T.C. İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜRETİM PLANLAMADA BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YÖNTEMİ: METAL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Dilara ÖZÜLKÜ

Danışman
Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dilara ÖZÜLKÜ tarafından hazırlanan **" Üretim Planlamada Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemi: Metal Sektöründe Bir Uygulama"** adlı tez çalışması 22/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	**Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU** İstanbul Ticaret Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Berk AYVAZ** İstanbul Ticaret Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	**Doç. Dr. Fatih ÖZTÜRK** İstanbul Medeniyet Üniversitesi	.....

Onay Tarihi : 23.12.2022

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 23.12.2022 tarih ve 2022/369 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 9. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen "Dilara ÖZÜLKÜ" adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Doğan KAYA
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

23.12.2022

Dilara ÖZÜLKÜ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ŞEKİLLER vi
ÇİZELGELER vii
SİMGELER VE KISALTMALAR viii
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 3
3. ÜRETİM SİSTEMLERİ 9
3.1. Üretim Tanımı 9
3.2. Üretim Sistemleri 10
3.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması 13
3.3.1. Üretim yöntemlerine göre sınıflandırma 14
3.3.2. Mamul cinsine göre sınıflandırma 15
3.3.3. Üretim miktarına veya akışına göre sınıflandırma 15
4. ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL 17
4.1. Üretim Planlama ve Kontrolün Tanımı 17
4.2. Üretim Planlama Adımları 18
4.3. Üretim Planlamanın Amacı 20
4.4. Üretim Planlama Faaliyetlerinin Dönemsel Bazda Sınıflandırılması 20
4.4.1. Uzun dönemli üretim planlaması 22
4.4.2. Orta dönemli üretim planlaması 23
4.4.3. Kısa dönemli üretim planlaması 24
4.5. Üretim Planlamada Karar Problemleri ve Çözüm Yöntemleri 25
4.5.1. Karar verme 25
4.5.2. Üretim planlama problemlerinde doğrusal programlama yaklaşımı 27
5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA 28
5.1. Doğrusal Programlama Tanımı ve Amacı 28
5.2. Doğrusal Programlamanın Tarihçesi, Gelişimi ve Uygulama Alanları 29
5.3. Doğrusal Programlama Varsayımları 32
5.4. Doğrusal Programlama Modellerinin Kurulması 34
5.4.1. Doğrusal programlama modellerinin matematiksel gösterimi 38
5.5. Doğrusal Programlama Modellerin Çözümü ve Kullanılan Yöntemler 41
5.5.1. Doğrusal programlamanın grafikle çözüm yöntemi 42
5.6. Doğrusal Programlamada Simpleks Algoritması 46
5.6.1. Doğrusal programlama modellerinin bilgisayar ile çözümü 47
5.6.2. Duyarlılık analizi 49
6. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA 50
6.1. Bulanık Doğrusal Programlama Tanımı ve Amacı 50
6.2. Bulanık Doğrusal Programlama ile İlgili Yapılan Çalışmalar 51
6.3. Bulanık Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması ve Matematiksel Gösterimi 53
6.4. Bulanık Doğrusal Programlama Modelleri ve Çözüm Yaklaşımları 55
6.4.1. Verdegay yaklaşımı 57

6.4.2. Werners yaklaşımı 58
6.4.3. Zimmermann yaklaşımı 59
6.4.4. Chanas yaklaşımı 60
7. METAL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA 62
7.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtılması 62
7.2. Fabrikadaki Üretilen Ürünler ve Üretim Süreçleri 63
7.3. Modelin Kurulması 68
7.3.1. Problemin belirlenmesi ve modelin tanımlanması 68
7.3.2. Karar değişkenlerinin belirlenmesi 69
7.3.3. Amaç fonksiyonunun oluşturulması 70
7.3.4. Kısıtların oluşturulması 72
7.3.5. Modelin çözülmesi 77
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 88
KAYNAKLAR 91
EKLER 97
EK A. Hammadde Maliyeti Tablosu 98
EK B. Ürünlerin Birim Kar Değerleri Tablosu 101
EK C. Sac Hammadde Kullanım Tablosu 102
EK D. Asgari Ürün Miktarı 103
EK E. Ürünlerin Pres Makinelerinde Üretim Süresi 104
EK F. Pres Makineleri Nominal Çalışma ve Arıza Süresi 105
EK G. Uygulamanın Lingo Girdileri 106
EK H. Modelin Lingo Çıktısı 108
ÖZGEÇMİŞ 113

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜRETİM PLANLAMA PROBLEMLERİNDE BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TEKNİĞİNİN KULLANIMI: METAL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Dilara ÖZÜLKÜ

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU

2022, 113 Sayfa

Günümüzde artan rekabet ortamı işletmelerin sahip olduğu kaynakları daha verimli kullanmasını önemli bir hale getirmiştir. İşletmelerin sahip oldukları kaynakları müşteri talep ve isteklerine göre doğru zamanda ve doğru miktarda kullanmaları ancak etkili bir üretim planlama ile olmaktadır. Üretim planlama ile olası talep artışlarına öncesinden çözüm bulan işletmeler, müşteri isteklerine kısa sürede cevap vererek minimum maliyet ve maksimum kar sağlamaktadır.

İşletmelerde yaşanan üretim planlama problemlerinde fazla kısıt olması nedeniyle oluşan problemleri detaylı çözüme ulaştırmak için klasik doğrusal programlama kullanılsa da klasik doğrusal programlama belirsizlik içeren durumlarda yetersiz kalmaktadır. Belirsizlik ortamında en iyi karar vermeyi sağlayan model bulanık doğrusal programlamadır. Bu nedenle çalışmada, metal sektöründe faaliyet gösteren bir firmada üretim planlama problemi ilk olarak doğrusal programlama yöntemiyle çözülmüş ardından gerçek hayat problemlerinde verilerin kesin olmaması nedeniyle talep verileri bulanık alınarak bulanık doğrusal programlamanın verdegay yaklaşımıyla modellenmiştir. Lingo bilgisayar programı yardımıyla çözüm sonucu bulunmuştur.

Çalışma beş ana bölümde incelenmiştir. Birinci bölümde üretimin tanımı, ikinci bölümde üretim planlama ve planlama dönemleri detaylı anlatılmıştır. Üçüncü bölümde üretim planlama problemlerinin çözülmesinde kullanılabilen doğrusal programlama detaylı incelenmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde bulanık doğrusal programlama, konu ile ilgili yapılan çalışmalar, matematiksel modellemesi ve çözüm yöntemleri ele alınmıştır. Son olarak metal sektöründe faaliyet gösteren işletme için üretim planlama problemi doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programıyla model oluşturulmuş ve Lingo yazılımıyla ile çözüm bulunmuştur. Böylece işletmede alınan verilerin belli kısıtlar altında maksimum kâr değerine ulaşılmıştır. Ulaşılan model üzerinde duyarlılık analizi yapılarak probleme uygun model elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık doğrusal programlama, doğrusal programlama, metal sektörü, üretim planlama.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE USE OF FUZZY LINEAR PROGRAMMING TECHNIQUE IN PRODUCTION PLANNING PROBLEMS: AN APPLICATION IN THE METAL INDUSTRY

Dilara ÖZÜLKÜ

İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU

2022, 113 Pages

Today, the increasing competitive environment has made it important for businesses to use their resources more efficiently. It is only with an effective production planning that businesses use their resources at the right time and in the right amount according to customer demands and requests. Businesses that find solutions to possible demand increases with production planning in advance provide profit by responding to customer requests in a short time.

Although classical linear programming is used to provide detailed solutions to the problems that occur due to excessive constraints in production planning problems experienced in enterprises, classical linear programming is insufficient in cases involving uncertainty. The model that provides the best decision-making in an environment of uncertainty is fuzzy linear programming. For this reason, in a company operating in the metal sector, the production planning problem was first solved with the linear programming method, and then the demand data was modeled with the verdegay approach of fuzzy linear programming, due to the inconsistency of the data in real life problems. The solution result was found with the help of Lingo computer program.

The study has been examined in five main sections. In the first part, the definition of production, in the second part, the production planning and planning periods are explained in detail. In the third chapter, linear programming, which can be used to solve production planning problems, is examined in detail. In the fourth part of the study, fuzzy linear programming, studies on the subject, mathematical modeling and solution methods are discussed. Finally, the production planning problem for the enterprise operating in the metal sector was modeled with linear programming and fuzzy linear program and a solution was found with Lingo software. Thus, the maximum profit value of the data received in the enterprise has been reached under certain constraints. Sensitivity analysis was performed on the reached model and a model suitable for the problem was obtained.

Keywords: Fuzzy linear programming, linear programming, metal industry, production planning.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmada lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana ışık olan, beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezimi tamamlamamda beni motive eden dostlarıma, tüm eğitim hayatım boyunca, hayatımın her aşamasında beni yalnız bırakmayan, desteklerini ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli annem ve babam Aslı ve Erdal ÖZÜLKÜ'ye, en büyük desteğim ve tez sürecinde beni daima motive eden bu hayattaki yol arkadaşım eşim Aykut ÖZCAN'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Dilara ÖZÜLKÜ
İSTANBUL, 2022

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 3.1. Bir üretim sisteminin temel elemanları 12
Şekil 3.2. Üretim sistemlerinin çevresel ilişkisi 13
Şekil 3.3. Siparişe göre üretim düzeni 15
Şekil 4.1. Toplam üretim planlama girdi-çıktısı 24
Şekil 5.1. Üretim modelinde doğrusal programlama akış diyagramı 34
Şekil 5.2. Doğrusal programlamada karar verme süreci 36
Şekil 5.3. Birinci kısıtlayıcının grafiğe yerleştirilmesi 43
Şekil 5.4. İkinci kısıtlayıcının grafiğe yerleştirilmesi 44
Şekil 5.5. Üçüncü kısıtlayıcının grafiğe yerleştirilmesi 45
Şekil 5.6. Optimum noktayı bulma 45
Şekil 6.1. Üyelik derecesi 55
Şekil 7.1. Günlük üretim formu örneği 63
Şekil 7.2. Günlük sevk emri örneği 64
Şekil 7.3. Montaj parçaları akış şeması 67

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 3.1. Üretim sistemi çeşitleri 11
Çizelge 4.1. Dönemlere göre üretim planlama 22
Çizelge 5.1. Doğrusal programlama uygulama alanları 31
Çizelge 5.2. Temel uygun çözümler ve amaç fonksiyonu değerleri 46
Çizelge 6.1. BDP yapılan çalışmalar 52
Çizelge 6.2. Zimmermann sınıflandırması 57
Çizelge 7.1. Ürünlerin adları 65
Çizelge 7.2. Tamamlayıcı parça azami tedarik miktarı 73
Çizelge 7.3. Lingo çözüm çıktısı 77
Çizelge 7.4. Aylak değişken ve gölge fiyatı çıktısı 79
Çizelge 7.5. Verdegay yaklaşımı sonuç tablosu 84
Çizelge 7.6. Değişken katsayı aralıkları 85
Çizelge A. 1. Sac hammadde maliyeti tablosu 98
Çizelge A. 2. Tamamlayıcı parça maliyeti tablosu 99
Çizelge A. 3. Ambalaj maliyeti tablosu 100
Çizelge B. 1. Ürünlerin birim kar değerleri tablosu 101
Çizelge C. 1. Sac Hammadde kullanım tablosu 102
Çizelge D. 1. Asgari ürün miktarı 103
Çizelge E. 1. Ürünlerin pres makinelerinde üretim süresi 104
Çizelge F. 1. Pres makineleri nominal çalışma ve arıza süresi 105

SİMGELER VE KISALTMALAR

AMPL	A Modeling Language For Mathematical Programming
BDP	Bulanık Doğrusal Programlama
CPFR	Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment
CRP	Capacity Requirements Planning
DP	Doğrusal Programlama
ESM	Ekonomik Sipariş Miktarı
GAMS	The General Algebraic Modeling System
GINO	General Integer and Non-Linear Optimizer
GSMH	Gayri Safi Milli Hâsıla
İSO	İstanbul Sanayi Odası
LINGO	Linear Nonlinear and Integer Optimizer
LP	Lineer Programlama
MPS	Master Production Scheduling
MRP	Material Requirements Planning
NCTM	National Council of Teachers of Mathematics
OÇ	Optimal Çözüm
OR	Operational Research (Yöneylem Araştırması)
OSL	Optimization Software Library
RCCP	Rough-Cut Capacity Planning (Kapasite Planlaması)
TDK	Türk Dil Kurumu
TUÇ	Temel Uygun Çözüm
TUİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UÇ	Uygun Çözüm
ÜPK	Üretim Planlama ve Kontrol

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiye ayak uydurmak aynı zamanda çağdaş işletmecilik anlayışına uyum sağlamak öncelikle yönetimsel uygulamaların en iyi şekilde uygulanmasıyla mümkündür. Bu gelişim özellikle fabrikalarda olumlu anlamda değişimler sağlasa da aynı sektörde yer alan işletmeler ve dolayısıyla da fabrikalar için bir rekabet ortamı oluşturmaktadır. Bu rekabet ortamı ile işletmeler için sahip olduğu kaynakları en iyi şekilde kullanma ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. Kaynakların sınırlı olduğu düşünüldüğünde mevcut kaynakların planlı bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple planlama işletmeler açısından önem kazanmış, planlama faaliyetleri ile eldeki kaynakların en verimli şekilde kullanılmasıyla; doğru zamanda ve istenilen miktarda ürün üretilmesi gerçekleştirilmiştir.

Üretim; girdilerin potansiyel faydanın istenen ürüne dönüştürülebildiği süreçlerin uygulamasını içerir. Üretim öncesinde kaynaklar iyi değerlendirilmeli; sınırlı miktarda olması durumunda etkin bir şekilde kullanımı sağlanmalıdır. Bu sebeple işletmeler üretim öncesinde gerekli ve etkin üretim planlamasını yaparak ileride yaşanacak belirsizliğin ve karışıklığın önüne geçmiş olur.

Üretim planlama; hammadde, makine ve iş gücü gibi kaynakların doğru zaman doğru miktar ve kalite bakımından hangi zamanda ve ne üretileceğini içeren faaliyetlerdir. Bu sayede gelecekte daha kesin adımlarla yürüyerek taleplerde oluşan herhangi bir değişime hızlı ve etkin bir şekilde karşılık vermek mümkün olacaktır. İşletmeler bu planı kısa, orta ve uzun vadeli planlar şeklinde yaparak olacak herhangi bir değişim ve farklılık durumlarında karşılık vermeyi olanaklı hale getirmektedir.

Planlamada karşılaşılan problemler için çözüm yöntemleri farklılık gösterse de en yaygın çözüm Yöneylem Araştırması'nın deterministik çözüm yöntemi olan doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlamadır. 1947 yılında II. Dünya Savaşı sırasında George B. Dantzing tarafından askeri lojistik problemlerini çözmek için geliştirilen doğrusal programlama ile üretim planlamada sınırlı kaynakların en etkin kullanımını sağlayarak; bu kaynaklar arasındaki farklı alternatifler içerisinde en optimal dağılımı sağlayan matematiksel ifadeyi bulmuş olmaktayız denilebilir. Doğrusal programlama sahip olduğu varsayımlar ile kurulan modeldeki en iyi sonucu

vermekte ve bu sayede de üretim planlama problemlerinin çözümünde de etkin olarak kullanılmaktadır. Doğrusal programlama modelleme de etkin olarak kullanılmasının yanı sıra gerçek hayat problemlerinde yaşanan belirsizlik ve bulanık değişkenlerin olmasından dolayı bulanık doğrusal programlama tercih edilmektedir. Bulanık doğrusal programlama çalışmaları L.A. Zadeh tarafından 1965 yılında belirsizlik ve olasılık teorisi mantığında gelişen bulanık küme teorisiyle başlamış ardından 1970 yılında R.E. Bellman ve L.A. Zadeh tarafından "Bulanık bir çevrede karar verme" adlı makalesiyle devam etmiştir. Klasik bir doğrusal programlamaya bulanık küme teorisini sunup ilk çalışmayı yapan 1974 yılında Zimmermann'dır. Bulanık doğrusal programlama yapılan bu çalışmalarla gelişerek günümüzdeki hâlini almış ve problemlerde yaşanan karmaşıklık belirsizlik durumlarında etkin bir şekilde kullanımı tercih edilmektedir.

Yapılan bu çalışmanın ana konusu metal sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın üretim planlama probleminin Doğrusal Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlama'nın Verdegay Yaklaşımıyla çözülmesidir. Bu bilgiler ışığında beş bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümünde, üretim tanımı ele alınmış, üretim sistemleri tanımlanarak üretim sistemlerinin sınıflandırılması yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde işletmeler için önem oluşturan üretim planlama kontrol tanımı, önemi, amacı ve dönemsel bazda sınıflandırılması yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde, üretim planlama problemlerinin çözümünde kullanılan Yöneylem Araştırmasının yöntemi olan Doğrusal Programlama detaylı olarak anlatılmıştır. Akabinde Doğrusal Programlama'nın amacı, uygulama alanları, varsayımları, modelin kurulması, matematiksel gösterimi ve çözüm yöntemleri ele alınmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde bulanık doğrusal programlama incelenmiştir. Bulanık doğrusal programlamada yapılan çalışmalar, matematiksel modellemesi ve bulanık doğrusal programlama çözüm yaklaşımları ele alınmıştır. Çalışmanın son bölümünde metal sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın üretim planlama problemi doğrusal ve bulanık doğrusal programlamanın verdegay yaklaşımıyla modellenmiş ardından Lingo yazılımı ile çözülmüştür.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Rekabet halinde olan günümüz işletmeleri için her konuda esneklik ve müşteri isteklerindeki değişime hızlı cevap verebilmesi önemli bir gerekliliktir. Bu esneklik ve verimlilik için en önemli bileşenlerden birisi planlamadır. İşletmeler doğru planlama ile sahip oldukları kaynakları etkin bir şekilde kullanarak rekabete uyum sağlamaya çalışmaktadır. Planlamanın çözüm yönteminin fazla olmasının yanı sıra fazla kaynakların ve kısıtların olduğu düşünüldüğünde matematiksel bir model kullanılması önemli olmaktadır. Bu sebeple karşılaşılan üretim planlama problemlerinin çözüm yöntemlerinde doğrusal programlamayı ve bulanık doğrusal programlamayı sıkça görmek mümkündür. Bu bölümde üretim planlamada doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama konusu üzerinde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardaki amaçlar ve sonuçlar irdelenmiştir.

Yakar (2002), incelediği çalışmasında üretim planlama probleminde doğrusal programlamayı kullanmıştır. Çalışması sonucunda üretim planlaması modeline doğrusal programlamayı uygulayarak işletmede kaynak tasarrufu ve kazancın arttığını gözlemlemiştir. Modelini cebirsel modelleme dili AMPL (A Modeling Language For Mathematical Programming) ile çözümlemiştir.

Yu Da (2004), tez çalışmasında bir petrol şirketinin üretim planlama modeli ve çözüm yöntemleri, problemin önemli özellikleri vb. gibi konuları incelemiştir. Bu, gerçek hayatta da optimizasyon uygulamak için tipik bir örnektir. Modeli derinlemesine incelemek için çalışmanın ilk bölümünde doğrusal programlamanın özellikleri, doğrusal programlama çözüm algoritmaları yer almaktadır. Daha sonra duyarlılık analizi yapılmıştır.

Aydın (2006), çalışmasında tuğla sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada doğrusal programlamanın üretim planlama alanında uygulamasını yapmıştır. Hammadde, talep ve üretim kısıtları altında kurulan model Excel çözücü ile model sonucunda kâr maksimizasyonu elde edilmiştir.

Tuş (2006), Denizli bölgesinde mermer üretim işletmesi için bulanık doğrusal programlama modelini kurarak başta Verdegay yaklaşımı olmak üzere model için

optimal sonuçları incelemiştir. Modelinde belirsizlikleri azaltarak bulanık doğrusal programlamanın etkinliğini ele almıştır.

Kaya (2007), çalışmasında otomotiv yan sanayi firmasında yakıt hortumu üretimine ait üretim planı için bulanık doğrusal programlama ile optimal çözüm bulunmuştur.

Zongxiang (2008), ana konusu kısıtlar teorisini incelemek olan bu çalışmada bir yağ pompası işletmesi için doğrusal programlama kısıtları altında incelemiş ve çalışma süresi, envanter seviyesi gibi kısıtlar altında inceleme yapmıştır. Müşteriden alınan beş adet sipariş montaj merkezinde yer alan üç adet ekipmanların siparişlere ve her ekipmanın işleme kapasitesine göre en düşük kullanım maliyetini sağlaması için ayrıntılı bir üretim planının nasıl formüle edileceği en basit çizelgeleme problemlerinden biri incelenmiştir. Doğrusal programlamayı benimseyen çalışmada çözüm Lindo programıyla bulunmuştur.

Maturana ve Pizani (2009), çalışmalarında Şili'de bulunan bir kereste fabrikasının planlama sürecini desteklemek için doğrusal programlama ile matematiksel model geliştirmişlerdir. Modelde stok maliyeti, stokta kalma maliyetini ve hammadde maliyetinin minimum olması amaçlanarak maliyet minimizasyonu yapılmıştır. Çalışmalarında bir aylık planlama süresi için bir kereste fabrikasının çizelgeleme ve üretim planlamasıyla ilgili karmaşıklıkların çoğunu hesaba katan bir matematiksel model geliştirmiştir.

Ergülen ve Büyükkeklik (2010), çalışmalarında prefabrik üretim yapan bir işletmenin kısa dönemli üretim planlaması problemi ele alınarak doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Çalışmada ürünün teslim tarihlerine uyulması, işgücünün verimli kullanımı ve uygulamaya ait yapı elemanlarının boş kalmaması istenmektedir. Uygulanacak doğrusal programlama modeli Microsoft Excel makroları ile çözülmüş ve çözüm sonucunda üretim planlamanın amaçlarına uygun olarak yapılması sağlanmıştır. Önerilen model değişen müşteri isteklerine ve ürün sayılarına göre de tekrar kullanılabilmektedir.

Yingfeng ve Dawei (2011), çalışmalarında Çin kökenli elektrikli ekipman üretim şirketinde zaman kısıtlamalarına dayalı üretim sürecini optimize etme sorununu ele

almışlardır. Üretim sürecinin optimizasyonunu çözmek için karma tam sayılı model önerilmiştir. Amaç, zaman kısıtını karşılayarak üretim sürecinin toplam maliyetini minimize etmektir. Örnek olay incelemesi olarak Çin menşeili elektrikli ekipman üretim fabrikasında üretilen elektronik bir ürünün üretim sürecinin optimizasyon problemi incelenmiş ve problem çözümü için Lingo 9.0 kullanılmıştır.

Al-kuhali, Zain ve Hussein (2012), üretim planlamasının farklı sektörlerde yer alan bir incelemesini ele alan çalışmada LCD (Liquid Crystal Display) ekran üretimi için üretim planlama problemi doğrusal programlama ve sonrasında duyarlılık analizi ile çözüm bulunmuştur. LCD ekran üretimi için hat alanı, ürün montajı, kalite kontrol ve ambalajlama ile ilgili kısıtlamalar oluşturulmuştur. Modelleme sonucunda üç senaryo belirlenerek amaç fonksiyonunu maksimum yapan değer belirlenmiştir.

Gülcan (2012), çalışmasında bir bisküvi üretim tesisi için üretim problemi bulanık doğrusal programlamanın verdegay yaklaşımı ile çözülmüştür. Buna göre çalışmada bulanık doğrusal programlama, klasik doğrusal programlama, verdegay yaklaşımı konularına değinerek model çözülmüştür.

Maltepe (2012), çalışmasında bir petrol rafine şirketinde doğrusal programlama üzerine çalışmıştır. Şirket kârını maksimum yapmayı amaçlayan modelde hammadde, işçilik gibi kısıtlayıcı faktörler ele alınmıştır. Çözüm sonucu WIN QSB 2.0 programıyla bulunmuş ve şirket kârını arttırıcı bir çalışma niteliğinde olmuştur.

Çetindere vd. (2015), üretim planlama ve doğrusal programlamanın işletmeler açısından önemi incelenerek konfeksiyon işletmesinde uygulaması yapılmıştır. Makine, işgücü, hammadde kısıtları altında doğrusal programlama ile incelenen model Win QSB 1.0 paket programıyla çözüme ulaşmıştır. Kaynaklarda herhangi bir değişimin amaç fonksiyonuna etkisi incelenmiş ve duyarlılık analizine yer verilmiştir.

Ekmekçi (2015), yaptığı çalışmasında sanayi işletmeleri için önemli olan planlama konusunun önemini vurgulayarak bu alandaki problemlerin çözümü için doğrusal programlama konusunu incelemiş ve yenilenebilir enerji sektöründeki işletmedeki talep tahminlerini yaparak yıllık üretim planını veren modelleme oluşturmuş ve Lindo programı ile çözümlemiştir.

Erfanian ve Pirayesh (2016), toplu üretim planlaması konusunu ele alarak sınırlı işgücü ve ekipman kaynakları ile toplam üretim maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada her dönemde optimal üretim planını ve önleyici bakımı belirlemek için bütünleşmiş bir toplu üretim planlaması ve bakım planlaması modeli geliştirilmiştir. Tanıtılan modelin performansını sergilemek için bir ilaç firmasında bir karma tam sayılı doğrusal programlama vaka çalışması yapılmış ve sonuçları ifade edilmiştir.

Aboudhier (2017), Libya'da bulunan önemli bir gıda şirketinde ekonomik kaynakların tahsis edilmesi amacıyla doğrusal programlamadan yararlanarak optimal sonuca ulaşılmıştır. Gıda şirketinin meyve suyu için hammadde gereksinimleri ve diğer üretim verileri ile alınan bilgilere göre matematiksel model formüle edilmiştir. Çalışma Microsoft Excel Çözücü ile çözülmüştür.

Uzunkaya ve Gül (2017), çalışmalarında doğrusal programlama üzerinde planlama uygulamaları birçok sektöre konu olmaktadır. Farklı sektörlerde incelenen doğrusal programlama konusu tarımsal işletmeler için planlama problemlerinde de çözüm yöntemi olarak bu çalışmada incelenmiştir. Afyonkarahisar ilinde tarımsal bir işletmenin optimum ürün planı ele alınarak iş gücü, bitki su ihtiyaçları ve su ücreti ödeme kısıtları altında Win QSB yazılımı ile çözüme ulaşılarak mevcut kâra göre artış elde edilmiştir.

Men ve Yin (2018), çalışmalarında yaşamın bir parçası olan su kaynaklarını konu edinen çalışmada Kuzey Çin'nin su kıtlığı yaşaması sonucunda su kaynaklarının tahsisini optimize etmek amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Genel su kaynakları planlama modellerinde, karar değişkenleri genellikle negatif olmayan gerçek sayılar olarak belirtilir. Bununla birlikte, personel ve ekipmanın yerleştirilmesi, yatırım projelerinin seçimi, geliştirme gibi bazı fiili işlerde karar değişkenlerinin tamamı veya bir kısmı tamsayılardır. Modelde inşa edilmesi düşünülen dört proje tam sayılı doğrusal programlama modeli kurularak çözümlenerek Lingo programı ile model çözülmüştür.

Oğlak (2018), çalışmasında alüminyum sektörü içerisinde yer alan bir firmanın kârını maksimize edecek doğrusal programlamayı ele almıştır. Belirli kısıtlar altında

matematiksel bir model oluşturmuştur. Modelin çözümü için Lindo programı kullanılmış ve duyarlılık analizi yapılarak farklı modeller tasarlanmıştır.

Almeida (2019), bu vaka çalışması alüminyum profillerin geliştirilmesi ve üretimi olan alüminyum pazarında faaliyet gösteren bir şirketin gerçek bir örneğini ele almaktadır. Amaç, yaygın olarak bilinen üretim israfını diğer bir ifadeyle hurda miktarını en aza indirmektir. Hurda miktarının nedeni olarak kalıp değişimlerini gören model kalıp değişimlerini en aza indirmeyi amaçlar.

Ünüçok (2019), tekstil sektörü içerisinde faaliyet gösteren bir işletmede doğrusal programlama kullanılarak üretim kaynaklarının optimal şekilde kullanılması ve bu şekilde üretim planının belirlenmesi çalışılmıştır. Lingo paket programıyla kâr maksimizasyon problemi çözülmüştür.

Guo (2020), çalışmasında üretim planlama problemini doğrusal programlama yöntemiyle incelemektedir. Çinli bir gıda şirketinin doğrusal programlama çalışması ve brüt kâr marjı hesaplama yöntemi çalışmasında işletmenin kârını maksimize etmenin etkili bir yolu bulunmuştur. Doğrusal programlama modeli olarak üç spesifik ürünün üretim verileri toplanarak matematik modeli oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu olarak kazanç kârı, kısıtlamalar olarak üretim politikaları kullanılarak üretim planlamada doğrusal planlama uygulamasının en etkili örneği incelenmiştir.

Deste ve Karabulut (2021), tekstil işletmesinde işçilik, hammadde gibi kısıtlar altında üretim planlama sorunu incelenerek doğrusal programlama modeli üzerinde oluşturulmuş. Çalışmanın amacı işletmenin stoka üreteceği uygun ürün miktarını belirlemek ve kâr maksimizasyonunu sağlamaktır. Model QM for Windows 4.0 paket programıyla çözülmüştür.

Üretim planlama problemlerinde doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama çalışmaları ile ilgili incelenen literatür, yapılacak araştırmanın teorik yapısının oluşturulabilmesi ve genel çerçevesinin belirlenmesi için ele alınmıştır. Bu incelemeler sonucunda, uygulama için karar değişkenlerinin ve kısıtlamaların belirlenmesi literatür taramasından hareketle oluşturulmuştur. Üretim planlama alanında deterministik modeller içerisinde en fazla doğrusal programlama ve bulanık

doğrusal programlama tercih edilmektedir. Bu sebeple çalışmada, önce üretim planlama doğrusal programlama ile çözülmüş ardından bulanık doğrusal programlama ile çözülmüştür.

3. ÜRETİM SİSTEMLERİ

3.1. Üretim Tanımı

Üretim bir ülkenin gelişebilmesi ve ilerleyebilmesi için en önemli faktörlerden biridir. Ekonominin temel unsuru ve ülkeye istihdam yaratan aynı zamanda ulusal gelire katkıda bulunan en önemli faktördür. İnsan gücü ve diğer kaynakların kullanılması ile gerçekleşen üretim, ekonominin de sağlıklı bir şekilde ilerlemesi ve gelişmesi için ön koşul olarak düşünülebilir.

Üretim, müşteri talep ve ihtiyaçlarını karşılamak için hammaddelerin bitmiş ürünlere dönüştürülmesini veya hizmetlerin yaratılmasını ifade etmektedir. Üretim, kaliteye ödün vermeden en iyi yöntemle özellikleri iyileştirip ekonomik değerler katarken, girdilerin potansiyel faydanın istenen ürüne (çıktısına) dönüştürülebildiği süreçlerin uygulanmasını içerir (Garg, 2011). Bu sebeple üretimde önemli olan üretim sonunda ortaya çıkacak mal veya hizmetin ekonomik bir değere sahip olması ve aynı zamanda bir yarar sağlaması olarak düşünülebilir. Üretim kelime anlamı olarak TDK (2022)'de belirli işlemler ve faaliyetler sonucunda yeni bir mal veya hizmetin meydana gelmesi olarak da tanımlanmaktadır.

Üretimin ekonomistler ve mühendisler için farklı tanımlamaları vardır. Ekonomistler tarafından üretim, bir fayda meydana getirmek şeklinde tanımlanırken; mühendisler üretimi fiziksel bir varlık üzerinde onun değerini arttırıcı değişiklik yapmak ya da yarı mamulü veya hammaddeyi mamule dönüştürmek olarak tanımlamaktadır. Bu tanıma göre üretimin dönüştürme sürecinde girdiler çıktı haline getirilmektedir.

İnsan ihtiyaçlarının doğa tarafından tam olarak karşılanamaması nedeniyle üretim ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu sebeple üretim insanoğlunun uygarlık yolunda attığı ilk adımlara uzanan bir geçmişe sahip olduğunu söylemek mümkündür. Sonuç olarak üretimin temel amacı girdiyi fayda sağlayan bir çıktıya dönüştürerek topluma değer yaratmak diyebiliriz. Diğer bir ifadeyle üretimin temel amacı bir mamul veya hizmet yaratmaktır. Üretimin gerçekleşmesi için üretim faktörleri olarak adlandırılan unsurların bir araya gelmesi gerekmektedir. Üretim için gereklilik arz eden üretim faktörleri ekonomistlere göre toprak, işçilik ve sermaye faktörlerinden oluşmaktadır.

Bahsedilen bu unsurların uyumlu bir şekilde çalışması sonucunda da üretim sistemi oluşmaktadır.

3.2. Üretim Sistemleri

İşletmelerin istedikleri ürüne veya çıktıya ulaşmaları ancak belli bir sisteme sahip olmaları ile mümkündür. Sistem; belirli bir amacı yerine getirmek üzere düzenlenmiş birbirleri ile koordineli bölümlerden oluşan faaliyet topluluğudur. Bir sistem oluşması için girdi, işlem, çıktı ve geri besleme gibi öğelerin bir arada olması gerekmektedir. Üretimin meydana gelmesi için de bahsedilen bu sistem önem kazanmaktadır. Bu nedenle üretimin meydana gelmesi için öncelikle üretim sistemlerinin oluşturulması ve doğru bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Üretim sistemleri işletme için; tanımlanmış bir sistem içinde akan kaynakların, yönetim tarafından iletilen politikalara uygun olarak değer katmak için kontrollü bir şekilde birleştirildiği ve dönüştürüldüğü faaliyettir (Kumar ve Suresh, 2009). Şekil 3.1' de en basit haliyle bir üretim sistemi gösterilmektedir.

Herhangi bir sistemin verileri daha büyük ve başka bir sistemde yer alıyorsa bu sisteme bir alt sistemdir diyebiliriz. Her sistemin birçok alt sisteme sahiptir ve aynı zamanda bu sistemler daha büyük bir alt sistemini de oluşturur. Örnek olarak; bir işletmenin alt sistemi pazarlama ve üretim bölümleriyken, işletme de ülke ekonomisinin bir alt sistemidir (Top, 2006).

Açık bir sistem olan üretim sisteminde malzeme, işçilik, sermaye ve enerji gibi girdiler dönüştürme süreçlerinden geçerek çıktılar haline gelir (Tanyaş ve Baskak, 2021). Üretim sistemi daha önce de bahsedildiği üzere işletme sisteminde yer alan bir alt sistemdir. Sonuç olarak üretim sistemi; mallar veya hizmetler üretmek amacıyla insan gücü, malzeme, makine gibi fiziksel elemanların bir araya gelerek uyumlu bir şekilde çalışması şeklinde tanımlanabilir (Top, 2001).

Üretim sistemleri ise sadece fiziksel olarak üretimi gerçekleştiren sistemler olmadığı gibi hizmet üreten sistemler de eğitim, sağlık, ulaşım vb. girdilerin fiziksel ya da kimyasal durumunda bir değişiklik olmamakla birlikte yine topluma bir değer yarattığından bu sistemler de üretim sistemi olarak düşünülebilir. Elle tutulabilen

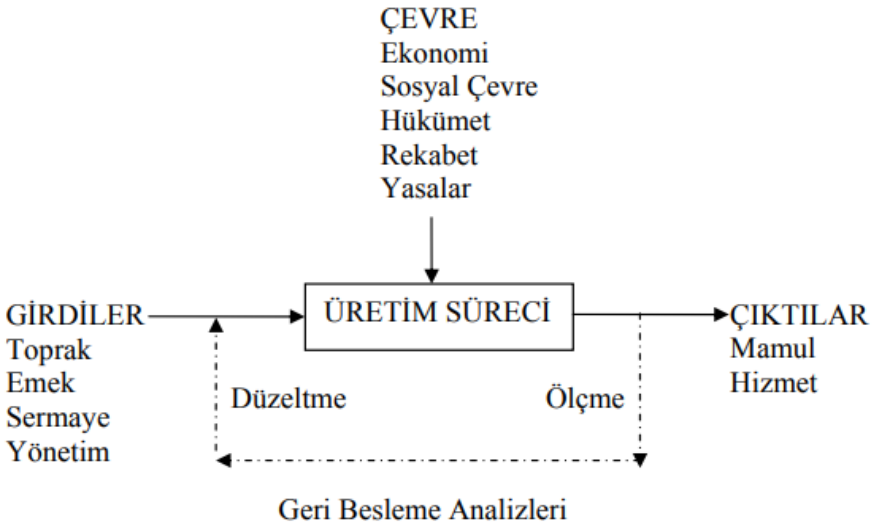
somut çıktılar üretim makine, giysi, taşıt gibi dönüşüm süreci fabrikalarda gerçekleşirken taşıma, sağlık gibi soyut çıktılara sahip üretim sistemlerinde dönüşüm kamyon, hastane gibi hizmet birimlerinde gerçekleşmektedir. Çeşitli üretim sistemlerine ait örnekler Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Üretim sistemi çeşitleri

Üretim Sistemi	**Girdi**	**Kullanılan Fiziksel Kaynaklar**	**Çıktı**
Fabrika	Yarı mamul Hammadde	İş gücü, Hammadde, Makine, Enerji	Mamul
Hastane	Sağlıksız Hastalar	Doktorlar, Hemşireler, Ekipman, Diğer tesisler	Sağlığına Kavuşan Hastalar
Üniversite	Eğitilecek Öğrenciler	Öğretmenler, Kitaplar, Öğretim yardımcıları vb.	Eğitilmiş Öğrenciler
Banka	Finansal Hizmet İhtiyacı Duyan Müşteriler	Vezne, Personel, Bilgisayar, Enerji	Finansal Hizmet

Büyüklük ve cinsi fark etmeksizin her sistemde genel olarak beş temel eleman bulunmaktadır. Üretim sistemlerindeki elemanlar Şekil 3.1 'de de görüldüğü üzere girdiler, üretim süreci, çıktılar, geri besleme ve çevre elemanlarından oluşmaktadır. Bu temel elemanlar içerisinde yer alan girdiler üretilen mamul ve hizmete göre değişik isimler alabilirler. Fakat her girdiyi sonunda çıktıya dönüştürmek mümkündür. Bir sonraki bölümlerde ele alacağımız doğrusal programlama yönteminde yer alan karar değişkenleri de bir girdi elemanıdır. Üretim probleminde ise amaç bu girdilerin en uygun değerini bulmaktır.

Bir üretim sisteminde bulunan çevre ile etkileşim de önemli bir faktördür. Üretim sisteminde yer alan öğeler arasında ve çevreyle olan etkileşiminde değişimler olabileceğinden dolayı şekilde yer alan geri besleme yapısının da oluşturulması ve farklı sebeplerde oluşabilecek durumlar karşısında gerekli önlemlerin önceden alınması sağlanmalıdır.



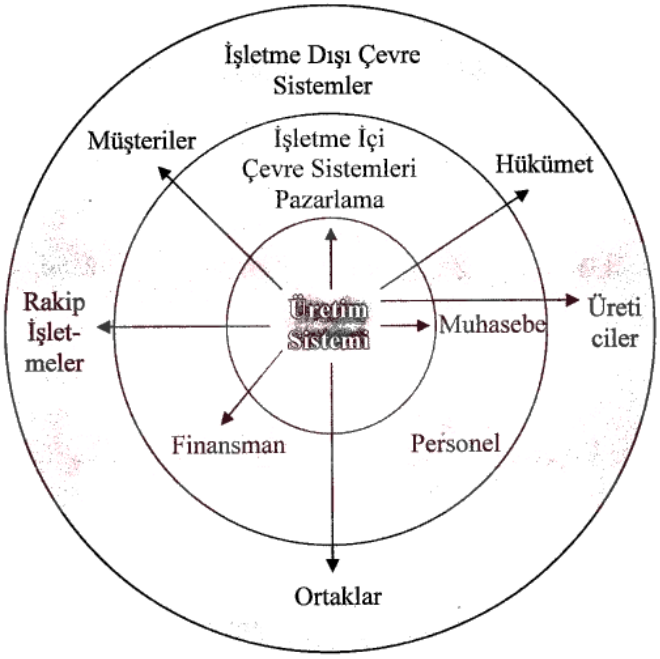
Şekil 3.1. Bir üretim sisteminin temel elemanları (Kobu, 2010)

Bir süreç olarak düşünülen üretim sistemlerinin temel özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Her üretim sistemlerinin kendi içerisinde bir alt sisteme sahiptir. Bu alt sistemlerde de işlerin aksamaması için bir haberleşme sistemleri vardır. Üretim sisteminin ve alt sistemlerinin de sağlıklı bir şekilde yönetilmesi ve kontrolü önemlidir.
- Üretim sistemi fayda yaratacak şekilde olan bir dönüştürme sürecidir. Bu dönüştürme sürecinde girdiler bazı işlemlerden geçerek ürün haline gelir.
- Üretim sistemleri sonucunda üretilen ürünler birbirlerinden farklı olabilirken üretim sistemini oluşturan işlemler benzer; işlem sıraları da farklılık gösterebilmektedir.
- Üretim sistemleri yaşanan ekonomik ve teknolojik gelişmelere de uyum sağlamalı ve ayak uydurabilmelidir.
- Üretim sistemleri çevresel sistemlerinde etkisi içerisindedir. İşletme içi ve işletme dışı çevresel sistemlerle de bilgi etkileşimi içerisinde olmalıdır.

Üretim sistemleri içerisindeki elemanlardan son sırada yer alan çevre; kontrol edilemeyen değişkenleri ifade eder. Bahsedilen bu çevresel değişkenler süreci etkiler fakat yöneticilerin değiştirme durumu bulunmaz. Bu sebeple çevresel etmenler belirsizlik adı altında risk olarak hesap edilir. Üretim sisteminde önem arz eden dört

önemli çevresel etmen bulunmaktadır. Bunlar ekonomi, yasalar, rekabet ve teknolojik gelişmelerdir. Üretim sistemini oluşturan bu çevresel faktörler aşağıda yer alan Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Üretim sistemlerinin çevresel ilişkisi (Tekin, 2012)

Resimde de görüleceği üzere muhasebe, finans ve pazarlama gibi alt sistemlerin üretim sistemiyle ilişkisi bulunmaktadır. Bundan dolayı üretim sisteminin işletme içi ve işletme dışı çevre sistemlerini etkisi altına almaktadır diyebiliriz.

3.3. Üretim Sistemlerinin Sınıflandırılması

Üretim faktörlerinin bir araya gelmesiyle oluşan üretim sistemleri belli özelliklere göre sınıflara ayrılmaktadır. Bir sonraki bölümlerde ele alacağımız üretim planlama adımı için de ilk adım üretim sistem tipinin belirlenmesidir.

Üretim sistemlerinin sınıflandırılma ihtiyacı; üretim işletmelerinde makine ve teçhizat seçimi ile bu elemanların doğru verimlilik sağlayacak şekilde yerleştirilmesi ve belirlenen sistem modelinin artı eksi yönlerinin belirlenerek uygun faaliyetlerin atanması gerekliliği sebebiyle ortaya çıkmıştır. Bu nedenle üretim planlama

işleminden önce üretim sistemlerini sınıflandırmak ardından da yer aldığı türün özelliklerine göre ele almak gerekir.

Kobu (2010)'a göre üretim sistemleri sınıflandırması; üretim yöntemine göre (birincil üretim, analitik üretim, sentetik üretim, fabrikasyon üretim, montaj üretimi), mamul cinsine göre (demir çelik üretimi, tekstil mamullerin üretimi, elektronik mamuller üretimi vb.), üretim akışına veya mamul miktarına göre (siparişe göre üretim, parti tipi üretim, sürekli üretim, proje tipi üretim) olmaktadır.

3.3.1. Üretim yöntemlerine göre sınıflandırma

Üretim yöntemlerine göre sınıflandırmada kendi içerisinde Birincil Üretim, Analitik Üretim, Sentetik Üretim, Fabrikasyon Üretim ve Montaj Üretimi olarak ayrılır. Buradaki önemli husus bir fabrikada bu üretim tiplerinden birkaç tanesi olabilir. Buna göre sınıflandırmaları aşağıdaki şekilde tanımlamak mümkündür:

a) Birincil Üretim: Hali hazırda doğada bulunan hammaddelerin işlenmek üzere kullanılması sonucunda oluşur. Örnek olarak bakır, petrol, demir ve balıkçılık gibi işlenmeye gerek duyan ürünler verilebilir.

b) Analitik Üretim: Birtakım ayrıştırıcı işlemler sonucunda çeşitli mamullerin ortaya çıkması sonucunda oluşur. Bu üretim çeşidinde bazı kimyasal işlemler kullanılarak ürünler ortaya çıkar. Şeker pancarından şeker üretilmesi, petrolden benzin üretilmesi örnek olarak görülebilir.

c) Sentetik Üretim: Doğada yer alan hammaddelerin birleştirilmesi sonucunda meydana gelen üretim yöntemi olup analitik üretimin tersi olarak görülür. Plastik, cam gibi ürünler örnek verilebilir.

d) Fabrikasyon Üretim: İmalat işlemleri sonucunda şekil verme yoluyla yapılan üretim şeklidir. CNC, preshane, tornalama yöntemleri sonucunda oluşan ürünler örnek verilebilir.

e) Montaj Üretimi: Hammadde, yarı mamul veya çeşitli parçaların bir araya getirilerek sonucunda mamul üretilmesi işlemidir. Bir beyaz eşya üretimi, televizyon, otomobil bu tip üretime örnek olarak gösterilebilir.

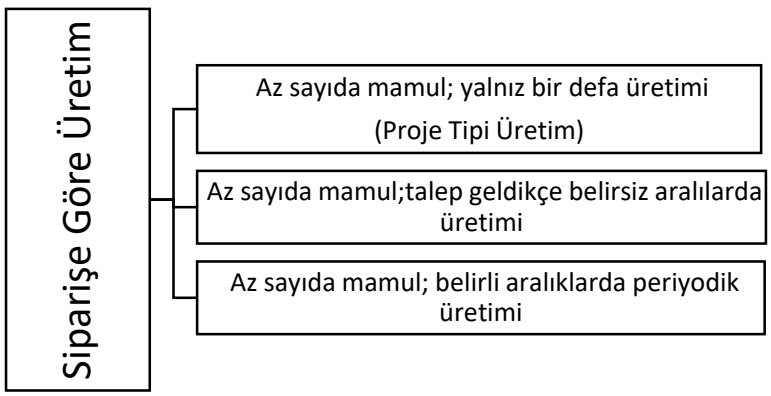
3.3.2. Mamul cinsine göre sınıflandırma

Bazı durumlarda üretim yapılan ürünün cinsi önem taşımaktadır. Örneğin kullanılacak makinaların seçiminde veya insan gücünün belirlenmesinde mamulün cinsi ön planda tutularak seçim yapılır. Mamule göre sınıflandırma demir çelik üretimi, kömür üretimi, kimyasal maddeler üretimi, elektriksel ürün üretimi, elektronik mamul üretimi ve tekstil mamulleri üretimi olarak ayrılmaktadır.

3.3.3. Üretim miktarına veya akışına göre sınıflandırma

Üretim planlama adımlarından en çok ön planda olan sınıflandırma yöntemidir ve bir fabrika içerisinde ilk önem verilmesi gereken seçimdir. Çünkü aynı cinsten bir mamulün az ya da çok sayıda üretilmesi; kullanılan iş gücünü, makine tiplerini, imalat yöntemlerini etkileyecektir. Bu sınıflandırma yöntemi Siparişe Göre Üretim, Parti Tipi Üretim, Sürekli Üretim ve Proje Tipi Üretim olarak ayrılır.

a) Siparişe Göre Üretim: Müşterinin veya tüketici firmanın istenilen miktar ve zamanda özel olarak belirlediği ürünün üretilmesidir. Küçük miktarlarda ama yüksek düzeyde ürün çeşitliliği bulunmaktadır. Ürün çeşitliliği ve düşük üretim miktarları işlemlerde yinelemeyi en az düzeye indirmektedir (Tanyaş, 2021). Bu ortam, standart hammadde ve bileşenleri kullandıkları sürece, müşterinin nihai ürün veya hizmetin tam tasarımını belirlemesine olanak tanır (Chapman, 2006). Siparişe göre üretim imalat düzeni bakımından aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi üç bölüme ayrılır:



Şekil 3.3. Siparişe göre üretim düzeni

Siparişe göre üretimde son iki tip üretim türü atölye tipi olarak adlandırılır. Bu tip üretimlerde ürünlerin daha önce yapılmış olması; ürünlerin tanınmasını ve üretimde yaşanabilecek zorlukların önceden belirlenmesi için planlama aşamasında öngörü sağlamaktadır. Dolayısıyla önceden saptanıp tekrar kullanılma olanağı bulunan bu bilgilerin iyi korunmasında yarar vardır.

b) Parti Tipi Üretim: Bir mamulün özel bir siparişi veya sürekli bir talebi karşılamak amacıyla partiler halinde üretilmesidir. Bu durumda her partide aynı tür mal üretilir ve ürün tipi değiştiği durumda başka bir partinin üretimine geçilmiş olur. Üretim hattı da böylece sıra ile farklı ürünlere ayrılmış olur. Parti üretimi de siparişe göre üretim gibi yalnız bir defalık, belirsiz ve belirli aralıkta tekrarlanan olarak üç grupta incelenebilir. Üretim planlama için parti tipi üretimde iki önemli unsur bulunmaktadır. Bunlar en uygun parti büyüklüğünün belirlenmesi ve minimum kapasite kaybına yol açan üretim programlarının hazırlanmasıdır.

c) Sürekli Üretim: Sürekli üretim de proje işlemede olduğu gibi, bu tür bir süreç, işleme türlerinin en uç noktasında yer alır ve yine son derece özel uygulamalara odaklanmasını sağlar. Ekipman çok özeldir ve çok az iş gücüne ihtiyaç duyulur.

d) Proje Tipi Üretim: Proje tabanlı bir süreç, tipik olarak, yeni bir bina inşa etmek veya yeni bir yazılım uygulaması geliştirmek gibi, türünün tek örneği bir üretim çıktısını varsayar. Projeler genellikle geniş kapsamlıdır ve genellikle bireylerden oluşan ekipler tarafından yönetilir (Chapman, 2006).

4. ÜRETİM PLANLAMA VE KONTROL

4.1. Üretim Planlama ve Kontrolün Tanımı

Rekabetçi firmalar bugün küresel ve dünya çapındaki pazarlarda faaliyet göstermektedir. Bu nedenle üretim işletmeleri için üretkenliği artırma ana hedeftir. Ürün yaşam döngüleri daha kısadır ve talep tahmini giderek daha zor hale gelmektedir. Bütün bunlar, fabrikanın yerleşik ataletine ve 'işleri her zamanki gibi yürütmek' anlayışına neredeyse 'gerçek zamanlı' olarak yeniden gözden geçirme konusunu gündeme getirmektedir (Artiba ve Elmaghraby, 1996).

Bir üreticinin ileride kendi ürününe yönelik olarak oluşacak talebi önceden tahmin etmesi ve buna uygun olarak da üretim kapasitesini uygun halde bulundurması gerekmektedir. Üretim yöneticisi müşterinin ileride oluşacak olası talebini belirlemek ve gerek duyulacak üretim faktörlerini de zaman ve miktar yönünden tahmin etmek, tedarik etmek ve planlama yapmak durumundadır.

Üretim planlama ve kontrol (ÜPK), üretim programının beyni ve sinir sistemidir ve tüm malzemelerin, montajın bir parçasının doğru zamanda, doğru yerde ve doğru şekilde bulunmasından sorumludur (Kiran, 2019). Aynı zamanda işletmenin sahip olduğu kaynaklarını gelecekteki olası müşteri taleplerini öngöreceği bir şekilde kullanarak müşterinin istediği ürünün istenilen zamanda ve miktarda en düşük maliyetle üretilmesini sağlayan bir karar alma süreci olarak tanımlanmaktadır.

Daha geniş bir tanım yapmak gerekirse; üretim ortamında hangi üründen ne kadar ve ne zaman hangi yöntemle üretilmeli; hangi mamul veya yarı mamullerden ne kadar stok bulundurulmalı; üretilecek mamulle göre hangi hammadde veya yardımcı malzemeden ne kadar ve ne zaman için tedarik edilmeli; hangi işgücünden, ne kadar ve nasıl faydalanılmalı gibi sorulara yanıt bulmak üretim planlama yöntemiyle olmaktadır. Bu sebeple gerekli üretim faktörlerinin yani hammadde, insan gücü ve sermayenin yeterli miktarda ve uygun zamanda temin edilmesi gerekmektedir. Bu temin ile üretim faktörleri tamamlanır ve üretim planlaması gerçekleştirilir. İyi düşünülmüş bir üretim planlaması, genel üretim sürecinin aşağıdaki faydaları sağlayarak akıcı hale getirilmesini sağlar (Telsang, 2018):

• Organizasyon bir ürünü zamanında ve düzenli bir şekilde teslim edebilir.
• Tedarikçi, hammadde ihtiyacı konusunda önceden bilgilendirilir.
• Envanter yatırımını azaltır.
• Verimliliği artırarak genel üretim maliyetini düşürür.

Tanımda da bahsedilen üretimde müşteri taleplerinin istenilen miktar ve zamanda karşılanabilmesi; ancak doğru bir planlama yöntemiyle gerçekleşir. Belirli durumlarda müşterinin talep miktarında artma olması durumunda kaynakların doğru kullanımı ile istenilen çıktı elde edilebilir. Kobu (1996)'a göre bir üretimde planlama ihtiyacının gerekliliğini maddeler halinde sıralamak mümkündür:

a) Üretim sistemlerinde karmaşıklığın ve faaliyet yoğunluğunun yaşanması,
b) Müşteri ihtiyacının değişkenlik göstermesi ve artması,
c) Tedarik ve dağıtım faaliyetlerinin geniş alanda yayılım göstermesi,
d) İşletmenin maksimum düzeyde verimlilikle çalışmasını sağlamak amacıyla malzeme, makine ve iş gücü kayıplarını minimum düzeye indirmesini sağlamak istemesi,
e) Müşterinin belirli ya da belirsiz talebine karşılık hızlı termin süresi beklentisi,
f) İşgücü, makine ve malzemenin istenilen ölçülere göre üretimde kullanılmasını sağlamak, âtıl kapasiteyi ve üretim duraklamalarını önleme ve düzenli bir üretim sistemi oluşturmak olarak sıralanabilir.

4.2. Üretim Planlama Adımları

Üretim planlama için başlangıç noktası satış tahminleri ve kabul edilen siparişlerdir. Bu satış tahminleri ve kabul edilen siparişlerin söz konusu olan istenilen dönem için üretim planlaması yapılır. Üretilecek ürünler için gerekli hammadde, işgücü, makine ve zaman yönünden sahip olunan işletme kaynakları değerlendirilir. Bunun yanında istenilen ürünün imalat ve montaj süresi, süreçteki işlemlerin standart süresi, üründen üretilecek miktar gibi bilgiler düzenlenir.

Söz konusu olan satış planı için işgücü, makine ve finans planları da üretim planına ek olarak yapılır ve gerekli bilgiler tamamlanır. Sonrasında işletmede var olan işgücü, malzeme, makine ve ekipmanlar değerlendirilerek uygun üretim planı hazırlanır.

Herhangi bir değişim karşısında esnek olan üretim planı hazırlanması gerekmektedir (Tanyaş ve Baskak, 2021).

Yöneticiler ve uygulayıcılara daha yararlı olması için üretim planları anlaşılır ve basit bir biçimde tasarlanmalıdır. Bu noktaya kadar bahsettiğimiz üretim planlama için bir imalat işletmesinde üretim planlarının hazırlanması için aşağıdaki adımlar izlenir (Gavett, 1968):

1)Yapılacak üretim planını kapsayacak zaman aralığının tespit edilmesi yapılır. Öncelikle birer aylık dilimlere göre yıllık üretim planı yapılır. Bu şekilde plan yapmadaki temel amaç stok düzeyi, kapasite durumu ve üretim hızının kontrole alınmasının sağlanmasıdır. Daha sonra bu plan üçer aylık dönemleri kapsayarak haftalık üretim planlamasına geçilir. Planlama dönemi için işletme ihtiyacına uygun olarak kısa ya da daha uzun zaman dilimlerine göre yapılır.
2) Belirli periyotlarda talep tahminlerinin yapılması gerekmektedir. Planı yapılacak dönem için müşteri talebinin değişimi yani minimum ve maksimum değer aralığı belirlenir.
3)Temel stok düzeyinin hesaplanması yapılır. Ekonomik sipariş miktarı (ESM) modeli olarak adlandırılan bu yöntem ile talep değişim ve stok politika sistemine göre maliyeti minimum yapan toplam miktara güvenlik stok miktarı da eklenerek bulunur.
4) Satışların artışı da satış oranlarını etkilemektedir. Ani artış değerleri göz önüne alınarak satış tahminlerinin yapılması gerekmektedir.
6) Planlama aşamasına geçmeden önce ele alınan ürün gruplarının toplam stok miktarı belirlenmelidir.
7) Dönem sonundaki stok düzeyinin saptanması. Bu sayede fabrikada üretimin durma ihtimali veya mevsimsel ani değişimler vb. durumlarda talebi karşılamak için yararlanılır.
8) Başlangıç ve son stok arasındaki fark ile planlama döneminde stok düzeyindeki değişikliğin hesaplanması.
9) Toplam satış tahmini ile başlangıç ve son stoklar arasındaki farkın toplanmasına ya da çıkarılması ile planlama döneminde toplam üretimin hesaplanması.
10) Toplam üretimin istek doğrultusunda döneme yayılması. Bu durum için tatiller, diğer dönemlerdeki yaşanan kayıplar ve üretim oranının arttırılması ya da azaltılması göz önüne alınmalıdır.

4.3. Üretim Planlamanın Amacı

Üretim planlamanın genel amacı işletmenin sahip olduğu olanakları en etkin şekilde kullanarak elde bulunan kapasite kısıtlarını dikkate alarak tüketici taleplerinin verimli biçimde karşılamaktır. Bir diğer ifadeyle üretim planlama hangi ürünlerin ne zaman ve ne kadar üretileceğini belirlemek, tahmini tüketici talebini karşılamak, faaliyetlerini kararlı bir şekilde sürdürerek çalışanlara ve topluma karşı sorumluluklarını yerine getirmek, âtıl kapasiteyi önlemek ve toplam maliyeti minimize etmek gibi amaçları hedeflemektedir. Üretim planlamanın bu amaçları sağlayabilmek için aşağıda yer alan maddeleri de gerçekleştirmesi gerekir:

- Üretimin ihtiyacı olan hammadde, yardımcı malzeme ve işletme malzemesinin planlamasının yapılması,
- Makinelerin boşta kalma sürelerini en aza indirerek bulunan mevcut makinelerin verimli bir şekilde kullanılarak iş akışının gerçekleştirilmesi,
- Mevcut iş gücünün verimli ve etkin kullanılması,
- Pazarlama araştırmasının etkin bir şekilde yapılarak tüketicinin talepleri doğrultusunda üretim yapılmasının sağlanması,
- Üretim sistemlerinde tüm bölümler arasında bilgi alışverişinin sağlanacağı şekilde iletişim sisteminin kurulması,
- Müşterilerin talep ve isteğini karşılamak amacıyla üretimin yapılması,
- İşletmede yapılacak stokların pazarın ihtiyacını karşılayacak düzeyde tutulması,
- Envanter cirosunu en aza indirilmesi,
- Ürün kalitesini ve müşteri memnuniyetini en üst düzeye çıkarılması,
- Envanter seviyelerini düşük tutulması,
- Üretim akışında yaşanan darboğazların en aza indirilmesi olarak sayılmaktadır.

4.4. Üretim Planlama Faaliyetlerinin Dönemsel Bazda Sınıflandırılması

Bir işletmede özellikle de üretimi olan bir işletmede planlamaya gelecekteki belirsizlikleri ortadan kaldırmak ve bugünden önlem almak için ihtiyaç duyulur. Âtıl kapasite oluşumunu önlemek, toplam maliyeti minimize etmek gibi amaçlara sahip

üretim planlama; çeşitli düzeylerde ve çeşitli zaman dilimlerini kapsayacak şekilde sınıflandırılır.

Dinamik ve sürekli bir çalışma olan planlama işletmenin kendi içinden ve dışından gelebilecek tüm değişmeleri başarılı bir biçimde karşılanmasını sağlar (Barutçugil, 1988). Bu sebeple işletmede belli planlama tiplerinden en uygun olanını seçilmesi ve uygulanması önemlidir.

Üretim işletmelerindeki planlama faaliyetleri birkaç hafta gibi kısa sürelerde olabileceği gibi on yıla kadar çıkabilen uzun süreleri de kapsayacak biçimde yapılabilmektedir. Bu sebeple üretim planlarını uzun, orta ve kısa olmak üzere üç farklı başlıkta incelemek gerekir.

Uzun vadeli üretim planlaması işletme için hazırlanma düzeyi stratejik konular (Stratejiler, Hedefler vb.) kararlar alınarak planlama yapılırken; orta vadeli planlamada hazırlanma düzeyi taktiksel konularda (Yıllık iş planları vb.); kısa vadeli planlamada ise hazırlanma düzeyi işlemsel konularda (Aylık, Haftalık İş çizelgeleri vb.) planlama yapılmaktadır. Buna göre Çizelge 4.1'de üretim planlamanın dönemsel bazda sınıflandırılması ve girdi-çıktıları özet olarak yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Dönemlere göre üretim planlama (Üreten, 1998)

Planlama Dönemi	Kullanılan Girdiler	Çıktılar
Uzun Dönemli Üretim Planlaması **Stratejik Kararlar** **(5-10 yıl ve üzeri)**	-Uzun Dönemi Kapsayan Talep Tahminleri -Rekabet Koşullarına Yönelik Beklentiler -Sermaye Konularındaki Kısıtlamaları	-Kapasite, Tesis yerleştirme gibi tesis tasarım planları -Yeni üretim tesisi inşası, mevcut bir tesisin satın alınması -Kaynakların doğru üretim araçlarına tahsis edilmesi
Orta Dönemli Üretim Planlaması **Taktiksel Kararlar** **(Toplam Üretim Planlaması, 6-18 ay için)**	-Miktar ve zamanlama durumlarına göre satışların tahminleri -Yapılan fazla mesai, işten çıkarılma, işe alma ve kapasite kullanım maliyetleri	-İstihdam durumlarının planlanması -Fazla mesai planları -Fason kullanımın üretim planı -Stok ve kapasite planları -Darboğaz(kritik) kapasite ihtiyaçlarının belirlenmesi - Tedarik zinciri iş birlikleri (CPFR) planlanması
Kısa Dönemli Üretim Planlaması **Operasyonel Kararlar** **(Üretim Programlaması, 1 hafta-birkaç ay)**	-Kısa dönemde gerçekleşecek talep tahminleri -Önceki aylarda gerçekleşen sipariş adetleri -İşletmedeki aylık ya da yıllık bazda yapılan üretim miktarı	-İşletmede yer alan iş merkezleri için kısa dönemli olan planlar -İşletmede yer alan iş merkezleri için üretim programlarını gerçekleştirecek malzeme ihtiyacının (MRP) karşılanmasını sağlayan planlar ve kısa dönemlik atölye planları -Üretim planı oluşturma (MPS), kapasite kontrolü (RCCP) yapmak. -Tedarikçi ve üretim tesisleri kapasite ihtiyaçları belirleme (CRP).

4.4.1. Uzun dönemli üretim planlaması

Uzun dönemli üretim planlama şirketin stratejik kararlarına ışık tutan ve kısa dönemli planlara yol gösteren planlamadır. Bu planlar genelde 5-10 yıllık bir dönem için yapılır fakat bu süre firmadan firmaya ve işletmenin ürettiği ürünün veya hizmetin özelliğine

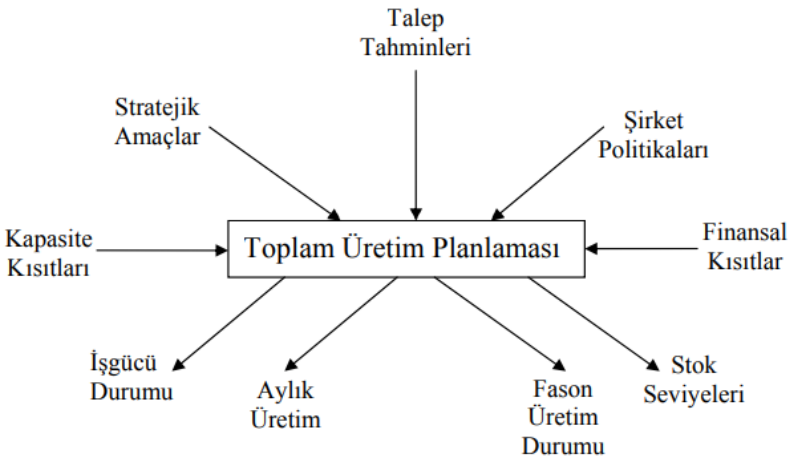
göre değişkenlik gösterir. İşletmelerin isteklerine göre üst düzey yöneticiler tarafından yürütülen bu sürecin temelini üretimin genel politikasının belirlenmesi ve kapasite kısıtlarının ortaya konması oluşturur. Bu planlama süreci ile yeni bir tesis kurma, genişletme yatırımına girme, var olan makinaları yenileyerek otomasyona geçme, üretim ve depo kapasitesinin belirlenmesi ile kapasitenin değişik ürün hatlarına tahsis edilmesi ve teknoloji seçimi gibi kararları içermektedir. Teknoloji ve üretim yerinin belirlenmesini **kapasite planlaması** aşaması takip eder. Bu kararlarında verilebilmesi için uzun dönemli talep tahminleri, pazar araştırması ve kaynak planlaması ön çalışmalarının yapılması gereklidir.

4.4.2. Orta dönemli üretim planlaması

Orta dönemli üretim planlaması işletmelere göre değişkenlik gösterse de genellikle 6-18 ay arası dönemi kapsamaktadır. Uzun dönemli üretim planlama sonucunda işyerinin genel politikası belirlenir. Bu genel politika ile de orta dönemli planlar hazırlanır. Bu şekilde yapılan orta dönemi kapsayan planlara toplam üretim planlaması denir. Bu planlardaki ana hedef, minimum maliyetle eldeki kaynakların verimli dağıtımının yapılmasıdır. Toplam üretim planlaması ile, işgücü büyüklüğünün, üretim hızlarının, işletmenin tutması gereken ürün stoklarının, programlanması gereken fason imalat ve fazla mesai miktarlarının belirlenmesi sağlanmaktadır (Üreten, 1998).

Orta dönemli üretim planlarında benimsenmiş üç farklı politika seçeneği bulunmaktadır.

- Birinci politika; üretim hızını sabit tutmaktır. Buna politikaya göre; stok maliyetlerinin yükselme ihtimali düşünülerek talepte meydana gelecek değişimler stoktan karşılanır.
- İkinci politika; üretim hızının talebe göre belirlenmesi. Üretim hızının talepteki dalgalanmalara göre uyum sağlayacak şekilde değiştirilmesidir. Bu durum stok maliyetini azaltmasına karşın işçi çıkarma veya alma maliyetini arttırır.
- Üçüncü politika; diğer iki politikanın birleşimi olacak şekilde stoklarda meydana gelecek aşırı yükselmeyle üretim hızını da düşürmek amaçlanır. Bu durumun tersinde de stokların minimum seviyeye ulaşması durumunda üretim hızı yükselir.



Şekil 4.1. Toplam üretim planlama girdi-çıktısı (Russell, 1995)

Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi orta dönemli üretim planlaması yapılırken kapasite kısıtları, stratejik amaçlar, talep tahminleri gibi girdiler kullanılarak; işgücü kullanım durumu, stok seviyeleri ile ilgili sonuçlar belirlenmektedir. Girdi içerisinde yer alan talep tahminlerinde değişimler yaşanabilmesi durumu nedeniyle bu planlar gözden geçirilerek üretim kapasitesinin de esnetilmesine çalışılır. Buna göre orta dönemli üretim planlaması için çözüm yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanır:

1-Grafik Yöntemi
2-Tablo Yöntemi
3-Matematiksel Optimizasyon Yöntemleri (Doğrusal Programlama, Dinamik Programlama)
4-Sezgisel Yöntemler (Yönetim Katsayıları Modeli, Arama Karar Kuralı)

Toplam üretim planlarının hazırlanmasında grafik, tablo, sezgisel yöntemler ve matematiksel programlama gibi uygulamalar kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin içerisinde en tercih edilen özellikle optimum kaynak kullanımı sağlanmasında kullanılan Doğrusal Programlama Yöntemidir. Bu yöntem diğer bölümlerde detaylı anlatılacaktır.

4.4.3. Kısa dönemli üretim planlaması

Kısa dönemli üretim planlama Üretim Kontrolü, Üretim Çizelgeleme ve Üretim Programları adı verilen planlamadır. Bu planlamada kararlar haftalık, günlük veya

vardiya süreler için alınır. Üretim çizelgeleme, satın alma emirlerinin verilmesi, fazla mesai kararları gibi planlar kısa dönemli planlara örnek verilebilir. Genellikle bir ile iki haftalık bir planlama dönemi göz önüne alınır.

Kısa dönemli planlar işletmeler açısından sadece işlevsel olarak düşünülse de aslında stratejik bir öneme sahiptir. Çünkü buraya kadar yapılanlar uzun ve orta dönemler için sadece planlama boyutunda iken bu evrede artık icraat boyutuna geçilmektedir. Stratejik anlamda etkili bir çizelgeleme ile düşük maliyetle, kapasitenin de esnek kullanımı ile daha iyi müşteri hizmeti ve iyi bir çizelgeleme planlamasıyla teslim süresi azalacağından işletme açısından güvenirlilik artacaktır.

Kısa Dönemli Üretim Planlarının veya Üretim Programlarının amacı makine, teçhizat gibi elde bulunan kaynakların işlere veya müşterilere kapasiteye göre tahsis edilmesidir. Üretim programları sonucunda hazırlanan iş emirleri ile mamulün işlem göreceği istasyona verimlilik göz önüne alınarak ne zaman ve ne miktarda üretileceği belirlenmiş olur. Birbirini takip eden işlerin sıralanması problemine çözüm olarak Johnson algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmayla boş zamanlar en aza indirilmesi sağlanır. Bu algoritmaya göre her iki iş istasyonunda olan işler süreleri ile birlikte listelenir. En kısa işlem süresine sahi iş seçilir; iş eğer birinci iş istasyonunda ise ilk sıraya, ikinci iş istasyonunda ise son sıraya yerleşir. Bu şekilde doğru sıralama buluncaya kadar devam edilir.

4.5. Üretim Planlamada Karar Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

4.5.1. Karar verme

İnsanlar günlük yaşamlarında yaptığı birçok eylemde karar vermeye ihtiyaç duyar. Karar verme aşaması bir sürecin başlamasındaki ilk adımdır. Günlük yaşantısında ne yiyeceği ne giyeceği gibi yaşam kararlarını veren insanların yanında; işletme yöneten veya üretimi yöneten insanların da karar vermesi gerekmektedir. Günlük hayatta karar vermenin aksine bu tür kararlar doğrudan olarak işletmeyi etkilemesi nedeniyle önem taşımaktadır. Özellikle üretim planlamada birçok problemle karşılaşan yönetici bu problemlerin de çözümünde karar problemlerini kullanma gereksinimi duymaktadır.

Karar verme, yönetimin özünü oluşturur. Hedefleri ve öncelikleri belirlemeye, hedeflere ulaşmak için bir yol haritası oluşturmaya ve üstlenilecek farklı görevler için kaynakları tahsis etmeye kendimizi adadığımız stratejik yönetimin kritik bir bileşenidir. Karar analizi, sosyal seçim teorisi, yöneylem araştırması (OR), yönetim bilimi ve ilgili konuların bireylerin, grupların, örgütlerin, devletlerin ve hatta uluslararası kuruluşların karşılaştığı karar problemlerinin formülasyonu, analizi ve çözümü ile ilgilenmesi beklenir (Mukherjee, 2022).

Karar verme stratejileri arasında seçim yaparken belli karar ölçütleri dikkate alınmalıdır. Bu ölçütler;

- Belirlilik ortamında karar verme,
- Risk altında karar verme,
- Belirsizlik ortamında karar verme olarak üç grupta incelenir.

Belirlilik ortamında karar verme yöntemleri, deterministik yapıya sahip olup stratejilerin hangi koşullar altında gerçekleşeceği kesin olarak bilinmektedir. Deterministik yapıya sahip bu karar alma problemlerine örnek olarak doğrusal programlama verilebilir (Alptekin, 2003). Bu durumda amaç fonksiyonunun maksimizasyon ve minimizasyon olduğu değerler dikkate alınarak istenen sonuca göre bu stratejilerden biri seçilir.

Risk ortamında karar verme yöntemlerinde, risk nesnel bir olasılığın hesaplanabileceği bir durumu tanımlar. Bu, geçmiş veriler mevcut olduğu için sıklıkla tekrarlanan çoğu olayı içerir. Geçmiş bilgilere dayanarak, durum değişkeninin makul bir doğruluk oranı olasılık değerlendirmesini hesaplamak mümkündür (Carter vd., 2019). Bu tür problemler Stokastik karar problemleri olarak da adlandırılır.

Belirsizlik ortamında karar verme yöntemlerinde, kontrol edilemeyen faaliyetler olması durumu neticesinde mümkün sonuçların olasılık dağılımı hakkında hiç bilgi yoksa belirsizlik durumu vardır. Bu durumda yöneticiler Laplace, Hurwics gibi yöntemlerle karar vermeye çalışırlar. Özellikle üretim planlamada yer alan problemlerin durumlarına göre bu karar verme yöntemlerinden seçim yapılarak sonuca daha hızlı ulaşılır. Planlama, problem dinamiklerinin bir modelini kullanan bir optimizasyon şeklidir. Geniş bir literatür tabanının çoğunda deterministik problemlere

odaklanan çeşitli planlama problemleri yer alır. Planlamada deterministik modellerin kullanımıyla, yüksek boyutlu problemlere daha kolay ölçeklenebilen yöntemleri kullanmamıza izin verir (Kochenderfer vd., 2022). Bu gibi belirsizlik durumlarında bulanık doğrusal programlama kullanılabilir. Bu sebeple bir sonraki bölümlerde bulanık doğrusal programlamanın önemi anlatılacaktır.

4.5.2. Üretim planlama problemlerinde doğrusal programlama yaklaşımı

İşletmelerde karar problemlerinin bu derece önemli ve karmaşık bir yapıya sahip olduğu kesindir. Bu karmaşıklığın yöneticiler tarafından aşılması ve giderilmesi, yöneticilerin doğru ve hızlı bir şekilde karar verebilmelerini sağlayabilmek amacıyla doğrusal programlama yaklaşımı kullanılmaktadır. Özellikle karar vermede en karmaşık yapılardan biri olan üretim planlama problemlerinde hızlı karar verme aracı olarak kullanılır. Tarihte doğrusal programlama üretim planlama problemlerinde ilk uygulamasını M.E. Salveson tarafından atölye tipi üretim üzerinde yapılmıştır. Günümüzde de literatürde sıkça kullanımı yer almaktadır.

Doğrusal programlama yaklaşımı modelleme de kolaylık sağlaması bakımından ve bilgisayar programları ile de çözüm yöntemi bulunması nedeniyle kullanımı tercih edilen bir yöntemdir. Üretim planlama da yaşanan talepteki değişmeler kapasitenin doğru şekilde kullanılmasında, hammaddenin ve işgücünün ayarlanmasında yöneticiler için oldukça sorunlar oluşturur. Bu sorunlara doğrusal programlamada optimum çözümleri bularak; çıkan sonuçlar neticesinde değişiklikler yapılarak çözüm bulmaya çalışılır. Bu değişikliklerin her biri minimum maliyet ve maksimum kar sağlayacak şekilde yapılır. Görünen şudur ki; doğrusal programlama yaklaşımı en iyi çözümü vermesi, maliyet, kapasite ve talepteki değişimler için duyarlılık çözümlemesine olanak vermesi ve bilgisayar desteği ile çözülebilmesi gibi üstünlüklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı doğrusal programlama üretim ve üretim planlama problemlerinde geniş uygulama alanına sahiptir ve çalışmada bu nedenle tercih edilmiştir. Çalışmada yapılan uygulamada da incelenen olayı derinlemesine ve çok yönlü bir şekilde çözüm bulunabilmesi aynı zamanda incelenen modeli en iyi çözümleyebilmesi nedeniyle doğrusal programlama tercih edilmiştir.

5. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

5.1. Doğrusal Programlama Tanımı ve Amacı

İşletmelerde yöneticilerin verdiği önemli kararların birçoğu, imkanlar bakımından yöneticiyi sınırlandıran durumlara bağlı olarak, işletme amaçlarını gerçekleştirmek için en uygun yolu seçmedir. En uygun yol; karın maksimum yapılması veya maliyetin minimum yapılması ile belirlenir. Bu amacın gerçekleştirilmesi, çoğunlukla yöneylem araştırmasının, doğrusal programlama tekniğiyle çözüme kavuşturulmaktadır (Aladağ, 2011).

Doğrusal Programlama (DP); doğrusal eşitlik veya eşitsizlik sınırlayıcı şartları altında, yine doğrusal bir amaç fonksiyonunu optimize (maksimize veya minimize) etmek olarak tanımlanabilir (Kaçtıoğlu, 2020). Diğer bir tanımlama yapacak olursak doğrusal programlama; iyi tanımlanmış doğrusal eşitliklerin veya eşitsizliklerin kısıtlayıcı koşullar altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu en iyi yani optimum kılan değişken değerlerin belirlenmesinde kullanılan bir matematiksel programlama tekniği olarak tanımlanmaktadır (Cinemre, 2003). Bu nedenle, doğrusal programlama, tüm uygulanabilir alternatifler arasında (matematiksel modele göre) belirtilen hedefe en iyi şekilde ulaşan bir sonuç olan optimal bir sonuç elde etmek için faaliyetlerin planlanmasını içerir (Hillier ve Lieberman, 2015). Kısaca, sınırlı kaynakları mümkün olan en iyi (yani optimal) şekilde rekabet eden faaliyetler arasında tahsis etme genel problemidir. Tanımda yer alan doğrusal terimi modelin tüm fonksiyonlarının doğrusallığını tanımlarken; Programlama kelimesi burada bilgisayar programlamaya atıfta bulunmaktan ziyade, aslında planlama ile eşanlamlıdır.

Yöneylem araştırmasının bir tekniği olan doğrusal programlama üretim yöneticileri açısından hedef ve amaçlarına ulaşma aşamasında en karmaşık durumda bile yol gösterici ve detaylı bir şekilde karar verme imkânı sunan matematiksel bir programdır. Doğrusal programın yol gösterici özelliğine örnek verirsek satış tahminleri ile ürünlerimizden en fazla satabileceğimiz miktarları; bu ürünler ile ilgili kesinleşen siparişler ise üretmemiz gereken miktarları belirtmektedir. Bununla beraber üretimde ise kısıtlı kaynaklar mevcuttur. Üretimde yapılan normal mesai, fazla mesailerde kapasite kısıtları mevcuttur. İşte üretimde veya işletmede bu kısıtlar altında *"hangi*

üründen ne kadar üretelim?" sorusunu yanıtlamak gerekmektedir. Bu noktada kullanabileceğimiz önemli bir yaklaşım doğrusal programlama modelleri ve çözüm yöntemleridir.

Bu tanımlamalardan yola çıkarak doğrusal programlama; tanımdaki "doğrusal" terimi modelin tüm fonksiyonlarının doğrusallığı anlamına gelirken; "programlama" terimi bir planının seçilmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle doğrusal programlama, işletmede yer alan kaynaklarının bilinçli bir şekilde faaliyetlere dağılımıyla, doğrusal bir fonksiyonun maksimizasyonu olarak tanımlanmaktadır (Gülerman, 1976). En iyiyi yapma yani optimum değeri bulmak için amaç fonksiyonu değerinin maksimizasyonu veya yine amaç fonksiyonunun minimizasyonu şeklinde iki yolla yapılmaktadır.

Sınırlı kaynakların en verimi şekilde kullanılma ihtiyacı en çok üretim planlamada yaygın şekilde görülen bir sorundur. Bu soruna çözüm bulan doğrusal programlama tekniği ile sınırlı kaynaklar kullanılarak en iyi yani optimum değer bulunur. Uygulama alanı olarak planlamada karşılaşılan eldeki kısıtlı makine ve teçhizat, iş gücü ve malzemenin en verimli şekilde kullanılarak maksimum karı sağlayan ürün adedinin bulunması, öngörülen talebin en küçük maliyetle karşılanması ve uygun kapasite planlamasının yapılması, satın alma ve fiziksel dağıtımın planlaması gibi örnekler sıralanabilir. Doğrusal programlamanın kullanım amaçlarından bazılarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Üreten, 2004):

• Bir ürüne olan talebi karşılayacak ve üretim ve stoklama maliyetlerini minimize edecek üretim planının hazırlanması,
• İşletmenin kârını maksimize edecek şekilde mevcut makine ve işgücüyle üretilebilecek ürün karmasının belirlenmesi,
• Minimum maliyetle üretimi gerçekleştirecek hammadde bileşimlerinin belirlenmesi,
• İşgücünün makinelere tahsisi olarak sıralanır.

5.2. Doğrusal Programlamanın Tarihçesi, Gelişimi ve Uygulama Alanları

Birçok işletmeler karşılaştığı problemlerin çözümünde kantitatif bir yöneylem araştırması yöntemi olan doğrusal programlamayı sıkça kullanmaktadır. Yöneylem Araştırması (OR) ya da diğer adıyla 'Hareket Araştırması', İkinci Dünya Savaşı

sırasında kıt kaynakların farklı askeri hareketlere ve her bir hareket içindeki hizmetlerin etkin bir şekilde dağıtılması sorununun çözümü amacı ile ortaya çıkmış disiplinler arası bir bilim dalıdır.

Yöneylem araştırması çalışmalarına ilk kez, 1940'ta İkinci Dünya Savaşında Alman hava hücumlarının İngiltere'yi büyük kayıplara uğrattığı günlerde İngilizler tarafından başlanmıştır. İngiliz Genel Kurmay Başkanlığı farklı disiplinlerden oluşan bir bilim adamı grubunu etkin bir savunma sistemi oluşturmaları için görevlendirmiş ve eldeki kısıtlı imkanlara rağmen oluşturulan hava savunma sistemi oldukça üstün durumdaki Alman Hava Kuvvetleri' ne karşı büyük başarılar elde etmiştir. Bu başarıların arkasında, matematiksel modeller kullanan yöneylem araştırması çalışmalarının yer aldığı düşüncesiyle, İkinci Dünya Savaşından sonra da bu bilim gelişmiş, özellikle çözüm algoritmalarında ve bunların bilgisayar etkileşimde ilerlemeler sağlanmıştır.

Yöneylem Araştırması'nın bir tekniği olan Doğrusal programlamanın gerçekte kökeni çok eskilere dayanmaktadır. 1920'li yıllara kadar uzanan doğrusal programlama tekniğini ilk kez Rus matematikçi L. V. Kantorovich 1939 yılında formüle etmiştir. Kantarovich gerçek bir üretim planlama ve organizasyon problemini doğrusal programlama problemi olarak ele almıştır. Ulaştırma problemi olarak 1941 yılında Hitchock doğrusal programlamayı problemlerini ele almıştır. 1945 yılında ise en küçük maliyetli diyet problemini doğrusal yöntemle iktisatçı C. Stigler formüle etmiştir. 1947 yılında ise ABD askeri faaliyetlerini planlamak amacıyla George B. Dantzig tarafından formüle edilmiştir. Dantzig'in bu çalışması daha önce yapılan birçok çalışma olmasına karşılık bugünkü anlamına en yakın çözümleme olmuştur. Çalışmasında doğrusal programlamanın çözüm tekniği simpleks yöntem olarak bilinen bir çözüm yöntemi önermiştir. Uzun yıllar boyunca gelişmeye devam eden doğrusal programlamanın asıl gelişimi bilgisayar kullanımının olmasıyla 25-30 yılda olmuş ve bu problemlerin çözümünde bilgisayar programları hazırlanmış uygulama alanı genişletilmiştir. Yöneylem Araştırması'nın bir tekniği olan doğrusal programlama modeli günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu şekilde farklı disiplinler arası insanlar arasında yönetimsel sorunlara bir denge getirmede önemli bir rol oynayabilir. Doğrusal programlamanın bazı kullanım alanları kullanım alanları Çizelge 5.1'de sıralanmıştır:

Çizelge 5.1. Doğrusal programlama uygulama alanları

Üretim Planlama	Optimizasyon
Stratejik Planlama	Benzetim
Proje Yönetimi	Esnek imalat sistemleri
Tam zamanında üretim	Bakım planlaması
İnsan gücü planlaması	Ulaştırma ve dağıtım problemleri
Maliyet analizi	Karar modelleri
Yatırım Planlaması	Kuruluş yeri seçimi

Buna göre Doğrusal programlama modellerinin üretim işletmelerinde kullanılabileceği karar problemlerini aşağıdaki başlıklarda olarak genelleyebiliriz (Raju, 2019):

1. Minimum ağırlık için uçak ve uzay yapılarının tasarımı.
2. Uzay araçlarının optimal yörüngelerini bulma.
3. Çerçeve, temel, köprü, kule gibi inşaat mühendisliği yapılarının tasarımı, minimum maliyet için bacalar ve barajlar.
4. Bağlantıların, kamaların, dişlilerin, takım tezgahlarının ve diğer mekanik parçaların optimum tasarımı.
5. Talaş kaldırma proseslerinde işleme koşullarının seçimi için minimum üretim maliyeti.
6. Konveyörler, kamyonlar ve vinçler gibi malzeme taşıma ekipmanlarının tasarımı sırasındaki minimum maliyet.
7. Maksimum için pompaların, türbinlerin ve ısı transfer ekipmanlarının tasarımı yeterlik.
8. Motor, jeneratör ve benzeri elektrikli makinelerin optimum tasarımı.
9. Elektrik şebekelerinin optimum tasarımı.
10. Farklı şehirleri ziyaret eden satıcının izlediği en kısa yol.
11. Optimum üretim planlama, kontrol ve çizelgeleme.

12. İstatistiksel verilerin analizi ve deneysel modellerden ampirik modeller oluşturma.
13. Kimyasal işleme ekipmanı ve tesislerinin optimum tasarımı.
14. Proses endüstrileri için optimum boru hattı ağlarının tasarımı.
15. Bir endüstri için yer seçimi.
16.Sipariş maliyeti, taşıma gibi stok maliyetlerini en aza indirmek için stok kontrolü maliyetler, kıtlık maliyetleri vb.
17. Bakımın planlanması ve ekipmanın değiştirilmesi işletme maliyetleri.
18. Faydayı en üst düzeye çıkarmak için hizmetlerin kaynaklarını çeşitli faaliyetler arasında tahsis edin.
19. Maliyetleri azaltmak için üretim hatlarında bekleyen ve âtıl ürünlerin kontrol edilmesi ve sıraya alınması.
20. Rakiplere göre maksimum kâr elde etmek için en iyi stratejiyi planlamak.

5.3. Doğrusal Programlama Varsayımları

Doğrusal programlama modelleri belirli varsayımları içermektedir. Bu varsayımlar sonucunda modelden tutarlı sonuçlar elde edilir. Gerçek hayattaki olaylar bu varsayımları sağladıkları sürece model tarafından iyi bir şekilde temsil edilebilir ve modelin çözümünde elde edilen sonuçlar anlamlı olabilir. Bu nedenle herhangi bir modelden doğru şekilde yararlanmak için modelin dayandığı varsayımları iyi bilmek ve varsayımların sağlanıp sağlanmadığı konusunda emin olmak gerekir.

Doğrusal programlama için bahsedilen bu varsayımlar doğrusallık, toplanabilirlik, bölünebilirlik, belirlilik ve negatif olmama varsayımıdır. Bu varsayımlar aşağıdaki gibi açıklanır:

1. Doğrusallık Varsayımı: Bu varsayımda Doğrusal Programlama modelinde amaç fonksiyonları ve kısıtlayıcılar doğrusal olmalıdır anlamına gelir. Demek istenilen modelde yer alan tüm eşitlik veya eşitsizliklerdeki değişkenler birinci dereceden fonksiyonlarla anlatılabilmelidir. Gerçek hayatta ise birçok durum doğrusallık sağlayabilirken pek çok durum sağlayamayabilir. Mesela satın alınan bir kaynağın belli miktarlar için belirli ıskontolarla temin edilmesi bu duruma örnek verilebilir. Doğrusallık durumunun ihlal edildiği durumlarda bazı kabul ve yaklaşımlarla model oluşturulabileceği gibi duyarlılık analizi

yöntemiyle de durum değerlendirilmesi yapılabilir. Amaç ve kısıtlayıcıların üstel yapıda olması halinde ise Doğrusal Olmayan (Nonlinear) Programlama kullanılabilir.

2. Toplanabilirlik Varsayımı: Amaç fonksiyonunun değeri ve kullanılan (veya sağlanan) her kaynağın toplam miktarı, karar değişkenlerinin ilgili bireysel katkısının (kar veya maliyet) toplamına eşit olmalıdır (Sharma, 2016). Bu varsayıma göre faaliyetlerin birbirini etkilemediği kabul edilmektedir. Ayrıca, toplanabilirlik varsayımı doğrusallık varsayımının da doğal bir sonucudur.

3. Bölünebilirlik Varsayımı: Bu varsayıma göre modelin değişkenleri rakamlarla ifade edilen bölünebilir nitelikte olmalıdır. Bölünebilirlik tanımındaki maksat karar değişkenlerinin tam sayılı değerlere ek olarak kesirli sayılar da olabilir anlamındadır. Aynı zamanda değişkenlerin gösterdiği faaliyetlerin sonsuz zamanda bölünebileceği kabul edilmektedir. Gerçek hayatta da tam sayılı olarak ifade edilmesi gereken faaliyetler de bulunabilir. Bu tür durumlarda Tam sayılı Programlama (Integer Programming) teknikleri kullanılarak modele çözüm aranır.

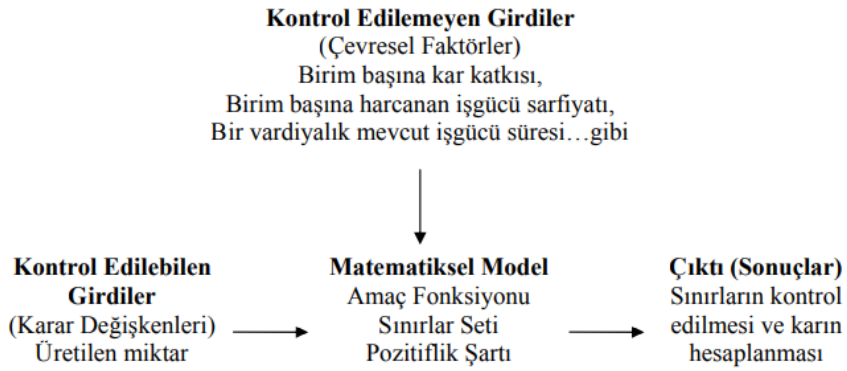
4. Belirlilik (Kesinlik) Varsayımı: DP modellerinde, kaynakların mevcudiyeti, karar değişkeni birimi başına kâr (veya maliyet) katkısı ve karar değişkeni birimi başına kaynakların tüketimi (a_{ij}, b_i, c_j) gibi tüm parametrelerinin bilinmesi ve sabit olması gerektiği varsayılır (Sharma, 2016). Gerçek hayatta ise bu değerler kesin ve belirli olmayabilir. Bu sebeple belirlilik varsayımı, doğrusal programlama modellerinin kullanımını en çok sınırlandıran varsayımıdır. Bu hallerde Duyarlılık analizi teknikleriyle probleme çözüm getirilmeye çalışılır.

5. Negatif Olmama Varsayımı: Doğrusal programlamada negatif faaliyet düzeyine izin verilmemesi nedeniyle değişkenlerin değerleri ya sıfır ya da pozitiftir denilebilir.

5.4. Doğrusal Programlama Modellerinin Kurulması

Doğrusal programlamada bir model, araştırılan tipik bir problemin yalnızca temel yönlerinin veya en önemli özelliklerinin dikkate alındığı gerçek yaşam sisteminin idealize edilmiş bir temsili olarak tanımlanabilir. Bu modelin amacı, işletme performansını iyileştirmek amacıyla sistemin davranışını analiz etmektir (Bhunia ve Sahoo, 2019) ve karar vericilere sistemin operasyonlarını içeren sorunları çözmeleri için bilimsel bir temel sağlamak ve organizasyonun yararına olan bir çözüm sunmaktır. Çözüm, problemin optimum çözümü olarak adlandırılır (Gupta, 2015).

Doğrusal programlama modellerinin çözümü için çeşitli yöntemler geliştirilmiş olsa da bu modellerin çözülmesi için konulmuş belli kurallar olmamakla birlikte genel yaklaşımdan söz edilebilir. Bu sebepledir ki modellerin kurulmasında tecrübe, mevcut modellerin incelenmesiyle kazanılan bilgi ve yöneylem araştırmacısının şahsi kabiliyeti önemli bir rol oynamaktadır. Bir üretim doğrusal programlama modelinde girdinin çıktıya dönüşme sürecinin görseli Şekil 5.1'de yer almaktadır. Buna göre modelde yer alan karar değişkenleri matematiksel model yardımıyla istenilen çıktıya dönüşmektedir.



Şekil 5.1. Üretim modelinde doğrusal programlama akış diyagramı (Kobu, 2010)

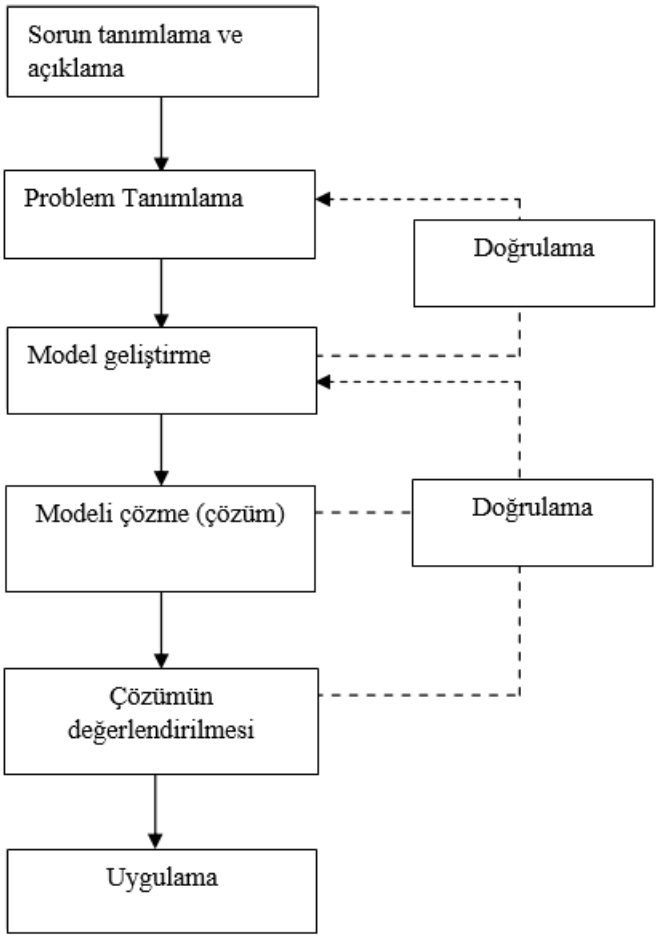
Model kurulması için öncelikli olarak karar verme yöntemlerinin hepsinde olduğu gibi problem tanımlaması yapılması gerekir. Stevenson, W. J. (1996)'a göre bir doğrusal programlama modelinde amaç, karar değişkenleri, kısıtlar ve parametrelerden oluşan 4 unsur bulunur. Bu dört unsura göre amaç fonksiyonu oluşturulur ve bu fonksiyon yönetimin ulaşmak istediği hedefin matematiksel ifadesi olarak tanımlanır. Amaç

fonksiyonu negatifliği olmayan karar değişkenlerinden oluşmaktadır. Çünkü karar değişkenleri bir işte kullanılan işgücü gibi pozitiflik gerektiren ifadelerden oluştuğundan bu unsurların negatif olması mümkün değildir. Kısıtlar ise problemi genel itibariyle şekillendiren koşullardır (Çınar, 1990). Eğer tüm sınırlar eşitlik biçiminde ifade edildiyse en iyi çözüm tek bir noktada oluşur. Tam tersi olarak tüm sınırlar eşitsizlik şeklindeyse sonsuz sayıda olası çözüm vardır, ancak, amaç fonksiyonunun tek bir en iyi (optimum) değeri vardır.

Bahsedilen bu 4 unsura göre Doğrusal Programlama modellemesi için gereken adımları şu şekilde sıralamak mümkündür:

1. Karar değişkenlerinin tanımlanması ve bunların uygun semboller ile gösterilmesi.
2. Kurulacak modelin amacının belirlenmesi ve karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyon olarak yazılması.
3. Modelde yer alan tüm kısıtların karar değişkenlerinin doğrusal fonksiyonları eşitlik veya eşitsizlik olarak ifade edilmesi olarak sıralanmaktadır.

Doğrusal programlamada karar verme sürecindeki modelleme adımlarını aşağıda yer alan Şekil 5.2'de özetlemek mümkündür (Sarker ve Newton, 2014):



Şekil 5.2. Doğrusal programlamada karar verme süreci

Doğrusal programlama modelinin girdi çıktı sürecinden sonra ardından modelin kurulum aşamalarına bakmak gerekir. Özet olarak 3 adımda tanımladığımız bir doğrusal programlama modeli için modelin detaylı kurulum aşamaları aşağıdaki gibi 4 adımda yapılmaktadır:

1. Problemin Tanımlanması:

Bir modelin oluşturulması için modelin probleminin tanımlanması gerekir. Problem tanımı, araştırılan problemin kapsamını tanımlamayı içerir. Amaç; karar probleminin üç temel unsurunu belirlemektir: (1) kararın tanımı alternatifler, (2) çalışmanın amacının belirlenmesi ve (3) çalışmanın modellenen sistemin çalıştığı sınırlamalar (Taha, 2017). Modelin probleminin çözüme kavuşması için de ulaşılmak istenen amaç ortaya konması gerekmektedir. Bir problemde ulaşılmak istenen amaç birden fazla olabilir. Bu nedenle çok sayıda amaç olması durumundan dolayı bu kolay bir karar

değildir. Ama uygun çözüme ulaşmak için de doğru amacın bulunması gerekmektedir. Sadece amaç ile sonuç bulunmayacağı için probleme ait karar değişkenleri, parametreler, sınır şartları da belirlenmeli bu temel faktörler ortaya konmalıdır.

Problemde en önemli temel faktör karar değişkenleridir. Bu değişkenler kontrol edilebilir değişkenlerdir. Karar değişkenleri karar verecek kişi veya kişiler tarafından ortaya konmaktadır. Bunlar problemin bilinmeyenleri olup modelin çözümünden sonra belirlenir. Karar vericiler tarafından belirlenen karar değişkenlerine uygun kavramsal tanımlar (üretilen ürünler, kullanılan makinalar…v.b.) yapıldıktan sonra bu değişkenlere simge verilir. Buna göre karar değişkenleri x_i, y_i… gibi sembollerle gösterimleri yapılır. Bunlar x_i, i=1, 2, 3, ..., n şeklinde gösterilir; buradaki i ürün sayısı, makine sayısı gibi değişkenleri sembolize etmektedir.

Karar değişkenleri problemde kontrol edilebilen değişkenlerken kontrol edilemeyen değişkenlere de parametre denir. Karar vericilerin kontrolleri dışında parametreler belirli değerler alabilirler. Bir doğrusal programlama modelinde parametreler birim maliyet, iş gücü, makine kapasitesi…v.b. olarak sayılabilir. Parametreler de sembol ile gösterilir. Genellikle c_j şeklinde gösterilir ve buradaki j=1, 2, 3, …, n olarak ifade edilir.

2. Problem İçin Modelin Kurulması:

Problemin belirlenmesi ve gerekli parametrelerin tanımlanmasından sonra gerekli matematiksel modelin geliştirilmesi gerekir. Diğer bir ifadeyle problemin tanımlanmasının ardından; problemi en iyi temsil eden ve problemdeki belirsizlikleri en aza indiren en iyi modelin kurulması anlamına gelmektedir.

Model birçok tanımlamaya sahip olduğu gibi genel anlamıyla; bir sistemin değişen şartlar ve koşullar altında davranışlarını incelemek ve gelecek hakkında tahminlerde bulunabilmesi amacıyla matematiksel olarak ifade edebilmek olarak tanımlanmaktadır. Modelleri sınıflandırırken basit ve karmaşık olarak sınıflandırma yapılabilmesi mümkündür. NCTM (National Council of Teachers of Mathematics) kaynaklarında modelleme gerçek hayat problemlerini tanımlama, matematiksel model oluşturma, modeli geliştirme ve çözme, modeli yorumlama, modeli kullanma şeklinde

beş temel aşamaya ayrılmaktadır. Farklı birçok sınıflandırması bulunan modellerin en ayrıntılı hali J. W. Forrester tarafından yapılmıştır. Forrester'e göre modeller soyuttur ve soyut olan modeller de matematik, dinamik ve statik olarak üçe ayırdıktan sonra her birini doğrusal ve doğrusal olmayan olarak sınıflandırmıştır. Diğer bir sınıflandırma R. L. Ackoff tarafından yapılmıştır. Ackoff'a göre modeller; uyuşum modelleri, benzetim modelleri ve sembolik (matematiksel) modeller şeklinde iç sınıfta incelenmiştir. Diğer bölümlerde ele alınan model çeşidi matematiksel model kullanılarak yapılmıştır. Matematiksel modeller birinci adımda açıklandığı gibi amaç fonksiyonu, karar değişkenleri, parametreler ve sınır şartlarına sahip 4 temel elemanı içermektedir.

3. Modelin Çözülmesi:

Uygun modelin bulunup geliştirilmesinden sonra modelin çözülmesine ve bilinmeyen değişkenlerin bulunmasına geçilmelidir. Bilinmeyen değişkenlerin bulunması karar değişkenlerinin değerlerinin bulunması anlamına gelmektedir. Doğrusal programlama modellerinde çözüm grafik yöntemi ve simpleks yöntemi ile bulunur. Günümüzde ise gelişen teknolojiyle bir takım bilgisayar programları ile de çözüme ulaşmak mümkündür. Örnek olarak GAMS, LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimizer), GINO (General Integer and Non-Linear Optimizer), OSL (Optimization Software Library), WINQSB, Microsoft Excel gibi paket programlar ile de kısa sürede model çözümüne ulaşmak mümkün olmaktadır.

4. Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Uygulanması:

Modelin çözüldükten sonra karar değişkenlerinin değerlerini ve beklenen değerlerin karşılaştırılması yapılır. Modelde ulaşılmak istenen amaç ile tutarlılığa bakılarak hata belirlenmiş ise tekrar çözümleme yapılır. Çözümde tutarlılık yakalandığı takdirde karar verici tarafından çözüm uygulanarak model için sonuç bulunmuş olur.

5.4.1. Doğrusal programlama modellerinin matematiksel gösterimi

Doğrusal bir program (LP), sonlu sayıda doğrusal kısıtlamaya (doğrusal denklemler ve/veya doğrusal eşitsizlikler) tabi olarak doğrusal bir amaç fonksiyonunun minimize

veya maksimize edilmesi gerektiği bir optimizasyon problemidir. Doğrusal programlama problemi olarak sınıflandırılabilmesi için en az bir doğrusal eşitsizlik içermesi gerekir (Cottle ve Thapa, 2017).

Bir problem için model bulma ve bu modeli matematiksel anlamda göstermek tecrübe ve aynı zamanda da bir sanattır. Matematiksel anlamda bir doğrusal programlama modelinde amaç fonksiyonu ve sınırlar olmak üzere iki bileşen yer alır. Amaç fonksiyonunda işin maliyeti, üretim için harcanan zaman, tezgâhın boş kalma süresi gibi faktörler minimum edilmeye çalışılırken; toplam kar, üretilen ürün miktarı, satış miktarı da maksimum olarak düşünülür. Sınır şartları ise zaman, işgücü, talep miktarı, tezgâh sayısı, hammadde ve işletme sermayesidir. Bir doğrusal programlama modelinde üç temel fonksiyon bulunur:

- Amaç Fonksiyonu
- Kısıt Denklemleri
- Negatif Olmama Koşulu olarak ayrılmaktadır.

Bu temel fonksiyonların tanımlarını aşağıdaki gibidir yapmak mümkündür:

1. Amaç Fonksiyonu:

Doğrusal programlamada; amaç fonksiyonu varsayıma göre doğrusallık gösterir. Doğrusallık göstermesindeki anlam; değişkenlerin birinci dereceden olması ve çarpımlarının bulunmaması anlamındadır. Genel bir DP modelinde optimize edilecek olan büyüklük amaç fonksiyonu olarak adlandırılır (Kaçtıoğlu, 2020). Bu sebeple amaç genellikle kar maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu şeklinde olmaktadır. Amaç fonksiyonu karar değişkenleri ve sabit katsayıların (parametreler) toplamı ile gösterilir. Buna göre formül aşağıdaki olmaktadır:

Karar değişkenleri x_j (j=1,2, 3, …, n)

Sabit katsayılar (parametreler) c_j (j=1,2, 3, …, n) için amaç fonksiyonu;

Maksimize veya Minimize $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_nx_n$ (5.1)

Şeklinde ifade edilerek modeldeki amaç Z'yi maksimum veya minimum yapan x_1, x_2, ..., x_n değerlerinin bulunmasıdır.

2. Sınır Şartları/Kısıt Denklemleri:

İşletmelerin sahip oldukları işgücü, hammadde, enerji, zaman gibi kaynakları sınırsız değildir. Eğer sahip olunan kaynaklar belli bir sınıra sahip olmasaydı, sınır ve kısıtlama gerektiren doğrusal programlama gibi matematiksel yöntemlere de gerek olmazdı. Bu nedenle sınırlı kaynaklar altında karar verme durumundaki kişiler belli kısıt denklemleri altında karar almak durumundadır. Kısıt denklemleri genel anlamda bir modeldeki karar değişkenleri ile parametreler arasındaki zorunlu ilişkilerin kurulduğu doğrusal fonksiyonların her biri olarak tanımlanmaktadır. Sistemde kullanılacak kaynak miktarlarını yani sabit sayılarını b_1, b_2, …, b_i ve bu kaynaktan birim başına kullanılan girdi miktarını a_{i1}, a_{i2}, …, a_{ij} olarak tanımlanır.

Buna göre formül aşağıdaki gibi gösterilir:
b_m: m. kaynağın kullanılabilir miktarı (sağ taraf sabitleri),
a_{mn}: m. kaynağın, n. madde üretimi için kullanılması gereken miktarı (teknolojik katsayılar)

Kısıtlayıcılar için formüllerin açık hali aşağıdaki gibidir:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_1$$
$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_2$$
$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$
$$a_{m1}x_1 + am_2x_2 + \dots + a_{mn}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_m \qquad (5.2)$$

3. Negatif Olmama Koşulu:

Doğrusal programlama modelleri gerçek problemlere dayandığından negatif olma durumu bulunmaktadır. Örneğin bir fabrikada üretimin gerçekleşmesi durumu olursa pozitif bir durum; üretimin gerçekleşmemesi durumunda ise sıfıra eşit denilir ve negatif bir ifade de yoktur. Aynı zamanda karar değişkenleri koordinat ekseninin her

iki değişken için pozitif olduğu tarafta olması nedeniyle pozitif olması gerekmektedir. Bu sebeple negatif olmama koşulu;

$x_1, x_2, ..., x_n \geq 0$

şeklinde ifade edilmektedir.

Tüm bu tanımlamalar sonucunda doğrusal programlama matematiksel formülleri sigma notasyonu halinde özetlemek gerekirse aşağıda gibi olmaktadır:

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Maksimize veya Minimize } Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (5.3)$$

Kısıt Denklemleri:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \ (\leq, =, \geq)\ b_i \qquad (i = 1, 2, \ldots, m) \qquad (5.4)$$

Negatif olmama koşulu:

$$x_j \geq 0 \qquad (j=1, 2, ..., n) \qquad (5.5)$$

5.5. Doğrusal Programlama Modellerin Çözümü ve Kullanılan Yöntemler

Doğrusal programlama problemlerinin farklı çözüm metotları geliştirilmiş olsa da yaygın olarak iki çözüm yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar grafikle çözüm yöntemi ve simpleks algoritması olarak ikiye ayrılmaktadır. İşletmelerde karşılaşılan karmaşık yapıda problemlerin çözümü için iki yöntemde manuel olarak çözülmesi bakımından zaman alıcı ve zahmetli olması bazen de çözüme ulaşmada yetersiz kalması nedeniyle bu konuyla ilgili birçok bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen bilgisayar paket programları sayesinde istenilen iterasyonları yaparak çözüme ulaşmak mümkün olsa da simpleks algoritması ve grafik yönteminin de çözüme ulaşmadaki katkısını göz

ardı etmemek gerekmektedir. Bu iki yöntem için ve bilgisayar çözüm yöntemleri için tanımlamalar ve özellikler aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

5.5.1. Doğrusal programlamanın grafikle çözüm yöntemi

Doğrusal programlamanın grafik yöntemiyle çözümü açık ve kolay anlaşılır bir özelliktedir. Fakat bu yöntemin uygulanabilmesi modelin iki veya en fazla üç değişkenli olması gerekir. Üç değişkene kadar üç boyutlu uzayda grafikle çözümü mümkünken çok sayıda değişken içermesi durumunda grafik yöntemi uygun değildir. Öncelikle grafik çözüm yöntemi için bazı ifadeleri tanımlamak gerekir.

- Çözüm: Doğrusal programlama probleminde kısıtlayıcıların hepsini sağlayan karar değişkenlerinin oluşturduğu kümeye yani x_1, x_2, …, x_n kümesine çözüm denmektedir.
- Uygun Çözüm (UÇ): Negatif olmama koşulunu sağlayan çözüme denmektedir.
- Temel Uygun Çözüm (TUÇ): Doğrusal denklem sisteminde n değişken sayısı ve m kısıtlayıcı sayısı olmak üzere n-m adet değişkenin değerinin sıfır, m adet değişkenin sıfır veya pozitif olduğu çözümler temel uygun çözüm olarak adlandırılmaktadır. Temel uygun çözümler konveks setin köşe noktalarıdır ve bir DP probleminin uygun bir çözümü varsa en az bir tane temel uygun çözümü de bulunmaktadır.
- Optimal Çözüm (OÇ): Amaç fonksiyonu için optimum değeri (en büyük veya en küçük değer) sağlayan uygun çözüme denir.

Grafik çözümü için adımları özetlemek gerekirse; öncelikle değişkenler koordinat sisteminde yatay ve dikey eksenlere yerleştirilir. Sonrasında modelin kısıtlayıcı fonksiyonların grafiği çizilir. Uygun çözüm bölgesi belirlenir ve son olarak en iyi çözümün belirlenmesi yapılır. En iyi çözümün belirlenmesi için amaç fonksiyonundan yararlanılır. Her köşe noktasının koordinatları amaç fonksiyonuna yerleştirilerek karşılaştırılabilir. Buna göre amaç fonksiyonunun maksimizasyon ve minimizasyon olmasına bağlı olarak değerin en büyüğü veya en küçüğünü sağlayan değer en iyi çözümdür.

Bu yöntemi örnek üzerinden bir eşitlik ile adım adım göstermek gerekirse (Sarker ve Newton, 2014);

Maksimize $Z = 100x_1 + 60x_2$

$5x_1 + 2x_2 \leq 190$ (Birinci Kısıt)

$4x_1 + 3x_2 \leq 180$ (İkinci Kısıt)

$3x_1 + 4x_2 \leq 200$ (Üçüncü Kısıt)

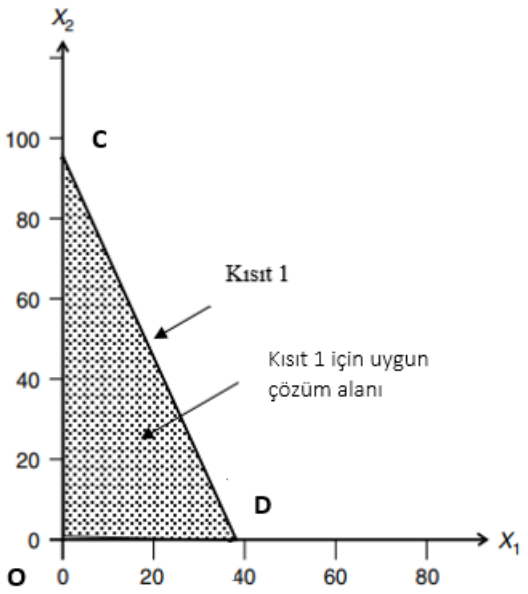
$x_1 \geq 0$ ve $x_2 \geq 0$ (Negatif Olmama Koşulu)

Birinci kısıtlayıcı denklemde yerine yazılır.

$5x_1 + 2x_2 = 190$ (Birinci Kısıtlayıcı)

Eşitlikte $x_1=0$ olursa $x_2= 95$ değerini alır;

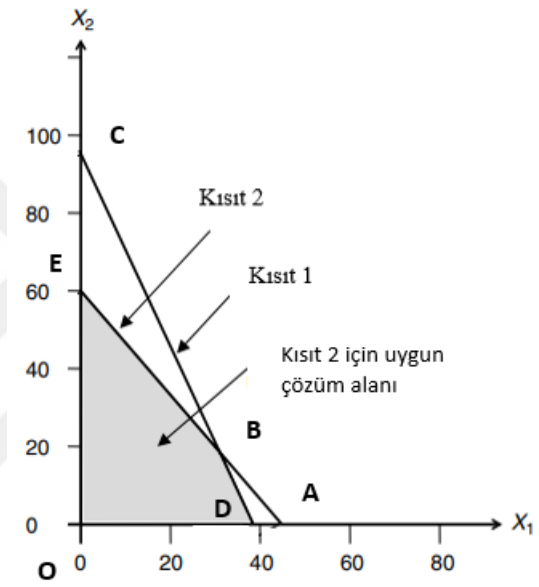
$x_2=0$ olduğunda $x_1=38$ değerini alır. (0, 95) ve (38, 0) noktaları ile aşağıdaki Şekil 5.3'te gösterildiği gibi birleştiren düz bir doğru çizilir.



Şekil 5.3. Birinci kısıtlayıcının grafiğe yerleştirilmesi

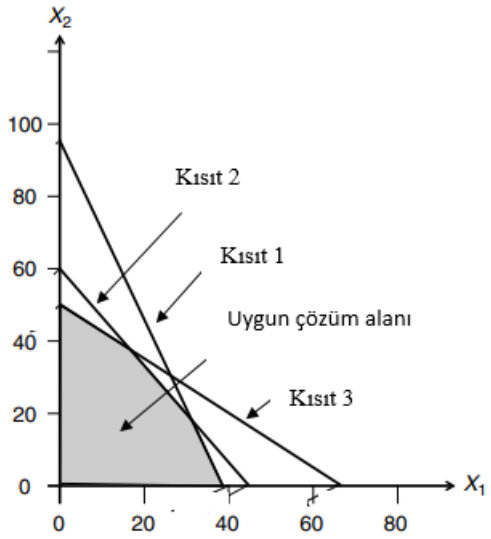
Şekil 5.3'te kısıt ($5x_1 \times 2x_2 = 190$), çizilen bu doğrunun sol tarafındaki olan (OCD) alanı temsil eder. Şekil 5.3'te vurgulanan üçgen alan, birinci kısıtın ve iki negatif olmayan kısıtlama ile sınırlandırılmıştır. Bu alan, birinci kısıt için uygun bölge olarak kabul edilir.

İkinci kısıt da grafikte çizilir. Bu durumda negatif olmama koşulunu ve kısıtlayıcıları sağlayan bölge OEBD konveks alanıdır. Diğer bir ifadeyle OEBD, uygun çözüm alanıdır. OEBD içinde bulunan her nokta kısıtlayıcıları ve negatif olmama şartını sağlamaktadır. Uygun çözüm alanını gösteren konveks setin köşe noktalarının, temel uygun çözümlere karşılık gelir. Şu hâlde örnek problemimiz için TUÇ'lar O, E, B ve D köşeleridir. Temel uygun çözümlerden en az birisi optimal çözüm olmaktadır. İkinci kısıt için Şekil 5.4'te gösterildiği gibi çizilir. Şekil 5.4'te vurgulanan alan hem birinci hem de ikinci kısıtlamaları için uygun bölgedir.



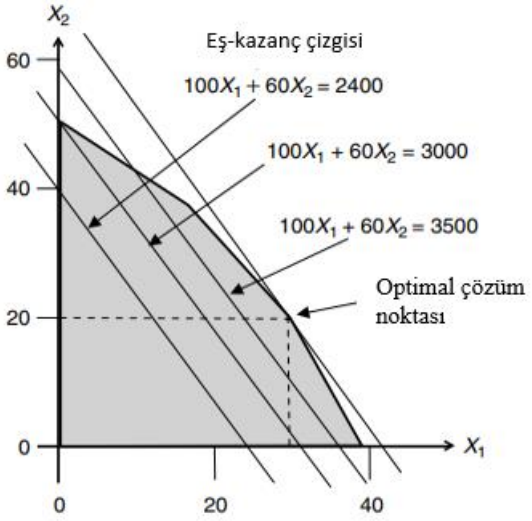
Şekil 5.4. İkinci kısıtlayıcının grafiğe yerleştirilmesi

Uygun bölgeden alınan herhangi bir nokta (Şekil 5.5'te gösterildiği gibi) modelin tüm kısıtlamalarını karşılayacaktır. (20, 20), (30, 15) gibi noktalar ve uygulanabilir bölgeden herhangi bir nokta alınarak test edilebilir. Uygulanabilir bölgedeki en iyi noktalar, modelin optimal çözümünü temsil eder. Ancak, uygulanabilir bölgede sonsuz sayıda nokta vardır. Yukarıdaki uygulanabilir bölgede optimal noktayı belirlemek için önce eş-kazanç doğrusu yaklaşımıyla amaç fonksiyonu için uygun bölge içinde düz bir doğru çizmeye yardımcı olan bir değer varsayıyoruz.



Şekil 5.5. Üçüncü kısıtlayıcının grafiğe yerleştirilmesi

Şekil 5.6'de gösterildiği gibi daha yüksek Z değerlerine sahip başka eş-kazanç doğruları çizebiliriz. Başka bir deyişle, mümkün bölgenin mümkün olan en son noktasına ulaşana kadar, amaç fonksiyonu artışı yönünde zaten çizilmiş olan eş-kazanç doğrusuna paralel doğrular çiziyoruz. Son kesişen nokta modelin optimal çözüm noktasıdır.



Şekil 5.6. Optimum noktayı bulma

Bu yöntemin haricinde LP'deki optimal çözüm noktasının, uygulanabilir bölgenin köşe noktalarından birinde bulunduğu iyi bilinmektedir. Bu nedenle, en uygun nokta,

basitçe köşe noktalarını analiz ederek bulunabilir. Uygulanabilir bölgenin köşe noktalarının koordinatları Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Köşe noktaları, Çizelge 5.2'de gösterildiği gibi en iyi amaç fonksiyonu değerini bulmak için kullanılır. Buna göre köşe noktası analizine göre, köşe noktası (30, 20) 4200 $'lık maksimum olası karı sağlar.

Çizelge 5.2. Temel uygun çözümler ve amaç fonksiyonu değerleri

Temel Uygun Çözümler (X1, X2)	$Z=100X_1 + 60X_2$	Z Değeri ($)	Sonuç
(0, 0)	$100 \times 0 + 60 \times 0$	0	
(38, 0)	$100 \times 30 + 60 \times 0$	3000	
(30, 20)	$100 \times 30 + 60 \times 20$	4200	Maksimum
(17.14, 37.14)	$100 \times 17.14 + 60 \times 37.14$	3942.4	
(0, 50)	$100 \times 0 + 60 \times 50$	3000	

5.6. Doğrusal Programlamada Simpleks Algoritması

Bir doğrusal programlama modelinde grafik ile çözüm yöntemi karar değişkenlerinin sayısının artması durumunda yetersiz kalmaktadır. Grafikle çözümün uygulanamadığı durumlarda ikiden fazla ve çok değişkenli denklemlerin çözümü için Simpleks Algoritması kullanılmaktadır.

George B. Dantzig ve arkadaşları tarafından 1947 yılında oluşturulan bu yöntem "Dantzig Yöntemi" olarak da adlandırılmaktadır. Yine bu konu hakkında Henderson, Charnes, Cooper da simpleks yöntemi ve farklı durumlarda gelişmesi ve ilerlemesi yönünde bazı katkıları olmuştur (Özden ve Gül, 2014).

Simpleks yöntemi, optimal bir plan elde edilene kadar başlangıçtaki kabul edilebilir planın art arda iyileştirilmesine dayanmaktadır (Stanimirović, 2022). Bu şekilde yapılan ardışık çözümlerin her birinin kendisinden önceki çözümlerden daha gelişmiş olarak nitelenir ve en iyiye biraz daha yakın çözüm olarak adlandırılır. Matematikte önemli bir terim ifade eden simpleks, n + 1 noktayı birbirine bağlayan n boyutlu bir uzayda bir nesneyi temsil eder. Bir boyutta, tek yönlü, iki noktayı birleştiren bir çizgi parçasını temsil eder; iki boyutta, üç noktanın birleştirilmesiyle oluşan bir üçgeni temsil eder; üç boyutlu olarak dört kenarlı bir piramidi temsil eder. Simpleks yöntemi grafik yöntemine benzer. Grafiksel yöntemde, bu noktalardan birinde bulunan optimal

çözümü aramak için uygun çözüm uzayının uç noktaları incelenir. Simpleks yöntemi ise bu uç noktaları sistematik bir şekilde inceler ve optimal bir çözüm bulunana kadar algoritmanın aynı adımlarını tekrarlar. Bu nedenle yinelemeli yöntem olarak da adlandırılır.

5.6.1. Doğrusal programlama modellerinin bilgisayar ile çözümü

Doğrusal programlama modelleri modelin iki veya üç değişken olmasına bağlı olarak grafikle çözülebileceği gibi değişken sayısının fazla olması durumunda simpleks yöntemi ile de çözüm bulmak mümkündür. Değişken sayısı az ve sınırlayıcı koşulların belli olduğu durumlarda bu çözüm yöntemlerini kullanmak mümkün iken binlerce karar değişkeni ve yüzlerce kısıtlardan oluşan bir modeli çözmek için bilgisayar programlarının kullanılması gerekmektedir.

G.B. Dantzing tarafından 1947 yılında geliştirilen Simpleks yöntemi 1951 yılına kadar yayınlanmamıştır. Bu sebeple çözüm 1952 yılında ilk başarılı uygulamasını ABD Milli Standartlar Barosu'nda yapılmıştır. Birinci kuşak bilgisayarlar vakum tüpleri ile çalışmakta ve sınırlı belleğe sahipti. 50 sınırlayıcıya ve 100 karar değişkenli küçük boyutlu denklemlerin çözümüne olanak tanıyan bu bilgisayarlar bir DP problemini 15 dakikada çözebilmektedir. 1950 yılında bulunan ikinci kuşak bilgisayarlar ile 300-400 koşul ve 2000-3000 değişkenli denklemler çözülebildi. 1960 yılında geliştirilen üçüncü kuşak bilgisayarlar ile DP büyük boyutlu problemlerin çözümünde sorunları ortadan kaldırarak her alanda kullanımı artırmıştır (Halaç, 2001).

Bu sayede gelişen bilgisayar teknolojisiyle günümüzde DP modelleri çözümünde Lingo, Lindo, GAMS, QSB, Excel Solver gibi yazılımlardan bahsetmek mümkündür. Çalışmada Lingo yazılımı kullanılmış olup modeli detaylı olarak incelemeye olanak sağlamış aynı zamanda da duyarlılık analizi yöntemiyle farklı aralıklarda modelin nasıl optimal kalacağını incelemeye olanak tanımıştır. Bir sonraki bölümde çalışmada Lingo yazılımı kullanılması nedeniyle detaylı açıklanmıştır.

5.6.1.1. Lingo yazılımı

Bir matematik programını çözme süreci çok sayıda hesaplama gerektirir ve bu nedenle çözüm en iyi şekilde bir bilgisayar programı tarafından gerçekleştirilir.

Birçok bilgisayar programının kullanılmasının yanında çalışmada kullanılan bilgisayar programı Lingo yazılımıdır. Lingo programının temel amacı, kullanıcının bir model formülasyonunu hızlı bir şekilde girmesine, çözmesine, çözüme dayalı olarak sonucun doğruluğunu veya uygunluğunu değerlendirmesine, yine sonucun hızlı bir şekilde küçük değişiklikler yapmasına ve işlemi tekrarlamasına izin vermektedir (Schrage, 2003). Bir matematiksel modelin Lingo yazılımında açık olarak yazılımı aşağıdaki gibidir:

```
MODEL:
MIN( veya MAX) = amaç fonksiyonu;
    Kısıt 1 ;
    Kısıt 2 ;
       .
       .
    Kısıt n ;
END
```

Genel olarak modelin amaç fonksiyonu ilk sırada kısıtlar diğer satırlarda yer almaktadır. Lingo modelindeki en önemli ifade ifadelerin ";" işaretiyle ayrılmış olmasıdır. Lingo penceresinin en üstünde bulunan tek bir araç çubuğu, komutların çoğunu içerir. Bu komutlara, onları temsil eden simgeye tıklamak için fareyi kullanarak erişilebilir. Doğrusal programlama Lingo modelinde önemli olan çıktının doğru yorumlanmasıdır. Model *çıktısı values, reduced cost, slack or surplus ve dual prices* şeklinde olmaktadır. Çözümde yer alan bu ifadeler;

- Value: Modeldeki karar değişkenler
- Slack or Surplus: Modelin kısıtların eklenen aylak/artık değişkenler
- Dual Prices: Modeldeki gölge fiyatları
- Reduced Cost: Modeldeki fırsat maliyetleri ifade etmektedir.

Çözümde yer alan bu ifadeleri kısaca tanımlamak gerekirse aylak değişkenler diğer değişkenler gibi çözüme girer fakat değerleri kullanılmayan kapasiteler ve hammadde

miktarını gösterir. Gölge fiyatları veya fırsat maliyetleri kaynaklarda bir birim değişiklik yapılırsa bu değişimin amaç fonksiyonuna etkisini göstermektedir. Fırsat maliyet çözüme girmeyen karar değişkenlerinin çözüme girmeleri içi katsayılarda yapılması gereken minimum değişikliği göstermektedir.

5.6.2. Duyarlılık analizi

Bir DP modelinde optimal çözümünün, modele ait parametrelerin hangi sınırları için geçerli olduğunun irdelenmesi duyarlılık analizi olarak adlandırılır (Kaçtıoğlu, 2020). Bir çalışmanın önemli bir aşaması, duyarlılık analizi aşamasıdır. Optimal çözümün girdi verilerine nasıl bağlı olduğunu anlamak önemlidir. Duyarlılık analizi yapmak, girdi verilerinin gerekli doğruluğunun belirlenmesine ve ayrıca çözüm üzerinde en önemli etkiye sahip olan karar değişkenlerinin belirlenmesine olanak tanır. Duyarlılık analizi ayrıca analistin, tercih edilen seçeneğin seçiminin varsayımlardaki değişikliklere ve verilerdeki değişikliklere ne kadar duyarlı olduğunu görmesini sağlar. Duyarlılık analizi yaparak, tercih edilen seçeneğin ne kadar sağlam olduğu ve alternatif bir seçeneğin tercih edilen seçenek haline gelmesi için girdi verilerinin ne kadar değişmesi gerektiği belirlenebilir. Duyarlılık analizini yürütürken, analist, önceden belirlenmiş optimal seçenek pahasına atılan seçenekleri desteklemek için varsayımları veya verileri değiştirir. Varsayımların veya verilerin değişiklik miktarı, modelin sağlamlığının bir ölçüsüdür. Bu koşullar altında orijinal çözüm hala optimal kalıyorsa, çözüm çok sağlamdır sonucu çıkarılabilir.

6. BULANIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

6.1. Bulanık Doğrusal Programlama Tanımı ve Amacı

Günlük hayatta karşılaşılan pek çok karar verme problemi doğrusal programlama problemi olarak formüle edilebilir. Ancak çoğu durumda, doğrusal programlama problemlerinde kısıtların veya amaç fonksiyonlarının kesin olarak belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu gibi durumlarda bulanık doğrusal programlama (BDP) yöntemlerine başvurulur (Paksoy vd., 2013). Bulanık Doğrusal Programlama (BDP), kesin olmayan veriler ve kısıtlamalarla çalışmanın daha gerçekçi modellere ulaşmasını sağlar (Nasseri vd., 2019).

Doğrusal programlama problemleri için amaç; doğrusal kısıtlamalar altında doğrusal bir amaç fonksiyonunu maksimize etmek veya minimize etmektir. Ancak bazı durumda, karar verici amaç ve/veya kısıt fonksiyonlarını tam olarak belirleyemeyebilir, daha ziyade onları "bulanık anlamda" belirleyebilir. Bu gibi durumlarda, karar vericiye daha fazla esneklik sağlamak için bulanık doğrusal programlama tipi modellemelerin kullanılması arzu edilir (Bector ve Chandra, 2010). Gerçek dünya uygulamalarının çoğunda, karar verme problemlerinin parametrelerinin doğası genellikle kesin değildir. Örneğin, bir şehirdeki atık üretim hızı, birçok sosyo-ekonomik ve çevresel faktörle ilişkili olup, belirsiz ve dinamik özellikler sergilemektedir; bir belediye atık su arıtma tesisinin verimliliği, atık su akış hızından etkilenir ve doğası gereği belirsizdir; bölgesel hava kalitesi esas olarak bu alandaki hava kirletici emisyonlardan etkilenir ve bu da belirsiz özellikler sunar. Bu tür belirsizlikler, ilgili optimizasyon probleminde karmaşıklıklara yol açabilir. Bu nedenle, belirsizlik altında bulanık doğrusal programlama kullanılması gerekmektedir (Kaur ve Kumar, 2016).

Bulanıklık ortamda karar problemlerindeki ilk çalışma Bellman ve Zadeh tarafından yayınlanan "Bulanık Bir Çevrede Karar Verme" adındaki makaledir. Bu makalenin yayınlanmasının ardından bulanık ortamda karar verme doğrusal programlama yaklaşımıyla diğer problemlere de uygulanmaya başlamıştır. Yapılan diğer çalışmalar neticesinde de BDP günümüz halini almıştır.

BDP ihtiyacı DP modellerindeki kesin olmayan veya belirsiz durumlar sonucunda ortaya çıkmıştır. BDP modellerindeki bulanıklık durumu amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcılar üzerinde olabileceği gibi modelde yer alan eşitsizliklerde de meydana gelebilir. Bu gibi durumlarda belirsizlik bulunması gerçekçi sonuçlara ulaşılmasına engel olabilir. Üretimde en çok yaşanan üretim planlama esnasında taleplerde yaşanan olası belirsizlik durumlarında bulanık doğrusal programlama ile doğru sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır. Yine aynı şekilde ürünlerin satış fiyatında yaşanan belirsizlikler, birim kârın net belirlenememesi, maliyette yaşanan belirsizlikler gibi durumlarda bulanık doğrusal programlama ile gerçekçi çözüme ulaşmak mümkündür.

6.2. Bulanık Doğrusal Programlama ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Bulanık ortamlarda karar verme bulanık doğrusal programlama ile mümkün olmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalar ve araştırmalar neticesinde bulanık doğrusal programlama bugünkü halini almıştır. Bulanık doğrusal programlama ile ilgili yapılan ilk çalışma 1970 yılına ait R.E. Bellman ve L.A. Zadeh'in "Bulanık Ortamda Karar Verme" adlı makalesi ile olmuştur. Bu makale ile doğrusal programlama problemleri bulanık ortamda karar verme yaklaşımıyla birlikte ele alınmıştır. Klasik doğrusal programlama problemlerine bulanık küme teorisini uygulama çalışmasını ilk olarak 1974 yılında Zimmermann incelemiştir. Zimmermann çalışmasında bulanık amaç ve bulanık kısıtlarla doğrusal programlamayı uygulamıştır. Bulanık kısıtlarla BDP formülasyonu 1974 yılında Tanaka, Okuda ve Asai tarafından sunulmuştur. Ardından 1976 yılında C.V. Negoita ve M. Sularia kısıtları ve amacı bulanık olan DP problemlerini incelemiştir. 1977 yılında Zimmermann Bulanık doğrusal programlamada dualite kavramını incelemiştir. 1981 yılında Negotia tarafından BDP bulanık katsayılarla robust programlamayı incelemiştir. 1981 yılında Hannan ve 1984 yılında Nakamura tarafından parçalı üyelik fonksiyonları ele alınmıştır. Devamında 1983 yılında Chanas BDP modelinde parametrik programlama kullanılmıştır. BDP ile ilgili yapılan çalışmalar 2000'li yıllara kadar devam etmiştir. Çizelge 6.1'de yapılan çalışmaları görmek mümkündür (Tuş, 2006).

Çizelge 6.1. BDP yapılan çalışmalar (Tuş, 2006)

Çalışma Yapılan	Çalışmayı Yapan	Yapılan Çalışma
1970	Bellman ve Zadeh	"Bulanık Ortamda Karar Verme" adlı makalenin yayınlanması.
1974	Zimmermann	Bulanık amaç ve bulanık kısıtlarla ilk BDP çalışmasının yapılması.
1974	Tanaka, Okuda ve Asai	Bulanık kısıtlarla ve bulanık amaçlarla BDP modeli formüle edilmesi.
1976	Negoita ve Sularia	
1977	Zimmermann	BDP'de düalite çalışmasının yapılması.
1981	Negoita	Bulanık katsayılarla BDP formüle edilerek robust programlama olarak adlandırılması.
1981	Hannan	Parçalı üyelik fonksiyonlu BDP problemleri incelenmesi.
1984	Nakamura	
1983	Chanas	BDP'de parametrik programlamanın kullanılması.
1984	Tanaka ve Asai	Bulanık amaç ve teknoloji katsayılı, bulanık kısıtlı BDP modeli çözümlenmesi.
1985	Tanaka, Ichihashi ve Asai	BDP'de bulanık değişkenlerle doğrusal kısıtlar araştırılması.
1986	Slowinski	BDP için optimal çözüm yerine tatmin edici bir çözüm yaklaşımının önerilmesi.
1986	Carlsson ve Korhonen	Tüm katsayıların bulanık olduğu bulanık parametreli BDP modeli önerilmesi.
1987	Yazenin	Bulanık ve stokastik programlamanın karşılaştırmasının yapılması.
1987	Werners	Etkileşimli BDP modeli konusunun ele alınması.
1989	Delgado ve Verdegay	Hem bulanık sayı hem de bulanık kısıtlar kümesi ile genel bir BDP modeli kurulması.
1989	Luhandjura	Bulanık parametrelerle BDP üzerine çalışmanın yapılması.
1989	Rommelfanger, Hanuscheck ve Wolf	Bulanık amaç katsayılı BDP yapılması.
1991	Zimmermann	"Bulanık Küme Teorisi ve Uygulamaları" kitabının yayınlanması.
1991	Tanaka	Parametrik bir BDP modelinin formüle edilmesi.
1992	Lai ve Hwang	"Bulanık Matematiksel Programlama" kitabının yayınlanması.
1994	Shaocheng	Aralık sayılar ve bulanık sayılarla BDP modelinin çözümlenmesi.

Çalışma Yapılan	Çalışmayı Yapan	Yapılan Çalışma
1994	Julien	Bulanık parametreler ile olabilirlikçi DP problemi çözümlenmesi.
1994	Inuiguchi ve Sakawa	Olabilirlikçi DP problemi için en iyi çözümü test eden bir yöntem sunulması.
1997	Xiazhong	Bulanık kısıtlarla olabilirlik DP probleminin tartışılması.
1997	Wang	Amaç fonksiyonu ve kısıtları bulanık DP problemleri için bir yaklaşımı üretim planlama problemlerinde ele almıştır.
1998	Inuiguchi ve Sakawa	Bulanık amaç fonksiyonu ile DP probleminde optimalliğin esnekliği ve robustluğu.
1999	Guu ve Wu	BDP problemlerinin çözümü için iki aşamalı yaklaşım önerilmesi.
2000	Buckley ve Feuring	Bulanık problemler için evrimsel algoritma çözümü.
2000	Chanas ve Zielinski	Amaç fonksiyonu bulanık BDP problemleri için bir çözüm yapılaması.
2001	Jamison ve Lodwick	Ceza yöntemi ile BDP modeli çözülmesi.
2001	Liu	Yeni bir sıralama yöntemi ile BDP önerilmesi.
2001	Chang	BDP çözümü için istatistiksel veri ve istatistiksel güven aralığı incelemesi.

6.3. Bulanık Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması ve Matematiksel Gösterimi

Doğrusal programlama (DP), verilen optimallik kriterleri temelinde çeşitli rekabet eden faaliyetlere kaynakların optimal tahsisi için matematiksel bir tekniktir. Geleneksel DP problemlerinde verilerin kesin değerlere sahip olduğu varsayılır.

Bununla birlikte, gerçek hayat problemlerinde verilerin gözlenen değerleri, eksik veya elde edilemeyen bilgiler nedeniyle genellikle kesin değildir. Bu gibi durumlarda, bulanık kümeler teorisi, bir kümeye üyelik kavramını genelleştirerek DP'deki kesin olmayan verileri ele almak için uygun bir yaklaşımdır ve bu, bulanık doğrusal programlama sorunları kavramına yol açar. Bulanık Doğrusal Programlama (BDP) ile gerçekçi modeller elde edilir (Nasseri vd., 2019).

Klasik doğrusal programlamanın aksine bulanık doğrusal programlamada amaçlar ve kısıtlar $\widetilde{G}$ ve $\tilde{C}$ olarak bulanık kümeler şeklinde ifade edilir. Bulanık kümelerin de $\mu_{\tilde{G}}$ (x) ve $\mu_{\tilde{C}}$ (x) şeklinde ifade edilen üyelik fonksiyonları bulunur. Sonrasında bulanık karar kümesi olarak adlandırılan $\widetilde{D} = \tilde{G} \cap \tilde{C}$ tanımlanır. Bu durumda üyelik fonksiyonu da $\mu_{\widetilde{D}}$(x) = min ($\mu_{\tilde{G}}$ (x), $\mu_{\tilde{C}}$ (x)) olur. Maksimizasyon probleminde x_1, x_2'den daha iyi bir kararsa $\mu_{\widetilde{D}}(x_1) \geq \mu_{\widetilde{D}}(x_2)$ olarak gösterilir ve Z maksimize $\mu_{\widetilde{D}}$(x) = Z maksimize min ($\mu_{\tilde{G}}$ (x), $\mu_{\tilde{C}}$ (x)) olarak çözüm yazılabilir (Paksoy vd., 2013). Buna göre klasik bir doğrusal programlama modeli aşağıdaki şekilde formüle edilmekteydi.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Maksimize veya Minimize } Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (6.1)$$

Kısıt Denklemleri:

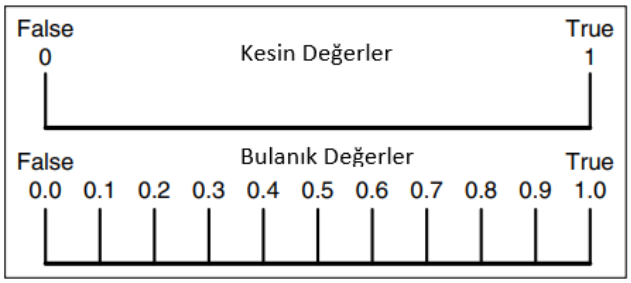
$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \ (\leq, =, \geq)\ b_i \qquad (i = 1, 2, \ldots, m) \qquad (6.2)$$

Negatif olmama koşulu:

$$x_j \geq 0 \qquad (j=1, 2, ..., n) \qquad (6.3)$$

Bu modeldeki c_j, a_{ij} ve b_i parametreleri kesin olarak bilindiği kabul edilir. Kısıt denklerimde yer alan $\leq, =, \geq$ işaretleri uygun çözüm alanı oluşturabilmek için bir gerekliliktir. Doğrusal problemlerde kâr katsayıları (c_j), teknik katsayılar (a_{ij}) ve kaynak sınırlarında (b_i); amaç veya kısıtlarda yer alan katsayıların tam olarak bilinmediği durumlarda bulanıklık ortaya çıkar. Klasik doğrusal programlama problemlerinden farklı olarak bulanık doğrusal programlama modellerinde amaçlarda veya kısıtlarda bulanık simgesi "~" kullanılmaktadır. Bulanık olan kısımlar için güven aralığı [0,1] olan üyelik fonksiyonu belirlenmektedir (Erdaş ve Demir, 2016). Böyle bir yapı ile, bulanık alt kümelerin sürekli olarak değerli bir mantığa karşılık geldiği ve Şekil 6.1 'teki grafikte gösterildiği gibi herhangi bir elemanın uç noktalar dahil olmak

üzere 0.0 ile 1.0 arasında bir üyelik derecesine sahip olabileceği açıktır diyebiliriz (Peckol,2021).



Şekil 6.1. Üyelik derecesi

Genel olarak bir bulanık doğrusal programlama tüm katsayılarını bulanık olarak düşünerek aşağıdaki gibi formüle edilir.

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Maksimize veya Minimize } Z = \sum_{j=1}^{n} \tilde{c}_j x_j \qquad (6.4)$$

Kısıt Denklemleri:

$$\sum_{j=1}^{n} \tilde{a_{ij}} x_j \ (\leq, =, \geq)\ \tilde{b_i} \qquad (i = 1, 2, \ldots, m) \qquad (6.5)$$

Negatif olmama koşulu:

$$x_j \geq 0 \qquad (j=1, 2, \ldots, n) \qquad (6.6)$$

6.4. Bulanık Doğrusal Programlama Modelleri ve Çözüm Yaklaşımları

Bulanık doğrusal programlama modellerini sınıflandırırken öncelikle bulanıklığın hangi elemanlarda olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bulanık doğrusal programlama modelleri, parametrelerin veya kısıtlayıcıların bulanık olduğu bazı durumlara göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Dolayısı ile çözüm yöntemleri de

farklılık göstermektedir (Başkaya, 2011). Literatürde bulanık doğrusal programlama ile ilgili beş sınıflandırma vardır (Cao vd., 2019):

• Zimmermann (1987), BDP modellerini simetrik ve simetrik olmayan modeller olarak iki kategoriye ayırmıştır. Simetrik modellerde; bulanık kararda hedefler ve kısıtların ağırlıkları arasında fark yoktur, asimetrik bulanık kararda ise amaçlar ve kısıtlar eşit derecede önemli değildir ve farklı ağırlıklara sahiptir.

• Leung (1988), BDP problemlerini dört kategoride sınıflandırmıştır:
  – Kesin bir amaç ve bulanık kısıtlamalar
  – Bulanık bir amaç ve kesin kısıtlamalar
  – Bulanık bir amaç ve bulanık kısıtlamalar
  – Robust programlama.

• Luhandjula (1989), BDP problemlerini üç kategoriye ayırmıştır:
  – Esnek programlama
  – Bulanık parametrelerle matematiksel programlama
  – Bulanık stokastik programlama.
• Inuiguchi ve ark. (1990), BDP problemlerini altı kategoride sınıflandırmıştır:
  – Esnek programlama
  – Olasılıklı programlama
  – Bulanık kullanan olasılıklı doğrusal programlama
  – Sağlam(robust) programlama
  – Bulanık tercih ilişkileri ile olasılıklı programlama
  – Belirsiz hedeflere sahip olasılıklı DP.

• Nasseri ve ark. BDP problemlerini üç kategoriye ayırmıştır:
  – Kısıtlama katsayılarında ve amaç fonksiyonunda bulanık sayılarla LP problemleri
  – Bulanık değişkenler ve kaynaklarla ilgili LP problemleri
  – Amaç fonksiyonunda, kaynaklarda ve bulanık değişkenlerde bulanık katsayılarla LP problemleri.

Bulanık doğrusal programlamada yapılan sınıflandırmada temelde Zimmermann tarafından yapılan sınıflandırma önem kazanmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcıları bulanık olması simetrik model anlamına gelmektedir. Sınıflandırma yöntemleri özet halinde tabloda yer almaktadır.

Çizelge 6.2. Zimmermann sınıflandırması

Amaçlar			
Kısıtlar		**Kesin**	**Bulanık**
	Kesin	Klasik Karar Modeli	Simetrik Model
	Bulanık	Simetrik Olmayan Model	Simetrik Model

Verdegay (1984)'e göre bulanıklık bir doğrusal programlama modelinde aşağıdaki üç şekilde olmaktadır:

- Amaç fonksiyonunun kesin olduğu ve kısıtların bulanık olduğu durumlar,
- Amaç fonksiyonun bulanık olduğu ve kısıtların kesin bilindiği durumlar,
- Hem amaç hem de kısıtların bulanık olduğu durumlar.

Verdagay'ın bu tanımlamasından yola çıkarak BDP'da farklı çözüm yaklaşımlarının da olduğunu söyleyebiliriz. Kısıtları ve amaç fonksiyonu bulanık olan doğrusal programlama çözüm yaklaşımları Zimmermann(1976) ve Chanas(1983) tarafından ortaya konan yaklaşımlardır. Kısıtları bulanık doğrusal programlama yaklaşımları Verdegay(1982) ve Werners(1987) yaklaşımlarıdır. Bu çalışmada çözümü en iyi anlatan Verdegay yaklaşımı kullanılmıştır. Diğer çözüm yaklaşımları da Zimmermann, Chanas ve Werners kısaca açıklanmaya çalışılmıştır.

6.4.1. Verdegay yaklaşımı

Sağ taraf değerleri bulanık olan problemlerin kesin parametrik doğrusal programlama problemine eş değer olduğunu Verdegay (1982) kanıtlamıştır. Modelde sadece sağ taraf sabitlerinin bulanık olması nedeniyle bu yaklaşım tercih edilmektedir. Burada, her bir kısıt için uygun üyelik fonksiyonu seçilerek bulanık kısıtlar kesin kısıtlara dönüştürülür. Anlamlı bir üyelik fonksiyonu seçimi için eğer $(Ax)_i \leq b_i$ ise, o zaman i. kısıtın kesinlikle karşılandığı, $(Ax)_i \geq b_i + p_i$ gibi, burada p_i karar verici tarafından

belirlendiği üzere b_i'den maksimum toleranstır. $(Ax)_i \in (b_i, b_i + p_i)$ için üyelik fonksiyonu monoton olarak azalmaktadır. Eğer bu azalma doğrusal bir fonksiyon boyunca ise, o zaman i. kısıtın (i =1, 2, ..., m) üyelik fonksiyonunu aşağıdaki gibi seçmek mantıklıdır (Bector ve Chandra, 2010). Buna göre Verdegay tarafından tanımlanan üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır (Lai ve Hwang, 1992):

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 1 & , (Ax)_i < b_i \end{cases} \quad (6.7)$$

Buna göre sağ taraf sabiti bulanık olan bir bulanık doğrusal programlama problemi aşağıdaki gibi formüle edilmektedir:

Maksimize veya Minimize $Z = c^T x$

$$(Ax)_i \leq b_i + (1 - \alpha)p_i \quad (6.8)$$

$x \geq 0$ ve $\alpha \in [0,1]$

Buna göre model aşağıdaki gibi gösterilir ve formülde 1-α yerine θ parametresi de yazılarak parametrik çözüm de elde edilmektedir. Bu durumda oluşacak olan parametrik programlama modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Maksimize veya Minimize $Z = c^T x$

$$(Ax)_i \leq b_i + \theta p_i \quad (6.9)$$

$x \geq 0$ ve $\alpha \in [0,1]$

Burada α memnuniyet derecesi (kısıtlardan sapmama derecesi) ve θ memnuniyetsizlik derecesi (kısıtlardan sapma derecesi) olarak adlandırılır. Burada memnuniyet derecesi %100 iken kısıtlardan sapma derecesi sıfır düzeyinde olmaktadır.

6.4.2. Werners yaklaşımı

Kısıtları bulanık olan doğrusal programlama modeli içerisinde yer alan Werners yaklaşımına göre kısıtlardaki bulanıklık amaç fonksiyonun da bulanık olmasını gerektirir. Bu nedenle söz konusu yaklaşımda bulanık amaç fonksiyonunun değeri için

öncelikle olası bir aralık [z^0, z^1] belirlenmektedir. Daha sonra bu değerler üyelik fonksiyonuna yerleştirilmelidir. Buna göre Werners ilk olarak Z^0 ve $Z^{1'}$ yi şu şekilde tanımladı:

Maksimize $Z^0 = c^T . x$ ve Maksimize $Z^1 = c^T . x$

$Ax \leq b$ ve $Ax \leq b$

$x \geq 0$ $x \geq 0$

Z^0 ve Z^1 değerleri için sürekli artan doğrusal üyelik fonksiyonu da aşağıdaki gibi formüle edilmiştir:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & , c^T x > Z^1 \\ 1 - \frac{Z^1 - c^T x}{Z^1 - Z^0} & , Z^0 \leq c^T x \leq Z^1 \\ 0 & , c^T x < Z^0 \end{cases} \quad (6.10)$$

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , (Ax)_i < b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i \leq (Ax)_i \leq b_i + p_i \\ 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (6.11)$$

6.4.3. Zimmermann yaklaşımı

Zimmermann tarafından önerilen bu yaklaşım bulanık amaç ve bulanık kısıtlayıcılar bulunan simetrik bir yaklaşımdır (Wang, 1997). Ona göre ulaşılmak istenen amaç fonksiyonu için Z istek seviyesinin kurulabileceği ve kısıtlarında bulanık küme olarak modellenebilir olduğunu ifade etmiştir (Zimmermann, 1991). Bu ifadelerden yola çıkarak bu yaklaşım için genel gösterim aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\begin{aligned} & c^T x \gtrsim b_0 \\ & (Ax)_i \lesssim b_i \\ & x \geq 0 \end{aligned} \quad (6.12)$$

Bu yöntemde bulanık amaç için azalmayan sürekli doğrusal üyelik fonksiyonu ve kısıtlar içinse artmayan sürekli doğrusal üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır (Kabak, 2008).

Buna göre $cx \lesssim b_0$ şeklinde bulanık amacın üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & , cx < b_0 \\ 1 - \frac{b_0 - cx}{p_0} & , b_0 \le cx \le b_0 + p_0 \\ 0 & , cx > b_0 + p_0 \end{cases} \quad (6.13)$$

$cx \gtrsim b_0$ şeklindeki bulanık amacın üyelik fonksiyonu da aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\mu_0(x) = \begin{cases} 1 & , cx > b_0 \\ 1 - \frac{b_0 - cx}{p_0} & , b_0 - p_0 \le cx \le b_0 \\ 0 & , cx < b_0 - p_0 \end{cases} \quad (6.14)$$

$(Ax)_i \lesssim b_i$ şeklinde olan bulanık kısıtlayıcılar için de üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & , (Ax)_i < b_i \\ 1 - \frac{(Ax)_i - b_i}{p_i} & , b_i \le (Ax)_i \le b_i + p_i \\ 0 & , (Ax)_i > b_i + p_i \end{cases} \quad (6.15)$$

6.4.4. Chanas yaklaşımı

Chanas'a göre Zimmermann'dan farklı olarak bulanık kısıtlayıcıların uygun çözüm alanı eksikliği sebebiyle b_0 ve p_0 değerlerini karar verici başta belirleyemez. b_0 ve p_0 değerleri erişim düzeyini ve bu erişim değerleri için toleransını göstermektedir. Bu nedenle model DP problemini parametrik olarak aşağıdaki çözüm sonucuyla ortaya çıkmaktadır:

Maksimize $Z^1 = c^T . X$

$(Ax)_i \le b_i + \theta p_i$ (6.16)

$\theta \in [0,1]$

$x \ge 0$

Buna göre θ parametresinin her değeri için parametrik modelin kabul edilebilir çözümlerini gösteren x*(θ) için $\boldsymbol{\mu}$ (Ax*(θ)) ≥ 1- θ ifadesi sağlamaya çalışılır. Her bir

x * (θ) değeri için, bazı kısıtlayıcıların (1-θ)'dan büyük olabileceği, en az bir adet kısıtın ise (1-θ)'ya eşit olduğu düşüncesiyle bulanık kısıtlayıcıların ortak doyum derecesi aşağıdaki gibi tanımlanır (Chanas, 1983).

$$\mu(\ Ax^*(\theta)) = \min(\mu_i\ [Ax^*\ (\theta)]) = 1-\theta \qquad (\ 6.17)$$

Buna göre x * (θ) değeri için sağlanacak en iyi çözüm için amaç fonksiyonu için üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\mu(c^T x\ *(\theta)) = \begin{cases} 1 & , c^T x\ *(\theta) > b_0 \\ 1 - \frac{b_0 - c^T x\ *(\theta)}{p_0} & , b_0\ -\ p_0 \le c^T x\ *(\theta) \le b_0 \\ 0 & ,\ c^T x\ *(\theta) < b_0\ -\ p_0 \end{cases} \qquad (6.18)$$

7. METAL SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

7.1. Uygulama Yapılan İşletmenin Tanıtılması

Metal sektörü, dünyada olduğu kadar Türkiye'de de önemli bir konumundadır. Türkiye metal sektöründe GSMH'nin %3 oranında, endüstriyel sektörde toplam istihdamın %2 oranında ve toplam ihracatın %12 oranına sahip olarak en çok ihracat yapan sektörler içerisinde üçüncü sıradadır. İstanbul Sanayi Odası (İSO) yaptığı çalışmaya göre metal sektöründe çalışanların toplam istihdam ve üretim içindeki payı %30 seviyededir. TUİK verilerine göre 2021 yılında üretilen ürünlerden yapılan satış tutarının %14,2'si metal sanayi ürünleri oluşturmaktadır.

Buna göre metal sektöründe faaliyet gösteren firma, 1979 yılında İstanbul 4. Levent'te öncelikle beyaz eşya sektörü için üretime başladı. Gelişen iş hacmi ve artan müşteri taleplerine karşılık verebilmek için kapasitesini ve yerini genişleterek 2003 yılında İstanbul Sancaktepe bölgesindeki fabrikaya taşındı.

Türkiye'nin lider beyaz eşya üreticilerinden olan en büyük sac parça ve kalıp tedarikçileri arasında yerini aldı. Yerli ve yabancı fırın üreticilerinin önde gelen fırın menteşe ve aksesuar tedarikçileri arasında en önde yer almaktadır. Aynı zamanda Polonya, Almanya, İspanya, Rusya, Amerika ve Romanya başta olmak üzere birçok ülkeye ihracat yapmaktadır.

Artan üretim ve talepler neticesinde 2008 yılında 2. üretim tesisini Tekirdağ Çerkezköy'de ve 2021 yılında 3. üretim tesisini Gebze'de faaliyete geçirerek üretimlerine hız kesmeden devam etti. Günümüzde toplam 20.000 m^2 kapalı alanda, 3 yerleşkede 500'den fazla çalışanıyla ve artan talepleriyle fırın menteşeleri ve aksesuarları, sac parça ve kalıp imalatı konusunda yardımcı sanayi olarak hizmet vererek müşteri taleplerindeki artışa hızlı yanıt vererek sürekli büyümeye devam etmektedir.

7.2. Fabrikadaki Üretilen Ürünler ve Üretim Süreçleri

İşletme molalar haricinde günlük 9 saat çalışma süresine sahiptir. Hafta sonları dahil edildiğinde aylık 24 gün çalışma günü bulunmaktadır. Ürünlerin üretilmesi için 6 adet üretim hattı ve bunların yanında kaplama, dolaplama gibi farklı proses uygulamalarının olması nedeniyle fabrikanın günlük, haftalık ve aylık planlama yapma ihtiyacı oluşmaktadır. İncelediğim ürün grubu için bir sipariş portalı bulunmaktadır. Bu sipariş portalına göre istenilen sipariş adetleri günlük olarak takip edilmekte ve üretimi sağlanmaktadır. Günlük verilen üretim planlarıyla ve sevk emriyle (Şekil 7.1 ve Şekil 7.2) ürünün üretimi sonrasında da sevk işlemi tamamlanmaktadır.

MONTAJ2		PAZARTESİ		GÜNLÜK ÜRETİM FORMU		GÜN:			TARİH:		FORM NO:		
SIRA	STOK GRUBU	MÜŞTERİ	MÜŞTERİ KOD	İMSAN KOD	ÜRÜN	PLANLANAN MİKTAR	1. VARD. MİKTAR	MESAİ MİKTAR	2. VARD. MİKTAR	PERS. SİCİL NO	KALIP NO	MAKİNA NO	AÇIKLAMA
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
TESLİM EDEN: --- PERSONEL MEVCUT KADRO:..... GÜN İÇİ OLAN KADRO:.....													

Şekil 7.1. Günlük üretim formu örneği

SEVK EMRİ					Tarih	
					Sayfa No	
					Sevk Emrini Veren	
					Sevk Eden	
Müşteri Adı	Müşteri Kodu	Fabrika Kodu	Malzeme Adı	Sevk Edilecek Miktar	Br.	Sevk Edilen Miktar
FIRIN						
BULAŞIK						
ÇAMAŞIR						
SOĞUTUCU						
A-COOL						

Şekil 7.2. Günlük sevk emri örneği

Firmanın Sancaktepe bölgesindeki fabrikasında 6 adet üretim hattı bulunmaktadır. Çok çeşitli makine parkurlarına sahip olup 40 tondan 1000 tona kadar basma kapasitesine sahip servo sürücülü ve transfer sistemli çeşitli eksantrik ve hidrolik preslere, giyotinlere, abkantlara, tornalara, diş çekme ve kaynak makineleri yanında otomatik montaj hatlarına sahiptir. Bunun yanında telerezyonlar, cnc dikişlemler, frezeler ve taşlama gibi ekipmanlara sahip bir kalıphane ile kalıp Tasarımı ve İmalatı konusunda da ekipmanları bulunmaktadır. Bu çalışmada preshanedeki pres makineleri baz alınmıştır.

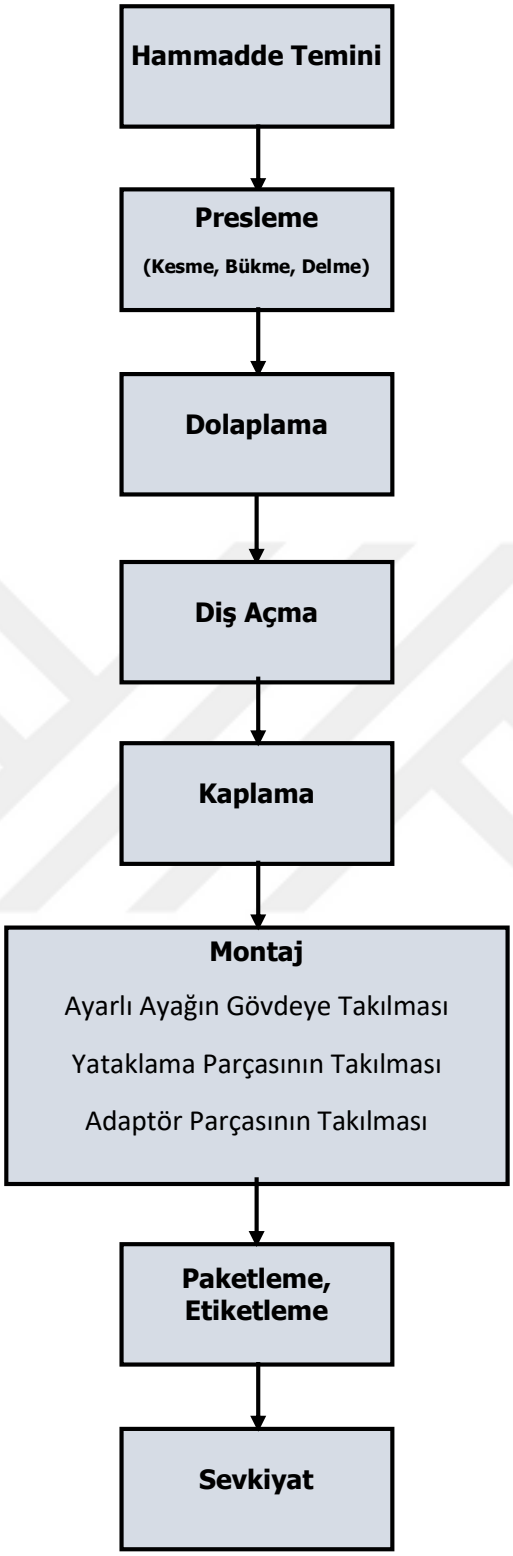
Fabrikada üretilen ürünler başında beyaz eşya ürünleri için kullanılan montajlı ve montajsız sac parçalar gelmektedir. Uygulamada montajlı ve montajsız sac parçalar kategorisine giren ürünler ele alınacaktır. Buna göre ele alacağım beyaz eşya için kullanılan ürün grubu da kendi içerisinde fırın grubu, bulaşık makinesi grubu, çamaşır makinesi grubu, soğutucu grubu ve buzdolabı grubu olmak üzere 5 kategoriye ayrılmaktadır. Bu 5 kategori için üretilen ve uygulamada kullandığım ürünler aşağıdaki çizelgede listelenmektedir:

Çizelge 7.1. Ürünlerin adları

Ürün Grubu	**Malzeme Adı**
FIRIN	Menteşe Karşılık
	Musluk Kelepçe
	Bayonet Parçası
	Çekmece Kapak Sabitleme Parçası
	Profil Ayak
BULAŞIK MAKİNESİ	Küçük Metal Klips
	Büyük Metal Klips
	Buhar Sacı
	Sağ Sabitleyici Braket
	Sol Sabitleyici Braket
	Lower Door
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	Metal Koruma Parçası
SOĞUTUCU	Dar Dış Kapı Kolu Parçası
	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası
	Beyaz NSP
	Eski NSP
	Lotus NSP
	Yeni Zamaklı Nsp
	Eski Zamaklı Nsp
	Sol Üçgen Parçası
	Sağ Üçgen Parçası
	Sağ Üst Menteşe Destek
	Sol Üst Menteşe Destek
	Lotus Parçası- Sol
	Lotus Parçası- Sağ
BUZDOLABI	BM Takviye
	SD Takviye
	Kapatma Mekanizması-Sol
	Kapatma Mekanizması-Sağ
	BM Panel Bağlantı-Sağ
	BM Panel Bağlantı-Sol
	Yan Yana Bağlantı Desteği-Sol
	Yan Yana Bağlantı Desteği-Sağ
	Kablo Giriş Bağlantı Parçası
	Vida Takviye

Ürün Grubu	Malzeme Adı
BUZDOLABI	Panel Bağlantı-Sağ
	Panel Bağlantı-Sol
	Z Parçası
	Yan Sabitleme
	Oda Sabitleyici

Ürünler içerisinde preshanede basıldıktan sonra üretim işlemi biten ürünler olduğu gibi başka proseslere de sahip olan ürünler bulunmaktadır. NSP grubu olarak adlandırılan (beyaz, eski, lotus, yeni zamaklı ve eski zamaklı) bu ürünlerde montaj adımı da bulunmaktadır. Diğer ürünler için üretim adımları hammadde temini, presleme ve sevkiyat olarak sıralanmaktadır. NSP grubu için proses akış şeması aşağıdaki gibi olmaktadır:



Şekil 7.3. Montaj parçaları akış şeması

7.3. Modelin Kurulması

7.3.1. Problemin belirlenmesi ve modelin tanımlanması

Fabrika ortamında üretim planlama tarafında üretimin müşteri talebi üzerine kısa sürede ve işletme için de maksimum kar ile üretilmesi amaçlanmaktadır. Bu amacın bir yöntem olmadan çözüme ulaştırılması pek mümkün değildir. Piyasada rakiplerin de olduğu düşünülürse üretim planlama alanında yapılacak olan çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmada daha önce de anlatılan doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama çözüm yöntemi olan verdegay yaklaşımı kullanılmıştır. Kullanılan doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama yöntemi ile planlamada yaşanan makine kapasitesi, müşteri talep seviyeleri, üretim miktarları ve tedarik kısıtları ön planda tutularak optimum kar seviyesine ulaşmak amaçlanmıştır.

Fabrikada sac işleme montajlı ve montajsız parçalar için yapılacak üretim planlaması için, genel doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibidir. Özet halinde yazılan formüllerin açık halleri bir sonraki başlıklarda anlatılmaktadır.

Model Değişkenleri:

x_i = Ürünler için üç aylık üretim miktarı

b_j= j. Makinenin üretim süresi (dk)

c_i = Birim kâr (TL)

s_i = Sac hammadde birim kullanım miktarı(kg)

k_i = i ürünü için tamamlayıcı parça birim kullanımı(adet)

u_i = Asgari talep miktarı(adet)

a_i = Tamamlayıcı parçalar için sistemde açılan talep miktarı(adet)

m_i = Ürünün makinede üretim süresi (dk)

t_i = Montaj parçalar için üretim süresi (dk)

ST = Sac için üç aylık sistemde açılan talep miktarı (kg)

IK= İşgücü üç aylık çalışma süresi (dk)

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Maksimize } Z = \sum_{i=1}^{i=40} c_i x_i \qquad i = (1, 2, 3, \ldots, 40) \qquad (7.1)$$

Kısıt Denklemleri:

$$\sum_{i=1}^{i=40} s_i x_i \leq ST \quad \forall i, \quad \text{(Sac Hammadde Kısıtı)} \qquad (7.2)$$

$$\sum_{i=15}^{i=19} k_i x_i \leq a_i \qquad i = (15, \dots, 19), \quad \text{(Tamamlayıcı Parça Kısıtı)} \qquad (7.3)$$

$$x_i \geq u_i \quad \forall i, \qquad \text{(Asgari Talep Miktarı)} \qquad (7.4)$$

$$\sum_{i=1}^{i=40} m_i x_i \leq b_j \quad i = (1,2,3,\dots,40) \; j = (1,2,3,\dots,16), \quad \text{(Makine Kısıtı)} \qquad (7.5)$$

$$\sum_{i=15}^{i=19} t_i x_i \leq IK \qquad i = (15, \dots, 19), \quad \text{(İşgücü Kısıtı)} \qquad (7.6)$$

Negatif Olmama Koşulu:

$$\sum_{i=1}^{i=40} x_i \geq 0 \qquad \forall i \qquad (7.7)$$

7.3.2. Karar değişkenlerinin belirlenmesi

Uygulamada kar maksimizasyonu amaçlanmış olup modelin meydana gelmesinde uygulamada kullanılan veriler 2022 yılı ocak, şubat ve mart aylarına aittir. Oluşturulan modelde ürünlerin üç aylık üretim miktarları baz alınarak karar değişkenleri oluşturulmuştur. Oluşturulan karar değişkenleri ve sembolleri aşağıdaki gibidir:

x_1: Menteşe Karşılık Aylık Üretim Miktarı
x_2: Musluk Kelepçe Aylık Üretim Miktarı
x_3: Bayonet Parçası Aylık Üretim Miktarı
x_4: Çekmece Kapak Aylık Üretim Miktarı
x_5: Profil Ayak Aylık Üretim Miktarı
x_6: Küçük Metal Klips Aylık Üretim Miktarı
x_7: Büyük Metal Klips Aylık Üretim Miktarı
x_8: Buhar Sacı Aylık Üretim Miktarı
x_9: Sağ Sabitleyici Braket Aylık Üretim Miktarı
x_{10}: Sol Sabitleyici Braket Aylık Üretim Miktarı
x_{11}: Lower Door Aylık Üretim Miktarı
x_{12}: Metal Koruma Parçası Aylık Üretim Miktarı
x_{13}: Dar Dış Kapı Kolu Parçası Aylık Üretim Miktarı
x_{14}: Geniş Dış Kapı Kolu Parçası Aylık Üretim Miktarı

x_{15}: Beyaz NSP Aylık Üretim Miktarı

x_{16}: Eski NSP Aylık Üretim Miktarı

x_{17}: Lotus NSP Aylık Üretim Miktarı

x_{18}: Yeni Zamaklı NSP Aylık Üretim Miktarı

x_{19}: Eski Zamaklı NSP Aylık Üretim Miktarı

x_{20}: Sol Üçgen Parçası Aylık Üretim Miktarı

x_{21}: Sağ Üçgen Parçası Aylık Üretim Miktarı

x_{22}: Sağ Üst Menteşe Destek Aylık Üretim Miktarı

x_{23}: Sol Üst Menteşe Destek Aylık Üretim Miktarı

x_{24}: Lotus Parçası- Sol Aylık Üretim Miktarı

x_{25}: Lotus Parçası- Sağ Aylık Üretim Miktarı

x_{26}: BM Takviye Aylık Üretim Miktarı

x_{27}: SD Takviye Aylık Üretim Miktarı

x_{28}: Kapatma Mekanizması-Sol Aylık Üretim Miktarı

x_{29}: Kapatma Mekanizması-Sağ Aylık Üretim Miktarı

x_{30}: BM Panel Bağlantı-Sağ Aylık Üretim Miktarı

x_{31}: BM Panel Bağlantı-Sol Aylık Üretim Miktarı

x_{32}: Yan Yana Bağlantı Desteği Sol Aylık Üretim Miktarı

x_{33}: Yan Yana Bağlantı Desteği Sağ Aylık Üretim Miktarı

x_{34}: Kablo Giriş Bağlantı Parçası Aylık Üretim Miktarı

x_{35}: Vida Takviye Aylık Üretim Miktarı

x_{36}: Panel Bağlantı-Sağ Aylık Üretim Miktarı

x_{37}: Panel Bağlantı-Sol Aylık Üretim Miktarı

x_{38}: Z Parçası Aylık Üretim Miktarı

x_{39}: Yan Sabitleme Aylık Üretim Miktarı

x_{40}: Oda Sabitleyici Aylık Üretim Miktarı

7.3.3. Amaç fonksiyonunun oluşturulması

Uygulamadaki amaç kar maksimizasyonu sağlamaktır. Amaç fonksiyonlarının oluşturulması için öncelikli olarak birim kar değerlerini elde etmek gerekmektedir. Bunun için üretilen ürünlerde kullanılan sac hammadde, parça ve ambalaj kullanım adetleri ve birim fiyatları dikkate alınarak toplam birim maliyeti hesaplanmıştır. Ürünlerin çeyrek bazlı ocak, şubat ve mart ayları satış fiyatından toplam birim

maliyetlerinin çıkarılmasıyla her ürün için birim kar elde edilerek amaç fonksiyonun kat sayıları oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonunun oluşturulması için gerekli adımlar şu şekilde yapılmıştır:

- Ürünler için sac hammadde kullanım miktarları, birim maliyetleri ile çarpılarak sac için kullanılan hammadde maliyeti hesaplanmıştır. Alınan bilgilere göre 1 ton sac 1200 $ maliyetle alınmaktadır. Bu sebeple kg cinsinden sac kullanımı 1000 ile bölünerek ton cinsine çevrilmiş, çıkan sonuç dolar kuru ile çarpılmıştır. Sac hammadde için bulunan maliyet sonuçları Çizelge A. 1'de verilmiştir. Hammadde maliyeti hesaplamasından sonra girdi maliyeti hesaplaması yapılmıştır. Bunun için ilk olarak montaj prosesi olan ürünlerde kullanılan parçaların kullanım miktarları birim parça maliyetiyle çarpılarak parça maliyeti bulunmuştur.
- Çizelge A. 2'de de görüldüğü gibi beş ürün için parça ve montaj işlemi olması nedeniyle sadece onlar için tamamlayıcı parça maliyeti hesaplanmıştır.
- Son adım olarak diğer girdi maliyeti olan ambalajlar için maliyet hesaplanmıştır. Ürünlerde kasa, koli ve tel sepet kullanımı olmaktadır. Kasa ve tel sepetler için tedarikçisi olunan firmadan dönüşümlü olarak alım yapıldığından bu ambalajlar için birim maliyet bulunmamaktadır. Koliler için alınan bilgiye göre ürün adet başına 7,5 TL birim maliyet bulunmaktadır. Her ürün için koli içi ürün adedi farklılık gösterdiğinden adede bölünerek maliyet hesaplanmıştır. Buna göre bulunan sonuçlar Çizelge A. 3 gibi olmaktadır.
- Bulunan sonuçlar neticesinde toplam birim maliyet değerine ulaşılmaktadır.
  Toplam Birim Maliyet = Sac Hammadde Maliyeti + Parça Maliyeti + Ambalaj Maliyeti

- Toplam birim maliyeti elde ettikten sonra ürünlerin ocak, şubat ve mart ayı birim satış fiyatından birim maliyetleri çıkarılarak birim kar değerine ulaşılmaktadır (Çizelge B. 1).
  Birim Kar = Satış Fiyatı- Toplam Birim Maliyet

Birim kar değerlerinin de bulunmasıyla amaç fonksiyonu oluşturulabilir. Modeldeki amaç, işletmenin kârlılık oranını optimum düzeye çıkarmak olduğu için,

maksimizasyon denklemi uygulanmıştır. Maliyet tabloları dikkate alındığında amaç denklemi şu şekilde yazılmaktadır:

Maksimize $Z = 0.70x_1 + 0.08x_2 + 0.26x_3 + 0.08x_4 + 0.46x_5 + 0.78x_6 + 0.79x_7 + 1.59x_8 + 0.51x_9 + 0.51x_{10} + 0.38x_{11} + 0.08x_{12} + 0.02x_{13} + 0.04x_{14} + 1.36x_{15} + 1.42x_{16} + 0.51x_{17} + 12x_{18} + 0.08x_{19} + 1.91x_{20} + 1.91x_{21} + 0.38x_{22} + 0.38x_{23} + 0.38x_{24} + 0.38x_{25} + 2.28x_{26} + 3.05x_{27} + 5.50x_{28} + 5.03x_{29} + 1.08x_{30} + 1.08x_{31} + 0.76x_{32} + 0.59x_{33} + 0.13x_{34} + 1.28x_{35} + 1.11x_{36} + 1.11x_{37} + 0.01x_{38} + 0.73x_{39} + 2.67x_{40}$

7.3.4. Kısıtların oluşturulması

7.3.4.1. Sac hammadde kısıtı

Sac hammadde kısıtını belirlerken sac için açılan üç aylık talep miktarı göz önüne alınmıştır. Buna göre her ürünün kg başına birim kullanım miktarı verileri gerekli karar değişkenleriyle çarpılarak üç aylık hammadde kullanımına ulaşılmıştır. Ürünler için sac kullanım miktarları Çizelge C. 1'de belirtilmiştir. Diğer aylar yaşanacak olan olası talep değişimleri nedeniyle sistemde aylık açılan talep miktarı 280.000 kg'dır. Bu değer kullanım adedi ve tedarikçi kapasitesi göz önüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre sac hammadde kısıtı denklemi aşağıdaki gibidir:

$0.36x_1 + 0.02x_2 + 0.06x_3 + 0.01x_4 + 0.07x_5 + 0.01x_6 + 0.01x_7 + 0.17x_8 + 0.02x_9 + 0.02x_{10} + 0.01x_{11} + 0.02x_{12} + 0.02x13 + 0.02x_{14} + 0.29x_{15} + 0.29x_{16} + 0.35x_{17} + 0.29x_{18} + 0.29x_{19} + 0.40x_{20} + 0.40x_{21} + 0.08x_{22} + 0.08x23 + 0.08x_{24} + 0.08x_{25} + 0.31x_{26} + 0.64x_{27} + 0.11x_{28} + 0.11x_{29} + 0.15x_{30} + 0.15x_{31} + 0.16x_{32} + 0.16x_{33} + 0.03x_{34} + 0.10x_{35} + 0.12x_{36} + 0.12x_{37} + 0.07x_{38} + 0.06x_{39} + 0.44x_{40} \leq 280000$

7.3.4.2. Tamamlayıcı parça hammadde kısıtı

Kısıtta sağ tarafa yazılan değerler tedarikçi kapasitesi nedeniyle sistemde tedarikçiye açılan maksimum adetlerdir (Çizelge 7.2). Modelde tamamlayıcı parça kullanılan ürünlerin karar değişkenleri gerekli kısıtların denklemlerine yazılmıştır. Ürünler için tamamlayıcı parça hammadde kısıtı şöyledir:

Nsp ayarlı ayak kısıtı: $x_{15}+x_{16}+x_{18}+x_{19} \leq 60000$

Menteşe yatağı kısıtı: $x_{15}+x_{17} \leq 58000$

Plastik yataklama kısıtı: $x_{16} \leq 4500$

Ayarlı ayak kısıtı: $x_{17} \leq 15000$

Pim kısıtı: $x_{17} \leq 10000$

Kilitli poşet kısıtı: $x_{17} \leq 18000$

Nsp vidası kısıtı: $x_{18}+x_{19} \leq 40000$

Esanjor kısıtı: $x_{18} \leq 10000$

Würth vida kısıtı: $x_{18} \leq 7000$

Yataklama pimi kısıtı: $x_{18}+x_{19} \leq 50000$

Yeni zamak mesafe kısıtı: $x_{18} \leq 35000$

Bearing part kısıtı: $x_{18}+x_{19} \leq 62000$

Mesafe parçası kısıtı: $x_{19} \leq 9500$

Çizelge 7.2. Tamamlayıcı parça azami tedarik miktarı

Parça Adı	**Üç Aylık Azami Tedarik Miktarı (adet)**
Nsp Ayarlı Ayak	60000
Menteşe Yatağı	58000
Plastik Yataklama Parçası	4500
Ayarlı Ayak	15000
Pozisyonlama Pimi	10000
Kilitli Poşet	18000
NSP Vidası	40000
Esanjor	10000
Würth Vida	7000
Nsp Yataklama Pimi	50000
Yeni Zamak Mesafe Parça	35000
Bearing Part Lower Hinge	62000
Nsp Zamak Mesafe Parçası	9500

7.3.4.3. Ürünlerin asgari talep kısıtı

Ürünlerin müşteriden gelen siparişlere göre üretimleri yapılmaktadır. Talepte büyük farklılıklar yaşanmamakla birlikte ürünler için müşteri tarafından asgari talep miktarı belirlenmiştir (Çizelge D. 1). İşletme müşteri talebini karşılayabilmek için bu adetlerde üretim yapması gerekmektedir. Stokta bulundurma maliyeti bulunmamaktadır. Bu kısıtlar incelenen bu kırk adet ürün için aşağıdaki gibi olmaktadır:

Menteşe karşılık ürünü asgari talep kısıtı: $x_1 \geq 11440$

Musluk kelepçe ürünü asgari talep kısıtı: $x_2 \geq 25000$

Bayonet ürünü asgari talep kısıtı: $x_3 \geq 10200$

Çekmece kapak ürünü asgari talep kısıtı: $x_4 \geq 15200$

Profil ayak ürünü asgari talep kısıtı: $x_5 \geq 15200$

Küçük klips ürünü asgari talep kısıtı: $x_6 \geq 158700$

Büyük klips ürünü asgari talep kısıtı: $x_7 \geq 175500$

Buhar sacı ürünü asgari talep kısıtı: $x_8 \geq 32000$

Sağ braket ürünü asgari talep kısıtı: $x_9 \geq 31200$

Sol braket ürünü asgari talep kısıtı: $x_{10} \geq 30300$

Lower door ürünü asgari talep kısıtı: $x_{11} \geq 112800$

Metal koruma ürünü asgari talep kısıtı: $x_{12} \geq 70000$

Dar kapı kolu ürünü asgari talep kısıtı: $x_{13} \geq 52000$

Geniş kapı kolu ürünü asgari talep kısıtı: $x_{14} \geq 1000$

Beyaz Nsp ürünü asgari talep kısıtı: $x_{15} \geq 3800$

Eski Nsp ürünü asgari talep kısıtı: $x_{16} \geq 3000$

Lotus Nsp ürünü asgari talep kısıtı: $x_{17} \geq 7000$

Yeni zamaklı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{18} \geq 5000$

Eski zamaklı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{19} \geq 7200$

Sol üçgen ürünü asgari talep kısıtı: $x_{20} \geq 14160$

Sağ üçgen ürünü asgari talep kısıtı: $x_{21} \geq 11160$

Sağ üst menteşe ürünü asgari talep kısıtı: $x_{22} \geq 9000$

Sol üst menteşe ürünü asgari talep kısıtı: $x_{23} \geq 9000$

Sol lotus ürünü asgari talep kısıtı: $x_{24} \geq 1950$

Sağ lotus ürünü asgari talep kısıtı: $x_{25} \geq 1950$

BM takviye ürünü asgari talep kısıtı: $x_{26} \geq 11232$

SD takviye ürünü asgari talep kısıtı: $x_{27} \geq 11904$

Sol kapatma ürünü asgari talep kısıtı: $x_{28} \geq 644$

Sağ kapatma ürünü asgari talep kısıtı: $x_{29} \geq 506$

Sağ BM panel ürünü asgari talep kısıtı: $x_{30} \geq 3900$

Sol BM panel ürünü asgari talep kısıtı: $x_{31} \geq 3900$

Sol yanyana ürünü asgari talep kısıtı: $x_{32} \geq 11160$

Sağ yanyana ürünü asgari talep kısıtı: $x_{33} \geq 10800$

Kablo giriş ürünü asgari talep kısıtı: $x_{34} \geq 9750$

Vida takviye ürünü asgari talep kısıtı: $x_{35} \geq 1700$

Sağ panel bağlantı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{36} \geq 20000$

Sol panel bağlantı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{37} \geq 20000$

Z parçası ürünü asgari talep kısıtı: $x_{38} \geq 20400$

Yan sabitleme ürünü asgari talep kısıtı: $x_{39} \geq 10200$

Oda sabitleme ürünü asgari talep kısıtı: $x_{40} \geq 28560$

7.3.4.4. Makine kısıtı

Ürünlerin preshanede pres makinelerinde basıldığı düşünülerek 16 pres makinesi için gerekli veriler üretimden alınmıştır. Her bir ürün için preshanede basılma süresi dikkate alındığında Çizelge E. 1'de yer aldığı gibi farklı süreler ortaya çıkmıştır. Preste bulunan pres makinesinin nominal çalışma süresi aylık 12960 dk/ay olmaktadır. Üç aylık sürede bir pres makinesinin nominal çalışma süresi 38880 dk olarak bulunmaktadır. İşletmeden alınan bilgilere göre makinelerin aylık planlı bakım süresi 30 dk/ay; 3 aylık planlı bakım süresi 80 dk'dır. Plansız bakım süresi olarak bilinen arıza süreleri de üç aylık işletme arıza verilerinden elde edilmiştir. Bir makine için çalışma süresi makinenin nominal çalışma süresinden planlı ve plansız bakım sürelerinin çıkarılması sonucunda sağ taraf kısıt değerleri bulunmuştur. Bahsedilen makineler için nominal çalışma süresini, arıza nedenlerini ve sürelerini Çizelge F. 1'de görmek mümkündür. Bulunan sağ taraf değerleri sonrasında makinede ürünlerin basılma süreleri karar değişkenleri ile çarpılarak pres makineleri için makine kısıtı aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır:

Makine 14: $0.71x_8 \leq 38620$

Makine 106: $0.55x_{30}+0.55x_{31}+0.55x_{36}+0.55x_{37} \leq 38560$

Makine 107: $0.81x_8 \leq 38530$

Makine 108: $0.42x_2+0.06x_{28}+0.06x_{29} \leq 38610$

Makine 109: $0.04x_7 \leq 38600$

Makine 142: $0.6x_8 \leq 38650$

Makine 166: $0.8x_{20}+0.55x_{21} \leq 38650$

Makine 177: $0.2x_3+0.1x_{35} \leq 38650$

Makine 178: $0.25x_{30}+0.25x_{31}+0.1x_{32}+0.1x_{33}+0.32x_{36}+0.32x_{37}+0.4x_{40} \leq 38650$

Makine 182: $0.21x_{12}+0.21x_{13}+0.21x_{14} \leq 38620$

Makine 187: $0.02x_4+0.02x_5+0.01x_9+0.03x_{10}+0.03x_{11}+0.01x_{34}+0.1x_{38}+0.1x_{39} \leq 38590$

Makine 188: $0.04x_6 \leq 38590$

Makine 202: $0.75x_{40} \leq 38620$

Makine 219: $0.23x_{26}+0.23x_{27} \leq 38650$

Makine 221: $0.38x_{15}+0.38x_{16}+0.38x_{17}+0.38x_{18}+0.38x_{19} \leq 38530$

Makine 258: $0.75x_1+0.75x_{22}+0.75x_{23}+0.75x_{24}+0.75x_{25} \leq 38590$

7.3.4.5. İşgücü kısıtı

Doğrudan preshanede basılıp sevke hazır haline gelen ürünler için işgücü kısıtı bulunmamaktadır. Çünkü preshane operatörü her ürün için tek kişi olması nedeniyle makine kısıtı bu ürünler için yeterlidir. Bu ürünlerin haricinde montaj adımı da bulunan beş ürün için işgücü kısıtı bulunmaktadır. Beş ürün de kendi içerisinde zamak hammaddesinin bulunması veya kilitli poşet adımının yer alması nedeniyle süre farklılıkları bulunmaktadır. Her bir ürün için birim başına üretim süresi kullanılarak katsayılar bulunmuştur. Preshane, dolaplama, diş açma, kaplama ve montaj adımları ile 15 kişi iş gücü için ayda 194400 dk bulunmaktadır. 3 aylık işgücü 583200 dk yapmaktadır. İşçilerin %80 verimlilikle çalıştığı düşünülürse sağ taraf değeri 466560 dk olarak bulunur. Buna göre montajı yapılan ürünler için kısıt denklemi aşağıdaki gibidir:

$15x_{15}+15x_{16}+15x_{17}+20x_{18}+15x_{19} \leq 466560$

7.3.4.6. Negatif olmama koşulu

Bilindiği üzere doğrusal programlama modelinde değişkenlerin negatif değer alamama mecburiyeti söz konusudur. Bu mecburiyetten dolayı modelde olması gereken en önemli denklem kırk farklı karar değeri için aşağıdaki gibi oluşturulmaktadır:

$$\sum_{i=1}^{i=40} x_i \geq 0 \qquad i = (1, 2, \dots, 40)$$

7.3.5. Modelin çözülmesi

Modelin çözülmesinde doğrusal programlama modeli yazılım sistemi olan Lingo 19.0 paket programı kullanılmıştır. Model öncelikle doğrusal programlama ile çözülmüş ardından bulanık doğrusal programlamanın bir yöntemi olan verdegay yaklaşımı uygulanmıştır. Fabrika için kurulan modelin Lingo programında klasik doğrusal programlama modelinin yazılmış hali EK G.'de belirtilmiştir. Kurulan model için Lingo çıktısı da EK H.'de görülmektedir. Kurulan modelde i indisi belirtilerek; karar değişkenleri, amaç fonksiyonu, kısıtlar, sabit sayılar ve denklemler tanımlanmıştır. Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra veriler çözümlenmiş ve karar değişkenleri için çözüm sonuçları çizelgedeki gibidir (Çizelge 7.3). İşletme kârını en çok etkileyen çeyrek bazlı üç dönem incelenmiştir. Fabrika için kurulan modelin Lingo programında çözüm sonucuna göre amaç fonksiyonu 6.923.810 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.3. Lingo çözüm çıktısı

Karar Değişkeni	**Lingo Çözüm Sonucu**
x_1	11440.00
x_2	25000.00
x_3	10200.00
x_4	15200.00
x_5	15200.00
x_6	964750.0
x_7	965000.0
x_8	47567.90
x_9	3053150.
x_{10}	30300.00
x_{11}	112800.0
x_{12}	70000.00
x_{13}	52000.00
x_{14}	1000.000
x_{15}	3800.000
x_{16}	3000.000
x_{17}	7000.000
x_{18}	7000.000
x_{19}	7200.000
x_{20}	14160.00
x_{21}	11160.00
x_{22}	9000.000
x_{23}	9000.000
x_{24}	1950.000
x_{25}	1950.000
x_{26}	121514.2
x_{27}	11904.00
x_{28}	467994.0

Karar Değişkeni	Lingo Çözüm Sonucu
x_{29}	506.0000
x_{30}	3900.000
x_{31}	3900.000
x_{32}	11160.00
x_{33}	10800.00
x_{34}	9750.000
x_{35}	366100.0
x_{36}	20000.00
x_{37}	42309.09
x_{38}	20400.00
x_{39}	10200.00
x_{40}	28560.00

Lingo modeli sonucunda bulunan 'Objective value' ifadesi optimal değeri ifade eder. Buna göre model sonucunda bulunan optimal değer 6.923.810 TL'dir. Optimal değer amaç fonksiyonu değeri olup üretimden elde edilen maksimum kar anlamına gelmektedir. Bu değer üretimde kısıt olarak alınan tüm değerler göz önünde bulundurularak sağlanan en büyük değerdir. Lingo çözüm raporunun birinci bölümünde optimum üretim miktarları value sütununda yer almaktadır. Bu sebeple value sütununda bulunan karar değişkenlerinin çözüme girmesiyle, çıktıda yer alan miktarlara göre üretim sağlandığında maksimum kar ile üretim yapılacaktır.

Buna göre x_1 için 11440, x_2 için 25000, x_3 için 10200, x_4 için 15200, x_5 için 15200, x_6 için 964750, x_7 için 965000, x_8 için 47567.90, x_9 için 3053150, x_{10} için 30300, x_{11} için 112800, x_{12} için 70000, x_{13} için 52000, x_{14} için 1000, x_{15} için 3800, x_{16} için 3000, x_{17} için 7000, x_{18} için 7000, x_{19} için 7200, x_{20} için 14160, x_{21} için 11160, x_{22} için 9000, x_{23} için 9000, x_{24} için 1950, x_{25} için 1950, x_{26} için 121514.2, x_{27} için 11904, x_{28} için 467994, x_{29} için 506, x_{30} için 3900, x_{31} için 3900, x_{32} için 11160, x_{33} için 10800, x_{34} için 9750, x_{35} için 366100, x_{36} için 20000, x_{37} için 42309.09, x_{38} için 20400, x_{39} için 10200, x_{40} 28560 için adet olarak üretim yapılırsa maksimum kâr elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Karar değişkenleri için bulunan değerlerin yanında bu değişkenlerin **fırsat maliyetleri** yer almaktadır. Lingo çıktısındaki birinci bölümde yer alan **fırsat maliyeti** bölümü karar değişkenleri için sıfırdır. Tüm değişkenlerin bir değeri olduğu düşünülürse sıfır olmaları gerekmektedir.

Model öncesinde işletmeden alınan bilgilere göre ürünler için hesaplanan kâr değeri işletmede 5.963.003 TL olarak hesaplandığı görülmüştür. Önerilen model sonucunda kâr değeri 6.923.810 TL olarak bulunmuştur. Önerilen model ile 960.807 TL kâr elde edildiği görülmüştür.

Çizelge 7.4'te de görülen ikinci kısım rapor sonucunda 71 kısıtın yer aldığı modelde ilk satır amaç fonksiyonu değeri olmak üzere kısıtların aylak değişken ve gölge fiyatları yer almaktadır. Aylak değişken değeri sıfır olan kısıtlar tam kapasite kullanılırken, herhangi bir değer yer alıyorsa kaynak miktarının fazla olduğu anlamına gelmektedir. Bir birim değişiklik yapıldığında bu değişimin amaç fonksiyonu değerine birim etkisi gölge fiyatı kadar olacaktır. Buna göre aylak değişken değeri olan tamamlayıcı parçalar, küçük klips, büyük klips, buhar sacı, sağ braket, yeni zamaklı, bm takviye, sol kapatma, vida takviye, sol panel bağlantı ürünlerinden ve makinelerden 14, 142, 166, 178, 182, 202, 219, 221 ve 258 kısıtlarının fazla miktarda kapasite kaldığı görülmektedir. Ürünler için düşünülürse de fazla kapasitenin olması olası fazla talep halinde o ürünlerin üretilebileceği anlamına gelmektedir. Makineler içinse fazla kapasite istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 7.4. Aylak değişken ve gölge fiyatı çıktısı

Sıra	**Aylak Değişkenler**	**Gölge Fiyatları**
1	6923810.	1.000.000
SACKISITI	0.000000	7.354839
TAMAMLAYICIPARCA1	39000.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA2	47200.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA3	1500.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA4	8000.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA5	3000.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA6	11000.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA7	25800.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA8	3000.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA9	0.000000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA10	35800.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA11	28000.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA12	47800.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA13	2300.000	0.000000
MENTESEKARSILIK	0.000000	-1.947742
MUSLUKKELEPCE	0.000000	-32.90387
BAYONET	0.000000	-1.270323
CEKMECEKAPAK	0.000000	-0.7193548
PROFILAYAK	0.000000	-0.7806452
KUCUKKLIPS	806050.0	0.000000

Sıra	Aylak Değişkenler	Gölge Fiyatları
BUYUKKLIPS	789500.0	0.000000
BUHARSACI	15567.90	0.000000
SAGBRAKET	3021950.	0.000000
SOLBRAKET	0.000000	-0.7258065
LOWERDOOR	0.000000	-0.7822581
METALKORUMA	0.000000	-0.6709677E-01
DARKAPIKOLU	0.000000	-0.1270968
GENISKAPIKOLU	0.000000	-0.1070968
BEYAZNSP	0.000000	-13.10677
ESKINSP	0.000000	-13.04677
LOTUSNSP	0.000000	-22.62065
YENIZAMAKLI	2000.000	0.000000
ESKIZAMAKLI	0.000000	-14.38677
SOLUCGEN	0.000000	-1.031.935
SAGUCGEN	0.000000	-1.031.935
SAGUSTMENTESE	0.000000	-0.2083871
SOLUSTMENTESE	0.000000	-0.2083871
SOLLOTUS	0.000000	-0.2083871
SAGLOTUS	0.000000	-0.2083871
BMTAKVIYE	110282.2	0.000000
SDTAKVIYE	0.000000	-1.657097
SOLKAPATMA	467350.0	0.000000
SAGKAPATMA	0.000000	-0.4700000
SAGBMPANEL	0.000000	-0.2506452
SOLBMPANEL	0.000000	-0.2506452
SOLYANYANA	0.000000	-0.4167742
SAGYANYANA	0.000000	-0.5867742
KABLOGIRIS	0.000000	-0.4535484
VIDATAKVIYE	364400.0	0.000000
SAGPANELBAGLANTI	0.000000	0.000000
SOLPANELBAGLANTI	22309.09	0.000000
ZPARCASI	0.000000	-4.133871
YANSABITLEME	0.000000	-3.340323
ODASABITLEME	0.000000	-0.5661290
MAKINE14	4846.790	0.000000
MAKINE106	0.000000	0.4134897
MAKINE107	0.000000	0.4193548
MAKINE108	0.000000	78.18280
MAKINE109	0.000000	17.91129
MAKINE142	10109.26	0.000000
MAKINE166	21184.00	0.000000
MAKINE177	0.000000	5.445161
MAKINE178	3141.091	0.000000
MAKINE182	12790.00	0.000000
MAKINE187	0.000000	36.29032
MAKINE188	0.000000	17.66129
MAKINE202	17200.00	0.000000
MAKINE219	7963.811	0.000000
MAKINE221	27890.00	0.000000
MAKINE258	13585.00	0.000000
ISCILIK	11560.00	0.000000

Yine ikinci bölüm rapor sonuçlarına göre aylak değişkenleri bulunan diğer bir ifadeyle kullanılmayan kapasite ve hammadde miktarlarını gösteren ifadeler kaynak miktarından çıkarılarak çözümde kısıtlar için kullanılan miktar bulunmuş olur.

Aylak değişkeni olmayan kısıtlarda yer alan gölge fiyatları bir birim değişiklik yapıldığında bu değişimin amaç fonksiyonu değerine birim etkisi gölge fiyatı kadar olacaktır. Buna göre tam kapasite kullanılan makine kısıtının 1 br daha fazla kullanılmasıyla gölge fiyatı kadar 15,80 TL karlılık seviyesi artacaktır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar ileride strateji belirlemede yol gösterici olmaktadır.

Buraya kadar yapılan çözüm yöntemi klasik programlama ile yapışmıştır. Fakat çalışmanın da bulanık doğrusal bölümünde anlatıldığı gibi gerçek hayat problemlerinde talep verileri kullanılan gibi kesin olmamaktadır. Bu nedenle çalışmadaki talep verileri bulanık kabul edilip Verdegay yaklaşımı ile de çözülmüştür. Burada amaç fonksiyonu, sac hammadde kısıtı, tamamlayıcı parça kısıtı, makine kısıtı ve işçilik kısıtı bulanık değildir. Bu ifadelerin formülleri klasik doğrusal programlama ile aynıdır. Talep değerlerinin sağ taraf sabiti için %10 tolerans verilmiştir. BDP modelini $\theta = 1-\alpha$ olacak şekilde aşağıdaki gibi parametrik doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur.

Menteşe karşılık ürünü asgari talep kısıtı:	$x_1 \geq 11440+ 1144(1-\alpha)$
Musluk kelepçe ürünü asgari talep kısıtı:	$x_2 \geq 25000+ 2500(1-\alpha)$
Bayonet ürünü asgari talep kısıtı:	$x_3 \geq 10200 + 1020(1-\alpha)$
Çekmece kapak ürünü asgari talep kısıtı:	$x_4 \geq 15200 + 1520(1-\alpha)$
Profil ayak ürünü asgari talep kısıtı:	$x_5 \geq 15200 + 1520(1-\alpha)$
Küçük klips ürünü asgari talep kısıtı:	$x_6 \geq 158700 + 15870(1-\alpha)$
Büyük klips ürünü asgari talep kısıtı:	$x_7 \geq 175500 + 17550(1-\alpha)$
Buhar sacı ürünü asgari talep kısıtı:	$x_8 \geq 32000 + 3200(1-\alpha)$
Sağ braket ürünü asgari talep kısıtı:	$x_9 \geq 31200 + 3120(1-\alpha)$
Sol braket ürünü asgari talep kısıtı:	$x_{10} \geq 30300 + 3030(1-\alpha)$
Lower door ürünü asgari talep kısıtı:	$x_{11} \geq 112800 + 11280(1-\alpha)$
Metal koruma ürünü asgari talep kısıtı:	$x_{12} \geq 70000 + 7000(1-\alpha)$
Dar kapı kolu ürünü asgari talep kısıtı:	$x_{13} \geq 52000 + 5200(1-\alpha)$
Geniş kapı kolu ürünü asgari talep kısıtı:	$x_{14} \geq 1000 +100(1-\alpha)$

Beyaz Nsp ürünü asgari talep kısıtı: $x_{15} \geq 3800 + 380(1-\alpha)$

Eski Nsp ürünü asgari talep kısıtı: $x_{16} \geq 3000 + 300(1-\alpha)$

Lotus Nsp ürünü asgari talep kısıtı: $x_{17} \geq 7000 + 700(1-\alpha)$

Yeni zamaklı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{18} \geq 5000 + 500(1-\alpha)$

Eski zamaklı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{19} \geq 7200 + 720(1-\alpha)$

Sol üçgen ürünü asgari talep kısıtı: $x_{20} \geq 14160 + 1416(1-\alpha)$

Sağ üçgen ürünü asgari talep kısıtı: $x_{21} \geq 11160 + 1116(1-\alpha)$

Sağ üst menteşe ürünü asgari talep kısıtı: $x_{22} \geq 9000 + 900(1-\alpha)$

Sol üst menteşe ürünü asgari talep kısıtı: $x_{23} \geq 9000 + 900(1-\alpha)$

Sol lotus ürünü asgari talep kısıtı: $x_{24} \geq 1950 + 195(1-\alpha)$

Sağ lotus ürünü asgari talep kısıtı: $x_{25} \geq 1950 + 195(1-\alpha)$

BM takviye ürünü asgari talep kısıtı: $x_{26} \geq 11232 + 1123(1-\alpha)$

SD takviye ürünü asgari talep kısıtı: $x_{27} \geq 11904 + 1190(1-\alpha)$

Sol kapatma ürünü asgari talep kısıtı: $x_{28} \geq 644 + 64(1-\alpha)$

Sağ kapatma ürünü asgari talep kısıtı: $x_{29} \geq 506 + 51(1-\alpha)$

Sağ BM panel ürünü asgari talep kısıtı: $x_{30} \geq 3900 + 390(1-\alpha)$

Sol BM panel ürünü asgari talep kısıtı: $x_{31} \geq 3900 + 390(1-\alpha)$

Sol yanyana ürünü asgari talep kısıtı: $x_{32} \geq 11160 + 1116(1-\alpha)$

Sağ yanyana ürünü asgari talep kısıtı: $x_{33} \geq 10800 + 1080(1-\alpha)$

Kablo giriş ürünü asgari talep kısıtı: $x_{34} \geq 9750 + 975(1-\alpha)$

Vida takviye ürünü asgari talep kısıtı: $x_{35} \geq 1700 + 170(1-\alpha)$

Sağ panel bağlantı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{36} \geq 20000 + 2000(1-\alpha)$

Sol panel bağlantı ürünü asgari talep kısıtı: $x_{37} \geq 20000 + 2000(1-\alpha)$

Z parçası ürünü asgari talep kısıtı: $x_{38} \geq 20400 + 2040(1-\alpha)$

Yan sabitleme ürünü asgari talep kısıtı: $x_{39} \geq 10200 + 1020(1-\alpha)$

Oda sabitleme ürünü asgari talep kısıtı: $x_{40} \geq 28560 + 2856(1-\alpha)$

$x_1, x_2, \ldots, x_{40} \geq 0$

$\alpha \in [0,1]$

Buna göre model Verdegay yaklaşımı ile Lingo paket programı ile çözülerek aşağıdaki tablodaki sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre kâr değerinin artması, memnuniyet derecesinin (α) de artması anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle kısıtlardan

sapmama derecesi (α) arttığında kârlılık da artacak, o derece memnuniyet derecesi de artacaktır.

Çözümden çıkarılacak başka bir sonuç, α değerinin 1'e eşit olduğu durumda model deterministik modele eşitken; α değeri 0 değerine yaklaşması modeldeki bulanıklığı arttırmaktadır. Buna göre α'nın 1 olduğu durumda sonuç 6.923.810 bulunmuş; α'nın 0 olduğu durumda sonuç 6.790.055 olarak bulunmuştur. Gerçek hayat problemlerinde talepte yaşanacak olası değişimler için bulanık doğrusal programlama yöntemi daha çok önem kazanmaktadır. Buna göre Verdegay yaklaşımı ile bulunan sonuçlar Çizelge 7.5'te görülmektedir.

Çizelge 7.5. Verdegay yaklaşımı sonuç tablosu

α	**0.0**	**0.1**	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**	**0.9**	**1.0**
Z	6790055.	6886634.	6817947.	6831893.	6845838.	6859721.	6873730.	6886634.	6899027.	6911417.	6923810.
x_1	12584.00	11783.00	12355.00	12241.00	12126.00	12012.00	11898.00	11783.00	11669.00	11554.00	11440.00
x_2	27500.00	25750.00	27000.00	26750.00	26500.00	26250.00	26000.00	25750.00	25500.00	25250.00	25000.00
x_3	11220.00	10506.00	11016.00	10914.00	10812.00	10710.00	10608.00	10506.00	10404.00	10302.00	10200.00
x_4	16720.00	15656.00	16416.00	16264.00	16112.00	15960.00	15808.00	15656.00	15504.00	15352.00	15200.00
x_5	16720.00	15656.00	16416.00	16264.00	16112.00	15960.00	15808.00	15656.00	15504.00	15352.00	15200.00
x_6	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0	964750.0
x_7	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0	965000.0
x_8	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90	47567.90
x_9	2972565.	3028974.	2988682.	2996740.	3004799.	3012857.	3020916.	3028974.	3037033.	3045091.	3053150.
x_{10}	33330.00	31209.00	32724.00	32421.00	32118.00	31815.00	31512.00	31209.00	30906.00	30603.00	30300.00
x_{11}	124080.0	116184.0	121824.0	120696.0	119568.0	118440.0	117312.0	116184.0	115056.0	113928.0	112800.0
x_{12}	77000.00	72100.00	75600.00	74900.00	74200.00	73500.00	72800.00	72100.00	71400.00	70700.00	70000.00
x_{13}	57200.00	53560.00	56160.00	55640.00	55120.00	54600.00	54080.00	53560.00	53040.00	52520.00	52000.00
x_{14}	1.100.000	1.030.000	1.080.000	1.070.000	1.060.000	1.050.000	1.040.000	1.030.000	1.020.000	1.010.000	1.000.000
x_{15}	4.180.000	3.914.000	4.104.000	4.066.000	4.028.000	3.990.000	3.952.000	3.914.000	3.876.000	3.838.000	3.800.000
x_{16}	3.300.000	3.090.000	3.240.000	3.210.000	3.180.000	3.150.000	3.120.000	3.090.000	3.060.000	3.030.000	3.000.000
x_{17}	7.700.000	7.210.000	7.560.000	7.490.000	7.420.000	7.350.000	7.280.000	7.210.000	7.140.000	7.070.000	7.000.000
x_{18}	6.003.000	7.000.000	6.318.000	6.475.500	6.633.000	6.790.500	6.948.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000
x_{19}	7.920.000	7.416.000	7.776.000	7.704.000	7.632.000	7.560.000	7.488.000	7.416.000	7.344.000	7.272.000	7.200.000
x_{20}	15576.00	14585.00	15293.00	15151.00	15010.00	14868.00	14726.00	14585.00	14443.00	14302.00	14160.00
x_{21}	12276.00	11495.00	12053.00	11941.00	11830.00	11718.00	11606.00	11495.00	11383.00	11272.00	11160.00
x_{22}	9.900.000	9.270.000	9.720.000	9.630.000	9.540.000	9.450.000	9.360.000	9.270.000	9.180.000	9.090.000	9.000.000
x_{23}	9.900.000	9.270.000	9.720.000	9.630.000	9.540.000	9.750.000	9.360.000	9.270.000	9.180.000	9.090.000	9.000.000
x_{24}	2.145.000	2.009.000	2.106.000	2.087.000	2.067.000	2.048.000	2.028.000	2.009.000	1.989.000	1.970.000	1.950.000
x_{25}	2.145.000	2.009.000	2.106.000	2.087.000	2.067.000	2.048.000	2.028.000	2.009.000	1.989.000	1.970.000	1.950.000
x_{26}	116677.2	119782.4	117535.8	117966.5	118394.4	118747.7	119256.3	119782.4	120361.0	120935.6	121514.2
x_{27}	13094.00	12261.00	12856.00	12737.00	12618.00	12499.00	12380.00	12261.00	12142.00	12023.00	11904.00
x_{28}	450443.0	462729.0	453954.0	455709.0	457464.0	459219.0	460974.0	462729.0	464484.0	466239.0	467994.0
x_{29}	5.570.000	5.210.000	5.460.000	5.410.000	5.360.000	5.310.000	5.260.000	5.210.000	5.160.000	5.110.000	5.060.000
x_{30}	4.290.000	4.017.000	4.212.000	4.173.000	4.134.000	4.095.000	4.056.000	4.017.000	3.978.000	3.939.000	3.900.000
x_{31}	4.290.000	4.017.000	4.212.000	4.173.000	4.134.000	4.095.000	4.056.000	4.017.000	3.978.000	3.939.000	3.900.000
x_{32}	12276.00	11495.00	12053.00	11941.00	11830.00	11718.00	11606.00	11495.00	11383.00	11272.00	11160.00
x_{33}	11880.00	11124.00	11664.00	11556.00	11448.00	11340.00	11232.00	11124.00	11016.00	10908.00	10800.00
x_{34}	10725.00	10043.00	10530.00	10433.00	10335.00	10238.00	10140.00	10043.00	9945000	9848000	9750000
x_{35}	364060.0	365488.0	364468.0	364672.0	364876.0	365080.0	365284.0	365488.0	365692.0	365896.0	366100.0
x_{36}	22000.00	20600.00	21600.00	21400.00	21200.00	21000.00	20800.00	20600.00	20400.00	20200.00	20000.00
x_{37}	39529.09	41475.09	40085.09	40363.09	40641.09	40919.09	41197.09	41475.09	41753.09	42031.09	42309.09
x_{38}	22440.00	21012.00	22032.00	21828.00	21624.00	21420.00	21216.00	21012.00	20808.00	20604.00	20400.00
x_{39}	11220.00	10506.00	11016.00	10914.00	10812.00	10710.00	10608.00	10506.00	10404.00	10302.00	10200.00
x_{40}	31416.00	29417.00	30845.00	30559.00	30274.00	29988.00	29702.00	29417.00	29131.00	28846.00	28560.00

Raporun üçüncü kısmında duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi doğrusal programlamada katsayı değişmesinin problemin optimal çözümü üzerine etkisini incelerken çözüme girmeyen karar değişkenlerinin de katsayı aralıklarını bulmak için yapılmaktadır. Bu sınırlara göre üretim planlamanın yapısını bozmadan ya da bozulduğu zaman maliyetinin ne şekilde etkileneceği görülebilir ve buna göre planlamalarda değişiklikler yapılır. Böylece üretim planlamasındaki elde edilen değerler kontrol altında tutulabilir. Raporda duyarlılık analizi kısmında katsayı

aralıkları ve sağ taraf aralıkları için çözüm bulunmaktadır. Her iki çıktı sonuçlarında uygun artışlar-azalışlar aralıkları görülmektedir. Katsayı aralıkları için değer aşağıdaki aralık ifadesinde olmalıdır:

(Mevcut katsayı- Uygun azalmalar, Mevcut katsayı + Uygun artışlar)

Bunu menteşe karşılık üretim adedi (x_1) için düşünürsek (0.7000-INFINITY, 0.7000+1.947742) = (-∞, 2.64774) olarak bulunur. Katsayı bu aralıklar içerisinde yer aldığı sürece optimal değer korunacaktır.

Çizelge 7.6 için aynı şekilde diğer karar değişkenleri için yapıldığında x_3 için (-∞, 1.533), x_4 için (-∞, 1.5193), x_5 için (-∞, 1.2406), x_6 için (0.073, ∞), x_8 için (1.2504, ∞), x_{11} için (-∞, 1.16), x_{12} için (-∞, 1.47), x_{13} için (-∞, 0.327), x_{30} için (-∞, 1.33), x_{31} için (-∞, 1.33), x_{34} için (-∞, 0.583), x_{35} için (1.824, ∞), x_{37} için (1.11, ∞), x_{38} için (-∞, 4.233), x_{40} için (-∞, 3.236) aralığında olduğu sürece optimal çözüm sonucu aynı kalacaktır.

Çizelge 7.6. Değişken katsayı aralıkları

Değişken	**Mevcut Değer**	**Artırılabilir Değer**	**Azaltılabilir Değer**
X1	0.7000000	1.947742	INFINITY
X2	0.8000000E-01	32.90387	INFINITY
X3	0.2600000	1.270323	INFINITY
X4	0.8000000E-01	0.7193548	INFINITY
X5	0.4600000	0.7806452	INFINITY
X6	0.7800000	INFINITY	0.7064516
X7	0.7900000	INFINITY	0.7164516
X8	1.590000	INFINITY	0.3396774
X9	0.5100000	INFINITY	0.2419355
X10	0.5100000	0.7258065	INFINITY
X11	0.3800000	0.7822581	INFINITY
X12	0.8000000E-01	0.6709677E-01	INFINITY
X13	0.2000000E-01	0.1270968	INFINITY
X14	0.4000000E-01	0.1070968	INFINITY
X15	1.360000	13.10677	INFINITY
X16	1.420000	13.04677	INFINITY
X17	0.5100000	22.62065	INFINITY
X18	1.200000	INFINITY	9.867.097
X19	0.8000000E-01	14.38677	INFINITY
X20	1.910000	1.031935	INFINITY
X21	1.910000	1.031935	INFINITY
X22	0.3800000	0.2083871	INFINITY
X23	0.3800000	0.2083871	INFINITY

Değişken	Mevcut Değer	Artırılabilir Değer	Azaltılabilir Değer
X24	0.3800000	0.2083871	INFINITY
X25	0.3800000	0.2083871	INFINITY
X26	2.280000	0.5875000	0.3988636
X27	3.050000	1.657097	INFINITY
X28	5.500000	INFINITY	0.4700000
X29	5.030000	0.4700000	INFINITY
X30	1.080000	0.2506452	INFINITY
X31	1.080000	0.2506452	INFINITY
X32	0.7600000	0.4167742	INFINITY
X33	0.5900000	0.5867742	INFINITY
X34	0.1300000	0.4535484	INFINITY
X35	1.280.000	INFINITY	0.5445161
X36	1.110000	0.000000	INFINITY
X37	1.110000	INFINITY	0.000000
X38	0.1000000E-01	4.133871	INFINITY
X39	0.7300000	3.340323	INFINITY
X40	2.670000	0.5661290	INFINITY

Duyarlılık analizinin sağ taraf sabitleri ve kısıtlayıcılar için de optimal çözüm aralıkları bulunur. Buna göre (mevcut sağ taraf-uygun azalmalar, mevcut sağ taraf+ uygun artışlar) denklemiyle çözüm aralığı bulunmuş olur. Sac Hammadde kısıtı için(s_2) 280.000- 34246.45, 280.000+10674.87 = (245753, 290674) aralığında optimal çözüm aynı kalacaktır.

Uygulamada buraya kadar karar değişkenlerinin çözüm sonuçları, optimal çözüm için kullanılan karar değişkenleri, fırsat maliyetler, çözümde yer alan kısıtlar ve aylak değişkenleri aynı zamanda gölge fiyatları bulunmuştur. Çözümde yer alan ve yer almayan değişkenler ve kısıtlar için duyarlılık analizi incelemesi yapılmış ve bunun sonucunda uygun artışlar ve azalışlara göre değişkenlerin ve kısıtların alması gereken değerler incelenmiştir.

Çözüm sonucunda makinelerde boş kalan ve kullanılmayan kapasitelerin olduğu görülmüştür. Bu boş kalan makine kapasiteleri için farklı teoriler geliştirilmiştir. Bu teorilerin başında boş kalan makinelerin kiralanması önerilebilir. Başka bir öneri ise, bu makinelerde sipariş listesine eklenecek yeni ürün gruplarının üretiminin yapılmasıdır. Öngörülen 3 adet ürün (New Cover sağ-sol ve Ruba zamaklı NSP) modele eklenerek tekrar çözülmüştür. Ruba zamaklı(x_{41}) 32,68 TL/br, New Cover Sağ (x_{42}) ve New Cover Sol (x_{43}) 0,85 TL/br kâr ile hesaplanmıştır. Ruba zamaklı ürün için asgari talep kısıtına 8000 adet, New cover ürünleri için 3500 adet eklenmiştir. Ruba

zamaklı ürünü montajlı bir parça olması nedeniyle tamamlayıcı parça kısıtlarına (ayarlı ayak kısıtı, nsp vidası kısıtı, yataklama pimi kısıtı, bearing part kısıtı ve ruba zamak kısıtı) olarak eklenmiştir. Eklenen bu üç ürün makine 221 ve makine 258 makinelerde basılabilir olması nedeniyle makine kısıtlarına da eklenmiştir. Ruba zamak iş gücü kısıtlarına da ekleme yapılmıştır. Çözüm sonucunda optimal değer 7.297.054 TL olarak bulunmuştur. Makine 221 tam kapasite kullanılırken; makine 258 için 16178.44 birimlik boş kapasitesi kalmıştır. Bir önceki modele göre boş kapasitelerde iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmeler minimum maliyet ve maksimum kar gibi kısa sürede en etkili kaynak kullanımıyla müşterilerine ürün sunmak istemektedir. Günümüz rekabet ortamında en etkili kaynakların kullanımı ve maksimum kar ancak doğru bir üretim planlamasıyla mümkündür. Bu sayede sınırlı kaynaklarla ne zaman, nerede ve hangi iş gücüyle üretim gerçekleştirebileceği yine üretim planlama ve çözüm yöntemleriyle bulunmaktadır.

Günümüzde fabrikalar doğru bir üretim planlama ile hem müşteri isteklerine zamanında cevap vermeyi amaçlar hem de maksimum kar sağlamaktadır. Manuel yöntemlerle de planlama sorununa çözüm bulunacağı gibi matematiksel modellerle de planlamada karşılaşılan birçok girdiye çözüm bulunabilir. Matematiksel modellerin başında yöneylem araştırma yöntemlerinden biri olan doğrusal programlama yöntemi bulunmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle üretim, üretim sistemleri tanımlanmış olup bu sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşan üretim planlama konusu irdelenmiştir. Üretim planlaması dönemsel bazda incelenmiş olup üretim planlamanın amacı, planlamanın adımları açıklanmıştır. Yöneylem araştırmasının deterministik bir yöntemi olan doğrusal programlama yöntemi açıklanmış olup gerçek hayat problemlerinde yaşanacak olası belirsizlik nedeniyle model bulanık doğrusal programlama ve çözüm yöntemleri ile de detaylı olarak incelenmiştir.

Çalışmada metal sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada kâr maksimizasyonu sağlayan planlama modeli oluşturulmuştur. Model çeyrek bazda ocak, şubat ve mart ayındaki işletme verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Seçilen bu üç aylık periyot ile gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle maksimum kâr sağlayan amaç fonksiyonu oluşturulmuş sonrasında sac hammadde kısıtı, tamamlayıcı parça kısıtı, asgari talep kısıtı, makine ve işgücü kısıtları da modele eklenmiştir. Çözüm doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama ile de yapılmıştır. Gerçek hayatta talep belirsizliklerin de olabileceği düşünerek çözümde esnek bir model olan bulanık doğrusal programlama tercih edilmektedir. Klasik doğrusal

programlama modeline kıyasla bulanık doğrusal programlama modeli çok daha bilgi ve gerçek hayata yakınlığı sebebiyle daha anlamlı sonuçlar vermektedir diyebiliriz.

Çözüm sonucunda tamamlayıcı parçalar için açılan taleplerde fazlalık olduğu görülmüştür. Fakat bu fazlalık bir sonraki aylarda olacak olası talep değişimlerine emniyet stoku şeklinde görülmektedir. Başka bir durum ise makinelerde boş kalan ve kullanılmayan kapasitelerin olduğu görülmüştür. Bu boş kalan makine kapasiteleri için farklı teoriler geliştirilmiştir. Bu teorilerin başında boş kalan makinelerin kiralanması önerilebilir. Başka bir öneri ise, bu makinelerde sipariş listesine eklenecek yeni ürün gruplarının üretiminin yapılmasıdır. Öngörülen 3 adet ürün (new cover sağ-sol ve ruba zamaklı nsp) modele eklenerek tekrar çözülmüştür. Ruba zamaklı ürün için asgari talep kısıtına 8000 adet, new cover ürünleri için 3500 adet eklenmiştir. Eklenen bu üç ürün makine 221 ve makine 258 makinelerde basılabilir olması nedeniyle makine kısıtlarına da eklenmiştir. Çözüm sonucunda optimal değer 7.303.874 TL olarak bulunmuştur. Makine 221 tam kapasite kullanılırken; makine 258 16433.80 birimlik boş kapasitesi kalmıştır. Bir önceki modele göre boş kapasitelerde iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

Lingo yazılımı ile bulunan çözüm sonucuna göre maksimum kâr sağlayan amaç fonksiyonu değeri 6.923.810 TL olarak bulunmuştur. Model öncesinde işletmeden alınan bilgilere göre ürünler için hesaplanan kâr değeri işletmede 5.963.003 TL olarak hesaplandığı görülmüştür. Önerilen model ile 960.807 TL kâr elde edildiği görülmüştür. Önerilen modelde makine kapasitesinin boş kaldığı görülmüştür. Bu sebeple boş kalan makinelere yeni ürünler eklenerek optimal değer 7.303.874 TL olarak bulunmuştur. Bu şekilde eski modele göre 380.064 TL kâr artışı sağlanmıştır. Elde ettiğimiz kâr farkı makine kapasitesinde %39 oranında âtıl kapasiteyi azaltmıştır.

Model gerçek hayatta yaşanabilecek talep belirsizlikleri nedeniyle bulanık doğrusal programının Verdegay yaklaşımı ile de çözülmüştür. Yapılan analizler sonucunda modelin bulanıklığı en yüksek olduğu haliyle amaç fonksiyonu değeri 6790055 olarak bulunmuştur. Modelde bulanık doğrusal programlama ile gerçek hayatta yaşanabilecek belirsizliği daha doğru şekilde modellediği ve daha sağlıklı sonuçlar verdiği kanaatine varılmaktadır.

Sonuç olarak literatürde de farklı sektörlerde uygulama alanı bulunan üretim planlamada doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama ile kâr

maksimizasyonu modeli oluşturulmuştur. Karar problemleri için belirsizliği azaltmak ancak bulanık doğrusal programlama ile mümkündür. Her planlama probleminin kendi içerisinde farklı kaynakları ve kısıtları olsa da başka sektörlere de geliştirilen bu modeli uygulamak ve alternatif oluşturmak mümkündür.

KAYNAKLAR

Aboudhier, A. A., 2017. A Linear Programming Model For Production Planning. Atılım University School Of Social Scıences, Department Of Business Administratio, M.Sc. Thesis Ankara.

Aladağ, Z., 2011. Yöneylem Araştırması 1. Umuttepe Kitabevi, 1-94, Kocaeli.

Almeida, E. S. Q., 2019. Optimization of Aluminium Profiles Production Planning. School of Management and Technology, Yüksek lisans tezi, Portugal.

Alptekin, E., 2003. Yöneylem Araştırmalarında Yararlanılan Karar Yöntemleri. Gazi Kitabevi, 317, Ankara.

Al-kuhali K, Zain Z.M., Hussein M. I., 2012. Production Planning of LCDs: Optimal Linear Programming and Sensitivity Analysis. Universiti Malaysia Perlis School of Manufacturing Engineering Letters, Basımda.

Artiba, A., Elmaghraby, S. E., 1996. The Planning and Scheduling of Production Systems Methodologies and applications. Springer, 1, US.

Aydın, Z., 2006. Doğrusal Programlamanın Üretim Planlaması Alanında Uygulanması. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul.

Barutçugil, S., 1988. Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri. Uludağ Üniversitesi Yayınları, 327, Bursa.

Bector, C.R., Chandra, S., 2010. Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Matrix Games. Springer, 57-60, New York.

Bhunia A.K., Sahoo L., Shaikh A.A, 2019. Advanced optimization and operations research. Springer, 7, USA.

Carter, M.W., Price, C.C., Rabadi G., 2019. Operations Research_ A Practical Approach. CRC Press, 343-344, London.

Chanas S. Z., 1983. The use of parametric programming in fuzzy linear programming. Fuzzy Sets and Systems. 11(1–3). 229–241.

Chapman, S., N., 2006. The Fundamentals of Production Planning and Control. Pearson Eduction, 4-6, New Jersey.

Cinemre, N., 2003. Doğrusal Programlama. Beta Basım Yayım Dağıtım, 8-63, İstanbul.

Cottle, R. W., Thapa, M.N., 2017. Linear and Nonlinear Optimization. Springer, 5, U.S.A.

Çelikçapa, F., 2007. Üretim Yönetimi ve Teknikleri, Alfa Aktüel, Bursa.

Çetinbağ, M., 2005. İşletmelerde Üretim Programlarının Hazırlanmasında Lineer Optimizasyon Modelinin Kullanılması ve Buna Yönelik Bir Uygulama. Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44-45, İstanbul.

Çetindere, A., Sevim, Ş., Duran, C., 2015. Üretim Planlama Problemlerinde Doğrusal Programlama Tekniğinin Kullanımı: Bir Konfeksiyon İşletmesinde Uygulama. Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 0 (35), 271-300.

Deste, M., Karabulut, M., 2021. Doğrusal Programlama Tekniğiyle Üretim Planlama Yaklaşımı ve Tekstil Sektöründe Bir Uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 26 (3), 247-258.

Dinçer, H., 2015. İşletmelerde Doğrusal Programlama ve Üretim Planlamasında Bilgisayar Uygulamaları. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 13(2), 76.

Docplayer Web Sitesi, 2022. Erişim Tarihi: 22.01.2022. https://docplayer.biz.tr/46063475-Simpleks-yonteminde-kullanilan-ilave-degiskenler-esitligin-yonune-gore.html

Ekmekçi, N., 2015. Sanayi İşletmelerinde Üretim Planlaması ve Doğrusal Programlama ile Bir Sanayi İşletmesinde Optimizasyon Uygulaması. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Konya.

Erdaş M. L., Demir Y. D., 2016. Developıng A Portfolıo Optımızatıon Model By Fuzzy Lınear Programmıng. The Journal of International Social Research, 9(45).768–789.

Erfanian, M., Pirayesh, M., 2016. Integration Aggregate Production Planning and Maintenance Using Mixed Integer Linear Programming. 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 04-07 December, Indonesia, 927-930.

Ergülen, A., Büyükkeklik, M., 2014. İnşaat Sektöründeki Üretim Planlamasına Bir Model Önerisi: Doğrusal Programlama Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. Basımda.

Garg, A., 2011. Production and Operations Management. the Tata McGraw Hill Education Private Limited, 4, New Delhi.

Gavett, J.W., 1968. Production and Operations Management. The Macmillan Co, 194-195, N.Y.

Gupta, R.K., 2015. Operations Research. Krishna Prakashan Media (P) Ltd, 2, Hindistan.

Guo, X., 2020. A Study of Production Planning Based on the Linear Programming Method. 2020 9th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), 11-13 February, UK, 90-95.

Gülcan, B., 2012. Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Karaman.

Gülerman, A., 1976. Mühendislik Ekonomisi ve İşletme Yönetimi, Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Yayınları No: 4, İzmir, 308s.

Halaç, O., 2001. Kantitatif Karar Verme Teknikleri. Alfa Yayınları. 407, İstanbul.

Hillier, F.S., Ve Lieberman G.J., 2015. Introduction to Operations Research. McGraw-Hill Education, 25-26, New York.

Kabak Ö., 2008. Olabilirsel Doğrusal Programlama ile Tedarik Zinciri Ağ Yapısının Modellenmesi ve Bir Uygulama. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kaçtıoğlu, S., 2020. Yöneylem Araştırması 1. İstanbul Ticaret Üniversitesi Ders Notları, 5-99, İstanbul.

Kaya, Ö., 2007. Bulanık Doğrusal Programlama ve Üretim Planlama Üzerine Bir Uygulama, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, İstanbul.

Kiran, D.R., 2019. Production Planning and Control A Comprehensive Approach. Butterworth-Heinemann, 1, Hindistan.

Kumar, A., Suresh, N., 2009. Production and Operations Management. New Age International Pvt Ltd Publishers, 3, New Delhi.

Kobu, B., 2010. Üretim Yönetimi. Beta Yayıncılık, 32, İstanbul.

Kochenderfer, M.J, Wheeler T.A., Wray K.H., 2022. Algorithms for Decision Making Massachusetts Institute of Technolog, 6.

Korkmazoğlu, M., 1987. Üretim, Stok ve Finansal Planlama İçin Eşzamanlı Bir Doğrusal Modelleme Çalışması. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 5-6, Eskişehir.

Maltepe, I., 2012. Doğrusal Programlama Yardımıyla Üretim Planlamasının Sanal Bir Petrol Rafineri Şirketine Uygulanması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Trabzon.

Maturana, S., Pizani, E., 2009. Scheduling and production planning for a sawmill: a comparison of a mathematical model versus a heuristic, International Conference on Computers & Industrial Engineering, 6-9 July, France, 124-127.

Men, B. H., Yin, S. Y., 2018. Application of LINGO in Water Resources Optimization Teaching Based on Integer Programming. Creative Education, 9, 2516-2524.

Mukherjee, S.P., 2022. Decision-making Concepts, Methods and Techniques. SAGE Publications Pvt. Ltd, 3-5, New Delhi.

Nasseri, S., Ebrahimnejad, A., Cao, B., 2019. Fuzzy Linear Programming: Solution Techniques and Applications. Springer, Switzerland.

Oğlak, Ö.T., 2018. Doğrusal programlama yöntemi ile talep tahmini ve alüminyum sektöründe bir uygulama. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul.

Okumuş, Z., 1996. Bir Üretim İşletmesinde Doğrusal Programlama Yöntemiyle Üretim Planlaması. Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 27-28, Eskişehir.

Özden, Kenan ve Gül, 2014. Yöneylem Araştırması –I- (Bilgisayar Destekli Doğrusal ve Parametrik Programlama) (1. Basım), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

Özgüven, C., 2002. Doğrusal Programlama ve Uzantıları Uygulamalar Ders Notları. Erciyes Üniversitesi Kitap Teksir Bürosu, 7, Kayseri.

Paksoy, T., Pehlivan, N., Özceylan, E., 2013. Bulanık Küme Teorisi. Nobel Yayın, Ankara.

Peckol, J.K., 2021. Introduction to Fuzzy Logic, Wiley, 69, USA.

Raju, N.V.S., 2019. Operations Research-Operations Research Theory and Practice. CRC Press, 10-11.

Russell, Roberta, S., Taylor, W., Bernard, 1995. Production And Operations Management Focusing On Quality And Competitiveness. Prentice-Hill, 547, New Jersey.

Salveson, M.E., 1953. A Computational Technique for the Fabrication Scheduling Problem. Management Sciences Research Project. University of California, 58.

Sarker, R.A., Newton C.S., 2014. Optimization Modelling A Practical Approach. CRC Press, 19-365, NW.

Schrage, L., 2003. Optimization Modeling with LINGO. Lindo Systems, 21, USA.

Sharma, J.K., 2016. Operations research theory and applications. Trinity, 27, India.

Stanimirović, I., 2022. Advances in Optimization and Linear Programming. Apple Academic Press, 63, USA.

Tanyaş, M., Ve Baskak, M. 2021. Üretim Planlama ve Kontrol. İrfan Yayımcılık, 49-50.

Taha, H., A., 2017. Operations Research An Introduction, Pearson Education Limited, 40, İstanbul.

Tekin, M., 2012. Üretim Yönetimi. Günay Ofset Matbaacılık, 26, Konya.

Telsang, M., 2018. Industrial Engineering and Production Management. S. Chand Publishing, 499, Hindistan.

Tuş, A., 2006. Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Üretim Planlamasında Uygulama Örneği. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Denizli.

Türk Dil Kurumu (TDK) Web Sitesi, 2022. Erişim Tarihi: 1.11.2022. http://sozluk.gov.tr/

Top, A., 2006, Üretim Yönetimi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Uzunkaya, K., Gül, M., 2017. Dinar Karakuyu Sulaması Sahası Tarımsal İşletmelerinin Doğrusal Programlama Yöntemi Kullanılarak Ürün Desenlerinin Planlanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (2), 388-396.

Uzunkaya, K., Gül, M., 2017. Dinar Karakuyu Sulaması Sahası Tarımsal İşletmelerinin Doğrusal Programlama Yöntemi Kullanılarak Ürün Desenlerinin Planlanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21 (2), 388-396.

Ünüçok, S., 2019. Doğrusal Programlama Yöntemi ile Üretim Planlama Bir Nonwoven Kumaş Fabrikasında Uygulama. Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Gaziantep.

Üreten, S., 1998, Üretim / İşlemler Yönetimi Planlama ve Denetim Kararları, Karar Modelleri ve İyileştirme Yaklaşımları. Gazi Üniversitesi Yayınları, 3-4, Ankara.

Üreten, S., 2004. Üretim/İşlemler Yönetimi. Gazi Kitabevi, Ankara.

Wang D., 1997. An inexact approach for linear programming problems with fuzzy objective and resources. Fuzzy Sets and Systems. 89. 61–68.

Yakar, G., 2002. Doğrusal Programlama Modellerine Cebirsel Modelleme Yaklaşımı ve Üretim Planlamasına Bir Uygulama. Eskişehir Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

Yingfeng, W., Dawei, W. 2011. A mathematical programming model for optimization problem of production process based on time constraints in Pinggao Group Co., 2011 2nd IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences, Beijing. 8-10 September, 258-261.

Yu Da, 2004. Sensitivity analysis for production planning model of an oil company. E¨otv¨os Lor´and University, Faculty of Natural Sciences, M.Sc. Thesis, Budapest.

Zimmermann H.J., 1991. Fuzzy Set Theory and Its Applications. Massachusetts: Kluwer Academic.

Zongxiang, H., 2008. Research for Production Scheduling of Discrete Manufacturing Enterprise Based on the Theory of Constraints. 2008 International Conference on Information Management Innovation Management and Industrial Engineering, 19-21 October, Taiwan, 167-171.

EKLER

EK A. Hammadde Maliyeti Tablosu

EK B. Ürünlerin Birim Kar Değerleri Tablosu

EK C. Sac Hammadde Kullanım Tablosu

EK D. Asgari Ürün Miktarı

EK E. Ürünlerin Pres Makinelerinde Üretim Süresi

EK F. Pres Makineleri Nominal Çalışma ve Arıza Süresi

EK G. Uygulamanın Lingo Girdileri

EK H. Lingo Model Çıktısı

EK A. Hammadde Maliyeti Tablosu

Çizelge A. 1. Sac hammadde maliyeti tablosu

Ürün Grubu	Karar Değişkeni	Malzeme Adı	Hammadde	Sac Adı	Sac Kullanım Mıktarı (Kg)	Sac Birim Maliyet (TL/Kg)	Sac için Kullanılan Hammadde Maliyeti (TL)
FIRIN	x_1	Menteşe Karşılık	SAC	2,0 x 150 SAC	0,36	16,8	6,05
	x_2	Musluk Kelepçe	SAC	2 x 34 SAC	0,02	16,8	0,41
	x_3	Bayonet Parçası	SAC	0,80 x 124 SAC	0,06	16,8	0,94
	x_4	Çekmece Kapak Sabitleme Parçası	SAC	1,0 x 56,9 SAC	0,01	16,8	0,18
	x_5	Profil Ayak	SAC	1,50 x 100 SAC	0,07	16,8	1,19
BULAŞIK MAKİNESİ	x_6	Küçük Metal Klips	SAC	0,50 x 81,2 SAC	0,01	16,8	0,11
	x_7	Büyük Metal Klips	SAC	0,50 x 96,2 SAC	0,01	16,8	0,17
	x_8	Buhar Sacı	SAC	0,40 x 87 SAC	0,17	16,8	2,81
	x_9	Sağ Sabitleyici Braket	SAC	0,80 x 81 SAC	0,02	16,8	0,34
	x_{10}	Sol Sabitleyici Braket	SAC	0,80 x 81 SAC	0,02	16,8	0,34
	x_{11}	Lower Door	SAC	0,50 x 20 SAC	0,01	16,8	0,09
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	x_{12}	Metal Koruma Parçası	SAC	0,50x136 SAC	0,02	16,8	0,27
SOĞUTUCU	x_{13}	Dar Dış Kapı Kolu Parçası	SAC	1,50 x 107 SAC	0,02	16,8	0,4
	x_{14}	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası	SAC	1,50 x 115 SAC	0,02	16,8	0,4
	X_{15}	Beyaz NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29	16,8	4,84
	X_{16}	Eski NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29	16,8	4,84
	x_{17}	Lotus NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,35	16,8	5,85
	x_{18}	Yeni Zamaklı NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29	16,8	4,84
	x_{19}	Eski Zamaklı NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29	16,8	4,84
	X_{20}	Sol Üçgen Parçası	SAC	2,00 x 352 SAC	0,4	16,8	6,69
	X_{21}	Sağ Üçgen Parçası	SAC	2,00 x 352 SAC	0,4	16,8	6,69
	X_{22}	Sağ Üst Menteşe Destek	SAC	1,50 x 232 SAC	0,08	16,8	1,39
	X_{23}	Sol Üst Menteşe Destek	SAC	1,50 x 232 SAC	0,08	16,8	1,39
	X_{24}	Lotus Parçası- Sol	SAC	1,50 x 127 SAC	0,08	16,8	1,39
	X_{25}	Lotus Parçası- Sağ	SAC	1,50 x 127 SAC	0,08	16,8	1,39
BUZDOLABI	X_{26}	BM Takviye	SAC	1,20 x 575 mm SAC	0,31	16,8	5,21
	X_{27}	SD Takviye	SAC	1,20 x 1193 mm SAC	0,64	16,8	10,79
	X_{28}	Kapatma Mekanizması-Sol	SAC	1,50 x 88 SAC	0,11	16,8	1,78
	X_{29}	Kapatma Mekanizması-Sağ	SAC	1,50 x 88 SAC	0,11	16,8	1,78
	X_{30}	BM Panel Bağlantı-Sağ	SAC	3,0 x 153 SAC	0,15	16,8	2,44
	X_{31}	BM Panel Bağlantı-Sol	SAC	3,0 x 153 SAC	0,15	16,8	2,44
	X_{32}	Yan yana Bağlantı Desteği-Sol	SAC	3,50 x 185 SAC	0,16	16,8	2,66
	X_{33}	Yan yana Bağlantı Desteği-Sağ	SAC	3,50 x 185 SAC	0,16	16,8	2,66
	X_{34}	Kablo Giriş Bağlantı Parçası	SAC	0,80 x 84,5 SAC	0,03	16,8	0,55
	X_{35}	Vida Takviye	SAC	4,0 x 2.5 SAC	0,1	16,8	1,72
	X_{36}	Panel Bağlantı-Sağ	SAC	3,0 x 129 SAC	0,12	16,8	2
	X_{37}	Panel Bağlantı-Sol	SAC	3,0 x 129 SAC	0,12	16,8	2
	X_{38}	Z parcası	SAC	1,0 x 113 SAC	0,07	16,8	1,09
	X_{39}	Yan Sabitleme	SAC	1,20 x 84,5 SAC	0,06	16,8	1,02
	X_{40}	Oda Sabitleyici	SAC	2,00 x 240 SAC	0,44	16,8	7,43

Çizelge A. 2. Tamamlayıcı parça maliyeti tablosu

Karar Değişkeni	Malzeme adı	PARÇA ADI	KULLANIM MIİKTARI (AD)	BİRİM MALİYET (TL/AD)	KULLANILAN HAMMADDE MALİYETİ(TL)
X_{15}	Beyaz NSP	NSP Ayarlı Ayak	1,00	0,52	0,52
		Menteşe Yatağı	1,00	0,33	0,33
X_{16}	Eski NSP	NSP Ayarlı Ayak	1,00	0,52	0,52
		Plastik Yataklama Parçası	1,00	0,16	0,16
X_{17}	Lotus NSP	Ayarlı Ayak	1,00	1,07	1,07
		Pozisyonlama Pimi	1,00	0,03	0,03
		Menteşe Yatağı	1,00	0,32	0,32
		Kilitli Poşet	1,00	0,16	0,16
X_{18}	Yeni Zamaklı NSP	NSP Ayarlı Ayak	1,00	0,52	0,52
		NSP Sabitleme Vidası	1,00	0,05	0,05
		Esanjör	1,00	0,12	0,12
		Würth Vida	1,00	1,34	1,34
		NSP Yataklama Pimi	1,00	1,31	1,31
		Yeni Zamak Mesafe Parçası	1,00	5,90	5,90
		Bearing Part	1,00	0,25	0,25
X_{19}	Eski Zamaklı NSP	NSP Ayarlı Ayak	1,00	0,52	0,52
		NSP Yataklama Pimi	1,00	1,31	1,31
		NSP Sabitleme Vidası	1,00	0,05	0,05
		Bearing Part e	1,00	0,25	0,25
		Mesafe Parçası	1,00	2,95	2,95

Çizelge A. 3. Ambalaj maliyeti tablosu

Ürün grubu	Karar değişkeni	Malzeme adı	Ambalaj	Ambalaj içi miktar	Koli birim maliyet (TL/Adet)
FIRIN	x_1	Menteşe Karşılık	4311 Kasa	50	0
	x_2	Musluk Kelepçe	Koli	1000	0,0075
	x_3	Bayonet Parçası	Koli	150	0,05
	x_4	Çekmece Kapak Parçası	3211 Kasa	600	0
	x_5	Profil Ayak	3211 Kasa	500	0
BULAŞIK MAKİNESİ	x_6	Küçük Metal Klips	4311 Kasa	600	0
	x_7	Büyük Metal Klips	4311 Kasa	400	0
	x_8	Buhar Sacı	Tel Sepet	2000	0
	x_9	Sağ Sabitleyici Braket	3211 Kasa	300	0
	x_{10}	Sol Sabitleyici Braket	3211 Kasa	300	0
	x_{11}	Lower Door	Koli	2500	0,003
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	x_{12}	Metal Koruma Parçası	Koli	300	0,025
SOĞUTUCU	x_{13}	Dar Dış Kapı Kolu Parçası	Koli	700	0,011
	x_{14}	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası	Koli	1000	0,0075
	X_{15}	Beyaz NSP	4311 Kasa	60	0
	X_{16}	Eski NSP	4311 Kasa	75	0
	x_{17}	Lotus NSP	4311 Kasa	60	0
	x_{18}	Yeni Zamaklı NSP	4311 Kasa	60	0
	x_{19}	Eski Zamaklı NSP	4311 Kasa	60	0
	X_{20}	Sol Üçgen Parçası	4311 Kasa	30	0
	X_{21}	Sağ Üçgen Parçası	4311 Kasa	30	0
	X_{22}	Sağ Üst Menteşe Destek	Koli	250	0,03
	X_{23}	Sol Üst Menteşe Destek	Koli	250	0,03
	X_{24}	Lotus Parçası- Sol	Koli	250	0,03
	X_{25}	Lotus Parçası- Sağ	Koli	250	0,03
BUZDOLABI	X_{26}	BM Takviye	Koli	48	0,1563
	X_{27}	SD Takviye	Koli	48	0,1563
	X_{28}	Kapatma Mekanizması-Sol	4311 Kasa	46	0
	X_{29}	Kapatma Mekanizması-Sağ	4311 Kasa	46	0
	X_{30}	BM Panel Bağlantı-Sağ	4311 Kasa	100	0
	X_{31}	BM Panel Bağlantı-Sol	4311 Kasa	100	0
	X_{32}	Yan yana Baglanti Destegi Sol	3211 Kasa	60	0
	X_{33}	Yan yana Baglanti Destegi Sag	3211 Kasa	60	0
	X_{34}	Kablo Giriş Bağlantı Parçası	3211 Kasa	150	0
	X_{35}	Vida Takviye	3211 Kasa	50	0
	X_{36}	Panel Bağlantı-Sağ	4311 Kasa	150	0
	X_{37}	Panel Bağlantı-Sol	4311 Kasa	150	0
	X_{38}	Z parcası	3211 Kasa	200	0
	X_{39}	Yan Sabitleme	3211 Kasa	150	0
	X_{40}	Oda Sabitleyici	4322 Kasa	24	0

EK B. Ürünlerin Birim Kar Değerleri Tablosu

Çizelge B. 1. Ürünlerin birim kar değerleri tablosu

Karar Değişkeni	Malzeme Adı	Toplam Birim Maaliyeti (TL)	Satış Fiyatı (TL)	Birim Kar (TL)
x_1	Menteşe Karşılık	6,05	6,75	0,7
x_2	Musluk Kelepçe	0,42	0,5	0,08
x_3	Bayonet Parçası	0,99	1,25	0,26
x_4	Çekmece Kapak Parçası	0,18	0,26	0,08
x_5	Profil Ayak	1,19	1,65	0,46
x_6	Küçük Metal Klips	0,11	0,89	0,78
x_7	Büyük Metal Klips	0,17	0,96	0,79
x_8	Buhar Sacı	2,81	4,4	1,59
x_9	Sağ Sabitleyici Braket	0,34	0,85	0,51
x_{10}	Sol Sabitleyici Braket	0,34	0,85	0,51
x_{11}	Lower Door	0,1	0,48	0,38
x_{12}	Metal Koruma Parçası	0,29	0,37	0,08
x_{13}	Dar Dış Kapı Kolu Parçası	0,41	0,43	0,02
x_{14}	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası	0,41	0,45	0,04
X_{15}	Beyaz NSP	5,68	7,04	1,36
X_{16}	Eski NSP	5,52	6,94	1,42
x_{17}	Lotus NSP	7,43	7,94	0,51
x_{18}	Yeni Zamaklı Nsp	15,68	27,68	12
x_{19}	Eski Zamaklı Nsp	9,92	10	0,08
X_{20}	Sol Üçgen Parçası	6,69	8,6	1,91
X_{21}	Sağ Üçgen Parçası	6,69	8,6	1,91
X_{22}	Sağ Üst Menteşe Destek	1,42	1,8	0,38
X_{23}	Sol Üst Menteşe Destek	1,42	1,8	0,38
X_{24}	Lotus Parçası- Sol	1,42	1,8	0,38
X_{25}	Lotus Parçası- Sağ	1,42	1,8	0,38
X_{26}	Bm Takviye	5,36	7,64	2,28
X_{27}	Sd Takviye	10,95	14	3,05
X_{28}	Kapatma Mekanizması-Sol	1,78	7,28	5,5
X_{29}	Kapatma Mekanizması-Sağ	1,78	6,81	5,03
X_{30}	Bm Panel Bağlantı-Sağ	2,44	3,52	1,08
X_{31}	Bm Panel Bağlantı-Sol	2,44	3,52	1,08
X_{32}	Yan Yana Bağlantı Desteği Sol	2,66	3,42	0,76
X_{33}	Yan Yana Bağlantı Desteği Sağ	2,66	3,25	0,59
X_{34}	Kablo Giriş Bağlantı Parçası	0,55	0,68	0,13
X_{35}	Vida Takviye	1,72	3	1,28
X_{36}	Panel Bağlantı-Sağ	2	3,11	1,11
X_{37}	Panel Bağlantı-Sol	2	3,11	1,11
X_{38}	Z Parçası	1,09	1,1	0,01
X_{39}	Yan Sabitleme	1,02	1,75	0,73
X_{40}	Oda Sabitleyici	7,43	10,1	2,67

EK C. Sac Hammadde Kullanım Tablosu

Çizelge C. 1. Sac Hammadde kullanım tablosu

Ürün Grubu	Karar Değişkeni	Malzeme Adı	Hammadde	Sac Adı	Sac Kullanım Miktarı (KG)
FIRIN	x_1	Menteşe Karşılık	SAC	2,0 x 150 SAC	0,36
	x_2	Musluk Kelepçe	SAC	2 x 34 SAC	0,02
	x_3	Bayonet Parçası	SAC	0,80 x 124 SAC	0,06
	x_4	Çekmece Kapak Sabitleme Parçası	SAC	1,0 x 56,9 SAC	0,01
	x_5	Profil Ayak	SAC	1,50 x 100 SAC	0,07
BULAŞIK MAKİNESİ	x_6	Küçük Metal Klips	SAC	0,50 x 81,2 SAC	0,01
	x_7	Büyük Metal Klips	SAC	0,50 x 96,2 SAC	0,01
	x_8	Buhar Sacı	SAC	0,40 x 87 SAC	0,17
	x_9	Sağ Sabitleyici Braket	SAC	0,80 x 81 SAC	0,02
	x_{10}	Sol Sabitleyici Braket	SAC	0,80 x 81 SAC	0,02
	x_{11}	Lower Door	SAC	0,50 x 20 SAC	0,01
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	x_{12}	Metal Koruma Parçası	SAC	0,50x136 SAC	0,02
SOĞUTUCU	x_{13}	Dar Dış Kapı Kolu Parçası	SAC	1,50 x 107 SAC	0,02
	x_{14}	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası	SAC	1,50 x 115 SAC	0,02
	X_{15}	Beyaz NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29
	X_{16}	Eski NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29
	x_{17}	Lotus NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,35
	x_{18}	Yeni Zamaklı NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29
	x_{19}	Eski Zamaklı NSP	SAC	4,00 x 183,5mm SAC	0,29
	X_{20}	Sol Üçgen Parçası	SAC	2,00 x 352 SAC	0,40
	X_{21}	Sağ Üçgen Parçası	SAC	2,00 x 352 SAC	0,40
	X_{22}	Sağ Üst Menteşe Destek	SAC	1,50 x 232 SAC	0,08
	X_{23}	Sol Üst Menteşe Destek	SAC	1,50 x 232 SAC	0,08
	X_{24}	Lotus Parçası- Sol	SAC	1,50 x 127 SAC	0,08
	X_{25}	Lotus Parçası- Sağ	SAC	1,50 x 127 SAC	0,08
BUZDOLABI	X_{26}	BM Takviye	SAC	1,20 x 575 mm SAC	0,31
	X_{27}	SD Takviye	SAC	1,20 x 1193 mm SAC	0,64
	X_{28}	Kapatma Mekanizması-Sol	SAC	1,50 x 88 SAC	0,11
	X_{29}	Kapatma Mekanizması-Sağ	SAC	1,50 x 88 SAC	0,11
	X_{30}	BM Panel Bağlantı-Sağ	SAC	3,0 x 153 SAC	0,15
	X_{31}	BM Panel Bağlantı-Sol	SAC	3,0 x 153 SAC	0,15
	X_{32}	Yan yana Bağlantı Desteği-Sol	SAC	3,50 x 185 SAC	0,16
	X_{33}	Yan yana Bağlantı Desteği-Sağ	SAC	3,50 x 185 SAC	0,16
	X_{34}	Kablo Giriş Bağlantı Parçası	SAC	0,80 x 84,5 SAC	0,03
	X_{35}	Vida Takviye	SAC	4,0 x 2.5 SAC	0,10
	X_{36}	Panel Bağlantı-Sağ	SAC	3,0 x 129 SAC	0,12
	X_{37}	Panel Bağlantı-Sol	SAC	3,0 x 129 SAC	0,12
	X_{38}	Z parcası	SAC	1,0 x 113 SAC	0,07
	X_{39}	Yan Sabitleme	SAC	1,20 x 84,5 SAC	0,06
	X_{40}	Oda Sabitleyici	SAC	2,00 x 240 SAC	0,44

EK D. Asgari Ürün Miktarı

Çizelge D. 1. Asgari ürün miktarı

Ürün Grubu	Karar Değişkeni	Malzeme Adı	Asgari Üretilmesi Gereken Ürün Miktarı
FIRIN	x1	Menteşe Karşılık	11.440
	x2	Musluk Kelepçe	25.000
	x3	Bayonet Parçası	10.200
	x4	Çekmece Kapak Sabitleme Parçası	15.200
	x5	Profil Ayak	15.200
BULAŞIK MAKİNESİ	x6	Küçük Metal Klips	158.700
	x7	Büyük Metal Klips	175.500
	x8	Buhar Sacı	32.000
	x9	Sağ Sabitleyici Braket	31.200
	x10	Sol Sabitleyici Braket	30.300
	x11	Lower Door	112.800
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	x12	Metal Koruma Parçası	70.000
SOĞUTUCU	x13	Dar Dış Kapı Kolu Parçası	52.000
	x14	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası	1.000
	x15	Beyaz NSP	3.800
	x16	Eski NSP	3.000
	x17	Lotus NSP	7.000
	x18	Yeni Zamaklı NSP	5.000
	x19	Eski Zamaklı NSP	7.200
	x20	Sol Üçgen Parçası	14.160
	x21	Sağ Üçgen Parçası	11.160
	x22	Sağ Üst Menteşe Destek	9.000
	x23	Sol Üst Menteşe Destek	9.000
	x24	Lotus Parçası- Sol	1.950
	x25	Lotus Parçası- Sağ	1.950
BUZDOLABI	x26	BM Takviye	11.232
	x27	SD Takviye	11.904
	x28	Kapatma Mekanizması-Sol	644
	x29	Kapatma Mekanizması-Sağ	506
	x30	BM Panel Bağlantı-Sağ	3.900
	x31	BM Panel Bağlantı-Sol	3.900
	x32	Yan yana Baglanti Destegi Sol	11.160
	x33	Yan yana Baglanti Destegi Sag	10.800
	x34	Kablo Giriş Bağlantı Parçası	9.750
	x35	Vida Takviye	1.700
	x36	Panel Bağlantı-Sağ	20.000
	x37	Panel Bağlantı-Sol	20.000
	x38	Z parcası	20.400
	x39	Yan Sabitleme	10.200
	x40	Oda Sabitleyici	28.560

EK E. Ürünlerin Pres Makinelerinde Üretim Süresi

Çizelge E. 1. Ürünlerin pres makinelerinde üretim süresi

Ürün Grubu	Karar Değişkeni	Malzeme Adı	ÜRETİM SÜRESİ (DK)
FIRIN	x_1	Menteşe Karşılık	0,75
	x_2	Musluk Kelepçe	0,42
	x_3	Bayonet Parçası	0,20
	x_4	Çekmece Kapak Sabitleme Parçası	0,02
	x_5	Profil Ayak	0,02
BULAŞIK MAKİNESİ	x_6	Küçük Metal Klips	0,04
	x_7	Büyük Metal Klips	0,04
	x_8	Buhar Sacı	0,81
	x_9	Sağ Sabitleyici Braket	0,01
	x_{10}	Sol Sabitleyici Braket	0,03
	x_{11}	Lower Door	0,03
ÇAMAŞIR MAKİNESİ	x_{12}	Metal Koruma Parçası	0,21
SOĞUTUCU	x_{13}	Dar Dış Kapı Kolu Parçası	0,21
	x_{14}	Geniş Dış Kapı Kolu Parçası	0,21
	X_{15}	Beyaz NSP	0,38
	X_{16}	Eski NSP	0,38
	x_{17}	Lotus NSP	0,38
	x_{18}	Yeni Zamaklı NSP	0,38
	x_{19}	Eski Zamaklı NSP	0,38
	X_{20}	Sol Üçgen Parçası	0,8
	X_{21}	Sağ Üçgen Parçası	0,55
	X_{22}	Sağ Üst Menteşe Destek	0,75
	X_{23}	Sol Üst Menteşe Destek	0,75
	X_{24}	Lotus Parçası- Sol	0,75
	X_{25}	Lotus Parçası- Sağ	0,75
BUZDOLABI	X_{26}	BM Takviye	0,23
	X_{27}	SD Takviye	0,23
	X_{28}	Kapatma Mekanizması-Sol	0,06
	X_{29}	Kapatma Mekanizması-Sağ	0,06
	X_{30}	BM Panel Bağlantı-Sağ	0,55
	X_{31}	BM Panel Bağlantı-Sol	0,55
	X_{32}	Yan yana Bağlantı Desteği-Sol	0,1
	X_{33}	Yan yana Bağlantı Desteği-Sağ	0,1
	X_{34}	Kablo Giriş Bağlantı Parçası	0,01
	X_{35}	Vida Takviye	0,1
	X_{36}	Panel Bağlantı-Sağ	0,32
	X_{37}	Panel Bağlantı-Sol	0,32
	X_{38}	Z parcası	0,1
	X_{39}	Yan Sabitleme	0,1
	X_{40}	Oda Sabitleyici	0,75

EK F. Pres Makineleri Nominal Çalışma ve Arıza Süresi

Çizelge F. 1. Pres makineleri nominal çalışma ve arıza süresi

MAKİNE ADI	ARIZA SEBEBİ	ARIZA SÜRESİ(DK)	NOMİNAL ÇALIŞMA SÜRESİ(DK)
makine14	ACİL STOP BUTONU ARIZASI	90	38620
makine106	PRESTEKİ SÜRÜCÜ ARIZASI	60	38560
	ÖLÇÜ UYGUNLUĞU ARIZASI	60	
	ACİL STOP BUTONU ARIZASI	30	
makine107	PRESTEKİ SÜRÜCÜ ARIZASI	180	38530
makine108	PRESTEKİ KALIP KORUMA ARIZASI	100	38610
makine109	PRESTEKİ KALIP KORUMA ARIZASI	50	38600
	PRESTEKİ SÜRÜCÜ ARIZASI	60	
makine142	RULO AÇICIDAKİ SENSÖR ARIZASI	60	38650
makine166	FREN BALATASI AŞINMASI	60	38650
makine177	PRESTEKİ SÜRÜCÜ ARIZASI	60	38650
makine178	FREN BALATASI AŞINMASI	60	38650
makine182	KALIP VE PRESTEKİ ÖLÇÜ AYARI ARIZASI	90	38620
makine187	FREN BALATASI AŞINMASI	120	38590
makine188	PRESTEKİ SÜRÜCÜ ARIZASI	120	38590
makine202	KALIP VE PRESTEKİ ÖLÇÜ AYARI ARIZASI	90	38620
makine219	PRESTEKİ SÜRÜCÜ ARIZASI	60	38650
	KALIP VE PRESTEKİ ÖLÇÜ AYARI ARIZASI	30	
makine221	HİDROLİK SİGORTA BAĞLANTI CİVATALARI KOPMASI	180	38530
makine258	PRESİN KAVRAMASINDAKİ CİVATALARIN KIRILMASI VE KRANK MİLİ YATAK OHRİNGİNİN KOPMASI	120	38590

EK G. Uygulamanın Lingo Girdileri

MAX 0.70X1 + 0.08X2 + 0.26X3 + 0.08X4 + 0.46X5 + 0.78X6 + 0.79X7 + 1.59X8 + 0.51X9 + 0.51X10 + 0.38X11 + 0.08X12 + 0.02X13 + 0.04X14 + 1.36X15 + 1.42X16 + 0.51X17 +12X18 + 0.08X19 + 1.91X20 + 1.91X21 + 0.38X22 +0.38X23 + 0.38X24 + 0.38X25 + 2.28X26 + 3.05X27 + 5.50X28 + 5.03X29 + 1.08X30 + 1.08X31 + 0.76X32 + 0.59X33 + 0.13X34 + 1.28X35 + 1.11X36 + 1.11X37 + 0.01X38 + 0.73X39 + 2.67X40

ST

!SAC HAMMADDE KISITI;
SACKISITI) 0.36X1 + 0.02X2 + 0.06X3 + 0.01X4 + 0.07X5 + 0.01X6 + 0.01X7 + 0.17X8 + 0.02X9 + 0.02X10 + 0.01X11 + 0.02X12 + 0.02X13 + 0.02X14 + 0.29X15 + 0.29X16 + 0.35X17 + 0.29X18 + 0.29X19 + 0.40X20 + 0.40X21 + 0.08X22 + 0.08X23 + 0.08X24 + 0.08X25 + 0.31X26 + 0.64X27 + 0.11X28 + 0.11X29 + 0.15X30 + 0.15X31 + 0.16X32 + 0.16X33 + 0.03X34 + 0.10X35 + 0.12X36 + 0.12X37 + 0.07X38 + 0.06X39 + 0.44X40 <= 280000

!TAMAMLAYICI PARCA KISITI;
tamamlayiciparca1) X15+X16+X18+X19 <=60000
tamamlayiciparca2) X15+X17 <=58000
tamamlayiciparca3) X16 <=4500
tamamlayiciparca4) X17 <= 15000
tamamlayiciparca5) X17 <= 10000
tamamlayiciparca6) X17 <=18000
tamamlayiciparca7) X18+X19 <= 40000
tamamlayiciparca8) X18 <=10000
tamamlayiciparca9) X18 <= 7000
tamamlayiciparca10) X18+X19 <=50000
tamamlayiciparca11) X18 <=35000
tamamlayiciparca12) X18+X19 <= 62000
tamamlayiciparca13) X19 <= 9500

!ASGARİ TALEP KISITI;
mentesekarsilik) X1 >= 11440
muslukkelepce) X2 >= 25000
bayonet) X3 >= 10200
cekmecekapak) X4 >= 15200
profilayak) X5 >= 15200
kucukklips) X6 >= 158700
buyukklips) X7 >= 175500
buharsaci) X8 >= 32000
sagbraket) X9 >= 31200
solbraket) X10 >= 30300
lowerdoor) X11 >= 112800
metalkoruma) X12 >= 70000
darkapikolu) X13 >= 52000
geniskapikolu) X14 >= 1000
beyaznsp) X15 >= 3800
eskinsp) X16 >= 3000
lotusnsp) X17 >= 7000
yenizamakli) X18 >= 5000
eskizamakli) X19 >= 7200
solucgen) X20 >= 14160
sagucgen) X21 >= 11160
sagustmentese) X22 >= 9000
solustmentese) X23 >= 9000
sollotus) X24 >= 1950
saglotus) X25 >= 1950
bmtakviye) X26 >= 11232
sdtakviye) X27 >= 11904

solkapatma) X28 >= 644
sagkapatma) X29 >= 506
sagbmpanel) X30 >= 3900
solbmpanel) X31 >= 3900
solyanyana) X32 >= 11160
sagyanyana) X33 >= 10800
kablogiris) X34 >= 9750
vidatakviye) X35 >= 1700
sagpanelbaglanti) X36 >= 20000
solpanelbaglanti) X37 >= 20000
zparcasi) X38 >= 20400
yansabitleme) X39 >= 10200
odasabitleme) X40 >= 28560

!MAKİNE KISITI;
makine14) 0.71X8 <=38620
makine106) 0.55X30+0.55X31+0.55X36+0.55X37<= 38560
makine107) 0.81X8 <=38530
makine108) 0.42X2+0.06X28+0.06X29 <= 38610
makine109) 0.04X7<=38600
makine142) 0.81X8<=38650
makine166) 0.8X20+0.55X21<=38650
makine177) 0.2X3+0.1X35<=38650
makine178) 0.25X30+0.25X31+0.1X32+0.1X33+0.32X36+0.32X37+0.4X40<=38650
makine182) 0.21X12+0.21X13+0.21X14<=38620
makine187) 0.02X4+0.02X5+0.01X9+0.03X10+0.03X11+0.01X34+0.1X38+0.1X39<=38590
makine188) 0.04X6<=38590
makine202) 0.75X40<=38620
makine219) 0.23X26+0.23X27<=38650
makine221) 0.38X15+0.38X16+0.38X17+0.38X18+0.38X19<=38530
makine258) 0.75X1+0.75X22+0.75X23+0.75X24+0.75X25<=38590

!İSCİLİK KISITI;
iscilik)15x15+15x16+15x17+20x18+15x19<=466560

END

EK H. Modelin Lingo Çıktısı

LINGO/WIN64 19.0.53 (17 Feb 2022), LINDO API 13.0.4099.331

Licensee info: Eval Use Only
License expires: 27 APR 2023

Global optimal solution found.	
Objective value:	6923810.
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	6
Elapsed runtime seconds:	0.08
Model Class:	LP
Total variables:	40
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	0
Total constraints:	72
Nonlinear constraints:	0
Total nonzeros:	192
Nonlinear nonzeros:	0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	11440.00	0.000000
X2	25000.00	0.000000
X3	10200.00	0.000000
X4	15200.00	0.000000
X5	15200.00	0.000000
X6	964750.0	0.000000
X7	965000.0	0.000000
X8	47567.90	0.000000
X9	3053150.	0.000000
X10	30300.00	0.000000
X11	112800.0	0.000000
X12	70000.00	0.000000
X13	52000.00	0.000000
X14	1000.000	0.000000
X15	3800.000	0.000000

X16	3000.000	0.000000
X17	7000.000	0.000000
X18	7000.000	0.000000
X19	7200.000	0.000000
X20	14160.00	0.000000
X21	11160.00	0.000000
X22	9000.000	0.000000
X23	9000.000	0.000000
X24	1950.000	0.000000
X25	1950.000	0.000000
X26	121514.2	0.000000
X27	11904.00	0.000000
X28	467994.0	0.000000
X29	506.0000	0.000000
X30	3900.000	0.000000
X31	3900.000	0.000000
X32	11160.00	0.000000
X33	10800.00	0.000000
X34	9750.000	0.000000
X35	366100.0	0.000000
X36	20000.00	0.000000
X37	42309.09	0.000000
X38	20400.00	0.000000
X39	10200.00	0.000000
X40	28560.00	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	6923810.	1.000000
SACKISITI	0.000000	7.354839
TAMAMLAYICIPARCA1	39000.00	0.000000

TAMAMLAYICIPARCA2	47200.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA3	1500.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA4	8000.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA5	3000.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA6	11000.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA7	25800.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA8	3000.000	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA9	0.000000	9.867097
TAMAMLAYICIPARCA10	35800.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA11	28000.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA12	47800.00	0.000000
TAMAMLAYICIPARCA13	2300.000	0.000000
MENTESEKARSILIK	0.000000	-1.947742
MUSLUKKELEPCE	0.000000	-32.90387
BAYONET	0.000000	-1.270323
CEKMECEKAPAK	0.000000	-0.7193548
PROFILAYAK	0.000000	-0.7806452
KUCUKKLIPS	806050.0	0.000000
BUYUKKLIPS	789500.0	0.000000
BUHARSACI	15567.90	0.000000
SAGBRAKET	3021950.	0.000000
SOLBRAKET	0.000000	-0.7258065
LOWERDOOR	0.000000	-0.7822581
METALKORUMA	0.000000	-0.6709677E-01
DARKAPIKOLU	0.000000	-0.1270968
GENISKAPIKOLU	0.000000	-0.1070968
BEYAZNSP	0.000000	-0.7729032
ESKINSP	0.000000	-0.7129032
LOTUSNSP	0.000000	-2.064194
YENIZAMAKLI	2000.000	0.000000

ESKIZAMAKLI	0.000000	-2.052903
SOLUCGEN	0.000000	-1.031935
SAGUCGEN	0.000000	-1.031935
SAGUSTMENTESE	0.000000	-0.2083871
SOLUSTMENTESE	0.000000	-0.2083871
SOLLOTUS	0.000000	-0.2083871
SAGLOTUS	0.000000	-0.2083871
BMTAKVIYE	110282.2	0.000000
SDTAKVIYE	0.000000	-1.657097
SOLKAPATMA	467350.0	0.000000
SAGKAPATMA	0.000000	-0.4700000
SAGBMPANEL	0.000000	-0.2506452
SOLBMPANEL	0.000000	-0.2506452
SOLYANYANA	0.000000	-0.4167742
SAGYANYANA	0.000000	-0.5867742
KABLOGIRIS	0.000000	-0.4535484
VIDATAKVIYE	364400.0	0.000000
SAGPANELBAGLANTI	0.000000	0.000000
SOLPANELBAGLANTI	22309.09	0.000000
ZPARCASI	0.000000	-4.133871
YANSABITLEME	0.000000	-3.340323
ODASABITLEME	0.000000	-0.5661290
MAKINE14	4846.790	0.000000
MAKINE106	0.000000	0.4134897
MAKINE107	0.000000	0.4193548
MAKINE108	0.000000	78.18280
MAKINE109	0.000000	17.91129
MAKINE142	120.0000	0.000000
MAKINE166	21184.00	0.000000
MAKINE177	0.000000	5.445161

MAKINE178	3141.091	0.000000
MAKINE182	12790.00	0.000000
MAKINE187	0.000000	36.29032
MAKINE188	0.000000	17.66129
MAKINE202	17200.00	0.000000
MAKINE219	7963.811	0.000000
MAKINE221	27890.00	0.000000
MAKINE258	13585.00	0.000000
ISCILIK	11560.00	0.000000

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dilara ÖZÜLKÜ

Eğitim Durumu

Lise : Asiye Ağaoğlu Anadolu Lisesi, 2013

Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2017

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 2022

Yayınları

Özülkü, D., Kaçtıoğlu, S., 2022. Üretim Planlamada Bulanık Doğrusal Programlama Yöntemi: Metal Sektöründe Bir Uygulama. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi (Kabul Edildi).