

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ÜRETİM ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMADA GÖLGE
FİYATLARIN İNCELENMESİ**

Yavuz KUK

2501182028

TEZ DANIŞMANI

Dr. Öğr. Üyesi Halit Alper TAYALI

İSTANBUL – 2021

ÖZ

BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMADA GÖLGE FİYATLARIN İNCELENMESİ

Yavuz KUK

Ticari işletmelerin amacı en uygun maliyet ile olası en yüksek kârı elde etmektir. Ancak bu amaç sınırlı kaynaklar (üretim, imalat ya da teslimata ilişkin faaliyet süreleri, vb.) ve talebin değişkenliğinden oldukça etkilenir. İşletmeler bu engelleri aşmak ve kaynakları en verimli şekilde kullanmak için planlama faaliyetlerinden yararlanır.

Bu çalışma, herhangi bir işletmenin belirli bir dönemde karşılamak ile yükümlü olduğu talebin arzına ilişkin bir orta vadeli planlama faaliyeti tasarlarırken literatürdeki çeşitli stratejik yaklaşımları aktarır. Altı aylık bir imalat süreci için maliyet minimizasyonu hedefi ile oluşturulan bir optimizasyon modelinde karşılaştırmalı sonuçlar tartışılmıştır. Çeşitli bütünsel üretim planlama stratejilerine ilişkin sayısal problemlerin modellenmesinde doğrusal programlama tekniğinden faydalanılırken çözümler R programlama dili ile hesaplanmıştır. Hesaplama ve farklı simülasyonların kolayca yapılabilmesi için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada bütünsel üretim planlama literatüründe dual problem ilk kez modellenmiş ve dual değişkenlerin ekonomik yorumu ışığında kaynakların gölge fiyatları ile azaltılmış maliyetleri hesaplanarak üretim süreçlerinin finansal değerlemelerine de özgün bir katkı sunulmuştur. Başlangıç maliyetleri ve hesaplanan gölge fiyatları karşılaştırılarak geliştirmeler önerilmiş, işletmelerin yönetici ve planlama departmanlarında görev alan sorumlulara kılavuzluk yapacak bir çalışma amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gölge Fiyatı, Bütünsel Üretim Planlama, Karar Destek Sistemi, Doğrusal Programlama, Optimizasyon

ABSTRACT

EXAMINATION OF SHADOW PRICES IN AGGREGATE PRODUCTION PLANNING Yavuz KUK

The aim of commercial enterprises is to provide the highest possible profit with the most proper cost. However, this objective is highly affected by limited resources (production, manufacturing, or delivery operating times, etc.) and the variability of demand. Businesses benefit from planning activities to overcome these obstacles and use resources in the best productive way.

This study conveys various strategic approaches in the literature while designing a medium-term planning activity regarding the supply of demand that any business is obliged to meet in a certain period. An optimization study aimed at minimizing the cost of a six-month manufacturing process was conducted and the comparative results were discussed. While modeling quantitative problems related to various aggregate production planning strategies, linear programming technique is used, solutions are calculated with R programming language. A decision support system has been developed to easily perform calculations and different simulations. In addition, in this study, the dual problem is modeled for the first time in the aggregate production planning literature, and it provides a unique contribution to the financial valuation of production processes by calculating the shadow prices and reduced costs of resources in the light of the economic interpretation of dual variables. Improvements were proposed by comparing the initial costs and calculated shadow prices, and this study was aimed to guide for the managers and responsables of planning departments of enterprises.

Keywords: Shadow Price, Aggregate Production Planning, Decision Support System, Linear Programming, Optimization

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının önemi ve amacı ulaşılan analitik gölge fiyatları ile gerçekleşen fiili kaynak fiyatları arasındaki farkların incelenerek önerilecek geliştirmeler sayesinde işletmelerin planlama departmanı çalışanlarına ve yöneticilerine kılavuzluk edecek bir kaynak niteliğinde olmasıdır. Çalışmamızın kapsamı ise matematiksel optimizasyon tekniklerinden doğrusal programlama yöntemi ile R programlama dilini kullanarak çözdüğümüz bütünleşik üretim planlama probleminin incelenmesidir. Geliştirdiğimiz kullanıcı dostu karar destek sistemi, konu hakkında teknik bilgisi olmayan kullanıcıların kolaylıkla hesaplama yapmasına yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmanın ortaya çıkış sürecinde destek ve katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen, daha da önemlisi bana yeni ufuklar açan tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Halit Alper TAYALI'ya özellikle teşekkür ederim. Bilgi, belge ve çalışmalarını tereddütsüz paylaşması ve ihtiyacım olan her an yanımda olması benim için çok önemliydi.

Üretim Ana Bilim Dalı'ndaki tüm hocalarıma ayrı ayrı teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans için beni yönlendiren ve sürekli teşvik eden sayın Doç. Dr. Yurdağül MERAL'e ayrıca teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sundukları tüm imkânlar için Annem'e ve rahmetli Babam'a sevgilerimle...

Yavuz KUK

İSTANBUL, 2021

İÇİNDEKİLER

ÖZ	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	ix
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA	4
1.1. TANIMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ	4
1.2. BÜTÜNLEŞİK PLANLAMA STRATEJİLERİ	11
1.2.1. Kapasite Stratejileri	13
1.2.1.1. Stok Seviyelerinin Değiştirilmesi	13
1.2.1.2. İşe Alma veya Çıkarma ile İşgücü Seviyesinin Değiştirilmesi	13
1.2.1.3. Fazla Mesai veya Boş Zamanlar ile Üretim Oranlarının Değiştirilmesi	13
1.2.1.4. Fason Üretim.....	14
1.2.1.5. Yarı Zamanlı İşgücü Kullanımı.....	14
1.2.2. Talep Stratejileri	14
1.2.2.1. Talebi Etkilemek	14
1.2.2.2. Yüksek Talep Dönemlerinde Yok Satma	15
1.2.2.3. Zıt Mevsimsel Ürün ya da Hizmet Karmaşı Kullanımı	15
1.2.3. Karma stratejiler	15
1.2.3.1. Üretimin Talebi İzleme Stratejisi	15
1.2.3.2. Sabit Üretim Hızı Stratejisi.....	16
1.2.3.3. Esneklik stratejisi	16
1.3. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA YÖNTEMLERİ	17
1.3.1. Sezgisel Yaklaşım	17
1.3.2. Grafikselsel Yöntem ya da Çizelgeleme Yöntemi.....	18

1.3.3. Matematiksel Yaklaşımlar.....	18
--------------------------------------	----

İKİNCİ BÖLÜM

GÖLGE FİYAT

2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA	21
2.1 TARİHSEL GELİŞİMİ, TANIMI VE BİLEŞENLERİ	21
2.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMADA DUALİTE	25
2.3. DUAL DEĞİŞKENLERİN EKONOMİK YORUMU VE GÖLGE FİYATLAR	28
2.4. AZALTILMIŞ MALİYETLER.....	31
2.5. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMADA GÖLGE FİYATLAR İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ	31

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMADA GÖLGE FİYATLARIN İNCELENMESİ

3. KARAR DESTEK SİSTEMİ UYGULAMASI	34
3.1. ÖRNEK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA PROBLEMİ.....	34
3.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA	36
3.2.1. Karar Değişkenleri.....	36
3.2.2. Amaç Fonksiyonu.....	36
3.2.3. Kısıtlar.....	38
3.3. KARAR DESTEK SİSTEMİ İLE ÖRNEK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ	40
3.3.1. R Programlama	40
3.3.2. Karar Destek Sistemi Uygulaması	40
3.4. ÖRNEK PROBLEMİN OPTİMİZASYONU VE OPTİMAL SONUÇLARI.....	42
3.5. ÖRNEK PROBLEMDE GÖLGE FİYATLARIN İNCELENMESİ	44
3.6. ÖRNEK PROBLEMİN AZALTILMIŞ MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ	50
3.7. ENFLASYON ETKİSİNİN GÖLGE FİYATLARA YANSIMASI	52
SONUÇ	54
KAYNAKÇA	57
EKLER.....	63
EK 1.	63
EK 2.	67
EK 3.	70

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1: Primal-Dual modellerinin gösterimi (Taha, 2000).....	26
Tablo 3.1: Örnek problemin talep tahmini (Chopra ve Meindl, 2017).....	34
Tablo 3.2: Örnek problemin üretim maliyetleri (Chopra ve Meindl, 2017).	35
Tablo 3.3: Örnek problemin optimal çözümünde karar değişkenlerinin aldığı değerler.	43
Tablo 3.4: Örnek problemin optimal çözümünde kısıtların gölge fiyatları.....	45
Tablo 3.5: Stok dengesi kısıtının gölge fiyatı ile talep artışı arasındaki ilişki.	48
Tablo 3.6: Örnek problemin optimal çözümünde karar değişkenlerinin azaltılmış maliyetleri.	50
Tablo 3.7: %40 enflasyonlu örnek çalışmanın optimal çözümünde karar değişkenlerinin aldığı değerler.	52
Tablo 3.8: %40 enflasyonlu örnek çalışmanın optimal çözümünde kısıtların gölge fiyatları.....	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Bütünleşik Üretim Planlama (Heizer ve Render, 2017).	8
Şekil 3.1: Karar Destek Sistemi'nin veri giriş bölümü.....	41
Şekil 3.2: Karar Destek Sistemi'nin optimizasyon butonu ve sonuçların verildiği bölüm.....	42
Şekil 3.3: Karar Destek Sistemi'nin sonuçların devamı ve açıklamaların verildiği bölüm.....	43
Şekil 3.4: Stok dengesi kısıtı, talep-gölge fiyatı ilişkisi.	47



KISALTMALAR LİSTESİ

BÜP	: Bütünleşik Üretim Planlama
DP	: Doğrusal Programlama
GLPK	: GNU Linear Programming Kit
GNU	: GNU's Not Unix
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
HMMSS	: HMMS research team of Holt, Modigliani, Muth, and Simon at Carnegie Tech's new Graduate School of Industrial Administration
KDS	: Karar Destek Sistemi
Pb	: Para birimi

GİRİŞ

Bir işletme üretim faaliyeti için çok çeşitli kaynaklardan yararlanır ve üretim sürdürükçe bu üretim faktörleri azalma eğilimindedir. Fakat diyelim ki işletmenin ürettiği ürüne piyasada bir miktar daha talep var ve ek kaynağı olsa daha fazlasını üretebilecek kapasitesi de mevcut. İşletme daha fazlasını üretmeli mi? Daha fazla üretip satmak işletme cirosunu artırırken bir önceki üretim seviyesine kıyasla toplam kâr da artar mı? Yoksa katlanılan maliyet kazanılacak ilave kârdan fazla mı olur? Kısaca; attığımız taş ürküttüğümüz kurbağaya değer mi? Bunların cevabını bize gölge fiyatları söyler.

Kaynakların sonsuz ve sınırsız olduğu bir dünyada yaşamıyoruz. Bu nedenle sahip olduğumuz kaynak ve imkânları gerektiği kadar ve etkin bir şekilde kullanmak bir insanlık görevi olmasının yanı sıra gelecek nesillere olan borcumuzdur. Hem üretirken hem de tüketirken israftan kaçınmak bilinçli bir insanın dünyaya ve diğer insanlara sorumluluğudur. Ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik ile sıfır atık hedeflerini kendine yaşam tarzı olarak benimsemiş insanlar dünyamızı daha yaşanabilir bir yer hâline getirerek yoksulluk ve açlık çeken milyonlarca insanın refah düzeyini yükseltebilir.

Bireylerin yanı sıra ticari işletmeler de faaliyetlerini yürütürken aynı hassasiyeti göstermeli ve sahip oldukları kaynakları verimli ve etkin bir şekilde kullanılmalıdır. Bireylerin amacı mevcut gelirleri ile harcamalarını karşılamak, işletmelerin amacı ise faaliyet alanlarındaki talebi karşılamak üzere üretim yapmaktır. Şüphesiz ki bunu yaparken minimum maliyetle maksimum kazanç sağlamak isterler.

Küreselleşmeyle birlikte gelişen bilgi ve iletişim teknolojileri dünyayı âdeta bir bilgisayar ekranına sığdırarak her köşesine istediğimiz anda erişebildiğimiz bir yer haline getirmiştir. Dolayısıyla isteyen her firma ulusal sınırları aşarak ticaretini uluslararası boyutlara taşıyabilmektedir. Pazarların bütünleşmesi ve ticari aktörlerin artarak çeşitlenmesi rekabeti de artırmaktadır. Artan rekabetle baş edebilmek için kaynakların verimli ve etkin kullanımı şarttır. Ayrıca akıllı tahminlerden yararlanarak maliyet minimizasyonu ya da kâr maksimizasyonu sağlayan çeşitli planlama faaliyetleri de firmaların rekabet gücünü artıran unsurlardır (Tayalı, 2021b, 2021c).

Belirli bir dönem için mevcut kaynakları optimal şekilde kullanıp talep ve üretimi birlikte planlayan ve maksimum kâr ya da minimum maliyet sağlamayı amaçlayan bütünleşik üretim planlama (BÜP) faaliyeti bu çalışmanın ana konusudur.

Birden fazla ürün grubunun üretiminin birlikte yapıldığı, talebin değişken ve tahmine dayalı olduğu sektörlerde BÜP, optimal kaynak dağılımı ve üretimin verimliliği için kullanılan etkin bir araçtır. Çalışmamızda kapasitesi büyük ölçüde işgücünün büyüklüğüne bağlı olan bir işletmenin (Chopra ve Meindl, 2017) altı aylık dönem için yapılan talep tahminini karşılamak üzere üretim faaliyetini optimal şekilde planlarken mevcut kaynakları verimli ve etkin bir şekilde kullanarak maliyeti minimuma indiren bir plan hazırladık.

Bu çalışmanın amacı; hazırladığımız BÜP üzerinden ulaştığımız analitik gölge fiyatları ile gerçekleşen fiili kaynak fiyatları arasındaki farkları yorumlayarak işletmelerin planlama departmanları ve yöneticilerine kılavuzluk edecek bir kaynak oluşturmasıdır. Çalışmanın önemi ise; BÜP literatüründe dual problemin ilk kez modellenmiş ve dual değişkenlerin ekonomik yorumu ışığında kaynakların gölge fiyatları ile azaltılmış maliyetleri hesaplanarak üretim süreçlerinin finansal değerlemelerine de özgün bir katkı sunmasıdır.

Örnek BÜP problemimizi çözerken matematiksel optimizasyon yöntemlerinden doğrusal programlama (DP) tekniğini kullandık. Çözümleri ise R programlama dilini kullanarak hesapladık. Çözümleri hesaplarken hem matematiksel tekniklerden hem de bilgisayar programlama dilinden faydalanmak çözüme giden yolu karmaşık ve zor bir duruma getiriyordu. İlaveten, hedef kitlemiz olan işletmelerin karar alıcıları ve planlama sorumluları bu konularda yeterli teknik bilgiye sahip olmayabilir. Bu nedenle onların işlerini kolaylaştırmak ve farklı simülasyonları rahatça deneyebilmeleri için örnek BÜP problemimize özel tasarlanmış bir karar destek sistemi (KDS) geliştirdik.

Çalışmamızın birinci bölümünde BÜP faaliyetinin tanımını yaparak ortaya çıkışını ve tarihsel gelişimini anlattık. BÜP yapılırken uygulanan strateji ve yöntem seçeneklerini detaylı bir şekilde açıklayarak farklı strateji ve yöntemleri kullanan çalışmalardan örnekler verdik.

İkinci bölümde optimizasyon, matematiksel modeller ve modelleme hakkında tanımlayıcı bilgiler vererek çalışmamızda kullandığımız DP yöntemini detaylı bir

şekilde açıkladık. Ayrıca, primal ve dual problemleri tanımlayıp aralarındaki ilişkiyi açıklayarak karşılaştırmasını yaptık. Daha sonra dualite kavramını açıklayarak dual değişkenlerin ekonomik yorumuna değindik. KDS'nin tanımını ve içeriğini anlatıp BÜP yaparken KDS uygulamalarından yararlanan çalışmalardan örnekler verdik. Gölge fiyatı ve azaltılmış maliyet konularını anlatarak bölümü tamamlamış olduk.

Üçüncü bölüme örnek BÜP problemi ve bileşenlerini tanımlayarak başladık. Devamında, DP yöntemi ile çözdüğümüz problemin sonucunda ulaştığımız gölge fiyatları ve azaltılmış maliyetleri tablolar hâlinde vererek detaylı bir şekilde inceledik. Problemin optimizasyonunda ve KDS'nin hazırlanmasında kullandığımız bilgisayar kodlarını ise Ekler kısmında açıklamalı bir şekilde verdik.

Çalışmamıza başlarken gölge fiyatını bilmenin BÜP yapılırken etkinlik ve verimliliği sağlayabilmek için önemli bir unsur olduğunu düşünüyorduk ve aklımızda çeşitli sorular vardı. Tüklenen ya da kısıtlanan kaynaktan bir birim daha fazlasına sahip olmak maliyeti düşürür mü ya da kârı ne kadar artırır? Bir birim daha fazla kaynağa sahip olmak için ödenecek tutar kârda o tutardan daha fazla bir artış sağlayabilir mi yoksa kâr ödenen tutardan daha az mı artar? Sonuç olarak kazanılan ödenenden fazla mı olur? Yoksa yapılan harcamaya değmez mi? Örnek BÜP probleminin optimal sonuçlarına ulaştığımızda gördük ki gölge fiyatları planlama ufku boyunca aylara göre değişiklik gösteriyor. Attığımız taşın ürküttüğümüz kurbağaya değme oranı her ay farklı. Amacı maliyetin minimizasyonu ya da kârın maksimizasyonu olan bir karar alıcı ya da planlama sorumlusu planlama ufkunda aylara göre değişen gölge fiyatlarını bilirse strateji ve yöntem değişikliği seçeneklerini, gölge fiyatlarını bilmeyenlere göre daha etkin ve verimli bir şekilde kullanabilir.

Sonuç bölümünde, gölge fiyatları ve değişkenliklerini yorumlayarak işletmelere sağlayacakları fayda ve getiriler üzerinde değerlendirmelerde bulunarak çeşitli öneriler sunduk.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA

1.1. TANIMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Yaşadığımız dünyada üretim, nakliye, depolama ve bilgi kapasitesi bedelsiz ve sınırsız değildir. Ayrıca ürün ve hizmetlerin üretilip teslim edilebilmeleri için belli bir süre gerekir. Bu nedenlerden ötürü işletmeler talebi ve üretimi birlikte -bütünleşik olarak- planlamaya ihtiyaç duyar. Bütünleşik üretim planlama, 3-18 aylık dönemi kapsayan ve üretim süreçlerinin verimliliğini arttırmayı amaçlayan orta vadeli bir planlama sürecidir (Chopra ve Meindl, 2017; Heizer ve Render, 2017).

Tarihsel süreç içerisinde düşünürler planlama faaliyetini farklı şekillerde tanımlayarak ortak ya da ayrışan yönlerine göre sınıflandırmalar yapmışlardır. Planlamanın amacı ya da planlama yapılırken kullanılan yöntemlere göre bu sınıflandırmalar çeşitlilik göstermektedir.

Planlama, operasyonlar ve kontrolle birlikte yönetim faaliyetlerinin üç ana başlığından birisidir. Bir faaliyet yöntemi belirlemek için çeşitli teklif ve alternatiflerin değerlendirilip sonuçlarının sırasıyla izlendiği aşama olup planlama yapılırken çoğunlukla doğrusal programlama uygulamaları kullanılır (Charnes ve Cooper, 1957).

Çalışmamızın konusu olan üretim planlama modelleri tanımlayıcı ve normatif olarak iki ana başlık altında toplanır. Normatif modeller üretim planlamacılarının ne yapması gerektiğine odaklanan modellerdir. Bütünleşik planlama modeli normatif modellerin alt başlıklarından biridir. Bütünleşik planlama modellerinin ortak yönleri, gelecek planlama dönemi için optimal üretim miktarı ve işgücü seviyesini belirlemektir. Bu modeller de kendi içinde kesin ve sezgisel modeller olarak iki alt grupta incelenir. Doğrusal maliyet yöntemleri ve ikinci dereceden maliyet yöntemleri kesin modellerin alt gruplarından olup Hanssmann ve Hess'in 1960 tarihli çalışması doğrusal programlama yöntemini kullanan ilk çalışmadır. Holt ve arkadaşlarının 1960 tarihli çalışması ise ikinci dereceden maliyet yöntemlerini kullanan en bilinen modeldir. "İlk" olarak tanımlanan Hanssmann ve Hess'in 1960 tarihli çalışması üretim ve istihdam planlamasındaki pratik uygulamaların ve teorik modellerin çoğunda maliyet

fonksiyonlarının doğrusal olduğunu belirterek problemlerin doğrusal programlama yöntemleriyle çözülebileceğini göstermiştir (Saad, 1982).

Literatürdeki boşlukları belirterek BÜP modellerini sınıflandırmak için sistematik bir yapı öneren makale, Nam ve Logendran tarafından 1992 yılında yapılan ve 1950 ila 1990 yılları arasındaki BÜP tekniklerini özetleyen çalışmadan sonra literatürde sistematik bir araştırma yapılmadığını vurgulamaktadır. Makale, diğer incelemelerin aksine BÜP modellerindeki metodolojilere odaklanarak modelleme yapıları ve çözüm yaklaşımları konularında öneriler sunmaktadır (Cheraghalikhani, Khoshalhan ve Mokhtari, 2019).

Talebi ve arzı birlikte, “eşleştirerek” planlayan ve maliyet minimizasyonu ya da kâr maksimizasyonu hedefleyen BÜP ilk kez 1950’li yılların başlarında kullanıldı. Üretim yöneticilerinin kullandıkları mevcut yöntemlere göre daha iyi ve kolay karar vermesi için geliştirilen yeni yöntemleri raporlayan çalışmada, ortaya çıkan performansın mevcut karar yöntemlerinden daha iyi olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışma, üretim yapan ticari işletmeler için bilgisayar kullanılarak yapılan sayısal karar yöntemlerini geliştirmek üzere HMMS araştırma ekibini (“HMMS research team of Holt, Modigliani, Muth, and Simon at Carnegie Tech’s new Graduate School of Industrial Administration”) kurduklarını ve 15 üretim yöneticisi ile görüşerek onlara en fazla sıkıntı yaratan problemleri belirlemeye çalıştıklarını anlatır. Üretim planlarının nasıl yapıldığını sorguladıklarında çalışma saatleri ve binlerce ürün için kontrolsüz bir şekilde dalgalanan talep tahminleri arasında uyum sağlanamadığını görürler. Ayrıca genel üretim planları ve belirli ürünlerin üretim planları arasında da uyumsuzluklar yaşanmaktadır. Araştırma kapsamındaki şirketlerin karşılaştıkları planlama sorunları belirgin benzerlikler gösterdiğinden bir şirketin problemini çözerlerse bu yöntemi diğer şirketler için de kullanabileceklerini düşünerek araştırmalarını somutlaştırmak için boya üreten bir firma ile anlaşılan HMMS boya talebini tahmin edip işgücü, toplam üretim, birim bazında üretim oranları ve stok seviyelerini optimal şekilde planladığı sanal bir ortam oluşturdu. Her dönem için bu sanal fabrikanın verileri gerçek fabrikanın verileriyle karşılaştırıldı ve neredeyse her dönemde tüm ölçümler için sanal fabrika kazandı. Bu sonuçları doğrulamak için öncelikle fabrikanın %10’luk kısmı ve kademeli olarak tamamı yeni sistemle planlanmak üzere atandı. Ancak bu aşamada ekip, devlet desteğiyle yapılan araştırmanın bir boya şirketinin gelirlerini artırmak için kullanılmasının etik olmadığını düşünerek çalışmalarını bitirdi ve araştırma

sonuçlarını bir kitapta (Planning Production, Inventories and Workforce, by Charles C. Holt, Franco Modigliani, John F. Muth, and Herbert A. Simon, 1960) toplamaya karar verdi (Holt, Modigliani ve Simon, 1955; Holt, 2002).

Holt, Modigliani ve Simon'un yaptıkları çalışmalar ile ilgili olarak yayınladıkları bir dizi makale ve kitap tedarik zinciri yönetimi ve operasyonları alanında bir rönesansa yol açarak bugün bildiğimiz anlamdaki üretim ve tedarik zinciri yönetimi anlayışını iki ana ekseninde değiştirmiştir. İlki; görünüşte ilgisiz ve yönetsel olmayan bireysel görevler, bütünleşmiş bir üretim yönetimi sisteminin parçaları olarak görülmeye başlandı. İkincisi ise; BÜP işletme ve tedarik zincirini birbiriyle ilişkilendirerek operasyon yönetiminin merkezi rolünü ön plana çıkardı (Singhal ve Singhal, 2007).

1955'te Holt, Modigliani ve Simon'un HMMS modelini açıklamasından sonra araştırmacılar BÜP problemlerini çözmek için çeşitli yöntemler geliştirmiştir. HMMS modeli BÜP problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılan modellerden biridir. Toplam giderleri minimize ederek optimal üretim oranı ve işgücü seviyesini belirlemeye çalışır (Wang ve Liang, 2005).

BÜP, şirketlerin gelecekte gerçekleşmesi muhtemel talebi tahmin etmelerine ve nasıl karşılayacaklarına yönelik bazı soruları cevaplamasına yardımcı olur. En yoğun aylarda bile talebi karşılayacak büyüklükte bir tesise yatırım yapılmalı mıdır? Yoksa kapasitesi daha küçük bir tesise yatırım yapıp yoğun olmayan dönemlerde de tam kapasite çalışarak stok maliyetlerine katlanıp yoğun dönem talepleri stoktan mı karşılanmalıdır? BÜP, mevcut imkânların en iyi şekilde nasıl kullanılacağı üzerine çalışır. Amacı belirli bir dönemde talebi karşılarken kârı da maksimum seviyeye çıkarmak olup kapasite, üretim, fason üretim, stok, stok tükenmesi ve hatta fiyat seviyelerinin planlandığı bir planlama sürecidir (Chopra ve Meindl, 2017).

BÜP'ün çözüm üreteceği süre "planlama dönemi" olarak adlandırılır. Şirketler hem planlama dönemini hem de dönem içindeki periyot süresini (hafta/ay/üç ay) belirlemelidir. BÜP, iş gücü, fazla mesai, makine kapasite seviyesi, fason üretim, bekleyen siparişler ve mevcut stok gibi işletme parametrelerinin tespit edilen plan dönemi boyunca belirlenmesini amaçlar. Genellikle aylarla sınırlı dönemler için yapılan orta vadeli planlar, şirketlerin uzun vadeli plan ve stratejik kararları neticesinde oluşmuş mevcut kısıtlı kaynakların uyumlu bir şekilde kullanılması için tasarlanırlar.

Sürekli değişkenlik gösteren talep ile mevcut üretim potansiyelinin eşleştirilebilmesi orta vadeli planların en büyük zorluğudur (Chopra ve Meindl, 2017; Heizer ve Render, 2017).

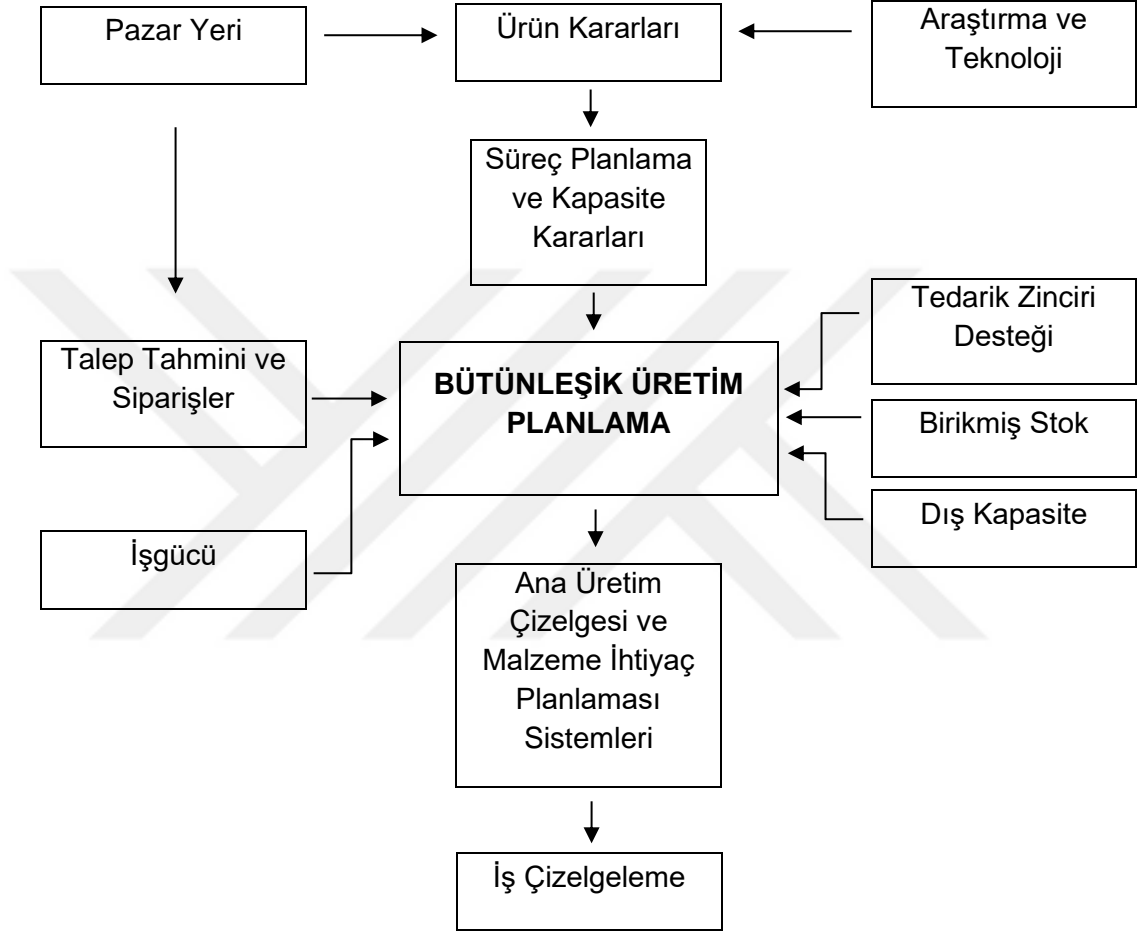
Mevsim şartlarının üretim faaliyetlerine etkisi ya da kullanılan hammaddelerin mevsimsel olup olmadığı da planlama dönemi belirlenirken göz ardı edilmemelidir. Üretici belirli bir fiziki çevreye yönelik faaliyet gösteriyorsa o bölgede aylara göre yaşanacak nüfus değişiklikleri de dikkate alınmalıdır. Yazları turist akınına uğrayan bir tatil kasabasında faaliyet gösteren bir işletme dönem içindeki periyot sürelerini bu duruma göre belirlemelidir. Yoğun aylarda kapasite artırımı mı yapmalı yoksa yoğun olmayan aylarda stoğa üretim yapma seçeneği mi değerlendirmeli karar vermelidir.

Etkin ve amacına hizmet eden bir planlama yapabilmek için öncelikle sahip olduklarımızı ve gücümüzün ya da imkânlarımızın nereye kadar yetebileceğini doğru ve objektif bir şekilde tespit etmeliyiz. Yol haritamızı çizerken ne kadar doğru bilgi ve veriye sahipsek yolun sonunda o denli başarılı oluruz.

İş analitiği, verilerden anlam çıkaran göz ardı edilmemesi gereken bir devrimdir. Günümüzde yeni pazar ve fırsatları tespit ederek uygun ürün ve hizmet tasarlamak için verileri kullanırız. İş dünyasında veri artık “yeni petrol” olarak adlandırılmaktadır ancak gerçek anlamını yorumlamak oldukça zordur. Verilerden anlam çıkarabilmek için görev ve yeteneklerle uyumlu bir iş performansı yönetimini uygun strateji ve hareket tarzı ile bütünleştirmek gerekir (Acito ve Khatri, 2014).

Etkin bir BÜP için talep tahmini ve tedarik zinciri arasındaki koordinasyon şarttır. Firmanın iç dinamikleri ve tedarik zincirinin sınır ve kısıtları bu koordinasyonu zorlaştırabilir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi firmalara içerden ve dışardan çok çeşitli bilgi ve kaynak girişi olur. İç ve dış her türlü kısıt ile bilgi ve beklentiler BÜP’te doğru bir şekilde kullanılmalıdır. Zamanında eyleme geçirilmeyen ya da belirli periyotlarda güncellenmeyen BÜP etkisiz olur. Talep tahmini yapılırken önceki dönem ürün satışıları, yeni ürünler için satış tahminleri, yapılacak yenilikçilik ve promosyonlar ile yerel birimlerden gelecek talep bilgileri kullanılır. Ulaşılan talep tahmini, mevcut kapasite, kapasite artırım planları ve maliyet, planlamacılar tarafından eşleştirilir ve bu süreçlerin tamamı bütünleşik planlamayı oluşturur. Gelecekte gerçekte muhtemel tahmini talebi karşılamak üzere hazırlanan bütünleşik planın amacı planlama dönemi boyunca maliyeti minimize etmektir. Ancak, sürekli ve dengeli bir

işgücü oluşturmak, stok seviyelerini indirmek veya yüksek hizmet kalitesi sunmak gibi stratejik kararlar bazı durumlarda firmalar için maliyeti düşürmekten daha önemli olabilir (Heizer ve Render, 2017).



Şekil 1.1: Bütünleşik Üretim Planlama (Heizer ve Render, 2017).

Talep tahminini BÜP faaliyetinin ilk aşaması olarak değerlendirebiliriz. Üretim maliyetlerinin hesaplanması, mevcut kapasitenin belirlenmesi ve fiziki imkânların tespiti planlayıcıların işini kolaylaştıracak diğer unsurlar olarak sıralanabilir.

BÜP sürecinde ana amaç, planlama dönemi boyunca üretim standardını korurken işe alma ve işten çıkarmalardaki dalgalanmaları engelleyerek maliyetleri en aza indirmektir. Bunun için ilk olarak planlama dönemine ait talep tahminleri ve bir birim ürün üretebilmek için gerekli çalışma saati gibi hesaplamalar yapılır. Daha sonra planlayıcılar dönemin tamamını kapsayan tahmini talebi karşılamak için işgücü, kapasite ve stok seviyesi (başlangıç ve emniyet stoku) gibi değiştirebilecekleri

etkenler üzerinde çalışarak farklı stratejiler oluşturur ve bu stratejilerden en düşük maliyetlisini seçerler. Bütünleşik planlamanın en önemli ögesi sayılan maliyetler üç başlıkta toplanır (Akyurt, t.y.):

- Stok Değişimi Kaynaklı Maliyetler: Kullanılan stok yöntemine bağlı maliyetler stok politikasının belirlenmesini sağlar. Değişen stok politikasıyla maliyetler de değişir. Stok tutma veya tutmama ile sipariş maliyetleri bu kapsamda sayılabilir.
- Üretim Hızının Değişiminden Kaynaklanan Maliyetler: Fazla mesai, boş zamanlar ve fason üretim tercihine göre oluşan maliyetlerdir.
- İşgücü Büyüklüğünün Değişiminden Kaynaklanan Maliyetler: İşe yeni alınan işgörenlerin eğitim ve diğer masrafları ve işten çıkarmalar nedeniyle oluşan maliyetlerdir.

Şekil 1.1’de görülebileceği gibi talep tahmini BÜP hazırlanırken kullanılan ana girdilerden biridir. Ancak üretim yöneticileri farklı kaynaklardan gelen diğer bilgi ve girdileri de dikkate alarak farklı ürünleri bütünleştirirler. İlaveten; üretim adetleri, süreleri, maliyetleri farklı olan ürünler için “ortalama” değerler hesaplarlar (Akyurt, t.y.).

Bütünleşik planlar bireysel ürünlerden çok ürün aileleri veya hatları ile ilgili bilgiler doğrultusunda oluşturulur. Farklı ürünlerin üretimi kendine özgü ekipmanlar ve üretim süreçleri gerektirdiğinden yüksek sabit maliyetlere neden olur. Bir işletmenin talep-kapasite uyumunu sağlayabilmesi için ekipmanların etkin ve yüksek oranlı kullanılması gerekir (Heizer ve Render, 2017).

Bütünleşik planlama yapılırken bütünleşik talep tahmini, üretim maliyetleri, bir birim için gerekli olan işgücü ve makine çalışma süresi, stok maliyetleri ve kısıt bilgilerine ihtiyaç duyulur. Üretim maliyetleri işçilik, fason üretim, kapasite değiştirme (istihdam ve işten çıkarma ile kapasite artırma ve azaltma) maliyetlerinden oluşur. Yasalarla belirlenen işgörenlerin iş akdine son verme ve normal mesai sonrası çalışma saatlerinin belirlenmesi kuralları kısıtları oluşturur. Ayrıca işletmenin sahip olduğu anapara ve malların tamamı ile karşılanmayan sipariş ve stok dengesindeki bozulmalar da işletmeyi sınırlandıran faktörlerdir. Tedarikçilerden kaynaklanan

sorunlar ile üretim faaliyetlerinin aksaması da kısıtlar arasında sayılabilir. Bu bilgiler kullanılarak aşağıdakiler belirlenir (Chopra ve Meindl, 2017):

- İşgören sayısını ve tedarikçi alım seviyelerini belirlemek için normal mesai ve fazla mesai süresi içinde üretilecek miktar ile fason üretim miktarı,
- Depo kapasitesi ve çalışma sermayesini belirlemek için stok kapasitesi,
- Müşteri hizmet seviyelerinin belirlenmesi için bekleyen sipariş ya da tükenen stok miktarı,
- Olası işgücü sorunlarını belirlemek için istihdam edilen ve işten çıkarılan işgücü ve
- Yeni üretim donanımı alınması veya mevcut donanımın bekletilmesi için makine kapasite artışı ve azalması.

BÜP arz ve talebi dengelemek için kullanılan bir araçtır. İyi bir plan firma kârlılığını arttırabilir. Yetersiz bir plan ise stok ve kapasite fazlası yaratarak maliyetlerin artmasına ya da mevcut stok ve kapasitenin talebi karşılayamaması sonucu satış ve kâr kaybına neden olabilir (Chopra ve Meindl, 2017).

Üretim faaliyetlerini etkileyen iç ve dış etkenlerin fazlalığı verimli ve etkin bir BÜP yapılmasını zorlaştırmaktadır. Faaliyet alanınız büyüyüp genişledikçe siz ne kadar uğraşırsanız uğraşın özellikle iç etkenlere göre daha az kontrolünüzde olan dış etkenler âdeta sizin başarısız olmanız için çalışırlar. Dünya çapında birçok havayolu şirketi ve pilotun güvenlik bilgilerini içeren uçuş kılavuzlarının üretim ve dağıtımını yapan bir havacılık şirketinin hizmet kalitesi, çizelgeleri büyüdükçe bozulmaya başladı (Katok, Tarantino ve Tiedeman, 2001). Yazarlar, şirketin üretim teknolojisine yapılan yatırımları etkin bir şekilde değerlendirirken üretim planlamasını da optimize eden bir karar destek sistemi geliştirdi. Yapılan çalışma ile iyileşen üretim süreçleri sayesinde azalan gecikmeler müşteri memnuniyetini artırırken, düşen maliyetler de kârlılığı arttırmış oldu.

BÜP'ün ilgi alanına giren ve doğru bir şekilde eşleştirmeye çalıştığı arz-talep ilişkisi makro ekonominin de ilgi alanlarından biridir. Bütünleşik planlama stratejilerine geçmeden önce makro ekonomi alanındaki farklı arz-talep ilişkisi yaklaşımlarına kısaca değinmekte yarar var.

Ekonomik büyüme, düşük işsizlik, düşük enflasyon ve sürdürülebilir bir ticaret dengesi ekonomi politikası oluşturmak için gerekli dört ayrı makroekonomik hedefdir. Bu dört hedefe aynı anda ulaşmak ya da hedefler arasında ödünler vermek gibi konuları makro ekonomi çerçevesinde değerlendiren en yaygın yaklaşıma bütünlük arz ve bütünlük talep modeli denir. Bütünlük arz, makroekonomideki tüm kaynaklar tam olarak kullanılırsa ekonominin ne üretebileceği olarak tanımlanan potansiyel gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ile sınırlıdır. Potansiyel GSYİH ise hem işçilerin hem de makinelerin tam olarak istihdam edildiği tam istihdam GSYİH olarak tanımlanır. Bütünlük arzı etkileyen iki ana neden, teknolojik büyüme ve üretim koşullarındaki keskin değişikliklerdir. Üretkenliğin artması potansiyel GSYİH ve toplam arzı zamanla kademeli olarak artıracaktır. Ancak üretim koşullarındaki diğer değişiklikler toplam arzı düşürebilir. Örneğin petrol fiyatlarındaki artış üretim maliyetlerini artırır, artan maliyetler sistemin daha az üretmesine ve dolayısıyla bütünlük arzın azalmasına neden olabilir. Bütünlük talep ise ekonominin bütününde ürünlere olan talebi ifade eder. Tüketim, yatırım, hükümet harcamaları ve ihracatın toplamından ithalatın çıkarılmasıyla oluşur. Ekonominin bütünü için bütünlük arz miktarı bütünlük talep miktarına eşit olmalıdır. Peki, bütünlük arz mı bütünlük talebi yönlendirir yoksa bütünlük talep mi bütünlük arzı yönlendirir? Bu konuda genel kabul görmüş iki teori vardır: “Arz kendi talebini yaratır” diyen Fransız ekonomist Say’a göre üretilip satılan her ürün ya da hizmet birisine gelir sağlar. Belirli bir arz değeri, ekonominin başka bir yerinde eşdeğer bir gelir değeri ve dolayısıyla talep yaratır. Say yasaının alternatifi, “talep kendi arzını yaratır” diyen İngiliz ekonomist Keynes’in görüşleridir. Keynes, Büyük Buhran gibi durgunluk dönemlerinin çoğunda ekonominin ürün ve hizmet sağlama kapasitesinin çok fazla değişmediğini ancak talepte yaşanan düşüşün firmaları üretmeye teşvik etmediğini savunur. İktisatçılar henüz bu iki model arasındaki boşluğu doldurup birleştirebilen genel kabul görmüş bir çözüm üretmediler. İdeal makroekonomide bütünlük arz üretkenlikle birlikte istikrarlı bir şekilde büyür ve bütünlük talep, bütünlük arz tarafından üretilen gelir sayesinde bu büyümeyi takip eder (Taylor, 2012).

1.2. BÜTÜNLEŞİK PLANLAMA STRATEJİLERİ

Üretim süreçleri işletme ve ürün bazında farklılıklar gösterirken, her süreç kendine özgü avantaj ve dezavantajları da bünyesinde taşır. Strateji oluştururken iç ve dış olmak üzere tüm etkenler dikkate alınmalıdır. İşletmenin konumu ve fiziki

şartları, bulunduğu bölgedeki iklim koşulları ya da ulaşım imkânları iş akışında kesinti veya gecikmelere neden olabilir. Bu kesinti ve gecikmeler elektrik ve enerjiden kaynaklı olabileceği gibi kullanılan makine ya da teçhizat nedeniyle de yaşanabilir.

Üretim tesislerindeki kısıtlayıcı alanlardan biri de darboğazlardır. Darboğazlara odaklanmak üretim sürelerinin kısaltılmasını ve kapasitenin artırılmasını sağlar. Üretim süreçlerinde kapasiteyi kullandığı halde üretim ile sonuçlanmayan hazırlık ve bakım gibi faaliyetler de vardır. Üretim süreleri değerlendirilirken bu gibi faaliyetlerin de dikkate alınması gerekir. Aksi halde kullanılabilir üretim kapasitesi mevcut kapasiteden fazla belirlenecek ve pratikte uygulanamayacak bir bütünleşik plan ortaya çıkacaktır (Chopra ve Meindl, 2017).

Bir bütünleşik plan oluşturulmadan önce aşağıdaki sorulara doğru cevaplar verilmesi planın etkinliğini sağlar (Heizer ve Render, 2017):

- Stoklar talepteki değişimleri karşılamak için kullanılabilir mi?
- Üretimdeki değişiklikler işe alma ya da işten çıkarmalarla karşılanabilir mi?
- Fazla mesai, yarı zamanlı işgücü kullanımı veya boş sürelerin ayarlanması talepteki dalgalanmaları dengelemeye yarar mı?
- Sabit işgücü ile faaliyet gösterilirken meydana gelebilecek sipariş değişiklikleri fason üretim ile karşılanabilir mi?
- Fiyatlar veya diğer faktörler değiştirilerek talebi etkilemek mümkün olabilir mi?

İşletmenin üretebilme gücünü gösteren işgören, makine ve hammadde varlıkları ile elindeki talep fazlası ürünler ve denetiminde olan diğer değişkenlerden de yararlanarak oluşturacağı bu stratejiler kabul görmüş planlama stratejileridir. Talebi değiştirmeden talepteki dalga boyu aralıklarını düzleştirmeye çalışan stratejiler kapasite stratejileri, planlama dönemindeki talep değişkenliğini düzeltmeye çalışan stratejiler ise talep stratejileri olarak tanımlanır (Heizer ve Render, 2017).

1.2.1. Kapasite Stratejileri

1.2.1.1. Stok Seviyelerinin Değiştirilmesi

Muhtemel yüksek talep miktarlarını stok seviyelerini artırarak karşılama stratejisi depolama, sigorta ve yatırım maliyetlerini yükseltir. Ayrıca ürünün eskimesi ve hırsızlık gibi riskleri de vardır. Öte yandan stokları düşük tutma stratejisi ise talep artışı olduğunda üretimin yetişmemesi sonucu uzun temin süreleri nedeniyle müşteri memnuniyetsizliğine neden olacaktır (Heizer ve Render, 2017).

Stokları yüksek tutmak işletmenin fiziki koşullarıyla da doğrudan ilişkilidir. Depolama kapasitesini aşan stok seviyeleri işletme dışında depo arayışına neden olacağından ilave maliyetlere ve nakliyeden kaynaklı risklere neden olacaktır.

1.2.1.2. İşe Alma veya Çıkarma ile İşgücü Seviyesinin Değiştirilmesi

Değişken talebi karşılamanın bir diğer yolu işgücü sayısında değişikliğe gitmektir. Bu durumda işten çıkarmalar mevcut işgörenlerin moralini bozarak verimliliklerinin düşmesine neden olabilir. Yeni işe alımlar ise uyum sürecinde verimliliğin düşmesi ve eğitim masrafları gibi ilave maliyetlere neden olacaktır (Heizer ve Render, 2017).

Sık sık işgücü değişikliğine giden işletmeler iş dünyasında kötü bir imaj çizebilir ve ihtiyaç duyduğu dönemlerde bu özellikleri nedeniyle işgörenler tarafından tercih edilmeyebilirler.

İşgücü üzerine yoğunlaşarak sabit, değişen ve sabit ile değişen işgücü olmak üzere üç ayrı kombinasyonu deneyen ve doğrusal programlama tekniği ile optimizasyon yapan bir çalışmada üretim maliyetlerinin her üç seçenek için de farklı çıktığı görülmüştür (Talapatra, Saha ve Islam, 2015).

1.2.1.3. Fazla Mesai veya Boş Zamanlar ile Üretim Oranlarının Değiştirilmesi

Seçeneklerden biri de istihdamı koruyarak çalışma sürelerini değiştirmektir. Ancak fazla mesai, işgücü ve işletme maliyetlerini artıracak gibi işgörenlerde verim düşüklüğüne neden olabilir. Ayrıca talebin düştüğü dönemlerde işgörenlerin boş zamanlarının değerlendirilmesi de sorun yaratabilir (Heizer ve Render, 2017).

Esnek çalışma saatleri belirli ve öngörülebilir bir plan dahilinde işgörenlerin tercihlerine göre uygulanırsa cazip olabilir. Ucu açık ve işverenin tek taraflı tasarrufuna göre ayarlanan çalışma saatleri sorun çıkartabilir.

İnşaat malzemeleri üreten bir Portekiz firmasının BÜP modelini inceleyen çalışma, optimal çözüm için çok kriterli karma tam sayılı doğrusal programlama modelini kullanarak çalışan sayısını, fazla mesai saatlerini, stok seviyesini ve fason üretim miktarlarını belirlemiştir (Gomes da Silva *vd.*, 2006).

1.2.1.4. Fason Üretim

Talebin üst seviyeye çıktığı dönemler için fason üretime gitmek bir seçenektir. Maliyetli olması, rakiplere bilgi aktarım riski ve fasoncu firmalarla yaşanabilecek sorunlar bu seçeneğin olumsuz yönleridir (Heizer ve Render, 2017).

Fasoncu firmaların özensiz davranması ve işletme ile aynı kalitede ürün çıkarmaması işletmenin müşteri ve prestij kaybına neden olabilir. Bu durumun önüne geçmek için yapılacak ilave kontrol ve denetimler ek maliyetler getirebilir.

1.2.1.5. Yarı Zamanlı İşgücü Kullanımı

Daha çok restoran, perakendeci ve süpermarketler gibi hizmet sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin işgücünü karşılamak üzere yarı zamanlı işgörenlerden faydalanılabilir (Heizer ve Render, 2017).

1.2.2. Talep Stratejileri

1.2.2.1. Talebi Etkilemek

Firmalar talebin düşük olduğu dönemlerde reklam, promosyon, kişisel satış ve fiyat kırma gibi yöntemlerle talebi artırmayı deneyebilirler. Kış aylarında klima fiyatlarında indirim yapılması bu duruma örnek gösterilebilir (Heizer ve Render, 2017).

Reklam ve promosyonlar ürünü tanıtmının yanı sıra firmanın bilinirliğine de olumlu katkı sağlayabilir. Belirli bir ürün için yapılan reklam nedeniyle firmaya gelen müşterilere çapraz satış yöntemi ile farklı ürünler de satılabilir.

1.2.2.2. Yüksek Talep Dönemlerinde Yok Satma

Firmanın karşılamayı kabul ettiği ancak bilerek ya da risk alarak o anda karşılayamadığı siparişler yok satma olarak tanımlanır. Müşteriler beklemeye razıysa iyi bir strateji olabilir ancak çoğu zaman satış kayıplarına neden olur (Heizer ve Render, 2017).

Tüketim tercihlerini kolay kolay değiştirmeyen ve sürekli alıştıkları yerlerden alışveriş yapan müşteriler bu davranışları nedeni ile diğer seçeneklerden pek fazla haberdar olmayabilir. Sürekli gittiği bir mağazada aradığını bulamayan bir müşteri ihtiyacı acilse doğal olarak farklı bir yere yönelecektir. Yeni gittiği yerde aldığı ürün ya da hizmetten memnun kalması durumunda bir daha eski işletmeyi tercih etmeyebilir.

1.2.2.3. Zıt Mevsimsel Ürün ya da Hizmet Karması Kullanımı

Üreticiler tarafından sıklıkla kullanılan bir teknik olup uygulanırken uzmanlık alanından uzaklaşılması hedef kitlenin kaybedilmesine neden olabilir. Hem kalorifer hem klima üreten bir firma bu duruma örnek olarak gösterilebilir (Heizer ve Render, 2017).

1.2.3. Karma stratejiler

Bütünleşik planlar oluşturulurken belirtilen kapasite ve talep seçeneklerinin her biri ayrı ayrı kullanılabileceği gibi daha iyi sonuçlar elde edebilmek için bu seçeneklerin kombinasyonlarından da faydalanılabilir. Üretim talebi izlemesi ve sabit üretim hızı stratejileri gibi uç noktalarda oluşturulabilecek planlar olabildiği gibi ikisinin arası bir strateji de seçilebilir (Heizer ve Render, 2017).

Bütünleşik planlamada amaç kârı maksimum seviyeye çıkartacak kombinasyonu sağlarken kapasite, stok ve ertelenmiş sipariş ya da gecikme nedeniyle kaybedilen satış maliyetleri arasındaki dengenin kurulmasıdır. Bu maliyetlerden biri arttığında diğer ikisi genellikle azalır (Chopra ve Meindl, 2017).

1.2.3.1. Üretim Talebi İzleme Stratejisi

Bu stratejide amaç mevcut döneme ait arz ve talebin birbirine eşit ya da yakın olmasıdır. Üretim seviyesi fason üretimle desteklenebileceği gibi işe alma ya da işten çıkarma ile fazla mesai ya da yarı zamanlı işgücü kullanımı ile de ayarlanabilir. Talep

miktarı değiştikçe makine kapasitesinin değiştirilmesi, yeni işgören alınması ya da işten çıkarılması ile üretim talep dengesi sağlanmaya çalışılır. Stok taşıma maliyetlerinin yüksek olduğu ve kapasite işgücü değişikliği maliyetlerinin düşük olduğu durumlarda kullanılması uygun olacaktır (Chopra ve Meindl, 2017; Heizer ve Render, 2017).

Çok sık işgücü değişikliğine giden, kısa aralıklarla toplu işten çıkarma ya da işe alım yapan işletmeler piyasada ve kamuoyu nezdinde genellikle iyi bir izlenim bırakmazlar. Sabit üretim hızı stratejisini tercih eden köklü ve kurumsal işletmelerin bu stratejiyi uygulama nedenlerinden biri de halkla ilişkiler stratejileri gereği itibarlarını ve markalarına olan güveni koruyabilmektir.

1.2.3.2. Sabit Üretim Hızı Stratejisi

İşgücünde devamlılığın sağlanması işgören işveren bağlılığını artırdığı gibi kazandırdığı tecrübe de üretimde kalitenin artmasına neden olacaktır. Bu nedenle işgücü değişikliği yerine üretim dönemler arasında eşit olarak dağıtılır ve talep ile üretim farkları stoktan karşılanır. Talebin fazla değişken olmadığı durumlarda başarı oranı yüksektir. Büyük stok birikimleri ve geciken müşteri siparişleri yaşanabileceğinden işletme depolama giderlerine ve müşteri memnuniyetsizliği nedeni ile yaşanabilecek olumsuzluklara katlanmayı göze alabiliyorsa kullanılmalıdır (Chopra ve Meindl, 2017; Heizer ve Render, 2017).

1.2.3.3. Esneklik stratejisi

Fazla makine kapasitesinin olduğu ve çalışma saatlerinin esnek planlanabildiği durumlarda iyi bir seçenektir. alışan sayısı sabit tutulup çalışma saatleri talebe göre ayarlanarak üretim miktarı dengelenir. İşgücü değişikliğine gidilmediğinden çalışan memnuniyeti sağlanır ve düşük makine kullanımı ile stoklar düşük seviyede tutulur. Makine kapasitesi uygunsa ve stoklama maliyetleri yüksekse bu strateji tercih edilebilir (Chopra ve Meindl, 2017).

En uygun planı bulmak her zaman mümkün olmadığından minimum maliyete ulaşmak için karma stratejilerden oluşan farklı alternatifler denenebilir (Heizer ve Render, 2017). Örneğin, bir pompa üretim şirketi için kullanılacak endüstriyel süreçleri ve stok parti büyüklükleri stratejisini seğmeyi amaçlayan bir BÜP çalışmasında karma strateji kullanılmıştır (Jayakumar, Krishnaraj ve Nachimuthu, 2017). Çalışma hem

stok hem işgücü seviyelerini değiştirerek optimizasyon sağlamayı amaçlamıştır. Stok tutma ve işgücü seviyesini değiştirme maliyetleri yüksekse karma strateji uygulamanın doğru olacağını belirten yazarlar optimizasyon problemini Python programlama dili ile modelleyip çözmüşlerdir.

Verimli ve etkin bir bütünleşik plan yapabilmek için iyi bir strateji geliştirmek her zaman tek başına yeterli olmayabilir. İşletme, iç ve dış dinamiklerin tümünü dikkate alarak kendisine en uygun planlama yöntemini bulmalıdır. İşletmenin vizyonu, modern veya geleneksel bakış açısına sahip olması, kurumsal ya da aile işletmesi olması BÜP yaparken seçeceği yöntem üzerinde etkili olacaktır.

1.3. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA YÖNTEMLERİ

1.3.1. Sezgisel Yaklaşım

Matematiksel modellerin bazıları karmaşık yapıda olup bilinen herhangi bir optimizasyon algoritması kullanılarak BÜP probleminin çözümüne ulaşmak mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda optimal çözüme ulaşmak yerine sezgisel yöntemlerden yararlanılarak, sadece iyi bir çözüm arama yoluna gidilir. Genellikle, optimal çözüme ulaşan algoritmalara göre daha hızlı çalışan sezgisel yöntemler, “olsa olsa” mantığını kullanarak probleme iyi bir çözüm sunan yöntemlerdir (Taha, 2000).

Çok dönemli, çok ürünlü ve çok makineli sistemlerin kurulum kararlarına odaklanan bir çalışma BÜP sistemi için karma tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Çalışma, genetik algoritma uygulanarak hesaplanan sonuçların BÜP için kaliteli çözümler sunduğunu ve büyük ölçekli problemler için etkili olabileceğini belirtmiştir (Ramezani, Rahmani ve Barzinpour, 2012).

Bir bahçe ekipmanı üreticisinin BÜP şemasını tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak formüle edip parçacık sürüsü optimizasyonunu kullanan yazarlar parçacık sürüsü optimizasyonun özellikle çok kısıtlı BÜP sorunlarında yetenek ve performansının sınırlı olduğunu görmüş ve performansı artırıp eksiklikleri azaltmak için değiştirilmiş bir parçacık sürüsü optimizasyonu önermiştir. Çeşitli deneysel hesaplamalar sonucunda değiştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyonunun standart parçacık sürüsü optimizasyonu ve genetik algoritmaya göre doğruluk ve güvenilirlik açısından daha etkin olduğunu görmüşlerdir (Wang ve Yeh, 2014).

1.3.2. Grafiksel Yöntem ya da Çizelgeleme Yöntemi

Birkaç karar değişkeni ile çalışan bu yöntem, tahmin edilen talep ve mevcut kapasitenin karşılaştırılması konusunda planlamacılara yardımcı olmaktadır. Sınırlı sayıda hesaplama gerektirdiği için anlaşılması ve kullanımı kolay olmasına rağmen optimal üretim planını garanti etmeyen bir yöntemdir. Deneme yanılma yaklaşımından oluşan bu yöntemde öncelikle her bir döneme ait talep belirlenir. Daha sonra ilgili dönemlere ait normal mesai, fazla mesai ve fason üretim kapasiteleri belirlenerek işçilik, işe alma ve işten çıkarma ile elde tutma maliyetleri hesaplanır. İşgörenler ve stok seviyeleri konusundaki şirket politikaları da dikkate alınarak alternatif planlar geliştirilir ve bunların toplam maliyetleri incelenir (Heizer ve Render, 2017).

Uzun yıllar aynı sektörde faaliyet gösteren ve piyasayı tanıyan tecrübeli yönetici ve planlayıcılara sahip işletmelerin sezgisel ya da grafiksel yöntemleri tercih etmesi sorun yaratmayabilir. Yeni bir iş kolunda ilk kez faaliyet gösterecek, verileri ve geçmişten gelen bilgi aktarımı sınırlı olan işletmeler için ise matematiksel yaklaşımlar iyi bir tercih olabilir.

1.3.3. Matematiksel Yaklaşımlar

Matematiksel modellerde karar değişkenleri tam sayılı ya da sürekli olabilirken amaç ve kısıt fonksiyonları doğrusal olabilir ya da olmayabilir. Farklı çözüm yöntemlerinin gelişmesini sağlayan optimizasyon problemleri modellerin değişken olması sayesinde ortaya çıkmaktadır. Bunların içinde en göze çarpan ve başarıyla uygulanan yöntem tüm amaç ve kısıt fonksiyonları doğrusal, tüm değişkenleri sürekli olan doğrusal programlamadır. Dinamik programlama, tam sayılı programlama, doğrusal olmayan programlama, hedef programlama ve şebeke programlama farklı türde problemlerin çözümü için geliştirilen diğer matematiksel tekniklerden bazılarıdır (Taha, 2000).

Farklı matematiksel yöntemler kullanılarak çözülmüş BÜP problemlerinden bir kısmı bu bölümde anlatılmaktadır. Optimizasyon yönteminin seçimi çeşitli kriterlerin değerlendirilmesine göre yapılabilir. Ürün yapısı ya da çeşitliliği, karar değişkenlerinin çok fazla ya da sınırlı olması, talebin durağan ya da dalgalı oluşu, planlama döneminin süresi bu kriterler arasında sayılabilir. İşletmenin yapısı ve karar vericilerin tercihi seçimde belirleyici olacaktır.

Toplam maliyetlerin en aza indirilmesini amaçlayan BÜP problemini interaktif olasılıksal doğrusal programlama yaklaşımı ile çözen bir çalışma diğer modellerden ayrılan özellikleri ile hedef değerlere yaklaşarak optimal çözümü sağladığını belirtmektedir (Wang ve Liang, 2005).

Toplam üretim ve işçilik maliyetlerini en aza indirmeyi amaçlayan bir çalışma ise birden çok ürün ve dönemi kapsayan bir BÜP problemini bulanık çok amaçlı bir model ile çözmüştür. Yazarlar bir endüstri şirketinin gerçek performansını, önerilen modelin fizibilitesini kanıtlamak için kullanmış; modelin faydalı ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Kalaf vd., 2015).

Gerçek hayatta talep ve maliyetlerin çoğunlukla belirsiz olduğunu dikkate alan bir çalışmada bulanık BÜP probleminin etkileşimli olabilirlikçi doğrusal programlama modeli altında uygulanabilirliği gösterilmiştir (Tuş Işık ve Özdemir, 2010).

BÜP'ün üretilen tüm ürünleri birlikte değerlendiren genel bir planlama faaliyeti olduğunu belirten bir çalışma değişen talepler altında minimum maliyet ile maksimum kazancın sağlanmasını amaçlayan problemin karma tam sayılı doğrusal programlama tekniği ile çözümünü anlatmıştır (Uluçam, 2010).

Gerektiğinde yatak olarak kullanılacak kanepeler imal eden işletmeye yönelik ayrı ayrı iki BÜP faaliyeti gerçekleştiren bir çalışma hedef programlama yaklaşımını kullanmıştır. İlk olarak düşünülen kâr miktarının sağlanması, ikinci olarak ise yapılması planlanan ürün miktarı ile montaj faaliyetlerinin düzenlenmesi amaçlanmıştır. Üretim süreçlerinin planlanması ve denetim çalışmalarının verimliliğe etkilerini vurgulayan çalışma model üzerinde yapılacak değişikliklerle gelecek dönemlerde farklı sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir (Yücesan, 2017).

İnteraktif bulanık doğrusal programlama modelini inceleyen bir çalışma gerçek hayatın bulanık yapısını modelleyerek karar vericilere en iyi çözümü en gerçekçi sistem yaklaşımı ile sunmayı amaçlamıştır (Ertuğrul ve Tuş, 2007).

Günümüz dünyasında çevre sorunlarına duyarlı olduklarını çeşitli göstergelerle kanıtlayan şirketler tüketicilerin gözünde rakiplerine avantaj sağlamaktadır. Bu duyarlılıkla hareket eden üreticiler talepleri karşılarken aynı zamanda istikrarlı bir plan da hazırlamalıdır. Çevreci bir tedarik zincirinde çok dönemli, çok ürünlü ve çok bölgeli toplama ve geri dönüşüm merkezlerine ait BÜP problemini

özlemek için güçlü ve dirençli bir optimizasyon yaklaşımı geliştiren çalışma değişken maliyet ve talep dalgalanmalarındaki belirsizlikleri göstermek için farklı senaryolar kullanarak belirsiz parametrelerdeki dalgalanmaların neden olduğu toplam kayıpları en aza indirmeyi amaçlamıştır. Model, İranlı ahşap ve kâğıt endüstrisi şirketindeki bir vaka için kullanıldığında hesaplama sonuçları modelin etkin ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Entezaminia, Heidari ve Rahmani, 2017).

Çalışmamızda yararlandığımız örnek BÜP probleminin çözümü ve strateji seçimi için matematiksel çözüm tekniklerinden olan DP'yi kullandık. Çalışmamızın ikinci bölümünde DP, üçüncü bölümünde ise ulaşılan çözümler ile kullandığımız strateji anlatılmaktadır.



İKİNCİ BÖLÜM

GÖLGE FİYAT

2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

2.1 TARİHSEL GELİŞİMİ, TANIMI VE BİLEŞENLERİ

İşletmelerde sayısal yöntemler, 1900'lerin başında Frederic W. Taylor'ın önyak olduğu bilimsel yönetim devrimi ile kullanılmaya başlanmıştır. Hâlen günümüzde de sıklıkla kullanılan modern sayısal yöntemler ise 2. Dünya Savaşı sırasında orduların karşılaştığı stratejik ve taktik problemlerin çözümü esnasında geliştirilmiştir. Bu savaştan sonra da karar almada sayısal yöntemlerin kullanılması ile ilgili çalışmalar devam etmiş ve askeri olmayan alanlarda da bu uygulamaların kullanılması yaygınlaşmıştır. 1947'de George Dantzig'in DP problemlerini çözmek için simpleks algoritmasını geliştirmesi bu çalışmalardan en dikkate değer olanıdır. Dantzig başlangıçta "doğrusal bir yapıda programlama" olarak tanımladığı çalışma alanının adını 1948'de Tjalling Koopmans'ın önerisiyle DP olarak kısaltmıştır. Buradaki kullanımı ile programlama "bir eylem planı seçmek" anlamında olup bilgisayar programı ile ilgisi yoktur (Anderson vd., 2016).

Gerçek bir problemi soyutlayarak hesap tablosu gibi farklı biçimlerde özetlediğimiz sürece matematiksel modelleme diyebiliriz. Neredeyse tüm yönetim bilimi uygulamalarının çözüm yolu olan matematiksel modeller gerçek bir problemin sayısal bir temsili ya da idealleştirilmesidir. Sadece bir durumu tanımlayan modellere tanımlayıcı modeller, istenen bir hareket tarzı öneren modellere ise optimizasyon modelleri denir. Matematiksel programlama modellerinden biri olan DP bir optimizasyon modeli olup bir doğrusal fonksiyonu (toplam kâr ya da toplam maliyet gibi bir hedefi) bir dizi doğrusal kısıt altında en üst düzeye çıkartmak veya en aza indirmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir (Winston ve Albright, 2019).

DP elverişli alternatiflerin tamamı içerisinde en iyi (optimal) çözüme ulaşmayı hedefleyen yöntem olarak tanımlanırken doğrusal kelimesi işlevleri, programlama kelimesi ise plan yapma işini ifade eder. DP'nin en yaygın kullanıldığı alanlardan biri maksimum kârlı ya da minimum maliyetli üretim bileşenlerini belirlemektir. Kıt kaynakların gölge fiyatlarının belirlenmesi de DP'nin uygulama alanlarından biridir (Sağır vd., t.y.).

Bir veya daha fazla ürün için belirli zaman periyodunda (haftalar veya aylar) verimli ve düşük maliyetli bir üretim programı oluşturmak için yapılan çok dönemli üretim planları DP'nin en önemli uygulama alanlarından biridir. Örneğin; uçak motoru yapımında kullanılan ve iki farklı malzemeden oluşan bir parça üreten firmanın üretim maliyetlerinin minimizasyonunu amaçlayan çalışmada problemin çözümü için doğrusal programlama tekniği kullanılmıştır. Üç aylık talebi karşılamak için yapılan üretim planında optimal sonuçlarla birlikte kısıtların gölge fiyatları da raporlanmıştır. Model bir kere formüle edildikten sonra, belirli üretim dönemleri için talep ve kapasite gibi veriler güncellenerek DP modeli tekrar tekrar kullanılabilir. Tüm DP problemlerinin ortak amacı bir miktarın maksimizasyonu veya minimizasyonu, genel özelliği ise kısıtlardır. Gelecek dönemlerdeki satış talebini karşılamak için üretim planı ve stok politikası geliştirmek isteyen bir üreticinin amacı doğal olarak talebi karşılarken toplam üretim ve stok maliyetlerini en aza indirmek olacaktır. Bunu yaparken kendisini kısıtlayan sınırlarla çevrilidir (Anderson vd., 2016).

Bir optimizasyon modelinde amaç fonksiyonu, karar değişkenleri ve kısıtlar olmak üzere üç unsur vardır. Problemin çözümünde ilk adım olan model geliştirme aşamasında amaç fonksiyonu belirlenerek karar değişkenleri ve kısıtlar ortaya koyulur. Problemin türüne göre modelin maksimize ya da minimize edilmesi amaç fonksiyonu ile ifade edilir. İkinci adım optimizasyon, bir başka ifade ile modelin optimize edilmesidir. Amaç fonksiyonunun maksimizasyonu için karar değişkenlerinin en büyük değerleri, minimizasyonu için ise en küçük değerleri seçilir. Karar değişkenleri karar vericinin değerlerini seçebildiği değişkenlerdir ve doğrudan veya dolaylı olarak toplam maliyet, gelir ve kâr gibi çıktıları belirler. Optimizasyon modelinde yerine getirilmesi gereken koşullar kısıt olarak adlandırılır ve seçilen karar değişkeni değerleri aynı zamanda tüm kısıtları da sağlamalıdır. Bu kısıtlar sorunun niteliğine göre fiziksel, mantıksal ya da ekonomik olabilir. Tüm kısıtları sağlayan çözüme uygun çözüm, uygun çözümlerden oluşan veri setine de uygun bölge denir. Uygun çözümler arasından amaca göre en iyi değeri veren çözüme ise optimal çözüm denir. Optimal çözüm için birim maliyetleri, tahmini talep ve kullanılabilir kaynaklar gibi girdi değişkenlerinin en uygun değerlerinin seçilmesi çok doğaldır. İlaveten seçtiğimiz değerlerin tamamen doğru olduğunu düşünmek gerçek hayatta çok iyi niyetli bir yaklaşım olur. Bu nedenle "ya...olursa" soruları ile modeli test etmek için çeşitli giriş değerleri değiştirilince optimal çözümün nasıl değiştiğini gösteren duyarlılık analizleri yapılabilir. Birim maliyetleri %5 artarsa ne olur? Tahmini talep %10 düşerse ne olur?

Kullanılabilir kaynaklar %20 artarsa ne olur? Bu gibi değişiklikler optimal çözümde ne gibi etkiler yaratır (Winston ve Albright, 2019)?

Optimal çözümdeki karar değişkenlerinin değerlerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadan bir amaç fonksiyon katsayısının değişebileceği değerler aralığına optimallik aralığı denir. Bir amaç fonksiyon katsayısının izin verilen artışı ve azalması ise, optimal çözümde karar değişkenlerinin değerlerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadan katsayının artabileceği ve azalabileceği miktardır. Amaç fonksiyonu katsayıları için izin verilen artış ve azalma, optimallik aralığını hesaplamak için kullanılabilir (Anderson vd., 2016).

DP problemlerinde işletmenin amacı $Z_{(maks)}$ veya $Z_{(min)}$ olmak üzere bir amaç fonksiyonu ile temsil edilir. Bir işletme birim maliyetleri $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ olan ürünlerden, mevcut kaynaklarını kullanarak en uygun maliyet düzeyi ile ne kadar üretim yapması gerektiğine karar vermek istediğinde; ürünleri $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ve bu ürünleri üretmek için kullanılacak kaynakları $b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$ olarak tanımlarken b_1 kaynağından kullanılarak gerçekleştirilecek $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ürünleri için kaynak kullanımları gereksinimleri sırası ile $a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}$ olarak tanımlar. Bu durumda b_1 kaynağı için; $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$ eşitsizliği yazılır.

Aynı tipteki kısıt diğer kaynaklar için de yazılırsa standart minimizasyon probleminin doğrusal programlama modeli;

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{(min)} = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Kısıtlar:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n \geq b_3$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

olarak ifade edilir.

a_{ij} , bir birim x_j üretmek için kullanılması gereken kaynak miktarı;

b_i , mevcut i kaynağı miktarı;

c_j , birim maliyet;

x_j ise faaliyet veya üretim düzeyini ifade eden karar değişkeni

($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$)

olarak tanımlandığında c_j birim maliyet yerine birim kârı gösterdiğinde kâr maksimizasyonu probleminin standart formu:

Amaç fonksiyonu:

$$Z_{(maks)} = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Kısıtlar:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n \leq b_3$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

olarak ifade edilir.

DP problemlerinin standart formu bu şekillerde tanımlanmakta olup bazı problemlerin kısıtları için aşağıdaki gibi farklı formlar kullanılabilir:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

Böylelikle genel DP probleminin standart formu şu şekilde ifade edilir (Timor, 2010):

$$Z_{(maks)} = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$$

$$(x_j \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n)$$

2.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMADA DUALİTE

Bir DP probleminde, problem modelinin başlangıç anlatımı “problemin primali” olarak adlandırılırken her problemin, “problemin duali” olarak adlandırılan bir diğer gösteriliş biçimi vardır. Dualite (ikillik) kelimesi tanım olarak zıtlığı ifade etmekle birlikte, DP ile ilgisi optimal çözümü aranan optimizasyon probleminin “asıl” ve “ikil” olarak da tanımlanabilen ve birbirine dönüşebilen iki farklı model olarak yazılabilesinden gelmektedir. Birbirine dönüşebilen yapıda olan modeller karşıt yöndeki amaç fonksiyonlarına sahip olmalarına rağmen çözümleri aynı sonucu verir. DP genellikle problemin asıl modelini kullanarak çözüm yolu üretir. Bir DP probleminin primalinin optimal çözümü varsa dual problemin de vardır ve bu çözüm değerleri birbirine eşittir. Primal ve dual problemlerin çözümleri farklı ekonomik göstergelere işaret ederken burada değinmeyeceğimiz bazı matematiksel modeller kapsamında dual problemin çözümüne primal problemin çözümünden daha kolay ulaşılabilir (Sağır vd., t.y.; Timor, 2010).

Üretim planlamasına ilişkin dual problemde üretim kaynakları ön plandadır. İşletmenin ana amacı ürünlerden veya faaliyetlerden çok kaynakların planlanması ise problemin çözümüne dual model ile yaklaşmak daha uygun olacaktır (Timor, 2010).

$$Z_{\max \text{ veya } \min} = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ile tanımlanan ve temel olarak alınabilecek primal DP modelinin üç özelliği vardır (Taha, 2000):

- Kısıtlar sağ taraf sabitleri pozitif olan denklemler şeklindedir.
- Değişkenler pozitif değere sahip olmalıdır.
- Amaç fonksiyonunun hedefi maksimizasyon ya da minimizasyondur.

İkil modelin değişken ve kısıtları, asıl modelin değişken ve kısıtlarının birbirleri ile karşılıklı olarak yer değiştirilmesiyle yazılabilir.

Genel DP problemlerinde primal-dual dönüşüm kuralları mevcut olup primal-dual problemlerin gösterimi Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Primal-Dual modellerinin gösterimi (Taha, 2000).

Primal	Dual
$\text{maks. } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$	$\text{min. } w = \sum_{i=1}^m b_i y_i$
$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_j, \quad i = 1, 2, \dots, m$	$\sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \leq c_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$
$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$	$y_i \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m$

Primal problemde amaç maksimizasyon ise dual problemde amaç minimizasyondur. Primal modelin kısıt denklemlerinin sağ taraf sabitleri dual modelin amaç fonksiyonu katsayılarını oluşturur ve eşit sayıdadır. Primal modelin amaç fonksiyonu katsayıları ise sırası ile dual modelin kısıt denklemlerinin sağ taraf sabitlerini oluşturur. Primal modelin alt alta yazılmış kısıt denklemlerinin katsayıları ise sütunlar halinde dual modelin her bir kısıt denkleminin katsayılarını oluşturur. Böylelikle dual modelde primal modelin amaç fonksiyonu katsayısı adetinde kısıt denklemleri, primal modelin kısıt denklemleri kadarki kadar da amaç fonksiyonu katsayısı belirlenmiş olur. Primal problem kâr maksimizasyonu ise kaynak miktarını temsil eden sağ taraf sabitleri dual modelde amaç fonksiyonu katsayılarını oluşturduğuna göre dual problemde amaç her bir kaynağın birim kaynak değerini minimize etmektedir.

Primal problemdeki amaç fonksiyonu katsayıları dual problemde sağ taraf sabitlerini oluşturmaktadır. Primal problemdeki her sütun (kısıtlayıcı koşulların oluşturduğu matrise ait her sütun), dual problemde bir kısıtlayıcı koşula karşılık gelir. O halde dual problemdeki kısıtların sayısı (satır sayısı) primal problemdeki değişken sayısına eşittir. Kısıtlayıcı koşullardaki eşitsizlikler yön değiştirmektedir. Primal problemdeki amaç fonksiyonu katsayıları dual problemde sağ taraf sabitlerini, primal problemdeki kaynak kullanım katsayıları (teknolojik katsayılar: a_{ij}) transpoze edilerek dual problemdeki kısıtların katsayılarını, primal problemdeki sağ taraf sabitleri ise dual problemde amaç fonksiyonu katsayılarını oluşturacak şekilde düzenlenir. Primal problemin standart bir maksimizasyon problemi olması halinde primalde (\leq) olan eşitsizlikler dualde (\geq) olacaktır. Bir DP probleminin dualinin duali primal problemi verir. İlk problemdeki değişkenler “primal değişkenler” olarak adlandırılırken ikinci problemdeki değişkenler “dual değişkenler” olarak adlandırılmaktadır. Her iki problemde de değişkenler negatif değerler almamaktadır. Problemlerden biri sınırsız çözüme sahipse diğerinin çözümü yoktur. Her iki problemin de çözümü bulunmayabilir. Her iki problem birden sınırsız çözüme sahip olamaz. Problemlerden birinin optimal çözümü mevcut ise diğerinin de optimal sonucu olmak zorundadır (Taha, 2000; Timor, 2010).

Bir DP probleminin primali aşağıdaki gibi verilmiş olsun:

$$Z_{maks} \quad x + 2y + 3z$$

$$\text{öyle ki} \quad x + 2y + 2z \leq 25$$

$$2x + y - 3z \leq 15$$

$$x, y, z \geq 0$$

böylelikle primali verilen problemin duali

$$Z_{min} \quad 25 y_1 + 15 y_2$$

$$\text{öyle ki} \quad y_1 + 2 y_2 \geq 1$$

$$2 y_1 + y_2 \geq 2$$

$$2 y_1 - 3 y_2 \geq 3$$

$$y_1, y_2 \geq 0$$

olur (Timor, 2010).

2.3. DUAL DEĞİŞKENLERİN EKONOMİK YORUMU VE GÖLGE FİYATLAR

DP problemi kaynakların belirlenmiş olduğu durumlarda iş hacmi veya kazancın maksimizasyonu için bir kaynak dağıtım modeli olarak görüldüğünde dual problem çözülerek doğrusal kaynak dağıtım modeli yorumlanabilir.

Kaynak dağıtım modeli açısından bakılırsa, primal problem, n ekonomik faaliyete ve m kaynağa sahiptir. Primaldeki c_j 'ler j faaliyetindeki birim başına kârı gösterir. Maksimum kullanımı b_i olan i kaynağı, j faaliyetinin birimi başına a_{ij} birimlik bir hızla tüketilmektedir. Uygun primal ve dual çözümler arasındaki ilişkide gösterilen

$$\left[\begin{array}{c} \text{Maksimum problemindeki} \\ \text{amaç değeri} \end{array} \right] \leq \left[\begin{array}{c} \text{Minimum problemindeki} \\ \text{amaç değeri} \end{array} \right]$$

özelliğine göre, primal ve dual çözümlerin her ikisi için amaç fonksiyonu değerleri sonlu olduğu zaman aşağıdaki eşitsizliği sağlamalıdır. Çözümlerin her ikisi de optimal olduğunda, sonuç eşitlik olacaktır.

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq \sum_{i=1}^m b_i y_i = w$$

$z = w$ olan optimallik koşulu ele alındığında primal problem bir kaynak dağıtım modelini gösterdiğinden z 'nin pb (para birimi) olarak kârı gösterdiğini düşünebiliriz. b_i 'nin i kaynağının kullanım miktarını göstermesi nedeniyle $z = w$ eşitliği boyutsal olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$pb = \sum_i (i \text{ kaynağı miktarı})(i \text{ kaynağının birim başına pb})$$

Buradan, y_i dual değişkenlerinin, i kaynağının birim başına değerini göstermesi gerektiğini anlarız. Literatürde y_i değişkenlerinin teknik adı dual fiyat olup gölge fiyat olarak da adlandırılır (Taha, 2000).

İşletmeler üretim faaliyetlerini gerçekleştirirken kârın artmasını veya maliyetin azalmasını engelleyen kısıt adı verilen sınırlarla çevrilidir. İşletmeler bu kısıtları

gevşeterek sınırlarını genişletmek isteyebilir. İşte böyle bir durumda mevcut kıt kaynaklardan daha fazla miktara sahip olabilmek için ödemeye razı olunacak tutar gölge fiyatı olarak tanımlanır. Gölge fiyatı ekonomik bir terim olup bir kısıtın sağ taraf sabiti bir birim değiştiğinde amaç fonksiyonunun optimal değerindeki değişikliği ifade eder (Winston ve Albright, 2019).

Gölge fiyatı bir kaynağın değerini belirtir ve diğer değişkenler sabitken ilgili kaynağın bir birim artırılması halinde kârda meydana gelecek artışı yansıtır. “Bir kaynağın birim değeri” adı gölge fiyatı için sonuçlar açısından daha uygun olabilirse de dual fiyat adı DP’deki dual problemin matematiksel tanımından kaynaklanır ve bir kaynağın artan ya da azalan kullanımının amaç fonksiyonu üzerindeki katkısını ifade eder. Gölge fiyatı, üretim kaynaklarında yaşanacak pozitif ya da negatif yönde değişimlerin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi olarak tanımlanır. Dual değişkenlerin en iyi değerleri olarak da adlandırılan gölge fiyatların hesaplanması kaynakların değerine ilişkin bilgi verdiği gibi her bir girdinin kazancın ne kadarını sağladığı konusunda da yardımcı olur. İlaveten, yönetici ve planlayıcılar üretimde ek kaynak kullanımı ve yatırım kararlarını verirken gölge fiyatlardan yararlanabilir. Fayda-maliyet analizi yapmakta kullanılan gölge fiyatları negatif, pozitif ya da sıfıra eşit olabilir (Sağır vd., t.y.; Taha, 2000; Timor, 2010).

Gölge fiyatı her bir kısıt için ayrı ayrı rapor edilebilir. Örneğin; işgücü kısıtının gölge fiyatının \$16 olduğunu düşünelim. Bu demektir ki bu kısıtın sağ taraf sabiti bir birim artırıldığında (1000 saat olan kısıt 1001 saate çıkmış olsun) amaç fonksiyonunun optimal değeri \$16 artacaktır. Bir birim düşürüldüğünde değer bu sefer aynı miktarda azalacaktır. Sağ taraf sabitindeki artma ya da azalma devam ettiği sürece amaç fonksiyonundaki değişimin de sürekli devam edeceği söylenemez. Sağ taraf sabiti izin verilen sınırlar dahilinde arttığı veya azaldığı sürece gölge fiyatı aynı kalacaktır. Bu sınırların ötesinde farklı bir gölge fiyatı oluşur. Bir sağ taraf sabiti izin verilebilir artışının ötesinde arttığında yeni gölge fiyatı her zaman sıfıra düşmese de genellikle orijinal gölge fiyatından daha düşüktür (Winston ve Albright, 2019).

Bir kısıt optimal çözümde bağlayıcı duruma gelmiş ise sıkı kısıt olarak adlandırılır ve gölge fiyatı sıfırın üzerinde bir değer alır. Bir kaynağın gölge fiyatının sıfır olması ise bolluk ifadesidir ve ekonomik açıdan “serbest mal” olarak adlandırılır. Bu kaynaklar işletmenin elinde fazlasıyla olduğundan bunları artırmak en iyi değeri artırmayacaktır. Aksine sıkı kısıtlar ise kıt kaynakları ifade eder ve işletmenin elinde

kullanacak miktar kalmayan bu kaynakların gölge fiyatları sıfırdan farklıdır (Sağır *vd.*, t.y.).

Bir kaynak kısıtı optimal çözümde bağlayıcı ise işletme daha fazla kaynağa sahip olabilmek için gölge fiyatının bir kısmını ödemeye istekli olacaktır. Zira daha fazla kaynak amaç fonksiyonunu olumlu yönde geliştirecektir. İlâveten işletme daha fazla kaynağa sahip oldukça gölge fiyatı düşme eğilimine girecek ve marjinal fayda azalacaktır. Bunun nedeni diğer kısıtların bağlayıcı duruma gelerek kaynaktaki fazladan birim artışlarının daha az yararlı olması ya da beklenen faydayı sağlamamasıdır. Yeni bir kısıt eklendiğinde ya da var olan bir kısıt daha kısıtlayıcı bir hâl aldığında (bazı kaynaklar azaldığında) amaç fonksiyonu da olumsuz yönde etkilenir. Söz konusu durumda uygun bölge daralır ve daha önce uygun olan bazı çözümler hatta optimal çözüm uygun olmaktan çıkar. Bir kısıt kaldırıldığında veya mevcut bir kısıt daha az kısıtlayıcı hale geldiğinde ise uygun bölge genişler ve mevcut çözümlere ilave çözümler eklenir. Amaç fonksiyonu da buna bağlı olarak gelişir (Winston ve Albright, 2019).

Gölge fiyatının uygulanabileceği değerler aralığına fizibilite aralığı denir. Sağ taraf aralığı olarak da adlandırılır ve gölge fiyatının geçerli olduğu sınırları gösterir. Sınırları aşan değerler için gölge fiyatı bulmak ancak problemin yeniden çözümü ile mümkün olur. Sağ taraf sabitlerine yönelik duyarlılık analizleri, yalnızca bir kısıttaki değişiklikler için geçerlidir, birden fazla kısıtın sağ taraf sabiti aynı anda değişirse bu değişikliklerin etkisini görmek için yine en iyi yol problemi yeniden çözmektir. Amaç fonksiyonundaki değişkenlerin katsayılarından bağımsız olarak fizibilite aralığında kalan değişiklikler optimal çözümde de değişmeye neden olur. Bir kısıtın sağ taraf sabiti, mevcut bir kaynağın miktarını gösteriyorsa, gölge fiyatı genellikle bir birim ek kaynak için ödemeye razı olunacak maksimum miktar olarak yorumlanır. İlâveten böyle bir yorum her zaman doğru değildir ve kaynağın batık/önceden katlanılmış ve uygun/ilgili maliyetli olmasına göre değişir. Batık maliyet, alınan karardan etkilenmeyen bir maliyettir. Karar değişkenlerinin varsaydığı değerler ne olursa olsun ortaya çıkacaktır. İlgili maliyet ise alınan karara bağlı olan bir maliyettir. İlgili bir maliyetin miktarı, karar değişkenlerinin değerlerine bağlı olarak değişecektir. Batık maliyetli kaynaklar için gölge fiyatı bir birim ek kaynak için ödemeye razı olunacak maksimum tutardır. Uygun maliyetli kaynaklar içinse gölge fiyatı kaynağın değerinin maliyetini aşma miktarıdır. Kaynağın bir birimi için ödemeye razı olunması gereken

normal maliyetin üzerindeki maksimum prim anlamına gelir. Tüm ilgili maliyetler, doğrusal bir programın amaç fonksiyonuna dahil edilmelidir. Batık maliyetler amaç fonksiyonuna dahil edilmemelidir (Anderson vd., 2016).

2.4. AZALTILMIŞ MALİYETLER

Gölge fiyatı ekonomik bir terim olup bir kısıtın sağ taraf sabiti bir birim değiştiğinde amaç fonksiyonunun optimal sonucunda meydana gelen değişikliği ifade eder. Azaltılmış maliyet ise amaç fonksiyonundaki karar değişkenlerinin katsayılarındaki değişikliklerle ilgilidir. Bu katsayılardan biri değiştiğinde optimal çözümde meydana gelecek değişikliği ifade eder. Optimal çözümde azaltılmış maliyeti sıfır değerinde olan bir karar değişkeni için azaltılmış maliyet; bu değişkenin değeri pozitif yönde değişmeden önce katsayı değerinin ne kadar gelişebileceğini ifade eder. Optimal çözümde üst sınırında olan bir karar değişkeni için azaltılmış maliyet, üst sınırından düşmeden katsayı değerinin ne kadar azalabileceğini ifade eder. Optimal çözümde sıfır ile üst sınırı arasındaki herhangi bir değişken için azaltılmış maliyet önemsizdir (Winston ve Albright, 2019).

2.5. BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMADA GÖLGE FİYATLAR İÇİN KARAR DESTEK SİSTEMİ

Farklı iktisadi sistemleri savunan düşünürlerin gölge fiyatları konusundaki görüşleri farklılık gösterir. Optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulanan yöntemlerin iktisadi sistem veya kurumsal yapılardan bağımsız olup evrensel matematiksel araçlar olduğunu belirten Kazgan çeşitli ekonomistlerin gölge fiyatlar ile ilgili görüşlerine yer verir. Örneğin, iktisadi planlama ile ilgilenen Chenery ve Tinbergen gibi matematiksel iktisatçılar az gelişmiş ülkelerde üretim kaynaklarının piyasa fiyatlarının, arz talep dengesini sağlayan denge fiyatlarını tam olarak yansıtmadığından kaynakların optimal dağılımını sağlayamadığını savunur. Onlara göre optimal kaynak dağılımı ve ekonominin bütünü kapsayan iktisadi planlar için tam rekabet denge fiyatlarını yansıtan gölge fiyatları dikkate alınmalıdır. Chenery'e göre üretim kaynaklarının gölge fiyatları DP teknikleri ile saptanarak kaynak dağılımı bunlara göre yapılmalıdır. Tinbergen'de az gelişmiş ülkelerde yapısal dengesizlik koşullarında kamu kesiminin emek, kapital ve döviz gibi kaynakları hesap edilmiş gölge fiyatlarına göre kullanması gerektiğini belirtir. Novozilov, Kantorovich ve Lur gibi Sovyet matematiksel iktisatçılar da optimal kaynak dağılımını sağlamak için gölge

fiyatı sistemini gerekli görür. Liberman ise optimal çözüm için kullanılması gereken fiyat takımının fırsat-maliyet fiyatları olması gerektiğini savunurken optimal kaynak dağılımı için gerekli fiyat sisteminin hem fırsat-maliyet fiyatları hem de gölge fiyatlar üzerine kurulabileceğini belirtir (Kazgan, 2000).

Küreselleşme dijitalleşmeyi hızlandırırken Endüstri 4.0 ile gelişen yeni uygulamalar da üretim süreçlerini dijitalleştirmiştir. Üretim süreçlerinde yaşanan bu değişim BÜP faaliyetlerine de yansımaktadır. Yönetici ve planlayıcılar üretimde ek kaynak kullanımı ve yatırım kararlarını verirken gölge fiyatlardan yararlanabilir çünkü gölge fiyatları uzun dönem tam rekabet denge fiyatlarını yansıtan hesaplanmış fiyatlardır. Karar desteği, iş yürütülürken karar vericilerin rasyonel kararlar almasına sistemin ne derece yardımcı olduğu ile ilgili olup firmanın ihtiyaçlarına göre özel olarak tasarlanmış bir KDS firmanın faaliyetlerini sürdürmesini sağlar. Daha etkin ve verimli üretim planlama süreçleri artık web tabanlı KDS ile yapılmaktadır (Jacobs *vd.*, 2011; Tayalı, 2021a).

KDS fikrinin ilk olarak şekillenmeye başladığı dönemlerde, yarı yapılandırılmış ya da yapılandırılmamış problemlerin veya olayların çözümünde karar vericilere destek olmak amacı ile bilgisayar kullanarak çalışan bir sistem olarak tanımlanmıştır. Bir KDS genellikle belirli bir problemi çözmek için özel olarak geliştirilir. Probleme has verilerden oluşan bir veri tabanına sahiptir. Tek bir kullanıcıya yönelik olabilir ya da web tabanlı bir sistemle birden fazla kullanıcıya hizmet verebilir. Karar verme süreçlerinde soruna tam anlamıyla hâkim olmak bir yönetici için esas şarttır. İlâveten, yöneticiler problemin farklı değişkenlerde nasıl sonuçlar verdiğini de görmek ister. Bu nedenle bir KDS'nin rahatça kullanılabilir bir arayüzü olması, gerektiğinde değiştirilebilir ve farklı durumlara uyarlanabilir olması tercih edilir. KDS karar vericinin yerini tutamaz, onu destekleyerek hızlı ve etkin kararlar vermesine yardımcı olur (Sharda, Delen ve Turban, 2015).

Farklı iş kollarında KDS geliştirmeye yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin; banka müşterilerinin varlık portföyünü yönetmek için geliştirilen bir KDS ile kişiye özgü verilere dayanan özel yapım yatırım portföyleri hazırlanarak bu sistemi kullanmayan müşterilere oranla daha yüksek getiri sağlanmıştır (Avriel *vd.*, 2004). Diğer bir çalışmada, talep ve maliyetlerde belirsizlikler yaşanan ortamda güneş enerjisi sistemleri üzerine çalışan firmanın kapasite planlama kararlarına destek olmak için bir KDS geliştirilmiştir (Thomas ve Bollapragada, 2010).

Bir başka çalışma ise çok sayıda pilotun çalıştığı hava yolu şirketi için çalışma saatleri ve eğitim programlarını optimal şekilde planlayan bir KDS geliştirmiştir (Yu vd., 2004).

Bu tez çalışmamızın uygulama alanındaki örnek problemini modellerken matematiksel programlama yöntemlerinden DP'yi kullandık. Çözümü için kullandığımız R programlama dili yöneylem araştırması konuları kapsamında sıklıkla kullanılan bir programlama dilidir (Çınar ve Ekizler, 2017). Ancak R programlama dilini kullanarak oluşturduğumuz DP modeli işletmelerin planlama departmanı çalışanları ya da karar vericilerine çok karmaşık gelebilir. Planlama yapan ya da karar merciinde olan herkesin matematik ya da programlama alanında uzman olması beklenemez. Bu gibi durumlarda teknik bilgisi olmayan kullanıcılara KDS destek olabilir. İki uçlu bir sistem sayesinde kullanıcı problemin çözüm aşamalarını görmeden kendisi için hazırlanmış veri giriş ekranı (ön uç) vasıtası ile problemi tanımlar ve teknik detayları içermeyen sonuçlar bir rapor olarak (arka uç) KDS tarafından kullanıcı için oluşturulur. Bir KDS'nin altyapısı bir programlama dili ile oluşturulmuş olsa bile kullanıcı için tasarlanan arayüzünün olabildiğince sade ve teknik detaylardan arındırılmış olması beklenir. Örnek problemimizin çözümü için hazırladığımız KDS'de bu durum açık bir şekilde görülebilir (Winston ve Albright, 2019; Tayalı, 2021a).

Sonraki bölümde; bir işletmenin altı aylık üretim faaliyeti BÜP ile modellenmekte, maliyetin minimizasyonunu amaçlayan problemin çözümü ile ulaşılan optimal değerler ve gölge fiyatları incelenmektedir. Kullanıcıların kolay bir şekilde işlem yapabilmesi için tasarlanan KDS'de bu bölümde anlatılmaktadır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMADA GÖLGE FİYATLARIN İNCELENMESİ

3. KARAR DESTEK SİSTEMİ UYGULAMASI

Üretim kapasitesinin büyük ölçüde işgücü büyüklüğüne bağlı olduğu bir işletmenin 6 aylık planlama ufku için modellenen BÜP problemi kapsamında incelenen en düşük maliyetli çözüme, bu BÜP problemi için ulaşılan gölge fiyatlara ve ilgili diğer çözümlere bu bölümde yer verilmektedir. BÜP çözümüne ilaveten optimizasyon süreci ve gölge fiyatların sunumu için geliştirilen KDS'de bu bölümde tanıtılmaktadır.

3.1. ÖRNEK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA PROBLEMİ

Satın aldığı parçaları monte ederek çok amaçlı bahçe bakım aletleri üreten bir işletme ürünlerini perakendeciler aracılığı ile satmaktadır (Chopra ve Meindl, 2017). İşletmenin ürünlerine olan talep büyük ölçüde sezonluk olup ilkbaharda en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. BÜP probleminin modellenebilmesi için gerekli talep tahmini Tablo 3.1.'de verilmektedir. İşletmenin BÜP ile ulaşmak istediği hedefleri arasında haziran ayı sonuna en az 500 ürün ile girilmesi de bulunmaktadır.

Tablo 3.1: Örnek problemin talep tahmini (Chopra ve Meindl, 2017).

Talep Tahmini	
Ay	Talep Tahmini
Ocak	1600
Şubat	3000
Mart	3200
Nisan	3800
Mayıs	2200
Haziran	2200

Dalgalanmalara neden olan sezonluk talebi yönetmek için işletmenin çeşitli seçenekleri vardır:

- Yoğun sezonda işgören sayısını artırmak,
- İşin bir kısmının fason üretilmesi,
- Yoğun olmayan aylarda stok yapmak veya

- Müşterilere geç teslim edilecek siparişler için bekleyen sipariş listesi oluşturmak ve siparişleri geciktirmek.

İşletme ürettiği her ürünü perakendecilere \$40'a satmaktadır. Firmanın ocak ayındaki başlangıç stoğunda 1000 ürün bulunmakta ve ocak ayının başında işgücü 80 işgörenden oluşmaktadır. Tesis her ay toplam 20 işgünü çalışırken işgörenler normal mesai saatleri için saatte \$4 kazanmaktadır. Her işgören günde 8 saat normal mesai ve diğer saatlerde de fazla mesai yapabilmektedir. Çalışma kurallarından dolayı işgörenlerin fazla mesai süresi ayda 10 saat ile sınırlıdır. Üretim faaliyetinin kapasitesi büyük ölçüde çalışılan toplam mesai saatine göre belirlendiği için makine kapasitelerinin üretim faaliyetinin kapasitesini sınırlamadığı varsayılmaktadır. Bir başka ifade ile makine kapasitesi yeterli olduğu için üretim kapasitesi işgücünün mesai saatlerine göre belirlenmektedir. Öte yandan kapasite kısıtı, kullanılabilir normal ve fazla mesai saatlerinin toplamına göre belirlenmektedir ve doğal olarak her dönem üretilen birim sayısı o döneme ait kullanılabilir üretim kapasitesini geçmemektedir.

Tablo 3.2: Örnek problemin üretim maliyetleri (Chopra ve Meindl, 2017).

Maliyetler	
Maliyet Kalemi	Maliyet
Malzeme maliyeti	\$10/birim
Stok tutma maliyeti	\$2/birim/ay
Stok tükenmesi/bekleyen sipariş marjinal maliyeti	\$5/birim/ay
İstihdam ve eğitim maliyetleri	\$300/işgören
İşten çıkarma maliyeti	\$500/işgören
Gereken çalışma saatleri	4/birim
Normal mesai maliyeti	\$4/saat
Fazla mesai maliyeti	\$6/saat
Fason üretim maliyeti	\$30/birim

Firmanın fason üretim, stok tükenmesi veya bekleyen siparişler ile ilgili herhangi bir sınırı yoktur. Firmanın yüksek seviyede müşteri hizmeti sunma isteği dikkate alındığında, şimdilik tüm talebin karşılanacağı varsayılır ancak siparişler geç karşılanabilmektedir: Tüm stokta olmayan ürünler bekleyen sipariş olarak kaydedilip sonraki ayların üretiminden karşılanmaktadır. Stok maliyetleri ilgili aya ait kapanış stokuna göre belirlenmekte olup işletmenin BÜP probleminin modellenmesi için kullanılan tüm üretim maliyetleri Tablo 3.2.'de belirtilmiştir.

3.2. DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA

3.2.1. Karar Değişkenleri

Bir DP modeli için ilk adım karar değişkenlerinin belirlenmesidir. Firmanın BÜP modeli için aşağıdaki karar değişkenleri tanımlanmıştır:

$W_t = t.$ ay için işgücü büyüklüğü, $t = 1, \dots, 6$

$H_t = t.$ ay başında istihdam edilen işgören sayısı, $t = 1, \dots, 6$

$L_t = t.$ ay başında işten çıkarılan işgörenlerin sayısı, $t = 1, \dots, 6$

$P_t = t.$ ayda üretilen birimlerin sayısı, $t = 1, \dots, 6$

$I_t = t.$ ayın sonundaki stok, $t = 1, \dots, 6$

$S_t = t.$ ayın sonunda stokta kalmayan/bekleyen birim sayısı, $t = 1, \dots, 6$

$C_t = t.$ ay için fason üretilen birim sayısı, $t = 1, \dots, 6$

$O_t = t.$ ayda çalışılan fazla mesai saati, $t = 1, \dots, 6$

3.2.2. Amaç Fonksiyonu

Firmanın amacı planlama dönemindeki toplam maliyeti en aza indirgeyen bir BÜP yapılmasıdır. Karar değişkenleri cinsinden tanımlanan amaç fonksiyonu planlama ufkundaki üretim maliyetini minimum seviyeye indiren fonksiyondur. Üretim maliyetleri

- işgörelere ödenen normal ve fazla mesai ücretleri
- işgörelerin işe alınma ve işlerine son verilme giderleri
- ürünleri elde bulundurma ya da yok satma giderleri
- fason imalat giderleri ve
- üretim gereçleri için ödenenler olmak üzere toplam 8 kalemden oluşmaktadır.

Bu maliyetlerin üretim parametreleri ışığında amaç fonksiyonunda yer alması için çeşitli hesaplamaların yapılması gerekmektedir:

Çalışanlara normal mesai için ayda \$640 (\$4/saat × 8 saat/gün × 20 gün/ay) ödenmektedir. W_t , t . dönemdeki işçi sayısı olduğu için planlama dönemindeki normal mesai işgücü maliyeti amaç fonksiyonunda $\sum_{t=1}^6 640 W_t$ olarak belirtilir.

Fazla mesai işgücü maliyeti \$6/saat olduğu ve O_t t . dönemde çalışılan fazla mesai saati sayısını ifade ettiği için planlama dönemindeki fazla mesai maliyeti $\sum_{t=1}^6 6 O_t$ olarak belirtilir.

Bir işgöreni işe almanın maliyeti \$300 ve bir işgöreni işten çıkarmanın maliyeti \$500'dür. H_t ve L_t , t . dönemde sırasıyla işe alınan ve işten çıkarılan işgören sayısını ifade etmektedir. Dolayısı ile işe alma ve işten çıkarma maliyeti $\sum_{t=1}^6 300 H_t + \sum_{t=1}^6 500 L_t$ olarak belirlenir.

Stok tutma maliyeti ayda birim başına \$2'dir ve stok tükenmesi maliyeti ayda birim başına \$5'dir. I_t ve S_t , t . dönemde stokta olan birimleri ve stoğu tükenen birimleri ifade etmektedir. Dolayısı ile stok tutma ve stok tükenme maliyeti $\sum_{t=1}^6 2I_t + \sum_{t=1}^6 5S_t$ olarak yazılır.

Malzeme maliyeti birim başına \$10'dır ve fason üretim maliyeti \$30/birimdir. t . dönem için P_t üretilen miktarı ve C_t ise fason üretim miktarını ifade eder. Dolayısı ile planlama ufku boyunca toplam malzeme ve fason üretim maliyeti $\sum_{t=1}^6 10P_t + \sum_{t=1}^6 30C_t$ olarak amaç fonksiyonunda belirtilir.

Planlama dönemine ait toplam maliyet yukarıda bahsi geçen maliyetlerin toplamı olup minimizasyon amaçlı fonksiyon

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^6 640W_t + \sum_{t=1}^6 6O_t + \sum_{t=1}^6 300H_t + \sum_{t=1}^6 500L_t + \sum_{t=1}^6 2I_t + \sum_{t=1}^6 5S_t + \sum_{t=1}^6 10P_t + \sum_{t=1}^6 30C_t$$

olarak yazılır.

Amaç fonksiyonundaki karar değişkeni değerleri isteğe bağlı olarak belirlenebileceği gibi bu değişkenler ve dolayısı ile yönetici kararları işletmenin hâlihazırda gerçekleştirebileceği üretim miktarı ile işletmenin amaç ve yöntemlerinden kaynaklanan sınırlara uymak zorundadır. BÜP modeli meydana getirilirken yapılması gereken bir sonraki aşama karar değişkenlerini sınırlandıran kısıtların açıklanmasıdır.

3.2.3. Kısıtlar

Firmanın karar değişkenlerinin ihlal etmemesi gereken kısıtları belirlemesi gerekmektedir. Bu kısıtlar altı ana başlıkta, sırası ile işgücü (işe alma ve işten çıkarma), kapasite, stok, fazla mesai, talep ile ilgili kısıtlar ile değişkenlerin negatif değer almama kısıtı olarak değerlendirilmektedir.

t . dönemdeki işgücü büyüklüğü W_t , t . dönemde işe alınan işgören sayısı H_t 'nin $t-1$. dönemdeki W_{t-1} işgücü büyüklüğüne eklenmesi ve t . dönemde işten çıkarılan işgören sayısı L_t 'nin çıkarılması ile $t = 1, \dots, 6$ için $W_t = W_{t-1} + H_t - L_t$ olarak hesaplanır.

Her bir dönemde üretilen miktarın kullanılabilir kapasiteyi geçmemesi gerekir. Bu kısıt, toplam üretimi kullanılabilir toplam iç kapasite ile sınırlandırmaktadır. Fason üretim bu kısıta dahil değildir. Her işgören normal mesai saatlerinde ayda 40 birim (her birim için 4 saat) ve her 4 saatlik fazla mesaide bir birim üretebildiğinden $t = 1, \dots, 6$ için $P_t \leq 40W_t + \frac{O_t}{4}$ kısıt denklemi yazılır.

Üçüncü kısıt takımı her bir dönemin sonundaki stok seviyesini dengeler. t . dönemdeki net talep, mevcut talep D_t ve önceki bekleyen siparişler S_{t-1} toplamı ile belirlenir. Bu talep mevcut üretim (iç üretim P_t ile fason üretim C_t) ve önceki stok I_{t-1} 'den (I_t stoğunun bir kısmı kalabilir) veya bekleyen sipariş S_t 'nin bir parçası olarak karşılanır. Bir başka ifade ile bu kısıt her bir dönem için toplam arzın toplam talep ile eşitlenmesi gerekliliğini ifade eder. Bu ilişki $t = 1, \dots, 6$ için $I_{t-1} + P_t + C_t = D_t + S_{t-1} + I_t - S_t$ ile ifade edilir. t . dönem içindeki talep D_t olarak gösterilir. D_t değerleri Tablo 3.1'de gösterildiği gibidir.

Başlangıç stoğu $I_0 = 1000$ ile verilirken, kapanış stoğu ise en az 500 birim olmalıdır; $I_6 \geq 500$. Başlangıçta herhangi bir bekleyen sipariş olmadığı gibi ($S_0 = 0$) planlama ufkunun sonu olan 6. ayın sonunda da herhangi bir bekleyen sipariş olmamalıdır ($S_6 = 0$). Bu kısıtlar da doğrusal programlama modelinin bir parçasıdır.

Fazla mesai ile ilgili kısıtlama hiçbir işgörenin ayda 10 saatin üzerinde fazla mesai yapmamasını gerektirir. Bu gereklilik toplam kullanılabilir fazla mesai saatlerini $t = 1, \dots, 6$ için $O_t \leq 10W_t$ denklemi ile sınırlar.

Ayrıca değişkenlerin hiçbiri negatif olmamalıdır. O_t haricindeki tüm değişkenlerin tam sayı olması modeli karma tam sayılı doğrusal programlama modeli olarak sınıflandırır.

Yukarıda tanımlanan amaç fonksiyonu ve kısıtlar ışığında modelin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^6 640W_t + \sum_{t=1}^6 6O_t + \sum_{t=1}^6 300H_t + \sum_{t=1}^6 500L_t + \sum_{t=1}^6 2I_t + \sum_{t=1}^6 5S_t + \sum_{t=1}^6 10P_t + \sum_{t=1}^6 30C_t$$

öyle ki $W_0 = 80$

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t$$

$$P_t \leq 40W_t + \frac{O_t}{4}$$

$$I_0 = 1000$$

$$I_{t-1} + P_t + C_t = D_t + S_{t-1} + I_t - S_t$$

$$I_6 \geq 500$$

$$S_6 = 0$$

$$O_t \leq 10W_t$$

Chopra ve Meindl (2017) BÜP probleminin optimal çözümü için Microsoft Excel Çözücü ("Solver add-in") eklentisini kullanmıştır.

3.3. KARAR DESTEK SİSTEMİ İLE ÖRNEK BÜTÜNLEŞİK ÜRETİM PLANLAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

3.3.1. R Programlama

Çalışmamızda kullandığımız BÜP probleminin çözümü için doğrusal ve karma tam sayılı doğrusal programlama problemlerini çözmek için geliştirilen “GNU (GNU’s Not Unix) Linear Programming Kit (GLPK)” (GNU Doğrusal Programlama Kiti) olarak adlandırılan yüksek seviyeli ve açık kaynak kodlu çözücü içeren R kütüphanesini (Theussl vd., 2019) kullandık.

Örnek BÜP probleminin karma tam sayılı doğrusal programlama modeli ile çözümü için gerekli kodlamalar ve açıklamaları Ek 1’de verilmektedir. Bu bölüm Rglpk paketi ile optimal çözüm, gölge fiyatları ve azaltılmış maliyetleri hesaplamayı sağlayan kodlardan oluşmaktadır. Ek 2’de ise geliştirilen KDS’nin kodları ile çözümlerin sağlanmasına yönelik kodlar ve programın çalıştırılması gösterilmektedir.

3.3.2. Karar Destek Sistemi Uygulaması

Shiny, kolaylıkla interaktif web uygulamaları oluşturmayı sağlayan bir R paketidir. Girdiler ve çıktılar arasında otomatik olarak reaktif ilişki kurulmasını sağlar. Önceden oluşturulmuş görsel seçenekleriyle uygulama oluşturmayı kolaylaştırır. R kütüphanesinden indirilecek Shiny paketi ile uygulama kullanıma hazır duruma gelir (*Shiny - Tutorial*, t.y.).

Bir Shiny uygulaması;

- Kullanıcı ara yüzü “ui – user interface object”,
- Sunucu fonksiyonu “server function” ve
- Uygulama fonksiyonu “shinyApp function”

olmak üzere 3 ana unsur içeren bir “app.R” dosyasından oluşur. Kullanıcı arayüzü alanında uygulamanın düzeni ve görünümü belirlenir. Sunucu fonksiyonu alanında uygulamanın çalıştırılabilmesi için gerekli talimatlar yazılır. Uygulama fonksiyonu ise arayüz ve sunucu fonksiyonlarını birlikte kullanarak uygulamayı meydana getirir (*Shiny - Tutorial*, t.y.).

Shiny uygulamasıyla oluşturulan web tabanlı KDS'nin kullanıcı dostu arayüzü Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3.'te verilmektedir. Üretim yöneticisi ya da planlama sorumlusu başlangıç verileri, amaç fonksiyonu katsayı değerleri ve aylık talep tahminlerini arayüzü kullanarak en düşük maliyetli BÜP sonuçlarına ulaşabilir.

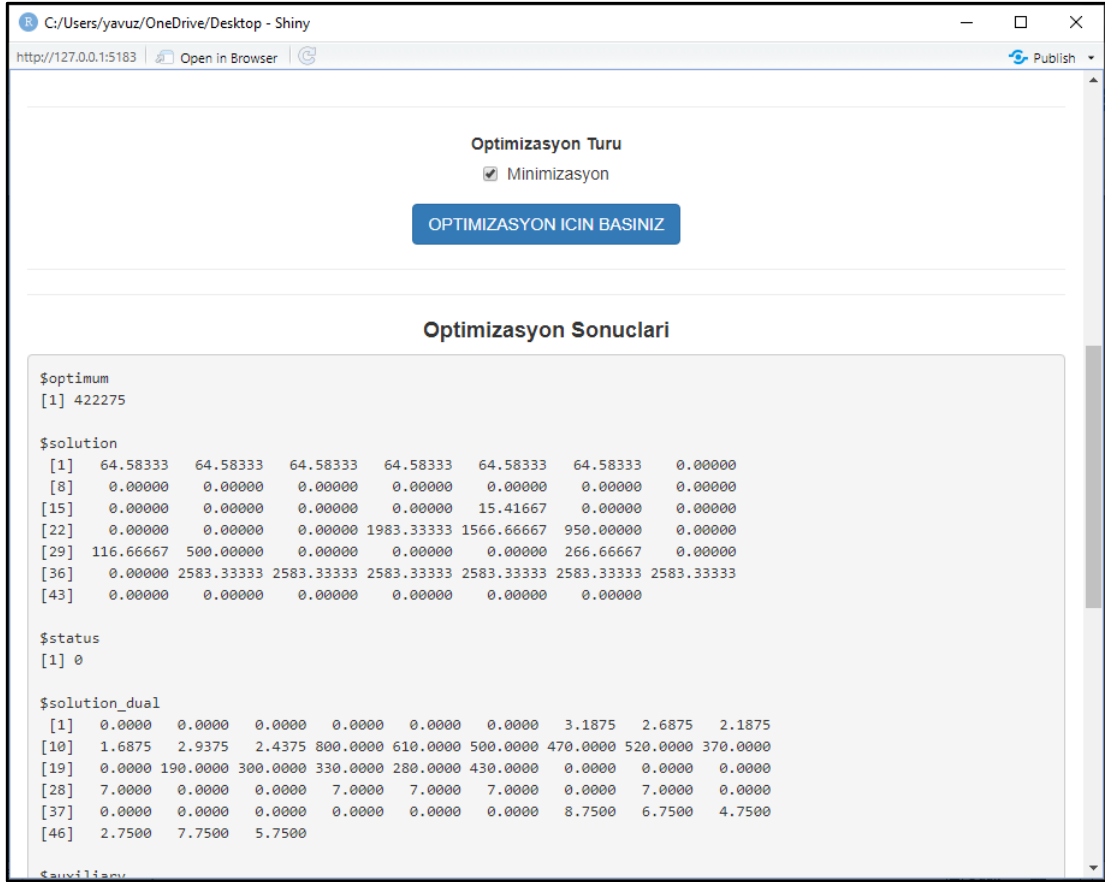
The screenshot displays the 'Karar Destek Sistemi' web interface. The main title is 'Butunlesik Uretim Planlama Optimizasyon Araci'. Below the title, there are several sections for data entry:

- Baslangic / Kapanis Verileri:** Includes input fields for 'Baslangic Isgucu' (80), 'Baslangic Stoku' (1000), 'Kapanis Stoku' (500), and 'Bekleyen Siparis' (0).
- Maliyetler (Amaç Fonksiyonu Katsayilari / Karar Degiskenleri):** Includes input fields for 'Normal Mesai (Aylık)' (640), 'Fazla Mesai (Saatlik)' (6), 'Ise Alma' (300), 'Isten Cikarma' (500), 'Stok (Birim)' (2), 'Stok Tukenmesi (Birim)' (5), 'Malzeme (Birim)' (10), and 'Fason Uretim (Birim)' (30).
- Karar Degiskenlerinin Turleri:** A radio button is selected for 'Surekli'.
- Talep Tahmini:** Includes input fields for monthly demand: Ocak (1600), Subat (3000), Mart (3200), Nisan (3800), Mayıs (2200), and Haziran (2200).

Şekil 3.1: Karar Destek Sistemi'nin veri giriş bölümü.

Şekil 3.1.'deki veri giriş ekranında KDS'nin "Shiny" uygulaması olarak başlatılması gösterilmiştir. Kullanıcı burada BÜP problemine ait başlangıç ve kapanış verileri ile aylık maliyetleri ve talep tahminlerini tanımlar.

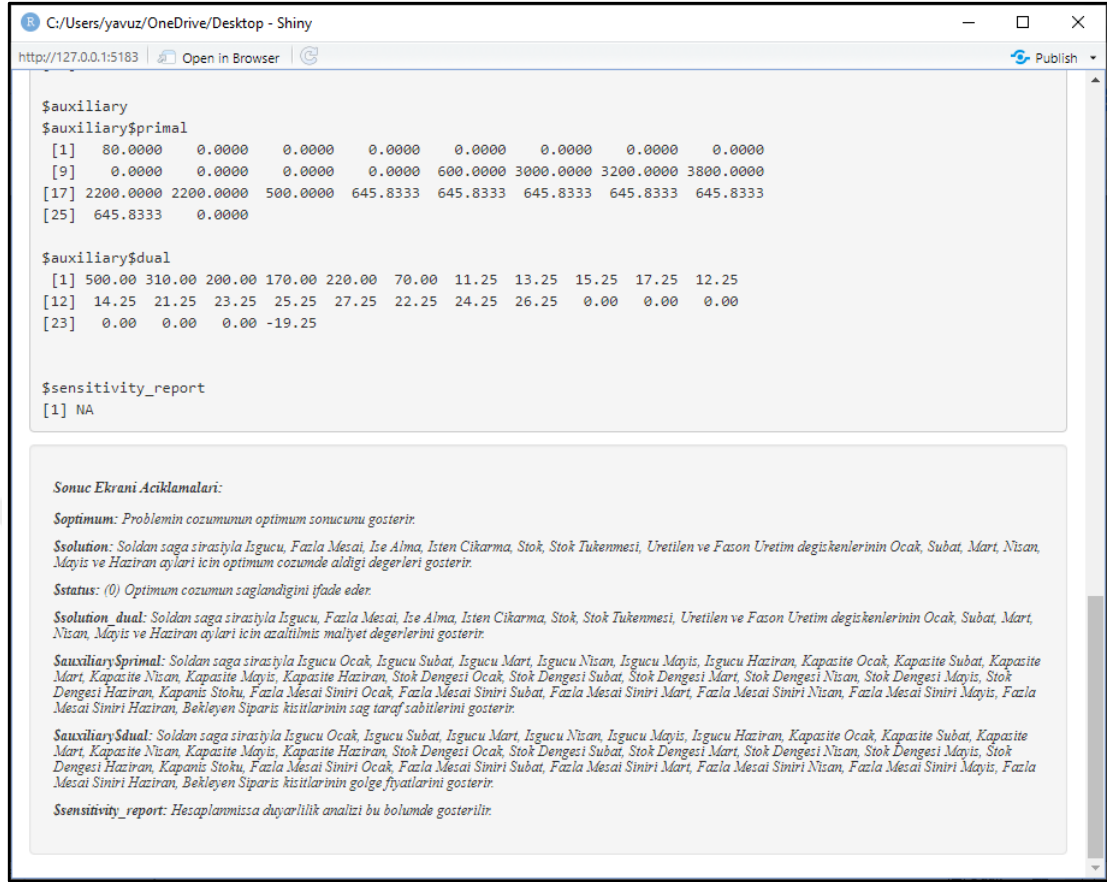
KDS tek bir pencere olarak hazırlanmıştır. Optimizasyon türü ve uygulamanın çalışmasını tetikleyen buton ile optimizasyon sonuçlarının bir bölümü Şekil 3.2.'de, kalan sonuçlar ve açıklamaları ise Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.2: Karar Destek Sistemi'nin optimizasyon butonu ve sonuçların verildiği bölüm.

3.4. ÖRNEK PROBLEMİN OPTİMİZASYONU VE OPTİMAL SONUÇLARI

Firmanın maliyeti minimum seviyeye indirmek için yaptığı 6 aylık BÜP faaliyeti sonucunda çıkan toplam maliyet \$422.275'dir. Tablo 3.3'te görüldüğü gibi firma ocak ayı başında 16 işgöreni işten çıkartacak aylık 2583,33 birimlik üretim ile faaliyetine başlayarak planlama ufku boyunca işgücü ve üretim seviyesini koruyacaktır. Firma 6 aylık planlama dönemi boyunca fazla mesai ya da fason üretim desteğine ihtiyaç duymayacaktır. Sadece nisan ayında 266,66 birimlik stok tükenmesi yaşanarak bekleyen siparişler mayıs ayına aktarılacak, diğer aylarda stok tutularak talepler zamanında karşılanacaktır. Planlandığı gibi dönem sonunda bekleyen sipariş olmayacak ve 500 birimlik kapanış stoğu bulunacaktır.



Şekil 3.3: Karar Destek Sistemi'nin sonuçların devamı ve açıklamaların verildiği bölüm.

Tablo 3.3: Örnek problemin optimal çözümünde karar değişkenlerinin aldığı değerler.

Ay	İşgücü	Fazla Mesai	İşe Alma	İşten Çıkarma	Stok	Bekleyen Sipariş	Üretilen	Fason Üretim
1	64,58	0	0	15,41	1983,33	0	2583,33	0
2	64,58	0	0	0	1566,66	0	2583,33	0
3	64,58	0	0	0	950	0	2583,33	0
4	64,58	0	0	0	0	266,66	2583,33	0
5	64,58	0	0	0	116,66	0	2583,33	0
6	64,58	0	0	0	500	0	2583,33	0

Ulaştığımız sonuçlara BÜP stratejileri açısından bakıldığında firmanın planlama ufku başında işten çıkarma yaparak kapasite stratejilerinden olan işgücü seviyesinin değiştirilmesi stratejisini kullandığını görüyoruz. Daha sonra firma planlama ufku boyunca işgücü kapasitesini koruyarak sabit üretim hızı ile devam ediyor ve nisan ayı haricinde stok tutarak talep ve üretim arasındaki farkı

dengelemeye çalışıyor. Bu durumda karma BÜP stratejilerden olan sabit üretim hızı stratejisinin minimum maliyeti sağlamak adına firma için en uygun strateji olduğunu görüyoruz.

3.5. ÖRNEK PROBLEMDE GÖLGE FİYATLARIN İNCELENMESİ

Çalışmamızda gölge fiyatlar; işgücü, kapasite, stok dengesi, kapanış stoğu, fazla mesai sınırı ve bekleyen sipariş kısıtlarıyla ilgilidir. Örnek BÜP probleminin optimal çözümünde kısıtların gölge fiyatları ve sağ taraf sabitlerinin izin verilen azalış ve artış limitleri (fizibilite aralığı) Tablo 3.4'te verilmektedir.

İşletme 6 aylık planlama sürecinde gerçekleştireceği üretim faaliyetlerine 80 işgörenle başlamaktadır. Maliyet minimizasyonunu amaçlayan optimizasyon sonucunda elde edilen optimal BÜP'e göre ocak ayının başında 16 işgöreni işten çıkarmakta ve ilerleyen aylarda faaliyetlerine 65 işgörenden oluşan sabit işgücüyle sabit üretim seviyesi olan aylık yaklaşık 2583 birimi üretmeye devam etmektedir¹. İşletmenin işgücü, dönem başında (ocak ayı başı) 80 işgörenden oluşmaktadır. Problemin optimal çözümünde ocak ayı işgücünün gölge fiyatı \$500 çıkmaktadır. Dönem başında 80 yerine 81 işgören olsaydı optimal maliyet \$500 artacak, 79 işgören olsaydı \$500 azalacaktı. Amaç fonksiyonumuzda işten çıkarma karar değişkeninin katsayısının 500 olduğunu hatırlarsak başlangıç döneminde işgücünün gölge fiyatının işten çıkarma maliyeti ile aynı olduğunu görmekteyiz. İşgücü kaynağının gölge fiyatı planlama ufkunun ilerleyen aylarında başlangıç dönemine göre düşmektedir. Şubat, mart ve nisan aylarında sırasıyla 310, 200 ve 170'le düşüş trendi devam ederken mayıs ayında bir yükseliş yaşanarak işgücü kısıtının gölge fiyatı 220'ye çıkmaktadır. Son olarak haziran ayında en düşük seviyeyi görerek işgücünün gölge fiyatı \$70 olmuştur. Duyarlılık analizine göre ocak ayına ilişkin işgücü kısıtının sağ taraf sabitinin izin verilen azalış ve artış limitleri 64,58 ile ∞ arasındadır. 65 ve üzeri değişikliklerde gölge fiyatı aynı kalırken, 64 ve altında kalan sağ taraf sabitlerinde yeni gölge fiyatları oluşmaktadır.

¹ İşgücü karar değişkenlerinin optimal değerleri bir üst tam sayıya yuvarlanarak ifade edilmektedir.

Tablo 3.4: Örnek problemin optimal çözümünde kısıtların gölge fiyatları.

Kısıt	Ay	Kısıtların Sağ Taraf Sabitleri	Kısıtların Gölge Fiyatları	Sağ Taraf Sabitlerinin İzin Verilen Azalış/Artış Limitleri
İşgücü	1	80	500	64,58/∞
	2	0	310	-18,50/17,50
	3	0	200	-10/8,75
	4	0	170	-6,66/5,83
	5	0	220	-5/4,37
	6	0	70	-10/3,50
Kapasite	1	0	11,25	-800/700
	2	0	13,25	-800/700
	3	0	15,25	-800/700
	4	0	17,25	-800/700
	5	0	12,25	-1900/400
	6	0	14,25	-140/400
Stok Dengesi	1	600	21,25	-200/1300
	2	3000	23,25	2200/3700
	3	3200	25,25	2400/3900
	4	3800	27,25	3000/4500
	5	2200	22,25	300/2600
	6	2200	24,25	2060/2600
Fazla Mesai Sınırı	1	645,83	0	800/-2587,50
	2	645,83	0	712,50/-2587,50
	3	645,83	0	679,16/-2587,50
	4	645,83	0	662,50/-2587,50
	5	645,83	0	675/-7033,33
	6	645,83	0	675/80
Kapanış Stoğu	6	500	26,25	360/900
Bekleyen Sipariş	6	0	-19,25	-/140

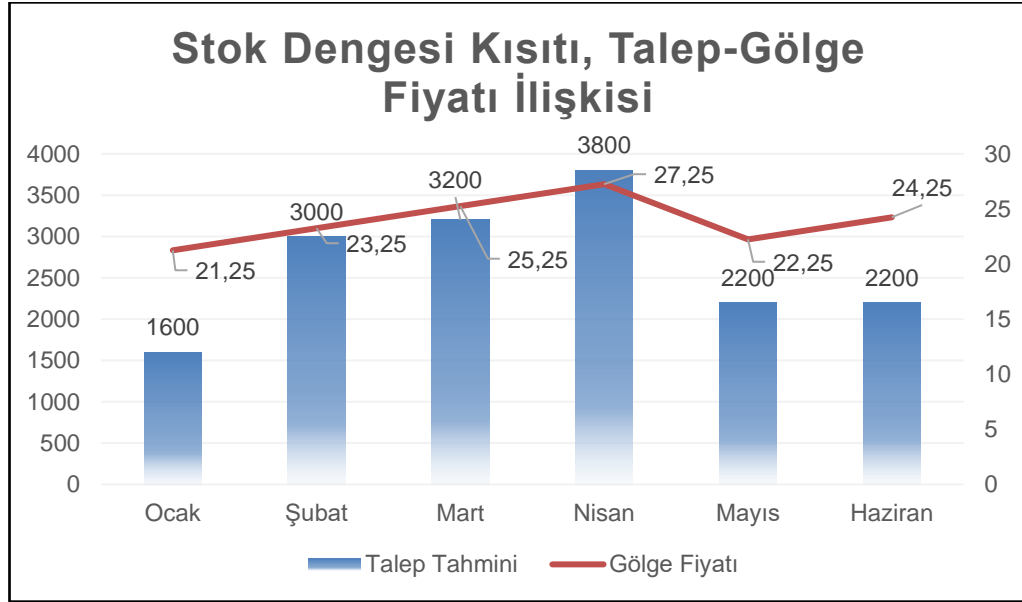
Her bir aya ait işgücü kısıtı bir önceki dönemden gelen işgücüne, mevcut dönemde işe alınanların eklenmesi ve işten çıkarılanların çıkarılması şeklinde hesaplanmaktadır. Amaç toplam üretim maliyetinin minimizasyonu olduğu için sadece işgücünün aylara göre değişen gölge fiyatını bilmek bile işletmeye işgücünde yapacağı değişiklikleri etkin ve verimli bir şekilde planlayabilme gücü vermektedir. Örneğin, çalışan sayısını azaltmak için en avantajlı dönem ocak ayıdır. Bu ayda işten çıkartılacak her bir işgören için maliyet \$500 azalmaktadır. Bu durum primal problemin optimal çözümüne de açıkça yansımaktadır. İşe alım yapılacaksa, bu dönem, tam tersine, ocak ayı olmamalıdır. Ocak ayı başında işe alınacak her bir işgören maliyete \$500 ilave yük getirecekken, örneğin haziran ayı başında bu maliyet sadece \$70'dır. İlerleyen planlama dönemlerinde talepte yaşanabilecek bir oynaklık fason üretim tercihini gündeme getirebilir. İşgücünün aylık gölge fiyatlarını bilen üretim yöneticileri

böyle bir durumda işgücü maliyetinin yüksek olduğu aylarda işgücünü artırmak yerine fason üretime gitmeyi tercih edecektir.

Optimal çözümde kapasite kısıtının gölge fiyatları da aylara göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum işletmenin karar vericilerine kapasite değişiklik kararlarında seçenekler sunmaktadır. Gündemde kapasite değişimi varsa bunun için gölge fiyatın 11,25 ile en düşük olduğu ocak ayı tercih edilmelidir. Sırasıyla mayıs, şubat ve haziran ayları ocak ayının ardından en düşük maliyetli aylar olarak sıralanırken mart ve nisan ayları gölge fiyatının en yüksek olduğu aylardır. Kapasite gölge fiyatı 17,25 ile nisan ayında en yüksek değere ulaştığından bu ay kapasite değişimi için düşünülebilecek en dezavantajlı dönem olarak görünmektedir. Planlama dönemi başında kapasite kısıtının gölge fiyatlarını öğrenen ve aylara göre farklılık gösterdiğini bilen bir yönetici karar alırken, bilinmezliklerle hareket eden bir yöneticiye göre daha avantajlı olacaktır.

Stok dengeleme için kullanılan stok dengesi kısıtı; mevcut talep, bekleyen siparişler, mevcut üretim ve önceki dönemden kalan stok miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Arzı taleple eşleştirmek olarak tanımlanan bu durum makro ekonominin de ilgi alanlarından biridir. Mevcut talep işletmenin yaptığı talep tahminine göre belirlendiği için talep tahmini gerçeğe ne kadar yakın olursa üretim maliyetinin minimizasyonu hedefinden sapma oranı da o derece az olacaktır çünkü kısıtın sağ taraf sabitlerinin belirlenmesinde ilgili ayların tahmin edilen talep miktarları etkili olmaktadır. Kısıtın sağ taraf sabitinde yapılacak 1 birimlik değişim bile işgücü ve üretim miktarlarını doğrudan etkilemektedir. Talep miktarı arttıkça aylık üretim miktarları da artmakta ve buna bağlı olarak işgücü ve kapasite miktarı da artış göstermektedir. İşletmenin sabit üretim hızı stratejisini benimsemesi ve stok dengesi kısıtının bileşenleri nedeni ile talebin fazla olduğu aylarda stoklar azalma eğilimine girmektedir. Stoklar azaldıkça stok dengesi kısıtı bağlayıcı duruma gelmekte ve gölge fiyatı artmaktadır. Örneğin, talebin en yüksek olduğu nisan ayında işletme talebin tamamını karşılayamamakta ve bir kısmını bekleyen sipariş olarak sonraki aya ertelemektedir. Dolayısı ile stok tükenmesi yaşanan nisan ayı stok dengesi kısıtının gölge fiyatının en yüksek olduğu aydır. Talebin düşük olduğu aylarda ise sabit üretim hızı nedeni ile stok miktarları artmakta ve stok dengesi kısıtının bağlayıcılığı azalarak gölge fiyatı düşmektedir. Örneğin, talebin en düşük olduğu ocak ayı stok dengesi kısıtının gölge fiyatının en düşük olduğu aydır. Stok Dengesi Şubat kısıtının sağ taraf sabitinin izin verilen azalış ve artış limitleri 2200 ile 3700, gölge fiyatı ise 23,25'tir.

3000 olan sağ taraf sabitini 2201 olarak değiştirdiğimizde toplam maliyet \$18.576,8 ($23,25 \times 799$) azalarak \$403.698,2 olmakta, 23,25 olan gölge fiyatı ise değişmemektedir. Sağ taraf sabitini limit aralığı dışında bir değer olan 2199 olarak değiştirdiğimizde ise toplam maliyetle birlikte gölge fiyatı da değişerek 20,91 olmaktadır. Kısıtların sağ taraf sabitlerinde izin verilen azalış ve artış limitleri dahilinde yapılan değişiklikler kısıtın gölge fiyatında değişikliğe sebep olmazken toplam maliyet, işgücü, kapasite ve üretim miktarlarında farklılıklara neden olmaktadır. Limit dışı artışlarda diğer değişkenlerle birlikte gölge fiyatları da değişmektedir. Örnek BÜP problemimize özel olarak geliştirdiğimiz KDS sayesinde kolayca farklı simülasyonlar yapılarak değişen sonuçlar ve etkileri takip edilebilmektedir.



Şekil 3.4: Stok dengesi kısıtı, talep-gölge fiyatı ilişkisi.

Şekil 3.4'te de görüldüğü gibi talep miktarlarının arttığı aylarda stok dengesi kısıtının gölge fiyatları da artmaktadır. Bu durumun talep miktarları arttıkça devam edip etmediğini görmek, maliyetlere ve kâr tutarlarına etkilerini sınamak için diğer koşullar aynı kalmak şartı ile talep miktarlarını sırası ile 2 ve 10 katına çıkararak BÜP problemini yeniden çözdük. Geliştirdiğimiz KDS ile yaptığımız çalışmanın sonuçları Tablo 3.5'te gösterilmektedir. Talep arttıkça toplam kâr artmakta fakat birim kârı düşmektedir. Ulaştığımız sonuçlar gölge fiyatlarının talep miktarlarının arttığı aylarda yükseldiğini fakat bu artışın sürekli olmadığını göstermektedir. Artan taleple birlikte gölge fiyatlarının değişmediği durumlarda da birim kârı düşmeye devam etmektedir.

Bu sebeple, maliyetlerin artmadığı bir durumda bile işletme kârlılığını koruyabilmek için \$40'a sattığı ürünün fiyatında ayarlama yapma ihtiyacı duyabilir.

Tablo 3.5: Stok dengesi kısıtının gölge fiyatı ile talep artışı arasındaki ilişki.

	Talep	Gölge Fiyat	Talep	Gölge Fiyat	Talep	Gölge Fiyat
	Mevcut senaryo		Talep × 2		Talep × 10	
Dönem 1	1.600	21,25	3.200	26	16.000	26
Dönem 2	3.000	23,25	6.000	28	30.000	28
Dönem 3	3.200	25,25	6.400	30	32.000	30
Dönem 4	3.800	27,25	7.600	30	38.000	30
Dönem 5	2.200	22,25	4.400	25	22.000	25
Dönem 6	2.200	24,25	4.400	24,50	22.000	24,50
Toplam Gelir	640.000		1.280.000		6.400.000	
Toplam Maliyet	422.275		852.250		4.480.250	
Toplam kâr	217.725		427.750		1.919.750	
Birim kâr	13,61		13,37		12,00	

Örneğimizdeki tüm planlama ufku için fazla mesai sınırı kısıtının sağ taraf sabiti (aylık işgören sayısı (64,58) × 10) 645,83 olarak, fazla mesai sınırı kısıtının gölge fiyatı ise 0 olarak hesaplanmıştır. Optimal çözümde fazla mesai karar değişkeninin değeri 0 olduğundan mevcut talebi karşılamak için normal mesai sürelerinin yeterli olduğu ve planlama ufku boyunca fazla mesaiye ihtiyaç duyulmadığı anlaşılmaktadır. \$6 olan fazla mesai maliyeti (fazla mesai karar değişkeninin 6 olan amaç fonksiyonundaki katsayısı) artırılsa bile optimal çözümde bir farklılık olmayacaktır. Örnek vakadaki geçerli çalışma kurallarına göre bir işgören ayda 10 saatin üzerinde fazla mesai yapamamasına rağmen fazla mesai saatlerinin artırılması ya da azaltılmasının işletmeye bir etkisi bulunmamaktadır.

Örnek BÜP problemindeki işletmenin dönem boyunca fason üretim, stok ve stok tükenmesiyle ilgili sınırı yoktur, tek kısıt dönem sonunda bekleyen sipariş olmaması ve 500 birim stok bulunmasıdır. Optimal çözümde haziran ayı sonunda hedeflenen 500 birimlik kapanış stoğu tam olarak karşılanmış ve kısıt bağlayıcı duruma gelerek gölge fiyatı \$26,25 olarak gerçekleşmiştir. Bu demektir ki; 500 birim olarak hedeflenen kapanış stoğu -Kapanış Stoğu kısıtının sağ taraf sabiti- her 1 birim azaltıldığında maliyet \$26,25 azalmaktadır. Aynı şekilde stok adetinin her 1 birim artışında maliyet yine \$26,25 artmaktadır (çalışmamızda amaç, maliyetin minimizasyonu olduğundan amaç fonksiyonunun değerini artıran koşullar bizim için

istenmeyen durumlardır). Kapanış Stoğu kısıtının izin verilen azalış ve artış limitleri sırası ile 360 ve 900'dür. Örneğin; dönem sonu stok hedefini 139 birim düşürüp 361 birim olarak dikkate alırsak toplam maliyet \$3.648,8 ($26,25 \times 139$) azalarak \$418.626,2 olmakta ve 26,25 olan gölge fiyatı değişmemektedir. 140 birim düşürüp 360 birim olarak dikkate alırsak toplam maliyet \$3.675 ($26,25 \times 140$) azalarak \$418.600 olmakta ve yeni gölge fiyatı 20,41 olmaktadır. Dönem sonu stoğunu azaltmak kısa dönemde maliyetleri azaltabilir ancak takip eden planlama dönemlerinde kapasite sorunlarına neden olabilir.

Örneğimizde bağlayıcı duruma gelmiş bir diğer kısıt ise Bekleyen Sipariş kısıtıdır. İşletmenin hedefi yüksek seviyede müşteri memnuniyeti olduğu için tüm talebi karşılamakta hevesli olacağı varsayılır; ancak geç karşılayabilir. Planlama dönemi sonunda stok tükenmesi yaşanması ve bekleyen siparişlerin olması müşteri memnuniyetsizliğine yol açabilir. Bekleyen Sipariş kısıtının gölge fiyatı optimum çözümde -19,25'tir. İşletme, "dönem sonunda sıfır bekleyen sipariş" başlangıç hedefinden vazgeçip siparişleri karşılamama yolunu seçerse karşılanmayan her bir birim sipariş için maliyet \$19,25 düşecektir. Bekleyen Sipariş kısıtının sağ taraf sabitinin izin verilen artış limitli 140'tır. Örneğin; kısıtın 0 olan sağ taraf sabitini 140 yaptığımızda toplam maliyet \$2.695 ($19,25 \times 140$) azalarak \$419.580 olmakta ve gölge fiyatı değişmemektedir. Kısıtın sağ taraf sabitini 141 yaptığımızda ise toplam maliyet \$2.714,3 ($19,25 \times 141$) değil de \$2.708,4 azalarak \$419.566,6 olmaktadır. Aynı zamanda farklı kısıtların da bağlayıcı duruma gelmesi ve gölge fiyatlarının değişmesi azalmanın beklenenden az olmasına neden olmuştur. Yeni durumda Bekleyen Sipariş kısıtının gölge fiyatı da -13,41 olarak gerçekleşmektedir. Dönem sonunda bekleyen siparişlerin kalması işletme için prestij ve müşteri kaybına neden olabilir. Amaç üretim maliyetlerini minimum seviyeye indirmek olduğunda işletme bu tür olumsuzluklara katlanmayı göze alarak stok tükenmesi durumunu tercih edebilir.

3.6. ÖRNEK PROBLEMİN AZALTILMIŞ MALİYETLERİNİN İNCELENMESİ

Tablo 3.6: Örnek problemin optimal çözümünde karar değişkenlerinin azaltılmış maliyetleri.

Karar Değişkeni	Ay	Karar Değişkenleri			
		Katsayıları (Maliyetler)	Optimal Değerleri	Azaltılmış Maliyetleri	İzin Verilen Azalış/Artış Limitleri
İşgücü	1	640	64,58	0	412/1300
	2	640	64,58	0	190/1300
	3	640	64,58	0	-20/1300
	4	640	64,58	0	-200/1300
	5	640	64,58	0	-140/1060
	6	640	64,58	0	196/1060
Fazla Mesai	1	6	0	3,18	2,81/∞
	2	6	0	2,68	3,31/∞
	3	6	0	2,18	3,81/∞
	4	6	0	1,68	4,31/∞
	5	6	0	2,93	3,06/∞
	6	6	0	2,43	3,56/∞
İşe Alma	1	300	0	800	-500/∞
	2	300	0	610	-310/∞
	3	300	0	500	-200/∞
	4	300	0	470	-170/∞
	5	300	0	520	-220/∞
	6	300	0	370	-70/∞
İşten Çıkarma	1	500	15,41	0	-160/728
	2	500	0	190	310/∞
	3	500	0	300	200/∞
	4	500	0	330	170/∞
	5	500	0	280	220/∞
	6	500	0	430	70/∞
Stok	1	2	1983,33	0	-3,70/18,50
	2	2	1566,66	0	-3,62/10,25
	3	2	950	0	-3,50/7,50
	4	2	0	7	-5/∞
	5	2	116,66	0	-5/8,90
	6	2	500	0	-∞/∞
Bekleyen Sipariş	1	5	0	7	-2/∞
	2	5	0	7	-2/∞
	3	5	0	7	-2/∞
	4	5	266,66	0	-2/10,25
	5	5	0	7	-2/∞
	6	5	0	0	-∞/∞
Üretilen	1	10	2583,33	0	4,30/26,50
	2	10	2583,33	0	-1,25/26,50
	3	10	2583,33	0	-0,50/26,50
	4	10	2583,33	0	1,90/26,50
	5	10	2583,33	0	-4,10/20,50
	6	10	2583,33	0	-1,10/20,50
Fason Üretim	1	30	0	8,75	21,25/∞
	2	30	0	6,75	23,25/∞
	3	30	0	4,75	25,25/∞
	4	30	0	2,75	27,25/∞
	5	30	0	7,75	22,25/∞
	6	30	0	5,75	24,25/∞

Örneğimizde azaltılmış maliyet 640, 6, 300, 500, 2, 5, 10, 30 katsayılarında meydana gelecek değişikliklerle ilgilidir. Katsayı değişikliklerinin üst ve alt limitleri duyarlılık analizi ile hesaplanır. Problemimizin çözümünde azaltılmış maliyetleri sıfır olan karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

- İşgücü ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, haziran
- İşten çıkarma ocak
- Stok ocak, şubat, mart, mayıs, haziran
- Bekleyen sipariş nisan, haziran
- Üretilen ocak, şubat, mart, nisan, mayıs, haziran

Tablo 3.6'ya ilaveten örneğimizin optimal çözümünde geçerli olan karar değişkenlerinin katsayı aralıkları Ek 3'te sunduğumuz duyarlılık analizi raporunda detaylı olarak görülebilir. "Obj coef range" alanındaki değerler izin verilen azalış ve artış limitlerini göstermektedir. Örneğin; katsayısı 640 olan İşgücü Ocak karar değişkeninin katsayı değişim aralığı 412 ile 1300'dür. Katsayıyı 412'ye kadar düşürdüğümüzde ya da 1299'a kadar yükselttiğimizde optimal sonuç değişmekte, 64,58 olan işgören sayısında değişiklik yaşanmamaktadır. Katsayıyı 411 ve altına düşürdüğümüzde ya da 1300 ve üstüne çıkardığımızda optimal sonuçla birlikte işgören sayıları da değişmektedir. Aynı yöntemi katsayı değişim aralığı -160 ile 728 olan İşten Çıkarma Ocak değişkenine uygularsak; katsayıyı -159'a kadar düşürdüğümüzde ya da 728'e kadar yükselttiğimizde optimal sonuç değişmekte ancak 15,41 olan işten çıkarılan işgören sayısı değişmemektedir. Katsayıyı -160 ve daha düşük yaptığımızda ya da 729 ve üstüne çıkardığımızda optimal sonuçla birlikte işten çıkarılan işgören sayısı da değişmektedir. Katsayısı 10, katsayı değişim aralığı 4,30 ile 26,50 olan Üretilen Ocak değişkeninin katsayısını 4,30'a kadar düşürdüğümüzde ya da 26,40'a kadar yükselttiğimizde optimal sonuç değişmekte ancak 2583,33 olan üretilen birim miktarı değişmemektedir. Katsayıyı 4,29 ve daha düşük yaptığımızda ya da 26,50 ve üstüne çıkardığımızda optimal sonuçla birlikte üretilen birim miktarları da değişmektedir. Geliştirdiğimiz KDS sayesinde farklı senaryolar kolayca test edilerek sonuçları izlenebilmektedir.

Problemimizin optimal çözümünde haziran ayına ait stok ve bekleyen sipariş karar değişkenleri üst sınırındadır (500, 0). Bu iki karar değişkeninin de azaltılmış maliyetleri 0 değerinde olduğundan katsayı değerlerini sıfıra düşürdüğümüzde bile üst sınırlarında kalmaktadır. Duyarlılık analizine baktığımızda da her iki değişken için

katsayı aralığının eksi sonsuz ile artı sonsuz olduğunu görebiliriz. Örneğimizdeki diğer tüm değişkenlerin optimal sonuçları 0 ile üst sınır aralığında olduğundan azaltılmış maliyetleri incelenmemiştir.

3.7. ENFLASYON ETKİSİNİN GÖLGE FİYATLARA YANSIMASI

Planlama ufku boyunca talep tahmini verileri aynı kalmak şartı ile %40 enflasyon yaşandığını ve bu durumun tüm maliyetlere yansıdığını düşünürsek yeni durum için amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Z_{min} = \sum_{t=1}^6 896W_t + \sum_{t=1}^6 8,4O_t + \sum_{t=1}^6 420H_t + \sum_{t=1}^6 700L_t + \sum_{t=1}^6 2,8I_t + \sum_{t=1}^6 7S_t + \sum_{t=1}^6 14P_t + \sum_{t=1}^6 42C_T$$

Bu durumda ortaya çıkan en uygun bütünleşik plan Tablo 3.7'de verilmektedir. Karar değişkenlerinin aldığı değerlerde bir değişiklik yaşanmamış, toplam maliyet enflasyon oranı (%40) kadar artarak \$591.185 olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 3.7: %40 enflasyonlu örnek çalışmanın optimal çözümünde karar değişkenlerinin aldığı değerler.

Ay	İşgücü	Fazla Mesai	İşe Alma	İşten Çıkarma	Stok	Bekleyen Sipariş	Üretilen	Fason Üretim
1	64,58	0	0	15,41	1983,33	0	2583,33	0
2	64,58	0	0	0	1566,66	0	2583,33	0
3	64,58	0	0	0	950	0	2583,33	0
4	64,58	0	0	0	0	266,66	2583,33	0
5	64,58	0	0	0	116,66	0	2583,33	0
6	64,58	0	0	0	500	0	2583,33	0

Örnek çalışmanın optimal çözümünde kısıtların gölge fiyatları Tablo 3.8'de verilmektedir. Gölge fiyatlarında da optimal çözüm değerinde görülen değişime benzer bir değişim gözlemlenmektedir. Tüm kısıtların gölge fiyatı, uyguladığımız enflasyon oranı (%40) kadar artmıştır.

Tablo 3.8: %40 enflasyonlu örnek çalışmanın optimal çözümünde kısıtların gölge fiyatları.

Kısıt	Ay	Sağ Taraf Sabiti	Gölge Fiyatlar
İşgücü	1	80	700
	2	0	434
	3	0	280
	4	0	238
	5	0	308
	6	0	98
Kapasite	1	0	15,75
	2	0	18,55
	3	0	21,35
	4	0	24,15
	5	0	17,15
	6	0	19,25
Stok Dengesi	1	600	29,75
	2	3000	32,55
	3	3200	35,35
	4	3800	38,15
	5	2200	31,15
	6	2200	33,95
Fazla Mesai Sınırı	1	645,83	0
	2	645,83	0
	3	645,83	0
	4	645,83	0
	5	645,83	0
	6	645,83	0
Kapanış Stoğu	6	500	36,75
Bekleyen Sipariş	6	0	-26,95

SONUÇ

Globalleşen ve dijitalleşen dünyada fiziki sınırlar ve mesafeler artık eskisi kadar engel teşkil etmiyor. Pazarlara, kaynak ve ürünlere ulaşmak hem kolaylaştı hem de seçenekler arttı. Bu durum acımasız bir rekabet ortamını da beraberinde getirdi. Firmalar rakipleriyle yarışabilmek ve onlara üstünlük sağlayarak hayatta kalabilmek için kârlılıklarını artırmak zorunda. Kâr sadece üretilen ürünü satarken elde edilmez. Doğru bir talep tahmini ile başlayan etkin ve verimli bir üretim süreci şarttır. Kısıtlı üretim kaynaklarını en uygun maliyetle doğru zamanda ve doğru sürelerde üretim sürecine dahil etmek kârlılığı artıracaktır. Tedarik sürelerine uygun stok, depolama ve nakliye koşullarının sağlanması da kârlılığı etkileyen diğer faktörler arasında sayılabilir. Peki bir firma bu girdileri nasıl bütünleştirip işine yarayacak sayısal verilere ulaşacak? Orta vadeli bir süreçte talebi ve farklı ürün gruplarının üretimini birlikte planlayan BÜP faaliyetleri firmaların bu amaç için kullandığı etkili bir araçtır. Gelecek planlarını tahminlere dayalı varsayımlar yerine belirli bir planlama ufku içinde gerçekleştirilmiş BÜP faaliyetinin verilerine göre yapmak, işletmeye rakipleri karşısında avantaj sağlayarak rekabet gücünü artıracaktır.

Çalışmamıza başlarken, özellikle bir kaynağı temsil eden kısıtların gölge fiyatını bilmenin ne denli önemli olduğunu ve ne işe yaradığını kısa ve etkili bir şekilde anlatabilmek için; “bir işten elde edilen kâr, o iş için yatırılan paradan çok daha az olabilir” anlamında kullanılan “attığı taş ürküttüğü kurbağaya değmemek” deyimini kullanmıştık. Bu deyim kullanırken gölge fiyatını bilmenin kârı artırmak ya da maliyeti azaltmak konusunda etkili bir araç olduğunu düşünüyorduk. Düşüncemizi pekiştirmek için kullandığımız örnek problemimizin optimizasyonu ile ulaştığımız sonuç bize altı aylık planlama dönemi için minimum maliyeti verdi. Ayrıca her bir ay için optimal işgören sayısı, üretilen ürün ve stok miktarı ile fazla mesai ve fason üretim bilgilerine de ulaştık. Bize göre asıl önemli konu maliyeti daha da azaltmak ya da kârı daha da artırmak olduğuna göre tek başına bu bilgiler yetmeyecekti. Çalışmamızın amacına ulaşabilmek ve fark yaratabilmek için BÜP literatürü kapsamında daha önce incelenmemiş olan gölge fiyatları ile azaltılmış maliyetleri de hesaplayarak duyarlılık analizi sayesinde bu değerlerin izin verilen azalış ve artış limitlerini de tespit ettik. Yaptığımız hesaplamalar sonucunda gölge fiyatı sıfırdan farklı olan bir kaynağın miktarında izin verilen azalış ve artış limitleri içerisinde yapılan 1 birim değişikliğin, optimal sonucu o kaynağın gölge fiyatı kadar değiştirdiğini gördük. Peki bu etki

planlama ufku boyunca aynı şekilde devam eder mi yoksa aylara göre değişir mi? Üretim süreçlerinde ne zaman ve nasıl değişikliğe gidilmelidir? Bu çalışmanın önemli yanlarından biri de gölge fiyatlarının planlama ufku boyunca aylara göre değişkenlik gösterdiğini tespit etmesidir. Gölge fiyatını ve aylara göre değişkenlik gösterdiğini bilen bir yönetici üretim sürecine hangi kaynak için ne zaman ne yönde müdahale etmesi gerektiğini görebilir. Ana fikrimiz olan deyim ile ifade etmek gerekirse, attığı taşın ürküttüğü kurbağaya ne zaman ve ne kadar degeceğini bilir ve o taşı doğru zamanda en etkili şekilde atar. İlaveten, 1 birim ek kaynağa ödenecek tutar optimal sonuçta o tutardan daha az bir iyileşme sağlıyorsa bunun işletmeye ne faydası var?

Bu çalışmanın önemi; gölge fiyatlarını bilmenin yönetici ve planlayıcılara proaktif hareket kabiliyeti sağladığını göstermesidir. Bu durum gölge fiyatına verdiğimiz önemi de doğrular niteliktedir. Örneğin; işletme politikası tüm talepleri dönem içerisinde gecikmeli de olsa karşılamak üzerine olduğunda stok dengesi kısıtındaki talep miktarlarını azaltarak toplam maliyeti düşürmek işletmenin seçeneklerinden biri olmamalıdır. İşletmenin gelecek dönemlerde farklı pazarlara açılarak müşteri portföyünü genişletmek ya da farklı tedarik zincirlerine dahil olmak gibi planları varsa gölge fiyatlarından yararlanarak stok dengesindeki değişikliklerin toplam maliyete ne kadar yansıtacağı konusunda fikir sahibi olabilir. Artan talebi karşılayabilmek için işgücü ve kapasitesini ne kadar artırması gerektiğini hesaplayabilir. Buna göre fiziki koşullarının yeni duruma uygun olup olmayacağını değerlendirebilir. Mevcut sermayesi, yükselecek maliyetleri karşılayacak düzeyde değilse sermaye artırımına başvurabilir ya da yeni ortak veya yatırımcı arayışına başlayabilir.

Çalışmamızda BÜP probleminin optimizasyonu için matematiksel programlama modellerinden biri olan DP yönteminden yararlandık. Çözümleri R programlama dili ile hesapladık. Hesaplamaları yaparken matematiksel yöntemler ve bilgisayar programlama dilinin iç içe olduğu bir çözüm yönteminin bu konularda teknik bilgisi olmayan kullanıcılara fazlasıyla karmaşık gelebileceğini düşünerek bir KDS geliştirmeye karar verdik. Karmaşık matematiksel denklemleri ve bilgisayar programlama dilini arka plana atıp kolay anlaşılabilir bir arayüz hazırladık. Bu arayüz sayesinde kullanıcı, başlangıç ve kapanış verileri ile tahmini talep miktarlarını ya da üretim maliyetlerini kolayca değiştirerek farklı simülasyonlar oluşturabilmekte ve sonuçlarını aynı ekranda takip edebilmektedir. Tek bir pencereden oluşan sistemde

karar verici probleme ait verileri tanımladıktan sonra optimizasyon butonuna bastığında aynı pencerenin devamında sonuç raporunu görebilmektedir. Veriler kullanıcı tarafından istenildiği gibi değiştirilebilir, reaktif kutucuklar sayesinde optimizasyon butonuna her basıldığında sonuç raporu verilere uygun olarak değişmektedir. Bu çalışma, hedef kitlesi olan karar alıcı ve planlama sorumlularına optimizasyon sürecinde kolaylık sağlamak amacı ile geliştirdiğimiz kullanıcı dostu KDS nedeni ile ayrıca önemlidir.

Bu çalışmanın konusunu belirlerken gerçek bir üretim atölyesine ait BÜP problemini çözmeyi planlamıştık. İlerleyen süreçte veri seti temini konusunda yaşadığımız zorluk sebebi ile Chopra ve Meindl (2017)'de verilen örnek BÜP probleminin verilerini kullandık. Bu durumu çalışmamızı sınırlayan bir etken olarak görüyoruz. Öte yandan yaptığımız araştırmalar sonucunda bildiğimiz kadarı ile BÜP'te gölge fiyatların özellikle de stok dengesi kısıtının gölge fiyatının incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır. Arz ve talep dengesini sağlayan stok dengesi kısıtının gölge fiyatının ürünün maliyet fiyatı ile ilişkisi bulunmaktadır. İşletmenin davranışları ya da talep artışı gibi dış etkenler nedeni ile arz-talep dengesi bozulduğunda kısıtın gölge fiyatı işletmenin katlanacağı maliyete işaret etmektedir. Gölge fiyatı ile arz-talep dengesi ilişkisinin araştırılması gelecek çalışmalar kapsamında değerlendirilmektedir. Son olarak BÜP problemini çözerken kullandığımız R programlama dili tam sayılı programlama ile çözümde gölge fiyatları sağlamadığından karma tam sayılı programlamayı kullandık. Gölge fiyatların tam sayılı programlama ile incelenmesine yönelik araştırmalar da gelecek çalışmalar kapsamında değerlendirilmektedir.

Gölge fiyatlarını bilmek bir üretim sürecinin sürdürülebilir olmasına katkı yapar. Maliyetleri düşürmek yönüyle ekonomik, işgücünü ayarlama yönüyle sosyal, kaynakların verimli kullanımı yönüyle çevresel sürdürülebilirliği destekler. Gölge fiyatları, ilaveten güçlü ve dirençli aynı zamanda da esnek ve çabuk reaksiyon gösterebilen bir işletme yapısı kurmak için yardımcı olur.

Bu çalışmanın hedefini BÜP ufku boyunca hesaplanan analitik gölge fiyatlarının analizini yaparak işletmelerin karar alıcı ve planlama sorumlularına kılavuzluk yapmak olarak belirlemiştik. Çalışmanın sonucunda diyebiliriz ki; yaptığımız optimizasyon çalışması ile gölge fiyatlarının yorumlanması ve geliştirdiğimiz kullanıcı dostu KDS ile bu hedefimizi gerçekleştirdik.

KAYNAKÇA

- Acito, Frank,
Vijay Khatri: "Business analytics: Why now and what next?", **Business Horizons** 57 (2014): 565–70.
<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2014.06.001>.
- Anderson, David R,
Dennis J Sweeney,
Thomas A. Williams,
Jeffrey D. Camm,
James J. Cochran,
Michael J Fry,
Jeffrey W. Ohlmann: **Quantitative Methods for Business**, Thirteenth Edition.
Cengage Learning Solutions, 2016.
- Akyurt, İbrahim Zeki: **Üretim Sistemlerinin Planlanması**, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi İşletme Lisans Programı, t.y.
- Avriel, Mordecai,
Hanna Pri-Zan,
Ronit Meiri, Avi
Peretz: "Opti-Money at Bank Hapoalim: A Model-Based Investment Decision-SupportSystem for Individual Customers", **Interfaces** 34, sayı 1 (2004): 39–50.
- Charnes, Abraham,
William W. Cooper: "Management Models and Industrial Applications of Linear Programming", **Management Science** 4, sayı 1 (Ekim 1957): 38–91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.4.1.38>.
- Cheraghalikhani, Ali,
Farid Khoshalhan,
Hadi Mokhtari: "Aggregate production planning: A literature review and future research directions", **International Journal of Industrial Engineering Computations** 10 (2019): 309–30.
<https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2018.6.002>.
- Chopra, Sunil, Peter
Meindl: **Tedarik Zinciri Yönetimi Strateji, Planlama ve Operasyon**, Altıncı Basımdan Çeviri, Nobel Akademik Yayıncılık, 2017.

Çınar, Ayşe,
Hüseyin Ekizler:

R ile Endüstride Yöneylem Araştırması, Birinci Baskı,
Çağlayan Kitabevi ve Eğitim Çözümleri Ticaret A.Ş., 2017.

Entezaminia,
Arezoo, Mahdi
Heidari, Donya
Rahmani:

“Robust aggregate production planning in a green supply chain under uncertainty considering reverse logistics: a case study”,
International Journal of Advanced Manufacturing Technology 90 (2017): 1507–28.
<https://doi.org/10.1007/s00170-016-9459-6>.

Ertuğrul, Irfan,
Aysegül Tuş:

“Interactive fuzzy linear programming and an application sample at a textile firm”, **Springer Science+Business Media, LLC** 2007 6 (2007): 29–49. <https://doi.org/10.1007/s10700-006-0023-y>.

Gomes da Silva,
Carlos, José
Figueira, João
Lisboa, Samir
Barman:

“An interactive decision support system for an aggregate production planning model based on multiple criteria mixed integer linear programming”, **Omega** 34, sayı 2 (Nisan 2006): 167–77. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.08.007>.

Heizer, Jay, Barry
Render:

Üretim Yönetimi/Onbirinci Baskıdan Çeviri, Palme
Yayıncılık, 2017.

Holt, Charles C:

“Learning how to plan production, inventories, and work force”,
Operations Research 50, sayı 1 (2002): 96–99.
<https://doi.org/10.1287/opre.50.1.96.17779>.

Holt, Charles C.,
Franco Modigliani,
Herbert A. Simon:

“A Linear Decision Rule for Production and Employment Scheduling”, **Management Science** 2, sayı 1 (Ekim 1955): 1–30. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2.1.1>.

- Jacobs, F. Robert, William L. Berry, D. Clay Whybark, Thomas E. Vollman: **Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management**, APICS/CPIM. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.
- Jayakumar, Anand A, C Krishnaraj, A K Nachimuthu: "Aggregate Production Planning: Mixed Strategy", **Pak. J. Biotechnol** 14, sayı 3 (2017): 487–90. www.pjbt.org.
- Kalaf, Bayda Atiya, Rizam Abu Bakar, Lee Lai Soon, Mansor Bin Monsi, Abdul Jabbar Khudhur Bakheet, Iraq Tereq Abbas: "A modified fuzzy multi-objective linear programming to solve aggregate production planning", **International Journal of Pure and Applied Mathematics** 104, sayı 3 (2015): 339–52. <https://doi.org/10.12732/ijpam.v104i3.5>.
- Katok, Elena, William Tarantino, Ralph Tiedeman: "Improving performance and flexibility at Jeppesen: The world's leading aviation-information company", **Interfaces** 31, sayı 1 (01 Şubat 2001): 7–29. <https://doi.org/10.1287/inte.31.1.7.9690>.
- Kazgan, Gülten: **İktisadi Düşünce veya Politik İktisadın Evrimi**, Remzi Kitabevi, 2000.
- Ramezaniyan, Reza, Donya Rahmani, Farnaz Barzinpour: "An aggregate production planning model for two phase production systems: Solving with genetic algorithm and tabu search | Elsevier Enhanced Reader", **Expert Systems with Applications** 39, 2012, 1256–63. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0957417411011079>

Saad, Germaine H: "An overview of production planning models: Structural classification and empirical assessment", **International Journal of Production Research** 20, sayı 1 (1982): 105–14. <https://doi.org/10.1080/00207548208947752>.

Sağır, Müjgan,
Mahmut Atlas, Nil
Aras, Zehra Kamışlı
Öztürk: **Yöneylem Araştırması-I**, Editör B. Fethi Şeniş. T.C. Anadolu Üniversitesi yayını no: 2528; Açıköğretim Fakültesi yayını no: 1499, t.y.

Sharda, Ramesh,
Dursun Delen,
Efraim Turban: **Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support**, Tenth Edit, Pearson Education, Inc., 2015.

Shiny - Tutorial: (Çevrimiçi) <https://shiny.rstudio.com/tutorial/>, Erişim 14 Eylül 2021

Singhal, Jaya,
Kalyan Singhal: "Holt, Modigliani, Muth, and Simon's work and its role in the renaissance and evolution of operations management", **Journal of Operations Management** 25, sayı 2 (Mart 2007): 300–309. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.06.003>.

Taha, Hamdy A: **Yöneylem Araştırması**, 2000.

Talapatra, Subrata,
Moumita Saha, Md
Abnul Islam: "Aggregate planning problem solving using linear programming method", **American Academic & Scholarly Research Journal** 7, sayı 1 (2015): 20–28. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36212.24961>.

Tayalı, Halit Alper: "A Novel Web-Based Decision Support System for Aggregate Production Planning Problem", İçinde: **Advanced Perspectives on Global Industry Transitions and Business Opportunities**, 135–53. IGI Global, 2021. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4303-0.ch007>.

Tayalı, Halit Alper: “Demand Forecasting Models With Time Series and Random Forest”, İçinde: **Driving Innovation and Productivity Through Sustainable Automation**, 76–99. IGI Global, 2021. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5879-9.ch004>.

Tayalı, Halit Alper: “Manufacturing Scheduling Strategy for Digital Enterprise Transformation”, İçinde: **Emerging Challenges, Solutions, and Best Practices for Digital Enterprise Transformation**, 104–19. IGI Global, 2021. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8587-0.ch006>.

Taylor, Timothy: **The Instant Economist: Everything You Need to Know About How the Economy Works**, Penguin Group (USA) Inc., 2012.

Theussl, Stefan, Kurt Hornik, Christian Buchta, Florian Schwendinger, Heinrich Schuchardt: (Çevrimiçi) “Package ‘Rglpk’ NeedsCompilation yes”, 2019, <https://cran.r-project.org/web/packages/Rglpk/Rglpk.pdf>, Erişim 10 Eylül 2021

Thomas, Bex George, Srinivas Bollapragada: “General Electric Uses an Integrated Framework for Product Costing, Demand Forecasting, and Capacity Planning of New Photovoltaic Technology Products”, **Interfaces** 40, sayı 5 (2010): 353–67.

Timor, Mehpare: **Yöneylem Araştırması**, Türkmen Kitabevi, 2010.

Tuş Işık, Ayşegül, Muhsin Özdemir: “Bütünleşik Üretim Planlamasında Etkileşimli Olabilirlikçi Doğrusal Programlama Modeli ve Bir Uygulama”, **İşletme Fakültesi Dergisi** 11, sayı 2 (2010): 81–117. <http://acikerisim.deu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12397/2384>.

- Uluçam, Veli: “Aggregate Production Planning Model Based On Mixed Integer Linear Programming”, **Öneri Dergisi** 9, sayı 34 (2010): 195–201. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/165741>.
- Wang, Reay Chen, Tien Fu Liang: “Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning”, **International Journal of Production Economics** 98, sayı 3 (18 Aralık 2005): 328–41. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.09.011>.
- Wang, Shih Chang, Ming Feng Yeh: “A modified particle swarm optimization for aggregate production planning”, **Expert Systems with Applications** 41, sayı 6 (Mayıs 2014): 3069–77. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.038>.
- Winston, Wayne L., S. Christian Albright: **Practical Management Science**, Sixth Edition. Cengage Learning Solutions, 2019.
- Yu, Gang, Julian Pachon, Benjamin Thengvall, Darryal Chandler, Al Wilson: “Optimizing Pilot Planning and Training for Continental Airlines”, **Interfaces** 34, sayı 4 (2004): 235–64.
- Yücesan, Melih: “Çekyat Üretiminde Öncelikli Hedef Programlama İle Bütünleşik Üretim Planlaması Aggregated Production Planning in Sofa Production By Preemptive Goal Programming Approach”, **İşletme Araştırmaları Dergisi** 9, sayı 2 (2017): 184–96.

EKLER

EK 1: Örnek probleminin çözümü için kullanılan bilgisayar kodları

```
library(Rglpk)

# Amaç fonksiyonundaki karar değişkenlerinin katsayıları ("c" vektörünün oluşturulması):

a <- c(640, 640, 640, 640, 640, 640,
       6, 6, 6, 6, 6, 6,
       300, 300, 300, 300, 300, 300,
       500, 500, 500, 500, 500, 500,
       2, 2, 2, 2, 2, 2,
       5, 5, 5, 5, 5, 5,
       10, 10, 10, 10, 10, 10,
       30, 30, 30, 30, 30, 30)

# Karar değişkenlerinin sıralaması:
c("W1(Isgucu Ocak)", "W2(Isgucu Subat)", "W3(Isgucu Mart)", "W4(Isgucu Nisan)", "W5(Isgucu Mayıs)", "W6(Isgucu Haziran)",
  "O1(Fazla Mesai Ocak)", "O2(Fazla Mesai Subat)", "O3(Fazla Mesai Mart)", "O4(Fazla Mesai Nisan)", "O5(Fazla Mesai Mayıs)", "O6(Fazla Mesai Haziran)",
  "H1(Ise Alma Ocak)", "H2(Ise Alma Subat)", "H3(Ise Alma Mart)", "H4(Ise Alma Nisan)", "H5(Ise Alma Mayıs)", "H6(Ise Alma Haziran)",
  "L1(Isten Cikarma Ocak)", "L2(Isten Cikarma Subat)", "L3(Isten Cikarma Mart)", "L4(Isten Cikarma Nisan)", "L5(Isten Cikarma Mayıs)", "L6(Isten Cikarma Haziran)",
  "I1(Stok Ocak)", "I2(Stok Subat)", "I3(Stok Mart)", "I4(Stok Nisan)", "I5(Stok Mayıs)", "I6(Stok Haziran)",
  "S1(Stok Tukenmesi Ocak)", "S2(Stok Tukenmesi Subat)", "S3(Stok Tukenmesi Mart)", "S4(Stok Tukenmesi Nisan)", "S5(Stok Tukenmesi Mayıs)", "S6(Stok Tukenmesi Haziran)",
  "P1(Uretilen Ocak)", "P2(Uretilen Subat)", "P3(Uretilen Mart)", "P4(Uretilen Nisan)", "P5(Uretilen Mayıs)", "P6(Uretilen Haziran)",
  "C1(Fason Uretim Ocak)", "C2(Fason Uretim Subat)", "C3(Fason Uretim Mart)", "C4(Fason Uretim Nisan)", "C5(Fason Uretim Mayıs)", "C6(Fason Uretim Haziran)")

# Doğrusal programlama modelindeki kısıtların teknolojik katsayı değer ve sütunları ("A" matrisinin oluşturulması): Her bir satır yukarıdan aşağıya sırası ile yan yana dizi olduğünde 48 sütun, 26 satırdan oluşan teknolojik katsayılar matrisini oluşturmaktadır. Bu şekilde meydana gelen matrisin 26 satırının her biri bir kısıta işaret etmektedir. Örneğin W1 satırı İşgücü Ocak karar değişkeninin 26 kısıttaki katsayılarını gösterirken, O1 satırı Fazla Mesai Ocak karar değişkeninin katsayılarından oluşmaktadır. İlgili karar değişkeni o kısıtta yer almıyorsa 0 ile gösterilmektedir.

W1 <- c(1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
W2 <- c(0, 1, -1, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
```

```

0, 0)
W3 <- c(0, 0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 0,
0, 0)
W4 <- c(0, 0, 0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0,
0, 0)
W5 <- c(0, 0, 0, 0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10
, 0, 0)
W6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
10, 0)
O1 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0,
0, 0, 0)
O2 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0,
0, 0, 0)
O3 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0,
0, 0, 0)
O4 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1,
0, 0, 0)
O5 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
-1, 0, 0)
O6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, -1, 0)
H1 <- c(-1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H2 <- c(0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H3 <- c(0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H4 <- c(0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H5 <- c(0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L1 <- c(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L2 <- c(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L3 <- c(0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L4 <- c(0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L5 <- c(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
I1 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
I2 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
I3 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)

```



```
# Kısıtların sağ taraf sabitlerinin değerleri ("b" kaynaklar vektörünün oluşturulması):
```

```
b <- c(80, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1600, 3000, 3200, 3800, 2200, 2200, 500, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
```

```
# Gölge fiyatların doğrusal programlama modeli aracılığıyla elde edilmesi için tüm değişkenlerin sürekli tip olması gerekir. Modeldeki değişkenlerin tipinin sürekli tip karar değişkeni ("C", -continuous-) olarak kodlanması:
```

```
types <- c("C")
```

```
# Optimizasyon yönünün tanımlanması (Minimizasyon için "FALSE", Maksimizasyon için "TRUE"):
```

```
max <- FALSE
```

EK 2: Karar destek sistemi için kullanılan bilgisayar kodları

```
library(shiny)
```

KDS oluşturulması

Define UI ---- (Kullanıcı ara yüzünün oluşturulması)

Şekil 3.1 Veri giriş ekranı başlık kısmı: İlk olarak "fluidPage" komutu ile yeni bir ekran oluşturulur ve "titlePanel" komutu ile bu ekranın içine bir başlık bölümü yerleştirilir. Çift tırnak içine yazılan başlığın boyutu, yazı karakteri ve ekranda konumlanma biçimi çeşitli Shiny fonksiyonları ile biçimlendirilir. İlaveten "h1" ve "h5" fonksiyonları başlık için boyutunu, "strong" ve "code" fonksiyonları yazı karakterini, "align" fonksiyonu ise başlığın ekrandaki konumunu belirler. "p" fonksiyonu yeni bir paragraf oluştururken, "br" fonksiyonu ile bir satır boşluk bırakılabilir.

```
ui <- fluidPage(
  titlePanel(h1(strong(code("Butunlesik Uretim Planlama Optimizasyon Araci")), align
= "center")),
  p(h5(code("Karar Destek Sistemi"), align = "center")),
  hr(), hr(),
```

Şekil 3.1 Başlangıç/Kapanış verileri bölümü: Sayısal verilerin girildiği kutucuklar "numeric Input" fonksiyonu ile oluşturulurken bu kutucuklara farklı isimler verilebilmekte ve varsa ekranda görülmesi istenen ilk değerler "value" fonksiyonu ile atanabilmektedir. İlgili kutucuklardaki değerler klavye yardımı ile ya da kutucukların içindeki aşağı-yukarı yön okları ile değiştirilebilir.

```
p(h4(strong("Baslangic / Kapanis Verileri", style = "color:black"), align = "center")),
fluidRow(
  column(3, numericInput("STS1", ("Baslangic Isgucu"), value = 80)),
  column(3, numericInput("STS0", ("Baslangic Stoku"), value = 1000)),
  column(3, numericInput("STS19", ("Kapanis Stoku"), value = 500)),
  column(3, numericInput("STS26", ("Kapanis Bekleyen Siparis"), value = 0))),
hr(),
```

Şekil 3.1 Aylık maliyetler bölümü

```
(titlePanel(h4(strong("Maliyetler (Amac Fonksiyonu Katsayilari / Karar Degiskenleri)",
style = "color:black"), align = "center"))),
```

```
fluidRow(
  column(3, numericInput("KD1", ("Normal Mesai (Aylık)", value = 640)),
  column(3, numericInput("KD2", ("Fazla Mesai (Saatlik)", value = 6)),
  column(3, numericInput("KD3", ("Ise Alma"), value = 300)),
  column(3, numericInput("KD4", ("Isten Cikarma"), value = 500)),
  column(3, numericInput("KD5", ("Stok (Birim)", value = 2)),
  column(3, numericInput("KD6", ("Stok Tukenmesi (Birim)", value = 5)),
  column(3, numericInput("KD7", ("Malzeme (Birim)", value = 10)),
  column(3, numericInput("KD8", ("Fason Uretim (Birim)", value = 30)),
  br(),br(),
```

```
column(12, radioButtons("radio", ("Karar Degiskenlerinin Turleri"), choices = list("Surekli" = 1), selected = 1), align = "center")),
```

```
hr(),
```

Şekil 3.1. Talep tahmini bölümü

```
(titlePanel(h4(strong("Talep Tahmini"), style = "color:black", align = "center"))),
```

```
fluidRow(
  column(2, numericInput("STS13", ("Ocak"), value = 1600)),
  column(2, numericInput("STS14", ("Subat"), value = 3000)),
```

```

column(2, numericInput("STS15", ("Mart"), value = 3200)),
column(2, numericInput("STS16", ("Nisan"), value = 3800)),
column(2, numericInput("STS17", ("Mayis"), value = 2200)),
column(2, numericInput("STS18", ("Haziran"), value = 2200))),
hr(),
# Şekil 3.2 Optimizasyon bölümü: Metin ya da harf içeren kutucuklar "selectInput" fo
nksiyonu ile hazırlanırken "choices=list" fonksiyonu kullanılarak kutucukların içine se
çenekler yerleştirilebilir ve "selected" fonksiyonu ile herhangi birinin seçim ekranında
görünmesi sağlanabilir. Ayrıca "submitButton" fonksiyonu ile örneğin programın çalış
masını sağlayacak "tetikleyici" kutucuklar oluşturup isimlendirilebilir. Tüm bu kutucuk
ların boyutunu "column" fonksiyonu ile değiştirip ilgili bölümlerin arasına "hr" fonksiyo
nu ile çizgiler çekilebilir.
fluidRow(
column(12, checkboxGroupInput("TOPT", ("Optimizasyon Turu"), choices = list("Mini
mizasyon" = 1), selected = 1), align = "center"),
br(), br(),
column(12, submitButton("OPTİMİZASYON İÇİN BASINIZ"), align = "center")),
hr(), hr(),
# Şekil 3.2, 3.3 Optimizasyon sonuçlarının verildiği alan: "mainPanel" ve "sidebarPa
nel" komutlarıyla sonuçların ve açıklamaların yansıtılacağı iki alan tanımlanır. "verba
timTextOutput" fonksiyonu ile optimizasyon sonuçlarının bu bölümde görünmesi sağ
lanır.
mainPanel(width = 15, h4(strong('Optimizasyon Sonuclari'), align = "center"),
verbatimTextOutput("model"), verbatimTextOutput("objec
tive_value"), verbatimTextOutput("decision_variables")),
# Şekil 3.3 Sonuçların açıklamalarının verildiği bölüm
sidebarPanel
(width=15, h6(strong(em("Sonuc Ekranı Aciklamalari:", style = "font-family: 'times'; fo
nt-si16pt")),
br(), br(),
p(em(strong("$optimum:"), "Problemin cozumunun optimum sonucunu gosterir.", styl
e = "font-family: 'times'; font-si16pt")),
p(em(strong("$solution:"), "Soldan saga sirasiyla Isgucu, Fazla Mesai, Ise Alma, Iste
n Cikarma, Stok, Stok Tukenmesi, Uretilen ve Fason Uretim degiskenlerinin Ocak, S
ubat, Mart, Nisan, Mayis ve Haziran aylari icin optimum cozumde aldigi degerleri go
sterir.", style = "font-family: 'times'; font-si16pt")),
p(em(strong("$status:"), "(0) Optimum cozumun saglandigini ifade eder.", style = "fo
nt-family: 'times'; font-si16pt")),
p(em(strong("$solution_dual:"), "Soldan saga sirasiyla Isgucu, Fazla Mesai, Ise Alm
a, Isten Cikarma, Stok, Stok Tukenmesi, Uretilen ve Fason Uretim degiskenlerinin O
cak, Subat, Mart, Nisan, Mayis ve Haziran aylari icin azaltilmis maliyet degerlerini go
sterir.", style = "font-family: 'times'; font-si16pt")),
p(em(strong("$auxiliary$primal:"), "Soldan saga sirasiyla Isgucu Ocak, Isgucu Subat
, Isgucu Mart, Isgucu Nisan, Isgucu Mayis, Isgucu Haziran, Kapasite Ocak, Kapasite
Subat, Kapasite Mart, Kapasite Nisan, Kapasite Mayis, Kapasite Haziran, Stok Deng
esi Ocak, Stok Dengesi Subat, Stok Dengesi Mart, Stok Dengesi Nisan, Stok Denge
si Mayis, Stok Dengesi Haziran, Kapanis Stogu, Fazla Mesai Sınırı Ocak, Fazla Mes
ai Sınırı Subat, Fazla Mesai Sınırı Mart, Fazla Mesai Sınırı Nisan, Fazla Mesai Sınırı
Mayis, Fazla Mesai Sınırı Haziran, Bekleyen Siparis kisitlerinin sag taraf sabitlerini g
osterir.
", style = "font-family: 'times'; font-si16pt")),

```

```

p(em(strong("$auxiliary$dual:"), "Soldan saga sirasiyla Isgucu Ocak, Isgucu Subat, I
sgucu Mart, Isgucu Nisan, Isgucu Mayıs, Isgucu Haziran, Kapasite Ocak, Kapasite S
ubat, Kapasite Mart, Kapasite Nisan, Kapasite Mayıs, Kapasite Haziran, Stok Denge
si Ocak, Stok Dengesi Subat, Stok Dengesi Mart, Stok Dengesi Nisan, Stok Dengesi
Mayıs, Stok Dengesi Haziran, Kapanis Stogu, Fazla Mesai Sınırı Ocak, Fazla Mesai
Sınırı Subat, Fazla Mesai Sınırı Mart, Fazla Mesai Sınırı Nisan, Fazla Mesai Sınırı M
ayıs, Fazla Mesai Sınırı Haziran, Kapanis Bekleyen Siparis kisitlerinin golge fiyatları
ni gosterir.", style = "font-family: 'times'; font-size: 16pt")),
p(em(strong("$sensitivity_report:"), "Hesaplanmıssa duyarlılık analizi bu bolimde go
sterilir.", style = "font-family: 'times'; font-size: 16pt"))
)))

```

Define server logic (Sunucu fonksiyonunun tanımlanması):

"output" ve "render" komutları kullanılarak verilerin çıktıya dönüştürülmesi sağlanır . Kullanıcı ara yüzündeki sayısal verilerin girildiği kutucuklar modelimizdeki ilgili vektör unsurlarına atanarak yapılan her değişikliğin reaktif bir şekilde sonuçlara yansımaları sağlanır.

```

server <- function(input, output) {

output$model <- renderPrint({

b [1] = (input$STS1)
b [13] = (input$STS13)- (input$STS0)
b [14] = (input$STS14)
b [15] = (input$STS15)
b [16] = (input$STS16)
b [17] = (input$STS17)
b [18] = (input$STS18)
b [19] = (input$STS19)
b [26] = (input$STS26)

a [1:6] = (input$KD1)
a [7:12] = (input$KD2)
a [13:18] = (input$KD3)
a [19:24] = (input$KD4)
a [25:30] = (input$KD5)
a [31:36] = (input$KD6)
a [37:42] = (input$KD7)
a [43:48] = (input$KD8)

```

Doğrusal programlama probleminin çözümü ve gölge fiyatlarının elde edilmesi:

```

Rglpk_solve_LP(a, A, d, b, types = types, max = max)})
}

```

Run the application (Uygulama fonksiyonu):

```

shinyApp(ui = ui, server = server)

```

EK 3: Örnek problemin duyarlılık analizi raporunu içeren çözümü ve sonuç verilerinin açıklanması

“\$optimum:” Problemin çözümünün optimal sonucunu gösterir.

“\$solution:” Soldan sağa sırasıyla İşgücü, Fazla Mesai, İşe Alma, İşten Çıkarma, Stok, Stok Tükenmesi, Üretilen ve Fason Üretim değişkenlerinin Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için optimal çözümde aldığı değerleri gösterir.

“\$status:” (0) Optimal çözümün sağlandığını ifade eder.

“\$solution_dual:” Soldan sağa sırasıyla İşgücü, Fazla Mesai, İşe Alma, İşten Çıkarma, Stok, Stok Tükenmesi, Üretilen ve Fason Üretim değişkenlerinin Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran ayları için azaltılmış maliyet değerlerini gösterir.

“*auxiliary*primal:” Soldan sağa sırasıyla İşgücü Ocak, İşgücü Şubat, İşgücü Mart, İşgücü Nisan, İşgücü Mayıs, İşgücü Haziran, Kapasite Ocak, Kapasite Şubat, Kapasite Mart, Kapasite Nisan, Kapasite Mayıs, Kapasite Haziran, Stok Dengesi Ocak, Stok Dengesi Şubat, Stok Dengesi Mart, Stok Dengesi Nisan, Stok Dengesi Mayıs, Stok Dengesi Haziran, Kapanış Stoğu, Fazla Mesai Sınırı Ocak, Fazla Mesai Sınırı Şubat, Fazla Mesai Sınırı Mart, Fazla Mesai Sınırı Nisan, Fazla Mesai Sınırı Mayıs, Fazla Mesai Sınırı Haziran, Bekleyen Sipariş kısıtlarının sağ taraf sabitlerini gösterir.

“*auxiliary*dual:” Soldan sağa sırasıyla İşgücü Ocak, İşgücü Şubat, İşgücü Mart, İşgücü Nisan, İşgücü Mayıs, İşgücü Haziran, Kapasite Ocak, Kapasite Şubat, Kapasite Mart, Kapasite Nisan, Kapasite Mayıs, Kapasite Haziran, Stok Dengesi Ocak, Stok Dengesi Şubat, Stok Dengesi Mart, Stok Dengesi Nisan, Stok Dengesi Mayıs, Stok Dengesi Haziran, Kapanış Stoğu, Fazla Mesai Sınırı Ocak, Fazla Mesai Sınırı Şubat, Fazla Mesai Sınırı Mart, Fazla Mesai Sınırı Nisan, Fazla Mesai Sınırı Mayıs, Fazla Mesai Sınırı Haziran, Bekleyen Sipariş kısıtlarının gölge fiyatlarını gösterir.

“\$sensitivity_report:” Hesaplanmışsa duyarlılık analizi raporu bu bölümde gösterilir.

Duyarlılık analizi:

Gölge fiyatları ve azaltılmış maliyetleri yorumlarken ihtiyacımız olan izin verilen azalış ve artış limitlerini duyarlılık analizi ile elde ederiz. Örnek problemin çözümünde kullandığımız aşağıdaki R kodunun çözüm satırına “control = list(sensitivity_report = T)” komutunu ekleyerek duyarlılık analizi raporunun sonuç kısmına eklenmesi sağlanır. [1] ile [103]’üncü satırlar gölge fiyatları verirken “activity range” bölümündeki değerler kısıtların izin verilen azalış ve artış limitlerini gösterir. [104] ile [287]’inci satırlar azaltılmış maliyetleri verirken “obj coef range” bölümü karar değişkenlerinin izin verilen azalış ve artış limitlerini ifade eder.

```
library(Rglpk)

# Amaç fonksiyonundaki karar değişkenlerinin katsayıları ("c" vektörünün oluşturulması):

a <- c(640, 640, 640, 640, 640, 640,
       6, 6, 6, 6, 6, 6,
       300, 300, 300, 300, 300, 300,
       500, 500, 500, 500, 500, 500,
       2, 2, 2, 2, 2, 2,
       5, 5, 5, 5, 5, 5,
       10, 10, 10, 10, 10, 10,
       30, 30, 30, 30, 30, 30)

# Karar değişkenlerinin sıralaması:

c("W1(Isgucu Ocak)", "W2(Isgucu Subat)", "W3(Isgucu Mart)", "W4(Isgucu Nisan)", "W5(Isgucu Mayıs)", "W6(Isgucu Haziran)",
  "O1(Fazla Mesai Ocak)", "O2(Fazla Mesai Subat)", "O3(Fazla Mesai Mart)", "O4(Fazla Mesai Nisan)", "O5(Fazla Mesai Mayıs)", "O6(Fazla Mesai Haziran)",
  "H1(Ise Alma Ocak)", "H2(Ise Alma Subat)", "H3(Ise Alma Mart)", "H4(Ise Alma Nisan)", "H5(Ise Alma Mayıs)", "H6(Ise Alma Haziran)",
  "L1(Isten Cikarma Ocak)", "L2(Isten Cikarma Subat)", "L3(Isten Cikarma Mart)", "L4(Isten Cikarma Nisan)", "L5(Isten Cikarma Mayıs)", "L6(Isten Cikarma Haziran)",
  "I1(Stok Ocak)", "I2(Stok Subat)", "I3(Stok Mart)", "I4(Stok Nisan)", "I5(Stok Mayıs)", "I6(Stok Haziran)",
  "S1(Stok Tukenmesi Ocak)", "S2(Stok Tukenmesi Subat)", "S3(Stok Tukenmesi Mart)", "S4(Stok Tukenmesi Nisan)", "S5(Stok Tukenmesi Mayıs)", "S6(Stok Tukenmesi Haziran)",
  "P1(Uretilen Ocak)", "P2(Uretilen Subat)", "P3(Uretilen Mart)", "P4(Uretilen Nisan)", "P5(Uretilen Mayıs)", "P6(Uretilen Haziran)",
  "C1(Fason Uretim Ocak)", "C2(Fason Uretim Subat)", "C3(Fason Uretim Mart)", "C4(Fason Uretim Nisan)", "C5(Fason Uretim Mayıs)", "C6(Fason Uretim Haziran)")
```

Doğrusal programlama modelindeki kısıtların teknolojik katsayı değer ve sütunları ("A" matrisinin oluşturulması): Her bir satır yukarıdan aşağıya sırası ile yan yana dizi ldiğinde 48 sütun, 26 satırdan oluşan teknolojik katsayılar matrisini oluşturmaktadır. Bu şekilde meydana gelen matrisin 26 satırının her biri bir kısıta işaret etmektedir. Örneğin W1 satırı İşgücü Ocak karar değişkeninin 26 kısıttaki katsayılarını gösterirken , O1 satırı Fazla Mesai Ocak karar değişkeninin katsayılarından oluşmaktadır. İlgili k arar değişkeni o kısıtta yer almıyorsa 0 ile gösterilmektedir.

```

W1 <- c(1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
W2 <- c(0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 0, 0,
0, 0)
W3 <- c(0, 0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0, 0,
0, 0)
W4 <- c(0, 0, 0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0,
0, 0)
W5 <- c(0, 0, 0, 0, 1, -1, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10
, 0, 0)
W6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10, 0,
0)
O1 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0,
0, 0)
O2 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0,
0, 0)
O3 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 0,
0, 0)
O4 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1,
0, 0)
O5 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
-1, 0, 0)
O6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1/4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, -1, 0)
H1 <- c(-1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H2 <- c(0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H3 <- c(0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H4 <- c(0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H5 <- c(0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
H6 <- c(0, 0, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L1 <- c(1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L2 <- c(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L3 <- c(0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)
L4 <- c(0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0)

```



```

0, 0)
A <- matrix(c(W1, W2, W3, W4, W5, W6, O1, O2, O3, O4, O5, O6, H1, H2, H3, H4,
H5, H6, L1, L2, L3, L4, L5, L6, I1, I2, I3, I4, I5, I6, S1, S2, S3, S4, S5, S6, P1, P2, P
3, P4, P5, P6, C1, C2, C3, C4, C5, C6), nrow = 26)

# Kısıtlamaların yönleri:

d <- c("==", "==", "==", "==", "==", "==", "==", "==", "==", "==", "==",
      "==", "==", "==", "==", "==", "==", "==", "==", ">=", ">=", ">=",
      ">=", ">=", ">=", "==")

# Kısıtların sağ taraf sabitlerinin değerleri ("b" kaynaklar vektörünün oluşturulması):

b <- c(80, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1600, 3000, 3200, 3800, 2200, 2200, 500, 0, 0
, 0, 0, 0, 0, 0)

# Gölge fiyatların doğrusal programlama modeli aracılığıyla elde edilmesi için tüm d
eğişkenlerin sürekli tip olması gerekir. Modeldeki değişkenlerin tipinin sürekli tip kara
r değişkeni ("C", -continuous-) olarak kodlanması:

types <- c("C")

# Optimizasyon yönünün tanımlanması (Minimizasyon için "FALSE", Maksimizasyon
için "TRUE"):

max <- FALSE

# Doğrusal programlama probleminin çözümü ile gölge fiyatların ve duyarlılık analizi
raporunun elde edilmesi:
Rglpk_solve_LP(a, A, d, b, types = types, max = max, control = list(sensitivity_report
= T))

## $optimum
## [1] 422275
##
## $solution
## [1] 64.58333 64.58333 64.58333 64.58333 64.58333 64.58333
## [7] 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
## [13] 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
## [19] 15.41667 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
## [25] 1983.33333 1566.66667 950.00000 0.00000 116.66667 500.00000
## [31] 0.00000 0.00000 0.00000 266.66667 0.00000 0.00000
## [37] 2583.33333 2583.33333 2583.33333 2583.33333 2583.33333 2583.33333
## [43] 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000 0.00000
##
## $status
## [1] 0
##
## $solution_dual
## [1] 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 3.1875 2.6875
## [9] 2.1875 1.6875 2.9375 2.4375 800.0000 610.0000 500.0000 470.0000
## [17] 520.0000 370.0000 0.0000 190.0000 300.0000 330.0000 280.0000 430.00
00

```

```

## [25] 0.0000 0.0000 0.0000 7.0000 0.0000 0.0000 7.0000 7.0000
## [33] 7.0000 0.0000 7.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
## [41] 0.0000 0.0000 8.7500 6.7500 4.7500 2.7500 7.7500 5.7500
##
## $auxiliary
## $auxiliary$primal
## [1] 80.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
## [8] 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 600.0000 3000.0000
## [15] 3200.0000 3800.0000 2200.0000 2200.0000 500.0000 645.8333 645.8333
## [22] 645.8333 645.8333 645.8333 645.8333 0.0000
##
## $auxiliary$dual
## [1] 500.00 310.00 200.00 170.00 220.00 70.00 11.25 13.25 15.25 17.25
## [11] 12.25 14.25 21.25 23.25 25.25 27.25 22.25 24.25 26.25 0.00
## [21] 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 -19.25
##
##
## $sensitivity_report

```

```

$sensitivity_report
[1] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT"
[2] ""
[3] "Problem: "
[4] "Objective: 422275 (MINimum)"
[5] ""
[6] " No. Row name St Activity Slack Marginal Lower bound Upper bound Activity range Obj coef range Obj value at Limiting break point variable"
[7] "-----"
[8] ""
[9] " 1 NS 80.00000 500.00000 80.00000 80.00000 64.58333 -Inf 414566.66667"
[10] ""
[11] ""
[12] " 2 NS . 310.00000 . -18.50000 -Inf 416540.00000"
[13] ""
[14] ""
[15] " 3 NS . 200.00000 . -10.00000 -Inf 420275.00000"
[16] ""
[17] ""
[18] " 4 NS . 170.00000 . -6.66667 -Inf 421141.66667"
[19] ""
[20] ""
[21] " 5 NS . 220.00000 . -5.00000 -Inf 421175.00000"
[22] ""
[23] ""
[24] " 6 NS . 70.00000 . -10.00000 -Inf 421575.00000"
[25] ""
[26] ""
[27] " 7 NS . 11.25000 . -800.00000 -Inf 413275.00000"
[28] ""
[29] ""
[30] " 8 NS . 13.25000 . -800.00000 -Inf 411675.00000"
[31] ""
[32] ""
[33] " 9 NS . 15.25000 . -800.00000 -Inf 410075.00000"
[34] ""
[35] ""

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[34] " 15.25000 . 700.00000 +Inf 432950.00000"
[35] ""
[36] " 10 NS . . -800.00000 -Inf 408475.00000"
[37] " 17.25000 . 700.00000 +Inf 434350.00000"
[38] ""
[39] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT Page 2"
[40] ""
[41] "Problem: "
[42] "objective: 422275 (MINimum)"
[43] ""
[44] " No. Row name St Activity Slack Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[45] " Marginal Upper bound range range break point variable"
[46] "-----"
[47] " 11 NS . . -1900.00000 -Inf 399000.00000"
[48] " 12.25000 . 400.00000 +Inf 427175.00000"
[49] ""
[50] " 12 NS . . -140.00000 -Inf 420280.00000"
[51] " 14.25000 . 400.00000 +Inf 427975.00000"
[52] ""
[53] " 13 NS 600.00000 600.00000 -200.00000 -Inf 405275.00000"
[54] " 21.25000 600.00000 1300.00000 +Inf 437150.00000"
[55] ""
[56] " 14 NS 3000.00000 3000.00000 2200.00000 -Inf 403675.00000"
[57] " 23.25000 3000.00000 3700.00000 +Inf 438550.00000"
[58] ""
[59] " 15 NS 3200.00000 3200.00000 2400.00000 -Inf 402075.00000"
[60] " 25.25000 3200.00000 3900.00000 +Inf 439950.00000"
[61] ""
[62] " 16 NS 3800.00000 3800.00000 3000.00000 -Inf 400475.00000"
[63] " 27.25000 3800.00000 4500.00000 +Inf 441350.00000"
[64] ""
[65] " 17 NS 2200.00000 2200.00000 300.00000 -Inf 380000.00000"
[66] " 22.25000 2200.00000 2600.00000 +Inf 431175.00000"
[67] ""
[68] " 18 NS 2200.00000 2200.00000 2060.00000 -Inf 418880.00000"
[69] " 24.25000 2200.00000 2600.00000 +Inf 431975.00000"
[70] ""
[71] " 19 NS 500.00000 . 500.00000 360.00000 -Inf 418600.00000"

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[70] ""
[71] " 19 NS 500.00000 500.00000 360.00000 -Inf 418600.00000"
[72] " 26.25000 500.00000 900.00000 +Inf 432775.00000"
[73] ""
[74] " 20 BS 645.83333 -645.83333 . 800.00000 -22.80000 407550.00000"
[75] " . +Inf -2587.50000 3.15464 424312.37113"
[76] ""
[77] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT Page 3"
[78] ""
[79] "Problem: "
[80] "objective: 422275 (MINimum)"
[81] ""
[82] " No. Row name St Activity Slack Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[83] " Marginal Upper bound range range break point variable"
[84] "-----"
[85] " 21 BS 645.83333 -645.83333 . 712.50000 -45.00000 393212.50000"
[86] " . +Inf -2587.50000 2.65979 423992.78351"
[87] ""
[88] " 22 BS 645.83333 -645.83333 . 679.16667 -66.00000 379650.00000"
[89] " . +Inf -2587.50000 2.16495 423673.19588"
[90] ""
[91] " 23 BS 645.83333 -645.83333 . 662.50000 -84.00000 368025.00000"
[92] " . +Inf -2587.50000 1.67010 423353.60825"
[93] ""
[94] " 24 BS 645.83333 -645.83333 . 675.00000 -78.00000 371900.00000"
[95] " . +Inf -7033.33333 2.90722 424152.57732"
[96] ""
[97] " 25 BS 645.83333 -645.83333 . 675.00000 -44.40000 393600.00000"
[98] " . +Inf 80.00000 2.41237 423832.98969"
[99] ""
[100] " 26 NS . . -19.25000 . 140.00000 -Inf 422275.00000"
[101] " . +Inf 419580.00000"
[102] ""
[103] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT Page 4"
[104] ""
[105] "Problem: "
[106] "objective: 422275 (MINimum)"

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[106] "Objective: 422275 (MINimum)"
[107] ""
[108] "  No. Column name St Activity Obj coef Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[109] "  ----- Marginal Upper bound range range break point variable"
[110] "-----"
[111] " 1 BS 64.58333 640.00000 . +Inf 80.00000 412.00000 407550.00000"
[112] " 1300.00000 464900.00000"
[113] ""
[114] " 2 BS 64.58333 640.00000 . +Inf 71.25000 190.00000 393212.50000"
[115] " 1300.00000 464900.00000"
[116] ""
[117] " 3 BS 64.58333 640.00000 . +Inf 67.91667 -20.00000 379650.00000"
[118] " 1300.00000 464900.00000"
[119] ""
[120] " 4 BS 64.58333 640.00000 . +Inf 66.25000 -200.00000 368025.00000"
[121] " 1300.00000 464900.00000"
[122] ""
[123] " 5 BS 64.58333 640.00000 . +Inf 67.50000 -140.00000 371900.00000"
[124] " 1060.00000 449400.00000"
[125] ""
[126] " 6 BS 64.58333 640.00000 . +Inf 67.50000 196.00000 393600.00000"
[127] " 1060.00000 449400.00000"
[128] ""
[129] " 7 NL . 6.00000 -2800.00000 2.81250 413350.00000"
[130] " 639.17526 +Inf 424312.37113"
[131] ""
[132] " 8 NL . 6.00000 -2800.00000 3.31250 414750.00000"
[133] " 639.17526 +Inf 423992.78351"
[134] ""
[135] " 9 NL . 6.00000 -2800.00000 3.81250 416150.00000"
[136] " 639.17526 +Inf 423673.19588"
[137] ""
[138] " 10 NL . 6.00000 -2800.00000 4.31250 417550.00000"
[139] " 639.17526 +Inf 423353.60825"
[140] ""
[141] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT Page 5"
[142] ""
[143] "Problem: "
[144] ""
[145] ""
[146] "  No. Column name St Activity Obj coef Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[147] "  ----- Marginal Upper bound range range break point variable"
[148] "-----"
[149] " 11 NL . 6.00000 -1600.00000 3.06250 417575.00000"
[150] " 639.17526 +Inf 424152.57732"
[151] ""
[152] " 12 NL . 6.00000 -1600.00000 3.56250 418375.00000"
[153] " 560.00000 +Inf 423640.00000"
[154] ""
[155] " 13 NL . 300.00000 -15.41667 -500.00000 409941.66667"
[156] " 800.00000 +Inf +Inf"
[157] ""
[158] " 14 NL . 300.00000 -18.50000 -310.00000 410990.00000"
[159] " 610.00000 +Inf 432950.00000"
[160] ""
[161] " 15 NL . 300.00000 -10.00000 -200.00000 417275.00000"
[162] " 500.00000 +Inf 426650.00000"
[163] ""
[164] " 16 NL . 300.00000 -6.66667 -170.00000 419141.66667"
[165] " 470.00000 +Inf 425016.66667"
[166] ""
[167] " 17 NL . 300.00000 -5.00000 -220.00000 419675.00000"
[168] " 520.00000 +Inf 424550.00000"
[169] ""
[170] " 18 NL . 300.00000 -10.00000 -70.00000 418575.00000"
[171] " 370.00000 +Inf 423570.00000"
[172] ""
[173] " 19 BS 15.41667 500.00000 . +Inf 18.75000 -160.00000 412100.00000"
[174] " . +Inf -1.25000 728.00000 425790.00000"
[175] ""
[176] " 20 NL . 500.00000 -17.50000 310.00000 418950.00000"
[177] " 190.00000 +Inf 425790.00000"
[178] ""

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[142] ""
[143] "Problem: "
[144] ""
[145] ""
[146] "  No. Column name St Activity Obj coef Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[147] "  ----- Marginal Upper bound range range break point variable"
[148] "-----"
[149] " 11 NL . 6.00000 -1600.00000 3.06250 417575.00000"
[150] " 639.17526 +Inf 424152.57732"
[151] ""
[152] " 12 NL . 6.00000 -1600.00000 3.56250 418375.00000"
[153] " 560.00000 +Inf 423640.00000"
[154] ""
[155] " 13 NL . 300.00000 -15.41667 -500.00000 409941.66667"
[156] " 800.00000 +Inf +Inf"
[157] ""
[158] " 14 NL . 300.00000 -18.50000 -310.00000 410990.00000"
[159] " 610.00000 +Inf 432950.00000"
[160] ""
[161] " 15 NL . 300.00000 -10.00000 -200.00000 417275.00000"
[162] " 500.00000 +Inf 426650.00000"
[163] ""
[164] " 16 NL . 300.00000 -6.66667 -170.00000 419141.66667"
[165] " 470.00000 +Inf 425016.66667"
[166] ""
[167] " 17 NL . 300.00000 -5.00000 -220.00000 419675.00000"
[168] " 520.00000 +Inf 424550.00000"
[169] ""
[170] " 18 NL . 300.00000 -10.00000 -70.00000 418575.00000"
[171] " 370.00000 +Inf 423570.00000"
[172] ""
[173] " 19 BS 15.41667 500.00000 . +Inf 18.75000 -160.00000 412100.00000"
[174] " . +Inf -1.25000 728.00000 425790.00000"
[175] ""
[176] " 20 NL . 500.00000 -17.50000 310.00000 418950.00000"
[177] " 190.00000 +Inf 425790.00000"
[178] ""

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[178] ""
[179] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT"
[180] ""
[181] "Problem: "
[182] "Objective: 422275 (MINimum)"
[183] ""
[184] " " No. Column name St Activity Obj coef Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[185] " " Marginal Upper bound range range break point variable"
[186] "-----"
[187] " " 21 NL . 500.00000 . -8.75000 200.00000 419650.00000"
[188] " " 300.00000 +Inf 10.00000 +Inf 425275.00000"
[189] " "
[190] " " 22 NL . 500.00000 . -5.83333 170.00000 420350.00000"
[191] " " 330.00000 +Inf 6.66667 +Inf 424475.00000"
[192] " "
[193] " " 23 NL . 500.00000 . -4.37500 220.00000 421050.00000"
[194] " " 280.00000 +Inf 5.00000 +Inf 423675.00000"
[195] " "
[196] " " 24 NL . 500.00000 . -3.50000 70.00000 420770.00000"
[197] " " 430.00000 +Inf 10.00000 +Inf 426575.00000"
[198] " "
[199] " " 25 BS 1983.33333 2.00000 . 2600.00000 -3.70000 410970.00000"
[200] " " 1850.00000 +Inf 18.50000 455000.00000"
[201] " "
[202] " " 26 BS 1566.66667 2.00000 . 2100.00000 -3.62500 413462.50000"
[203] " " . +Inf 1300.00000 10.25000 435200.00000"
[204] " "
[205] " " 27 BS 950.00000 2.00000 . 1350.00000 -3.50000 417050.00000"
[206] " " 550.00000 +Inf 7.50000 427500.00000"
[207] " "
[208] " " 28 NL . 2.00000 . -266.66667 -5.00000 420408.33333"
[209] " " 7.00000 +Inf +Inf +Inf +Inf"
[210] " "
[211] " " 29 BS 116.66667 2.00000 . +Inf -5.00000 421458.33333"
[212] " " +Inf -1466.66667 8.90000 423080.00000"
[213] " "
[214] " " 30 BS 500.00000 2.00000 . 500.00000 -Inf -Inf"
[215] " " +Inf 500.00000 +Inf +Inf +Inf"

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[214] " " 30 BS 500.00000 2.00000 . 500.00000 -Inf -Inf"
[215] " " +Inf 500.00000 +Inf +Inf +Inf"
[216] " "
[217] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT"
[218] ""
[219] "Problem: "
[220] "Objective: 422275 (MINimum)"
[221] ""
[222] " " No. Column name St Activity Obj coef Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[223] " " Marginal Upper bound range range break point variable"
[224] "-----"
[225] " " 31 NL . 5.00000 . -1983.33333 -2.00000 408391.66667"
[226] " " 7.00000 +Inf +Inf +Inf +Inf"
[227] " "
[228] " " 32 NL . 5.00000 . -1566.66667 -2.00000 411308.33333"
[229] " " 7.00000 +Inf +Inf +Inf +Inf"
[230] " "
[231] " " 33 NL . 5.00000 . -950.00000 -2.00000 415625.00000"
[232] " " 7.00000 +Inf +Inf +Inf +Inf"
[233] " "
[234] " " 34 BS 266.66667 5.00000 . +Inf -2.00000 420408.33333"
[235] " " +Inf -2200.00000 10.25000 423675.00000"
[236] " "
[237] " " 35 NL . 5.00000 . -116.66667 -2.00000 421458.33333"
[238] " " 7.00000 +Inf +Inf +Inf +Inf"
[239] " "
[240] " " 36 BS . 5.00000 . -Inf 422275.00000"
[241] " " +Inf +Inf 422275.00000"
[242] " "
[243] " " 37 BS 2583.33333 10.00000 . 3200.00000 4.30000 407550.00000"
[244] " " +Inf 2450.00000 26.50000 464900.00000"
[245] " "
[246] " " 38 BS 2583.33333 10.00000 . 2850.00000 -1.25000 393212.50000"
[247] " " +Inf 2450.00000 26.50000 464900.00000"
[248] " "
[249] " " 39 BS 2583.33333 10.00000 . 2716.49485 -.50000 395150.00000"
[250] " " +Inf 2450.00000 26.50000 464900.00000"
[251] " "

```

```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
Source
Console Terminal Jobs
C:/Users/yavuz/OneDrive/Desktop/R Markdown/
[252] " 40 BS 2583.33333 10.00000 . 2716.49485 1.90000 401350.00000"
[253] " +Inf 2450.00000 26.50000 464900.00000"
[254] ""
[255] "GLPK 4.47 - SENSITIVITY ANALYSIS REPORT"
[256] ""
[257] "Problem: "
[258] "Objective: 422275 (Minimum)"
[259] ""
[260] " No. column name St Activity Obj coef Lower bound Activity Obj coef Obj value at Limiting"
[261] " Marginal Upper bound range range break point variable"
[262] "-----"
[263] " 41 BS 2583.33333 10.00000 . 2716.49485 -4.10000 385850.00000"
[264] " +Inf 2450.00000 20.50000 449400.00000"
[265] ""
[266] " 42 BS 2583.33333 10.00000 . 2700.00000 -1.10000 393600.00000"
[267] " +Inf 2450.00000 20.50000 449400.00000"
[268] ""
[269] " 43 NL . 30.00000 -700.00000 21.25000 416150.00000"
[270] " 8.75000 +Inf 800.00000 +Inf 429275.00000"
[271] ""
[272] " 44 NL . 30.00000 -700.00000 23.25000 417550.00000"
[273] " 6.75000 +Inf 800.00000 +Inf 427675.00000"
[274] ""
[275] " 45 NL . 30.00000 -700.00000 25.25000 418950.00000"
[276] " 4.75000 +Inf 800.00000 +Inf 426075.00000"
[277] ""
[278] " 46 NL . 30.00000 -700.00000 27.25000 420350.00000"
[279] " 2.75000 +Inf 800.00000 +Inf 424475.00000"
[280] ""
[281] " 47 NL . 30.00000 -400.00000 22.25000 419175.00000"
[282] " 7.75000 +Inf 1900.00000 +Inf 437000.00000"
[283] ""
[284] " 48 NL . 30.00000 -400.00000 24.25000 419975.00000"
[285] " 5.75000 +Inf 140.00000 +Inf 423080.00000"
[286] ""
[287] "End of report"

```