır. Tutkalın MDF üretimindeki ana görevi liflere kısmen penetre olup liflerin birbirine yapışmasını sağlamaktır.

Sertleştirici: Termoset özelliğinden dolayı reaksiyonu PH değeri yükseltilerek(8 ve üstü) yarıda kesilen tutkalın sıcaklık basınç altında reaksiyonuna devam edebilmesi için sertleştirici kullanılmaktadır. düşük PH değerine sahip(2,5) sertleştirici ile tutkalın PH'ı 7'nin altına çekilerek tekrar reaksiyona girmesini başlatmayı sağlamaktadır. Lif levha üretiminde sertleştirici olarak çoğunlukla amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) ve amonyum sülfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) kullanılmaktadır. Sertleştirici miktarının tutkal miktarına yüzdesine bağlı olarak artmasının reaksiyon süresine etkisini gösteren grafik Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Sertleştiriciler üretim prosesinde yaygın olarak defibratör çıkışında tutkal ile birlikte liflere uygulanmaktadır.



Şekil 3.1.Sertleştirici oranı tutkal jelleşme süresi grafiği

**Formaldehit Tutucu:** Tutkalda bulunan formaldehit, MDF üretimi sırasında serbest olarak levhada bulunmaktadır. Formaldehit miktarlarının seviyesine bağlı olarak üretilen levhalar E1 ve E2 olarak isimlendirilmektedir. E1'in ifade ettiği anlam direnç ve su ilişkileri bakımından en az EN normlarını karşılayan, bunlara ilave olarak sağlık açısından ekseriyetle kanser riski ve alerjik

astım oluşumuna sebep olması bakımından risk içermeyen ürün anlamına gelmektedir. Formaldehitin insan sağlığı üzerine olan etkisinin en aza indirilmesi için Avrupa Birliği ülkelerinde serbest formaldehit miktarı 3-8 mg/100 gr levha olarak öngörülmektedir. Üstelik “E0” olarak kabul edilen 2 mg/100 gr levhaya doğru bir geçiş söz konusudur (Roffael, 1993)

Parafin: Kimyasal formülü  $C_nH_{2n+2}$  olan ve n değeri 24-36 arasında değişebilen parafin mumu tarihte ilk kez 1829 yılında Carl Reichenbach tarafından odun katranından elde edilmiştir. Sonrasında bütümlü tabakalardan; 1867'den sonra ise petrolden elde edilmiştir. 1947'de de sentetik parafin mumu geliştirilmiştir(<https://www.kimyaborsasi.com.tr/tr/p/parafin-kati-99.html>).

Parafin, tepkime vermeyen oksik etki taşımayan, su geçirgenliği olmayan, renksiz ve yakıt olarak kullanılabilen maddelerdir. Lif levha üretiminde levhanın su alarak şişmesini engellemek için kullanılan hidrofobik bir maddedir. Parafin levhanın su almasını tamamen engellemekle beraber su alma hızını yavaşlatırlar.



Şekil 3.2.Katı Parafin

Emülsiyon parafin : Parafinin belirli oranda su ile karıştırılmış formudur.

Ürün üzerinde parafin ile aynı özellikleri gösterir.

Çalışmada dikkate alınan veriler;

Adana’da faaliyet gösteren büyük ölçekli bir MDF Tesisinin 18X2100X8400 mm ebatında masterboard MDF levhasının 2017-2018 yıllarına ait 109 adet üretim ve kalite kayıtlarından bazı veriler toplanmıştır. Bu verilerin minimum ve maksimum değerleri Çizelge 3.1.’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1.Çalışmada Kullanılan Verilerin Değişim Aralığı

| Parametre               | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|-------------------------|---------------|----------------|
| Tutkal(kg)              | 38,7          | 58,0           |
| Sertleştirici(kg)       | 0,13          | 0,27           |
| Emülsiyon(kg)           | 0             | 1,04           |
| Parafin(kg)             | 0             | 1,03           |
| Formaldehit tutucu(kg)  | 1,49          | 6,53           |
| Çam(kg)                 | 74,41         | 458,25         |
| Huş(kg)                 | 0             | 132,74         |
| Meşe(kg)                | 0             | 130,72         |
| Akçaağaç(kg)            | 0             | 304,5          |
| Olakiptus(kg)           | 0             | 119,63         |
| Çekme mukavemeti(N/kg)  | 0,33          | 0,64           |
| Eğilme mukavemeti(N/kg) | 24,9          | 35,51          |
| Yüzey sağlamlığı(N/kg)  | 1             | 1,65           |

### 3.1.2. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Çalışmada gerekli olan hammadde kullanım oranları, ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerini ortaya koyan çekme mukavemeti, eğilme dayanımı ve yüzey sağlamlığı bilgileri Excel veri tabanında depolanmıştır. Çekme mukavemeti, eğilme dayanımı ve yüzey sağlamlığı değerlerinin ürün karışım oranlarına bağlı

regresyon analizi SPSS 17.0 for Windows Evaluation Version ile hesaplanarak elde edilen model matematiksel modelin kurulmasında kullanılmıştır.

Elde edilen matematiksel modelin çözümü için Gams paket programı kullanılmıştır. Gams, GAMS Development Corp. şirketi tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayılı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir eniyileme yazılımı ve modelleme dilidir (Gams Development Corp., 2019).

### 3.2. Metod

#### 3.2.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile ayırıcı niteliği ortaya koyan bir istatistik analiz tekniğidir (Şahinler,2000).

Bağımlı değişken bir adet ve bağımsız değişken de bir adet ise bu analiz basit regresyon analizi; bağımlı değişken bir adet ve bağımsız değişken iki veya daha fazla ise bu analiz çoklu regresyon analizi; bağımlı değişken iki veya daha fazla ise bu analize de çok değişkenli regresyon analizi denir (Büyüköztürk, 2018).

Çoklu doğrusal regresyon analizinin modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} \quad (3.1)$$

$Y_i$ : Bağımlı değişken

$X_i$ : Bağımsız değişken

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

$\beta_0$  : Doğrunun y eksenini kestiği noktanın değeridir ve “kesme noktası” olarak anılır.

$\beta_i$  : Doğrunun eğimidir “regresyon katsayısı” olarak anılır.

Çoklu doğrusal regresyonda bağımlı değişkene tesir eden birden çok bağımsız değişken olabilmektedir ve bu tür çalışmaların iki genel amacı vardır:

- Bağımlı değişkene tesir ettiği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkene daha çok tesir ettiğini bulmak
- Bağımlı değişkene tesir ettiği belirlenen değişkenler yardımıyla bağımlı değişken değerini kestirmek.

### 3.2.2. Matematiksel Modelleme

Matematiksel modelleme genel anlamda gerçek yaşamdan veya gerçek yaşam durumlarından ele alınan bir problemin matematiksel yöntemler kullanarak çözümlenmesi sürecidir. Başka bir ifadeyle gerçek yaşam durumlarının matematik sembollerine aktararak ifade edilmesi sürecidir (Gravemeijer, 2002).

Matematiksel model türlerine göre kullanılan çözüm yaklaşımlarından bazıları aşağıdaki gibidir (Şen,2011);

- Doğrusal programlama
- Tamsayılı doğrusal programlama
- Dinamik programlama
- Doğrusal olmayan programlama
- Hedef programlama
- Sezgisel yöntemler

Bu çalışmada kısıtlayıcı linear (doğrusal) matematiksel model kurulmuştur. Oluşturulan model bir minimizasyon problemi olup fiyat, stok gibi bir takım parametrelere alt ve üst sınır tanımlanmıştır. Matematiksel modelin çözümünde amaç fonksiyonunun minimizasyonu kadar kısıtların da sağlanacağı bir çözüm değeri elde edilir.

### 3.2.3. Hedef Programlama

Hedef programlama(HP); hedeflerin bütün özelliklerinin ortaya konduğu ve karar vericinin, hedeflerin ulaşılamayan kısmının en küçüklemesi ile ilgilendiği karar verme problemlerini ele alan analitik bir yöntemdir. HP, esnek kullanımıyla amacın en büyüklemesini veya en küçüklemesini içeren problemlerden farklı olarak birden çok ve çelişen amaçların amaç fonksiyonunda yer almasını sağlamaktadır. Bu sayede belirlenen hedeflerden en az sapmalı ve tatmin edici çözümü bulmaya yardımcı olmaktadır (Türkoğlu, 2017).

Sanayi ve hizmet sektöründe karşılaşılan problemlerde ulaşılmak istenilen pek çok amaç bulunmaktadır. Bu amaçlar birbirleriyle ters düşebildiği gibi aynı doğrultuda da olabilmektedir. Böyle durumlarda araştırmacılar amaçları senkronize bir şekilde gerçekleştirebilmek için çok amaçlı programlama yöntemlerine kullanılmaktadırlar. Bu yöntemlerden biri olan hedef programlamanın ortaya çıkışı 1961 yılında ilk tanımlaması yapılarak gerçekleşmiştir (Charnes ve Cooper, 1961).

Hedef programlama, çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için karar vericiler için ideal bir çözüm kümesine ulaşmayı sağlayan önemli bir yöntemdir.

Hedef programlama modellerinde Sapma Değişkenleri dikkate alınmaktadır. Belirlenen faaliyet başarısı ile çözümle gerçekleşen faaliyet başarısı arasındaki fark sapma değişkeni olarak ifade edilmektedir. Sıklıkla  $d_i^-$  ve  $d_i^+$  ifadeleriyle gösterilirler. Sapma değişkeni, hedef kısıtındaki sağ taraf sabitinden değişen miktarı göstermekte olup sapmanın sıfır olması hedefin tam anlamıyla sağlandığını göstermektedir. Sapma değişkeni negatif değer alamaz.

#### 3.2.3.1. Hedef Programlamanın Uygulama Alanları

Hedef programlama, çok amaçlı karar verme problemleri içerisinde günlük yaşamda uygulanabilirlik açısından bakıldığında çok etkili olup pek çok problemin çözümünde kullanılmaktadır.

HP uygulamaları aşağıdaki alanlarda kullanılmaktadır(Alp, 2008);

- Ulaştırma problemleri
- Montaj hatları dengeleme
- Üretim planlama
- İşgücü planlama
- Kaynak planlama
- Enerji planlama
- Toplam kalite yönetimi
- Reklam programlama
- Akademik planlama
- Ulaştırma ve lojistik
- Sağlık hizmetleri planlama
- Proje seçimi ve yönetimi
- Finansal planlama
- Satış-pazarlama
- Yatırım planlama
- Kuruluş yeri seçimi
- İş değerlendirme
- Beslenme problemleri
- Tarımsal üretim ve yönetim.

### 3.2.3.2. Hedef Programlama Çeşitleri

Literatürde kullanılan en yaygın hedef programlama çeşitleri aşağıdadır (Romero, 2004):

- Ağırlıklı hedef programlama
- Öncelikli hedef programlama
- Minmax hedef programlama

**3.2.3.3. Ağırlıklı Hedef Programlama**

Ağırlıklı hedef programlamada, karar vericilerin talepleri net bir şekilde belirlendiğinde hedefler üzerinde belirli bir ağırlık verilir. Amaç fonksiyonunda sapmaların bu ağırlıklı toplamı minimize edilir. Hedeflerin sapma değişkenlerinin amaç fonksiyonunda farklı derecede önem ağırlıkları vardır. Karar vericiler tarafından; sapma değişkenlerinin önem seviyelerine göre, negatif ve pozitif sapmalara ağırlıklar atanır. Ağırlıklı hedef programlama; sapma değişkenleri arasında ödünleşime izin verir ve bunu yaparken, sapmaları ağırlıklandırır. Ağırlıklı hedef programlama modeli aşağıdaki gibidir (Romero,2014).

$$\text{Min } Z = \sum_i^k (v_i d_i^- - v_i d_i^+) \quad (3.5)$$

s. t.

$$f_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad i = 1, \dots, Q, x \in C_s \quad (3.6)$$

Modeldeki ifadeler şöyledir;

$f_i(x)$ ,  $x$ 'in doğrusal bir fonksiyonudur ve  $b_i$ , amaç için hedef değerdir.

$d_i^-$  ve  $d_i^+$  hedef değerden negatif ve pozitif sapma değerleridir.

$u_i$  ve  $v_i$  sapmaların pozitif ağırlıklarını göstermektedir.

$C_s$  doğrusal programlama içerisinde bulunan kısıtların kümesidir.

**3.2.3.4. Öncelikli Hedef Programlama**

Karar vericiler amaç için ağırlık değerleri vermediği durumlarda çözüm opsiyonları arasında birini seçmek durumunda kalabilmektedirler. Böyle durumlarda karar verici her bir amacın diğerinden üstünlüğü ortaya koyacak bir sıralama yapmasını gerektirir. Modelin çözüm sürecinde hedefler önceliklendirilme sırasına göre yazılır. Daha sonra belirlenen bu önceliklere göre sırasıyla model çözümlenerek her öncelikten elde edilen sonuç modele bir sonraki önceliği çalıştırabilmek için ilave edilir. En son öncelik çalıştırılana kadar bu çözüm işlemi devam eder. Bu durum her bir önceliğin sıralı küçültülmesi olarak

tanımlanmaktadır. Öncelikli hedef programlamanın matematiksel gösterimi aşağıdaki şekildedir (Lee, 1972):

$$\min_a = [\sum_{q \in pr_1} (\alpha_q \cdot d_{q^-} + \beta_q \cdot d_{q^+}), \dots, \sum_{q \in pr_r} (\alpha_q \cdot d_{q^-} + \beta_q \cdot d_{q^+}), \dots, \sum_{q \in pr_Q} (\alpha_q \cdot d_{q^-} + \beta_q \cdot d_{q^+})] \quad (3.7)$$

s. t.

$$f_s(x) (=, \leq, \geq) bs \quad s \in S \quad (3.8.)$$

$$g_q(x) + d_{q^-} - d_{q^+} = tv_q \quad q \in pr_r, r \in Q \quad (3.9.)$$

$$d_{q^-}, d_{q^+} \geq 0 \quad q \in pr_r \quad (3.10)$$

Modeldeki ifadeler şöyledir;

$pr_r$ ; r'inci öncelik seviyesinde bulunan hedefler kümesi indeksini belirtir.

$\alpha_q$ ,  $d_{q^+}$  için,  $\beta_q$  ise  $d_{q^-}$  için ağırlık faktörleridir.

$f_s(x)$ ; sistem kısıtıdır.

$g_q(x)$ ; hedef kısıtıdır.

$tv_q$ ; q hedefinin amaç değerini ifade eder.

### 3.2.3.5. Minmax Hedef Programlama

Minmax hedef programlama, ağırlıklı hedef programlama yaklaşımına benzemektedir. Ancak bu yaklaşımda; amaç hedeften sapmaların ağırlıksal toplamalarının minimize edilmesi yerine, hedeften maksimum sapmanın minimize edilmesidir (Deb, 1999). Bu modelde hedefler tek tek gösterilmekte ve hedefler arasında önceliklendirme yapılmamaktadır (Güngör ve ark., 2011). Minmax hedef programlama modeli aşağıdaki gibi formüle edilmektedir (Verma ve ark., 2010).

$$\min \lambda_i \quad \lambda_i \geq 0 \text{ için}, \quad (3.11)$$

s. t.

$$Z_i(x) + d_{i^-} - d_{i^+} = G_i \quad (3.12)$$

$$\lambda_i \geq d_{i^-} - d_{i^+} \quad (3.13)$$

$$\lambda_i \geq d_{i+} - d_{i-} \quad (3.14)$$

$$x, d_{i+}, d_{i-} \geq 0 \quad x \in X \quad (3.15)$$

Modeldeki ifadeler şöyledir;

$d_i^+$  ; i'inci hedeften ( $G_i$ ) pozitif sapmayı,  $d_i^-$  ise i'inci hedeften ( $G_i$ ) negatif sapmayı ifade eder.

Eğer pozitif sapmanın ( $d_i^+$ ) herhangi bir değeri için ( $>0$ ), negatif sapma ( $d_i^-$ ) “0” değerini alıyorsa; amaç fonksiyonu değeri, hedef değerden daha büyük olur. Aynı şekilde, eğer negatif sapmanın ( $d_i^-$ ) herhangi bir değeri için ( $>0$ ) pozitif sapma ( $d_i^+$ ) “0” değerini alıyorsa; amaç fonksiyonu değeri, hedef değerden daha küçük olur.  $\lambda_i$ , maksimum sapmayı gösterir. Bu yaklaşımda, maksimum sapma ( $\lambda_i$ ) minimize edilir. Bu sebeple minmax hedef programlama olarak adlandırılır (Türkoğlu, 2017).

#### 3.2.4. Doğrusal Programlama

Doğrusal programlama(DP), kısıtlı kaynakların kullanımını optimum kılmak amacıyla tasarlanmış bir matematiksel modelleme yöntemidir. Tarım, sağlık, askerli alan, ulaşım sanayi, ekonomi hatta davranış bilimleriyle sosyal bilimler gibi alanlarda başarılı doğrusal programlama uygulamaları vardır. Yöntemin kullanışlılığı bilgisayar yazılımlarındaki ilerlemelerle daha da artmıştır. Gerçek hayatta doğrusal programlama, hesaplamalardaki yüksek verimliliğiyle, tam sayılı, doğrusal olmayan ve stokastik programlama gibi başka tip yöneylem araştırması modellerinin çözüm algoritmalarının geliştirilmesinin de temelini oluşturmuştur (Taha,2000).

DP yaklaşımı, doğrusal yapıdaki kısıtları ihmal etmeden, doğrusal yapıdaki amaç fonksiyonunu optimize etmeyi (maksimize etmeyi ya da minimize etmeyi) sağlayan, bu optimizasyonun (eniyileme) sonucunda karar değişkenlerinin aldıkları değerleri ortaya koyan bir yaklaşımdır. Doğrusallık kavramı DP probleminde bulunan faktörler arasında sabit bir oransal bağlantı olduğunu ifade etmektedir.

Herhangi bir değişkendeki değişim belirli bir oranda başka bir değişkende değişmeye sebebiyet vermektedir.

DP, 2. Dünya Savaşı sırasında askeri uygulamalarda kullanılmak amacıyla geliştirilmiş olan bir problem çözme yöntemidir. Savaş zamanı operasyonların uygulanabilmesi için oldukça kompleks problemlerin ivedi çözülmesi gerekmektedir. Örneğin, farklı cephelerde bulunması gereken asker sayısının belirlenmesi, geniş ve farklı alanlar dağılmış askerlerin yeme, içme, barınma gibi ihtiyaçlarının sekteye uğramadan karşılanması, havalanan bir savaş uçağının en kısa mesafeyi kat ederek belli hedefleri isabet sağlaması için izlemesi gereken rotanın belirlenmesi, vb. DP, başlangıçta askeri gereksinimler için geliştirilmiş olmakla beraber, günümüzde endüstriyel ve ekonomik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrusal Programlama Problemlerinin(DPP) çözümleri ile ilgili ilk çalışmalar Rus matematikçi L.B. Kantorovich ve Amerikalı matematikçi G.F. Dantzing tarafından yapılmıştır. L.B. Kantorovich (1939), DPP biçiminde formüle edilen bir çok uygulamalı problem üzerinde çalışmıştır. Dantzing (1947) tarafından geliştirilen Simpleks Yöntem DP alanındaki en büyük gelişmelerdendir. Hitchcock (1941), DPP'nin özel bir türü olan ulaştırma problemlerinin çözümü üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bir ekonomist olan G. Stigler (1945), en küçük maliyetli diyet problemi üzerinde çalışmalar yapmıştır. 1953 yılından sonra DPP'nin çözümü için yapılan teorik ve pratik çalışmalar hızlanmıştır. Bilgisayar teknolojisini ilerlemesi ile önerilen çözümlerin büyük ölçekli problemlere rahatlıkla uygulanması sağlanmıştır (<https://acikders.ankara.edu.tr/>, 2019).

#### 3.2.4.1. Doğrusal Programlamanın Temel Varsayımları

Doğrusal programlamada için beş temel varsayım söz konusudur, bunlar:

##### ✓ Doğrusallık

Doğrusal programlama probleminde, optimum çözümü elde edilmek istenen amaç ve kısıtlar, karar değişkenleri açısından doğrusal olmalıdırlar.

Doğrusal programlama probleminde, fonksiyona giren ve çıkan madde miktarları arasında oransal bir ilişki vardır. Örneğin, modelde çıkan madde miktarı iki katına çıkarılmak istenirse fonksiyona giren ilgili tüm madde miktarlarının iki katına çıkarılması yeterli olacaktır (Dantzig,1963).

✓ **Toplanabilirlik Varsayımı**

Bu varsayım modelde, değişik üretim faaliyetlerine kaynak olan üretim girdilerinin toplamının her bir işlem için ayrı ayrı kullanılan girdilerin toplamına eşit olduğu gösterir. Karar değişkenlerinin her birinin sağladığı katkılar toplanıp toplam katkıyı vermelidir. Bu varsayım ile amaç fonksiyonunun bağımlı değişkeninin değeri her bir faaliyet değerlerinin toplamına eşit olmalıdır(Özgüven,2003).

✓ **Bölünebilirlik Varsayımı**

Fonksiyondaki faaliyetlerin çözüm değerleri tam sayı olmayabilmektedirler ve bölünebilir olmalıdırlar. Bir başka ifadeyle, faaliyetler ondalıklı ya da kesirli değerler alabilmekte, kısıtlı kaynaklar kesirli ölçülerde kullanılabilmektedir.(Analı, 1999)

✓ **Kesinlik Varsayımı**

Doğrusal programlama modelindeki tüm parametrelerin bilindiği ve sabit oldukları kabul edilmektedir. Bu durumda, amaç fonksiyonu ve kısıtlardaki sayısal değerler kesindir, süreç içinde değişmezler.

✓ **Negatif Olmama(Pozitiflik) Varsayımı**

Doğrusal programlama modelinde kullanılan bütün değişkenlerin değerlerinin sıfır ya da sıfırdan büyük olması gerektiğini açıklamaktadır.

Bir DP Modeli şu temel bileşenlere sahiptir, bunlar:

1. Amaç fonksiyonu
2. Karar değişkenleri
3. Kısıtlar

Bu üç etkenin matematiksel olarak ifadesi ise aşağıdaki şekilde olmaktadır.

Amaç fonksiyonunu en büyükleyecek ya da en küçükleyecek  $x_1, x_2, \dots, x_n$  değerleriyle ifade edilen amaç fonksiyonu

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (3.2)$$

Kısıtlar

$$a_{1_1}x_1 + a_{1_2}x_2 + \dots + a_{1_n}x_n \leq (\geq) (=)b_1$$

$$a_{2_1}x_1 + a_{2_2}x_2 + \dots + a_{2_n}x_n \leq (\geq) (=)b_2$$

$$a_{m_1}x_1 + a_{m_2}x_2 + \dots + a_{m_n}x_n \leq (\geq) (=)b_m \quad (3.3)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \quad (3.4)$$

Amaç,  $Z$ 'yi en büyükleyecek veya en küçükleyecek  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  değişkenlerinin değerlerini bulmaktadır.(Ignizio, 1982)

Bu formülde kullanılan matematiksel ifadelerin açılımları şöyledir:

$i = 1, 2, \dots, m \rightarrow$  kısıt sayısı

$j = 1, 2, \dots, n \rightarrow$  karar değişken sayısı

$x_j$  = karar değişkenleri

$c_j$  = amaç fonksiyonu katsayıları

$a_{ij}$  = karar değişkeninin katkı sayıları

$a_{ij}$  =  $i$  kısıtındaki karar değişkeninin teknik katsayısı

$b_i$  = kaynak değeri

**3.2.4.2. Doğrusal Programlamada Modelin Oluşturulması Süreci**

Bir problem ile ilgili doğrusal programlama modeli kurulurken aşağıdaki durumlar gerçekleşmektedir.

**Karar Değişkenlerinin Belirlenmesi:** Bir problemin doğrusal programlama modelini kurarken ilk olarak karar değişkenlerinin tanımlanmasıyla başlanmaktadır. Herhangi bir doğrusal programlamada, karar değişkenleri alınacak kararları bütünüyle tanımlaması gerekmektedir. Sıklıkla karar değişkenleri  $X_j$  ( $j=1,2,...,n$ ) simgesiyle belirtilmekte olup alınacak kararlara ilişkin faaliyetlerin düzeyini göstermektedir.

**Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi:** Herhangi bir doğrusal programlama probleminde istenen, karar değişkenleri tarafından amaç fonksiyonunun en büyüklenmesi (gelir, kar vs.) ya da en küçüklenmesidir (maliyet, süre vs.) istenmektedir. En büyüklenen (maksimize edilen) veya en küçüklenen (minimize edilen) fonksiyon amaç fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Doğrusal programlama modelinden arzulanan sonucun alınabilmesi için amacın net olarak bilinmesi ve nicel olarak yazılımı gereklidir. Amaç fonksiyonu kazanca, getiriye karşılık belirlenmiş ise  $Z$ 'yi maksimum, masraflara, süreye ve maliyete karşılık belirlenmiş ise bu defa  $Z$ 'yi minimum yapan  $X_j$  değerleri araştırılmaktadır.(Bakoğlu, 1982)

**Kısıtların Belirlenmesi:** İşletmelerde üretim kaynakları ya da üretim faktörleri kısıtlıdır. Bir işletmede var olan makine kapasitesi, insan kaynağı, kapital, teknolojisi, enerji, hammadde, yarı mamul gibi üretim etkenleri ile bitmiş mamule olan talep de kısıtlıdır. Bu gerçeklik nedeniyle karar değişkenlerinin miktarı da sınırlı olacaktır. Esas olan bu kısıtlayıcılar altında amaç fonksiyonunu veya işletme başarısını mümkünlik sağlayan seviyede ürünleri üretmektir (Sarıaslan, 1986). Bunlar problemin amaç fonksiyonunun ana kısıtları olup problemin çözümüne ilişkin mevcut kaynakları belirtmektedir.

**İşaret kısıtlaması:** Doğrusal programlama modellerinde her bir karar değişkeninin sadece pozitiflik(negatif olmama) veya hem pozitif hem de negatif

değerde olabileceği varsayımı geçerli olmalıdır (Öztürk, 2005). Bütün doğrusal programlama modellerinde değişkenlerin pozitif olması koşulu bulunmaktadır. Bu koşul ile  $x_j \geq 0$  olmaktadır. Bu koşul doğrusal programlama probleminin birçok geçersiz çözümünü çabucak ortadan kaldırmakta ve en elverişli çözüme ulaşmayı büyük ölçüde sağlamaktadır.

### 3.2.5. Çalışmaya ait Matematiksel Model

Çalışmada dikkate alınan varsayımlar, notasyonlar, amaç fonksiyonları ve kısıtlar bu başlık altında verilmiştir.

#### 3.2.5.1.Varsayımlar

Matematiksel modellemede aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır.

1. Tek bir tip MDF levha ürünü dikkate alınmıştır.
2. Alınan test sonuçları, tüm partideki ürünler için geçerlidir.
3. Üretim hattı sürekli bir prosestir.
4. Ürün üretilirken üretim parametreleri sabittir.
5. Ürüne test yapılırken ortamının şartları sabittir.
6. Üretimde kullanılan ağaçların rutubetleri sabit olarak dikkate alınmıştır.
7. Üretimlerde çıkan fireler dikkate alınmamıştır.
8. Birim maliyetlerin zamanla sabit olduğu kabul edilmiştir.
9. Hammaddelerin depolama süresinde bozulmadığı kabul edilmiştir.

#### 3.2.5.2.Notasyon

Kurulan modelde kullanılacak notasyonlar aşağıdaki gibidir:

$Z_{maliyet}$  = maliyet fonksiyonu

$Z_{cekme}$  = Çekme mukavemeti fonksiyonu

$Z_{egilme}$  = Eğilme mukavemeti fonksiyonu

$Z_{yuzey\ saglamliğı} = \text{Yüzey sağlamlığı fonksiyonu}$

$X_g = \text{Ürün reçetesinde kullanılan tutkal miktarı (Kg)}$

$C_g = \text{Tutkal birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_h = \text{Ürün reçetesinde kullanılan sertleştirici miktarı (Kg)}$

$C_h = \text{Sertleştirici birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_{ep} = \text{Ürün reçetesinde kullanılan emülsiyon parafin miktarı (Kg)}$

$C_{ep} = \text{Emülsiyon parafin birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_{pr} = \text{Ürün reçetesinde kullanılan parafin miktarı (Kg)}$

$C_{pr} = \text{Parafin birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_c = \text{Ürün reçetesinde kullanılan formaldehit tutucu miktarı (Kg)}$

$C_c = \text{Parafin birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_p = \text{Ürün reçetesinde kullanılan çam miktarı (Kg)}$

$C_p = \text{Çam birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_b = \text{Ürün reçetesinde kullanılan huş miktarı (Kg)}$

$C_b = \text{Huş birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_o = \text{Ürün reçetesinde kullanılan meşe miktarı (Kg)}$

$C_o = \text{Meşe birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_m = \text{Ürün reçetesinde kullanılan akçaağaç miktarı (Kg)}$

$C_m = \text{Akçaağaç birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_e = \text{Ürün reçetesinde kullanılan okaliptus miktarı (Kg)}$

$C_e = \text{Okaliptus birim maliyeti(Tl/Kg)}$

$X_t = \text{Ürün reçetesinde kullanılan toplam ağaç miktarı (Kg)}$

$R_p$

$= \text{Çam için firmanın istediği toplam ağaç miktarı içindeki kullanım oranı}$

$R_h = \text{Sertleştirici için firmanın istediği tutkal miktarına oranı}$

$R_{pr_l}$

$= \text{Parafin için firmanın istediği toplam ağaç miktarına minimum oranı}$

$$R_{pr_u}$$

= Parafin için firmanın istediği toplam ağaç miktarına maksimum oranı

$$R_{ep_l}$$

= Emülsiyon için firmanın istediği toplam ağaç miktarına minimum oranı

$$R_{ep_u}$$

= Emülsiyon için firmanın istediği toplam ağaç miktarına maksimum oranı

$$R_{g_l}$$

= Tutkal için firmanın istediği toplam ağaç miktarına minimum oranı

$$R_{g_u}$$

= Tutkal için firmanın istediği toplam ağaç miktarına maksimum oranı

$$R_{c_l}$$

= Formaldehit tutucu için firmanın istediği toplam tutkal miktarına minimum oranı

$$R_{c_u}$$

= Formaldehit tutucu için firmanın istediği toplam tutkal miktarına maksimum oranı

$$X_{g_l} = \text{Tutkal kullanımı için alt limit}$$

$$X_{g_u} = \text{Tutkal kullanımı için üst limit}$$

$$X_{h_l} = \text{Sertleştirici kullanımı için alt limit}$$

$$X_{h_u} = \text{Sertleştirici kullanımı için üst limit}$$

$$X_{ep_l} = \text{Emülsiyon parafin kullanımı için alt limit}$$

$$X_{ep_u} = \text{Emülsiyon parafin kullanımı için üst limit}$$

$$X_{pr_l} = \text{Parafin kullanımı için alt limit}$$

$$X_{pr_u} = \text{Parafin kullanımı için üst limit}$$

$$X_{c_l} = \text{Formaldehit tutucu kullanımı için alt limit}$$

$X_{c_u}$  = Formaldehit tutucu kullanımı için üst limit

$X_{p_l}$  = Çam kullanımı için alt limit

$X_{p_u}$  = Çam kullanımı için üst limit

$X_{b_l}$  = Huş kullanımı için alt limit

$X_{b_u}$  = Huş kullanımı için üst limit

$X_{o_l}$  = Meşe kullanımı için alt limit

$X_{o_u}$  = Meşe kullanımı için üst limit

$X_{m_l}$  = Akçaağaç kullanımı için alt limit

$X_{m_u}$  = Akçaağaç kullanımı için üst limit

$X_{e_l}$  = Okaliptus kullanımı için alt limit

$X_{e_u}$  = Okaliptus kullanımı için üst limit

$d_i$  = Üretim talebi miktarı  $i = 1, 2, \dots, m$

$IP_i$  = Çam stok miktarı (kg)  $i = 1, 2, \dots, m$

$IB_i$  = Huş stok miktarı (kg)  $i = 1, 2, \dots, m$

$IO_i$  = Meşe stok miktarı (kg)  $i = 1, 2, \dots, m$

$IM_i$  = Akçaağaç stok miktarı (kg)  $i = 1, 2, \dots, m$

$IE_i$  = Okaliptüs stok miktarı (kg)  $i = 1, 2, \dots, m$

$Opt_{Mal}$  = Ürün için hesaplanan optimum maliyet değeri

$Opt_{Çekme}$  = Ürün için hesaplanan optimum çekme değeri

$Opt_{Eğilme}$  = Ürün için hesaplanan optimum eğilme değeri

$Opt_{Yüzey}$  = Ürün için hesaplanan optimum yüzey sağlamlığı değeri

$S_1^+$  = Optimum maliyet değerinden pozitif sapma miktarı

$S_1^-$  = Optimum maliyet değerinden negatif sapma miktarı

$S_2^+$  = Optimum çekme mukavemeti değerinden pozitif sapma miktarı

$S_2^-$  = Optimum çekme mukavemeti değerinden negatif sapma miktarı

$S_3^+$  = Optimum eğilme direnci değerinden pozitif sapma miktarı

$S_3^-$  = Optimum eğilme direnci değerinden negatif sapma miktarı

$S_4^+ =$  Optimum yüzey sağlamlığı değerinden pozitif sapma miktarı

$S_4^- =$  Optimum yüzey sağlamlığı değerinden negatif sapma miktarı

$Opt_{s_1^+} =$  Maliyet değerinden pozitif sapan miktarın optimum değeri

$Opt_{s_2^-}$

$=$  Çekme mukavemeti değerinden negatif sapan miktarın optimum değeri

$Opt_{s_3^-} =$

Eğilme direnci değerinden negatif sapan miktarın optimum değeri

$Opt_{s_4^-} =$

Yüzey sağlamlığı değerinden negatif sapan miktarın optimum değeri

$ideal_{çekme} =$  Çekme mukavemeti için belirlenen ideal değer

$ideal_{eğilme} =$  Eğilme direnci için belirlenen ideal değer

$ideal_{yüzey} =$  Yüzey sağlamlığı için belirlenen ideal değer

### 3.2.5.3. Tek Amaçlı Matematiksel Modeller

Çalışmada üretim maliyeti minimizasyonu, çekme mukavemeti maksimizasyonu, eğilme direnci maksimizasyonu ve yüzey sağlamlığı maksimizasyonu olmak üzere dört farklı amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır.

*Amaç Fonksiyonu 1: Ürün Maliyet Minimizasyonu:* Ürün maliyeti minimizasyonunun formülasyonu Eşitlik 3.16.'da verilmiştir. Eşitlik 3.16'da her bir ürünün maliyeti ile reçetede kullanılan miktarları çarpılmış ve bu değerlerin toplamı ile toplam maliyet formülü elde edilmiştir.

$$Z_{cost} = (X_g C_g + X_h C_h + X_{ep} C_{ep} + X_{pr} C_{pr} + X_c C_c + X_p C_p + X_b C_b + X_o C_o + X_m C_m + X_e C_e) \quad (3.16)$$

Kurulan matematiksel modellerde amaç fonksiyonu gerçekleştirilirken bir takım kısıtlar dikkate alınmaktadır.

Üretim hammadresi olan tutkal, çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı üzerinde etkili olan bir parametredir. Odun liflerinin birbirine yapışmasını sağlayan tutkalın standartlar ve deneyimlere bağlı olarak ürün reçetesinde belirli bir kullanım oranı bulunmaktadır. Bu kullanım miktarı için belirlenen alt-üst limit değerleri Eşitlik (3.17.)’de verilmiştir.

$$X_{gl} \leq X_g \leq X_{gu} \quad (3.17)$$

Tutkalın preste reaksiyonunu aktive eden sertleştirici için firmanın geçmiş üretim verileri dikkate alındığında kullanım miktarı için kısıt Eşitlik (3.18)’de verilmiştir.

$$X_{hl} \leq X_h \leq X_{hu} \quad (3.18)$$

MDF levhanın hidrofobik özellik kazanması için kullanılan emülsiyon parafinin geçmiş üretim verileri dikkate alındığında üretimde kullanılan emülsiyon miktarı için kısıt Eşitlik (3.19)’da verilmiştir.

$$X_{ep_l} \leq X_{ep} \leq X_{ep_u} \quad (3.19)$$

Parafin, levhanın su almasını engellediği için firmanın geçmiş üretim verileri dikkate alındığında üretimde kullanılan parafin miktarı için kısıt Eşitlik (3.20)’de verilmiştir.

$$X_{pr_l} \leq X_{pr} \leq X_{pr_u} \quad (3.20)$$

Tutkaldaki serbest formaldehiti düşürmek için kullanılan Formaldehit tutucu için firmanın geçmiş üretim verileri dikkate alındığında kullanım kısıtı Eşitlik (3.21)'de verilmiştir.

$$X_{c_l} \leq X_c \leq X_{c_u} \quad (3.21)$$

Üretimin ana hammaddesini oluşturan ağaç hammaddeleri olan çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüsün her birinin yoğunluğu farklı olduğu için levha yoğunluğuna etkileri de farklıdır. Bu farklılık kısıt olarak dikkate alındığında kullanım kısıtlar Eşitlik (3.22)-Eşitlik(3.26.)'da verilmiştir.

$$X_{p_l} \leq X_p \leq X_{p_u} \quad (3.22)$$

$$X_{b_l} \leq X_b \leq X_{b_u} \quad (3.23)$$

$$X_{o_l} \leq X_o \leq X_{o_u} \quad (3.24)$$

$$X_{m_l} \leq X_m \leq X_{m_u} \quad (3.25)$$

$$X_{e_l} \leq X_e \leq X_{e_u} \quad (3.26)$$

Ürün reçetesinde her bir çeşitten kullanılan ağaç miktarları toplanarak ürün reçetesindeki toplam ağaç kullanımını oluşturmaktadır ve bu Eşitlik 3.27'da verilmiştir.

$$X_t = X_p + X_b + X_o + X_m + X_e \quad (3.27)$$

Çam, levha üretiminde ana hammadde olan ağaçlar içinde en çok bulunan ve en ucuz olandır. Çok bulunması ve ucuz olması nedeniyle firma levhada kullanılan toplam ağaç karışımı içinde çam oranını belirli bir orandan az olmasını istememektedir. Bu durumu sağlayan çam kullanım miktarının toplam ağaç kullanım oranını gösteren denklem Eşitlik 3.28'de verilmiştir.

$$X_p \geq R_p X_t \quad (3.28)$$

Sertleştirici tutkalın pres içinde sıcaklık ve basınç altında reaksiyona girmesini başlatmak için kullanılıyor. Bu kullanım belirli bir oranın altındayken reaksiyon yüksek sürelerde tamamlandığı için sertleştirici kullanım miktarının tutkal kullanım oranını gösteren denklem Eşitlik 3.29’de verilmiştir.

$$X_h \geq R_h X_g \quad (3.29)$$

Parafin MDF levhaya hidrofobik özellik vermektedir. Bu özelliği verebilmesi için parafin miktarının toplam ağaç kullanımını minimum ve maksimum oranını gösteren denklem eşitlik 3.30’da verilmiştir

$$R_{pr_l} X_t \leq X_{pr} \leq R_{pr_u} X_t \quad (3.30)$$

Emülsiyon parafin, MDF levhanın su alma direncini arttırmaktadır ve bu özelliği verebilmesi için kullanım miktarının toplam ağaç kullanım minimum ve maksimum oranını gösteren denklem eşitlik 3.31’de verilmiştir

$$R_{ep_l} X_t \leq X_{ep} \leq R_{ep_u} X_t \quad (3.31)$$

Formaldehit tutucu levha oluşurken açığa çıkan formaldehiti yakalayıp levhadaki serbest formaldehit miktarını düşürmektedir. İçerdiği serbest formaldehit miktarına bağlı olarak sınıflanan levhanın istenen şartları sağlayabilmesi için firmanın formaldehit tutucu kullanım miktarının tutkal kullanım minimum ve maksimum oranını gösteren denklem eşitlik 3.32’de verilmiştir

$$R_{cl} X_g \leq X_c \leq R_{cu} X_g \quad (3.32)$$

Firmadaki stok miktarları ağaç bazında sürekli değişkenlik göstermektedir. Çalışmada incelenen ürüne olan talep de rassal olarak değişebilmektedir. Oluşturulan ürün reçetelerinin stok miktarları ile ilişkilendirilebilmesi için her bir talep anında stoktaki miktarların ürün reçetesindeki kullanım miktarına uygun olup olmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Çalışmada ürün reçetesi oluşturulurken odun hammaddesi olan çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs stokların baz alınacağı için stok miktarlarının kısıt olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu durum ürün reçetesinde kullanılacak ağaç miktarlarının, oluşan talebi karşılayacak miktarda stokunun olması gerektiği için talep ve ürün reçetesindeki kullanım miktarı çarpımının depodaki miktardan küçük olması şeklinde tanımlanmıştır. Bu kısıtlar Eşitlik (3.33)-(3.37)'de verilmiştir. Bu kısıtlar ile her bir partide üretilen ürünlerin homojenlik göstermesi, farklı hammadde karışımları ile üretilmesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. İlgili kısıtlar firmanın son 6 yıllık hammadde odun stokları incelenerek belirlenmiştir.

$$diX_p \leq IP_i \quad (3.33)$$

$$diX_b \leq IB_i \quad (3.34)$$

$$diX_o \leq IO_i \quad (3.35)$$

$$diX_m \leq IM_i \quad (3.36)$$

$$diX_e \leq IE_i \quad (3.37)$$

Çıktı değişkenleri olan çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı için firma ve TSE standartları belirli aralıklar tanımlamaktadır. Bu değerler standart ile belirlenebildiği gibi müşteri beklentileri doğrultusuna göre de değişkenlik gösterebilmektedir. Standartları sağlayamayan ürünler vida tutmasının güçsüz olması, taşınması gereken yükü taşıyamaması gibi kalitesizliklere yol açacağı için istenen şartları sağlanmak zorundadır. Eşitlik (3.38)-(3.40.)'da çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı için kısıtlar belirtilmiştir.

$$f(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) \geq ideal\_cekme \quad (3.38)$$

$$g(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) \geq ideal\_egilme \quad (3.39)$$

$$h(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) \geq ideal\_yuzey \quad (3.40)$$

Ürün reçetesinde kullanılan hammadde kullanım miktarının negatif olmama kısıtı Eşitlik 3.41’de verilmiştir.

$$X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e \geq 0 \quad (3.41)$$

Eşitlik (3.16) amaç fonksiyonu, eşitlik (3.17)-(3.41) kısıtları göz önünde bulundurularak modellenmiştir.

*Amaç Fonksiyonu 2: Çekme Mukavemeti Maksimizasyonu:* Çalışmada çekme mukavemeti maksimizasyonu kapsamında tutkal, sertleştirici, parafin emülsiyon, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs kullanım miktarları dikkate alınmaktadır. Çekme mukavemeti maksimizasyonu için oluşturulan formülasyon Eşitlik 3.42’de gösterilmiştir.

$$Z_{çekme} = f(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) \quad (3.42)$$

Eşitlik (3.42) amaç fonksiyonu, eşitlik (3.17)-(3.41) kısıtları göz önünde bulundurularak modellenmiştir.

*Amaç Fonksiyonu 3: Eğilme Direnci Maksimizasyonu:* Çalışmada eğilme direnci maksimizasyonu kapsamında tutkal, sertleştirici, parafin emülsiyon, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs kullanım miktarları

dikkate alınmaktadır. Eğilme direnci maksimizasyonu için oluşturulan formülasyon Eşitlik 3.43'te gösterilmiştir.

$$Z_{egilme} = g(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) \quad (3.43)$$

Eşitlik (3.43) amaç fonksiyonu, eşitlik (3.17)-(3.41) kısıtları göz önünde bulundurularak modellenmiştir ve eğilme direncini maksimum yapan parametre değerleri belirlenmiştir.

*Amaç Fonksiyonu 4: Yüzey Sağlamlığı Maksimizasyonu:* Çalışmada yüzey sağlamlığı maksimizasyonu kapsamında tutkal, sertleştirici, parafin emülsiyon, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs kullanım miktarları dikkate alınmaktadır. Yüzey sağlamlığı maksimizasyonu için oluşturulan formülasyon Eşitlik 3.44'te gösterilmiştir.

$$Z_{yuzey} = h(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) \quad (3.44)$$

Eşitlik (3.44) amaç fonksiyonu, eşitlik (3.17)-(3.41) kısıtları göz önünde bulundurularak modellenmiştir ve yüzey sağlamlığını maksimum yapan parametre değerleri belirlenmiştir.

Eşitlik (3.16), Eşitlik (3.42), Eşitlik (3.43) ve Eşitlik (3.44) amaç fonksiyonları Eşitlik(3.17)-(3.38) kısıtları göz önünde bulundurularak ayrı ayrı modellenmiştir.

#### 3.2.5.4. Önceliklendirmeli Hedef Programlama

Çalışmada göz önünde bulundurulan tek amaçlı modeller sonucunda MDF levhası için optimum karışım miktarı belirlenmektedir. Amaçların her birinin ayrı

ayrı modellenmesi ile farklı karışım miktarı olması, ürün reçetesinin hangi amaç için uygulanması gerektiğinin tespitini zorlaştırmaktadır. İşletmelerin asıl amacı olan kar elde etmenin en önemli yollarından biri olan maliyet düşürmeden dolayı maliyetin minimize edilmesi önceliklidir. İşletmedeki profesyonellerin düşünceleri doğrultusunda amaçların öncelik sırası maliyet minimizasyonu, çekme mukavemeti maksimizasyonu, eğilme direnci minimizasyonu, yüzey sağlamlığı maksimizasyonu şeklindedir.

➤ **Birinci Öncelikli Amaç Olarak Maliyet Minimizasyonu Model Çözümü**

Önceliklendirmeli hedef programlama modelinde Eşitlik (3.16.)'nin amaç fonksiyonu olarak dikkate alındığı tek amaçlı model ile elde edilen optimum maliyet değerinden sapma miktarının minimizasyonu ilk öncelikli amaçtır ve Eşitlik (3.45.) ile ifade edilmiştir. Modellerde iterasyon sayısı 100 olarak alınmış ve her bir iterasyonun eşit olasılığa sahip olduğu kabul edilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_{1+} \quad (3.45.)$$

$$(X_g C_g + X_h C_h + X_{ep} C_{ep} + X_{pr} C_{pr} + X_c C_c + X_p C_p + X_b C_b + X_o C_o + X_m C_m + X_e C_e) - S_{1+} + S_{1-} = \text{Opt\_Maliyet} \quad (3.46.)$$

$$f(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) - S_{2+} + S_{2-} = \text{Opt\_Cekme} \quad (3.47.)$$

$$g(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) - S_{3+} + S_{3-} = \text{Opt\_Egilme} \quad (3.48.)$$

$$h(X_g, X_h, X_{ep}, X_{pr}, X_c, X_p, X_b, X_o, X_m, X_e) - S_{4+} + S_{4-} = \text{Opt\_Yuzey} \quad (3.49.)$$

➤ **İkinci Öncelikli Amaç Olarak Çekme Mukavemeti Maksimizasyonu Model Çözümü**

Çalışmadaki ikinci öncelik olarak karışım miktarını oluşturacak çekme mukavemetinin maksimizasyonu belirlenmiştir. Hedef programla modelinde optimum çekme mukavemeti değerinden sapma miktarının minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak Eşitlik (3.50.) ile ifade edilmiştir. Eşitlik (3.45.)'in modellenmesi ile sağlanan optimum maliyet değerinden sapma miktarının minimizasyonu birinci öncelikli amaç olduğu için Eşitlik(3.45.)'in minimizasyonu ile bulunan değerin korunması gerekmektedir. Bu koşul Eşitlik (3.51.) ile gösterilerek modele kısıt olarak eklenmiştir. Tek amaçlı modellerde dikkate alınan Eşitlik (3.17)-(3.41) denklemlerine ek olarak Eşitlik (3.46)-(3.49.), Eşitlik (3.51) dikkate alınarak modeller çözülmüştür. Modellerde iterasyon sayısı 100 olarak alınmış ve her bir iterasyonun eşit olasılığa sahip olduğu kabul edilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_2- \quad (3.50.)$$

$$S_{1+} = Opt_{s_1+} \quad (3.51.)$$

➤ **Üçüncü Öncelikli Amaç Olarak Eğilme Direnci Maksimizasyonu Model Çözümü**

Çalışmadaki üçüncü öncelik olarak karışım miktarını oluşturacak eğilme direncinin maksimizasyonu belirlenmiştir. Hedef programla modelinde optimum eğilme direnci değerinden sapma miktarının minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak Eşitlik(3.52.) ile ifade edilmiştir. Birinci ve ikinci öncelikli amaçların çözümü ile elde edilen değerlerin korunması gerektiği için Eşitlik (3.45.)'in minimizasyonu elde edilen Eşitlik (3.51.), Eşitlik(3.47.)'nin minimizasyonu ile elde edilen değer Eşitlik(3.53.) olarak modele dahil edilmiştir. Tek amaçlı modellerde dikkate alınan Eşitlik (3.17)-(3.41) denklemlerine ek olarak Eşitlik (3.46)-(3.49.), Eşitlik (3.51) ve Eşitlik (3.53) dikkate alınarak modeller

çözülmüştür. Modellerde iterasyon sayısı 100 olarak alınmış ve her bir iterasyonun eşit olasılığa sahip olduğu kabul edilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_3- \quad (3.52.)$$

$$S_2- = Opt_{s_2-} \quad (3.53.)$$

➤ **Dördüncü Öncelikli Amaç Olarak Yüzey Sağlamlığı Maksimizasyonu Model Çözümü**

Karışım miktarının belirlenmesinde dördüncü ve son öncelikli amaç olarak yüzey sağlamlığı maksimizasyonu belirlenmiştir. Hedef programla modelinde optimum yüzey sağlamlığı değerinden sapma miktarının minimizasyonu amaç fonksiyonu olarak Eşitlik(3.54.) ile belirtilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü öncelikli amaçların çözümü ile elde edilen değerlerin korunması gerektiği için Eşitlik(3.45.)'in minimizasyonu ile elde edilen Eşitlik (3.49), Eşitlik (3.47.)'nin minimizasyonu ile elde edilen Eşitlik (3.53.) ve Eşitlik(3.51.)'in minimizasyonu ile elde edilen Eşitlik(3.55.) modele dahil edilmiştir. Tek amaçlı modellerde dikkate alınan Eşitlik (3.17)-(3.41) denklemlerine ek olarak Eşitlik (3.46)-(3.49.), Eşitlik (3.51), Eşitlik (3.53) ve Eşitlik (3.55) dikkate alınarak modeller çözülmüştür. Modellerde iterasyon sayısı 100 olarak alınmış ve her bir iterasyonun eşit olasılığa sahip olduğu kabul edilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_4- \quad (3.54.)$$

$$S_3- = Opt_{s_3-} \quad (3.55.)$$



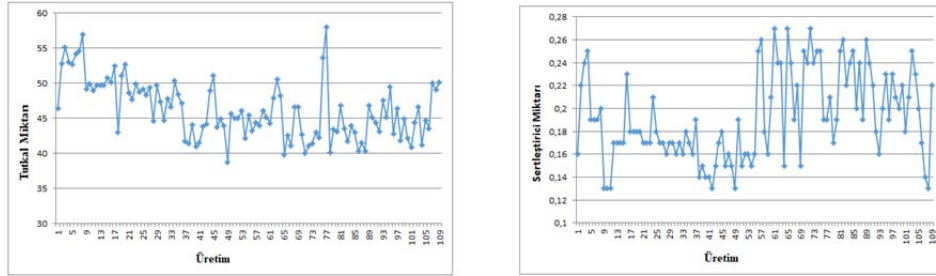
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

MDF levhası ile ilgili yapılan bu çalışma kapsamında Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii Adana MDF tesisinden alınan gerçek verilerle yapılmıştır.

##### 4.1. Veri analizi

MDF levhanın üretim kayıtlarından alınan hammadde kullanım miktarlarının minimum ve maksimum miktarları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Verilerin değişimlerinin tetkik edilmesi amacıyla oluşturulan çizgi grafikleri Şekil 4.1-4.5.’de gösterilmiştir.

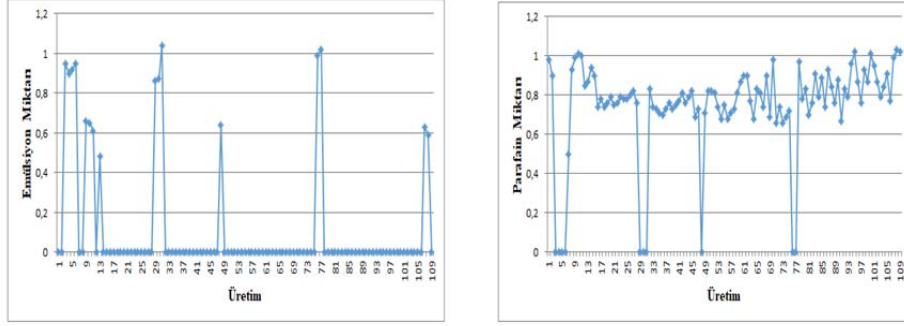
Şekil 4.1.’de MDF levhada kullanılan tutkal miktarı ve sertleştirici miktarı grafiklerine bakıldığında tutkal miktarının 38,7 ile 58,0 kg arasında değiştiği görülmüştür, tutkalın toplam odun miktarına göre kullanım kısıtı nedeniyle kullanılan miktarları toplam odun kullanım miktarına bağlı olarak değişiklikler göstermiştir. Sertleştirici için de tutkal miktarına bağlı olarak kullanım oranı kısıtı nedeniyle 0,13 ile 0,27 kg arasında değerlerinde kullanılmıştır. Kullanım miktarının yarısı 0,15-0,19 kg arasında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1.MDF Levhada Kullanılan Tutkal ve Sertleştirici Miktarları

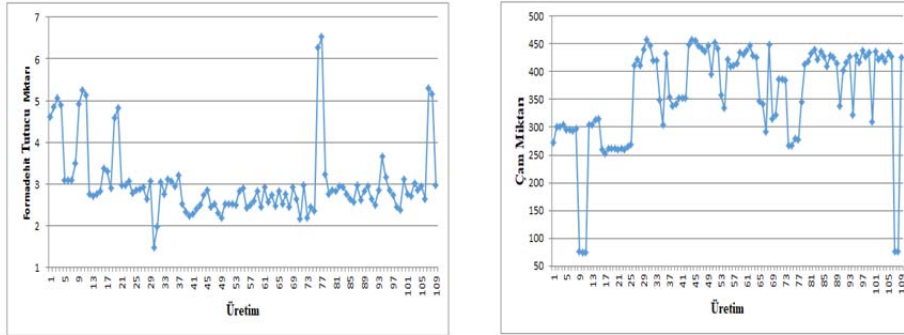
Şekil 4.2.’de MDF levhada kullanılan emülsiyon miktarı ve parafin miktarı grafiklerine bakıldığında emülsiyon miktarının 0 ile 1,04 kg arasında değiştiği görülmüştür. Sertleştirici ise 0 ile 1,03 kg değerlerinde kullanılmıştır. Her iki

parametrede de “0” değerinin olmasının nedeni bir birlerin yerine kullanılabilmeleri ve aynı anda da kullanılabilmeleridir.



Şekil 4.2.MDF Levhada Kullanılan Emülsiyon ve Parafin Miktarları

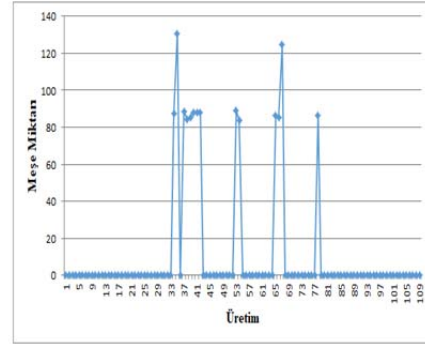
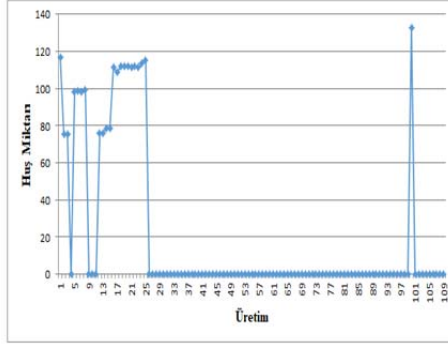
Şekil 4.3.’de MDF levhada kullanılan formaldehit tutucu miktarı ve çam miktarı grafiklerine bakıldığında formaldehit tutucu miktarının 1,49 ile 6,53 kg arasında değişmekle birlikte ağırlıklı olarak 2 ile 3,16 kg arasında dağılmıştır. Çam miktarı ise sıklıkla 250 ile 450 kg değerleri arasında kullanılmıştır. Çam kullanım miktarının yüksek olmasının nedeni tedarikinin daha kolay olması, stok miktarının daha yüksek olması ve fiyatının diğer ağaç türlerine göre düşük olmasıdır.



Şekil 4.3.MDF Levhada Kullanılan Formaldehit Tutucu ve Çam Miktarları

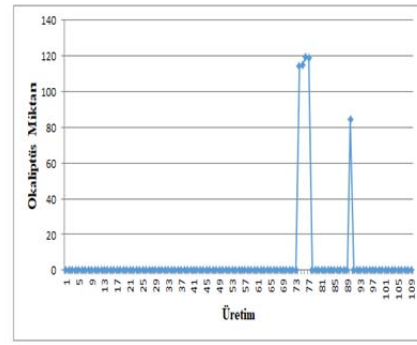
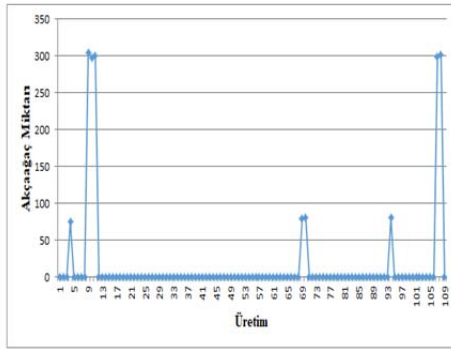
Şekil 4.4.’de MDF levhada kullanılan huş miktarı ve meşe miktarı grafiklerine bakıldığında “0” değerinin çokluğu görülmektedir. Bu durumun nedeni

ürün reçetelerinin çoğunda bu hammaddelerin kullanılmamış olmalarıdır. İşletmenin bu ağaçları başka sınıf ürünün üretiminde kullanılmalarıdır.



Şekil 4.4.MDF Levhada Kullanılan Huş ve Meşe Miktarları

Şekil 4.5.'te MDF levhada kullanılan akçaağaç miktarı ve okaliptüs miktarı grafiklerine bakıldığında "0" değerinin çokluğu görülmektedir. Bu durumun nedeni ürün reçetelerinin çoğunda bu hammaddelerin kullanılmamış olmalarıdır.



Şekil 4.5.MDF Levhada Kullanılan Akçaağaç ve Okaliptüs Miktarları

#### 4.2. Regresyon Modeli

Üretilen ürünler için elde edilen veriler kayıt altına alınıp depolanmaktadır. İşletmeden alınan veriler doğrultusunda çekme mukavemeti, eğilme direnci ve

yüzey sağlamlığı için SPSS programında çoklu regresyon modelleri oluşturulmuştur.

SPSS paket programının içerisindeki regresyon analizi kısmında Independent(s) sekmesine elimizdeki üretimde kullanılan değişkenlerin girişi yapılmıştır. Bu çalışmada tutkal, sertleştirici, parafin, emülsiyon, formaldehit tutucu, çam, meşe, huş, akçaağaç ve okaliptüs bağımsız değişkenlerinin çekme mukavemetine etkisinin tespiti için 109 veri kullanılmıştır. Çizelge 4.1.'de verilen model özeti tablosunda  $R^2$  değeri bağımlı değişken olan çekme mukavemetinin % 92'lik değişimin modelde dikkate alınan bağımsız değişkenler olan tutkal, sertleştirici, emülsiyon, parafin, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.1.Çekme Mukavemetinin Regresyon Modeline Ait Özet Çizelge

| Model | R    | $R^2$ | Düzeltilmiş $R^2$ | Standart Tahmin Hatası |
|-------|------|-------|-------------------|------------------------|
| 1     | ,959 | 0,92  | 0,911             | 0,01766                |

Regresyon analizi ile elde edilen ve modelin açıklayıcılığını gösteren  $R^2$  değerleri modellerin kullanılabilmesi için yeterli seviyelerdedir. Bununla birlikte regresyon analizi sonucunda elde edilen modelleri kabul edebilmek için Anova çizelgesinin de tetkik edilip ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Varyans analizi çizelgesi ile modelinin bütününe anlamlılığı test edilir. Burada modelin anlamlılığını ifade eden F değeri anlamlı olursa elde edilen modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu değerlendirilir. F değerinin anlamlı olduğunu gösteren Sig. değeri 0,05'ten küçük olursa modelin anlamlı olduğu değerlendirilmesi yapılır. Çizelge 4.2. incelendiğinde Sig. değerinin 0,005'ten küçük olduğu görülür. Bu da modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2.Çekme Mukavemeti İçin Varyans Analizi Çizelgesi

| Model        | Kareler<br>Toplamı | Serbestlik<br>derecesi | Kareler<br>Ortalaması | F Hesap<br>İstatistiği | Anlamlılık<br>Düzeyi |
|--------------|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 Regresyon  | ,350               | 10                     | ,035                  | 112,078                | ,000 <sup>a</sup>    |
| Hata (Artık) | ,031               | 98                     | ,000                  |                        |                      |
| Toplam       | ,380               | 108                    |                       |                        |                      |

Regresyon modelinden sonra ürün reçetesi formüllerinin bulunabilmesi için katsayılar(coefficients) çizelgesi incelenmelidir. Çekme mukavemeti katsayı çizelgesi Çizelge 4.3. ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.3.Çekme Mukavemeti İçin Katsayıları Çizelgesi

| Model |               | Standardize Edilmemiş Katsayılar |               | Standardize Edilmiş Katsayılar | t       | Anlamlılık Düzeyi |
|-------|---------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|---------|-------------------|
|       |               | B                                | Standart Hata | Beta                           |         |                   |
| 1     | (Sabit)       | 1,28                             | 0,057         |                                | 22,588  | 0                 |
|       | Tutkal        | -0,005                           | 0,001         | -0,353                         | -8,122  | 0                 |
|       | Sertleştirici | -0,853                           | 0,051         | -0,554                         | -16,673 | 0                 |
|       | Emülsiyon     | -0,066                           | 0,017         | -0,326                         | -3,951  | 0                 |
|       | Parafin       | -0,142                           | 0,017         | -0,611                         | -8,176  | 0                 |
|       | F.tutucu      | 0,037                            | 0,003         | 0,548                          | 10,95   | 0                 |
|       | cam           | -0,001                           | 0             | -1,388                         | -7,815  | 0                 |
|       | Hus           | -0,002                           | 0             | -1,3                           | -10,761 | 0                 |
|       | Mese          | -0,001                           | 0             | -0,506                         | -7,69   | 0                 |
|       | Akcaagac      | -0,001                           | 0             | -0,894                         | -5,188  | 0                 |
|       | Okaliptus     | -0,001                           | 0             | -0,398                         | -6,08   | 0                 |

Çizelge 4.3'teki Sig. değerleri 0,05'ten küçük olan değişkenlerin model üzerinde anlamlı olduğu söylenebilir. Çizelge 4.3.'de sabit değerin ve bağımsız değişkenlerin Sig. değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu yani model üzerinde anlamlı etkiye sahip oldukları görülmektedir. Çizelgelerdeki B sütunu katsayıları göstermektedir. Katsayıların negatif olanları bağımlı değişken üzerinde negatif etki göstermektedir, pozitif olanları bağımlı değişken üzerinde pozitif etki göstermektedir.

Çizelge 4.3.'teki katsayılar dikkate alınarak çekme mukavemeti için oluşturulan regresyon denklemi Eşitlik 4.1.'de verilmiştir.

$$Z_{cekme} = 1,28 - 0,005(X_g) - 0,853(X_h) - 0,066(X_{ep}) - 0,142(X_{pr}) + 0,037(X_c) - 0,001(X_p) - 0,002(X_b) - 0,001(X_o) - 0,001(X_m) - 0,001(X_e) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.4.'de eğilme direnci bağımlı değişkeninin %90,4'lük değişimin modeldeki dikkate alınan bağımsız değişkenler olan tutkal, sertleştirici, emülsiyon, parafin, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.4.Eğilme Direnci Regresyon Modeline Ait Özet Çizelge

| Model | R    | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Standart Tahmin Hatası |
|-------|------|----------------|----------------------------|------------------------|
| 1     | ,951 | 0,904          | 0,894                      | 0,69615                |

Çekme direnci için varyans analizi çizelgesi Çizelge 4.5.'te verilmiştir. Varyans analizi çizelgesi incelendiğinde F değerinin anlamlı olduğu Sig. değerinin 0,05'den küçük olması nedeniyle görülmektedir.

Çizelge 4.5.Eğilme Direnci İçin Varyans Analizi Çizelgesi

| Model |              | Kareler<br>Toplamı | Serbestlik<br>derecesi | Kareler<br>Ortalaması | F Hesap<br>İstatistiği | Anlamlılık<br>Düzeyi |
|-------|--------------|--------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1     | Regresyon    | 444,799            | 10                     | 44,480                | 91,782                 | ,000 <sup>a</sup>    |
|       | Hata (Artık) | 47,493             | 98                     | ,485                  |                        |                      |
|       | Toplam       | 492,293            | 108                    |                       |                        |                      |

Çizelge 4.6.Eğilme Direnci İçin Katsayıları Çizelgesi

| Model |               | Standardize<br>Edilmemiş<br>Katsayılar |                  | Standardize<br>Edilmiş<br>Katsayılar | t       | Anlamlılık<br>Düzeyi |
|-------|---------------|----------------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------|----------------------|
|       |               | B                                      | Standart<br>Hata | Beta                                 |         |                      |
| 1     | (Sabit)       | 57,885                                 | 2,233            |                                      | 25,92   | 0                    |
|       | Tutkal        | -0,263                                 | 0,025            | -0,506                               | -10,641 | 0                    |
|       | Sertleştirici | -35,512                                | 2,016            | -0,642                               | -17,619 | 0                    |
|       | Emülsiyon     | 3,052                                  | 0,661            | 0,417                                | 4,615   | 0                    |
|       | Parafin       | 3,18                                   | 0,685            | 0,38                                 | 4,64    | 0                    |
|       | F.tutucu      | 1,003                                  | 0,134            | 0,41                                 | 7,489   | 0                    |
|       | Cam           | -0,034                                 | 0,005            | -1,416                               | -7,28   | 0                    |
|       | Hus           | -0,064                                 | 0,007            | -1,237                               | -9,35   | 0                    |
|       | Mese          | -0,053                                 | 0,005            | -0,788                               | -10,941 | 0                    |
|       | Akcaagac      | -0,044                                 | 0,006            | -1,326                               | -7,02   | 0                    |
|       | Okaliptus     | -0,074                                 | 0,007            | -0,814                               | -11,361 | 0                    |

Çizelge 4.6.'daki Sig. değerleri 0,05'ten küçük olan değişkenlerin model üzerinde anlamlı olduğu söylenebilir. Çizelge 4.6.'da sabit değerin ve bağımsız değişkenlerin Sig. değerlerinin hepsinin "0" olduğu yani 0,05'ten küçük olduğu yani model üzerinde anlamlı etkiye sahip oldukları görülmektedir.

Çizelge 4.6.'daki katsayılar dikkate alınarak eğilme direnci için oluşturulan regresyon denklemi Eşitlik 4.2.'de verilmiştir.

$$Z_{egilme} = 57,885 - 0,263(X_g) - 35,512(X_h) + 3,052(X_{ep}) + 3,018(X_{pr}) + 1,003(X_c) - 0,034(X_p) - 0,064(X_b) - 0,053(X_o) - 0,044(X_m) - 0,074(X_e) \quad (4.2.)$$

Çizelge 4.7.'de yüzey sağlamlığı bağımlı değişkeninin %90,6'lık değişimin modeldeki dikkate alınan bağımsız değişkenler olan tutkal, sertleştirici, emülsiyon, parafin, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüs ile açıklanabildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.7.Yüzey Sağlamlığı Regresyon Modeline Ait Özet Çizelge

| Model | R    | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Standart Tahmin Hatası |
|-------|------|----------------|----------------------------|------------------------|
| 1     | ,952 | 0,906          | 0,897                      | 0,036                  |

Yüzey sağlamlığı için varyans analizi çizelgesi Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Anova çizelgesi incelendiğinde F değerinin anlamlı olduğu Sig. değerinin 0,05'den küçük olması nedeniyle görülmektedir.

Çizelge 4.8.Yüzey Sağlamlığı İçin Varyans Analizi Çizelgesi

| Model |              | Kareler Toplamı | Serbestlik derecesi | Kareler Ortalaması | F Hesap İstatistiği | Anlamlılık Düzeyi |
|-------|--------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1     | Regresyon    | 1,231           | 10                  | 0,123              | 95,011              | ,000 <sup>a</sup> |
|       | Hata (Artık) | 0,127           | 98                  | 0,001              |                     |                   |
|       | Toplam       | 1,358           | 108                 |                    |                     |                   |

Çizelge 4.9.Yüzey Sağlamlığı İçin Katsayıları Çizelgesi

| Model |               | Standardize Edilmemiş Katsayılar |               | Standardize Edilmiş Katsayılar | t       | Anlamlılık Düzeyi |
|-------|---------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|---------|-------------------|
|       |               | B                                | Standart Hata | Beta                           |         |                   |
| 1     | (Sabit)       | 2,512                            | 0,115         |                                | 21,753  | 0                 |
|       | Tutkal        | 0,009                            | 0,001         | 0,341                          | 7,271   | 0                 |
|       | Sertleştirici | -1,448                           | 0,104         | -0,498                         | -13,897 | 0                 |
|       | Emülsiyon     | 0,005                            | 0,034         | 0,012                          | 0,139   | 0,89              |
|       | Parafin       | 0,021                            | 0,035         | 0,048                          | 0,59    | 0,556             |
|       | F.tutucu      | -0,019                           | 0,007         | -0,15                          | -2,774  | 0,007             |
|       | Cam           | -0,003                           | 0             | -2,475                         | -12,923 | 0                 |
|       | Hus           | -0,005                           | 0             | -1,824                         | -14,004 | 0                 |
|       | Mese          | -0,003                           | 0             | -0,841                         | -11,862 | 0                 |
|       | Akcaagac      | -0,003                           | 0             | -1,608                         | -8,647  | 0                 |
|       | Okalıptus     | -0,002                           | 0             | -0,389                         | -5,519  | 0                 |

Çizelge 4.9.'daki Sig. değerleri 0,05'ten küçük olan değişkenlerin model üzerinde anlamlı olduğu söylenebilir. Çizelge 4.9.'da emülsiyon ve parafinin Sig. değerleri 0,05'ten büyük olduğu görülmektedir. Emülsiyon ve parafinin yüzey sağlamlığı üzerinde anlamlı etkisi olmadığı göstermektedir. Sabit değerin ve emülsiyon ve parafin dışında kalan bağımsız değişkenlerin Sig. değerlerinin 0,05'ten küçük olduğu yani model üzerinde anlamlı etkiye sahip oldukları görülmektedir. Emülsiyon ve parafinin etkisi olmadığı için bu parametreler çıkarılarak regresyon modeli tekrar çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.10.Yenilenmiş Yüzey Sağlamlığı İçin Katsayıları Çizelgesi

| Model | R                 | R <sup>2</sup> | Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | Standart Tahmin Hatası |
|-------|-------------------|----------------|----------------------------|------------------------|
| 1     | ,952 <sup>a</sup> | 0,906          | 0,899                      | 0,03567                |

Çizelge 4.11.Yenilenmiş Yüzey Sağlamlığı İçin Varyans Analizi Çizelgesi

| Model |              | Kareler Toplamı | Serbestlik derecesi | Kareler Ortalaması | F Hesap İstatistiği | Anlamlılık Düzeyi |
|-------|--------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1     | Regresyon    | 1,231           | 8                   | 0,154              | 120,925             | ,000 <sup>a</sup> |
|       | Hata (Artık) | 0,127           | 100                 | 0,001              |                     |                   |
|       | Toplam       | 1,358           | 108                 |                    |                     |                   |

Çizelge 4.12.Yenilenmiş Yüzey Sağlamlığı İçin Katsayı Çizelgesi

| Model |               | Standardize Edilmemiş Katsayılar |               | Standardize Edilmiş Katsayılar | t       | Anlamlılık Düzeyi |
|-------|---------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|---------|-------------------|
|       |               | B                                | Standart Hata | Beta                           |         |                   |
| 1     | (Sabit)       | 2,537                            | 0,111         |                                | 22,776  | 0                 |
|       | Tutkal        | 0,009                            | 0,001         | 0,328                          | 7,439   | 0                 |
|       | Sertleştirici | -1,437                           | 0,102         | -0,494                         | -14,08  | 0                 |
|       | F.tutucu      | -0,02                            | 0,007         | -0,152                         | -2,941  | 0,004             |
|       | Cam           | -0,003                           | 0             | -2,464                         | -13,739 | 0                 |
|       | Hus           | -0,005                           | 0             | -1,813                         | -14,861 | 0                 |
|       | Mese          | -0,003                           | 0             | -0,838                         | -12,284 | 0                 |
|       | Akcaagac      | -0,003                           | 0             | -1,577                         | -10,078 | 0                 |
|       | Okaliptus     | -0,002                           | 0             | -0,389                         | -5,821  | 0                 |

Çizelge 4.10.'da Emülsiyon ve parafinin çıkarılarak yapılan analizde R<sup>2</sup> değeri 0,906 gibi yüksek bir değer bulunmuştur. Çizelge 4.11'de varyans analizi tablosunda da F değeri anlamlı bulunmuştur. Çizelge 4.12.'deki katsayılar dikkate

alınarak çekme mukavemeti için oluşturulan regresyon denklemi Eşitlik 4.3.'te verilmiştir.

$$Z_{yuzey} = 2,537 + 0,009(X_g) - 1,437(X_h) - 0,019(X_c) - 0,003(X_p) - 0,005(X_b) - 0,003(X_o) - 0,003(X_m) - 0,002(X_e) \quad (4.3)$$

#### 4.3. Hata Hesaplama

Firmada 118 adet veri tutulmuştur. Bu verilerden 109 tanesi regresyon analizi için kullanılmıştır. Geriye kalan 9 adet veri rastgele seçilmiş olup uygunluk yüzdesi hesaplama için regresyon analizine dahil edilmemiştir. Dahil edilmeyen 9 veri üzerinden hesaplanan uygunluk yüzdesi değerleri Çizelge 4.13, Çizelge 4.14. ve Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Çekme Mukavemeti İçin Hata Değeri

|                       | Formül Değeri | Gerçekleşen Değer | Mutlak Hata  | Yüzde Bağıl Hata | Uyumluluk Yüzdesi |
|-----------------------|---------------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|
| 1                     | 0,528         | 0,540             | 0,012        | 2,273            | 97,727            |
| 2                     | 0,531         | 0,520             | 0,011        | 2,074            | 97,926            |
| 3                     | 0,511         | 0,520             | 0,009        | 1,789            | 98,211            |
| 4                     | 0,504         | 0,520             | 0,016        | 3,175            | 96,825            |
| 5                     | 0,514         | 0,530             | 0,016        | 3,113            | 96,887            |
| 6                     | 0,579         | 0,600             | 0,021        | 3,627            | 96,373            |
| 7                     | 0,598         | 0,610             | 0,012        | 2,045            | 97,955            |
| 8                     | 0,596         | 0,610             | 0,014        | 2,349            | 97,651            |
| 9                     | 0,517         | 0,500             | 0,017        | 3,288            | 96,712            |
| <b>Ortalama Değer</b> | <b>0,542</b>  | <b>0,550</b>      | <b>0,014</b> | <b>2,637</b>     | <b>97,363</b>     |

Regresyon analizine dahil edilmeyen 9 adet girdi parametresi göz önünde bulundurularak işletmede tuttuğumuz değerler ile SPSS sonucu ortaya çıkartılan formülasyon ile elde edilen değerlerin mutlak değeri alınmış ve bağıl hata oranı ortaya çıkartılmıştır. Çekme mukavemeti için hata oranı %2,64 olmaktadır.

Çizelge 4.14.Eğilme Direnci İçin Mutlak Hata Değerleri

|                       | Formül Değeri | Gerçekleşen Değer | Mutlak Hata  | Yüzde Bağlı Hata | Uyumluluk Yüzdesi |
|-----------------------|---------------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|
| 1                     | 24,719        | 25,74             | 1,021        | 4,129            | 95,871            |
| 2                     | 25,643        | 26,25             | 0,607        | 2,366            | 97,634            |
| 3                     | 25,917        | 25,43             | 0,487        | 1,877            | 98,123            |
| 4                     | 27,341        | 26,82             | 0,521        | 1,907            | 98,093            |
| 5                     | 29,927        | 30,36             | 0,433        | 1,447            | 98,553            |
| 6                     | 30,726        | 30,07             | 0,656        | 2,136            | 97,864            |
| 7                     | 31,968        | 29,61             | 2,358        | 7,376            | 92,624            |
| 8                     | 26,442        | 25,88             | 0,562        | 2,125            | 97,875            |
| 9                     | 30,433        | 29,25             | 1,183        | 3,887            | 96,113            |
| <b>Ortalama Değer</b> | <b>28,124</b> | <b>27,712</b>     | <b>0,870</b> | <b>3,028</b>     | <b>96,972</b>     |

Çizelge 4.14’de eğilme direnci için elde edilen bağıl hata değeri %3,03 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15.Yüzey Sağlamlığı İçin Mutlak Hata Değerleri

|                       | Formül Değeri | Gerçekleşen Değer | Mutlak Hata  | Yüzde Bağlı Hata | Uyumluluk Yüzdesi |
|-----------------------|---------------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|
| 1                     | 1,340         | 1,300             | 0,040        | 2,992            | 97,008            |
| 2                     | 1,208         | 1,280             | 0,072        | 5,960            | 94,040            |
| 3                     | 1,602         | 1,550             | 0,052        | 3,222            | 96,778            |
| 4                     | 1,606         | 1,540             | 0,066        | 4,081            | 95,919            |
| 5                     | 1,594         | 1,612             | 0,018        | 1,129            | 98,871            |
| 6                     | 1,460         | 1,360             | 0,100        | 6,849            | 93,151            |
| 7                     | 1,466         | 1,510             | 0,044        | 3,001            | 96,999            |
| 8                     | 1,260         | 1,370             | 0,110        | 8,730            | 91,270            |
| 9                     | 1,439         | 1,390             | 0,049        | 3,390            | 96,610            |
| <b>Ortalama Değer</b> | <b>1,442</b>  | <b>1,435</b>      | <b>0,061</b> | <b>4,373</b>     | <b>95,627</b>     |

Çizelge 4.15’de yüzey sağlamlığı için elde edilen bağıl hata değeri %4,37 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar regresyon analizi ile bulduğumuz

formülasyonun büyük oranda gerçeği yansıttığını göstermektedir. Böylece bu modeller kullanılarak matematiksel modellerin oluşturulmuştur.

#### 4.4. Matematiksel Model

##### 4.4.1. Tek Amaçlı Matematiksel Model Sonuçları

##### 4.4.1.1. Maliyeti Minimum Yapan Ürün Reçete Parametrelerinin Belirlenmesi

Ürün reçeteleri oluşturulurken dikkate alınan amaç fonksiyonlarından bir tanesi de maliyet minimizasyonudur. Maliyet, reçetede kullanılan tüm parametrelerin miktarlarının birim maliyetleri ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Her bir parametrenin birim maliyeti Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Eşitlik (3.16.)'da verilen maliyet fonksiyonu Çizelge 4.10.'daki maliyetler yansıtılarak eşitlik 4.4. elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_{\text{maliyet}} = & (1,411X_g + 0,267X_h + 1,899X_{ep} + 4,234X_{pr} + \\ & 0,958X_c + 0,247X_p + 0,306X_b + 0,306X_o + 0,368X_m + 0,306X_e) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Bu amaç fonksiyonu ile beraber çalışmada dikkat alınan kısıtlar bulunmaktadır.

Tutkal için geçmiş veriler incelendiğinde tutkalın değişim aralığı 38,7-58,0 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.17)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.5) elde edilmiştir.

$$38,7 \leq X_g \leq 58,0 \quad (4.5)$$

Sertleştirici için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0,13-0,27 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.18)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.6) elde edilmiştir.

$$0,13 \leq X_h \leq 0,27 \quad (4.6)$$

Emülsiyon için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0-1,04 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.19)'daki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.7) elde edilmiştir.

$$0 \leq X_{ep} \leq 1,04 \quad (4.7)$$

Parafin için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0-1,03 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.20)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.8) elde edilmiştir.

$$0 \leq X_{pr} \leq 1,03 \quad (4.8)$$

Formaldehit tutucu için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 1,49-6,53 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.21)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.9) elde edilmiştir.

$$1,49 \leq X_c \leq 6,53 \quad (4.9)$$

Çam için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 74,41-458,25 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.22)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.10) elde edilmiştir.

$$74,41 \leq X_p \leq 458,25 \quad (4.10)$$

Huş için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0-132,74 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.23)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.11) elde edilmiştir.

$$0 \leq X_b \leq 132,74 \quad (4.11)$$

Meşe için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0-130,72 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.24)'teki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.12) elde edilmiştir.

$$0 \leq X_o \leq 130,72 \quad (4.12)$$

Akçaağaç için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0-304,5 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.25)'teki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.13) elde edilmiştir.

$$0 \leq X_m \leq 304,5 \quad (4.13.)$$

Okalıptüs için geçmiş veriler incelendiğinde değişim aralığı 0-119,63 olarak belirlenmiş ve Eşitlik (3.26)'daki formülasyona yansıtılarak Eşitlik (4.14.) elde edilmiştir.

$$0 \leq X_e \leq 119,63 \quad (4.14.)$$

Firmanın çam kullanım oranının toplam ağaç kullanımı içindeki oranını minimum 0,70 olarak istemesini Eşitlik(3.28)'deki formülasyona yansıtılarak Eşitlik(4.15) ile elde edilmiştir.

$$X_p \geq 0,7 * X_t \quad (4.15.)$$

Sertleştirici kullanım miktarının tutkal kullanım oranı minimum 0,001'dir ve bu oranı gösteren Eşitlik (3.29.) formülasyonundan Eşitlik(4.16) elde edilmiştir.

$$X_h \geq 0,001 * X_g \quad (4.16.)$$

Parafin kullanım miktarının tutkal kullanım oranı minimum 0,001 ve maksimum 0,008 şeklindedir bu oranı gösteren Eşitlik (3.30.) formülasyonundan Eşitlik(4.17) elde edilmiştir.

$$0,001 X_g \leq X_{pr} \leq 0,008 X_g \quad (4.17.)$$

Emülsiyon kullanım miktarının tutkal kullanım oranı minimum 0,002 ve maksimum 0,005 şeklindedir bu oranı gösteren Eşitlik (3.31.) formülasyonundan Eşitlik(4.18.) elde edilmiştir.

$$0,002 X_g \leq X_{ep} \leq 0,005 X_g \quad (4.18)$$

Formaldehit tutucu kullanım miktarının tutkal kullanım oranı minimum 0,05 ve maksimum 0,08 şeklindedir bu oranı gösteren Eşitlik (3.32.) formülasyonundan Eşitlik(4.19) elde edilmiştir.

$$0,05 X_g \leq X_c \leq 0,08 X_g \quad (4.19)$$

Odun hammaddesi olan çam, huş, meşe, akçaağaç ve okaliptüsün kullanılacak miktarlarının stok miktarını dikkate alan kısıtlarını gösteren Eşitlik(3.33)-(3.37.)'nin formülasyonundan Eşitlik(4.20)-(4.24) elde edilmiştir.

$$diX_p \leq \text{unif}(25.000, 140.000) \quad (4.20)$$

$$diX_b \leq \text{unif}(0, 20.000) \quad (4.21)$$

$$diX_o \leq \text{unif}(0, 10.000) \quad (4.22)$$

$$diX_m \leq \text{unif}(0, 25.000) \quad (4.23)$$

$$diX_e \leq \text{unif}(0, 12.000) \quad (4.24)$$

Eşitlik (4.4.) amaç fonksiyonu, Eşitlik (4.5.)-(4.24.) kısıtları dikkate alınarak Gams paket programında BDMLP çözümleyici kullanılarak modellenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçetesi için toplam maliyet 153,291 TL olarak belirlenmiştir. Bu maliyeti gerçekleştiren parametre değerleri Çizelge 4.16’da verilmiştir. Maliyeti minimum yapan ürün reçetesi için çekme mukavemeti 0,500, eğilme direnci 39,557 ve yüzey sağlamlığı 1,665 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.16.Toplam Maliyeti Minimum Yapan Reçete Değeri

| Hammadde           | Miktar(KG) | Hammadde  | Miktar(KG) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 38,7       | Çam       | 338,859    |
| Sertleştirici      | 0,075      | Huş       | 0          |
| Emülsiyon          | 1,040      | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 1,030      | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,490      | Okaliptüs | 23,541     |

Çizelge 4.17.Ürün Reçetesinde Kullanılan Hammaddelerin Birim Fiyatları

| Hammadde           | Fiyat(TL) | Hammadde  | Fiyat(TL) |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Tutkal             | 1,411     | Çam       | 0,247     |
| Sertleştirici      | 0,267     | Huş       | 0,306     |
| Emülsiyon          | 1,899     | Meşe      | 0,306     |
| Parafin            | 4,234     | Akçaağaç  | 0,368     |
| Formaldehit Tutucu | 0,958     | Okaliptüs | 0,306     |

#### 4.4.1.2. Çekme Mukavemetini Maksimum Yapan Ürün Reçete Parametrelerinin Belirlenmesi

Ürün reçeteleri oluşturulurken dikkate alınan amaç fonksiyonlarından diğeri de çekme mukavemeti maksimizasyonudur. Çekme mukavemetini gösteren eşitlik Eşitlik (4.25)'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} Max Z_{cekme} = & 1,28 - 0,005(X_g) - 0,853(X_h) - 0,066(X_{ep}) - \\ & 0,142(X_{pr}) + 0,037(X_c) - 0,001(X_p) - 0,002(X_b) - 0,001(X_o) - \\ & 0,001(X_m) - 0,001(X_e) \end{aligned} \quad (4.25.)$$

Eşitlik (4.25.) amaç fonksiyonu, Eşitlik (4.5)-(4.24) kısıtları dikkate alınarak Gams paket programında BDMLP çözümleyici kullanılarak modellenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçetesi için çekme mukavemeti değeri 0,505 olarak belirlenmiştir. Bu çekme mukavemetini gerçekleştiren parametre değerleri Çizelge 4.18.'de verilmiştir. Çekme mukavemetini maksimum yapan ürün reçetesi için maliyet 152,794, eğilme direnci 40,106 ve yüzey sağlamlığı 1,660 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.18.Çekme Mukavemetini Maksimum Yapan Reçete Değeri

| Hammadde           | Miktar(KG) | Hammadde  | Miktar(KG) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 38,7       | Çam       | 347,246    |
| Sertleştirici      | 0,069      | Huş       | 0          |
| Emülsiyon          | 1,04       | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 1,03       | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,49       | Okaliptüs | 15,154     |

#### 4.4.1.3. Eğilme Direncini Maksimum Yapan Ürün Reçete Parametrelerinin Belirlenmesi

Ürün reçeteleri oluşturulurken dikkate alınan amaç fonksiyonlarından diğeri ise eğilme direnci maksimizasyonudur. Eğilme direncini gösteren eşitlik Eşitlik (4.26)'da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} Max Z_{egilme} = & 57,885 - 0,263(X_g) - 35,512(X_h) + 3,052(X_{ep}) + \\ & 3,018(X_{pr}) + 1,003(X_c) - 0,034(X_p) - 0,064(X_b) - 0,053(X_o) - \\ & 0,044(X_m) - 0,074(X_e) \end{aligned} \quad (4.26.)$$

Eşitlik (4.26) amaç fonksiyonu, Eşitlik (4.5)-(4.24.) kısıtları dikkate alınarak Gams paket programında BDMLP çözümleyici kullanılarak modellenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçetesi için eğilme direnci değeri 34,607 olarak belirlenmiştir. Bu eğilme direncini gerçekleştiren parametre değerleri Çizelge 4.19'da verilmiştir. Eğilme direncini maksimum yapan ürün reçetesi için maliyet 158,200, çekme mukavemeti 0,457 ve yüzey sağlamlığı 1,686 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.19.Eğilme Direncini Maksimum Yapan Reçete Değeri

| Hammadde           | Miktar(Kg) | Hammadde  | Miktar(Kg) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 38,7       | Çam       | 257,405    |
| Sertleştirici      | 0,13       | Huş       | 0          |
| Emülsiyon          | 1,04       | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 1,03       | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,583      | Okaliptüs | 104,995    |

#### 4.4.1.4. Yüzey Sağlamlığını Maksimum Yapan Ürün Reçete Parametrelerinin Belirlenmesi

Yüzey sağlamlığı maksimizasyonu ürün reçeteleri oluştururken dikkate alınan bir başka amaç fonksiyonudur. Yüzey sağlamlığını gösteren eşitlik Eşitlik (4.27.)’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_{\text{yuzey}} = & 2,537 + 0,009(X_g) - 1,437(X_h) - 0,019(X_c) - \\ & 0,003(X_p) - 0,005(X_b) - 0,003(X_o) - 0,003(X_m) - 0,002(X_e) \end{aligned} \quad (4.27)$$

Eşitlik (4.27.) amaç fonksiyonu, Eşitlik (4.5.)-(4.24.) kısıtları dikkate alınarak Gams paket programında BDMLP çözümleyici kullanılarak modellenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçetesi için yüzey sağlamlığı değeri 1,735 olarak belirlenmiştir. Bu yüzey sağlamlığını gerçekleştiren parametre değerleri Çizelge 4.20.’de verilmiştir. Yüzey sağlamlığını maksimum yapan ürün reçetesi için maliyet 168,863, çekme mukavemeti 0,539 ve eğilme direnci 30,000 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.20.Yüzey Sağlamlığını Maksimum Yapan Reçete Değeri

| Hammadde           | Miktar(Kg) | Hammadde  | Miktar(Kg) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 54,36      | Çam       | 350,103    |
| Sertleştirici      | 0,13       | Huş       | 0          |
| Emülsiyon          | 0,769      | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 0          | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,49       | Okaliptüs | 12,297     |

Çizelge 4.21.Matematiksel Modellerin Karşılaştırılması

|                                       | Amaç Fonksiyonu |                        |                      |                        |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|------------------------|
|                                       | Maliyet Min.    | Çekme Mukavemeti Maks. | Eğilme Direnci Maks. | Yüzey Sağlamlığı Maks. |
| Maliyet(₺)                            | 153,291         | 152,794                | 158,200              | 168,863                |
| Çekme Mukavemeti(N/mm <sup>2</sup> )  | 0,500           | 0,505                  | 0,457                | 0,539                  |
| Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )   | 39,557          | 40,106                 | 34,607               | 30,000                 |
| Yüzey Sağlamlığı (N/mm <sup>2</sup> ) | 1,665           | 1,660                  | 1,686                | 1,735                  |
| Tutkal(Kg)                            | 38,70           | 38,70                  | 38,7                 | 54,36                  |
| Sertleştirici(Kg)                     | 0,130           | 0,069                  | 0,130                | 0,130                  |
| Emülsiyon Parafin(Kg)                 | 0               | 1,040                  | 1,040                | 0,769                  |
| Parafin(Kg)                           | 1,016           | 1,030                  | 1,03                 | 0                      |
| Formaldehit Tutucu(Kg)                | 1,490           | 1,490                  | 1,583                | 1,490                  |
| Çam(Kg)                               | 253,680         | 347,246                | 257,405              | 350,103                |
| Huş(Kg)                               | 0               | 0                      | 0                    | 0                      |
| Meşe(Kg)                              | 0               | 0                      | 0                    | 0                      |
| Akçaağaç(Kg)                          | 0               | 0                      | 0                    | 0                      |
| Okalıptüs(Kg)                         | 108,720         | 15,154                 | 104,995              | 12,297                 |

#### 4.4.2. Amaç Fonksiyonlarının Önceliklendirilmesi

Çalışmada üretim maliyet minimizasyonu, çekme mukavemeti maksimizasyonu, eğilme direnci maksimizasyonu ve yüzey sağlamlığı maksimizasyonu olmak üzere dört amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır. Şirket beklentisinde bu amaç fonksiyonları eşit önceliğe sahip olmadığı için uzman görüşü neticesinde amaç fonksiyonlarının öncelik sıralaması maliyet minimizasyonu, çekme mukavemeti maksimizasyonu, eğilme direnci maksimizasyonu ve yüzey sağlamlığı olarak belirlenmiştir.

##### 4.4.2.1. Birinci Öncelikli Amaç Olarak Maliyet Minimizasyonu Model Çözümü;

Tek amaçlı modelde optimum maliyet değerinden sapma miktarının minimizasyonu Eşitlik (4.28.) ile ifade edilmiş ve amaç fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. Eşitlik (4.28.)'un minimizasyonu gerçekleştirilirken Eşitlik(4.5.)-(4.24.) ve Eşitlik (4.29.)-(4.32.) dikkate alınarak model Gams programında çözülmüştür. Stok miktarlarının olasılıksal olarak ifade edilmesinden dolayı iterasyon sayısı modele dahil edilmiş ve 100 olarak belirlenmiştir. Problem stokastik LP olup Solver Type olarak CpLex belirlenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçeteleri Çizelge 4.22.'de verilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_{1+} \quad (4.28)$$

$$(X_g * 1,411 + X_h * 0,267 + X_{ep} * 1,899 + X_{pr} * 4,234 + X_c * 0,958 + X_p * 0,247 + X_b * 0,306 + X_o * 0,306 + X_m * 0,368 + X_e * 0,306) - S_{1+} + S_{1-} = 153,291 \quad (4.29.)$$

$$1,28 - 0,005(X_g) - 0,853(X_h) - 0,066(X_{ep}) - 0,142(X_{pr}) + 0,037(X_c) - 0,001(X_p) - 0,002(X_b) - 0,001(X_o) - 0,001(X_m) - 0,001(X_e) - S_{2+} + S_{2-} = 0.505 \quad (4.30.)$$

$$57,885 - 0,263(X_g) - 35,512(X_h) + 3,052(X_{ep}) + 3,018(X_{pr}) + 1,003(X_c) - 0,034(X_p) - 0,064(X_b) - 0,053(X_o) - 0,044(X_m) - 0,074(X_e) - S_{3+} + S_{3-} = 34,607 \quad (4.31.)$$

$$2,512 + 0,009(X_g) - 1,448(X_h) - 0,019(X_c) - 0,003(X_p) - 0,005(X_b) - 0,003(X_o) - 0,003(X_m) - 0,002(X_e) - S_{4+} + S_{4-} = 1,735 \quad (4.32.)$$

Çizelge 4.22.Maliyeti Minimum Yapan Hedef Programlama Sonucu.

| Hammadde           | Miktar(KG) | Hammadde  | Miktar(KG) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 38,70      | Çam       | 253,68     |
| Sertleştirici      | 0,13       | Huş       | 108,72     |
| Emülsiyon          | 0          | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 0,314      | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,49       | Okalıptüs | 0          |

#### 4.4.2.2. İkinci Öncelikli Amaç Olarak Çekme Mukavemeti Maksimizasyonu Model Çözümü

Tek amaçlı modelde optimum çekme mukavemeti değerinden sapma miktarının minimizasyonu Eşitlik (4.33) ile ifade edilmiş ve amaç fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. Eşitlik (4.28.)'in modellenmesiyle elde edilen optimum maliyet değerinden sapma miktarının minimizasyonu birinci öncelikli amaç olduğundan Eşitlik(4.28.)'in minimizasyonu ile bulunan değer korunması gerekmektedir. Bu koşul Eşitlik (3.51.) ile gösterilerek modele kısıt olarak eklenmiştir. Model 100 iterasyon çalıştırılmış olup, her iterasyonda farklı sapma değerleri elde edilmekte ve her bir sapmaya göre model çözüldüğü için ara sapma değerleri verilmemiştir. Tek amaçlı modellerde dikkate alınan Eşitlik(4.5.)-(4.24.)'e ek olarak ve Eşitlik (4.29.)-(4.32.) dikkate alınarak model Gams programında çözülmüştür. Stok miktarlarının olasılıksal olarak ifade edilmesinden dolayı iterasyon sayısı modele dahil edilmiş ve 100 olarak belirlenmiştir. Problem

stokastik LP olup Solver Type olarak CpLex belirlenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçeteleri Çizelge 4.23'te verilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_2- \quad (4.33.)$$

Çizelge 4.23.Çekme Mukavemetini Yapan Hedef Programlama Sonucu

| Hammadde           | Miktar(KG) | Hammadde  | Miktar(KG) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 42,707     | Çam       | 287,549    |
| Sertleştirici      | 0,13       | Huş       | 74,851     |
| Emülsiyon          | 0,34       | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 0          | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,49       | Okaliptüs | 0          |

#### 4.4.2.3. Üçüncü Öncelikli Amaç Olarak Eğilme Direnci Maksimizasyonu Model Çözümü

Tek amaçlı modelde optimum eğilme direnci değerinden sapma miktarının minimizasyonu Eşitlik (4.34.) ile ifade edilmiş ve amaç fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. Eğilme direnci maksimizasyonunu amacı gerçekleştirilirken birinci ve ikinci öncelikli amaçların çözümü ile elde edilen değerlerin korunması gerekmektedir. Bu sebeple Eşitlik(4.28.)'in minimizasyonundan elde edilen değer Eşit(3.51.); Eşitlik(4.33.)'ün minimizasyonu ile elde edilen değer Eşitlik (3.53.) olarak modele eklenmiştir. Model 100 iterasyon çalıştırılmış olup, her iterasyonda farklı sapma değerleri elde edilmekte ve her bir sapmaya göre model çözüldüğü için ara sapma değerleri verilmemiştir. Tek amaçlı modellerde dikkate alınan Eşitlik(4.5.)-(4.24.)'e ek olarak ve Eşitlik 4.29-4.32, 3.51, 3.53, dikkate alınarak model Gams programında çözülmüştür. Stok miktarlarının olasılıksal olarak ifade edilmesinden dolayı iterasyon sayısı modele dahil edilmiş ve 100 olarak belirlenmiştir. Problem stokastik LP olup Solver Type olarak CpLex belirlenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçeteleri Çizelge 4.24.'te verilmiştir.

*Minimizing  $S_3$ -*

(4.34.)

Çizelge 4.24.Eğilme Direncini Maksimum Yapan Hedef Programlama Sonucu

| Hammadde           | Miktar(KG) | Hammadde  | Miktar(KG) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 38,7       | Çam       | 362,4      |
| Sertleştirici      | 0,13       | Huş       | 0          |
| Emülsiyon          | 0          | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 0,737      | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,49       | Okalıptüs | 0          |

#### 4.4.2.4. Dördüncü Öncelikli Amaç Olarak Yüzey Sağlamlığı Maksimizasyonu

##### Model Çözümü

Tek amaçlı modelde optimum yüzey sağlamlığı değerinden sapma miktarının minimizasyonu Eşitlik (4.35) ile ifade edilmiş ve amaç fonksiyonu olarak dikkate alınmıştır. Yüzey sağlamlığı maksimizasyonunu amacı gerçekleştirilirken birinci, ikinci ve ikinci öncelikli amaçların çözümü ile elde edilen değerlerin korunması gerekmektedir. Bu sebeple Eşitlik(4.28.)'in minimizasyonundan elde edilen değer Eşit(3.51.); Eşitlik(4.33)'ün minimizasyonu ile elde edilen değer Eşitlik(3.53) ve Eşitlik(4.34.)'in minimizasyonu ile elde edilen Eşitlik(4.36.) olarak modele eklenmiştir. İterasyonlardan elde edilen sapma değerleri verilmemiş olup, dördüncü öncelikli amaç fonksiyonuna ait çözümde tercih edilen sapma değeri Eşitlik (4.36)'da verilmiştir. Tek amaçlı modellerde dikkate alınan Eşitlik(4.5.)-(4.24.)'e ek olarak ve Eşitlik (4.29.)-(4.32.)dikkate alınarak model Gams programında çözülmüştür. Stok miktarlarının olasılıksal olarak ifade edilmesinden dolayı iterasyon sayısı modele dahil edilmiş ve 100 olarak belirlenmiştir. Problem stokastik LP olup Solver Type olarak CpLex belirlenmiştir. Model sonucunda elde edilen ürün reçeteleri Çizelge 4.25.'te verilmiştir.

$$\text{Minimizing } S_4- \quad (4.35.)$$

$$S_3^- = 0,069 \quad (4.36.)$$

Çizelge 4.25.Yüzey Sağlamlığını Maksimum Yapan Hedef Programlama Sonucu

| Hammadde           | Miktar(Kg) | Hammadde  | Miktar(Kg) |
|--------------------|------------|-----------|------------|
| Tutkal             | 38,7       | Çam       | 273,588    |
| Sertleştirici      | 0,13       | Huş       | 0          |
| Emülsiyon          | 1,04       | Meşe      | 0          |
| Parafin            | 0,752      | Akçaağaç  | 0          |
| Formaldehit Tutucu | 1,818      | Okaliptüs | 88,812     |

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

Tek amaçlı model sonuçları ile çok amaçlı önceliklendirmeli hedef programlama sonuçları Çizelge 4.23.'de verilmiştir. Ürün maliyeti maliyet minimizasyonu modelinde 153,291 tl iken çekme mukavemeti maksimizasyonu modelinde 152,794 tl, eğilme direnci maksimizasyonu modelinde 158,2 tl ve yüzey sağlamlığı maksimizasyonu modelinde 168,863 tl olarak bulunmuştur. Birinci öncelikli HP'de 153,325 tl, ikinci öncelikli HP'de 156,296 tl, üçüncü öncelikli HP'de 148,701 tl ve dördüncü öncelikli HP'de ise 156,294 tl olarak bulunmuştur. Çekme mukavemeti maliyet minimizasyonu modelinde 0,5 N/mm<sup>2</sup> iken çekme mukavemeti maksimizasyonu modelinde 0,505 N/mm<sup>2</sup>, eğilme direnci maksimizasyonu modelinde 0,457 N/mm<sup>2</sup> ve yüzey sağlamlığı maksimizasyonu modelinde 0,539 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Birinci öncelikli HP'de 0,515 N/mm<sup>2</sup>, ikinci öncelikli HP'de 0,551 N/mm<sup>2</sup>, üçüncü öncelikli HP'de 0,564 N/mm<sup>2</sup> ve dördüncü öncelikli HP'de ise 0,505 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Eğilme direnci maliyet minimizasyonu modelinde 39,557 N/mm<sup>2</sup> iken çekme mukavemeti maksimizasyonu modelinde 40,106 N/mm<sup>2</sup>, eğilme direnci maksimizasyonu modelinde 34,607 N/mm<sup>2</sup> ve yüzey sağlamlığı maksimizasyonu modelinde 30 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Birinci öncelikli HP'de 30 N/mm<sup>2</sup>, ikinci öncelikli

HP'de  $30,002 \text{ N/mm}^2$ , üçüncü öncelikli HP'de  $34,487 \text{ N/mm}^2$  ve dördüncü öncelikli HP'de ise  $34,483 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Yüzey sağlamlığı maliyet minimizasyonu modelinde  $1,665 \text{ N/mm}^2$  iken çekme mukavemeti maksimizasyonu modelinde  $1,66 \text{ N/mm}^2$ , eğilme direnci maksimizasyonu modelinde  $1,686 \text{ N/mm}^2$  ve yüzey sağlamlığı maksimizasyonu modelinde  $1,735 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Birinci öncelikli HP'de  $1,366 \text{ N/mm}^2$ , ikinci öncelikli HP'de  $1,469 \text{ N/mm}^2$ , üçüncü öncelikli HP'de  $1,583 \text{ N/mm}^2$  ve dördüncü öncelikli HP'de ise  $1,666 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.26.Tek Amaçlı Model ve Önceliklendirmeli HP Sonuçları

|                                      | <b>Maliyet<br/>Minimizasyonu</b> | <b>Çekme<br/>Mukavemeti</b> | <b>Eğilme<br/>Direnci</b> | <b>Yüzey<br/>Sağlamlığı</b> | <b>1.<br/>Öncelikli<br/>HP</b> | <b>2.<br/>Öncelikli<br/>HP</b> | <b>3.<br/>Öncelikli<br/>HP</b> | <b>4.<br/>Öncelikli<br/>HP</b> |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Maliyet(₺)                           | 153,291                          | 152,794                     | 158,2                     | 168,863                     | 153,325                        | 156,296                        | 148,701                        | 156,294                        |
| Çekme mukavemeti(N/mm <sup>2</sup> ) | 0,5                              | 0,505                       | 0,457                     | 0,539                       | 0,515                          | 0,551                          | 0,564                          | 0,505                          |
| Eğilme direnci(N/mm <sup>2</sup> )   | 39,557                           | 40,106                      | 34,607                    | 30                          | 30                             | 30,002                         | 34,487                         | 34,483                         |
| Yüzey sağlamlığı(N/mm <sup>2</sup> ) | 1,665                            | 1,66                        | 1,686                     | 1,735                       | 1,366                          | 1,469                          | 1,583                          | 1,666                          |
| Tutkal(Kg)                           | 38,7                             | 38,7                        | 38,7                      | 54,36                       | 38,70                          | 42,707                         | 38,7                           | 38,7                           |
| Sertleştirici(Kg)                    | 0,13                             | 0,069                       | 0,13                      | 0,13                        | 0,13                           | 0,13                           | 0,13                           | 0,13                           |
| Emülsiyon(Kg)                        | 0                                | 1,04                        | 1,04                      | 0,769                       | 0                              | 0,34                           | 0                              | 1,04                           |
| Parafin(Kg)                          | 1,016                            | 1,03                        | 1,03                      | 0                           | 0,314                          | 0                              | 0,737                          | 0,752                          |
| F. Tutucu(Kg)                        | 1,49                             | 1,49                        | 1,583                     | 1,49                        | 1,49                           | 1,49                           | 1,49                           | 1,818                          |
| Çam(Kg)                              | 253,68                           | 347,246                     | 257,405                   | 350,103                     | 253,68                         | 287,549                        | 362,4                          | 273,588                        |
| Huş(Kg)                              | 0                                | 0                           | 0                         | 0                           | 108,72                         | 74,851                         | 0                              | 0                              |
| Meşe(Kg)                             | 0                                | 0                           | 0                         | 0                           | 0                              | 0                              | 0                              | 0                              |
| Akçaağaç(Kg)                         | 0                                | 0                           | 0                         | 0                           | 0                              | 0                              | 0                              | 0                              |
| Okalıptüs(Kg)                        | 108,72                           | 15,154                      | 104,995                   | 12,297                      | 0                              | 0                              | 0                              | 88,812                         |

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1.Sonuçlar

Bu çalışmada büyük ölçekli MDF üretim tesisinde üretilen MDF levha ürün reçete optimizasyonu hedeflenmiştir. Üretim raporlarından elde edilen üretim reçete değerlerinden tutkal, sertleştirici, emülsiyon parafin, parafin, formaldehit tutucu, çam, huş, meşe, akçaağaç ve okalıptüsün çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur.

Çalışma kapsamında çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığı değerlerini etkileyen 109 girdi parametresi değerlendirilerek, istatistiksel analizle çıktı parametreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonrasında regresyon analizi uygulamasıyla çıktı parametrelerine etki eden hammaddelerin matematiksel fonksiyonların ortaya koyulmuştur.

Çalışma kapsamında tek amaçlı ve çok amaçlı doğrusal optimizasyon modeli kurulmuş ve Gams optimizasyon modeli ile çözüm elde edilmiştir. Çözülen tek amaçlı modellerde amaç, ürün reçetesinin, çekme mukavemetinin, eğilme direncinin ve yüzey sağlamlığının optimizasyonu olmakla beraber aynı anda birden fazla amacın gerçekleştirilebilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple tek amaçlı modellerin haricinde daha fazla başarımlı özelliğinin bir arada optimize edildiği çok amaçlı modellerin de oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmıştır. MDF levha üretim maliyeti, çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığının beraber optimize edilmeye çalışıldığı matematiksel model kurularak uygun çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Kurulan modellerde bulunan kısıtlar standartların ya da firmanın müşteri beklentilerine göre kendi belirlediği değerler dikkate alınarak oluşturulmuşlardır ve MDF levha üretim maliyetinin önceliklendirildiği öncelikli hedef programlama yöntemi kullanılarak istenilen çözümlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Çalışmada hedef programlamada ilk öncelik olarak maliyet minimizasyonu dikkate alınmış ve model bulunmuştur. İkinci öncelik olarak çekme mukavemeti maksimize edilmiştir. Eğilme direnci maksimizasyonu için öncelik olarak çözülmüştür. Dördüncü ve son öncelik olarak yüzey sağlamlığı maksimize edilmiştir. Hedef programlama yöntemi ile elde edilen ideal çözüm değerleri tutkal 38,7 kg, sertleştirici 0,13 kg, emülsiyon parafin 1,04 kg, parafin 0,752 kg, formaldehit tutucu 1,818 kg, çam 283,588 kg, ve okaliptüs 88,812 kg iken üretim maliyeti 156,294 ₺, çekme mukavemeti 0,505 N/mm<sup>2</sup>, eğilme direnci 34,483 N/mm<sup>2</sup> ve yüzey sağlamlığı 1,666 N/mm<sup>2</sup> değerlerini almaktadır.

Firma geçmiş üretim tecrübelerine dayanarak üretime başladıktan sonra müşteri beklentileri doğrultusunda istenilen çıktı değerlerini yakalayıp yakalayamadığını test sonuçlarıyla görüyordu ve olası kötü sonuçlar fire, üretim kaybı, aynı partide üretilen ürünlerin aynı nitelikte olamaması vb. durumlara neden olabiliyordu. Yapılan bu çalışma neticesinde firmanın üretime geçmeden önce istenen değerleri sağlaması kolaylaşmıştır. Bu sayede üretime başladıktan sonra alınan testte ürünün alacağı çıktı değerleri daha öngörülebilir olacağından fire oranının düşmesi, üretim maliyetinin düşmesi sağlanacaktır.

## 5.2.Öneriler

Çalışmada regresyon modelinden sağlanan fonksiyonlar ile matematiksel model kurulmaktadır. Çalışmadaki regresyon modelleri için veriler çalışma yürütülen firmanın yapmış olduğu üretimleri sayesinde yüz dokuz veri çalışılarak uygulanmıştır.

Regresyon analizi neticesinde ortaya koyduğumuz matematiksel modelden gerçeğe yakın sonuçlar alabilmemiz için kabuk soymadan zımparalamaya kadar ki çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığını etkileyen diğer faktörlerin süreçte yer alması sağlanmalıdır.

Çalışmada sadece çekme mukavemeti, eğilme direnci ve yüzey sağlamlığını parametrelerinin üretimde kullanılan hammadde miktarlarına göre

değişimi dikkate alınmış olup diğer süreçler kapsam dışında tutulmuştur. Ancak özellikle ağaç hammaddelerinin stok yaşı değerleri de göz önüne alınarak daha geniş bir çalışma yapılması daha doğru sonuçlar verebilecektir. Çalışmada pres öncesi ön ısıtma sürecinin kullanılıp kullanmadığı kapsam dışı bırakılmıştır. Ön ısıtıcının kullanılma durumunun dahil edilerek daha geniş kapsamda çalışma yapılabilir. Gelecek çalışmalarda ilgili proste farklı ürünler için ürün maliyetini düşürecek reçete çalışmaları yapılabilir. Çalışmamızda hammadde stoku dikkate alınarak hedef programlama ve öncelikli hedef programlama kullanılmasıyla optimizasyon modeli geliştirilmiştir. Gelecek çalışmalarda ürün reçetesi ile beraber üretim parametrelerini de dikkate alan çalışmalara yer verilebilir.



## KAYNAKLAR

- Akbulut, T. (1991). *Orüs-Vezirköprü Yongalevha Fabrikasında Üretilen Levhaların Teknolojik Özellikleri* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).
- Akbulut, T., Hiziroglu, S., & Ayrilmis, N. (2000). Surface absorption, surface roughness, and formaldehyde emission of Turkish medium density fiberboard. *Forest Products Journal*, 50(6), 45-48.
- Akgül, M., & Çamlibel, O. (2008). Manufacture of medium density fiberboard (MDF) panels from rhododendron (*R. ponticum* L.) biomass. *Building and Environment*, 43(4), 438-443.
- Akman, G., & Özkan, C. (2011). Sac imalatında karşılaşılan yapışma probleminin deney tasarımı ile çözümü. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 12(2), 187-199.
- Alp, S. (2008). Doğrusal hedef programlama yönteminin otobüsle kent içi toplu taşıma sisteminde kullanılması.
- Analı, İ. (1999). Ulaştırma Modeli ve Türk Tekstil Sektöründeki Dış Ticaret Sermaye Şirketlerinin İhracatlarının Ulaştırma Modeli Yardımıyla Optimizasyonu. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı Yöneylem Araştırması Bilim Dalı, İstanbul
- Ankara Üniversitesi(2019, 11 04) Doğrusal Programlamaya Giriş, 11 Nisan 2019 [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/22657/mod\\_resource/content/0/1.DP%20ye%20Giris.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/22657/mod_resource/content/0/1.DP%20ye%20Giris.pdf) adresinden erişildi.
- Ayrılmış, N., 2000, *MDF'nin teknolojik özellikleri üzerine ağaç türünün etkisi*, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BAKOĞLU Hüsamettin, Doğrusal Programlama, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Seri No:106, İzmir, 1982

- Boran, S., Usta, M., & Gümüşkaya, E. (2011). Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(7), 674-678.
- Bozkurt, A. Y., & Göker, Y. (1985). Yonga Levha Endüstrisi Ders Kitabı. *Ü Orman Fakültesi Yayınları, İÜ Yayın*, (3311)
- Bozkurt, R. (1995). ISO 9000 kalite güvencesi sistemleri: sistem kurma süreci örnek kalite el kitabı örnek prosedürler, talimatlar ve formlar el kitabı. Milli Prodüktivite Merkezi.
- Büyüköztürk, Ş. (2018). Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı. Pegem Atıf İndeksi, 001-214.
- Charnes, A., Cooper, W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming. John Wiley and Sons, New York, 1961.
- Çolak, S., Öztürk, H., Demir, A., & Demirkır, C. (2015). Yongalevha Üretiminde Kontraplak Atıklarının Kullanılması. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), 601-612.
- Çöpür, Y., Güler, C., Taşcıoğlu, C., & Tozluoğlu, A. (2008). Incorporation of hazelnut shell and husk in MDF production. *Bioresource Technology*, 99(15), 7402-7406.
- Dağlı, H.(2002), Tutkal farkı ve bekletme ortamının kama dişli birleştirmede mekanik özellikler üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dantzig, G. B. (1998). Linear programming and extensions. Princeton university press.
- Deb, K. (1999, July). Solving goal programming problems using multi-objective genetic algorithms. In *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99* (Cat. No. 99TH8406) (Vol. 1, pp. 77-84). IEEE.

- Dowey, S. J., & Matthews, A. (1998). Taguchi and TQM: Quality issues for surface engineered applications. *Surface and Coatings Technology*, 110(1-2), 86-93.
- Dunky, M. (1998). Urea-formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 18(2), 95-107.
- Elevli, B. (2014). Doğrusal Programlama Modeli: Un Üretiminde Minimum Maliyet Maksimum Kalite İçin Buğday Karışımının Optimizasyonu. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 177-188.
- Eltawahni, H. A., Olabi, A. G., & Benyounis, K. Y. (2011). Investigating the CO2 laser cutting parameters of MDF wood composite material. *Optics & Laser Technology*, 43(3), 648-659.
- Eroğlu H ve Usta M. Liflevha Üretim Teknolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:200, Fakülte Yayın No:30, 351 s., Trabzon, Türkiye, 2000
- Gams Development Corp.(2019, 24 07) An Introduction to GAMS. 24 Temmuz 2019 tarihinde <https://www.gams.com/products/introduction/> adresinden erişildi.
- Garay, R. M., MacDonald, F., Acevedo, M. L., Calderón, B., & Araya, J. E. (2009). Particleboard made with crop residues mixed with wood from *Pinus radiata*. *BioResources*, 4(4), 1396-1408.
- Ghosh, D., Sharma, D. K., & Mattison, D. M. (2005). Goal programming formulation in nutrient management for rice production in West Bengal. *International Journal of Production Economics*, 95(1), 1-7.
- Göker, Y., Akbulut, T., & Ayrılmış, N. (2002). Türkiye’de üretilen mdf levhaların teknolojik özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 54(1), 13-36.

- Gravemeijer, K. (2002). Preamble: From models to modeling. In *Symbolizing, modeling and tool use in mathematics education*(pp. 7-22). Springer, Dordrecht.
- Gul, W., Khan, A., & Shakoor, A. (2017). Impact of hot pressing temperature on medium density fiberboard (MDF) performance. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017.
- Gülenç, İ. F., & Karabulut, B. (2005). Doğrusal hedef programlama ile bir üretim planlama probleminin çözümü. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (9), 55-68.
- Güngör, M., Umarusman, N., & Güneş, M. SERMAYE KISITLARI ALTINDA HEDEF PROGRAMLAMA VE BULANIK HEDEF PROGRAMLAMANNIN EN İYİ FİYAT BELİRLEME SÜREÇLERİNDE KULLANILMASI VE BİR UYGULAMA.
- Ignizio, J. P. (1982). Linear programming in single-& multiple-objective systems. Prentice Hall.
- Jones, D. F., & Tamiz, M. (2003). Goal programming in the period 1990–2000. In *Multiple Criteria Optimization: State of the art annotated bibliographic surveys* (pp. 129-170). Springer, Boston, MA.
- Karayılmaz, S., & Balaban, E. (2000). Yonga Levha Endüstrisinde Bir Yöneylem Araştırması Uygulaması. *Tübitak Türk Journal of Agriculture*, 24, 11-18.
- Khedari, J., Nankongnab, N., Hirunlabh, J., & Teekasap, S. (2004). New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. *Building and environment*, 39(1), 59-65.
- Nemli, G., Demirel, S., & Zekoviç, E. (2006). Yonga rutubeti, parafin kullanımı ve ağaç cinsinin yongalevhanın bazı teknolojik özellikleri üzerine etkileri.
- Osa Kimya(2019, 04 06), 04 Haziran 2019 tarihinde <https://www.kimyaborsasi.com.tr/tr/p/parafin-kati-99.html> adresinden erişildi.
- Özgüven, C. (2003). Doğrusal programlama ve uzantıları. Detay Yayıncılık.

- Prakash, S., Mercy, J. L., Palanikumar, K., Ramesh, S., Jamal, M. R., & Michael, A. J. (2012). Experimental Studies on Surface roughness in drilling MDF composite panels using Taguchi and Regression Analysis Method. *Journal of Applied Sciences(Faisalabad)*, 12(10), 978-984.
- Roffael, E. (1993). *Formaldehyde release from particleboard and other wood based panels*. Forest Research Institute Malaysia= Institut Penyelidikan Perhutanan.
- Xing, C., Zhang, S. Y., Deng, J., & Wang, S. (2007). Investigation of the effects of bark fiber as core material and its resin content on three-layer MDF performance by response surface methodology. *Wood Science and Technology*, 41(7), 585-595.
- Yang, W. P., & Tarn, Y. S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of materials processing technology*, 84(1-3), 122-129.
- TAHA Hamdy A., *Operations Research An Introduction*, Sixth Edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1987, s.11
- Taha, H. A. (2000). Yöneylem araştırması. Literatür.
- Sariaslan, H. (1986). Kaynak dağılımında doğrusal programlama. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi.
- Öztürk, A. (2005). Yöneylem Araştırması, Ekin Kitabevi. Onuncu Baskı, Bursa.
- Pati, R. K., Vrat, P., & Kumar, P. (2008). A goal programming model for paper recycling system. *Omega*, 36(3), 405-417.
- Romero, C. (2004). A general structure of achievement function for a goal programming model. *European Journal of Operational Research*, 153(3), 675-686.
- Romero, C. (2014). *Handbook of critical issues in goal programming*. Elsevier.
- Sariaslan, H. (1986). Kaynak dağılımında doğrusal programlama. Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi.

- Song, W., Zhu, M., & Zhang, S. (2018). Comparison of the properties of fiberboard composites with bamboo green, wood, or their combination as the fibrous raw material. *BioResources*, 13(2), 3315-3334.
- Suchsland, O., & Woodson, G. E. (1987). Fiberboard manufacturing practices in the United States. *Agriculture handbook/United States. Dept. of Agriculture (USA)*.
- Şahinler, S. (2000). En küçük kareler yöntemi ile doğrusal regresyon modeli oluşturma'nın temel prensipleri. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5(1-2), 57-73.
- Şen, C. (2011). Modellemeye Giriş [Power Point Slaytı]. 05 Temmuz 2019 tarihinde <http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/modellemeyegiris/acrobats/Ders%20504.11.pdf> adresinden erişildi.
- Tamiz, M., Jones, D., & Romero, C. (1998). Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of operational research*, 111(3), 569-581.
- Troutt, M. D., & Tadisina, S. K. (1991). A mixed integer programming approach for accommodating outliers with the minimax absolute error criterion. *Computers & operations research*, 18(4), 391-395.
- TS EN- 316, 2011. Odun Mamul Lif Levhalar – Tarifler Sınıflandırma ve Semboller, TSE, Ankara.
- Türkoğlu, S. P. (2017). Karar Vermede Hedef Programlama Yöntemi ve Uygulamaları. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(2), 29-46.
- Yildiz, S., Yıldiz, Ü. C., Gezer, E. D., & Temiz, A. (2002). Some lignocellulosic wastes used as raw material in cultivation of the *Pleurotus ostreatus* culture mushroom. *Process Biochemistry*, 38(3), 301-306.

## ÖZGEÇMİŞ

1984’de Mersin’de doğdu. 2006 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. 2008-2011 yılları arasında OYKA Kağıt Ambalaj A.Ş. firmasında Üretim Mühendisi olarak çalıştı. 2011-2012 yılları arasında URSA Plastik A.Ş.’de Üretim Planlama Mühendisi olarak çalıştı. 2012 yılında Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii A.Ş.’de Üretim Planlama Şefi olarak çalışmaya devam etmektedir.