

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM BİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN
BİRLEŞİK ÜRETİM ve DAĞITIM PLANLAMA

Elif BİLGİN
2502050250

DANIŞMAN ÖĞRETİM ÜYESİ
PROF. DR. NECDET ÖZÇAKAR

İSTANBUL, 2018



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



DOKTORA
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : ELİF BİLGİN Numarası : 2502050250
Anabilim Dalı / Anasanat Dalı / Programı : ÜRETİM Danışmanı : PROF.DR.NECDER ÖZÇAKAR
Tez Savunma Tarihi : 26.12.2018 Saati : 12:00
Tez Başlığı : BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN BİRLEŞİK ÜRETİM VE DAĞITIM PLANLAMA.

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 50. Maddesi uyarınca yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin KABULÜNE OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
PROF.DR.NECDER ÖZÇAKAR		KABUL
PROF.DR.MEHPARE TİMOR		Kabul
PROF.DR.SAHAVET GÜRDAL		Kabul
DOÇ.DR.ÖZLEM AKÇAY KAŞAPOĞLU		Kabul
DR.ÖĞR.ÜYESİ ERDAL YILMAZ		KABUL

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
DOÇ.DR.KURTAR TANYILMAZ		
DR.ÖĞR.ÜYESİ SÜNDÜZ DAĞ		

ÖZ

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN

BİRLEŞİK ÜRETİM ve DAĞITIM PLANLAMA

ELİF BİLGİN

Bir ürünün geçtiği aşamalar, ilk tedarikçisinden başlayarak fabrikadaki üretim hattında işlenmesi, dağıtımıcılar ve perakendeciler yolunu izleyerek müşteriye ulaşması olarak sıralanabilir. Her bir üretim aşaması, kendi bulunduğu adımdaki üretimin planlanması sorununu ele alır. Kaynakların kısıtlı, üretim maliyetlerinin kârlılık üzerinde etkisinin büyük olması sebebiyle, üretimin planlanması işletmeler açısından önemli bir konudur. Tedarik zinciri bir bütün olarak ele alındığında üretim maliyetlerinin yanında dağıtım maliyetleri de toplam maliyet içinde büyük yer tutmaktadır. Dağıtım planlaması, maliyetler bakımından önemli olduğu kadar ürün kalitesi ve müşteri beklentilerinin karşılanması açısından da önemlidir. Üretimi ve dağıtım planlaması yapılan ürün bozulabilir nitelikte bir ürün olduğunda yalnızca maliyetleri değil aynı zamanda dağıtımın hızı ve etkinliği vasıtasıyla da ürünün kalitesini ve bazen buna bağlı olarak fiyatını dahi etkileyebilmektedir.

Bugüne kadarki çalışmalarda ve uygulamada genel kanı olarak üretim ile dağıtım ayrı planlama aşamaları olarak kabul edilmiş, buna bağlı olarak kurulan modeller de üretimi ve dağıtımını ayrı modeller altında ele almıştır. Oysa dağıtım ve üretim birbirlerini zincirleme olarak etkileyen kararlar olduğundan birleşik bir üretim-dağıtım planlaması çok daha sağlıklı ve verimli sonuçlar verecektir. Özellikle de planlaması yapılan ürün zamanla kalitesi ve değeri azalan, yani bozulabilir bir ürün ise; ne zaman, ne kadar üretildiği ile ne zaman, nasıl dağıtılacağı birbirini zincirleme olarak etkileyecektir.

Bu çalışmada, bir fabrikada, birden fazla bozulabilir ürünün üretimi ve birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile dağıtımını birleşik ele alan bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Modelin amacı, toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit ve değişken üretim, fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok ile araçların sabit dağıtım maliyetleri toplamını) en az yapmaktır.

Anahtar Kelimeler: Birleşik Üretim ve Dağıtım Planlama, Bozulabilir Ürün, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

ABSTRACT

INTEGRATED PRODUCTION AND DISTRIBUTION PLANNING FOR PERISHABLE PRODUCTS

ELİF BİLGİN

The stages a product completes can, generally, be sorted as, beginning from the first supplier, its process on the production line in a plant and the path it reaches to customers through distributors and retailers. Every production stage handles the problem of production planning in its own stage. Since sources are limited and production costs have an enormous effect on profitability, production planning is a critical issue to work on. Distribution costs besides production costs take a large part in total costs as supply chain is considered as a whole. Distribution planning is important in terms of costs as well as production quality and meeting the customers' expectations. When planning production and distribution for a perishable product, not only costs but also distribution velocity and efficiency should be taken into account which may affect quality and sometimes even the price of the product.

The studies and practices, so far, have accepted distribution and production as separate planning stages, hence the models have discussed production and distribution under separate models. Whereas distribution and production decisions affect each other successively a combined production-distribution planning would yield more reliable and productive results. Especially if the planned product loses its quality and value in time, in other words if it is a perishable product, the decisions for when and how much to produce and when and how to distribute will affect each other.

This study suggests a mixed integer linear programming model which handles production and distribution of multiple perishable products, in a plant, to multiple distribution centers by multiple vehicles. The aim of the model is to minimize total production, distribution and inventory costs (total costs of fixed production, variable production, inventory in the plant, inventory in the distribution center and fixed transportation costs of using the vehicle)

Keywords: Integrated Production and Distribution Planning, Perishable, MILP

ÖNSÖZ

Öncelikle oldukça uzun soluklu bu tez çalışmam süresince anlayış ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Necdet ÖZÇAKAR'a, öneri ve destekleriyle tezime ışık tutan sayın hocam Prof. Dr. Mehpare TİMOR'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Benden umudunu hiç kesmeyen, her konuda yol göstericim olan, sayesinde akademisyen olduğum ve hep örnek alacağım çok değerli hocam Prof. Dr. Aykut TOP'a üzerimdeki emeği için öncelikli minnet ve şükranlarımı sunarım.

Akademik duruşuyla örnek aldığım, sonsuz sabrıyla desteğini benden hiç esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Sahavet GÜRDAL'a özellikle teşekkür ederim.

Ve sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdal YILMAZ'a öğrenciliğimden başlayıp akademisyen olmama uzanan yolda rehberliği ve yardımları için sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca en zor dönemimde imdadıma yetişip bana bilgisayar programlamayı sabırla anlatan sevgili Arş. Gör. Aycan KAYA'ya saygı ve teşekkürü bir borç bilirim.

Ne zaman tökezlesem daima yanımda olan ve ilerlemem için cesaretlendiren, kardeşten öte dostlarım Dr. Öğr. Üyesi Evrim ALTUK, Melike DEMİR ULUSOY ve Doç. Dr. Pınar KAYA SAMUT... İyi ki hayatımdasınız.

Ve en büyük teşekkür tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen canım Annem ve Babama. Hayatımın diğer dönemlerinde olduğu gibi tez yazım sürecinde de çok kahrımı çektiniz ama sevgi ve şefkatinizi hiç eksik etmediniz... Ne şanslıyım ki Billur BİLGİN ve İhsan BİLGİN'in kızı olarak doğmuşum. Varlığınız için sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Elif BİLGİN
İstanbul, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLOLAR ve şekiller LİSTESİ	viii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

BİRLEŞİK ÜRETİM VE DAĞITIM PLANLAMA

1.1. Üretim, Üretim Sistemleri ve Ürün.....	3
1.2. Üretim Planlama ve Türleri	6
1.2.1. Uzun Dönemli Üretim Planlama.....	8
1.2.2. Orta Dönemli Üretim Planlama	9
1.2.3. Kısa Dönemli Üretim Planlama	10
1.3. Dağıtım Planlama.....	11
1.3.1. Uzun Dönemli Dağıtım Planlama.....	11
1.3.2. Orta Dönemli Dağıtım Planlama	11
1.3.3. Kısa Dönemli Dağıtım Planlama	12
1.4. Birleşik Üretim ve Dağıtım Planlama.....	12
1.4.1. Geleneksel - Bozulabilir Olmayan Ürünler İçin Birleşik Üretim ve Dağıtım Problemi:	13
1.4.1. Bozulabilir Ürünler İçin Birleşik Üretim ve Dağıtım Problemi: ..	18

İKİNCİ BÖLÜM

KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

2.1. Tamsayı Doğrusal Programlama	26
2.2. 0-1 Tamsayı Doğrusal Programlama	27
2.3. Karma Tamsayı Doğrusal Programlama	27
2.4. Karma Tamsayı Programlama Modelleri	28
2.4.1. Sırt Çantası Problemi	28

2.4.2. Sabit Yük Problemi.....	29
2.4.3. Küme Örtme Problemi.....	30
2.4.4. Ya-Veya Kısıtlı Problemler	31
2.4.5. İse-O Zaman Kısıtlı Problemler.....	32
2.5. Karma Tamsayı Programlama Problemlerinin Çözüm Yöntemleri ..	33
2.5.1. Yuvarlama (Gevşetme) Tekniği.....	34
2.5.1. Dolaylı Sayma Tekniği	35
2.5.2. Dal ve Sınır Tekniği.....	35
2.5.3. Gomory Kesim Düzlemi Tekniği.....	36
2.5.4. Sezgisel Teknikler.....	37

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN BİRLEŞİK ÜRETİM VE DAĞITIM PLANLAMASI MODELİNİN BİR İŞLETMEYE UYGULANMASI

3.1. Modelin Tanımı	38
3.2. Modelin Uygulandığı İşletmenin Tanıtımı	38
3.3. Modelin Formülasyonu	44
3.4. Modelin Çözümü	47
3.5. Model Çıktıları.....	58
3.6. Durum Analizi	59
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKÇA.....	69
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	116

TABLÖLAR VE ŞEKİLLER LİSTESİ

Tablo 1: Üretim Planlama Dönem ve Kararları	7
ŞEKİL 1: MODELİN VE FİRMANIN İŞLEYİŞİ.....	39
Tablo 2: Sabit ve Değişken Üretim Maliyetleri	40
Tablo 3: Stok Bulundurma Maliyetleri ve Depo Alanları.....	40
Tablo 4: Planlama Dönemi Başında Fabrika ve Dağıtım Merkezlerindeki Stok Miktarları.....	40
Tablo 5: Dağıtım Merkezlerinin Ürünler için Aylık Talep Tahminleri (kg).....	41
Tablo 6: Dağıtım Merkezlerinin Ürünler için Tesadüfi Hesaplanan Günlük Talep Tahminleri	42
Tablo 7: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Üret/Üretme Kararı.....	58
Tablo 8: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Üretim Miktarları.....	58
Tablo 9: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Araçların Kullanım Sayıları	59
Tablo 10: Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler	60
Tablo 11: Büyük Kamyon Kullanılması Durumunda Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler	61
Tablo 12: Taşıma Alt Kısıtlı Senaryoda Farklı Araç Sayıları için Toplam Maliyetler (En az ... ad palet yüklenmeden yola çıkılmaması).....	63
Tablo 13: Taşıma Alt Kısıtlı Senaryo, Büyük Kamyon, Farklı Araç Sayıları için Toplam Maliyetler (En az ... ad palet yüklenmeden yola çıkılmaması)	64
Tablo 14: Mevcut Yöntem ile Önerilen Yöntemin Maliyetleri Karşılaştırması	65
Şekil 1 : Modelin ve Firmanın İşleyişİ	39

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ATÜ	:	Akım Tipi Üretim
GTÜ	:	Görev Tipi Üretim
PTÜ	:	Proje Tipi Üretim
DP	:	Doğrusal Programlama
TP	:	Tamsayılı Programlama
KTDP	:	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama



GİRİŞ

Bir ürünün geçtiği aşamaları en genel şekliyle, ilk tedarikçisinden başlayarak fabrikadaki üretim hattında işlenmesi, bazı durumlarda ara depolar, dağıtımıcılar, perakendeciler yolunu izleyerek müşteriye ulaşması olarak sıralayabiliriz. Her bir üretim aşaması, kendi bulunduğu adımdaki üretimin planlanması sorununu ele alır. Kaynakların kısıtlı, üretim maliyetlerinin kârlılık üzerinde etkisinin büyük olması sebebiyle üretimin planlanması ciddiyle çalışılan bir konudur.

Koşulların gelişmesiyle üretim maliyetlerinin yanında dağıtım maliyetlerinin de toplam maliyet içinde büyük yer tutmaya başlamasıyla üretilen ürünün minimum maliyetle kullanıcıya ulaştırılmasına yönelik dağıtım planlaması çalışmaları, üzerinde çalışılan bir konu haline gelmiştir. Dağıtım planlaması, maliyetler bakımından önemli olduğu kadar ürün kalitesi ve müşteri beklentilerinin karşılanması açısından da önemlidir. Üretimi ve dağıtımı yapılan ürün çabuk bozulmayan bir ürün olduğunda yalnızca maliyetleri etkileyen dağıtım planlaması, planlaması yapılan ürün bozulabilir nitelikte bir ürün olduğunda yalnızca maliyetleri değil aynı zamanda dağıtımın hızı ve etkinliği vasıtasıyla da ürünün kalitesini ve bazen buna bağlı olarak fiyatını dahi etkileyebilmektedir.

Bugüne kadarki çalışmalarda ve uygulamada genel kanı olarak üretim ile dağıtım ayrı ayrı planlama aşamaları olarak kabul edilmiş, buna bağlı olarak kurulan modeller de üretimi ve dağıtımı ayrı modeller altında ele almıştır. Oysa dağıtım ve üretim birbirlerini zincirleme olarak etkileyen kararlar olduğundan birleşik bir üretim-dağıtım planlaması çok daha sağlıklı ve verimli sonuçlar verecektir. Özellikle de planlaması yapılan ürün zamanla kalitesi ve değeri azalan, yani bozulabilir bir ürün ise; ne zaman, ne kadar üretildiği ile ne zaman, nasıl dağıtılacağı birbirini zincirleme olarak etkileyecektir.

Literatürde **üretim planlama ve dağıtım planlamasının ayrı ayrı ele alındığı** yaklaşım uzun yıllardır çalışılmaktadır. Ancak bu çalışmalar büyük oranda geleneksel (bozulabilir olmayan) ürünlere yöneliktir. **Bozulabilir ürünlere yönelik üretim ve dağıtım planlama** çalışmaları bu bütün içinde nispeten az sayıda yer almaktadır. Oysa gıda ürünleri, tarım ürünleri, organ, canlı hayvan, hazır beton vb. pek çok bozulabilir ürünün üretim ve dağıtımının planlaması, yaşanacak gecikmelerde

ürünlerin kısmen veya tamamen değerlerini yitirmelerine yol açacağından, çok daha büyük önem arz etmektedir.

Birleşik üretim ve dağıtım planlamasına ilişkin çalışmalar, yazında yakın dönemde yer almaya başlamış, **bozulabilir ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlaması** ise çok daha az sayıda çalışılmıştır.

Bu tezde amaçlanan, bozulabilir ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli yardımıyla optimizasyonun sağlanmasıdır.

Önerilen model ile toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezlerindeki stok ve araç kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az (minimum) yapmak amaçlanmıştır. Tezde önerilen modelde her bir planlama döneminde her bir üründen üretilip üretilmeyeceği, üretim yapılması kararı verildiyse o üründen o planlama döneminde ne miktarda üretileceği, her bir planlama döneminde her bir aracın kullanılıp kullanılmayacağı ve her bir planlama döneminde her bir üründen her bir dağıtım merkezine hangi araç ile ne kadar ürün gönderileceğinin planlanması hedeflenmiştir.

Birinci bölümde ürün, üretim ve dağıtım planlaması kavramlarına değinilmiş, yazındaki birleşik üretim ve dağıtım planlaması üzerine çalışmalar bozulabilir ve bozulabilir olmayan ürünler için ayrı ayrı incelenmiştir.

İkinci bölümde, birleşik üretim ve dağıtım planlama için tezde önerilen matematiksel model olan karma tamsayılı doğrusal programlama anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise, tezde önerilen birleşik üretim ve dağıtım planlaması modeli Türkiye’de süt ve süt ürünleri üreten bir firmada uygulanmış, modelin çözümü sonucunda elde edilen çıktılar yorumlanmış ve farklı senaryolar için model denenerek mevcut metot iyileştirmeye çalışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

BİRLEŞİK ÜRETİM ve DAĞITIM PLANLAMA

1.1. Üretim, Üretim Sistemleri ve Ürün

Üretim bir dizi girdinin, insanın ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, önceden belirlenmiş çıktılara dönüşebilmesi için düzenlenmiş işlemler bütünüdür. Üretimin çıktıları, toprağın işlenerek bir ürün elde edilmesi, bir fabrikada emek, sermaye ve hammaddenin belirli aşamalardan sonra fiziki bir ürün '*mamul*' elde edilmesi şeklinde olabileceği gibi otel, lokanta, hastane vb. soyut ürün '*hizmet*' şeklinde de olabilir.

Üretim sistemi ise, mal veya hizmet üretme amacıyla insan gücü, malzeme, makine vb. üretim faktörlerinin bir araya gelerek uyumlu bir şekilde çalışmasıdır. Üretim Yönetimi, işletmenin elinde bulunan malzeme, makine ve insan gücü kaynaklarının istenilen zamanda ve mümkün olan en düşük maliyet ile üretimini sağlayacak biçimde bir araya getirilmesidir. Üretim yöneticisi, üretimin en düşük maliyetle, istenen zaman ve kalitede gerçekleştirilmesi hedefine yönelik malzeme, stok miktarı, insan ve makinenin koordinasyonunu sağlamak durumundadır.¹

Üretim sistemleri ürünün akışına, üretilen ürüne, faaliyet gösterilen sektöre, üretim yöntemine vb. göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Üretim yönetiminde planlama kararlarında daha çok ürün akışına göre sınıflandırmadan yararlanılır. Bunlar; Akım Tipi, Görev Tipi ve Proje Tipi Üretim Sistemleridir.

Akım tipi üretim sistemleri (ATÜ), kalifiye olmayan işçilerin özel amaçlı makineler kullanarak standart bir üründen yüksek miktarda ürettikleri sistemlerdir.² Bu tip üretim sistemlerinde çok çeşitli ve yüksek miktarda girdiyi işleyerek çeşit olarak az; ancak miktar olarak yüksek çıktılar elde edilir. Akım tipi üretim sistemlerinin uygulanabilmesi için talebin düzenli ve sürekli olması gerekmektedir. ATÜ'de akan bant yardımıyla iş istasyonları arasında bekleme olmadan hızlı, kesintisiz bir akış sağlanabilir ve bu sayede ara stoklar düşürülebilir. ATÜ'de kullanılan makineler

¹ Aykut Top, Erdal Yılmaz, **Üretim Yönetimi**, İdeal Kültür Yayıncılık, 2018, s.13

² William J Stevenson, **Production Operations Management**, Irwin Mc Graw Hill, 1999, s.21

genellikle özel amaçlıdır. Makinelerin bu özelliği kullanacak elemanların kalifiye olmasına gerek bırakmamaktadır. Buna karşın üretim biçimi de esnek olamamaktadır. Üretimin belli bir müşteri için olmayıp, genel talep doğrultusunda olması ise, mamul stok düzeyinin yüksek olmasına yol açabilmektedir. Kitle üretimi olarak da adlandırılan ATÜ; araba, beyaz eşya, gıda vb. yüksek hacimde ve standart ürünlerin üretildiği durumlarda sağladığı verimlilikten dolayı tercih edilebilmekle birlikte ürünün eskimesi, işgücünde ortaya çıkabilecek bezginlik vb. faktörler de sistem seçiminde göz önüne alınması gerekmektedir.

Görev tipi üretim sistemlerinde (GTÜ) benzer özellikteki makine, teçhizat ve işgücü bir arada toplanarak departmanlar oluşturulmuştur. Her sipariş için gerekli girdiler, o sipariş için gereken işlemleri görecekleri departmanlardan o siparişe özgü farklı rotalar izleyerek geçerek tamamlanırlar. Böylece ürün çeşitliliği sağlanabilir. GTÜ’de kullanılan makineler, çeşitli girdileri işleyebilmek ve farklı sipariş türlerine uyum sağlayabilmek için genel amaçlı olmak durumundadır. Bu da makineleri kullanacak elemanların kalifiye olması zorunluluğunu getirmektedir. Üretimin sipariş üzerine yapılması mamul stoklarını düşürmesine karşın, farklı rotalar izleyen farklı siparişler nedeniyle aynı anda bir iş istasyonuna birden fazla iş gelebileceğinden ara stok miktarı yüksek olabilmektedir. Bu tür bir üretim ürünün satış hacminin düşük; ancak çeşitliliğin ve esnekliğin yüksek olması gereken durumlarda tercih edilmektedir.

Proje Tipi Üretim Sisteminde (PTÜ) üretim bir kerelik (köprü, uzay mekiği inşaatı vb.) veya aynı ürünün az sayıda çıktısı (toplu konut inşaatı, vb.) için tasarlanmaktadır. Ürün akışı bulunmamaktadır, tek tek bütün işlemler belli bir sıra dâhilinde son proje hedefine ulaşmak amacıyla gerçekleştirilir. PTÜ’de işlemler tekrar etmeyip, amaca ulaşıldıktan sonra da sistem tasfiye edilmiş olur. Çok çeşitli girdilerin biraraya getirilerek tek bir çıktı elde edildiği bu sistemlerde maliyetler yükselmekte, yönetim planlama ve kontrolü diğer üretim sistemlerine göre daha zor olabilmektedir. Buna karşın esnekliğin en yüksek olduğu üretim sistemidir.

Ürün, “insanın doğa tarafından tam olarak karşılanamayan ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak üretim süreçleri sonucunda elde edilen maddi olan (mal) ve maddi olmayan (hizmet) çıktılar” şeklinde genel bir ifadeyle tanımlanabilir. Üretim sistemlerinin çıktısı olan ürünler mal ve hizmet olarak gruplanabileceği gibi, fiziki

mallar da geleneksel (bozulabilir olmayan) ve bozulabilir mallar olmak üzere iki başlıkta ele alınabilir.

Bozulabilir ürün; gıda ürünleri, sebze/meyve, çiçek, canlı hayvan, hazır beton, haber/gazete, kan vb. üretildiği andan itibaren zaman geçtikçe değerini kaybeden ürünlerdir. “Bozulma” hasar, ziyan, çürüme, modası geçme, buharlaşma, çalınma gibi nedenlerle ürünün asıl kullanım değerindeki azalmalardır.³ Haber olduğu andan itibaren geçen her dakikada güncelliğini ve dolayısıyla değerini zamanla yitirir. Sebze-meyve tarlada kökünden-dalından koparıldığı andan itibaren çürümeye başlar. Fabrikada üretimi tamamlanan hazır gıdalar paketlenildiği andan itibaren bozulmaya başlar ve bu bozulma son kullanma tarihinde ürün değerinin sıfır olmasıyla sonlanır. **Geleneksel ürünler** ise, üretildikleri andan tüketiciye ulaşana kadar asıl kullanım değeri azalmayan veya bu azalma göz ardı edilebilecek kadar planlama süresini aşan uzun bir süreyi kapsayan ürünlerdir.

Bozulabilir ürünlerde iki tip “bozulma”dan söz edilmektedir. Birinci tip bozulma, *planlama dönemi sonunda tüm ürünlerin aynı anda kullanılmaz hale gelmesidir*.⁴ Örneğin bir konser bileti bu tip bir bozulma değeri içerir. Konser tarihine kadar tüm biletlerin değeri hiç eksilmeksizin aynıyken konser tarihi geçtiği anda tüm biletlerin değeri sıfırlanmaktadır. İkinci tip bozulma ise, *planlama dönemi süresince gerçekleşen bozulmadır*. Bu da kendi içerisinde iki gruba ayrılır: Sabit raf ömürlü ürünler ve sürekli bozulma sürecine sahip/tesadüfî raf ömürlü ürünler. *Sabit raf ömürlü* ürünlerde önceden belirlenmiş bir tarihte ürün tamamen kullanılamaz hale gelir. Bu süreye gelene kadar ürünün kullanım değeri azalsa da yine de kullanılabilir durumdadır. Ancak müşteriler son kullanma tarihi yaklaşmış ürünleri almaya daha az istekli olacakları için ürünün değeri azalabilecektir. Ürünün üzerinde yer alan “son kullanma tarihi” geldiğinde ise, ürün tamamen değersiz/kullanılamaz olması söz konusudur.

³ Fariborz Jolai, R. Tavakkoli-Moghaddam, M.Rabbani, M.R.Sadoughian, “An economic production lot size model with deteriorating items, stock-dependent demand, inflation, and partial backlogging”, **Applied Mathematics and Computation**, Volume 181, Issue 1, 1 October 2006, s. 380

⁴ Huey-KuoChen, Che-Fu Hsueh, Mei-Shiang Chang, “Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products”, **Computers & Operations Research**, Volume 36, Issue 7, July 2009, s. 2311

Örneğin süt, yoğurt, kan bankasındaki kan stokları vb. *Tesadüfî raf ömürlü* ürünler ise ürünün üzerine yazılabilecek kesin belirlenmiş bir son kullanma tarihinin olmaması durumudur. Ürünün dayanma süresi farklı olasılıklara göre değişebilmektedir. Müşteriler, bu tür ürünleri alırken üzerinde yazılı bir son kullanma tarihi olmadığından bazı duyularını kullanarak değerlendirmek durumunda kalacaklardır. Bu grup ürünlere yemek, sebze, çiçek vb. örnek gösterilebilir. Tüketici bu ürünleri alırken örneğin meyvanın rengindeki, sertliğindeki değişimlere, çiçeğin yapraklarının rengindeki değişime, diriliğini yitirmesine bakarak bu ürünlerin ne zaman bozulacağını tahmin etmeye çalışmaktadır.⁵

Bozulabilir ürünlerin planlama dönemi boyunca ve planlama döneminin sonundaki değer değişimleri, bozulmayan ürünlere oranla üretim ve dağıtımlarının planlanmasını çok daha hassas hale getirmekte ve kullanılan modelleri de buna bağlı olarak değiştirmektedir.

1.2. Üretim Planlama ve Türleri

Üretim planlamada amaç, önceden belirlenmiş kalite, zaman ve bütçe hedeflerine uygun olarak ürünlerin müşteri veya stoklara sevkini sağlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda hangi ürünün üretileceği ve tesis yeri seçiminden başlayarak, tesis büyüklüğü, çalıştırılacak işçi sayısı, kullanılacak makine sayısı, aylık üretim ve stok miktarları, işlemlerin hangi makinede, ne zaman, kim tarafından hangi sırayla yapılacağına kadar ayrıntılandırılan birçok konuda kararlar verilir. Üretim planlamada dört temel üretim faktörünün (malzeme, yöntem, makine ve işgücü) planlanması yapılır.

Kapsadığı süre açısından üretim planları uzun, orta ve kısa dönemli olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Üretim planları ve genel özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

⁵ P. Amorim, H.-O. Günther, B. Almada-Lobo, “Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products”, **International Journal of Production Economics**, Volume 138, Issue 1, July 2012, s. 89

Tablo 1: Üretim Planlama Dönem ve Kararları

Planların Kapsadığı Süre	Kullanılan Veriler	Alınan Kararlar
Uzun Dönemli Üretim Planlama 2-5 yıl ve daha uzun (Stratejik Planlar)	⇒ Pazardaki mevcut talep ve gelecek dönemler için talep tahminleri ⇒ Mevcut teknoloji ve teknolojiye potansiyel gelişmeler ⇒ Ekonomideki mevcut durum ve beklenen gelişmeler ⇒ Mevcut ve potansiyel politik koşullar ⇒ Sahip olunan sermaye ve potansiyel finans kaynakları ⇒ Yatırım koşulları	⇒ Üretilen ürünler ⇒ Tesis yeri ve büyüklüğü ⇒ Kullanılacak teknoloji ⇒ Üretim kapasitesi (işgücü miktarı, makinelerin cinsi ve adedi, çalışma saatleri, fabrika alanı, depo alanı vb.) ⇒ Gerekli yatırım miktarı
Orta Dönemli Üretim Planlama 3 - 18 ay (Taktik Planlar)	⇒ Gelecek 3-18 ay için talep tahminleri ⇒ Satış bölümünden gelen bilgiler ⇒ Eldeki kaynak kapasiteleri (işgücü, üretim seviyesi, makine vb. teçhizat kapasitesi vb.) ⇒ İşgücü değişim politikaları (fason üretim, fazla mesai, stok seviyesi, siparişleri geciktirme, vb.) ⇒ Üretim maliyetleri (stok, geciken siparişler, işe alma işten çıkarma, fazla mesai, fason üretim, vb.)	⇒ Eldeki üretim kaynaklarının ne ölçüde kullanılacağı ⇒ Üretim düzeyleri (normal mesai, fazla mesai vb.) ⇒ İşgücü sayısı ⇒ Stok seviyesi
Kısa Dönemli Üretim Planlama Haftalık/günlük/saatlik (Operasyonel Planlar)	⇒ Kesinleşen siparişler ⇒ Orta dönemli üretim planları çıktıları ⇒ Zaman standartları ⇒ Departmanların kapasiteleri (tamir-bakım planı, tatil ve izinler vb.) ⇒ Malzeme tedarik zamanları	⇒ Hangi iş ⇒ Ne zaman ⇒ Hangi makinede ⇒ Kim tarafından ⇒ Hangi sırayla yapılacak

1.2.1. Uzun Dönemli Üretim Planlama

Uzun dönemli üretim planları (stratejik planlar) iki yıl veya daha uzun bir süreyi kapsar ve tüm kendinden kısa dönemli planlara yol gösterici niteliktedir.

Bu planlarda “ne üretilecek”, “hangi teknolojiyle üretilecek”, “nerede üretilecek” ve “bunun için gereken yatırım/kapasite nedir” sorularına yanıt olabilecek kararlar alınır. Bu kararlar, üst düzey yöneticiler veya yönetim kurulunun alabileceği türden kararlardır.

Uzun dönemli üretim planlarında öncelikle, hangi mal veya hizmetlerin hangi dönemde üretileceğine karar verilir. İşletmenin geleceğini birinci derecede etkileyecek bu karar aşamasında pazardaki mevcut ve potansiyel talep, eldeki teknoloji, yatırım imkânları, ekonominin gelişimi vb. pek çok faktör göz önünde bulundurulmaktadır. Müşteri istek ve ihtiyaçlarının hızlı bir şekilde değiştiği ve firmaların bu ihtiyaçlara hızlı ve düşük maliyetle cevap verebilmesinin şart olduğu günümüz koşullarında ürün geliştirme faaliyetleri de uzun dönemli üretim planları dâhilinde sürekli olarak gözden geçirilmek durumundadır.

Uzun dönemli üretim planlama kararlarından bir diğeri teknoloji seçimidir. Üretim yönetimi açısından *teknoloji*, üretimde kullanılan metot, proses, teçhizat ve makinelerden oluşan sistemin genel adıdır. Teknolojinin bu genel tanımı daha çok “imalat teknolojisini” açıklamaktadır. Bunun dışında yönetimde karar vermede kullanılan bilgilerin toplanması, analizi ve sonuçlarının ilgililere iletilmesini kapsayan “haberleşme teknolojisi”, ürünün tasarımı, servis ve bakımı vb. konuları kapsayan “mamul teknolojisi” de belirlenmesi gereken diğer teknoloji boyutlarıdır. İşletmenin sermaye yapısı, pazarın büyüklüğü, üretim girdilerinin çeşidi vb. unsurlar teknoloji seçiminde büyük öneme sahiptir.

Uzun dönemli üretim planlarının diğeri adımları üretim yerinin belirlenmesidir. Bu aşamada öncelikle fabrika/tesis kurulacağı bölge, ardından bölgenin belirli bir yeri ve daha sonra da burada belirli bir arazi parçasının seçimi yapılır. Fabrika yerinin belirlenmesinde işgücü, hammadde vb. üretim girdilerinin maliyet ve kolay sağlanabilir olması, taşıma giderleri, pazara yakınlık, teşvikler, vergiler, yöre halkının tepkisi vb. pek çok faktör dikkate alınmaktadır.

Ürün, teknoloji ve üretim yerinin belirlenmesini kapasitenin belirlenmesi aşaması takip etmektedir. Olası değişimleri de içeren talep tahminleri yapılarak bu talebi karşılamaya yönelik kapasite (işgücü miktarı, makinelerin cinsi ve adedi, çalışma saatleri, fabrika alanı, depo alanı vb.) belirlendikten sonra bunları karşılayacak yatırım miktarları da belirlenmektedir.

1.2.2. Orta Dönemli Üretim Planlama

Orta dönemli üretim planları (taktik planlar), gelecekteki ortalama 3 – 12 aylık bir süre için üretim ve talep arasında dengeyi sağlamayı amaçlayan planlardır.

Talep tahminleri ve satış bölümünden gelen bilgiler esas alınarak hazırlanan bu planlarda, toplam üretim maliyetini minimize edecek şekilde üretim kaynaklarının planlaması yapılır. Bunun için kurulacak modelin girdileri talep tahminleri, eldeki kaynaklar (işgücü, üretim seviyesi, makine vb. teçhizat kapasitesi), işgücü değişim politikaları (fason üretim, fazla mesai, stok seviyesi, siparişleri geciktirme) ve maliyetleridir (stok maliyetleri, geciken siparişler, işe alma işten çıkarma, fazla mesai, fason üretim).

Orta dönemli üretim planlama modelinde talep tahminleri, başlangıç stok miktarı ve işgücü sayısı veri kabul edilerek toplam maliyeti minimize edecek şekilde her ay bu kaynaklardan ne ölçüde yararlanılacağına, üretim düzeyinin ve işgücü sayısının ne olması gerektiğine karar verilir.

Üretilmesi planlanan ürünü istenilen miktarda üretebilmek için öncelikle “ürün ağacına” bakılarak ve hangi malzeme ve parçalara, ne miktarlarda ihtiyaç duyulduğu belirlenmektedir.

Ürün ağacı, bir ürünü üretebilmek için gerekli olan tüm malzeme ve parçaların sistematik olarak hazırlanmış bir listesidir.

İhtiyaç duyulan malzemeler ve miktarları belirlendikten sonra, malzemenin stokta bulunup bulunmadığı, varsa yeterli olup olmadığı ve yeterli değil ise eksik olan miktarı hesaplanır. Dışarıdan satın alınacak parça veya hammaddeler satınalma bölümü aracılığıyla üretime geçme zamanı dikkate alınarak, siparişleri yapılır ve üretime girecekleri zaman elde bulunmaları sağlanmakta ve üretimi firma içinde yapılacak malzemelerin ise, aynı sistemle üretime başlama süreleri hesaplanmaktadır.

1.2.3. Kısa Dönemli Üretim Planlama

Orta dönemli planlarla belirlenen kaynakların kullanım miktarlarının, kısa dönemli üretim planları (diğer bir deyişle üretim programları – operasyonel planlar) ile günlük veya saatlik dağılımları yapılmaktadır.

Üretim programları, eldeki kaynakların işlere (siparişlere veya müşterilere) dağıtımı ve öncelik sırasının belirlenmesi aşamasıdır. Hangi işin, ne zaman, kim tarafından, hangi makinelerde yapılacağı bu programlarda gösterilmektedir.

Zaman standartları üretim programlarının temel verisini oluşturmaktadır. Program hazırlanırken departmanların kapasiteleri, tamir-bakım planı, tatil ve izinler, devamlılık durumları ve malzeme tedarik zamanları göz önünde bulundurulmaktadır.

“Kısa dönemli üretim planlarında dört temel kriter gözetilerek program çıkarılmaktadır. Bunlardan ilki tamamlanma süresinin minimizasyonudur. Her işin ortalama tamamlanma süresi kullanılarak toplam süre hesaplanmaktadır. İkinci yöntem, kaynak kullanımı maksimizasyonudur. Kaynakların kullanım oranları hesaplanarak belirlenmesidir. Üçüncü yöntem “Work-In-Process”-yarı mamul stoğunun minimizasyonudur. Sistemdeki işlerin ortalama sayısının tespitiyle bulunmasıdır. Sistemin içinde ne kadar az iş var ise o kadar az stok olacağı temel alınır. Son yöntem ise müşteri bekleme sürelerinin minimizasyonudur. Gecikilen sürenin ortalama sayısı üzerinden hesaplanmaktadır.”⁶

Kısa dönemli üretim programlarında ayrıca toplam maliyetin en az yapılması da hedeflenmektedir. Günlük üretim programları hazırlanırken sabit üretim maliyetleri de dikkate alınarak hesaplanan parti büyüklüklerine göre o gün üretim yapıp yapılmayacağının kararı verilir. Talep ve değişken maliyetler ise günlük üretim seviyesinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Üretim programları sonucunda hazırlanan iş emirleri, ürünün işleneceği istasyonlara dağıtılarak “**ne zaman, nasıl ve ne miktarda**” üretileceği belirtilir.

⁶ Jay Heizer, Berry Render, **Operations Management**, Pearson Prentice Hall, 8th Edition, s. 591

Başlangıç işleminden depoya teslim kadar parti ürünlerle dolaşan “imalat emri” ürün üzerinde gerçekleşen her işlemin süresini ve ıskarta miktarlarını içerir.

1.3. Dağıtım Planlama

Tedarik zinciri boyunca planlamada hammaddenin tedarikçiden fabrikaya getirilmesi, üretim süreçleri arasındaki aktarımlar ve bitmiş ürünün müşteri veya dağıtım merkezlerine sevkiyatının zaman ve miktar olarak planlanmasını içeren çok seviyeli bir kararlar zinciri söz konusudur. Girdilerin planlanması tedarik planlama, üretim süreçleri arasındaki aktarımlar üretim planlama ve tamamlanmış ürünlerin müşteri veya dağıtım merkezlerine sevkiyatı dağıtım planlama kararları olarak ele alınmaktadır.

Dağıtım planlamada amaç, müşterinin istediği ürünü, istediği zaman ve miktarda, istediği yerde teslimini minimum maliyetle sağlamaktır. Dağıtım fonksiyonu aynı zamanda üretimde elde edilen bitmiş ürünün müşteriye ulaştırılana kadar stoklanmasını da içinde barındırmaktadır. Bu nedenle dağıtım planlarında maliyet azaltılmaya çalışılırken araçlar ve sevkiyat maliyetleriyle birlikte stoklama maliyetleri de birlikte hesaplanmaktadır.

Dağıtım planlama da aynı üretim planlamada olduğu gibi kapsadığı süre bakımından üçe ayrılan farklı seviyelerde kararların alınmasını içermektedir: Uzun, orta ve kısa dönemli dağıtım planlama.

1.3.1. Uzun Dönemli Dağıtım Planlama

Uzun dönemli dağıtım planları, üretim tesislerinin, depo ve dağıtım merkezlerinin yerlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesine ilişkin kararları içermektedir. Amaç dağıtım faaliyetlerinin süreleri ve maliyetlerini azaltmaktır. Gelecek dönem talep tahminleri üzerinden kapasite ihtiyaç kararları ve dağıtım faaliyetlerinin süre ve maliyetlerini azaltmaya yönelik yerleşim kararları bu seviyede alınmaktadır.

1.3.2. Orta Dönemli Dağıtım Planlama

Orta dönemli dağıtım planlamada orta dönemli üretim planlarında verilen üretim kararlarıyla dağıtım kararlarının koordinasyonu hedeflenmektedir. Üretim, depolama ve sevkiyat faaliyetlerinin koordineli çalışması maliyetlerin azaltılması, müşterilerin taleplerinin zamanında ve istenen miktarda karşılanabilmesi ve ürünlerin

gerekenden fazla depoda bekleyerek kullanım değerlerinin eksilmemesi açısından önem arz etmektedir.

1.3.3. Kısa Dönemli Dağıtım Planlama

Kısa dönemli dağıtım planlamada ise günlük ürün sevkiyat programları, teslimat araçlarının yüklenme programları, araç rotalarının belirlenmesi vb. kararlar alınmaktadır.

1.4. Birleşik Üretim ve Dağıtım Planlama

Üretim ve dağıtım, “bir ürünün ilk maddesinden başlayarak, tüketiciye ulaşması ve geri dönüşümünü de içeren tüm süreçlerde yer alan tedarikçi, üretici, dağıtımçı ve perakendecilerden oluşan bütün” şeklinde tanımlanabilecek tedarik zincirinde iki temel planlama seviyesidir. Kaynakların kısıtlı, üretim maliyetlerinin kârlılık üzerinde etkisinin büyük olması sebebiyle üretimin planlanması yazında yoğun olarak çalışılan bir konudur. Üretilen ürünlerin kullanıcıya ulaştırılmasına yönelik dağıtım planlaması konusu da üretim maliyetlerinin yanında dağıtım maliyetlerinin de toplam maliyet içinde büyük yer tutması ve müşteri beklentilerinde hızın önemini arttırması ile ağırlık kazanmış bir alandır.

Bugüne kadarki akademik çalışmalarda ve uygulamada genel kanı olarak üretim ve dağıtım ayrı planlama aşamaları olarak kabul edilmiş, kurulan modeller de üretimi ve dağıtımı ayrı ayrı ele almıştır. Oysa üretim planlarının çıktıları doğrudan dağıtım kararlarının girdilerini oluşturmaktadır. Ayrı modellendiklerinde bazı maliyet azaltıcı veya hız kazanmayı sağlayan faktörler gözden kaçabilmektedir. Üretim ve dağıtım bir bütün olarak ele alındığında sistemin bütününde önemli bir maliyet ve israf azalması, hız artışı vb. faydalar elde edilebilmektedir. Gıda ürünleri, tarım ürünleri, organ, canlı hayvan, hazır beton vb. pek çok bozulabilir ürünün üretim ve dağıtımının planlaması ise, yaşanacak gecikmelerde ürünlerin kısmen veya tamamen değerlerini yitirmelerine yol açacağından, geleneksel ürünlere kıyasla çok daha büyük önem arz etmektedir.

İşletmelerin maliyet ve hız konusunda eskiye göre daha hassas hale gelmeleri, birleşik üretim ve dağıtım planlama konusundaki yayınların da artmasına yol açmıştır. Bu iki aşamayı ortak bir modelde inceleyen çalışmalar iki kategoride ele alınabilir. İlki

ve daha yaygın çalışılmış alan, geleneksel (bozulabilir olmayan) ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlamasıdır. Bozulabilir ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlaması henüz daha yakın dönemde çalışılmaya başlanmıştır. Ancak bozulabilir ürünlerin üretim ve dağıtım kararları yalnızca maliyetleri değil aynı zamanda ürünün kalitesini ve bazen buna bağlı olarak fiyatını dahi etkileyebildiğinden akademi ve uygulamanın dikkatini çekmeye açık bir konudur.

1.4.1. Geleneksel - Bozulabilir Olmayan Ürünler İçin Birleşik Üretim ve Dağıtım Problemi

Yazındaki araştırmaların büyük kısmı ürünün ömrünü dikkate almaksızın birleşik üretim ve dağıtım problemini ele alan çalışmalardır. Birleşik model farklı karar seviyeleri (stratejik, taktik, operasyonel) için değişiklik gösteren detaylar içermektedir.

Pankaj Chandra, Marshall L. Fisher(1994)⁷, üretim ve dağıtım planlamasını birleştirmenin değerini hesaplamaya yönelik öncü bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında ele aldıkları senaryo, birden fazla ürün üreten bir fabrika ve bitmiş ürünlerin fabrikada stoklanması durumudur. Ürünler bir kamyon filosu ile birden fazla perakendeciye dağıtılmaktadır. Ürünlerin planlama dönemi boyunca her dönemki talebi kesin olarak bilinmektedir. Çalışmada karşılaştırılan iki yöntemden ilki ürünlerin üretim planlaması ile dağıtımlarının araç rotalama probleminin ayrı ayrı çözülmesi, diğeri ise tek bir modelde birlikte çözülmesidir. Her iki yöntem 132 farklı örnek için modelde planlama dönemi, ürün sayısı, perakendeci sayısı, hazırlık, stok tutma ve araç seyahat maliyetleri vb. temel parametreler değiştirilerek çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda toplam maliyetlerin birleşik çözümde ayrı ayrı çözüme oranla %3 ile %20 arasında değişen oranlarda daha düşük çıktığı görülmüştür.

Mingyuan Chen ,Weimin Wang (1997)⁸, Kanada’da bulunan büyük bir çelik şirketinin faaliyetlerini esas alan birleşik üretim planlaması için doğrusal programlama

⁷ Pankaj Chandra, Marshall L. Fisher, “Coordination of production and distribution planning”, **European Journal of Operational Research**, Volume 72, Issue 3, 10 February 1994, Pages 503–517

⁸ Mingyuan Chen, Weimin Wang, "A linear programming model for integrated steel production and distribution planning", **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 17 Iss: 6, pp. 592-610

modeli geliştirmişlerdir. Şirketteki bütün planlama faaliyetini, hammadde alımı, yarı mamul alımı ve üretimi ile tamamlanmış ürün üretimi ve dağıtımının yanı sıra kapasite dağıtımı gibi bir dizi yakın ilişkili alt fonksiyonları dâhil eden birleşik bir süreç olarak dikkate almışlardır. Optimal üretim planlamasını bulma amacıyla kullandıkları matematiksel programlama modeli, üretim maliyetlerini, ürün çevrim hızı, müşteri talepleri, satış fiyatları ve fabrika kapasitesini hesaba katan bir modeldir. Geliştirdikleri bu modeli sektörde bir şirkete uygulayarak sayısal bir örnek hesaplamışlardır. Hesaplama ve analiz sonuçları, birleşik yöntemin çelik üretim planlaması için uygun bir yaklaşım olduğunu göstermiştir.

Fumero ve Vercellis (1999)⁹, Kapasite yönetimi, stok tahsisi ve araç rotalama gibi önemli ve birbiriyle ilişkili lojistik kararlarında en uygun koordinasyonun sağlanması amacına yönelik üretim ve dağıtım planlaması için birleşik bir optimizasyon modeli önerilmiştir.

Clarisse Dhaenens-Flipo, Gerd Finke (2001)¹⁰, birden fazla fabrika, birden fazla ürün ve birden fazla dönemli bir üretim ve dağıtım planlama optimizasyon problemi ele almışlardır. Bu problemde hem üretim hem de dağıtım maliyetleri dikkate alındığından ve birbirleriyle bağlantılı olduğundan eşzamanlı olarak maliyet optimizasyon problemi şeklinde ele alınması gerektiği öne sürülmüştür. Çalışmalarında üretim-dağıtım problemini birleştirirken, dönemler arasındaki bağlantı kısıtlarını ek 0-1 değişkenler tanımlayarak kurulan bir ağ diyagramı modeli kullanmışlardır. Hesaplamalar, incelenen gerçek boyutlu problemlerin CPLEX gibi ticari doğrusal programlama kodları kullanılarak makul bir sürede çözülebildiğini göstermektedir

Vaidyanathan Jayaramana, Hasan Pirkulb (2001)¹¹, çok-kademeli bir ortamda üretim ve dağıtım tesislerinin yerleşim planlaması için birleşik lojistik bir modeli

⁹ Francesca Fumero and Carlo Vercellis, “Synchronized development of production, inventory, and distribution schedules”, **Transportation Science**, vol. 33 no. 3, August 1999, pp. 330-340

¹⁰ Clarisse Dhaenens-Flipo, Gerd Finke, “An integrated model for an industrial production-distribution problem”, **IIE Transactions**, Volume 33, Issue 9, 2001, pages 705-715

¹¹ Vaidyanathan Jayaraman, Hasan Pirkul, “Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities”, **European Journal of Operational Research**, Volume 133, Issue 2, 1 January 2001, Pages 394-408

üzerinde çalışmışlardır. Böyle bir lojistik sistemi tasarlamak stratejik ve operasyonel olmak üzere iki önemli karar gerektirmektedir. Stratejik kararlar, fabrika yeri, depo yeri vb. seçimi; operasyonel kararlar fabrikalardan müşterilere depolar aracılığıyla dağıtım kararlarını kapsamaktadır.

Young Hae Lee, Sook Han Kim(2002)¹², çalışmalarında verili zaman aralığı içinde tüm bayilerin talebini karşılamaya yönelik çok dönemli, çok bayili birleşik bir tedarik zinciri üretim ve dağıtım modeli önermişlerdir. Modelin çözümü için analitik ve simülasyonun birleşiminden oluşan karma bir yöntem kullanmışlardır. Üretim, dağıtım, stok tutma ve stoksuzluk maliyetleri toplamını minimize etmeye yönelik kurdukları analitik modelde stok ve işlem süreleri kısıtları mevcuttur. Makine işlem ve dağıtım işlem süre kısıtları modelin olasılık faktörleridir. Bu faktörler ele alınan modelin üretim ve dağıtımının özelliklerine göre çalıştırılan bağımsız bir simülasyon modelinin çıktıları olarak hesaplanarak modele dahil edilmişlerdir. Her dönem için müşteri talebini karşılayacak en iyi işlem süresi hesaplandıktan sonra bu süreye dayalı en iyi üretim-dağıtım planı elde edilmiştir.

Y.B. Park (2005)¹³ çalışmasında birden fazla fabrika, birden fazla bayi, birden fazla ürün ve birden fazla dönemli bir lojistik sisteminde toplam net kârı maksimize etmeye yönelik birleşik bir üretim-dağıtım planlama modeli sunmuş ve birleşik modellerin ayrı modellere göre etkinliği araştırmıştır. Deneme problemleri için yapmış olduğu duyarlılık analizi hesaplamaları, üretim ve dağıtım fonksiyonlarının birleşik modellenmesinin ayrı modellenmelerine kıyasla etkinliğinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

L Lei, S Liu, A Ruszczyński, S Park (2006)¹⁴ çalışmalarında toplam maliyeti minimize etmeye yönelik bir birleşik üretim, stok ve dağıtım rotalama problemi

¹² Young Hae Lee, Sook Han Kim, “Production–distribution planning in supply chain considering capacity constraints”, **Computers & Industrial Engineering**, Volume 43, Issues 1–2, 1 July 2002, Pages 169–190

¹³ Y.B. Park, “An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management”, **International Journal of Production Research**, Volume 43, Issue 6, 2005, pages 1205–1224

¹⁴ Lei Lei, Shuguang Liu, Andrzej Ruszczyński & Sunju Park, “On the integrated production, inventory, and distribution routing problem”, **IIE Transactions**, Volume 38, Issue 11, 2006, pages 955–970

(PIDRP) önermişlerdir. Model ayrıca gecikmeye izin verilen ulaşım zamanlı farklı türden nakliyeciler ve her biri kendi kapasite imkânlarına sahip çoklu müşteri talep merkezlerini içermektedir.

Seok Jin Lim, Suk Jae Jeong, Kyung Sup Kim, Myon Woong Park (2006)¹⁵, çalışmalarının amacı tedarik zincirindeki fabrika ve dağıtım merkezlerinin farklı kapasiteleri için en iyi üretim dağıtım planını belirlemektir. Çalışmada öncelikle fabrika ve dağıtım merkezlerinin kapasitelerini belirlemeye yönelik matematiksel model sunulmuştur. Böyle bir ağı çözmenin belirsizliği ve karmaşıklığı göz önünde bulundurularak, bir simülasyon yaklaşımı uygulamışlardır. Kullandıkları simülasyon modeli ile, daha yüksek müşteri memnuniyeti ve daha düşük toplam maliyetler ile müşteri taleplerini karşılayan, farklı kapasite yenileme durumlarını içeren farklı üretim-dağıtım planlarını analiz etmişlerdir.

Boudia vd. (2008)¹⁶ tek ürün çok dönem için üretim ve dağıtım planlamasının koordinasyonunun değerini araştırmıştır. Amaç, tüm dönemlerin toplam üretim ve dağıtım maliyetlerini minimize edecek her dönemin üretilecek miktar ve sevkiyat dolaşımını belirlemektir.

Seyed Hessameddin Zegordi, Mohammad Ali Beheshti Nia (2009)¹⁷, iki kademeli bir tedarik zincirinde siparişlerin tedarikçilere atanmasında üretim ve nakliye planlaması entegrasyonu üzerine çalışmışlardır. İlk aşama, farklı coğrafi bölgelere dağılmış birden fazla tedarikçi; ikinci aşama ise farklı hız ve taşıma kapasitelerine sahip birden fazla araç ve birden fazla malzemenin fabrikaya taşınmasını kapsamaktadır. Model karma tamsayılı programlama problemi olarak kurulmuş ve çözüm için Genetik Algoritma yöntemine Dinamik Genetik Algoritma adında yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

¹⁵ Seok Jin Lim, Suk Jae Jeong, Kyung Sup Kim, Myon Woong Park, “A simulation approach for production-distribution planning with consideration given to replenishment policies”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, January 2006, Volume 27, Issue 5-6, pp 593-603

¹⁶ Mourad Boudia, Mohamed Aly Ould Louly & Christian Prins, “Fast heuristics for a combined production planning and vehicle routing problem”, **Production Planning & Control**, Vol. 19, No.2, March 2008, 85-96

¹⁷ Seyed Hessameddin Zegordi, Mohammad Ali Beheshti Nia, “Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment” **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, October 2009, Volume 44, Issue 9, pp 928-939

Bilgen ve Günther (2010)¹⁸ toplam üretim ve taşıma maliyetlerini minimize etmeye yönelik bir karma tamsayılı doğrusal optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca söz konusu model oluşturulurken blok-planlama yaklaşımı da sunulmuştur.

S.A. Torabi ve M. Moghaddam(2012)¹⁹ toplam geliri maksimize ve aynı zamanda teslim süresini minimize etmeye yönelik iki amaçlı bir fuzzy hedef programlama modeli üzerine çalışmışlardır. Farklı bölgelerdeki fabrikalarda üretim yaparak yine farklı bölgelerdeki müşterilere dağıtımını konu alan çalışmada talebin belirsiz olması nedeniyle karşılanamayan talep veya elde stok kalması söz konusu olabilir. Üretim planlamada orta dönemli bütünleşik üretim planlama (aggregate planning) kapsamında, stokları elde tutma maliyeti, geciken sipariş, fazla mesai, geçici işçi vb. ek kapasite maliyetleri ve dağıtım maliyetleri toplamının azaltılmasıyla gelir maksimizasyonu hedeflenmiştir.

K. Sarrafha, A. Kazemi, A. Alinezhad (2014)²⁰, birden fazla tedarikçi, fabrika, dağıtım merkezi ve perakendeciden oluşan bir tedarik zinciri ağında toplam maliyetleri ve perakendecilere dağıtım süresini eşzamanlı olarak minimize etmeyi amaçlayan bir çok amaçlı karma tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Modeli hayali bir senaryo için sayısal olarak çözmüş ve çıktıları yorumlamışlardır.

I. Moon, Y. J. Jeong ve S. Saha(2016)²¹, tedarikçi, üretici, dağıtım merkezi ve perakende mağazasından oluşan dört kademeli bir tedarik zincirinin karbon emisyonu kısıtı ile tasarımı konusunda çalışmışlardır. Önerdikleri çok amaçlı bir karma tamsayılı programlama modelinde ilk amaç, ürün satış gelirinden dört kademe için hammadde, üretim, dağıtım ve stok tutma maliyetleri farkını minimize etmektir. Çok amaçlı modelin

¹⁸ Bilge Bilgen, Hans-Otto Guenther, “Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application”, **OR Spectrum**, (2010) 32: 927-955

¹⁹ S.A. Torabi ve M. Moghaddam, “Multi-site integrated production-distribution planning with transshipment: a fuzzy goal programming approach,” **International Journal of Production Research**, 50:6, 2012, pp 1726-1748

²⁰ K. Sarrafha, A. Kazemi, A. Alinezhad, “A multi-objective evolutionary approach for integrated production-distribution planning problem in a supply chain network”, **Journal of Optimization in Industrial Engineering (JOIE)**, Article 8, Volume 7, Issue 14, Winter and Spring 2014, Page 89-102

²¹ I. Moon, Y. J. Jeong ve S. Saha, “Fuzzy bi-objective production-distribution planning problem under the carbon emission constraint” **Sustainability**, Vol.8, Iss.8, 2016, 798-815

ikinci hedefi ise tüm planlama dönemi boyunca stoksuzluk maliyetinin minimizasyonudur. Modelin yazına en önemli katkısı, alışlageldiği üzere sadece gelir ve maliyetlere odaklanmanın yanında hammaddenin ve ürünün üretim, dağıtım ve stoklanması aşamalarındaki karbon salınımını da dikkate almasıdır. Üretim ve dağıtım planlama modelinin çıktılarının karbon salınımını kısıt olarak eklenmesi halinde nasıl değişeceğini duyarlılık analizi ile yorumlamışlardır.

1.4.1. Bozulabilir Ürünler İçin Birleşik Üretim ve Dağıtım Problemi

Üretim ve dağıtım ortak modelde ele alan çalışmalar içinde bozulabilir ürünlere odaklananların sayısı çok daha azdır ve diğerine kıyasla yeni çalışılan bir alandır. Genel olarak daha kısa raf ömürlü ürünlere odaklanılmıştır. Bu alandaki çalışmaların ilk dönemlerde yoğunlaştığı konu bozulabilir ürünün stoktaki değer kaybı ve sisteme stok kararlarının dâhil edilmesidir. İlerleyen yıllarda orta seviye stok kararlarından daha geniş bir karar çerçevesine geçilmiş ve yalnızca stoktaki ürünlerin dağıtımını üzerine değil; üretimin ilk aşamasından dağıtıma dek zincir bütün olarak ele alınmaya başlanmıştır.

Federgruen vd. (1986)²² makalelerinde bozulabilir ürünler için bölgesel bir dağıtım merkezinden rassal talepli birden fazla bölgeye birleşik dağıtım planı üzerinde çalışmışlardır. Merkezdeki stoğun tahsisiyle dağıtımın nasıl yapılacağını birleştiren bir model incelenmiştir. Her talep merkezine ayrı seferler yapılması veya aracın yaptığı dağıtım rotasının farklı talep merkezi duraklarını içermesi olmak üzere iki farklı dağıtım politikası karşılaştırılmış ve sayısal çıktıları tartışılmıştır.

V Sirelson, E Brodheim, (1991)²³ makalelerinde hastane kan bankalarındaki trombosit stokları ile bölgesel bir kan merkezinden planlanan günlük gönderileri birlikte

²² Awi Federgruen, Gregory Prastacos, Paul H. Zipkin, “An allocation and distribution model for perishable products”, **Operations Research**, February 1986, Vol.34(1):75

²³https://www.researchgate.net/publication/21403913_Computer-planning_model_for_blood_platelet_production_and_distribution erişim:21.04.2016

modelleyerek sabit bir stok yenileme seviyesi hesaplama yöntemi önermişlerdir. Amaç, stoksuzluk oranı ve son kullanım süresi geçen ürünlerin oranı toplamını en az yapmaktır.

Ekşioğlu ve Mingzhou(2006)²⁴ makalelerinde bozulabilir stoklu dinamik iki seviyeli tedarik zinciri için üretim ve dağıtım planlamasında karma tamsayılı programlama modeli geliştirilmişlerdir. Ele alınan tedarik zincirinde birden fazla fabrika ve birden fazla perakendeci bulunmaktadır. Son ürün bozulabilir üründür ve sınırlı bir raf ömrüne sahiptir. Problemi sabit ücret bedeli fonksiyonlu bir şebeke modeli olarak kurmuşlardır. Alt ve üst sınırları hesaplamada bir primal-dual sezgisi geliştirilmiştir.

H. Neil Geismar, Gilbert Laporte, Lei Lei, Chelliah Sriskandarajah(2008)²⁵, çalışmalarında kısa raf ömürlü bir ürün için üretim-dağıtım planlama problemi kullanmışlardır. Raf ömrünün kısa olmasından dolayı fabrikada stok tutulmamakta, üretim tamamlanır tamamlanmaz doğrudan müşterilere dağıtılmaktadır. Modelin amacı, geniş bir coğrafi bölgedeki müşterilerin talebini karşılarken üretim ve dağıtım süreleri toplamını en az yapmaktır.

Rong vd. (2009)²⁶, gıda tedarik zincirinde üretim ve dağıtım planlamasında karma tamsayılı doğrusal programlama modeline gıda kalitesindeki bozulmayı dâhil ederek bir model geliştirmişlerdir.

Chen vd. (2009)²⁷ bozulabilir ürünler için doğrusal olmayan zaman pencereci matematiksel bir üretim planlama ve araç rotalama modeli geliştirmişlerdir. Perakendecilerdeki taleplerin rassal değiştiği ve bozulabilir ürünlerin üretiminin

²⁴ Sandra Duni Ekşioğlu, Mingzhou Jin, “Cross-Facility Production and Transportation Planning Problem with Perishable Inventory”, **Computational Science and Its Applications – ICCSA**, 2006, Volume 3982, pp 708

²⁵ H. Neil Geismar, Gilbert Laporte, Lei Lei, Chelliah Sriskandarajah, “The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan”, **INFORMS Journal on Computing**, Vol. 20, No. 1, Winter 2008, pp. 21–33

²⁶ Aiying Rong, Renzo Akkerman, Martin Grunow, “An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain”, **International Journal of Production Economics**, Volume 131, Issue 1, May 2011, pp 421

²⁷ Huey-Kuo Chen, Che-Fu Hsueh, Mei-Shiang Chang, “Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products”, **Computers & Operations Research**, Volume 36, Issue 7, July 2009, pp 2311

tamamlandığı andan itibaren bozulmaya başladığı varsayılmıştır. Perakendeciye ulaştığındaki ürünün kalitesine ve miktarına göre değeri değiştiğinden dolayı tedarikçinin kârı belirsizdir. Modelin amacı tedarikçinin toplam beklenen kârını en fazla yapmaktır. Optimal üretim miktarı, üretime başlama zamanı ve araç rotaları modelde eşzamanlı olarak hesaplanmıştır. Bu karmaşık modelin çözümünde kısıtlı Nelder-Mead yöntemiyle zaman pencereli araç rotalama problemini birleştiren bir algoritma önerilmiştir.

Sıla Çetinkaya, Halit Üster, Gopalakrishnan Easwaran, Burcu Baris Keskin (2009)²⁸, yayınlarında Frito-Lay firmasının ürünlerinin dağıtım tedarik zincirinde stok ve dağıtım kararlarının eşzamanlı optimizasyonunu incelemişlerdir. Birden fazla ürün için geniş kapsamlı bir birleşik stok parti büyüklüğü planlama ve araç rotalama karma tamsayılı modeli kurmuşlardır. Stok tutma, araç yükleme ve sevk maliyetleri toplamını en az yapmayı amaçlayan model; üretim, stok ve araç taşıma kapasite kısıtları için, fabrikadan mağazaya ve fabrikalar arası dağıtım alternatifleri için farklı olarak kurulmuştur. Çözüm aşamasında modeli stok ve rotalama olarak iki aşamaya bölüp yinelemeli çözüm yaklaşımıyla her iki alternatifin sonuçları karşılaştırılmıştır. .

Aiying Rong, Martin Grunow (2010)²⁹, çalışmalarında gıda güvenliği problemini de içeren bir birleşik üretim dağıtım planlama modeli önermişlerdir. Önerdikleri model tek kademeli, dinamik, kapasite sınırsız parti büyüklüğü belirleme modeline dayanmaktadır. Ürün kalitesindeki bozulma ve güvenlik riski modele eklenmiştir. Oluşturdukları karma tamsayılı programlama modelinin çözümünde sezgisel yaklaşım yöntemi kullanmış, geliştirdikleri modelin etkinliğini sayısal çıktılar ile göstermişlerdir.

²⁸ Sıla Çetinkaya, Halit Üster, Gopalakrishnan Easwaran, Burcu Baris Keskin, “An Integrated Outbound Logistics Model for Frito-Lay: Coordinating Aggregate-Level Production and Distribution Decisions”, **Interfaces**, Vol. 39, No. 5, September–October 2009, pp. 460–475

²⁹ Aiying Rong, Martin Grunow, “A methodology for controlling dispersion in food production and distribution”, **OR Spectrum**, Volume 32, Issue 4, September 2010, pp 957-978

Changyuan Yan, Avijit Banerje, Liangbin Yang (2011)³⁰, iki kademeli bir tedarik zincirinde bozulabilir ürün için birleşik üretim-dağıtım modeli geliştirmişlerdir. Tedarikçinin üretim parti büyüklüğü, müşterinin kendi belirlediği sevk parti büyüklüğünün tamsayı katı ile sınırlanmıştır. Her iki firma için ayrı ayrı hesaplanan parti büyüklükleri kullanılarak tedarik zincirindeki tüm süreçlerin maliyetleri toplamının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

Omar Ahumada, J. Rene Villalobos (2011)³¹, tarım ürünlerinin üretim ve dağıtım planlamasında üretici kârını maksimize etmeye yönelik bir karma tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Önerilen modelde geleneksel ürünler için kullanılan fiyat tahmini ve kaynak kısıtlarına ek olarak ürünün bozulma oranı, transfer ve stok bulundurma maliyetleri de dikkate alınmıştır. Ürünün bozulması modele iki şekilde dâhil edilmiştir: amaç fonksiyonuna gider olarak ve depolama kısıtı olarak.

Omar Ahumada, J. Rene Villalobos (2011)³², kısa dönemli üretim ve dağıtım planlaması için önerdikleri modeli, tarım ürünü üreten bir çiftçinin hasat dönemindeki kârını maksimize etmek için uygulamışlardır. Hasatın kârını etkileyen başlıca faktörler olarak işçilik, toplanan ürünün bozulmadan saklanma ve ulaştırma maliyetleri kabul edilmiş ve minimize edilmesi amaçlanmıştır.

C. Almeder, A. Meneses, P. Amorim, B. Almada-Lobo (2011)³³, önerdikleri modelde bozulabilir ürünler için geleneksel parti büyüklüğü planlamayla zaman pencereli araç rotalama problemini birleştirmişlerdir. Parti büyüklüğü ile araç rotalamanın ayrı ayrı hesaplanmasıyla birleşik hesaplanmasının sonuçlarını sayısal örnekler ile karşılaştırmışlardır.

³⁰ Changyuan Yan, Avijit Banerjee, Liangbin Yang, “An integrated production–distribution model for a deteriorating inventory item”, **International Journal of Production Economics**, Volume 133, Issue 1, September 2011, Pages 228–232

³¹ Omar Ahumada, J. Rene Villalobos, “A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce”, **Annals of Operations Research**, Volume 190, Issue 1, October 2011, pp 339-358

³² Omar Ahumada, J. Rene Villalobos, “Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products” **International Journal of Production Economics**, Volume 133, Issue 2, October 2011, Pages 677–687

³³ Anderson Meneses, Pedro Amorim, Bernardo Almada-Lobo and Christian Almeder, “Integrating lot sizing and scheduling with the vehicle routing problem: A special look into perishable products” **Proceedings of the 2nd International Workshop on Lot Sizing**, 2011 Istanbul, Turkey, s.55 vd

Amorim vd. (2012)³⁴, sabit ve değişken (*loose*) raf ömürlü bozulabilir ürünler için toplam maliyeti minimize ederken dağıtım merkezlerine ulaşan ürünlerin kalan raf ömürlerini maksimize etmeye yönelik bir çok amaçlı birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli geliştirmişlerdir.

GM Kopanos, L Puigjaner, MC Georgiadis(2012)³⁵’in çalışması, gıda sektöründe tek ve çok tesisli kesikli (*semicontinuous*) üretim ve lojistik süreçlerinin planlamasına ilişkin bir çalışmadır. Kesikli ve sürekli zamanlı birer karma tamsayılı model geliştirmişlerdir. Çalışmanın en ayırt edici yanı, ürünler için değil, ürün aileleri için zaman ve miktar bazında kararlar alınmasıdır. Üretim, stok, taşıma ve hazırlık (*changeovers*) maliyetlerinin optimizasyonu amaçlanmıştır. Model bir Yunan süt ürünleri fabrikasına uygulanarak son ürünün fabrikadan dağıtım merkezlerine gönderiminde alternatif rotaların maliyetleri karşılaştırılmıştır.

P Farahani, M Grunow, HO Günther (2012)³⁶, üretim ile dağıtım arasında geçen süreyi kısaltarak catering yemeklerinin kalitesini iyileştirmeyi araştıran bir çalışma yapmışlardır. Kısa dönemli üretim ve dağıtım programlamayı birleştiren bir model önermişlerdir. Üretim programlama problemi, blok planlama formülüne dayanan bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile çözülmüş ve üretim ile dağıtım planlamasını birleştiren bir arayüz kullanmışlardır. Geliştirdikleri modeli Danimarka’daki bir catering firmasında uygulamışlardır.

³⁴ Pedro Amorim, Hans Otto Günther, Bernardo Almada-Lobo, “Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products”, **International Journal of Production Economics**, Volume 138, Issue 1, July 2012, Pages 89–101

³⁵ Georgios M. Kopanos, Luis Puigjaner, Michael C. Georgiadis, “Simultaneous production and logistics operations planning in semicontinuous food industries”, **Omega**, Volume 40, Issue 5, October 2012, Pages 634–650

³⁶ Poorya Farahani, Martin Grunow, Hans-Otto Guenther. “Integrated production and distribution planning for perishable food products”, **Flexible Services and Manufacturing Journal**, 2012, Volume 24, Issue 1, pp 28-51

P Amorim, H Meyr, C Almeder, Almada-Lobo, B. (2013)³⁷, bozulabilir ürünler için üretim ve dağıtım planlama modelleri üzerine bir literatür tarama çalışması yapmışlardır.

P. Amorim, M.A.F. Belo-Filho, F.M.B. Toledo, C. Almeder, B. Almada-Lobo(2013)³⁸, bozulabilir ürünlerin birleşik üretim ve dağıtım planlamasında yaygın kullanılan siparişe dayalı üretimde partiler halinde üretim yerine üretim parti büyüklüklerinin küçültülmesi - *lot sizing* yöntemini önermişlerdir. Her iki yöntemi karşılaştırmalı olarak örneklerden elde ettikleri sonuç, küçük partiler halinde üretim yönteminin özellikle bozulabilir ürünlerde %6,5'a kadar maliyet iyileştirmesi sağladığıdır.

Karin G.J. Pauls-Worm, Eligius M.T. Hendrix, René Haijema, Jack G.A.J. van der Vorst (2014)³⁹, sabit raf ömürlü bozulabilir bir ürün için değişken bir taleple karşı karşıya olan bir gıda üreticisinin üretim planlama problemini incelemişlerdir. Belirsiz talebi karşılamak için FIFO yöntemi kullanılmaktadır. Fabrikada hazırlık, değişken üretim, stok tutma ve çöp maliyetleri toplamını en az yapmak için hangi dönem ne miktarda üretilmesi gerektiğini planlanmaya yönelik bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeliyle istenen talep karşılama düzeyleri için yaklaşık çözüm elde edilmiştir.

S. M. Seyedhosseini and S. M. Ghoreyshi (2014)⁴⁰, bir fabrikada sabit raf ömürlü bozulabilir bir ürün üreten ve birden fazla dağıtım merkezine eş araçlar kullanılarak gönderimin yapıldığı bir tedarik zinciri için birleşik üretim ve dağıtım

³⁷ Pedro Amorim, vd. "Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review", **Flexible Services and Manufacturing Journal**, September 2013, Volume 25, Issue 3 , pp 389-413

³⁸ Pedro Amorim, vd. "Lot sizing versus batching in the production and distribution planning of perishable goods" **International Journal of Production Economics**, Volume 146, Issue 1, November 2013, Pages 208–218

³⁹ Karin G.J.Pauls-Worm, vd. "An MILP approximation for ordering perishable products with non-stationary demand and service level constraints", **International Journal of Production Economics**, Volume 157, November 2014, Pages 133–146

⁴⁰ Mohammad Seyed hosseini, S.M. Ghoreyshi, "An integrated model for production and distribution planning of perishable products with inventory and routing considerations", **Mathematical Problems in Engineering**, Volume 2014 (2014), Article ID 475606, 10 pages

planlama modeli önermişlerdir. Modelde her planlama dönemindeki üretim miktarı, hangi dağıtım merkezlerine uğranılacağı ve her birine ne kadar gönderileceği bulunmak istenmektedir. Amaç toplam üretim ve dağıtım maliyetlerini minimize etmektir. Geliştirdikleri modelin çözümü için modeli üretim ve dağıtım olarak iki alt modele bölmüşlerdir. Üretim alt modeli LINGO programı ile çözülmüş, buradan elde edilen sonuçları dağıtım modelinin girdileri olarak kullanmış ve parçacık sürü sezgisel yöntemi (*particle swarm heuristic*) ile önerdikleri çözüm metodunu farklı sayısal örnekler için test etmişlerdir.

M.A.F. Belo-Filho, P. Amorim & B. Almada-Lobo (2015)⁴¹, özellikle geniş ürün yelpazesi barındıran firmaların bozulabilir ürünlerin operasyonel seviyede üretim ve dağıtım programlarının birlikte modellenmesi çözümü oldukça zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen modelin çözümü için karma tamsayılı doğrusal programlama modeline uyarlanan bir büyük komşuluk arama yöntemi - *adaptive large neighbourhood search (ALNS)* önerilmiştir.

P. Devapriya, W. Ferrel ve N. Geismar (2016)⁴², çalışmalarında toplam üretim ve dağıtım maliyetini minimize etmeye yönelik bir karma tamsayılı model önermişlerdir. Bir fabrikada üretilip birden fazla dağıtım merkezine birden fazla araç ile gönderilen tek bir bozulabilir ürün için önerdikleri modelin karar değişkenleri, araç sayısı, rotası, üretim miktarı ve dağıtım miktarıdır. Tanımladıkları hayali bir senaryo için modeli sezgisel yöntem ile çözmüşlerdir. Buldukları çözüm optimum çözüm olmamakla birlikte, yaklaşık bir çözüm elde etmişlerdir.

M. H. Ngoc ve N., Nano Nukul (2016)⁴³, çalışmalarında değişken raf ömürlü bozulabilir bir ürünün toplam üretim ve dağıtım maliyetleri ile, ürünün süre geçtikçe bozulması sebebiyle değer kaybı maliyeti toplamını minimize etmeye yönelik bir

⁴¹ Marcio Antonio Ferreira Belo-Filho, Pedro Amorim, Bernardo Almada-Lobo, “An adaptive large neighbourhood search for the operational integrated production and distribution problem of perishable products”, **International Journal of Production Research**, 2015, Vol. 53, No. 20, 6040–6058

⁴² P Devapriya, W Ferrell, N Geismar , “Integrated production and distribution scheduling with a perishable product” , **European Journal of Operational Research**, 2017, pg. 906-916

⁴³ M. Ho Ngoc, , N. Nananukul, “Integrated Production and Distribution with Perishability Management in Logistics System”, Conference Paper: **International Conference on Trends in Multidisciplinary Business and Economic Research (TMBER 25-26 March 2016)**, Vol.3 pg 120-127

birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli sunmuşlardır. Önerdikleri bu modeli bir fabrika iki ürün iki perakendeci ve 15 günlük bir planlama dönemi için CPLEX programı ile iki farklı son tüketim süreli ürün için çözerek ürünlerin raf ömürlerine göre maliyet değişimlerini karşılaştırmışlardır.

F. Marandi, S.H. Zegordi (2017)⁴⁴, tesadüfi raf ömürlü ürünlerin üretim ve dağıtım arasında geçen sürenin kısaltılmasıyla ürünün kalitesinin nasıl iyileştirilebileceği üzerine çalışmışlardır. Önerdikleri modelde ürünün üretim süresi, üretim ile dağıtım arasındaki süre farkı ile dağıtım maliyeti toplamını minimize etmek amaçlanmaktadır. Birleşik üretim ve dağıtım planına yönelik karma tamsayılı modelin çözümünde parçacık sürü (*particle swarm*) yöntemini kullanmışlar ve MATLAB programı ile farklı hayali senaryolar için modelin çıktılarını yorumlamışlardır.

P. Lacomme, A. Moukrim, A. Quilliot ve M. Vinot (2018)⁴⁵, tesadüfi ve kısa raf ömürlü bozulabilir bir ürünün üretimi tamamlanmasının ardından müşterilere dağıtım süresinin minimizasyonuna yönelik üretim programlama ve araç rotalamanın modeli önermişlerdir.

⁴⁴ F. Marandi, S.H. Zegordi, “Integrated production and distribution scheduling for perishable products”, **Scientia Irenica**, Article 6, Volume 24, Issue 4, July and August 2017, Page 2105-2118

⁴⁵ P. Lacomme, A. Moukrim, A. Quilliot & M. Vinot, “Supply chain optimisation with both production and transportation integration: multiple vehicles for a single perishable product”, **International Journal of Production Research**, 56:12, 2018, 4313-4336

İKİNCİ BÖLÜM

KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

2.1. Tamsayılı Doğrusal Programlama

Matematikçilerin 3000 yıldır ‘doğrusal denklemler’ sistemini çözdüklerine dair kanıtlar Babil tabletlerinde mevcut olduğu gibi, 2000 yıl önce Çince yazılmış olan “Aritmetiğin Dokuz Kitabı”nda da Gauss Eleme yöntemi tanımlanmaktadır. Matematikçiler ‘doğrusal eşitsizlik’ sistemlerini analiz etmeye başladıklarında ise büyük bir gelişme yaşanmıştır. Zira bu durum güzel teoriler geliştirmek için verimli bir zemin hazırlamıştır. 1826’da Fourier, bu tür sistemlerin, bir değişkeni ortadan kaldırarak çözmesi için bir algoritma önermiş, diğer önemli katkılar ise, Farkas ve Minkowski tarafından yapılmıştır. Doğrusal eşitsizlik sistemleri, polyhedra(çok boyutlu)’yı tanımlayarak bunlar üzerinden doğrusallığı optimize etmeyi sağlamaktadır. Doğrusal programlama, bu açıdan matematiksel hesaplamalarda 20.yüzyılın tartışmasız en büyük başarısı olmuştur. Dantzig tarafından 1947 yılında geliştirilen simpleks metodu, halen büyük ölçekli problemlerde kullanılmaktadır.¹

“Sınırlı kaynakların alternatif faaliyetler arasında en uygun şekilde tahsisi” olarak tanımlanabilecek Yöneylem Araştırmasının başlangıcı II. Dünya Savaşındaki askeri hizmetlerdeki uygulamalardır.² Savaş sona erdiğinde ise Yöneylem Araştırmasının savaştaki başarılı katkıları yöntemi endüstri için de cazip kılmıştır. Sovyet matematikçi A.N. Kolmogorov’un II. Dünya Savaşı yıllarında geliştirdiği Doğrusal Programlama yöntemi, ileriki yıllarda pek çok alt başlığa ayrılarak geniş bir Yöneylem Araştırması çalışma alanı sunmuştur.

Genel doğrusal programlama problemi, kusurlu sonuçlara izin vermektedir. Oysa gerçek hayatta ele alınan problemlerin çoğunda tamsayılı çözümler elde edilmek istenmektedir. Bu bağlamda ilk keşif ise Gomory tarafından 1958 yılında safi tamsayılı programlama için oluşturulmuştur. Tamsayılı doğrusal programlama, değişkenlerinin tamsayılı olarak

¹ (editörler:) Michael Junger, Thomas Liebling, Denis Naddef, George Nemhauser, William Pulleyblank, Gerhard Reinelt, Giovanni Rinaldi, Laurence Wolsey. **50 years of integer programming 1958-2008**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, s.343-344

² Mehpare Timor, **Yöneylem Araştırması**, Türkmen Kitabevi, 2010, s. 39

sınırlandırıldığı doğrusal programlama problemlerini araştırır ve $\max\{cx | Ax \leq b; x \text{ tamsayı}\}$ problemi olarak tanımlanır.³

Tamsayılı doğrusal programlama modelinin genel yazımı aşağıdaki gibidir:

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

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

$$(x_j \geq 0 \text{ ve tamsayı}, j = 1, 2, \dots, n)$$

Değişkenlerin tümünün tamsayı olduğu problemler, **Safî Tamsayılı Programlama (Pure Integer Programming)** içinde ele alınırken; değişkenlerin tümü 0 veya 1 değerini alabiliyorsa **0-1 Programlama (Binary Programming)** ve sadece bir kısım değişkenin tamsayı olması gereken problemler **Karma Tamsayılı Programlama (Mixed Integer Programming)** konusudur.

2.2. 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama

Tamsayılı programlama modelindeki tüm karar değişkenleri “Evet” veya “Hayır” şeklinde olduğunda model 0-1 Tamsayılı Doğrusal Programlama olarak adlandırılmaktadır. Bu tür modellerde karar değişkeni evet ise “1”, hayır ise “0” değerini almaktadır. Modelin genel gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$x_j = \begin{cases} 1, & j \text{ değişkeninin değeri "Evet" ise} \\ 0, & j \text{ değişkeninin değeri "Hayır" ise} \end{cases}$$

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

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

$$(x_j \geq 0 \text{ veya } 1, j = 1, 2, \dots, n)$$

2.3. Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama

Bir doğrusal programlama probleminde yer alan değişkenlerin bir kısmı ondalık değer alabiliyor iken, geriye kalan değişkenlerin tamsayılı olması gerekebilir. Örneğin işleri makinalara, araçları rotalara atarken, üretim partisi için o planlama döneminde üret-üretme kararı verirken değişkenlerin tamsayı olması anlamlı olacakken; üretilecek ürün miktarı, araca yüklenecek mal miktarı vb. değişkenler ondalık değerler alabilecektir.

³ Alexander Schrijver, **Theory Linear and Integer Programming**, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, John Wiley & Sons, The Netherlands, 1999, s.240

n değişkeni olan bir problemde sadece I sayıdaki değişken tamsayılı olmak zorunda ise problemin genel formülasyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir: ⁴

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

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

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

$$(x_j : \text{tamsayı}, j = 1, 2, \dots, I, \quad I \leq n \text{ olmak üzere})$$

I = n olması halinde formülasyon bir **Safi Tamsayılı Programlama** problemini ifade etmektedir. x_j : değişkenlerinin tümü veya bir kısmı 0 veya 1 değerini alabiliyorsa, **0-1 Tamsayılı** veya **0-1 Karma Tamsayılı Programlama** problemini olarak adlandırılmaktadır.

2.4. Karma Tamsayılı Programlama Modelleri

Değişkenlerin alabileceği değerler ile modelin amaç ve kısıtlarının benzer özellikler göstermesine göre karma tamsayılı programlama modelleri aşağıda açıklanmıştır.

2.4.1. Sırt Çantası Problemi

Bir kişinin elinde n sayıda ürün olduğunu ve sınırlı hacme sahip bir sırt çantasına bu ürünleri bir alt küme ile doldurmaya çalışması olarak canlandırılan bir problemdir. Sadece bir kısıtı olan bir tamsayılı programlama modelidir ve kısıtın ve amaç fonksiyonunun katsayıları negatif olmamalıdır. Herhangi bir j ürününün c_j kadar fayda sağladığı ve sırt çantasında a_j kadar yer kapladığı ve sırt çantasının toplam hacminin a olduğu varsayalım. Bu durumda sırt çantasının sahibi mümkün olduğu kadar kendine en fazla faydayı sağlayacak ürünler alt kümesi ile çantasını doldurmak isteyecektir. Ürünlerin parçalanamaz olduğu varsayımı ile bir sırt çantası probleminin genel gösterimi aşağıdaki gibidir: ⁵

X_j : Sırt çantasına konulacak j türündeki ürün sayısı

n: ürün sayısı

$j=1, 2, \dots, n$ olmak üzere

Amaç Fonksiyonu:

$$Z_{max} = \sum_{j=1}^n c_j X_j$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n a_j X_j \leq a, \quad X_j \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

⁴ Timor, a.g.e., s. 258

⁵ Prof. Dr. Şule Özkan, **Yöneylem Araştırması**, Nobel Yayınevi, 2005, s.90

2.4.2. Sabit Yük Problemi

Pek çok karar probleminde değişkenlerin aldığı değerden bağımsız olarak *sabit yük* (*fixed-charge*) veya *hazırlık maliyeti* (*setup cost*) ile de karşılaşılır. Değişkenler ile ilgili birim maliyetler amaç fonksiyonlarına ya da kısıtlara karar değişkenlerinin katsayıları olarak yazılarak o değişken çözümde ne değer alıyorsa o değerle çarpılarak maliyet katkısı bulunabileceği gibi kimi zaman da karar değişkeninin 1 değeri de alsa 1000 değeri de alsa sabit olarak katlanmak durumunda olduğumuz maliyetler olabilmektedir. Karar verici bu sabit maliyete katlanmasının anlamlı olup olmayacağını bilmek isteyecektir. Bu tip problemler Sabit Yük Problemi olarak adlandırılmaktadır.⁶ Bir işletmede üretilcek yeni bir ürün için gerekli makine yatırımı, bir fabrikada bir iş istasyonunda bir üretim partisinden diğerine geçişte ortaya çıkacak hazırlık maliyetleri gibi durumlar sabit yük türünden problemlerdir.

Bir j faaliyetinin toplam maliyeti aşağıdaki fonksiyon biçiminde ifade edilebilir:⁷

$$f_j(x_j) = \begin{cases} k_j + c_j x_j & x_j > 0 \text{ ise,} \\ 0 & x_j = 0 \text{ ise,} \end{cases}$$

Burada;

x_j = j faaliyetinin ($k_j \geq 0$) miktarını

k_j = j faaliyetinin sabit yük veya hazırlık maliyetini

c_j = j faaliyetinin değişken (her artışa göre) maliyetini gösterir.

Buna göre, k_j maliyeti ancak $x_j \geq 0$ olduğunda ortaya çıkmaktadır.

Bir minimizasyon problemi için modelin genel yazımı:⁸

$$\text{Min} Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j + k_j y_j \quad , \quad \text{ve}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } x_j > 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{eğer } x_j = 0 \text{ ise} \end{cases}$$

$x_j \leq M y_j$ ve y_j 0-1 değişken, $j=1,2,\dots,n$

şeklinde olacaktır.

⁶ Aydın Ulucan, **Yöneylem Araştırması-İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme**, Siyasal Kitabevi 2007, s.249

⁷ Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman, **Introduction to Operations Research**, Mc Graw-Hill, 2001 7th Edition, s. 589

⁸ Aykut Top, **Quantative Methoden**, Alfa Yayınevi, 1998, s.60

2.4.3. Küme Örtme Problemi

Küme örtme probleminde tanımlanan bir kümenin her üyesi diğer kümenin bir üyesince kapsanması problemidir. $\{1,2,3,\dots,n\}$ elemanlarından oluşan sonlu bir U evreni, bu U evrenin alt kümelerinden oluşan bir S kümeler toplamı tanımlanmış olsun. Bu S kümesinin birleşim kümesi U kümesi olacaktır. Küme örtme probleminde “ $J \subseteq S$ ” en az eleman ile U evrenin sağlayan J alt kümesi bulunmak amaçlanmaktadır.⁹

Örneğin,

$U = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ve

$S = \{ \{1,2,3\}, \{2,4\}, \{3,4\}, \{2,3,4\}, \{4,5\} \}$ olsun.

U 'nun tüm elemanlarını kapsayan (örten) S 'nin alt kümesi:

$J = \{ \{1,2,3\}, \{4,5\} \}$ olacaktır.

Genel bir küme örtme problemi aşağıda açıklandığı şekilde bir 0-1 tamsayılı programlama modeli olarak yazılabilir:

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_j \geq 1 \quad \begin{matrix} i = 1,2,3 \dots, m \\ j = 1,2,3 \dots, n \end{matrix}$$

ve

$$x_j = 0 \text{ veya } 1 \quad j = 1,2,3 \dots, n$$

Küme örtme probleminin pek çok uygulama alanı vardır. Örneğin bir şehirde hangi merkezlere itfaiye istasyonu kurmak gerektiğine karar verirken, her sokağa bir istasyon kurulması çok maliyetli olacağından, tüm sokaklara tanımlı en fazla ulaşım süresinde gitmeye imkân verecek şekilde istasyonların yerlerinin belirlenmesi veya havayolu şirketlerinin çizelgelenmiş uçuşlara tayfa ataması birer küme örtme problemidir.

⁹ Belma Yelbay, Şakir İlker Birbil and Kerem Bülbül, The Set Covering Problem Revisited: An Empirical Study of the Value of Dual Information, **Sabancı Research Database**, ©April, 2014, erişim 12.10.2018, http://research.sabanciuniv.edu/27187/1/SCP_ValueOfDual.pdf

2.4.4. Ya-Veya Kısıtlı Problemler

Matematiksel programlama problemlerinde genellikle, iki veya daha fazla sayıda kısıtlayıcıdan en az birisinin sağlanması istenir. Kısıtlardan biri gerçekleşirse diğerlerinin geçersiz olması sağlanmaktadır. Bu tür problemlere ya- veya kısıtlayıcı problemler (Either or Constraints) denir. Bir problemde N tane kısıttan K tanesi geçerli olabilmesi durumu;¹⁰

$$\text{Kısıt1: } f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_1 + My_1$$

$$\text{Kısıt2: } f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_2 + My_2$$

...

$$\text{KısıtN: } f_N(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_N + My_N$$

M yeterince büyük bir sayı ve y_i (0/1) değişkeni olmak üzere;

$$\sum_{i=1}^N y_i = N - K \quad i=1,2,\dots,N$$

Şeklinde yazılabilir.

Sadece iki kısıttan biri geçerli olacaksa:

$$\text{Kısıt1: } f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_1 + My$$

$$\text{Kısıt2: } f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_2 + M(1 - y)$$

dönüşümü ile iki kısıttan sadece birinin aktif olması sağlanır.

$y = 0$ ise 1.Kısıt aktif olacaktır, 2.Kısıt lüzumsuzdur.

$y = 1$ olduğunda ise 2.Kısıt aktif 1.Kısıt lüzumsuz olacaktır.

Örneğin iki ürünün üretim miktarları toplamı ya 500 kg'dan fazla veya 100 kg'dan az olması istensin:

$$\text{Kısıt1: } X_1 + X_2 > 500$$

$$\text{Kısıt2: } X_1 + X_2 < 100$$

$$-X_1 - X_2 < -500 + 99.999y$$

$$X_1 + X_2 < 100 + 99.999(1-y)$$

dönüşümü ile

$y = 0$ durumunda 1.Kısıt aktif olacaktır, 2.Kısıt lüzumsuzdur.

$y = 1$ olduğunda ise 2.Kısıt aktif 1.Kısıt lüzumsuz olacaktır.

¹⁰ Aykut Top, **Quantitative Methoden**, Alfa Yayınları, 1998, s.58

2.4.5. İse-O Zaman Kısıtlı Problemler

İse-o zaman (If – then constraints) kısıtlayıcı problemlerde eğer : $f(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0$ kısıtı sağlanmak istenirse, o zaman : $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ kısıtı da sağlanmalıdır. Öte yandan eğer $f(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0$ kısıtı sağlanmazsa, o zaman $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ kısıtı sağlanabilir veya sağlanmayabilir. Bunu sağlamak için aşağıdaki dönüşümler yapılır:¹¹

$$-g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq My$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq M(1-y)$$

$y = 0$ veya 1 ve M yeterince büyük bir sayı olsun.

Buna göre eğer

$f > 0$ ise; 2. dönüşüm kısıtı sadece $y = 0$ olduğunda sağlanır. $y = 0$ olduğunda ise $g \geq 0$ olmak zorunda kalacaktır.

$f > 0$ değilse; 2. dönüşüm kısıtı $y = 0$ veya $y = 1$ olmasına izin verir. Bu halde $g \geq 0$ veya $g < 0$ her ikisi de olanaklıdır.

Örneğin bir dağıtım probleminde eğer bir dağıtım merkezine ürün götürülecekse araca en az 200 kutu ürün yüklensin, ürün götürülmeyecekse bu kısıt geçersiz olsun istenmektedir. Bunun için

X_1 : Dağıtım merkezine götürülecek a ürünü miktarı

X_2 : Dağıtım merkezine götürülecek b ürünü miktarı olsun.

$X_1 + X_2 > 0$ ise $X_1 + X_2 > 200$ koşulu:

$$f(x) \Rightarrow X_1 + X_2 > 0$$

$$g(x) \Rightarrow X_1 + X_2 - 200 > 0$$

olarak yazılabilir ve:

$$-g(x) \Rightarrow -X_1 - X_2 + 200 \leq 999.999y$$

$$f(x) \Rightarrow X_1 + X_2 \leq 999.999(1-y)$$

dönüşümü ile

$X_1 + X_2 > 0$ ise

$y = 0$ olmak zorunda kalacak ve böylece

$$-X_1 - X_2 + 200 \leq 0 \Rightarrow X_1 + X_2 - 200 \geq 0 \Rightarrow X_1 + X_2 \geq 200 \text{ olması sağlanacaktır.}$$

¹¹ Ahmet Öztürk, **Yöneylem Araştırması**, Ekin Yayınevi, 2009, s.348

$X_1 + X_2 > 0$ değilse

$y = 0$ veya 1 olabilecektir.

$y=1$ olması durumunda aşağıda gösterildiği sebeple bir kısıtlayıcılık olmayacak,

$$-g(x) \Rightarrow 0 + 200 \leq 999.999$$

$$f(x) \Rightarrow 0 \leq 0$$

$y=0$ olması ise aşağıda gösterildiği sebeple mümkün olmayacaktır.

$$-g(x) \Rightarrow 0 + 200 \leq 0$$

$$f(x) \Rightarrow 0 \leq 999.999$$

2.5. Karma Tamsayılı Programlama Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

Tamsayılı doğrusal programlama, polyhedradaki (çok yüzlü cisim) noktaları kafeslemek veya negatif olmayan tamsayıların doğrusal denklemlerini çözme sistemleri olarak da düşünülebilir. Böylece “negatif olmama” ve “tamsayılılığı aramanın” kombinasyonudur. Bu kombinasyon, bileşenlerinin tek tek çözülmesi kadar kolay çözülemez. Eğer doğrusal programlamadaki dual fonksiyonların değişkenlerini tamsayılı olarak kısıtlarsak, genel olarak eşitliği kaybederek, mutlak bir eşitsizlik elde ederiz. Bu dualite boşluğunu kapatmak zor görünmektedir ki henüz tatmin edici bir tamsayılı doğrusal programlama dualite eşitliği bulunamamıştır.¹² Bu nedenle de tamsayılı doğrusal programlama modelini çözmek için doğrusal programlama modelinin çözümünde olduğu gibi genel bir teknik kullanılamamakta; benzer özelliklerine göre gruplanan problemler için bir dizi farklı çözüm yaklaşımları önerilmektedir.

Aslında, tüm yaklaşımlar tekrarlı bir şekilde Doğrusal Programlama modellerini çözmeyi içerir. DP çözümü için **genel amaçlı** (çözülen DP’den bağımsız herhangi bir DP’yi çözebilecek yapıda) ve **etkin işlem** yapabilen (büyük DP’leri çözebilen) algoritmalar (örn. simpleks) vardır. Tamsayılı modellerin çözümü için ise hem genel amaçlı hem de etkin işlem yapabilen benzer bir algoritma yoktur.

Tamsayılı programlama modelleri için çözüm yöntemleri kapsamaları bakımından iki sınıfa ayrılabilir: **Genel amaçlı** (herhangi bir TP’yi çözebilecek yapıda) fakat etkin işlem

¹² Alexander Schrijver, **Theory Linear and Integer Programming**, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, John Wiley & Sons, The Netherlands, 1999, s.240

yapamayan (görelî olarak daha küçük sorunları çözen); veya **özel amaçlı** (Belirli bir tipteki TP sorunu için geliştirilen) ve daha etkin işlem yapabilen yöntemler.¹³

Tamsayılı programlama modellerinin çözüm yöntemleri aynı zamanda çözüme gitmeleri açısından aşağıdaki gibi de sınıflandırılabilir: **En iyi (Optimal)**, **Sezgisel (Heuristic)**

“En iyi” algoritma matematiksel olarak en iyi çözümü bulmayı garantiler. Fakat çözmek istediğimiz sorunun büyüklüğü mevcut en iyi algoritmalarının etkin işlem yapabilme sınırlarının üstüneyse (kullanabileceğimiz bilgisayar zamanı gibi) veya harcanacak zamana (paraya) en iyi çözümü bulmak değmediğinde en iyi çözüm yerine yaklaşık bir çözüm yeterli görülebilir. Bu gibi durumlarda sezgisel algoritmalar kullanılabilir. Bulunan çözüm mümkün bir çözümdür ve iyi tasarlanmış bir yöntem kullanılıyorsa en iyi çözüme yakın kaliteli bir çözümdür fakat en iyi olup olmadığı kesin olarak söylenemeyecektir.

Tamsayılı doğrusal programlama modeline ilişkin geliştirilen çözüm yöntemlerinden başlıcalarına aşağıda değinilmiştir.

2.5.1. Yuvarlama (Gevşetme) Tekniğı

Doğrusal programlama gevşetmesi (yuvarlama) tekniğinde tam sayılı programlama modelindeki tamsayı veya 0-1 değışkenler, sürekli (normal) karar değışkeni olarak kabul edilerek model çözölür.¹⁴

$$\text{Eniyi } z = cX ,$$

$$aX = b ,$$

$$X \geq 0 \text{ ve tamsayı}$$

modeli önce;

$$\text{Eniyi } z = cX ,$$

$$aX = b ,$$

$$X \geq 0$$

olarak çözölür.

En iyi çözümde karar değışkenleri tamsayı değışken almışsa ilk modelin en iyi çözümü elde edilmiş olur. Değilse, temel değışkenler, uygun çözüm koşulu bozulmadan tamsayı değere dönüştürölerek(yuvarlanarak) yaklaşık en iyi çözüm bulunabilir.

¹³ <http://web.itu.edu.tr/kabak/dersler/EM302/pdf/TSPcozum.pdf> erişim 23.10.2018

¹⁴ İbrahim Doğan, **Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları**, Bilim Teknik Yayınevi, 1995, s.144

2.5.1. Dolaylı Sayma Tekniği

Doğrusal programlama problemlerinde değişkenler negatif olmamak koşuluyla sürekli aralıkta değerler alabilmekteyken tamsayılı programlama modelinde (tüm değişkenler tamsayılı) her değişken sadece sonlu sayıda kesikli (tamsayı) değerler alabilir. *Dolaylı sayma* (*Implicit Enumeration*) tekniğinde; değişkenlerin tüm olası çözümleri sayılır (enumerate), her biri için amaç fonksiyon değeri hesaplanır ve mümkün çözümlerden en iyisi seçilir. Tüm olası çözümleri saymak ve mümkünler içinden en iyisini seçmek küçük modellerde bir sorun yaratmasa da değişken sayısı ve kısıt sayısı büyüdükçe işlemsel (sayısal) olarak imkânsız hale gelmektedir. Sayma tekniği, büyük modelleri için geliştirilerek dal sınır tekniğinin temeli olmuştur.¹⁵

2.5.2. Dal ve Sınır Tekniği

Dal Sınır (Karar Ağacı – Entscheidungsbaum-Vervahren) tekniği, sistematik bir şekilde mümkün çözümlerin sayılarak en iyi tamsayılı çözümün bulunması için kullanılan genel amaçlı bir DP tabanlı karar ağacı yöntemidir. Tekniğin temel prensipleri 1960'ların başında Land ve Doig tarafından geliştirilmiş, J. Little ise yöntemi 1963'te Gezgin Satıcı Probleminin çözümünde bugün yaygın kullanılan adı ile (Branch and Bound) ilk kez kullanmıştır.¹⁶

Dal-Sınır tekniği üç adımda uygulanır:

Dallandırma: Büyük boyutlu özgün problem doğrudan çözmek için çok zor olduğunda daha küçük alt problemlere ayrılır. Bu adımda mümkün çözümler kümesi daha küçük alt kümelerle ayrıştırılmaktadır. Mümkün çözümler kümesindeki her bir çözüme *aday çözüm* adı verilir. Bu aday çözümler, özgün probleme dallandırma kısıtlayıcıları eklenerek elde edilir. Yaratılan tüm alt problemlerin gösterimine *ağaç* adı verilir. Her bir alt problemin optimal çözüm değerleri, *ağacın düğümünde (node)* gösterilir. Ağacın iki düğümünü bağlayan her çizgiye de *dal (arc)* adı verilir.

Sınırlama: dallandırma adımıyla yaratılan her bir alt problemin optimum (en iyi) çözümünün alabileceği en küçük ve en büyük değer (alt ve üst sınır) belirlenir. Bu *sınırları (bound)* elde etmede en sık kullanılan yöntem *doğrusal programlama gevşetmesidir*.

¹⁵ Doğan, a.g.e., s.144

¹⁶ Zimmermann, Dr.-Ing. Werner, **Operations Research / Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung**, R. Oldenbourg Verlag, 1999, s.131

Bağlama: Bir alt problemde dallandırma gereksiz hale geldiğinde o problem *bağlanır* (*fathomed*). Bir alt problemin bağlanması şu üç durumda gerçekleşir: Alt problemin uygun çözümü olmadığında, tamsayılı problemin optimal çözümü yoktur. Tüm değişkenleri tamsayı değerli bir optimal çözümü verdiğinde bu çözüm aday çözüm olur. Alt problemin optimal çözüm değeri Z, diğer alt problemlerin cari çözüm değerlerinden değersiz olduğunda bu alt problem bağlanır yani göz ardı edilir.

2.5.3. Gomory Kesim Düzlemi Tekniği

Kesme düzlemi algoritması da tamsayı kısıtlarını gevşeterek elde edilen doğrusal programlama problemini çözmeye dayanır.

$$\text{Eniyi } z = cX ,$$

$$aX = b,$$

$$X \geq 0$$

modelinin eniyi çözüme erişildikten sonra, tamsayı çözüm elde edilene kadar, her ardıştırmada modele tamsayı değer alacak değişkenlerden hareketle, yeni kısıt eklenerek işlemlere devam edilmesi şeklindedir. En iyi çözümü veren algoritmayı geliştirmesi ve konu üzerindeki ilk genellemeleri R. Gomory'nin yapmış olması nedeniyle de kaynaklarda “Gomory'nin Kesme Düzlemi Tekniği” olarak yer almaktadır.¹⁷

Kesme düzlemi yönteminde, başlangıç noktası olarak bir doğrusal programlama probleminin simpleks yöntemiyle bulunan optimal sürekli çözümü ele alınır. Eğer bu çözüm tam sayılı bir çözüm değilse, doğrusal programlama problemine ek bir doğrusal kısıtlama dâhil edilir. Bu ek kısıtlama Gomory'nin geliştirdiği “kesme düzlemi” kuralına göre elde edilir. **Kesme düzlemi kuralında** simpleks yöntem ile elde edilen optimal çözüm değerlerinden en büyük kesir değerli karar değişkeni seçilir. Sonra da bu değişken satırında bulunan değişkenlerin katsayıları tam sayılı ve kesirli olarak yazılır ve tam sayılı değişkenler denklemin sağ tarafında toplanır. Sağ tarafta yer alan tam sayılı değişkenler atılır ve sadece kesirli eleman bırakılır. Tam sayılı değişkenler atıldığına göre eşitlik halindeki denklem eşitsizliğe dönüşecek ve sol taraftaki kesirli kısım sağ taraftaki elemanın değerinden büyük veya eşit olacaktır. Böylece ek kısıtlayıcı elde edilir ve bu ek kısıtlayıcı denklemini standart hale getirmek için yeni bir değişken eklenir. Sonra da bu ek kısıtlayıcıya tam sayılı olmayan optimal çözüm tablosunda

¹⁷ Doğan, a.g.e., s.145

yer verilerek simpleks çözüm işlemlerine geçilir. Kesirli kısımdaki değişkenlerin değerlerinden negatif olanı varsa, bu sayının eşleği bulunarak kendi yerine ikame edilir. İki sayı arasındaki fark bir tam sayı ise bu iki sayıya *eşleşik* denir. X eşleşik Y , simge olarak $X \equiv Y$ ve $X \equiv Y$ sadece $X - Y = \text{tam sayı}$ olduğundadır. Optimal tam sayılı çözümleri araştırmada kullanılan kesme düzlemi, negatif olmayan tam sayı çözümü veren denklemin katsayısına eşleşik olan en küçük negatif olmayan sayılar kullanılarak belirlenir. Bu metot karma tam sayılı programlama problemlerine kolayca uygulanabilir. Eğer değişkenler tam sayılı ise optimum sonuç da tam sayılı olacaktır. Eğer değişkenler tam sayı olmayan değerler de içeriyorsa o zaman çözüm tam sayılı oluncaya kadar çözüm işlemine devam edilebilmektedir. Kesme düzlemi metodu genellikle daha basit problemlere uygulanabilir. Problem büyüdükçe ve karmaşıktıkça bu metodun başarı şansı azalmaktadır.¹⁸

2.5.4. Sezgisel Teknikler

Optimizasyon, verilen bir problem için tanımlı kısıtlara uyularak mümkün en iyi çözümü bulmaktır. Gerçek hayatta karşılaşılan çoğu problem matematiksel formülasyonlarla optimum çözülemeyecek kadar karmaşık olabilmektedir. Bu tip problemlere sezgisel(*heuristic*) algoritmalarla optimum değilse de optimuma en yakın çözümler belirlenmeye çalışılır. Sezgisel yöntemler ile optimum çözümler değil “yaklaşık çözümler” elde edilebilmektedir.

¹⁸ Öztürk, a.g.e., s.388-389

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BOZULABİLİR ÜRÜNLER İÇİN BİRLEŞİK ÜRETİM ve DAĞITIM PLANLAMASI MODELİNİN BİR İŞLETMEYE UYGULANMASI

3.1. Modelin Tanımı

Bu tez çalışmasında, S. M. Seyedhosseini ve S. M. Ghoreyshi'nin (2014) “An Integrated Model for Production and Distribution Planning of Perishable Products with Inventory and Routing Considerations” çalışmalarında geliştirdikleri modelden yola çıkılmıştır. S. M. Seyedhosseini ve S. M. Ghoreyshi, **tek bir bozulabilir ürün grubunun, bir fabrikada üretimi ve bu fabrikadan birden fazla dağıtım merkezine** gönderilmesi için bir model önermektedirler.

Bu çalışmada ise S. M. Seyedhosseini ve S. M. Ghoreyshi'nin kullandığı model **birden fazla ürün için** ve **depo alan kısıtı dâhil** ederek genişletilerek ele alınmıştır. Ayrıca model, adı geçen çalışmadaki üretim ve dağıtım planlama aşamalarının kademeli çözümü yerine geniş optimizasyon modellerine uygun olan GAMS programıyla **birleşik olarak** çözülmüştür.

Modelin amacı: toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az (minimum) yapmaktır.

Modelin değişkenleri: önerilen model ile yanıtı aranan üretim ve dağıtım kararları şunlardır:

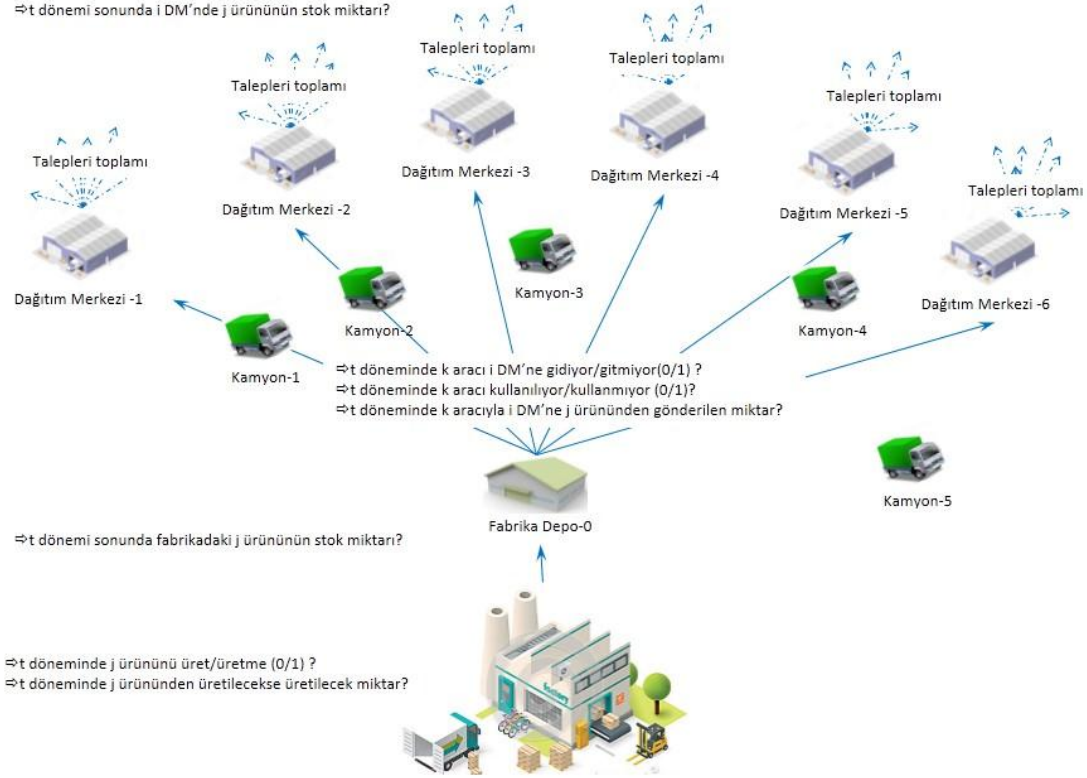
- Her bir planlama döneminde her bir üründen üretilsin/üretilmesin?
- Üretim yapılması kararı verildiyse o üründen o planlama döneminde ne miktarda üretilsin?
- Her bir planlama döneminde her bir araç kullanılsın/kullanılmasın?
- Her bir planlama döneminde her bir üründen her bir dağıtım merkezine hangi araç ile ne kadar ürün gönderilsin?

3.2. Modelin Uygulandığı İşletmenin Tanıtımı

Uygulama, gıda sektöründe süt ve süt ürünleri üreten bir firmada gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelde ihtiyaç duyulan veriler, ikincil ve birincil veriler olarak firma içi kaynakların kullanımı, yüz yüze görüşme ve gözlem ile toplanmıştır.

Tez çalışmasına konu olan modelin uygulama yapılan firma için tasarımı Şekil 1’de özetlenmiştir.

Şekil 1: Modelin ve Firmanın İşleyişi



Firma, sadece bir fabrikada üretim yapmaktadır. Tez çalışmasında modele konu olan aromalı yoğurt ürün grubunda yedi ürün bulunmaktadır. Firmanın önceden belirlemiş olduğu üretim miktarı alt kısıtı 5.000 kg/gün ve üretim hattının günlük en fazla üretim sınırı 30.000 kg'dır. Sabit ve değişken üretim maliyetleri ürünün aromasına göre değişmektedir (bkz. Tablo 2). Birim stok tutma maliyetleri ise ürüne göre değişmemekte; ancak fabrika ve dağıtım merkezleri için farklılık göstermektedir. Kilogram başına günlük stok tutma maliyetleri ile fabrika ve dağıtım merkezlerinin depo alan kısıtları (palet olarak tanımlanan alan kg'a çevrilmiştir) Tablo 3'te gösterilmiştir. Ürünlerin fabrika ve dağıtım merkezlerindeki planlama dönemi başı stok miktar bilgileri ise Tablo 4'te görülmektedir. Ürünlerin fabrikadan altı dağıtım merkezine dağıtımını beş araç kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Araçların mülkiyeti başka bir firmaya aittir ve maliyet hesabında mesafe değil sefer sayısı dikkate alınmaktadır. Araçların sabit ulaşım maliyeti 115 TL, araç kapasiteleri eşit olup 6600kg'dır. Ürünlerin raf ömrü 30 gündür ancak dağıtım merkezleri ürün kendilerine ulaştığında raf ömrünün en az 2/3'ünün kalmış olmasını istediğinden raf ömrü 10 gün olarak kabul edilmiştir. Şirket dağıtım planını 10

günlük dönemlerde hazırladığından 10 günlük üretim ve dağıtım planı için model kurulmuştur. Ancak modeldeki zaman-talep stok üst kısıt hesaplamasında son planlama dönemini ve sonrasındaki 10 güne ihtiyaç duyulduğundan planlama evreni 21 gün kabul edilmiştir. Dağıtım merkezlerinin talepleri firmaya aylık olarak iletilmektedir. Çalışma kapsamında firma, talep bilgilerini aylık olarak iletmıştır (bkz. Tablo 5). Planlama birimi gün olduğundan aylık talep verileri MS Excel'in rassal sayı üretme fonksiyonu kullanılarak günlere dağıtılmış ve 21 günlük talep değerleri hesaplanarak modele aktarılmıştır (bkz. Tablo 6).

Tablo 2: Sabit ve Değişken Üretim Maliyetleri

	j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7
Sabit üretim maliyetleri $fpc(j)$ TL	330	300	300	310	300	300	270
Değişken üretim maliyetleri $vpc(j)$ (TL/kg)	3,43	2,71	2,75	3,10	3,05	2,97	2,61

Tablo 3: Stok Bulundurma Maliyetleri ve Depo Alanları

	i_0	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6
Stok tutma maliyeti $h(i)$ TL/kg*gün	0,0004	0,000416	0,00042	0,000416	0,000413	0,000413	0,000407
Depo Alanı $A(i)$ (kg)	49.500	1.220	3.800	1.320	1.240	6.660	9.000

Tablo 4: Planlama Dönemi Başında Fabrika ve Dağıtım Merkezlerindeki Stok Miktarları

Dönem başı stok (kg)		Ürünler						
		j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7
Fabrika / Dağıtım Merkezi	i_0	3000	7675	5360	3691	2163	4487	4905
	i_1	84	134	126	59	25	80	112
	i_2	34	123	100	43	50	76	93
	i_3	17	38	31	26	18	40	70
	i_4	21	41	29	27	26	17	46
	i_5	403	870	565	463	299	472	395
	i_6	434	1375	972	612	274	799	906

Tablo 5: Dağıtım Merkezlerinin Ürünler için Aylık Talep Tahminleri (kg)

Aylık Talep (kg)		Ürünler						
		j_1	j_2	j_3	j_4	j_5	j_6	j_7
Dağıtım Merkezleri	i_1	2.100	4.100	3.200	1.900	1.400	2.900	3.500
	i_2	1.600	3.200	2.600	1.450	1.100	2.600	2.900
	i_3	840	1.600	1.200	950	650	1.400	2.100
	i_4	620	1.400	850	800	1.100	1.000	1.600
	i_5	12.400	26.500	16.500	14.000	9.000	14.000	12.000
	i_6	13.340	40.900	28.880	18.200	8.450	24.100	27.500

Tablo 6: Dağıtım Merkezlerinin Ürünler için Tesadüfi Hesaplanan Günlük Talep Tahminleri

		Dönemler																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Dağıtım Merkezleri ve Ürünler	i1.j1	84	52	60	71	78	79	76	86	85	68	86	54	63	63	53	84	74	73	76	90	72
	i1.j2	134	126	135	131	116	137	118	140	126	132	120	132	115	134	121	111	133	130	118	140	115
	i1.j3	126	80	126	95	110	105	126	96	102	118	84	95	118	88	113	81	93	127	109	108	105
	i1.j4	59	52	59	52	52	54	57	54	58	56	58	60	50	52	51	53	59	50	54	55	59
	i1.j5	25	50	39	57	49	47	46	46	57	36	56	34	55	22	59	22	40	35	54	45	50
	i1.j6	80	84	100	80	70	77	82	91	74	95	74	77	79	94	74	85	90	87	85	99	76
	i1.j7	112	110	112	115	113	117	116	114	114	116	120	116	119	116	111	110	110	114	114	114	118
	i2.j1	34	62	34	66	49	57	42	37	35	30	32	50	60	40	68	38	46	37	69	31	63
	i2.j2	123	86	97	97	127	84	114	83	100	80	81	109	94	107	91	87	93	94	97	87	112
	i2.j3	100	93	84	91	85	90	74	94	94	70	90	68	98	88	91	96	76	98	78	97	74
	i2.j4	43	43	42	50	44	41	49	48	48	42	48	42	44	44	50	41	43	49	45	43	40
	i2.j5	50	49	38	49	28	43	48	45	47	48	45	24	41	23	34	31	46	50	20	48	42
	i2.j6	76	81	82	76	91	82	78	73	88	86	87	72	73	85	95	79	76	93	85	81	95
	i2.j7	93	91	94	90	94	92	92	93	93	91	90	92	90	92	95	93	95	92	93	94	93
	i3.j1	17	28	12	13	11	23	18	23	26	20	19	15	27	17	34	18	28	29	24	30	24
	i3.j2	38	49	47	52	58	60	65	64	48	53	37	39	64	52	49	35	59	59	41	55	38
	i3.j3	31	18	41	40	51	61	44	37	59	60	63	34	34	53	61	14	59	50	21	26	53
	i3.j4	26	35	28	27	33	33	29	26	29	35	35	29	25	28	34	29	34	28	30	32	30
	i3.j5	18	6	26	32	23	32	16	10	5	17	18	23	33	35	11	31	33	17	26	15	32
	i3.j6	40	55	33	37	50	43	45	34	42	41	41	27	54	25	52	49	44	52	60	35	45
	i3.j7	70	67	71	64	72	69	65	63	70	69	63	73	73	69	71	70	69	61	73	75	68
	i4.j1	21	25	20	24	24	16	21	25	22	21	25	22	12	25	18	11	20	14	11	25	12
	i4.j2	41	41	36	30	34	33	43	33	36	39	49	34	32	55	33	41	55	45	33	55	47
	i4.j3	29	17	28	16	28	25	30	25	25	26	16	16	18	25	26	18	28	15	24	15	19
	i4.j4	27	25	28	20	22	27	29	25	28	20	22	28	28	20	20	30	26	25	21	25	27
	i4.j5	26	51	35	36	13	25	20	19	57	39	26	42	41	11	57	15	35	14	58	24	49

		Dönemler																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Dağıtım Merkezleri ve Ürünler	i4.j6	17	18	31	41	16	41	43	38	36	34	37	32	19	17	22	25	38	32	44	42	42
	i4.j7	46	55	52	48	53	46	51	54	52	55	45	47	45	50	54	46	54	54	49	52	54
	i5.j1	403	409	395	420	378	416	382	378	398	413	417	403	404	375	403	390	379	389	371	370	394
	i5.j2	870	880	884	879	855	887	880	867	878	883	855	851	855	866	880	878	889	855	873	875	850
	i5.j3	565	543	571	537	562	529	557	547	547	526	553	547	558	558	563	533	554	550	573	561	544
	i5.j4	463	462	463	461	467	466	468	462	462	466	465	462	467	464	464	461	466	461	464	467	469
	i5.j5	299	305	309	320	300	280	320	284	281	307	295	298	295	285	308	308	297	317	313	298	282
	i5.j6	472	451	473	468	453	454	474	454	451	461	465	469	456	452	453	458	473	470	451	467	468
	i5.j7	395	403	405	400	405	398	405	401	401	395	397	404	405	405	395	399	405	405	400	405	402
	i6.j1	434	461	449	447	463	428	430	456	430	455	433	439	442	461	458	457	429	448	452	455	464
	i6.j2	1375	1352	1361	1350	1357	1366	1360	1378	1377	1351	1353	1364	1354	1368	1346	1356	1357	1357	1371	1354	1359
	i6.j3	972	972	964	967	967	949	972	966	959	972	946	968	972	965	948	969	945	970	950	955	947
	i6.j4	612	609	615	612	605	599	602	598	604	596	605	612	615	608	605	610	613	599	605	597	615
	i6.j5	274	289	274	289	284	290	273	279	283	288	277	288	277	278	275	287	280	288	282	272	279
	i6.j6	799	795	800	804	809	810	808	796	798	810	808	798	807	797	793	793	803	793	797	790	802
	i6.j7	906	908	915	909	908	909	910	913	914	914	915	912	906	907	911	908	913	914	914	907	915

3.3. Modelin Formülasyonu

Modelin amacı: toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az (minimum) yapmaktır.

$t = 1, 2, \dots, 21$: Planlama dönemi kapsamı (Model 10 günlük üretim ve dağıtım planlamayı kapsamaktadır. Ancak zaman-talep stok üst kısıt hesaplamasında son planlama dönemini ve sonrasındaki 10 güne ihtiyaç duyulduğundan planlama evreni 21 gün kabul edilmiştir.)

$i = 0, 1, \dots, 6$: 0 fabrikayı temsil edecek şekilde fabrika ve dağıtım merkezleri

$k = 1, 2, \dots, 5$: Araçlar

$j = 1, 2, \dots, 7$: Ürünler

olmak üzere;

Modelin değişkenleri:

$Z_{t,j}$: t planlama döneminde j ürününden üretim yapılıyorsa 1; aksi halde 0

$P_{t,j}$: t dönemindeki j ürünü üretim miktarı

$S_{0,t,j}$: Fabrikada t . dönemdeki j ürünü dönem sonu stok miktarı

$S_{i,t,j}$: i dağıtım merkezinde t . dönemdeki j ürünü dönem sonu stok miktarı

$X_{i,k,t}$: t döneminde k aracı i dağıtım merkezine gidiyorsa 1; aksi halde 0

$Y_{k,t}$: t döneminde k aracı kullanıldıysa 1; aksi halde 0

$W_{i,k,t,j}$: t döneminde k aracıyla i dağıtım merkezine j ürününden sevk edilen miktar

Modelin parametreleri:

$d_{i,t,j}$: t döneminde i dağıtım merkezinin j ürününe talebi

fpc_j : j ürününün sabit üretim maliyeti

vpc_j : j ürününün değişken üretim maliyeti

p_{max} : en fazla üretim miktarı

p_{min} : en az üretim miktarı

h_i : fabrika ve dağıtım merkezleri için birim stok maliyeti

sl : bozulabilir ürünün raf ömrü (planlama dönemi birim olarak tanımlanacak)

$u_{0,t,j}$: t döneminde fabrika için j ürününün stok üst seviyesi (bu sayı

$\sum_i \sum_{t \leq r \leq t+sl} d_{i,r,j}$ 'ye eşittir)

$u_{i,t,j}$: t döneminde i dağıtım merkezi için j ürününün stok üst seviyesi (bu sayı $\sum_{t \leq r \leq t+sl} d_{i,r,j}$ 'ye eşittir)

A_i : fabrika ve dağıtım merkezlerinin depo alanı

q : araç kapasitesi

ftc_k : k aracını kullanmanın sabit ulaşım maliyeti

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min } \sum_{t,j} fpc_j \cdot Z_{t,j} + \sum_{t,j} vpc_j \cdot P_{t,j} + \sum_{i,t,j} h_i \cdot S_{i,t,j} + \sum_{k,t} ftc_k \cdot Y_{k,t} \quad (1)$$

Kısıtlar:

$$S_{0,t,j} = S_{0,t-1,j} + P_{t,j} - \sum_i \sum_k W_{i,k,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (2)$$

$$S_{i,t,j} = S_{i,t-1,j} + \sum_k W_{i,k,t,j} - d_{i,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (3)$$

$$S_{0,t,j} \leq u_{0,t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (4)$$

$$S_{i,t,j} \leq u_{i,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_j S_{i,t,j} \leq A_i \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J \quad (6)$$

$$P_{t,j} \leq p_{\max} \cdot Z_{t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (7)$$

$$P_{t,j} \geq p_{\min} \cdot Z_{t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J \quad (8)$$

$$W_{i,k,t,j} \leq q \cdot X_{i,k,t} \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_j W_{i,k,t,j} \leq q \quad \forall k \in K, t \in T, j \in J \quad (10)$$

$$\sum_k X_{i,k,t} \leq 1 \quad \forall i \in N, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_i X_{i,k,t} \leq q \cdot Y_{k,t} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (12)$$

$$Z_{t,j}, X_{i,k,t}, Y_{k,t} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J \quad (13)$$

$$P_{t,j}, S, S_{i,t,j}, W_{i,k,t,j} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J \quad (14)$$

Modelde (1) numaralı denklem, sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok ile aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamını minimize etmeye ilişkin amaç fonksiyonunun ifade etmektedir.

$$(1) \quad \text{Min } \underbrace{\sum_{t,j} fpc_j \cdot Z_{t,j}}_{\text{Sabit Üretim (Hazırlık) Maliyetleri}} + \underbrace{\sum_{t,j} vpc_j \cdot P_{t,j}}_{\text{Değişken Üretim Maliyetleri}} + \underbrace{\sum_{i,t,j} h_i \cdot S_{i,t,j}}_{\text{Stok Maliyetleri (Fabrika ve Dağıtım Merkezlerinin Toplamı)}} + \underbrace{\sum_{k,t} ftc_k \cdot Y_{k,t}}_{\text{Araçların Sabit Ulaşım Maliyetleri}}$$

Denklem(2) fabrikadaki dönem sonu stok miktarını, denklem(3) dağıtım merkezlerindeki dönem sonu stok miktarlarını ifade etmektedir.

$$(2) \quad S_{0,t,j} = S_{0,t-1,j} + P_{t,j} - \sum_i \sum_k W_{i,k,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J$$

$$(3) \quad S_{i,t,j} = S_{i,t-1,j} + \sum_k W_{i,k,t,j} - d_{i,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J$$

Denklem(4) fabrika için bozulabilir ürüne özgü, içinde bulunulan planlama dönemi ve akabindeki 10 günün talep miktarı toplamını gösteren stok zaman-talep kapasite kısıtını, denklem(5) dağıtım merkezleri için stok zaman-talep kapasite kısıtını, denklem(6) fabrika ve dağıtım merkezlerinin depolarındaki stok alan kapasite kısıtını göstermektedir. Denklem(4) ve denklem(5), denklem(6)'nın sadece yer kısıtını tanımlamasının ötesinde, bozulabilir ürünün raf ömrünü aşmaya sebep olmayacak şekilde en fazla ne miktarda stoklanabileceğini ifade etmektedir.

$$(4) \quad S_{0,t,j} \leq u_{0,t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J$$

$$(5) \quad S_{i,t,j} \leq u_{i,t,j} \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J$$

$$(6) \quad \sum_j S_{i,t,j} \leq A_i \quad \forall i \in N, \forall t \in T, \forall j \in J$$

Denklem(7) fabrikanın maksimum üretim kapasite kısıtını, denklem(8) fabrikanın minimum üretim kapasite kısıtını ifade etmektedir.

$$(7) \quad P_{t,j} \leq p_{\max} \cdot Z_{t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J$$

$$(8) \quad P_{t,j} \geq p_{\min} \cdot Z_{t,j} \quad \forall t \in T, \forall j \in J$$

Denklem(9) ile t döneminde i dağıtım merkezine ürün gönderiliyorsa i dağıtım merkezine k aracı gidiş değişkeninin 1, yoksa 0 olması sağlanmaktadır.

$$(9) \quad W_{i,k,t,j} \leq q \cdot X_{i,k,t} \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J$$

Denklem(10) aracın maksimum kapasite kısıtını göstermektedir.

$$(10) \quad \sum_i \sum_j W_{i,k,t,j} \leq q \quad \forall k \in K, t \in T, j \in J$$

Denklem(11) t planlama döneminde her dağıtım merkezine en fazla 1 defa gidiş olması koşulunu ifade etmektedir.

$$(11) \quad \sum_k X_{i,k,t} \leq 1 \quad \forall i \in N, t \in T$$

Denklem(12) aracın t planlama döneminde i dağıtım merkezlerinden en az birisini ziyaret etmesi halinde t döneminde k aracı kullanım değişkeninin 1; aksi halde 0 olmasını sağlamaktadır.

$$(12) \quad \sum_i X_{i,k,t} \leq q \cdot Y_{k,t} \quad \forall k \in K, t \in T$$

Son olarak denklem(13) tamsayıli karar değişkenlerini, denklem(14) ise sürekli karar değişkenlerini tanımlamaktadır.

$$(13) \quad Z_{t,j}, X_{i,k,t}, Y_{k,t} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J$$

$$(14) \quad P_{t,j}, S, S_{i,t,j}, W_{i,k,t,j} \geq 0 \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T, j \in J$$

Modelin varsayımları:

Bir fabrikada üretilen, **yedi çeşit** bozulabilir ürünün, **beş kamyon** kullanılarak, **altı dağıtım merkezine** dağıtımı için kurulan modelin varsayımları şöyledir:

- Modelde ürünün hem üretim hem de dağıtım planlaması, kısa dönemli programlama (operasyonel seviye) kapsamında ele alınmıştır.
- Dağıtım merkezlerinin fabrikaya ilettikleri aylık talep ve günlük sipariş miktarları deterministiktir.
- Dağıtım merkezlerinin tüm talebi karşılanmaktadır.
- Dağıtımda kullanılan araçların mülkiyeti üçüncü bir firmada olup, aracın yaptığı mesafeye göre değil, sefer sayısı için ücret ödenmektedir.
- Kullanılan araçlar eşit kapasitededir.
- Dağıtımda frigofrik(soğutucu özelliği olan) araçlar kullanılmakta ve dağıtım süresince ortam koşullarından dolayı bozulma olmadığı kabul edilmiştir.
- Dağıtıma çıkan araç ürünleri aynı gün teslim etmektedir.
- Fabrika ve dağıtım merkezi depolarında süre dışında bozulma nedenleri olmadığı kabul edilmiştir.
- Her planlama döneminde her dağıtım merkezine sadece bir kez gidilmektedir.
- Her planlama döneminde her araç sadece bir sefer yapmaktadır.
- Bozulabilir ürünün sabit raf ömrü vardır ve bu raf ömrü boyunca kullanım değeri değişmemektedir.

3.4. Modelin Çözümü

Modelin çözüm aşamasında GAMS (Version 24.1.3) programı kullanılmıştır. GAMS (The General Algebraic Modeling System), modelleme ve optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılan yüksek seviye bir programlama dilidir.¹ İlk olarak optimizasyon uzmanları Dr. Anthony Brooke ve Dr. Alexander Meeraus tarafından Dünya Bankası için geliştirilmiştir. Operations Research Society of America'dan 1987 yılında bilgisayar bilimleri

¹ <https://www.gams.com/products/introduction/> Erişim: 15.08.2018

teknik alanında ödöl almasının ardından dünyaca tanınmaya başlamıştır. Programın en temel özelliği güçlü olmasının yanı sıra kullanım kolaylığı ve esnekliğidir. Temel olarak matematiksel optimizasyon modeli ile çözücü arasında köprü kuran bir yazılımdır. Cplex, Lingo, Dicopt gibi çözücü algoritmaları bünyesinde bulundurarak bu çözücüler üzerinden doğrusal, nonlinear, karma tamsayı problemleri çözebilmekte ve çözüm yöntemini kolaylıkla değiştirebilmektedir.

Program, Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T6400 @ 2.00GHz İşlemci ve (RAM) 4,00 GB Belleđe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. 903 adet 0-1 değişken, 5586 adet sürekli değişken ve 7330 kısıttan oluşan minimizasyon modelinin mevcut durum ve farklı senaryoları için program her senaryo için tekrar çalıştırılmış, programın optimum sonucu bulmak için harcadığı işlem süreleri 1,5-5 dakika arası değişmiştir.

Önerilen model ve firmaya ait verilerin GAMS programı komutları aşağıdaki gibidir:

sets t planlama dönemi kapsamı /0*21/
i0 fabrikayı temsil edecek şekilde fabrika ve dağıtım merkezleri /i0*i6/
k araçlar /k1*k5/
j ürünler /j1*j7/
;

table dem(i,j,t) günlük talep*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
i1.j1	84	52	60	71	78	79	76	86	85	68	86	54	63	63	53	84	74	73	76	90	72
i1.j2	134	126	135	131	116	137	118	140	126	132	120	132	115	134	121	111	133	130	118	140	115
i1.j3	126	80	126	95	110	105	126	96	102	118	84	95	118	88	113	81	93	127	109	108	105
i1.j4	59	52	59	52	52	54	57	54	58	56	58	60	50	52	51	53	59	50	54	55	59
i1.j5	25	50	39	57	49	47	46	46	57	36	56	34	55	22	59	22	40	35	54	45	50
i1.j6	80	84	100	80	70	77	82	91	74	95	74	77	79	94	74	85	90	87	85	99	76
i1.j7	112	110	112	115	113	117	116	114	114	116	120	116	119	116	111	110	110	114	114	114	118
i2.j1	34	62	34	66	49	57	42	37	35	30	32	50	60	40	68	38	46	37	69	31	63
i2.j2	123	86	97	97	127	84	114	83	100	80	81	109	94	107	91	87	93	94	97	87	112
i2.j3	100	93	84	91	85	90	74	94	94	70	90	68	98	88	91	96	76	98	78	97	74
i2.j4	43	43	42	50	44	41	49	48	48	42	48	42	44	44	50	41	43	49	45	43	40
i2.j5	50	49	38	49	28	43	48	45	47	48	45	24	41	23	34	31	46	50	20	48	42
i2.j6	76	81	82	76	91	82	78	73	88	86	87	72	73	85	95	79	76	93	85	81	95
i2.j7	93	91	94	90	94	92	92	93	93	91	90	92	90	92	95	93	95	92	93	94	93
i3.j1	17	28	12	13	11	23	18	23	26	20	19	15	27	17	34	18	28	29	24	30	24
i3.j2	38	49	47	52	58	60	65	64	48	53	37	39	64	52	49	35	59	59	41	55	38

* i1-i6 dağıtım merkezlerinin j1-j7 ürünlerine t1-t21. günlerdeki talep miktarları (kg) (aylık talep tahmin bilgilerinden türetilmiştir)

i3.j3	31	18	41	40	51	61	44	37	59	60	63	34	34	53	61	14	59	50	21	26	53
i3.j4	26	35	28	27	33	33	29	26	29	35	35	29	25	28	34	29	34	28	30	32	30
i3.j5	18	6	26	32	23	32	16	10	5	17	18	23	33	35	11	31	33	17	26	15	32
i3.j6	40	55	33	37	50	43	45	34	42	41	41	27	54	25	52	49	44	52	60	35	45
i3.j7	70	67	71	64	72	69	65	63	70	69	63	73	73	69	71	70	69	61	73	75	68
i4.j1	21	25	20	24	24	16	21	25	22	21	25	22	12	25	18	11	20	14	11	25	12
i4.j2	41	41	36	30	34	33	43	33	36	39	49	34	32	55	33	41	55	45	33	55	47
i4.j3	29	17	28	16	28	25	30	25	25	26	16	16	18	25	26	18	28	15	24	15	19
i4.j4	27	25	28	20	22	27	29	25	28	20	22	28	28	20	20	30	26	25	21	25	27
i4.j5	26	51	35	36	13	25	20	19	57	39	26	42	41	11	57	15	35	14	58	24	49
i4.j6	17	18	31	41	16	41	43	38	36	34	37	32	19	17	22	25	38	32	44	42	42
i4.j7	46	55	52	48	53	46	51	54	52	55	45	47	45	50	54	46	54	54	49	52	54
i5.j1	403	409	395	420	378	416	382	378	398	413	417	403	404	375	403	390	379	389	371	370	394
i5.j2	870	880	884	879	855	887	880	867	878	883	855	851	855	866	880	878	889	855	873	875	850
i5.j3	565	543	571	537	562	529	557	547	547	526	553	547	558	558	563	533	554	550	573	561	544
i5.j4	463	462	463	461	467	466	468	462	462	466	465	462	467	464	464	461	466	461	464	467	469
i5.j5	299	305	309	320	300	280	320	284	281	307	295	298	295	285	308	308	297	317	313	298	282
i5.j6	472	451	473	468	453	454	474	454	451	461	465	469	456	452	453	458	473	470	451	467	468
i5.j7	395	403	405	400	405	398	405	401	401	395	397	404	405	405	395	399	405	405	400	405	402
i6.j1	434	461	449	447	463	428	430	456	430	455	433	439	442	461	458	457	429	448	452	455	464
i6.j2	1375	1352	1361	1350	1357	1366	1360	1378	1377	1351	1353	1364	1354	1368	1346	1356	1357	1357	1371	1354	1359
i6.j3	972	972	964	967	967	949	972	966	959	972	946	968	972	965	948	969	945	970	950	955	947
i6.j4	612	609	615	612	605	599	602	598	604	596	605	612	615	608	605	610	613	599	605	597	615
i6.j5	274	289	274	289	284	290	273	279	283	288	277	288	277	278	275	287	280	288	282	272	279
i6.j6	799	795	800	804	809	810	808	796	798	810	808	798	807	797	793	793	803	793	797	790	802
i6.j7	906	908	915	909	908	909	910	913	914	914	915	912	906	907	911	908	913	914	914	907	915

;

parameters fpc(j) sabit üretim maliyeti

/

j1 330

j2 300

j3 300

j4 310

j5 300

j6 300

j7 270

/

parameters vpc(j) değişken üretim maliyeti

/

j1 3.43

j2 2.71

j3 2.75

j4 3.1

j5 3.05

j6 2.97

j7 2.61

/

scalar pmax maximum üretim miktarı /30000/

scalar pmin minimum üretim miktarı /5000/

scalar sl raf ömrü /10/

scalar q araç kapasitesi /6600/

scalar ftck araç sabit ulaşım maliyeti /115/

parameter $h(i)$ birim stok maliyeti

/

i0 0.0004

i1 0.000416

i2 0.00042

i3 0.000416

i4 0.000413

i5 0.000413

i6 0.000407

/

parameter $A(i)$ fabrika veya dagitim merkezindeki alan üst kısıtı

/

i0 49500

i1 1220

i2 3800

i3 1320

i4 1240

i5 6600

i6 9000

/

table u(i,j,t) i merkezinde j ürünü t'inci dönem için stok üst seviyesi *

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
i0.j1	10040	10059	10005	10043	9983	10014	9993	10000	9985	9992	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
i0.j2	25576	25490	25485	25439	25482	25455	25396	25402	25377	25345	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
i0.j3	17794	17723	17728	17712	17743	17742	17694	17646	17691	17660	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
i0.j4	12247	12250	12257	12251	12245	12246	12250	12257	12256	12246	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000
i0.j5	7231	7256	7215	7236	7107	7154	7131	7139	7177	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200	7200
i0.j6	15021	15049	15040	15009	14973	14973	14955	14949	14990	15023	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
i0.j7	16368	16376	16386	16375	16388	16380	16375	16382	16384	16383	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000
i1.j1	739	741	743	746	738	713	718	716	703	694	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
i1.j2	1295	1281	1287	1267	1270	1275	1249	1264	1254	1246	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
i1.j3	1084	1042	1057	1049	1042	1045	1021	988	1019	1026	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
i1.j4	553	552	560	551	551	550	549	551	547	543	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
i1.j5	452	483	467	483	448	458	433	427	416	413	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
i1.j6	833	827	820	799	813	817	825	833	829	840	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
i1.j7	1139	1147	1153	1160	1161	1159	1152	1146	1146	1146	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
i2.j1	446	444	432	458	432	451	432	436	436	470	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
i2.j2	991	949	972	969	979	943	946	925	936	933	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
i2.j3	875	865	840	854	851	857	863	865	869	853	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
i2.j4	450	455	454	456	450	456	456	450	451	448	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
i2.j5	445	440	415	418	392	398	386	384	389	362	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
i2.j6	813	824	815	806	815	819	816	814	834	831	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830	830
i2.j7	923	920	921	917	919	920	921	924	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923	923
i3.j1	191	193	180	195	199	222	217	227	233	231	241	246	253	877	860	1666	1648	1620	1591	1567	1537

* i0 fabrika, i1-i6 dağıtım merkezleri ve j1-j7 ürünler olmak üzere fabrika ve dağıtım merkezlerinin 21 günlük bozulabilir talep stok üst kısıtları hesaplanarak GAMS programına aktarılmıştır. Örneğin “i0, j1, 1: 100040” fabrikada j1 ürününün 1. gün için izin verilen maksimum stok miktarı (içinde bulunulan ve takip eden 10 günlük talep toplamı)

i3.j2	534	533	523	540	540	531	506	500	495	488	490	491	503	1956	1904	3455	3420	3361	3302	3261	3206
i3.j3	442	474	490	483	496	506	459	474	487	449	415	405	414	1680	1627	2766	2752	2693	2643	2622	2596
i3.j4	301	310	304	301	302	303	299	304	306	307	304	299	300	1182	1154	2070	2041	2007	1979	1949	1917
i3.j5	185	185	202	209	212	200	199	216	223	244	242	256	255	878	843	1482	1451	1418	1401	1375	1360
i3.j6	420	421	393	414	402	404	410	409	427	445	439	443	459	1696	1671	3019	2970	2926	2874	2814	2779
i3.j7	680	673	679	681	686	685	686	690	688	691	697	702	698	2689	2620	4649	4579	4510	4449	4376	4301
i4.j1	219	223	220	212	213	207	202	201	190	179	183	170	168	747	722	1324	1313	1293	1279	1268	1243
i4.j2	366	374	367	363	388	387	395	407	419	416	432	430	436	1611	1556	2923	2882	2827	2782	2749	2694
i4.j3	249	236	235	225	234	232	225	223	213	212	201	204	210	862	837	1661	1643	1615	1600	1576	1561
i4.j4	251	246	249	249	249	247	250	247	247	240	245	250	247	966	946	1726	1696	1670	1645	1624	1599
i4.j5	321	321	312	318	293	337	327	342	337	338	323	346	337	1286	1275	2318	2303	2268	2254	2196	2172
i4.j6	315	335	349	337	313	319	303	298	292	300	308	313	313	1244	1227	2205	2180	2142	2110	2066	2024
i4.j7	512	511	503	496	498	499	499	502	502	499	496	505	509	1981	1931	3477	3431	3377	3323	3274	3222
i5.j1	3992	4006	4000	4009	3964	3989	3963	3960	3971	3944	3901	3878	3870	15304	14929	26926	26536	26157	25768	25397	25027
i5.j2	8763	8748	8719	8690	8677	8702	8693	8702	8690	8685	8677	8672	8692	33966	33100	58720	57842	56953	56098	55225	54350
i5.j3	5484	5472	5476	5463	5484	5485	5489	5486	5489	5515	5550	5541	5545	21527	20969	36906	36373	35819	35269	34696	34135
i5.j4	4640	4642	4642	4646	4649	4646	4641	4639	4638	4640	4641	4645	4647	18109	17645	31181	30720	30254	29793	29329	28862
i5.j5	3005	3001	2994	2980	2945	2953	2981	2958	2991	3023	3014	3001	3003	11709	11424	20116	19808	19511	19194	18881	18583
i5.j6	4611	4604	4622	4605	4589	4589	4593	4592	4608	4608	4614	4617	4610	18001	17549	31096	30638	30165	29695	29244	28777
i5.j7	4008	4010	4011	4011	4016	4006	4007	4007	4011	4010	4020	4025	4022	15660	15255	26860	26461	26056	25651	25251	24846
i6.j1	4453	4452	4430	4423	4437	4432	4461	4460	4452	4474	4474	4505	4513	17487	17026	29908	29451	29022	28574	28122	27667
i6.j2	13627	13605	13617	13610	13628	13617	13607	13604	13583	13577	13580	13586	13582	53037	51669	91223	89867	88510	87153	85782	84428
i6.j3	9660	9634	9630	9638	9636	9617	9637	9610	9614	9605	9588	9589	9583	37461	36496	64428	63459	62514	61544	60594	59639
i6.j4	6052	6045	6048	6048	6044	6044	6055	6066	6067	6068	6069	6079	6073	23653	23045	40640	40030	39417	38818	38213	37616
i6.j5	2823	2826	2825	2828	2817	2808	2805	2812	2821	2820	2804	2806	2799	10959	10681	18856	18569	18289	18001	17719	17447
i6.j6	8029	8038	8041	8048	8041	8025	8008	8003	8000	7999	7979	7973	7975	31183	30386	53693	52900	52097	51304	50507	49717
i6.j7	9106	9115	9119	9110	9108	9111	9110	9113	9114	9114	9107	9107	9106	35526	34619	61208	60300	59387	58473	57559	56652

;

table DBS(i,j) fabrika veya dagitim merkezindeki dönem başındaki stok miktarı

	j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
i0	3000	7675	5360	3691	2163	4487	4905
i1	84	134	126	59	25	80	112
i2	34	123	100	43	50	76	93
i3	17	38	31	26	18	40	70
i4	21	41	29	27	26	17	46
i5	403	870	565	463	299	472	395
i6	434	1375	972	612	274	799	906

;

variables obj;

binary variables Z(t,j), X(i,k,t), Y(k,t);

positive variables P(t,j), S(i,t,j), W(i,k,t,j), SbtUrtm, DegtUrtm, StokMlyt, StokMlytFabr, Nakly*;

* GAMS programı, optimum sonuç için amaç fonksiyonunu tek kalem olarak hesaplamakta ve çıktı raporunda göstermektedir. “SbtUrtm”, “DegtUrtm”, “StokMlyt”, “StokMlytFabr” ve “Nakly” değişkenleri, amaç fonksiyonunun alt bileşen maliyetler toplamının ayrıntılı olarak çıktı tablosunda görünmesini sağlamak amacıyla GAMS modeline eklenmiştir. “kisitSbtUrtm”, “kisitDegUrtm”, “kisitStok”, “kisitStokFabr” ve “kisitNakly” kısıt komutları da aynı nedenle, bu değişkenlerin hesaplanması için yazılmıştır.



equations

amac

kisit1

kisit2

kisit3

kisit4

kisit5

kisit6

kisit7

kisit8

kisit9

kisit10

kisit11

kisit12

kisit13

kisit14

kisit15

kisitSbtUrtm

kisitDegUrtm

kisitStok

kisitStokFabr

kisitNakly

;

amac..obj=e=sum((j,t), Z(t,j)*fpc(j))+ sum((t,j),P(t,j)*vpc(j))+ sum((i,t,j),S(i,t,j)*h(i))+sum((k,t),ftck*Y(k,t));

kisit1(t,j)\$ (ord(t) ne 1)..S('i0',t,j)=e=S('i0',t-1,j)+P(t,j)-sum((i,k),W(i,k,t,j));

kisit2(i,t,j)\$ ((ord(i) ne 1) and (ord(t) ne 1))..S(i,t,j)=e=S(i,t-1,j)+sum(k,W(i,k,t,j))-dem(i,j,t);

kisit3(i,t,j)\$ ((ord(t) ne 1))..S(i,t,j)=l=u(i,j,t);

kisit4(i,j)..S(i,'0',j)=l=20000;

kisit5(i,t)..sum(j,S(i,t,j))=l=A(i);

kisit6(t,j)..P(t,j)=l=pmax*Z(t,j);

kisit7(t,j)..P(t,j)=g=pmin*Z(t,j);

kisit8(k,t)..sum((i,j),W(i,k,t,j))=l=q;

kisit9(i,j,k,t)..W(i,k,t,j)=l=q*X(i,k,t);

kisit10(i,t)..sum(k,X(i,k,t))=l=1;

kisit11(k,t)..sum(i,X(i,k,t))=l=q*Y(k,t);

kisit12(i,j)..S(i,'0',j)=e=DBS(i,j);

kisit13(j)..P('0',j)=e=0;

kisit14(i,k,j)..W(i,k,'0',j)=e=0;

kisit15(k,t,j)..W('i0',k,t,j)=e=0;

model yogurt /all/

solve yogurt using mip minimizing obj;

display obj.l, X.l, Y.l, Z.l, W.l, P.l, S.l;

3.5. Model Çıktıları

Firmanın mevcut durumu için model çözüldüğünde “**10 günlük planlama dönemi için**” sabit üretim, değişken üretim, stok ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı için en iyi maliyet 518.664,10 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre üretim ve dağıtım planına ilişkin çözüm aşağıdaki gibidir.

Min Z= 518.664 TL ve toplam maliyetin **bileşenleri**;

- ↳ Sabit üretim maliyetleri toplamı: **4.820 TL**
- ↳ Değişken üretim maliyetleri toplamı: **508.881 TL**
- ↳ Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: **363 TL**
 - ↳ (Fabrikadaki stok maliyetleri toplamı: 294 TL)
 - ↳ (Dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 69 TL)
- ↳ Araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı: **4.600 TL**

Tablo 7: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Üret/Üretme Kararı

Üret/ üretim (Z _t)		Ürün						
		j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
Planlama Dönemi (t)	1	✓			✓			✓
	2							
	3					✓		
	4			✓			✓	
	5		✓					
	6	✓						
	7							
	8				✓			
	9		✓					
	10							

Tablo 7’den da görüleceği üzere firma, mevcut durumda 2, 7 ve 10. günler üretim yapmamaktadır. 1.ürün (j1) 1. ve 6. gün, 2.ürün (j2) 5. ve 9. gün, 3.ürün (j3) sadece 4. gün, 4.ürün 1.ve 8., 5.ürün sadece 3., 6.ürün sadece 4. ve 7. ürün sadece 1. gün üretilmekte diğer günler talep stoklardan karşılanmaktadır. Üretim miktarları Tablo 8’de görülmektedir.

Tablo 8: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Üretim Miktarları

Üretim miktarı (P _{t,j})		Ürün						
		j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
Planlama Dönemi (t)	1	5.000			5.000			13.115
	2							
	3					6.544		
	4			1.611			10.562	
	5		10.217					
	6	12.062						
	7							
	8				15.816			
	9		15.223					
	10							

Tablo 9: Mevcut Durum için En Düşük Maliyetli Üretim Dağıtım Planı – Araçların Kullanım Sayıları

Planlama dönemde araç kullanıldı/kullanılmadı ($Y_{k,t}$)		Araç				
Planlama Dönemi (t)		k1	k2	k3	k4	k5
	1	✓	✓	✓	✓	✓
	2	✓				
	3	✓				
	4	✓				
	5	✓				✓
	6	✓		✓	✓	
	7	✓	✓			✓
	8	✓				
	9	✓	✓	✓	✓	✓
	10	✓				

Tablo 9 göstermektedir ki firmanın mevcut beş aracından hepsi sadece birinci ve dokuzuncu gün kullanılmakta, altıncı ve yedinci günler üç araç, beşinci gün iki araç, diğer beş gün ise sadece bir araç kullanılmaktadır.

Modelin çözümü sonucu elde edilen stoklar, araçların dağıtım merkezleriniz ziyaret sayıları, araçların dağıtım merkezlerine taşıdıkları ürün miktarı, vb. diğer çıktılar **Ek 2Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.6. Durum Analizi

Duyarlılık analizi; doğrusal programlama parametrelerinin, optimum çözümü değiştiren aralıklarının tespit edilmesi olarak özetlenebilir.⁶⁵ Doğrusal programlama teorisi, formüle edilen her problemin gerçekte özgün problem (primal) ve onun ikizi (eşlek-dual) olarak adlandırılan iki problem olduğunu ifade eder.⁶⁶ Doğrusal programlamadaki simetri özelliği nedeniyle dual problemin duali primal problem olmakta, primal ve dual problemler arasındaki ilişki ise gölge fiyat vb. yorum imkânı vermektedir.

Ancak büyük ölçekli doğrusal programlama veya karma tamsayılı modellerin primal ve dual problemleri ve aralarındaki ilişkinin hesaplanışının oldukça karmaşık olması nedeniyle

⁶⁵ Mehpare Timor, Yöneylem Araştırması, 2010, Türkmen Kitabevi, s.108

⁶⁶ Ahmet Öztürk, Yöneylem Araştırması, 2009, Ekin Yayınevi, s.191

GAMS yazılımında, karma tamsayılı doğrusal programlama için duyarlılık analizi komutu sunulmamaktadır.⁶⁷

Mevcut modelinin parametrelerindeki değişikliklerin toplam maliyeti nasıl etkileyebileceğini görmek için model farklı senaryolarla yeniden çalıştırılmıştır.

➤ İlk grup senaryoda işletmenin elindeki 5 adet kamyon kısıtı farklı sayılar için (2-8 kamyon) denenmiştir. Bu denemede problemin matematiksel modelinin yazımında bir değişiklik yapılmamış, ancak GAMS programında araç kısıt komutu

- k araçlar /k1*k2/
- k araçlar /k1*k3/
- ...
- k araçlar /k1*k8/

şeklinde yazılarak program farklı her araç sayısı için yeniden çalıştırılmıştır.

Bulunan toplam maliyetler Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10: Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler

	Toplam Maliyet
8 kamyon	522.882,77 TL
7 kamyon	518.546,33 TL
6 kamyon	529.100,33 TL
5 kamyon (mevcut durum)	518.664,10 TL
4 kamyon	519.405,88 TL
3 kamyon	532.361,99 TL
2 kamyon	Çözüm yok

Tablodan da görüleceği üzere mevcut durumdaki beş kamyon yerine eş kapasitede yedi kamyon kullanılarak dağıtım yapılması durumunda, kamyonların bir satın alma maliyeti söz konusu olmadığından, toplam üretim ve dağıtım maliyetleri azalacaktır.

⁶⁷ https://support.gams.com/solver:sensitivity_analysis_with_gams_cplex , erişim tarihi 29.09.2018

➤ Bir diğer senaryo olarak mevcut kamyonların 1,5 katı büyüklükte ve taşıma maliyetleri 165 TL/sefer olan büyük kamyonların kullanılması halinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır.

Bu senaryo için de matematiksel modelde herhangi bir ek kısıt yazılmamış, sadece GAMS komutları:

scalar q araç kapasitesi /9900/

scalar ftck araç sabit ulaşım maliyeti /165/

olarak değiştirilmiştir. Program,

- k araçlar /k1*k2/
- k araçlar /k1*k3/
- ...
- k araçlar /k1*k8/
-

komutları ile farklı her araç sayısı için tekrar çalıştırılarak elde edilen toplam maliyetler Tablo 11’de gösterilmiştir.

Tablo 11: Büyük Kamyon Kullanılması Durumunda Farklı Araç Sayıları İçin Toplam Maliyetler

	Toplam Maliyet
8 kamyon	540.192.89 TL
7 kamyon	520.023.98 TL
6 kamyon	532.278.97 TL
5 kamyon	520.759.34 TL
4 kamyon	518.405.30 TL
3 kamyon	526.742.50 TL
2 kamyon	520.162.23 TL

Tablodan da görüleceği üzere büyük dört kamyonla dağıtım yapılması halinde toplam maliyetlerde ilk senaryodan daha iyi bir maliyet azalışı sağlanabilecektir.

➤ Son senaryoda ise mevcut kullanılan veya büyük kamyonların belli doluluğa ulaşmadan sefere çıkmaması koşulu eklendiğinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır. Bu senaryo için öncelikle matematiksel modele araç minimum doluluk kısıtı eklenmiştir:

$$\sum_i \sum_j W_{i,k,t,j} \geq q_{min} \cdot Y_{k,t} \quad \forall k \in K, t \in T, j \in J \quad (15)$$

Aracın istenen doluluğa ulaşmadan yola çıkmamasını tanımlayan ek GAMS komutu ise aşağıdaki gibi yazılmıştır:

```
kisit6_2(k,t)..sum((i,j),W(i,k,t,j))=g=qmin*Y(k,t);
```

Model, hem mevcut büyüklükteki hem de daha büyük kamyon kullanılması durumlarında ve 3-8 kamyon için tekrar çalıştırılmış ve bulunan toplam maliyetler Tablo 12 ve Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 12: Taşıma Alt Kısıtlı Senaryoda Farklı Araç Sayıları için Toplam Maliyetler (En az ... ad palet yüklenmeden yola çıkılmaması)

	1 palet: 660 kg	2 palet: 1320 kg	3 palet: 1980 kg	4 palet: 2640 kg	5 palet: 3300 kg
8 kamyon	532.390,46 TL	525.967,60 TL	532.095,30 TL	538.065,56 TL	528.796,68 TL
7 kamyon	525.442,96 TL	523.168,35 TL	521.304,57 TL	533.071,71 TL	519.158,58 TL
6 kamyon	520.679,74 TL	521.142,17 TL	518.730,81 TL	532.744,92 TL	527.577,81 TL
5 kamyon	519.286,87 TL	522.162,21 TL	521.191,36 TL	528.613,35 TL	518.122,11 TL
4 kamyon	527.747,22 TL	517.985,20 TL	520.238,39 TL	540.109,37 TL	518.399,70 TL
3 kamyon	519.001,15 TL	531.306,93 TL	518.896,47 TL	527.295,99 TL	518.707,43 TL

	6 palet: 3960 kg	7 palet: 4620 kg	8 palet: 5280 kg	9 palet: 5940 kg	10 palet: 6600 kg
8 kamyon	535.727,05 TL	518.587,65 TL	517.624,52 TL	540.606,98 TL	Çözüm yok
7 kamyon	526.816,60 TL	533.621,12 TL	524.767,62 TL	523.218,32 TL	526.345,90 TL
6 kamyon	518.123,12 TL	519.249,44 TL	532.666,06 TL	523.314,21 TL	561.730,76 TL
5 kamyon	528.477,86 TL	518.861,20 TL	518.034,17 TL	556.021,24 TL	528.986,66 TL
4 kamyon	525.189,29 TL	518.457,87 TL	541.549,44 TL	518.047,41 TL	525.800,81 TL
3 kamyon	517.857,75 TL	517.750,61 TL	518.027,70 TL	522.346,01 TL	545.660,31 TL

Tablo 13: Taşıma Alt Kısıtlı Senaryo, Büyük Kamyon, Farklı Araç Sayıları için Toplam Maliyetler (En az ... ad palet yüklenmeden yola çıkılmaması)

	1 palet: 660 kg	2 palet: 1320 kg	3 palet: 1980 kg	4 palet: 2640 kg	5 palet: 3300 kg	6 palet: 3960 kg	7 palet: 4620 kg
8 kamyon	519.263,70 TL	529.936,72 TL	518.577,10 TL	526.712,52 TL	526.302,05 TL	527.062,77 TL	517.964,36 TL
7 kamyon	518.132,66 TL	517.869,13 TL	517.718,07 TL	517.461,46 TL	518.843,07 TL	519.736,60 TL	518.237,76 TL
6 kamyon	518.486,99 TL	518.874,52 TL	518.566,66 TL	528.133,81 TL	521.862,61 TL	542.304,29 TL	517.705,34 TL
5 kamyon	518.919,51 TL	5248.28,42 TL	5259.99,40 TL	518.317,33 TL	526.894,20 TL	517.900,13 TL	527.172,10 TL
4 kamyon	549.223,57 TL	518.513,52 TL	522.332,49 TL	529.394,20 TL	528.077,69 TL	522.152,77 TL	526.206,25 TL
3 kamyon	518.992,13 TL	518.277,21 TL	518.100,69 TL	518.100,69 TL	518.748,45 TL	517.671,80 TL	522.727,98 TL

	8 palet: 5280 kg	9 palet: 5940 kg	10 palet: 6600 kg	11 palet: 7260 kg	12 palet: 7920 kg	13 palet: 8580 kg	14 palet: 9240 kg	15 palet: 9900 kg
8 kamyon	526.915,57 TL	523.294,95 TL	519.847,56 TL	520.036,86 TL	527.475,10 TL	522.304,83 TL	517.941,58 TL	547.186,04 TL
7 kamyon	531.125,96 TL	518.899,85 TL	518.579,54 TL	531.304,55 TL	518.584,09 TL	518.714,14 TL	558.280,90 TL	543.536,42 TL
6 kamyon	517.988,85 TL	529.053,06 TL	519.237,88 TL	518.163,40 TL	520.297,99 TL	535.192,38 TL	565.456,28 TL	544.038,63 TL
5 kamyon	520.528,05 TL	519.042,56 TL	518.297,46 TL	549.205,01 TL	517.981,09 TL	518.429,35 TL	524.980,99 TL	545.724,27 TL
4 kamyon	518.437,46 TL	522.120,48 TL	518.173,33 TL	526.297,19 TL	518.303,76 TL	526.663,05 TL	529.626,32 TL	544.144,63 TL
3 kamyon	518.969,92 TL	530.118,17 TL	521.183,75 TL	519.517,79 TL	518.847,39 TL	5188.38,18 TL	518.306,57 TL	543.519,84 TL

Denenen tüm farklı senaryolardan görülmektedir ki firma, mevcut büyüklükteki kamyonlar yerine **büyük kamyonlardan yedi tane** kullanarak ve kamyonlara **dört palet (2640 kg) dolmadan yola çıkmama koşulu uyguladığında** üretim ve dağıtım maliyetleri en düşük olacaktır:

Min Z= 517.461 TL ve toplam maliyetin **bileşenleri**;

- ↳ Sabit üretim maliyetleri toplamı: **4.220 TL**
- ↳ Değişken üretim maliyetleri toplamı: **508.881 TL**
- ↳ Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: **400 TL**
 - ↳ (Fabrikadaki stok maliyetleri toplamı: 307 TL)
 - ↳ (Dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı: 93 TL)
- ↳ Araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı: **3.960 TL**

Tablo 14: Mevcut Yöntem ile Önerilen Yöntemin Maliyetleri Karşılaştırması

	Mevcut yöntem	Önerilen yöntem
Sabit üretim maliyetleri toplamı	4.820 TL	4.220 TL
Değişken üretim maliyetleri toplamı	508.881 TL	508.881 TL
Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı	363 TL	400 TL
(Fabrikadaki stok maliyetleri toplamı)	(294 TL)	(307 TL)
(Dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı)	(69 TL)	(93 TL)
Araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı	4.600 TL	3.960 TL
Toplam Maliyet	518.664 TL	517.461 TL

Mevcut yöntem ile önerilen yöntemin toplam maliyetini oluşturan alt maliyetler karşılaştırıldığında (bkz. Tablo 14) görülmektedir ki, fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı 37 TL artmış; fakat buna karşın sabit üretim maliyetleri toplamı 600 TL ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı 640 TL azalmıştır. Değişken üretim maliyetleri toplamında ise, üretilen miktar değişmediğinden, bir değişim olmamıştır.

Bu durumdaki üretim ve dağıtım planını gösteren GAMS sonuç tablosu **Ek 3**'te verilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir ürünün fabrikadaki üretimi, ara depolar, dağıtımıcılar, perakendeciler yolunu izleyerek müşteriye ulaşması zincirinde üretim ve dağıtım planının belirlenmesi üretim ve dağıtım maliyetleri toplamını etkilediği gibi ürün kalitesi ve müşteri beklentilerinin karşılanması açısından da önemlidir. Dağıtım ve üretim birbirlerini zincirleme olarak etkileyen aşamalar olduğundan üretim ve dağıtım planlarının birleşik bir üretim-dağıtım modeli ile hesaplanması ayrı modellerle hesaplandığından çok daha sağlıklı ve verimli sonuçlar verecektir. Özellikle de planlaması yapılan ürün bozulabilir bir ürün ise; ne zaman, ne kadar üretildiği ile ne zaman, nasıl dağıtılacağına planlamasının birlikte yapılması zorunlu olacaktır.

Bu tezde bozulabilir ürünler için birleşik bir üretim ve dağıtım planlama modeli önerilmiştir. Birinci bölümde ürün, üretim ve dağıtım planlaması kavramları ile bozulabilir ve bozulabilir olmayan ürünler için birleşik üretim ve dağıtım planlaması üzerine çalışmalar incelenmiştir. İkinci bölümde, birleşik üretim ve dağıtım planlama için önerilen matematiksel model olan karma tamsayılı programlama açıklanmıştır. Üçüncü bölümde ise önerilen birleşik üretim ve dağıtım planlama modeli Türkiye’de süt ve süt ürünleri üreten bir firmada uygulanmış, modelin çözüm sonucunda elde edilen çıktılar yorumlanmış ve farklı senaryolar için model denenerek mevcut durumdan daha iyi bir üretim ve dağıtım planı bulunmuştur.

Bir fabrikada üretilen, yedi çeşit bozulabilir ürünün, beş kamyon kullanılarak, altı dağıtım merkezine dağıtımı için kurulan modelin amacı toplam üretim, dağıtım ve stok maliyetlerini (sabit üretim, değişken üretim, fabrikadaki stok, dağıtım merkezindeki stok ve aracı kullanmanın sabit ulaştırma maliyetleri toplamı) aynı anda en az (minimum) yapmaktır. Modelde cevap aranan değişkenler; her bir planlama döneminde her bir üründen üretilip üretilmeyeceği, eğer üretim yapılması kararı verildiyse o üründen o planlama döneminde ne miktarda üretileceği, her bir planlama döneminde her bir aracın kullanılıp kullanılmayacağı ve her bir planlama döneminde her bir üründen her bir dağıtım merkezine hangi araç ile ne kadar gönderileceğidir.

Önerilen karma tamsayılı programlama modeli, GAMS programı ile firmanın mevcut durumu için çözülmüş ve “10 günlük planlama dönemi için” sabit üretim, değişken üretim, stok ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı için en iyi maliyet 518.664 TL olarak hesaplanmıştır.

Mevcut durum için çözülen modelde firmanın mevcut beş aracından hepsi sadece birinci ve dokuzuncu gün kullanılmakta, altıncı ve yedinci günler üç araç, beşinci gün iki araç, diğer beş gün ise sadece bir araç kullanılmaktadır. Karma tamsayılı programlamama modelleri

duyarlılık analizine uygun olmadığından, mevcut modelin parametrelerindeki değişikliklerin toplam maliyeti nasıl etkileyebileceğini görmek için model farklı senaryolarla yeniden çalıştırılmıştır.

İlk grup senaryoda işletmenin elindeki 5 adet kamyon kısıtı farklı sayılar için (2-8 kamyon) denenmiştir. Mevcut durumdaki beş kamyon yerine eş kapasitede yedi kamyon kullanılarak dağıtım yapılması durumunda, kamyonların bir satın alma maliyeti söz konusu olmadığından, toplam üretim ve dağıtım maliyetlerinin azaldığı görülmüştür (518.546 TL).

Bir diğer senaryo olarak mevcut kamyonların 1,5 katı büyüklükte ve taşıma maliyetleri 165 TL/sefer olan büyük kamyonların kullanılması halinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır. Büyük dört kamyonla dağıtım yapılması halinde toplam maliyet (518.405 TL) ilk senaryodan daha iyi bir maliyet azalışı sağlanabilmiştir.

Son senaryoda ise mevcut kullanılmakta olan veya büyük kamyonların belli doluluğa ulaşmadan sefere çıkmaması koşulu eklendiğinde oluşacak toplam maliyetler hesaplanmıştır. Buna göre firma, mevcut büyüklükteki kamyonlar yerine büyük kamyonlardan yedi tane kullanarak ve kamyonlara dört palet (2640 kg) dolmadan yola çıkmama koşulu uyguladığında üretim ve dağıtım maliyetleri en düşük (517.461 TL) olacaktır:

	Mevcut yöntem	Önerilen yöntem
Sabit üretim maliyetleri toplamı	4.820 TL	4.220 TL
Değişken üretim maliyetleri toplamı	508.881 TL	508.881 TL
Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı	363 TL	400 TL
(Fabrikadaki stok maliyetleri toplamı)	(294 TL)	(307 TL)
(Dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı)	(69 TL)	(93 TL)
Araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı	4.600 TL	3.960 TL
Toplam Maliyet	518.664 TL	517.461 TL

Mevcut yöntem ile önerilen yöntemin toplam maliyetini oluşturan alt maliyetler karşılaştırıldığında görülmektedir ki, değişken üretim maliyetleri toplamında, üretilen miktar değişmediğinden, bir değişim olmamıştır. Fabrikadaki ve dağıtım merkezlerindeki stok maliyetleri toplamı 37 TL artmış; fakat buna karşın sabit üretim maliyetleri toplamı 600 TL ve araçların sabit kullanım maliyetleri toplamı 640 TL azalmıştır.

Üretim ve dağıtımın ayrı modellerle planlanması durumunda, sadece sabit ve değişken üretim ile stok maliyetleri toplamı dikkate alınarak üretim planlaması yapıldığında, stok maliyetlerinin daha düşük olması nedeniyle üretim bölümü ilk senaryoyu tercih edebilecektir. Dağıtım bölümü ise üretimin bu kararını veri olarak ayrı bir modelle dağıtımını planlayacaktır. Oysa çalışmanın sonuçlarından görülmektedir ki, üretim ve dağıtım aşamaları ortak modelde

planlandığında, tedarik zinciri bütününde bazı maliyetlerin bir miktar artması, diğer bazı maliyetlerde çok daha büyük azalma imkânı sunabilmektedir. Bu tez çalışmasının sonucuna göre, üretim ve dağıtım aşamalarının ayrı modeller yerine önerilen birleşik model ile planlanmaları, tedarik zincirindeki fabrika ve dağıtım merkezlerinin toplam maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, araçlar kullanıldıkları mesafeye göre değil, kullanım sıklıklarına göre ücretlendirildiğinden dağıtım maliyetleri aracı kullanmanın sabit ulaşım maliyetleri ile hesaplanmıştır. İleriki çalışmalarda araçların sabit kullanım maliyetlerine mesafeye göre değişken maliyetler de eklenerek model geliştirilebilir.

Mevcut çalışmada talebin tamamen karşılandığı ve elde ürün kalmadığı varsayılmıştır. İleriki çalışmalarda talebin kısmen karşılanması veya elde ürün kalması durumları için bir model geliştirilebilir.

Ayrıca ileriki çalışmalarda satış operasyonları da dâhil edilerek birleşik üretim, dağıtım ve satış planlama modeli geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

- Ahumada, Omar, Villalobos, J.Rene: "A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce", **Annals of Operations Research**, Volume 190, Issue 1, October 2011, pp 339-358
- Ahumada, Omar, Villalobos, J.Rene: "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products" **International Journal of Production Economics**, Volume 133, Issue 2, October 2011, Pages 677–687
- Aiying Rong, Renzo Akkerman, Martin Grunow, "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain", *International Journal of Production Economics*, Volume 131, Issue 1, May 2011, pp 421
- Amorim, Pedro, Günther, Hans-Otto, Almada-Lobo, Bernardo: "Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products", **International Journal of Production Economics**, Volume 138, Issue 1, July 2012, Pages 89–101
- Amorim, Pedro. Meyr, H., Almeder, C., Almada-Lobo, Bernardo: "Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review", **Flexible Services and Manufacturing Journal**, September 2013, Volume 25, Issue 3, pp 389-413
- Amorim, P., Belo-Filho, M.A.F., Toledo, F.M.B., Almeder, C., Almada-Lobo, B.: "Lot sizing versus batching in the production and distribution planning of perishable goods" **International Journal of Production Economics**, Volume 146, Issue 1, November 2013, Pages 208–218
- Belo-Filho, M.A.F., Amorim, P., Almada-Lobo, B.: "An adaptive large neighbourhood search for the operational integrated production and distribution problem of perishable products", **International Journal of Production Research**, 2015, Vol.53, No.20, 6040–6058
- Bilgen, Bilgen, Guenther, Hans - Otto: "Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application", **OR Spectrum**, (2010) 32: 927-955
- Boudia, Mourad, Louly, M.A.O. & Prins, Christian: "Fast heuristics for a combined production planning and vehicle routing problem", **Production Planning & Control**, Vol. 19, No.2, March 2008, 85-96
- Chandra, Pankaj., Fisher, Marshall.L.: "Coordination of production and distribution planning", **European Journal of Operational Research**, Volume 72, Issue 3, 10 February 1994, Pages 503–517
- Chen, H.K., Hsueh, C.F., Chang, M.S.: "Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products", **Computers & Operations Research**, Volume 36, Issue 7, July 2009, pp 2311-2319
- Chen, Mingyuan, Wang, Weimin: "A linear programming model for integrated steel production and distribution planning", **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 17 Iss: 6, 1997, pp. 592-610

- Çetinkaya, Sıla, Üster, Halit, Easwaran, Gopalakrishnan, Barış Keskin, Burcu: "An Integrated Outbound Logistics Model for Frito-Lay: Coordinating Aggregate-Level Production and Distribution Decisions", **Interfaces**, Vol. 39, No. 5, September–October 2009, pp. 460–475
- Devapriya, P., Ferrell, W., Geismar, N.: "Integrated production and distribution scheduling with a perishable product", **European Journal of Operational Research**, Vol. 16, Iss: 6, 2017, pg. 906-916
- Dhaenens-Flipo, Clarisse, Finke, Gerd: "An integrated model for an industrial production-distribution problem", **IIE Transactions**, Volume 33, Issue 9, 2001, pages 705-715
- Doğan, İbrahim: **Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları**, Bilim Teknik Yayınevi, 1995
- Ekşioğlu, S.Duni, Jin, Mingzhou: "Cross-Facility Production and Transportation Planning Problem with Perishable Inventory", **Computational Science and Its Applications – ICCSA**, 2006, Volume 3982, pp 708-717
- Farahani, P., Grunow, M., Guenther, H.O.: "Integrated production and distribution planning for perishable food products", **Flexible Services and Manufacturing Journal**, 2012, Volume 24, Issue 1, pp 28-51
- Fariborz, J., Tavakkoli-Moghaddam, R, Rabbani, M., Sadoughian, M.R.: "An economic production lot size model with deteriorating items, stock-dependent demand, inflation, and partial backlogging", **Applied Mathematics and Computation**, Volume 181, Issue 1, 1 October 2006, s. 380-389
- Federgruen, Awi, Prastacos, Gregory, Zipkin, PaulH.: "An allocation and distribution model for perishable products", **Operations Research**, February 1986, Vol.34(1):75
- Fumero, Francesca and Vercellis, Carlo: "Synchronized development of production, inventory, and distribution schedules", **Transportation Science**, vol. 33 no. 3, August 1999, pp. 330-340
- Geismar, H.Neil, Laporte, G., Lei, Lei, Sriskandarajah, Chelliah: "The integrated production and transportation scheduling problem for a product with a short lifespan", **INFORMS Journal on Computing**, Vol. 20, No. 1, Winter 2008, pp. 21–33
- Heizer, Jay, Render, Berry: **Operations Management**, Pearson Prentice Hall, 8th Edition
- Hillier, F.S., Lieberman, G.J.: **Introduction to Operations Research**, Mc Graw-Hill, 2001, 7th Edition
- Ho Ngoc, M., Nananukul, N.: "Integrated Production and Distribution with Perishability Management in Logistics System", **Conference Paper: International Conference on Trends in Multidisciplinary Business and Economic Research (TMBER 25-26 March 2016)**, Vol.3 pg 120-127

- Hosseini, Mohammed Seyed., Ghoreyshi, S.M.: “An integrated model for production and distribution planning of perishable products with inventory and routing considerations”, **Mathematical Problems in Engineering**, Volume 2014 (2014), Article ID 475606, 10 pages
- Jayaraman, Vaidyanathan, Pirkul, Hasan: “Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities”, **European Journal of Operational Research**, Volume 133, Issue 2, 1 January 2001, Pages 394–408
- Jünger, M., Liebling, Th.M., Naddef, D., Nemhauser, G.L., Pulleyblank, W.R., Reinelt, G., Rinaldi, G., Wolsey, L.A. (Eds.): **50 years of integer programming 1958-2008**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010, s.343-344
- Kopanos, G.M., Puigjaner, L., Georgiadis, M.C.: “Simultaneous production and logistics operations planning in semicontinuous food industries”, **Omega**, Volume 40, Issue 5, October 2012, Pages 634–650
- Lacomme, P., Moukrim, A., Quilliot, A., Vinot, M: “Supply chain optimisation with both production and transportation integration: multiple vehicles for a single perishable product”, **International Journal of Production Research**, 56:12, 2018, 4313-4336
- Lee, Young H., Kim, S.Han: “Production–distribution planning in supply chain considering capacity constraints”, **Computers & Industrial Engineering**, Volume 43, Issues 1–2, 1 July 2002, Pages 169–190
- Lei Lei, Liu, S., Ruszczyński, A. & Park, Sunju: “On the integrated production, inventory, and distribution routing problem”, **IIE Transactions**, Volume 38, Issue 11, 2006, pages 955-970
- Lim, S.J., Jeong, S.J., Kim, K.S., Park, M.W.: “A simulation approach for production-distribution planning with consideration given to replenishment policies”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, January 2006, Volume 27, Issue 5-6, pp 593-603
- Marandi, F., Zegordi, S.H.: “Integrated production and distribution scheduling for perishable products”, **Scientia Iranica**, Article 6, Volume 24, Issue 4, July and August 2017, Page 2105-2118
- Meneses, Anderson, Amorim, Pedro, Almada-Lobo, Bernardo, and Almeder, Christian: “Integrating lot sizing and scheduling with the vehicle routing problem: A special look into perishable products” **Proceedings of the 2nd International Workshop on Lot Sizing**, 2011 Istanbul, Turkey, s.55-58
- Moon, I., Jeong, Y. J., Saha, S.: “Fuzzy bi-objective production-distribution planning problem under the carbon emission constraint” **Sustainability**, Vol.8, Iss.8, 2016, 798-815
- Özkan, Şule:
Öztürk, Ahmet:
- Yöneylem Araştırması**, Nobel Yayınevi, 2005
Yöneylem Araştırması, Ekin Yayınevi, 2009

- Park, Y.B.: “An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management”, **International Journal of Production Research**, Volume 43, Issue 6, 2005, pages 1205-1224
- Pauls-Worm, K.G.J., Hendrix, E.M.T., Haijema, R., van der Vorst, J.G.A.J.: “An MILP approximation for ordering perishable products with non-stationary demand and service level constraints”, **International Journal of Production Economics**, Volume 157, November 2014, Pages 133–146
- Rong, Aiying, Grunow, Martin: “A methodology for controlling dispersion in food production and distribution”, **OR Spectrum**, Volume 32, Issue 4, September 2010, pp 957-978
- Sarrafha, K., Kazemi, A. Alinezhad, A.: “A multi-objective evolutionary approach for integrated production-distribution planning problem in a supply chain network”, **Journal of Optimization in Industrial Engineering (JOIE)**, Article 8, Volume 7, Issue 14, Winter and Spring 2014, Page 89-102
- Schrijver, Alexander: **Theory Linear and Integer Programming, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization**, John Wiley & Sons, The Netherlands, 1999
- Stevenson, William J: **Production Operations Management**, Irwin Mc Graw Hill, 1999
- Taha, Hamdy.A.: **Yöneylem Araştırması**, Literatür Yay, 2000
- Timor, Mehpare: **Yöneylem Araştırması**, Türkmen Kitabevi, 2010
- Top, Aykut: **Quantitative Methoden**, Alfa Yayınları, 1998
- Top, Aykut, Yılmaz, Erdal.: **Üretim Yönetimi**, İdeal Kültür Yayıncılık, 2018
- Torabi, S.A., Moghaddam, M.: “Multi-site integrated production-distribution planning with trans-shipment: a fuzzy goal programming approach,” **International Journal of Production Research**, 50:6, 2012, pp 1726-1748
- Ulucan, Aydın: **Yöneylem Araştırması-İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme**, Siyasal Kitabevi 2007
- Yan, C., Banerjee, A., Yang, L.: “An integrated production–distribution model for a deteriorating inventory item”, **International Journal of Production Economics**, Volume 133, Issue 1, September 2011, Pages 228–232
- Yelbay, Belma, Birbil, Ş.İlker and Bülbül, Kerem: The Set Covering Problem Revisited: An Empirical Study of the Value of Dual Information, **Sabancı Research Database**, ©April, 2014, erişim 12.10.2018, http://research.sabanciuniv.edu/27187/1/SCP_ValueOfDual.pdf
- Zegordi, Seyed H., Nia, M.A.Beseshi.: “Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, October 2009, Volume 44, Issue 9, pp 928-939
- Zimmermann, Dr.-I.Werner: **Operations Research / Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung**, R. Oldenbourg Verlag, 1999

<http://web.itu.edu.tr/kabak/dersler/EM302/pdf/TSPcozum.pdf> erişim 23.10.2018
https://www.researchgate.net/publication/21403913_Computerplanning_model_for_blood_platelet_production_and_distribution erişim:21.04.2016



EKLER

EK-1 GAMS PROGRAMI KOMUT VE ÇIKTI EKRANI

```

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdr\proj\dr\gmsprog.gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\pc\Desktop\DR-TEZ\uygulama\uygulama-GAMS\modell_bayma alt katirsiz alan kstli-maliyet egliml.gms
model_1_bayma alt katirsiz alan kstli-maliyet egliml.gms

sets t planlama donemi kapsamı /0*21/
      i 0 fabrikayı temsil edecek şekilde fabrika ve dağıtım merkezleri /10*16/
      k araçlar /k1*k5/
      j ürünler /j1*j7/
;

table dem(i,j,t) günlük talep
1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12     13     14     15     16     17
11.31  84  52  60  71  78  79  118  137  135  131  126  132  130  120  132  132  134  121  111  133
11.32  134  126  135  131  116  137  118  140  126  132  130  126  132  130  120  132  132  134  121  111
11.33  126  80  126  95  110  105  126  96  102  118  84  95  118  88  91  113  81  93  81  93
11.34  59  52  59  82  52  54  57  54  58  58  58  60  50  52  51  53  59  59  59  59
11.35  25  50  39  39  47  46  46  46  46  46  46  46  46  46  46  46  46  46  46  46
11.36  80  84  100  80  70  77  82  91  74  95  74  95  74  95  74  95  74  95  74  95
11.37  112  110  115  113  113  117  116  114  114  114  116  116  116  116  116  116  116  116  116  116
12.31  34  62  34  66  49  57  42  37  35  32  50  60  40  68  38  46  3  3  3
12.32  123  86  97  127  84  114  83  100  80  81  109  94  107  91  87  93  5  5  5
12.33  100  93  84  91  85  90  74  94  94  94  94  94  94  94  94  94  94  94  94  94
12.34  43  43  42  50  44  41  49  48  48  48  48  48  48  48  48  48  48  48  48  48
12.35  49  38  49  28  43  43  48  45  45  45  45  45  45  45  45  45  45  45  45  45
12.36  76  81  82  76  91  82  78  73  88  73  88  73  88  73  88  73  88  73  88  73  88
12.37  93  91  94  90  94  92  92  92  92  92  92  92  92  92  92  92  92  92  92  92
13.31  17  28  13  11  23  18  23  23  23  23  23  23  23  23  23  23  23  23  23  23
13.32  38  49  47  52  58  60  65  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64  64
13.33  31  18  41  40  51  61  44  37  59  60  63  34  34  34  34  34  34  34  34  34
13.34  26  35  28  27  33  33  29  26  29  35  35  29  25  28  34  29  34  29  34  29
13.35  18  6  26  32  23  32  32  10  5  17  18  23  33  35  11  31  33  1  33  1
13.36  40  55  33  37  50  43  45  34  42  41  41  27  54  25  52  49  44  5  44  5
13.37  70  67  71  64  72  69  65  63  70  69  63  73  73  69  71  70  69  6  69  6
14.31  21  25  20  24  16  21  25  22  22  22  22  22  22  22  22  22  22  22  22  22
14.32  41  41  36  30  34  43  33  33  36  33  49  34  32  55  33  41  55  4  55  4
14.33  29  17  28  16  28  25  25  25  25  25  16  16  18  25  26  18  28  1  28  1
14.34  27  25  28  20  22  27  29  25  28  20  22  28  28  20  20  30  26  2  30  2
14.35  26  51  35  36  13  25  20  19  57  39  26  42  41  11  57  15  35  1  35  1
14.36  17  18  31  41  16  41  43  38  36  34  37  32  19  17  22  25  38  3  38  3
14.37  46  55  52  48  53  51  54  54  52  55  45  47  45  50  54  46  54  5  54  5
15.31  403  409  395  420  378  416  382  378  398  413  417  403  375  403  390  379  3  379  3
15.32  870  880  884  879  855  887  880  867  878  883  855  851  866  880  880  889  5  889  5
15.33  870  880  884  879  855  887  880  867  878  883  855  851  866  880  880  889  5  889  5

```

gamside C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\pc\Desktop\DR-TEZ\uygulama\uygulama-GAMS\model1_tasma alt kısıtsız alan kısıtlı-maliyet açılımı.gms
model1_tasma alt kısıtsız alan kısıtlı-maliyet açılımı.gms

15..j6	472	451	473	468	453	454	474	454	469	456	452	453	458	473	4
15..j7	395	403	405	400	405	398	405	401	404	405	405	395	399	405	4
16..j1	434	461	449	447	463	428	430	430	433	442	461	458	457	429	4
16..j2	1375	1352	1361	1350	1357	1366	1360	1378	1364	1354	1368	1346	1356	1357	1
16..j3	972	972	964	967	967	949	972	966	968	972	965	948	969	945	5
16..j4	612	609	615	612	605	599	602	598	612	615	608	605	610	613	5
16..j5	274	289	274	289	284	290	273	279	288	277	278	275	287	280	2
16..j6	799	795	800	804	809	810	808	796	798	807	797	793	793	803	7
16..j7	906	908	915	909	908	909	910	913	912	915	907	911	908	913	5

;

parameters fpc(j) sabit üretim maliyeti
/

j1	330
j2	300
j3	300
j4	310
j5	300
j6	300
j7	270

parameters vpc(j) değişken üretim maliyeti
/

j1	3.43
j2	2.71
j3	2.75
j4	3.1
j5	3.05
j6	2.97
j7	2.61

86: 132 Insert

TR 22:29 18.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1_tayma alt kısıtz_alan kısıtlı_maliyet açılımı.gms
model1_tayma alt kısıtz_alan kısıtlı_maliyet açılımı.gms

```

scalar pmax maximum üretim miktarı /30000/
scalar pmin minimum üretim miktarı /5000/
scalar si raf ömrü /10/
scalar q araç kapasitesi /6600/
scalar fctok araç sabit ulaşım maliyeti /115/

parameter h(i) birim stok maliyeti
/
10 0.0004
11 0.000416
12 0.00042
13 0.000416
14 0.000413
15 0.000413
16 0.000407
/

parameter A(i) fabrika veya dağıtım merkezindeki alan üst kısıtı
/
10 49500
11 1220
12 3800
13 1320
14 1240
15 6600
16 9000
/

table u(i,j,t) i merkezinde j ürünü t'inci dönem için stok üst seviyesi
10.j1 10040 10059 10005 10043 9983 10014 9993 10000 9985 9992 11000 11000 11000 11000 11000
10.j2 25576 25490 25485 25439 25482 25455 25396 25402 25377 25345 26000 26000 26000 26000 26000
10.j3 17794 17723 17728 17712 17742 17694 17694 17646 17691 17660 18000 18000 18000 18000 18000
10.j4 12247 12250 12257 12251 12245 12246 12250 12257 12256 12246 13000 13000 13000 13000 13000
10.j5 7231 7256 7215 7236 7107 7154 7131 7139 7177 7200 7200 7200 7200 7200 7200
10.j6 15021 15049 15040 15009 14973 14973 14955 14949 14990 15023 15000 15000 15000 15000 15000
10.j7 16368 16376 16386 16375 16388 16382 16375 16382 16384 16383 16000 16000 16000 16000 16000

```

125: 165 Insert

TR 22:30 18.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model_1, taşıma alt kısıt, elen kısıtlı maliyet açılımı.gms

model_1, taşıma alt kısıt, elen kısıtlı maliyet açılımı.gms

	16..j3	9660	9634	9630	9638	9636	9617	9637	9610	9614	9605	9598	9589	9592	37460	36495	64427
16..j4	6052	6045	6048	6048	6044	6044	6044	6055	6066	6067	6068	6069	6079	6073	23652	23044	40689
16..j5	2823	2826	2825	2828	2817	2808	2808	2805	2812	2821	2820	2804	2806	279	10959	10681	18856
16..j6	8029	8038	8041	8048	8041	8025	8008	8008	8003	8000	7999	7979	7973	7975	31182	30385	53692
16..j7	9106	9115	9119	9110	9108	9111	9110	9110	9113	9114	9114	9107	9107	9105	35525	34618	61207

table DBS(i,j) fabrika veya dagitim merkezindeki dönem başındaki stok miktarı

	j1	j2	j3	j4	j5	j6	j7
10	3000	7675	5360	3691	2163	4487	4905
11	84	134	126	59	25	80	112
12	34	123	100	43	50	76	93
13	17	38	31	26	18	40	70
14	21	41	29	27	26	17	46
15	403	870	565	463	299	472	395
16	434	1375	972	612	274	799	906

;

variables obj;

binary variables z(c,j), X(i,k,t), Y(k,t);

positive variables P(c,j), S(i,t,j), W(i,k,t,j), StÜrtm, DegrÜrtm, StokMlyt, StokMlytFabr, Nakli ;

equations

amac

kisit1

kisit2

kisit3

kisit4

kisit5

kisit6

kisit7

kisit8

kisit9

kisit10

198: 2

Insert

TR 22:32 18.11.2018

```
gmside C:\Users\pc\Documents\gamsdr\projdr\gmsproj.gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
C:\Users\pc\Desktop\DR-TEZ\uygulama\uygulama-GAMS\modell_1_tasima_ait_kistsz_alan_kutlu-maliyet_acilimli.gms
modell_1_tasima_ait_kistsz_alan_kutlu-maliyet_acilimli.gms

kistit13
kistit14
kistit15

kistitSbtUrtm
kistitDegUrtm
kistitStok
kistitStokFabr
kistitNakliy
;

anac..obj=e=sum((j,t), Z(t,j)*fpc(j))+ sum((t,j),P(t,j)*vpc(j))+sum((i,t,j),S(i,t,j)*h(i))+sum((k,t),ftck*Y(k,t));

kistit1(t,j)$ (ord(t) ne 1)..S('10',t,j)=S('10',t-1,j)+P(t,j)-sum((i,k),W(i,k,t,j));
kistit2(i,t,j)$ (ord(i) ne 1) and (ord(t) ne 1)..S(i,t,j)=e=S(i,t-1,j)+sum((k,W(i,k,t,j))-dem(i,j,t);
kistit3(i,t,j)$ (ord(t) ne 1)..S(i,t,j)=l=qu(i,j,t);
kistit4(i,j)..S(i,'0',j)=l=20000;
kistit5(j,S(i,t,j))=l=A(i);
kistit6(t,j)..P(t,j)=l=pmx*Z(t,j);
kistit7(t,j)..P(t,j)=q=pmn*Z(t,j);
kistit8(k,t)..sum((i,j),W(i,k,t,j))=l=q;
kistit9(i,j,k,t)..W(i,k,t,j)=l=q*X(i,k,t);
kistit10(i,t)..sum((k,X(i,k,t))=l=1;
kistit11(k,t)..sum((i,X(i,k,t))=l=q*Y(k,t);
kistit12(i,j)..S(i,'0',j)=e=DBS(i,j);
kistit13(j)..P('0',j)=e=0;
kistit14(i,k,j)..W(i,k,'0',j)=e=0;
kistit15(k,t,j)..W('10',k,t,j)=e=0;

kistitSbtUrtm..SbtUrtm=e=sum((j,t), Z(t,j)*fpc(j));
kistitDegUrtm..DegUrtm=e=sum((t,j),P(t,j)*vpc(j));
kistitStok..StokMlyr=e=sum((i,t,j),S(i,t,j)*h(i));
kistitStokFabr..StokMlyrFabr=e=sum((t,j),S('10',t,j)*h('10'));
kistitNakliy..Nakly=e=sum((k,t),ftck*Y(k,t));

model yogurt /all/
solve yogurt using mip minimizing obj;
display obj.l, X.l, Y.l, Z.l, W.l, P.l, S.l, SbtUrtm.l, DegUrtm.l, StokMlyrFabr.l, Nakly.l ;
```

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1_tasjma alt kisitsiz_alan kisitli-maliyet acilimli.lst
model1_tasjma alt kisitsiz_alan kisitli-maliyet acilimli.lst

GAMS 24.1.3 r41464 Released Jul 26
General Algebraic
Compilation

1 sets t planlama donemi kapsam
2 i 0 fabrikayi temsil eden
*16/
3 k aracllar /k1*k5/
4 j urunler /j1*j7/
5 ;
6
7 table dem(i,j,t) gunluk talep
8
9
10
11
12
13
14
15
16

Iteration log . . .
Iteration: 1 Dual objective = 242405.992376
Iteration: 133 Dual objective = 242994.712825
Iteration: 244 Dual objective = 295497.367107
Iteration: 361 Dual objective = 342078.769436
Iteration: 473 Dual objective = 411570.207558
Iteration: 603 Dual objective = 450949.931736
Iteration: 707 Dual objective = 486564.149190
Iteration: 821 Dual objective = 499689.573180
Iteration: 929 Dual objective = 510018.973107
Iteration: 1024 Dual objective = 516264.492225
Removing shift (3).
Fixed MIP status(1): optimal
Cplex Time: 0.08sec (det. 23.46 ticks)
Solution satisfies tolerances.
MIP Solution: 518664.097052 (286783 iterations, 554 nodes)
Final Solve: 518664.097052 (1101 iterations)
Best possible: 514604.439114
Absolute gap: 4059.657938
Relative gap: 0.007827
--- Restarting execution
--- model1_tasjma alt kisitsiz_alan kisitli-maliyet acilimli.gms (231) 0 Mb
--- Reading solution for model yogurt
--- model1_tasjma alt kisitsiz_alan kisitli-maliyet acilimli.gms (231) 3 Mb
--- Executing after solve: elapsed 0:02:28.733
--- model1_tasjma alt kisitsiz_alan kisitli-maliyet acilimli.gms (232) 4 Mb
*** Status: Normal completion
--- Job model1_tasjma alt kisitsiz_alan kisitli-maliyet acilimli.gms Stop 11/18/18 22:37:09 elapsed

Close Open Log Summary only Update

1: 1 Double-Click to Open File

00:15 19.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gams\dir\projdir\gmsproj\gpr

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1_tayma alt kısıtaz_alan kisilt_maliyet açılmlı.lst model1_tayma alt kısıtaz_alan kisilt_maliyet açılmlı.lst

20194: 1

Compilation
 Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Column
 Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 SOLVER
 Execution
 Display
 obj
 x
 y
 z
 w
 p
 s
 SolUrm
 DegUrm
 Stoklily
 Stoklilyfabr
 Nakly

----- 232 VARIABLE obj.L = 518664.097

----- 232 VARIABLE X.L

	1	2	3	4	5	6
11.k1	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000
12.k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13.k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13.k5						
14.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14.k2		1.000	1.000	1.000	1.000	
15.k1			1.000	1.000	1.000	1.000
15.k3						
15.k5		1.000	1.000	1.000		
16.k1				1.000		
16.k4		1.000			1.000	
16.k5						
+	7	8	9	10	11	12
11.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11.k5		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12.k5		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13.k2		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14.k5		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
15.k1		1.000		1.000	1.000	1.000
15.k2			1.000			
15.k4		1.000		1.000	1.000	1.000
16.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16.k2						
+	13	14	15	16	17	18

20194: 1

0016 19.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1_tayma alt kistsiz_alan kistli-maliyet açılımı.lst
model1_tayma alt kistsiz_alan kistli-maliyet açılımı.lst

Compilation
Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Solve
Execution
Display
obj
X
Y
Z
W
P
S
Satırlm
DegUrtm
StokUrtm
StokUrtmFabr
Naklı

15.k2 1.000
16.k1 1.000
16.k2 1.000

232 VARIABLE Y.L
1 2 3 4 5 6
k1 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
k2 1.000
k3 1.000
k4 1.000
k5 1.000
+ 7 8 9 10 11 12
k1 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
k2 1.000
k3 1.000
k4 1.000
k5 1.000
+ 13 14 15 16 17 18
k1 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000
k2 1.000
k3 1.000
k4 1.000
k5 1.000
+ 19 20 21
k1 1.000 1.000
k2 1.000

20262 1
00:17
19.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gams\proj\gmsproj\gpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1_tayma alt kısıtız_alan kısıtlı-maliyet açılımı.gms | model1_tayma alt kısıtız_alan kısıtlı-maliyet açılımı.lst

Compilation
- Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
- Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
- Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231
- Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231
- SOLVER
- Execution
- Display
- X
- Y
- Z
- W
- P
- S
- Solutrm
- Degürlrm
- Stoklmlrt
- StoklmlrtFabr
- Naklı

----- 232 VARIABLE S.L

	j1	j2	j3	j4	j5	j6
10.0	3000.000	7675.000	5360.000	3691.000	2163.000	4487.000
10.1	7071.000	5724.000	344.000	8117.000	452.000	3375.000
10.2	6548.000	4237.000	251.000	6240.000	403.000	895.000
10.3	5546.000	2581.000		5013.000	6535.000	680.000
10.4	4952.000		9709.000	4403.000	6041.000	10540.000
10.5	3762.000	7712.000	7936.000	3785.000	5085.000	9051.000
10.6	9735.000	5107.000	6651.000	2510.000	3526.000	7465.000
10.7	9448.000	1332.000	3558.000		2161.000	3947.000
10.8	9448.000		3558.000	12257.000	2161.000	3151.000
10.9	8657.000	9772.000	1257.000	9672.000	1506.000	1618.000
10.10	8657.000	7060.000		9672.000	682.000	
10.11	8339.000	3131.000	6444.000	9672.000	682.000	
10.12	7936.000	2385.000	3440.000	9612.000	350.000	13551.000
10.13	7469.000	1351.000	2614.000	9095.000		12063.000
10.14	7031.000		1802.000	8579.000	5079.000	10593.000
10.15	5384.000	13871.000		6029.000	3141.000	8253.000
10.16	4859.000	12480.000	8824.000	6000.000	1967.000	7411.000
10.17	1992.000	10082.000	6573.000	3919.000	676.000	6015.000
10.18	990.000	5721.000	4553.000	2276.000	633.000	3984.000
10.19	897.000	4078.000	2549.000	1484.000	587.000	3042.000
10.20	418.000	888.000	1544.000	736.000	314.000	1315.000
11.0	84.000	134.000	126.000	59.000	25.000	80.000
11.1	52.000	126.000	80.000	52.000	50.000	84.000
11.7	86.000	140.000	96.000	54.000	46.000	91.000
11.9	208.000	283.000	118.000	114.000	92.000	169.000
11.10	140.000	151.000		58.000	56.000	74.000
11.11	54.000	31.000				
11.15	179.000	244.000		112.000	151.000	175.000
11.16	95.000	133.000		59.000	129.000	90.000
11.17	21.000				89.000	
11.18	76.000	118.000	109.000	54.000	54.000	85.000

gamsider C:\Users\pc\Documents\gamsdr\projdr\gmsprojgpr
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\pc\Documents\gamsdr\projdr\model1_tasima alt kisirsiz_alan kısıtlı-maliyet açılmış.1st
model1_tasima alt kisirsiz_alan kısıtlı-maliyet açılmış.1st

Compilation
Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Solve
Solve
Execution
Display
X
Y
Z
W
P
S
SolUrtm
DegUrtm
StokUrtm
StokUrtm
Nakli

20558: 1

232 VARIABLE P.L

	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k4.1	1577.000					
k5.5	2727.000					
1	5000.000			5000.000	6544.000	10562.000
3						
4		10611.000				
5		10217.000				
6	12062.000					
8			15816.000			
9		15223.000				
11			8857.000			
12					5733.000	15026.000
14						
15		17774.000				
16			10535.000			
+	j7					
1	13115.000					
13	14766.000					

233 VARIABLE S.L

	j1	j2	j3	j4	j5	j6
10.0	3000.000	7675.000	5360.000	3691.000	2163.000	4487.000
10.1	7071.000	5724.000	344.000	8117.000	452.000	3375.000
10.2	6548.000	4237.000	251.000	6240.000	403.000	895.000
10.3	5546.000	2581.000		5013.000	6535.000	680.000
10.4	4952.000		9709.000	4403.000	6041.000	10540.000

TR 00:20 19.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj\gpr
 File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1 _tasima alt kisitsiz_alan kisitsiz_maliyet aqilmi.lst
 model1 _tasima alt kisitsiz_alan kisitsiz_maliyet aqilmi.lst

Compilation
 Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231
 Solver
 Execution
 Display
 X
 Y
 Z
 W
 P
 S
 Solutrm
 Deglitrn
 Stokmiyrt
 StokmiyrtFabr
 Nakly

INDEX 1 = 12

	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k5.7	230.000					
k1.2	62.000	86.000	93.000	43.000	49.000	81.000
k1.3	34.000	97.000	84.000	42.000	38.000	82.000
k1.4	66.000	97.000	91.000	50.000	49.000	76.000
k1.5	49.000	127.000	85.000	44.000	28.000	91.000
k1.6	57.000	84.000	90.000	41.000	43.000	82.000
k1.9	247.000	571.000	164.000	268.000	205.000	261.000
k1.11			90.000			
k1.12			68.000			72.000
k1.13			98.000			73.000
k1.14			88.000		23.000	85.000
k1.16			96.000			
k2.19	69.000	97.000	78.000	45.000	20.000	85.000
k2.20	94.000	199.000	171.000	83.000	90.000	176.000
k3.15	106.000	178.000	91.000	91.000	65.000	174.000
k3.18	37.000	94.000	98.000	49.000	26.000	93.000
k4.17	46.000	93.000	76.000	43.000	70.000	76.000
k5.7	79.000	197.000	168.000	97.000	93.000	151.000
+	j7					
k1.2	91.000					
k1.3	94.000					
k1.4	90.000					
k1.5	94.000					
k1.6	92.000					
k1.9	366.000					
k1.13	90.000					
k1.14	92.000					
k2.19	93.000					
k2.20	187.000					

20317: 1

TR 00:20 19.11.2018

86

gamside: C:\Users\pc\Documents\gamsdr\projdi\gmsproj.gpr

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

model1_tasima alt kisirsiz_alan kısıtlı-maliyet açılmış.1st
model1_tasima alt kisirsiz_alan kısıtlı-maliyet açılmış.1st

Compilation
Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Solve SOLVE yogurt Using MIP From line 231
Execution
Display
obj
x
y
z
w
p
s
Soluřtm
Deęiřtm
Stoklıřt
StoklıřFabr
Naklıř

k4 1.000
k5 1.000
+ 19 20 21
k1 1.000 1.000
k2 1.000 1.000
---- 232 VARIABLE z.L
1 1.000 j1 j2 j3 j4 j5 j6
3 1.000 1.000
4 1.000 1.000
5 1.000 1.000
6 1.000 1.000
8 1.000 1.000
9 1.000 1.000
11 1.000 1.000
12 1.000 1.000
14 1.000 1.000
15 1.000 1.000
16 1.000 1.000
+ j7
1 1.000
13 1.000
---- 232 VARIABLE w.L
INDEX 1 = 11

20234: 1

TR 00:19 19.11.2018

gamside: C:\Users\pc\Documents\gams\dir\projdir\gmsproj\gpr

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

C:\Users\pc\Documents\gams\dir\projdir\modelL_tajima alt kistsiz_alan kistsiz_maliyet aciliml.lst

modelL_tajima alt kistsiz_alan kistsiz_maliyet aciliml.lst

Compilation

Equation Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231

Equation

Column Listing SOLVE yogurt Using MIP From line 231

Column

Model Statistics SOLVE yogurt Using MIP From line 231

Solution Report SOLVE yogurt Using MIP From line 231

Solve

Solve

Execution

Display

obj

X

Y

Z

W

P

S

SolUrtm

DegrUrtm

StokMlyt

StokMlytFabr

Nakly

14.2 52.000

14.7 54.000

14.9 147.000

14.10 92.000

14.11 47.000

14.15 203.000

14.16 157.000

14.17 103.000

14.18 49.000

14.20 54.000

15.0 395.000

15.1 403.000

15.7 401.000

15.9 792.000

15.10 397.000

15.15 399.000

15.18 400.000

16.0 906.000

16.1 1577.000

16.2 669.000

16.3 909.000

16.5 1819.000

16.6 910.000

16.9 2552.000

16.10 1827.000

16.11 912.000

16.13 280.000

---- 232 VARIABLE SbtUrtm.L = 4820.000

VARIABLE DegrUrtm.L = 508881.070

VARIABLE StokMlyt.L = 363.027

VARIABLE StokMlytFabr.L = 294.760

VARIABLE Nakly.L = 4600.000

20762: 1

TR 00:22 19.11.2018

EK-2 MEVCUT DURUM İÇİN EN DÜŞÜK MALİYETLİ ÜRETİM VE DAĞITIM PLANI – GAMS PROGRAM ÇIKTILARI

Tabloda **planlama dönemleri t** indisi ile (1, 2, ... 10), **dağıtım merkezleri i** indisi ile (i0-fabrika, i1,i2, ... i6), **ürünler j** indisi ile (j1, j2, ...j7) ve **araçlar k** indisi ile (k1, k2, ... k5) gösterilmektedir.

* (GAMS programı “.” “,” ayracı olarak kullanmaktadır. 1.000 = 1)

* Modelin amaçladığı planlama kapsamı 10 gün olduğu halde 11-21. günler stok-zaman-talep üst kısıtını hesaplayabilmek için programa dâhil edilmiştir. Değişkenlerin 11. gün ve sonrası için hesaplanan değerleri mevcut 10 günlük planlama kapsamı dışındadır.

★ Variable obj tablosu bulunan optimum çözümde Amaç Fonksiyonunun aldığı değeri göstermektedir. (Objective function min Z toplam maliyet)						
----	VARIABLE	obj.L		518.664.010 TL		
★Variable X tablosu bulunan optimum çözümde $X_{i,k,t}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($X_{i,k,t}$: t döneminde k aracı i dağıtım merkezine gidiyorsa 1; aksi halde 0) Örneğin: i1 dağıtım merkezine k1 aracı, 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 ve 10. günler uğramaktadır. (modelin amaçladığı planlama kapsamı 10 gün olduğu halde 11-21. günler talep üst kısıtını hesaplayabilmek için programa dâhil edilmiştir.)						
----	VARIABLE	X.L				
	1	2	3	4	5	6
i1.k1	1.000		1.000	1.000	1.000	1.000
i2.k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i3.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i3.k5	1.000					
i4.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i4.k2	1.000					
i5.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	
i5.k3						1.000
i5.k5	1.000					
i6.k1		1.000	1.000	1.000		
i6.k4	1.000					1.000
i6.k5					1.000	

+	7	8	9	10	11	12
i1.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i1.k5	1.000					
i2.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i2.k5	1.000					
i3.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i3.k2	1.000					
i4.k1		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i4.k5	1.000					
i5.k1		1.000		1.000	1.000	1.000
i5.k2	1.000					
i5.k4			1.000			
i6.k1	1.000	1.000		1.000	1.000	1.000
i6.k2			1.000			
+	13	14	15	16	17	18
i1.k1	1.000	1.000		1.000		
i1.k2					1.000	
i1.k3			1.000			1.000
i2.k1	1.000	1.000		1.000		
i2.k3			1.000			1.000
i2.k4					1.000	
i3.k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
i4.k1	1.000	1.000		1.000		
i4.k3			1.000			1.000
i4.k4					1.000	
i5.k1	1.000	1.000		1.000		
i5.k2					1.000	
i5.k3						1.000
i5.k5			1.000			
i6.k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
+	19	20	21			
i1.k1			1.000			
i1.k2	1.000	1.000				
i2.k1			1.000			
i2.k2	1.000	1.000				
i3.k1		1.000	1.000			
i3.k2	1.000					
i4.k2	1.000	1.000				
i5.k1		1.000	1.000			
i5.k2	1.000					
i6.k1		1.000	1.000			
i6.k2	1.000					

★ **Variable Y tablosu** bulunan optimum çözümde $Y_{k,t}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($Y_{k,t}$: t döneminde k aracı kullanıldıysa 1; aksi halde 0) Örneğin: k1 aracı, t 1-10 her gün kullanılmış, k2 aracı 1,7 ve 10. gün kullanılmıştır.

----	VARIABLE	Y.L				
	1	2	3	4	5	6
k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
k2	1.000					
k3	1.000					1.000
k4	1.000					1.000
k5	1.000				1.000	
+	7	8	9	10	11	12
k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
k2	1.000		1.000			
k3			1.000			
k4			1.000			
k5	1.000		1.000			
+	13	14	15	16	17	18
k1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
k2					1.000	
k3			1.000			1.000
k4					1.000	
k5			1.000			
+	19	20	21			
k1		1.000	1.000			
k2	1.000	1.000				

★ **Variable Z tablosu** bulunan optimum çözümde $Z_{t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($Z_{t,j}$:t planlama döneminde j ürününden üretim yapılıyorsa 1; aksi halde 0) Örneğin j1 ürünü 1 ve 6. gün üretilmekte, diğer günlerde bu ürünün üretilmeyip stoklardan sevk yapılmaktadır.

----	VARIABLE	Z.L				
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
1	1.000			1.000		
3					1.000	
4			1.000			1.000
5		1.000				
6	1.000					

8				1.000		
9		1.000				
11			1.000			
12						1.000
14					1.000	
15		1.000				
16			1.000			
+	j7					
1	1.000					
13	1.000					

☆ **Variable W tablosu** bulunan optimum çözümde $W_{i,k,t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($W_{i,k,t,j}$: t döneminde k aracıyla i dağıtım merkezine j ürününden sevk edilen miktar) index 1= i1-i6 dağıtım merkezlerini ifade etmektedir. Örneğin i1 dağıtım merkezine k1 aracı 1. gün 52 kg j1, 126 kg j2, 80 kg j3, 52 kg j4, 50 kg j5, 84 kg j6 ve 110 kg j7 ürünü götürmektedir.

----	VARIABLE	W.L				
INDEX	1 = i1					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.1	52.000	126.000	80.000	52.000	50.000	84.000
k1.3	60.000	135.000	126.000	59.000	39.000	100.000
k1.4	71.000	131.000	95.000	52.000	57.000	80.000
k1.5	78.000	116.000	110.000	52.000	49.000	70.000
k1.6	79.000	137.000	105.000	54.000	47.000	77.000
k1.9	293.000	409.000	220.000	172.000	149.000	243.000
k1.11			84.000			
k1.12		101.000	95.000	60.000	34.000	77.000
k1.13	63.000	115.000	118.000	50.000	55.000	79.000
k1.14	63.000	134.000	88.000	52.000	22.000	94.000
k1.16			81.000			
k2.17			93.000			
k2.20	162.000	255.000	213.000	114.000	95.000	175.000
k3.15	232.000	365.000	113.000	163.000	210.000	249.000
k3.18	128.000	248.000	236.000	104.000		172.000
k5.7	162.000	258.000	222.000	111.000	92.000	173.000
+	j7					
k1.1	110.000					

k1.3	112.000					
k1.4	115.000					
k1.5	113.000					
k1.6	117.000					
k1.9	350.000					
k1.12	116.000					
k1.13	119.000					
k1.14	116.000					
k2.20	232.000					
k3.15	331.000					
k3.18	228.000					
k5.7	230.000					
INDEX	1 = i2					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.2	62.000	86.000	93.000	43.000	49.000	81.000
k1.3	34.000	97.000	84.000	42.000	38.000	82.000
k1.4	66.000	97.000	91.000	50.000	49.000	76.000
k1.5	49.000	127.000	85.000	44.000	28.000	91.000
k1.6	57.000	84.000	90.000	41.000	43.000	82.000
k1.9	247.000	571.000	164.000	268.000	205.000	261.000
k1.11			90.000			
k1.12			68.000			72.000
k1.13			98.000			73.000
k1.14			88.000		23.000	85.000
k1.16			96.000			
k2.19	69.000	97.000	78.000	45.000	20.000	85.000
k2.20	94.000	199.000	171.000	83.000	90.000	176.000
k3.15	106.000	178.000	91.000	91.000	65.000	174.000
k3.18	37.000	94.000	98.000	49.000	26.000	93.000
k4.17	46.000	93.000	76.000	43.000	70.000	76.000
k5.7	79.000	197.000	168.000	97.000	93.000	151.000
+	j7					
k1.2	91.000					
k1.3	94.000					
k1.4	90.000					
k1.5	94.000					
k1.6	92.000					
k1.9	366.000					
k1.13	90.000					
k1.14	92.000					
k2.19	93.000					

k2.20	187.000					
k3.15	188.000					
k3.18	92.000					
k4.17	95.000					
k5.7	185.000					
INDEX	1 = i3					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.2		49.000				
k1.3	12.000	47.000	41.000	28.000	26.000	33.000
k1.4	13.000	52.000	40.000	27.000	32.000	37.000
k1.5	11.000	58.000	51.000	33.000	23.000	50.000
k1.6	64.000	60.000	142.000	88.000	58.000	122.000
k1.8		64.000				
k1.9	124.000	48.000	119.000	181.000	96.000	124.000
k1.10		53.000				
k1.11		37.000	63.000			
k1.12		39.000	34.000			27.000
k1.13		64.000	34.000			54.000
k1.14		52.000	53.000		35.000	25.000
k1.15	34.000	49.000	61.000	34.000	11.000	52.000
k1.16	18.000	35.000	14.000	29.000	31.000	49.000
k1.17	28.000	59.000	59.000	34.000	33.000	44.000
k1.18	29.000	59.000	50.000	28.000	17.000	52.000
k1.20	30.000	55.000	26.000	32.000	15.000	35.000
k1.21	24.000	38.000	53.000	30.000	32.000	45.000
k2.7		65.000				
k2.19	24.000	41.000	21.000	30.000	26.000	60.000
k5.1	28.000		18.000	35.000	6.000	55.000
+	j7					
k1.3	71.000					
k1.4	64.000					
k1.5	72.000					
k1.6	197.000					
k1.9	275.000					
k1.13	73.000					
k1.14	69.000					
k1.15	71.000					
k1.16	70.000					
k1.17	69.000					
k1.18	61.000					
k1.20	75.000					
k1.21	68.000					
k2.19	73.000					

k5.1	67.000					
INDEX	1 = i4					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.3				28.000		
k1.4	24.000	30.000	16.000	20.000	36.000	41.000
k1.5	24.000	34.000	28.000	22.000	13.000	16.000
k1.6	16.000	33.000	25.000	27.000	25.000	41.000
k1.9	127.000	245.000	51.000	146.000	205.000	107.000
k1.11			16.000			
k1.12			16.000			32.000
k1.13			18.000			19.000
k1.14			25.000		11.000	17.000
k1.16			18.000			
k2.1	45.000	77.000	45.000	25.000	86.000	49.000
k2.20	37.000	102.000	34.000	52.000	73.000	84.000
k3.15	74.000	207.000	26.000	122.000	179.000	161.000
k4.17			67.000			
k5.7	46.000	76.000	55.000	54.000	39.000	81.000
+	j7					
k1.4	48.000					
k1.5	53.000					
k1.6	46.000					
k1.9	199.000					
k1.13	45.000					
k1.14	50.000					
k2.1	107.000					
k2.20	106.000					
k3.15	257.000					
k5.7	105.000					
INDEX	1 = i5					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.3		16.000		463.000	309.000	
k1.4	420.000	879.000	537.000	461.000	320.000	468.000
k1.5	378.000	855.000	562.000	467.000	681.000	453.000
k1.10			285.000			
k1.11	318.000		655.000			
k1.12	403.000	666.000	445.000		298.000	469.000
k1.13	404.000	855.000	558.000	467.000	295.000	456.000
k1.14	375.000	866.000	558.000	464.000	285.000	452.000
k1.16			533.000			
k1.20	156.000		561.000	467.000		467.000
k1.21	394.000	850.000	544.000	469.000	282.000	468.000

k2.7		1.747.000	710.000	967.000		2.305.000
k2.17	1.353.000	889.000	1.011.000	1.391.000	985.000	473.000
k3.6	2.086.000	887.000	923.000	466.000	1.386.000	454.000
k3.18		2.603.000	666.000			921.000
k4.9		2.801.000	788.000	1.818.000		
k5.1	804.000	1.748.000	1.114.000	462.000	305.000	924.000
k5.15	793.000	1.758.000	563.000	925.000	856.000	911.000
+	j7					
k1.3	405.000					
k1.4	400.000					
k1.5	405.000					
k1.12	404.000					
k1.13	405.000					
k1.14	405.000					
k1.20	405.000					
k1.21	402.000					
k2.7	806.000					
k2.17	405.000					
k3.6	398.000					
k3.18	805.000					
k4.9	1.193.000					
k5.1	403.000					
k5.15	794.000					
INDEX	1 = i6					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.2	461.000	1.352.000		1.834.000		2.399.000
k1.3	896.000	1.361.000		607.000		
k1.4		1.392.000	123.000			
k1.7		1.432.000	1.938.000	1.281.000	1.141.000	808.000
k1.8		1.268.000		3.559.000		796.000
k1.10		2.659.000	972.000		824.000	1.618.000
k1.11		3.832.000	1.505.000			
k1.12			2.346.000			798.000
k1.13						807.000
k1.14		299.000			278.000	797.000
k1.15	458.000	1.346.000	948.000	1.215.000	617.000	793.000
k1.16	457.000	1.356.000	969.000		1.143.000	793.000
k1.17	1.440.000	1.357.000	945.000	613.000	203.000	803.000
k1.18	808.000	1.357.000	970.000	1.462.000		793.000
k1.20		2.579.000				790.000
k1.21			947.000	237.000		802.000

k2.9		1.377.000	959.000			798.000
k2.19		1.505.000	1.905.000	717.000		797.000
k4.1			3.759.000		1.264.000	
k4.6	3.787.000	1.404.000		599.000		810.000
k5.5	650.000	1.315.000	937.000		162.000	809.000
+	j7					
k1.3	1.155.000					
k1.8	913.000					
k1.10	189.000					
k1.13	1.186.000					
k1.14	627.000					
k1.15	911.000					
k1.16	908.000					
k1.17	913.000					
k1.18	914.000					
k1.20	907.000					
k1.21	915.000					
k2.9	3.466.000					
k2.19	914.000					
k4.1	1.577.000					
k5.5	2.727.000					

☆ **Variable P tablosu** bulunan optimum çözümde $P_{t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($P_{t,j}$: t dönemindeki j ürünü üretim miktarı) Örneğin j1 ürünü 1. gün 5000kg, 6. gün 12.062 kg üretilmekte; diğer günler bu ürünün üretimi yapılmamaktadır.

----	VARIABLE	P.L				
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
1	5.000.000			5.000.000		
3					6.544.000	
4			1.611.000			10.562.000
5		10.217.000				
6	12.062.000					
8				15.816.000		
9		15.223.000				
11			8.857.000			
12						15.026.000
14					5.733.000	
15		17.774.000				
16			1.535.000			

+	j7					
1	13.115.000					
13	14.766.000					

★ **Variable S tablosu** bulunan optimum çözümde $S_{i,t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($S_{i,t,j}$: i0 fabrikayı göstermek üzere fabrika veya dağıtım merkezinde t. dönemdeki j ürünü dönem sonu stok miktarı) Örneğin fabrikada 1. gün sonunda 7.071 kg j1, 5.724 kg j2, 344 kg j3, 8.177 kg j4, 452 kg j5, 3.375 kg j6 ve 15.756 kg j7 ürününden stok kalmıştır.

----	VARIABLE	S.L				
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
i0.0	3.000.000	7.675.000	5.360.000	3.691.000	2.163.000	4.487.000
i0.1	7.071.000	5.724.000	344.000	8.117.000	452.000	3.375.000
i0.2	6.548.000	4.237.000	251.000	6.240.000	403.000	895.000
i0.3	5.546.000	2.581.000		5.013.000	6.535.000	680.000
i0.4	4.952.000		9.709.000	4.403.000	6.041.000	10.540.000
i0.5	3.762.000	7.712.000	7.936.000	3.785.000	5.085.000	9.051.000
i0.6	9.735.000	5.107.000	6.651.000	2.510.000	3.526.000	7.465.000
i0.7	9.448.000	1.332.000	3.558.000		2.161.000	3.947.000
i0.8	9.448.000		3.558.000	12.257.000	2.161.000	3.151.000
i0.9	8.657.000	9.772.000	1.257.000	9.672.000	1.506.000	1.618.000
i0.10	8.657.000	7.060.000		9.672.000	682.000	
i0.11	8.339.000	3.191.000	6.444.000	9.672.000	682.000	
i0.12	7.936.000	2.385.000	3.440.000	9.612.000	350.000	13.551.000
i0.13	7.469.000	1.351.000	2.614.000	9.095.000		12.063.000
i0.14	7.031.000		1.802.000	8.579.000	5.079.000	10.593.000
i0.15	5.334.000	13.871.000		6.029.000	3.141.000	8.253.000
i0.16	4.859.000	12.480.000	8.824.000	6.000.000	1.967.000	7.411.000
i0.17	1.992.000	10.082.000	6.573.000	3.919.000	676.000	6.015.000
i0.18	990.000	5.721.000	4.553.000	2.276.000	633.000	3.984.000
i0.19	897.000	4.078.000	2.549.000	1.484.000	587.000	3.042.000
i0.20	418.000	888.000	1.544.000	736.000	314.000	1.315.000
i1.0	84.000	134.000	126.000	59.000	25.000	80.000
i1.1	52.000	126.000	80.000	52.000	50.000	84.000
i1.7	86.000	140.000	96.000	54.000	46.000	91.000
i1.9	208.000	283.000	118.000	114.000	92.000	169.000
i1.10	140.000	151.000		58.000	56.000	74.000

i1.11	54.000	31.000				
i1.15	179.000	244.000		112.000	151.000	175.000
i1.16	95.000	133.000		59.000	129.000	90.000
i1.17	21.000				89.000	
i1.18	76.000	118.000	109.000	54.000	54.000	85.000
i1.20	72.000	115.000	105.000	59.000	50.000	76.000
i2.0	34.000	123.000	100.000	43.000	50.000	76.000
i2.7	37.000	83.000	94.000	48.000	45.000	73.000
i2.9	212.000	471.000	70.000	220.000	158.000	173.000
i2.10	182.000	391.000		178.000	110.000	87.000
i2.11	150.000	310.000		130.000	65.000	
i2.12	100.000	201.000		88.000	41.000	
i2.13	40.000	107.000		44.000		
i2.15	38.000	87.000		41.000	31.000	79.000
i2.17					24.000	
i2.20	63.000	112.000	74.000	40.000	42.000	95.000
i3.0	17.000	38.000	31.000	26.000	18.000	40.000
i3.1	28.000		18.000	35.000	6.000	55.000
i3.6	41.000		81.000	55.000	26.000	79.000
i3.7	23.000		37.000	26.000	10.000	34.000
i3.9	98.000		60.000	152.000	91.000	82.000
i3.10	78.000			117.000	74.000	41.000
i3.11	59.000			82.000	56.000	
i3.12	44.000			53.000	33.000	
i3.13	17.000			28.000		
i4.0	21.000	41.000	29.000	27.000	26.000	17.000
i4.1	45.000	77.000	45.000	25.000	86.000	49.000
i4.2	20.000	36.000	28.000		35.000	31.000
i4.7	25.000	33.000	25.000	25.000	19.000	38.000
i4.9	105.000	209.000	26.000	118.000	148.000	71.000
i4.10	84.000	170.000		98.000	109.000	37.000
i4.11	59.000	121.000		76.000	83.000	
i4.12	37.000	87.000		48.000	41.000	
i4.13	25.000	55.000		20.000		
i4.15	56.000	174.000		102.000	122.000	139.000
i4.16	45.000	133.000		72.000	107.000	114.000
i4.17	25.000	78.000	39.000	46.000	72.000	76.000
i4.18	11.000	33.000	24.000	21.000	58.000	44.000
i4.20	12.000	47.000	19.000	27.000	49.000	42.000
i5.0	403.000	870.000	565.000	463.000	299.000	472.000
i5.1	804.000	1.748.000	1.114.000	462.000	305.000	924.000
i5.2	395.000	868.000	571.000			473.000
i5.5					381.000	
i5.6	1.670.000		394.000		1.487.000	

i5.7	1.288.000	867.000	547.000	499.000	1.167.000	1.831.000
i5.8	910.000			37.000	883.000	1.377.000
i5.9	512.000	1.923.000	241.000	1.393.000	602.000	926.000
i5.10	99.000	1.040.000		927.000	295.000	465.000
i5.11		185.000	102.000	462.000		
i5.15	390.000	878.000		461.000	548.000	458.000
i5.16					240.000	
i5.17	974.000		457.000	925.000	928.000	
i5.18	585.000	1.748.000	573.000	464.000	611.000	451.000
i5.19	214.000	875.000			298.000	
i6.0	434.000	1.375.000	972.000	612.000	274.000	799.000
i6.1			3.759.000		1.264.000	
i6.2			2.787.000	1.225.000	975.000	1.604.000
i6.3	447.000		1.823.000	1.217.000	701.000	804.000
i6.4		42.000	979.000	605.000	412.000	
i6.5	187.000		949.000		290.000	
i6.6	3.546.000	38.000				
i6.7	3.116.000	110.000	966.000	679.000	868.000	
i6.8	2.660.000			3.640.000	589.000	
i6.9	2.230.000			3.036.000	306.000	
i6.10	1.775.000	1.308.000		2.440.000	842.000	808.000
i6.11	1.342.000	3.787.000	559.000	1.835.000	565.000	
i6.12	903.000	2.423.000	1.937.000	1.223.000	277.000	
i6.13	461.000	1.069.000	965.000	608.000		
i6.15				610.000	342.000	
i6.16					1.198.000	
i6.17	1.011.000				1.121.000	
i6.18	1.371.000			863.000	833.000	
i6.19	919.000	134.000	955.000	975.000	551.000	
i6.20	464.000	1.359.000		378.000	279.000	
+	j7					
i0.0	4.905.000					
i0.1	15.756.000					
i0.2	15.665.000					
i0.3	13.828.000					
i0.4	13.111.000					
i0.5	9.647.000					
i0.6	8.797.000					
i0.7	7.471.000					
i0.8	6.558.000					
i0.9	709.000					
i0.10	520.000					
i0.11	520.000					

i0.13	12.848.000					
i0.14	11.489.000					
i0.15	8.937.000					
i0.16	7.959.000					
i0.17	6.477.000					
i0.18	4.377.000					
i0.19	3.297.000					
i0.20	1.385.000					
i1.0	112.000					
i1.1	110.000					
i1.7	114.000					
i1.9	236.000					
i1.10	120.000					
i1.15	220.000					
i1.16	110.000					
i1.18	114.000					
i1.20	118.000					
i2.0	93.000					
i2.7	93.000					
i2.9	273.000					
i2.10	182.000					
i2.11	92.000					
i2.15	93.000					
i2.20	93.000					
i3.0	70.000					
i3.1	67.000					
i3.6	128.000					
i3.7	63.000					
i3.9	205.000					
i3.10	136.000					
i3.11	73.000					
i4.0	46.000					
i4.1	107.000					
i4.2	52.000					
i4.7	54.000					
i4.9	147.000					
i4.10	92.000					
i4.11	47.000					
i4.15	203.000					
i4.16	157.000					
i4.17	103.000					
i4.18	49.000					
i4.20	54.000					
i5.0	395.000					

i5.1	403.000					
i5.7	401.000					
i5.9	792.000					
i5.10	397.000					
i5.15	399.000					
i5.18	400.000					
i6.0	906.000					
i6.1	1.577.000					
i6.2	669.000					
i6.3	909.000					
i6.5	1.819.000					
i6.6	910.000					
i6.9	2.552.000					
i6.10	1.827.000					
i6.11	912.000					
i6.13	280.000					

EK-3 OPTİMUM TOPLAM MALİYETİ İÇİN ÖNERİLEN YENİ ÜRETİM VE DAĞITIM PLANI – GAMS PROGRAM ÇIKTILARI

Tabloda **planlama dönemleri t** indisi ile (1, 2, ... 10), **dağıtım merkezleri i** indisi ile (i0-fabrika, i1,i2, ... i6), **ürünler j** indisi ile (j1, j2, ...j7) ve **araçlar k** indisi ile (k1, k2, ... k5) gösterilmektedir.

* (GAMS programı “.” “,” ayracı olarak kullanmaktadır. 1.000 = 1)

* Modelin amaçladığı planlama kapsamı 10 gün olduğu halde 11-21. günler stok-zaman-talep üst kısıtını hesaplayabilmek için programa dâhil edilmiştir. Değişkenlerin 11. gün ve sonrası için hesaplanan değerleri mevcut 10 günlük planlama kapsamı dışındadır.

★ Variable obj bulunan optimum çözümde Amaç Fonksiyonunun aldığı değeri göstermektedir. (Objective function min Z toplam maliyet)						
----	VARIABLE	obj.L		517.461,46 TL		
★ Variable X bulunan optimum çözümde $X_{i,k,t}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($X_{i,k,t}$: t döneminde k aracı i dağıtım merkezine gidiyorsa 1; aksi halde 0) Örneğin: i1 dağıtım merkezine k1 aracı, 4, 6, 7,8 ve 9. günler uğramaktadır. (modelin amaçladığı planlama kapsamı 10 gün olduğu halde 11-21. günler talep üst kısıtını hesaplayabilmek için programa dâhil edilmiştir.)						
----	VARIABLE	X.L				
	1	2	3	4	5	6
i1.k1				1.000		1.000
i1.k3		1.000				
i1.k4					1.000	
i1.k7			1.000			
i2.k1			1.000	1.000		1.000
i2.k3		1.000				
i2.k4					1.000	
i3.k1			1.000	1.000		1.000
i3.k3		1.000				
i3.k4					1.000	
i4.k1			1.000	1.000		1.000
i4.k3		1.000				

i4.k4					1.000	
i5.k1			1.000	1.000		1.000
i5.k3		1.000				
i5.k4					1.000	
i6.k1				1.000		1.000
i6.k3		1.000				
i6.k4	1.000				1.000	
i6.k7			1.000			
+	7	8	9	10	11	12
i1.k1	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000
i1.k3				1.000		
i2.k1	1.000	1.000			1.000	1.000
i2.k3				1.000		
i2.k5			1.000			
i3.k1	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000
i3.k3				1.000		
i4.k1	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000
i4.k3				1.000		
i5.k1	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000
i5.k3				1.000		
i6.k1	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000
i6.k3				1.000		
+	13	14	15	16	17	18
i1.k1		1.000		1.000		1.000
i1.k2			1.000		1.000	
i1.k3	1.000					
i2.k1		1.000		1.000		1.000
i2.k2			1.000		1.000	
i2.k3	1.000					
i3.k1		1.000		1.000		1.000
i3.k2			1.000		1.000	
i3.k3	1.000					
i4.k1		1.000		1.000		1.000
i4.k2			1.000		1.000	
i4.k3	1.000					
i5.k1		1.000		1.000		1.000
i5.k2			1.000		1.000	
i5.k3	1.000					
i6.k1		1.000		1.000		1.000
i6.k2			1.000			
i6.k3	1.000					
i6.k5					1.000	
+	19	20	21			

i1.k1	1.000		1.000			
i1.k2		1.000				
i2.k1	1.000		1.000			
i2.k2		1.000				
i3.k1	1.000		1.000			
i3.k2		1.000				
i4.k1	1.000		1.000			
i4.k2		1.000				
i5.k1	1.000		1.000			
i5.k2		1.000				
i6.k1	1.000		1.000			
i6.k2		1.000				
☆ Variable Y bulunan optimum çözümde $Y_{k,t}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($Y_{k,t}$: t döneminde k aracı kullanıldıysa 1; aksi halde 0) Örneğin: k1 aracı, 3, 4, 6, 7, 8 ve 9.günler kullanılmıştır.						
----	VARIABLE	Y.L				
	1	2	3	4	5	6
k1			1.000	1.000		1.000
k3		1.000				
k4	1.000				1.000	
k7			1.000			
+	7	8	9	10	11	12
k1	1.000	1.000	1.000		1.000	1.000
k3				1.000		
k5			1.000			
+	13	14	15	16	17	18
k1		1.000		1.000		1.000
k2			1.000		1.000	
k3	1.000					
k5					1.000	
+	19	20	21			
k1	1.000		1.000			
k2		1.000				

★ **Variable Z** bulunan optimum çözümde $Z_{t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($Z_{t,j}$: t planlama döneminde j ürününden üretim yapılıyorsa 1; aksi halde 0)
Örneğin j1 ürünü planlama dönemi içinde sadece 2. gün üretilmekte, diğer günlerde bu ürünün üretilmeyip stoklardan sevk yapılmaktadır.

----	VARIABLE	Z.L				
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
1		1.000				
2	1.000					
3			1.000		1.000	1.000
5				1.000		
7		1.000				
8						1.000
11		1.000				
13			1.000			
14	1.000					
15				1.000		
+	j7					
4	1.000					
15	1.000					

★ **Variable W** bulunan optimum çözümde $W_{i,k,t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($W_{i,k,t,j}$: t döneminde k aracıyla i dağıtım merkezine j ürününden sevk edilen miktar) index 1= i1-i6 dağıtım merkezlerini ifade etmektedir. Örneğin i1 dağıtım merkezine k1 aracı 6. gün 79 kg j1, 137 kg j2, 105 kg j3, 54 kg j4, 47 kg j5, 77 kg j6 ve 117 kg j7 ürünü götürmektedir.

----	VARIABLE	W.L				
INDEX	1 = i1					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.6	79.000	137.000	105.000	54.000	47.000	77.000
k1.7	76.000	118.000	126.000	57.000	46.000	82.000
k1.8	86.000	140.000	96.000	54.000	46.000	91.000
k1.9	85.000	126.000	102.000	58.000	57.000	74.000
k1.11	86.000	120.000	84.000	58.000	56.000	74.000
k1.12	54.000	132.000	95.000	60.000	34.000	77.000
k1.14	63.000	134.000	88.000	52.000	22.000	94.000
k1.16	84.000	111.000	81.000	53.000	22.000	85.000
k1.18	73.000	130.000	127.000	50.000	35.000	87.000

k1.19	76.000	118.000	109.000	54.000	54.000	85.000
k1.21	72.000	115.000	105.000	59.000	50.000	76.000
k2.15	53.000	121.000	113.000	51.000	59.000	74.000
k2.17	74.000	133.000	93.000	59.000	40.000	90.000
k2.20	90.000	140.000	108.000	55.000	45.000	99.000
k3.2	52.000	126.000	80.000	52.000	50.000	84.000
k3.10	68.000	132.000	118.000	56.000	36.000	95.000
k3.13	63.000	115.000	118.000	50.000	55.000	79.000
k4.5				52.000		
k7.3	209.000	382.000	331.000	111.000	145.000	250.000
+	j7					
k1.6	117.000					
k1.7	116.000					
k1.8	114.000					
k1.9	114.000					
k1.11	120.000					
k1.12	116.000					
k1.14	116.000					
k1.16	110.000					
k1.18	114.000					
k1.19	114.000					
k1.21	118.000					
k2.15	111.000					
k2.17	110.000					
k2.20	114.000					
k3.2	110.000					
k3.10	116.000					
k3.13	119.000					
k7.3	340.000					
INDEX	1 = i2					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.3	34.000	97.000	84.000	42.000	38.000	82.000
k1.4	66.000	97.000	91.000	50.000	49.000	76.000
k1.6	57.000	84.000	90.000	41.000	43.000	82.000
k1.7	42.000	114.000	74.000	49.000	48.000	78.000
k1.8	37.000	83.000	94.000	48.000	45.000	73.000
k1.11		81.000				
k1.12		109.000				
k1.14	40.000	107.000	88.000			
k1.16	38.000	87.000	96.000	41.000		
k1.18	37.000	94.000	98.000	49.000	50.000	58.000
k1.19	69.000	97.000	78.000	45.000	20.000	85.000
k1.21	63.000	112.000	74.000	40.000	42.000	95.000
k2.15	68.000	91.000	91.000	50.000		

k2.17	46.000	93.000	76.000	43.000		
k2.20	31.000	87.000	97.000	43.000	48.000	81.000
k3.2	62.000	86.000	93.000	43.000	49.000	81.000
k3.13		94.000	98.000			
k4.5	49.000	127.000	85.000	44.000	28.000	91.000
k5.9	207.000	180.000	322.000	268.000	339.000	776.000
+	j7					
k1.3	94.000					
k1.4	90.000					
k1.6	92.000					
k1.7	92.000					
k1.8	93.000					
k1.16	93.000					
k1.18	92.000					
k1.19	93.000					
k1.21	93.000					
k2.15	95.000					
k2.17	95.000					
k2.20	94.000					
k3.2	91.000					
k4.5	94.000					
k5.9	548.000					
INDEX	1 = i3					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.3	12.000	47.000	41.000	28.000	26.000	33.000
k1.4	13.000	52.000	40.000	27.000	32.000	37.000
k1.6	23.000	60.000	61.000	33.000	32.000	43.000
k1.7	18.000	65.000	44.000	29.000	16.000	45.000
k1.8	23.000	64.000	37.000	26.000	10.000	34.000
k1.9	26.000	48.000	59.000	29.000	5.000	42.000
k1.11	19.000	37.000	63.000	35.000	18.000	41.000
k1.12	15.000	39.000	34.000	29.000	23.000	27.000
k1.14	17.000	52.000	53.000	28.000	35.000	25.000
k1.16	18.000	35.000	14.000	29.000	31.000	49.000
k1.18	29.000	59.000	50.000	28.000	17.000	52.000
k1.19	24.000	41.000	21.000	30.000	26.000	60.000
k1.21	24.000	38.000	53.000	30.000	32.000	45.000
k2.15	34.000	49.000	61.000	34.000	11.000	52.000
k2.17	28.000	59.000	59.000	34.000	33.000	44.000
k2.20	30.000	55.000	26.000	32.000	15.000	35.000
k3.2	28.000	49.000	18.000	35.000	6.000	55.000
k3.10	20.000	53.000	60.000	35.000	17.000	41.000
k3.13	27.000	64.000	34.000	25.000	33.000	54.000
k4.5	11.000	58.000	51.000	33.000	23.000	50.000

+	j7					
k1.3	71.000					
k1.4	64.000					
k1.6	69.000					
k1.7	65.000					
k1.8	63.000					
k1.9	70.000					
k1.11	63.000					
k1.12	73.000					
k1.14	69.000					
k1.16	70.000					
k1.18	61.000					
k1.19	73.000					
k1.21	68.000					
k2.15	71.000					
k2.17	69.000					
k2.20	75.000					
k3.2	67.000					
k3.10	69.000					
k3.13	73.000					
k4.5	72.000					
INDEX	1 = i4					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.3		36.000	28.000			31.000
k1.4	27.000	97.000	207.000			239.000
k1.6				109.000	362.000	
k1.7		43.000				
k1.8		33.000				
k1.9		36.000				200.000
k1.11		299.000				
k1.14	74.000					
k1.18	14.000	45.000	15.000	25.000	14.000	32.000
k1.19	11.000	33.000	24.000	21.000	58.000	44.000
k1.21	12.000	47.000	19.000	27.000	49.000	42.000
k2.15				50.000		
k2.17				26.000		
k2.20	25.000	55.000	15.000	25.000	24.000	42.000
k3.2	176.000	41.000	17.000	81.000	135.000	18.000
k3.10		39.000		118.000		
k3.13			115.000		25.000	
k4.5	54.000			14.000		
+	j7					
k1.18	54.000					

k1.19	49.000					
k1.21	54.000					
k2.15	100.000					
k2.17	54.000					
k2.20	52.000					
k3.2	566.000					
k3.10	87.000					
INDEX	1 = i5					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.3	995.000	2.618.000	571.000	463.000	3.083.000	941.000
k1.4			1.099.000	461.000		
k1.6		887.000	1.086.000			679.000
k1.7		2.385.000		468.000		249.000
k1.8		240.000	547.000	462.000		1.474.000
k1.9			547.000	1.206.000		
k1.11	1.224.000	1.718.000	10.000			357.000
k1.12		3.133.000				469.000
k1.14	1.168.000		421.000	464.000	901.000	
k1.18	389.000	855.000	550.000	461.000	317.000	470.000
k1.19	371.000	873.000	573.000	464.000	313.000	451.000
k1.21	394.000	850.000	544.000	469.000	282.000	468.000
k2.15			619.000	925.000		1.112.000
k2.17	379.000	889.000	554.000	466.000	297.000	272.000
k2.20	370.000	875.000	561.000	467.000	298.000	467.000
k3.2	409.000	880.000	543.000	462.000	305.000	451.000
k3.10		883.000	1.616.000	649.000	206.000	
k3.13		334.000	1.172.000	467.000		908.000
k4.5	2.185.000			933.000		453.000
+	j7					
k1.3	405.000					
k1.4	1.608.000					
k1.8	401.000					
k1.9	1.597.000					
k1.14	405.000					
k1.16	325.000					
k1.18	405.000					
k1.19	400.000					
k1.21	402.000					
k2.15	469.000					
k2.17	405.000					
k2.20	405.000					
k3.2	403.000					
k3.13	405.000					

INDEX	1 = i6					
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
k1.4			5.378.000			
k1.6	345.000	1.366.000				1.618.000
k1.7	430.000	2.738.000		1.195.000	282.000	
k1.8	456.000			609.000		4.321.000
k1.9	1.057.000	2.728.000	666.000			
k1.11		3.133.000		2.204.000		
k1.12		5.381.000				
k1.14	1.805.000				274.000	2.398.000
k1.16					1.168.000	
k1.18	448.000	1.357.000	960.000			1.590.000
k1.19	452.000	1.371.000	1.501.000	605.000		
k1.21	464.000	1.359.000	403.000	615.000	279.000	802.000
k2.15		984.000		1.215.000		
k2.20	455.000	1.354.000	475.000	597.000	241.000	790.000
k3.2			1.570.000		1.618.000	
k3.10	1.142.000			832.000		671.000
k3.13			3.854.000			613.000
k4.1	1.357.000	1.944.000		1.836.000		2.399.000
k4.5	546.000	1.357.000	569.000	1.204.000		809.000
k5.17			1.428.000	1.212.000		
k7.3		2.119.000	2.419.000		1.770.000	
+	j7					
k1.6	2.022.000					
k1.7	710.000					
k1.9	914.000					
k1.14	907.000					
k1.18	509.000					
k1.19	914.000					
k1.21	915.000					
k2.15	3.137.000					
k2.20	907.000					
k3.2	908.000					
k3.10	2.741.000					
k3.13	906.000					
k4.5	908.000					
k7.3	1.824.000					

★ **Variable P** bulunan optimum çözümde $P_{t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($P_{t,j}$: t dönemindeki j ürünü üretim miktarı) Örneğin j1 ürünü planlama dönemi içinde sadece 2. gün 9050 kg üretilmekte; diğer günler bu ürünün üretimi yapılmamaktadır.

----	VARIABLE	P.L				
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
1		5.072.000				
2	9.050.000					
3			14.091.000		12.277.000	5.000.000
5				12.237.000		
7		10.248.000				
8						20.588.000
11		27.894.000				
13			15.912.000			
14	8.012.000					
15				8.579.000		
+	j7					
4	16.392.000					
15	11.489.000					

★ **Variable S** bulunan optimum çözümde $S_{i,t,j}$ değişkeninin aldığı değerleri göstermektedir. ($S_{i,t,j}$: i0 fabrikayı göstermek üzere fabrika veya dağıtım merkezinde t. dönemdeki j ürünü dönem sonu stok miktarı) Örneğin fabrikada 1. gün sonunda 1.643 kg j1, 10.803 kg j2, 5.360 kg j3 1.855 kg j4, 2.163 kg j5, 2.088 kg j6 ve 4.905 kg j7 ürününden stok kalmıştır.

----	VARIABLE	S.L				
	j1	j2	j3	j4	j5	j6
i0.0	3.000.000	7.675.000	5.360.000	3.691.000	2.163.000	4.487.000
i0.1	1.643.000	10.803.000	5.360.000	1.855.000	2.163.000	2.088.000
i0.2	9.966.000	9.621.000	3.039.000	1.182.000		1.399.000
i0.3	8.716.000	4.322.000	13.656.000	538.000	7.215.000	5.062.000
i0.4	8.610.000	4.076.000	6.841.000		7.134.000	4.710.000
i0.5	5.765.000	2.534.000	6.136.000	9.957.000	7.083.000	3.307.000
i0.6	5.261.000		4.794.000	9.720.000	6.599.000	808.000
i0.7	4.695.000	4.785.000	4.550.000	7.922.000	6.207.000	354.000
i0.8	4.093.000	4.225.000	3.776.000	6.723.000	6.106.000	14.949.000
i0.9	2.718.000	1.107.000	2.080.000	5.162.000	5.705.000	13.857.000
i0.10	1.488.000		286.000	3.472.000	5.446.000	13.050.000
i0.11	159.000	22.506.000	129.000	1.175.000	5.372.000	12.578.000
i0.12	90.000	13.712.000		1.086.000	5.315.000	12.005.000

i0.13		13.105.000	10.521.000	544.000	5.202.000	10.351.000
i0.14	4.845.000	12.812.000	9.871.000		3.970.000	7.834.000
i0.15	4.690.000	11.567.000	8.987.000	6.254.000	3.900.000	6.596.000
i0.16	4.550.000	11.334.000	8.796.000	6.131.000	2.679.000	6.462.000
i0.17	4.023.000	10.160.000	6.586.000	4.291.000	2.309.000	6.056.000
i0.18	3.033.000	7.620.000	4.786.000	3.678.000	1.876.000	3.767.000
i0.19	2.030.000	5.087.000	2.480.000	2.459.000	1.405.000	3.042.000
i0.20	1.029.000	2.521.000	1.198.000	1.240.000	734.000	1.528.000
i1.0	84.000	134.000	126.000	59.000	25.000	80.000
i1.3	149.000	247.000	205.000	52.000	106.000	150.000
i1.4	78.000	116.000	110.000		49.000	70.000
i2.0	34.000	123.000	100.000	43.000	50.000	76.000
i2.9	172.000	80.000	228.000	220.000	292.000	688.000
i2.10	142.000		158.000	178.000	244.000	602.000
i2.11	110.000		68.000	130.000	199.000	515.000
i2.12	60.000			88.000	175.000	443.000
i2.13				44.000	134.000	370.000
i2.14					111.000	285.000
i2.15					77.000	190.000
i2.16					46.000	111.000
i2.17						35.000
i3.0	17.000	38.000	31.000	26.000	18.000	40.000
i4.0	21.000	41.000	29.000	27.000	26.000	17.000
i4.2	151.000			56.000	84.000	
i4.3	131.000			28.000	49.000	
i4.4	134.000	67.000	191.000	8.000	13.000	198.000
i4.5	164.000	33.000	163.000			182.000
i4.6	148.000		138.000	82.000	337.000	141.000
i4.7	127.000		108.000	53.000	317.000	98.000
i4.8	102.000		83.000	28.000	298.000	60.000
i4.9	80.000		58.000		241.000	224.000
i4.10	59.000		32.000	98.000	202.000	190.000
i4.11	34.000	250.000	16.000	76.000	176.000	153.000
i4.12	12.000	216.000		48.000	134.000	121.000
i4.13		184.000	97.000	20.000	118.000	102.000
i4.14	49.000	129.000	72.000		107.000	85.000
i4.15	31.000	96.000	46.000	30.000	50.000	63.000
i4.16	20.000	55.000	28.000		35.000	38.000
i5.0	403.000	870.000	565.000	463.000	299.000	472.000
i5.3	600.000	1.734.000			2.774.000	468.000
i5.4	180.000	855.000	562.000		2.454.000	
i5.5	1.987.000			466.000	2.154.000	
i5.6	1.571.000		557.000		1.874.000	225.000
i5.7	1.189.000	1.505.000			1.554.000	
i5.8	811.000	878.000			1.270.000	1.020.000
i5.9	413.000			744.000	989.000	569.000

i5.10			1.090.000	927.000	888.000	108.000
i5.11	807.000	863.000	547.000	462.000	593.000	
i5.12	404.000	3.145.000			295.000	
i5.13		2.624.000	614.000			452.000
i5.14	793.000	1.758.000	477.000		616.000	
i5.15	390.000	878.000	533.000	461.000	308.000	659.000
i5.16						201.000
i6.0	434.000	1.375.000	972.000	612.000	274.000	799.000
i6.1	1.357.000	1.944.000		1.836.000		2.399.000
i6.2	896.000	592.000	598.000	1.227.000	1.329.000	1.604.000
i6.3	447.000	1.350.000	2.053.000	612.000	2.825.000	804.000
i6.4			6.464.000		2.536.000	
i6.5	83.000		6.066.000	599.000	2.252.000	
i6.6			5.117.000		1.962.000	808.000
i6.7		1.378.000	4.145.000	593.000	1.971.000	
i6.8			3.179.000	604.000	1.692.000	3.525.000
i6.9	627.000	1.351.000	2.886.000		1.409.000	2.727.000
i6.10	1.314.000		1.914.000	236.000	1.121.000	2.588.000
i6.11	881.000	1.780.000	968.000	1.835.000	844.000	1.780.000
i6.12	442.000	5.797.000		1.223.000	556.000	982.000
i6.13		4.443.000	2.882.000	608.000	279.000	788.000
i6.14	1.344.000	3.075.000	1.917.000		275.000	2.389.000
i6.15	886.000	2.713.000	969.000	610.000		1.596.000
i6.16	429.000	1.357.000			881.000	803.000
i6.17			483.000	599.000	601.000	
i6.18			473.000		313.000	797.000
i6.19			1.024.000		31.000	
i6.20			544.000			
+	j7					
i0.0	4.905.000					
i0.1	4.905.000					
i0.2	2.760.000					
i0.3	26.000					
i0.4	14.656.000					
i0.5	13.582.000					
i0.6	11.282.000					
i0.7	10.299.000					
i0.8	9.628.000					
i0.9	6.385.000					
i0.10	3.372.000					
i0.11	3.189.000					
i0.12	3.000.000					
i0.13	1.497.000					
i0.15	7.506.000					
i0.16	6.908.000					
i0.17	6.175.000					

i0.18	4.940.000					
i0.19	3.297.000					
i0.20	1.650.000					
i1.0	112.000					
i1.3	228.000					
i1.4	113.000					
i2.0	93.000					
i2.9	455.000					
i2.10	364.000					
i2.11	274.000					
i2.12	182.000					
i2.13	92.000					
i3.0	70.000					
i4.0	46.000					
i4.2	511.000					
i4.3	459.000					
i4.4	411.000					
i4.5	358.000					
i4.6	312.000					
i4.7	261.000					
i4.8	207.000					
i4.9	155.000					
i4.10	187.000					
i4.11	142.000					
i4.12	95.000					
i4.13	50.000					
i4.15	46.000					
i5.0	395.000					
i5.4	1.208.000					
i5.5	803.000					
i5.6	405.000					
i5.9	1.196.000					
i5.10	801.000					
i5.11	404.000					
i5.15	74.000					
i6.0	906.000					
i6.3	909.000					
i6.6	1.113.000					
i6.7	913.000					
i6.10	1.827.000					
i6.11	912.000					
i6.15	2.226.000					
i6.16	1.318.000					
i6.17	405.000					

ÖZGEÇMİŞ

Elif Bilgin, 1981 yılında İstanbul’da doğdu. 1992 yılında Mehmet Akif İlkokulu’ndan, 1999 yılında Cağaloğlu Anadolu Lisesi’nden, 2003 yılında Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü’nden mezun oldu. 2005 yılında Marmara Üniversitesi Sayısal Yöntemler Bilim Dalı Yüksek Lisans programından "Optimum kapasitenin belirlenmesinde bekleme hattı modeli ile yeni bir yaklaşım ve hizmet sektöründe bir uygulaması" adlı yüksek lisans teziyle mezun oldu. 31 Aralık 2003 yılından beri Marmara Üniversitesi İşletme Fakültesi Üretim Yönetimi Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

