



**REKABET ORTAMINDAKİ FİRMALARIN TEDARİK SÜREÇLERİ İÇİN
ŞEBEKE ENGELLEME YAKLAŞIMINA DAYALI MODEL ÖNERİLERİ**

Gökhan ÖZÇELİK

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2016

Gökhan ÖZÇELİK tarafından hazırlanan “REKABET ORTAMINDAKİ FİRMALARIN TEDARİK SÜREÇLERİ İÇİN ŞEBEKE ENGELLEME YAKLAŞIMINA DAYALI MODEL ÖNERİLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cevriye GENCER
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Prof. Dr. Bilal TOKLU
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Prof. Dr. Coşkun HAMZAÇEBİ
Endüstri Mühendisliği, Karadeniz Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. İbrahim AKGÜN
Endüstri Mühendisliği, Abdullah Gül Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 16/05/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gökhan ÖZÇELİK

16.05.2016

REKABET ORTAMINDAKİ FİRMALARIN TEDARİK SÜREÇLERİ İÇİN ŞEBEKE ENGELLEME YAKLAŞIMINA DAYALI MODEL ÖNERİLERİ

(Doktora Tezi)

Gökhan ÖZÇELİK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2016

ÖZET

Firmalar rekabet ortamında ayakta kalabilmek adına üretim, lojistik, pazarlama, müşteri ilişkileri yönetimi gibi temel süreçlerinde rekabetçi stratejiler geliştirmek zorundadır. Çalışmada, lider ve takipçi olarak adlandırılan iki rakip firmanın rekabetçi mal satın alma süreçleri Şebeke Engelleme Problemi yaklaşımı şeklinde ele alınmıştır. Aynı bölge ve faaliyet alanında üretim yapan iki rakip firmanın aynı mallara ihtiyaç duymasından dolayı firmalar aynı tedarikçi kümesi üzerinden mal tedarikini gerçekleştireceklerdir. Firmalar yakın ya da uygun maliyetli tedarikçilerdeki mal miktarını düşüreceklerinden, birbirlerinin üretimini riske sokabileceklerdir. Bu risk, firmaları çeşitli politika arayışına sürükleyecektir. Bu kapsamda çalışmada, lider firmanın çeşitli anlaşma ya da sözleşmelerle tedarikçileri takipçi firma için engelleyebildiği dikkate alınarak, tedarikçi kapasitesinin kesikli ve sürekli engellendiği durumlar incelenmiştir. Kesikli engellemede, tek ve iki aşamalı tedarik zinciri üzerinde lider firmanın tedarikçileri engelleme durumu engelleme bütçesi dâhilinde incelenmiştir. Ayrıca engelleme bütçesi belirlemeye yönelik analizler yapılmıştır. Bu analizlerde, liderin stratejilerine yönelik çeşitli yaklaşımlar önerilerek bütçe için üst sınır değer tespiti; kesikli engellemede ortaya çıkan bütçenin etkin kullanılamama durumu için ise tek aşamalı-çok ürünlü tedarik zinciri üzerinde bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Sürekli engellemede, tek aşamalı tedarik zinciri üzerinde liderin bütçe kadar engellemesi ve liderin kendi talebi kadar engellemesi (*korumacı yaklaşım*) durumları incelenmiştir. Liderin bütçe kadar engellemesi durumunda tedarikçileri engelleme başarı oranını dikkate alan çevredeki aksaklıklara duyarlı bir model önerilmiştir.

Bilim Kodu : 90610

Anahtar Kelimeler : Şebeke engelleme problemi, tedarik zinciri, satın alma, doğrusal programlama, tam sayılı programlama, hedef programlama.

Sayfa Adedi : 94

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cevriye GENCER

MODEL PROPOSALS BASED ON NETWORK INTERDICTION APPROACH FOR
PROCUREMENT PROCESS OF FIRMS IN COMPETITIVE ENVIRONMENT

(Ph. D. Thesis)

Gökhan ÖZÇELİK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2016

ABSTRACT

In order to survive in the competitive environment firms must develop competitive strategies in essential processes such as manufacturing, logistics, marketing, and customer relations management. In this study, the competitive purchasing process of two rival firms which are named as the leader and follower is handled with network interdiction problem approach. As the two rival firms which operate in the same activity area and the same region need the same goods, they perform procurement of goods on the same set of suppliers. Since the firms can reduce the amount of goods in nearby or budget-friendly suppliers, they may put the production levels of each other in danger. This risk compels the firms to seek various policies. In this context, the situations of discrete or continuous interdiction of supplier's capacity on defined supply chains where the leader firm can interdict the suppliers with various agreements or contracts are investigated. In discrete interdiction, the problem in which the leader firm interdicts the supplier on single and two echelon supply chains is studied within the interdiction budget. Moreover, the analyses that are oriented to determine the interdiction budget are done. In these analyses, the upper bound determination is analyzed by proposing various approaches devoted to the leader's strategies. A goal programming model that is defined on single echelon-multi products supply chain is proposed for the situations of inability to use the budget efficiently that arise out of discrete interdiction. In continuous interdiction, on single echelon supply chain the states of the interdiction of the leader as much as the budget and the interdiction of the leader as much as the leader's own demand (*conservator approach*) are examined. In the interdiction of the leader as much as the budget, a model considering the success rate of interdicting the supplier is proposed. Therefore, it shows that the model is sensitive to disruptions in the environment.

Science Code : 90610

Key Words : Network interdiction problem, supply chain, purchasing, linear programming, integer programming, goal programming.

Page Number : 94

Supervisor : Prof. Dr. Cevriye GENCER

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği sağlayan, her konuda yardımcı olan ve değerli bilgilerini benimle paylaşan çok değerli hocam Prof. Dr. Cevriye GENCER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Tecrübeleriyle ve değerli bilgileriyle tezime katkı sağlayan tez izleme komitemdeki hocalarım Prof. Dr. Bilal TOKLU ve Doç. Dr. İbrahim AKGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez savunma jürimde yer alan, kıymetli bilgi ve görüşleriyle tezime katkı sağlayan Prof. Dr. Coşkun HAMZAÇEBİ ve Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN hocalarıma da çok teşekkür ederim. Bu süreçte beni yalnız bırakmayan başta aileme, kuzenim Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÜNVER'e, değerli bilgilerine başvurduğum Dr. Emre ÇALIŞKAN hocama ve bütün bölüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bu tez "2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı" kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK'a desteğinden dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
3. TEDARİK ZİNCİRİNDE ŞEBEKE ENGELLEME	15
3.1. Model Formülasyon ve Kodları	17
3.2. Çalışmanın Literatüre Katkısı	19
4. TEDARİK ZİNCİRİNDE KESİKLİ ENGELLEME.....	21
4.1. Tek Aşamalı Tedarik Zincirinde Kesikli Engelleme	21
4.1.1. Bütçe belirlemeye yönelik engelleme	22
4.1.2. Bütçe bazında engelleme	42
4.2. İki Aşamalı Tedarik Zincirinde Kesikli Engelleme	45
4.2.1. Bütçe belirlemeye yönelik engelleme	46
4.2.2. Bütçe bazında engelleme	56
4.3. Bütçenin Etkin Kullanımına Yönelik Bir Hedef Programlama	59
4.3.1. Nümerik örnek	64
5. TEDARİK ZİNCİRİNDE SÜREKLİ ENGELLEME	69
5.1. Tek Aşamalı Tedarik Zincirinde Bütçe Bazında Sürekli Engelleme	69

	Sayfa
5.1.1. Takipçi ve liderin problemlerinin formülasyonları	70
5.2. Talep Bazında Sürekli Engelleme (<i>Korumacı Yaklaşım</i>).....	76
5.2.1. Takipçi ve liderin problemlerinin formülasyonları	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	93



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. En kısa yol şebeke engelleme ve maksimum akış şebeke engelleme ile ilgili çalışmalar	6
Çizelge 2.2. Kesikli ve sürekli engelleme ile ilgili çalışmalar	8
Çizelge 2.3. Şebeke engelleme problemi kapsamında sensör yerleşimi ile ilgili çalışmalar.....	9
Çizelge 2.4. Şebeke engelleme problemlerinde farklı alanlarda savunmaya yönelik çalışmalar	11
Çizelge 3.1. Tedarik zincirinde kesikli engellemede takipçi ve liderin problem formülasyonlarının kodları.....	17
Çizelge 3.2. Tedarik zincirinde sürekli engellemede takipçi ve liderin problem formülasyonlarının kodları.....	18
Çizelge 4.1. Problem verileri	33
Çizelge 4.2. Aynı talep miktarları için engelleme planları ($D^L = D^T$)	34
Çizelge 4.3. Aynı talep miktarları için V oranları ($D^L = D^T$)	34
Çizelge 4.4. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L < D^T$)	35
Çizelge 4.5. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L < D^T$)	35
Çizelge 4.6. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)	36
Çizelge 4.7. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)	36
Çizelge 4.8. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)	37
Çizelge 4.9. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)	38
Çizelge 4.10. Farklı talep miktarlarında liderin amaç fonksiyonundaki değişim	39
Çizelge 4.11. Aynı talep miktarları için engelleme planları ($D^L = D^T$)	40
Çizelge 4.12. Aynı talep miktarları için V oranları ($D^L = D^T$)	40
Çizelge 4.13. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)	41

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.14. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)	41
Çizelge 4.15. Problem verileri	44
Çizelge 4.16. Farklı engelleme bütçeleri için problem sonuçları	44
Çizelge 4.17. Problem verileri	51
Çizelge 4.18. Aynı talep miktarları için engelleme planları ($D^L = D^T$)	52
Çizelge 4.19. Aynı talep miktarları için V oranları ($D^L = D^T$)	52
Çizelge 4.20. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L < D^T$)	53
Çizelge 4.21. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L < D^T$)	54
Çizelge 4.22. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)	54
Çizelge 4.23. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)	54
Çizelge 4.24. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)	55
Çizelge 4.25. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)	55
Çizelge 4.26. Problem verileri	58
Çizelge 4.27. Farklı engelleme bütçeleri için problem sonuçları	59
Çizelge 4.28. Problem verileri	64
Çizelge 4.29. Çok ürünli tek aşamalı tedarik zincirinde etkin bütçe kullanımının analizinde engelleme olmadığı durumdaki çözüm sonuçları.....	64
Çizelge 4.30. Her bir (R) değeri için takipçinin amaç fonksiyon değeri.....	65
Çizelge 4.31. Sabit bir (G_2) değeri için, farklı (G_1) seviyelerine ilişkin problemin sapma değerleri.....	66
Çizelge 4.32. Sabit bir (G_1) değeri için, farklı (G_2) seviyelerine ilişkin problemin sapma değerleri.....	68
Çizelge 5.1. π_{ij} karar değişkeninin, olabilecek tüm durumlarda alacağı değerler	73
Çizelge 5.2. Her bir (R) değeri için takipçinin amaç fonksiyon değeri ($\varphi=1$)	75

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.3. Talep miktarlarının aynı olduğu durumdaki analiz sonuçları ($D^L = D^T$)	78
Çizelge 5.4. Talep miktarlarının farklı olduğu durumdaki analiz sonuçları ($D^L < D^T$)	79
Çizelge 5.5. Talep miktarlarının farklı olduğu durumdaki analiz sonuçları ($D^L > D^T$)	80



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tedarik zinciri yapıları (a)Tek aşamalı, (b)İki aşamalı	16
Şekil 4.1. Tek aşamalı tedarik zinciri yapısı	22
Şekil 4.2. Liderin dikkate alacağı stratejiye göre karar vermesine yardımcı olacak bir gösterge çizelgesi	25
Şekil 4.3. Liderin ve takipçinin maliyetlerinin p . engellemeden sonra göstereceği muhtemel bütün davranışlar	26
Şekil 4.4. Aynı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L = D^T$)	34
Şekil 4.5. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L < D^T$)	35
Şekil 4.6. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)	36
Şekil 4.7. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)	37
Şekil 4.8. Aynı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L = D^T$)	40
Şekil 4.9. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)	41
Şekil 4.10. İki aşamalı tedarik zinciri yapısı	45
Şekil 4.11. Aynı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L = D^T$) ...	52
Şekil 4.12. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L < D^T$) ..	53
Şekil 4.13. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$) ..	54
Şekil 4.14. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$) ..	55
Şekil 4.15. Engelleme bütçesine ilişkin takipçinin maliyet (<i>amaç fonksiyonu</i>) değerleri grafiği	65
Şekil 5.1. Her bir (R) değeri için takipçinin amaç fonksiyon değerlerini gösteren grafik ($\varphi = 1$)	75
Şekil 5.2. Farklı φ engelleme başarısı oranları için takipçinin amaç fonksiyonu değerleri	75

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Talep miktarlarının aynı olduğu durumdaki maliyet grafiği ($D^L = D^T$)	79
Şekil 5.4. Liderin talebinin takipçinin talebinden az olduğu durumdaki maliyet grafiği ($D^L < D^T$)	80
Şekil 5.5 Liderin talebinin takipçinin talebinden fazla olduğu durumdaki maliyet grafiği ($D^L > D^T$)	81



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A	Arkların kümesi
N	Düğümlerin kümesi
M	Büyük bir sayı
pb	Para birimi
S_i	i . tedarikçinin kapasitesi
H_j	j . aktarma merkezinin kapasitesi
r_i	i . tedarikçiyi engelleme maliyeti
R	Engelleme bütçesi
D^L	Liderin talep miktarı
D^T	Takipçinin talep miktarı
p	Engelleme sayısı
p^*	Uygun engelleme sayısı
$P_{\max}$	Maksimum engelleme sayısı
φ	Engelleme başarı oranı

Kısaltmalar

Açıklamalar

CPU	Central Processing Unit (Merkezi işlem birimi)
CPLEX	Matematiksel model çözücüsü
GB	Gigabyte
GHz	Gigahertz
LM	Liderin maliyeti
RAM	Random-access memory
ŞEP	Şebeke engelleme problemi
TM	Takipçinin maliyeti

1. GİRİŞ

Hayatın her alanında elektrik, haberleşme, ulaşım, suç şebekeleri gibi farklı şebeke yapıları ile karşılaşmak mümkündür. Bağlantı noktaları (*düğüm*) ve bu noktaları birbirine bağlayan yollar (*ark*) şebekeleri oluşturmaktadır. Şebekedeki yollar üzerinde fiziksel bir akış söz konusudur. Bu akış, bilgi, malzeme, enerji, su, insan vb. olabilir. Ancak, bu akış her zaman istenmeyebilir ya da diğer bir ifade ile bu akışa engel olmak isteyenler olabilir. Örneğin, şehir şebeke suyuna bir terör saldırısı olduğunda suya katılan zehrin şebeke suyuna yayılması veya suya zehir katmak isteyenler engellenmek istenebilir. Benzer şekilde, askeri alanda, bir şebeke üzerindeki teröristlerin bilgi akışları, malzeme akışları, ya da en kısa yoldan hedefe ulaşma amaçları engellenmek istenebilir. Aynı durum, nükleer madde, ilaç ya da uyuşturucu madde kaçakçılarının şebeke üzerindeki aktivitelerinde de görülebilir. Kaçakçıların kaçma olasılıklarını en küçükleme amacıyla şebeke üzerinde engelleme yapılabilir. Diğer bir örnek olarak, hükümet tarafından şehirde meydana gelen ya da gelebilecek bir sel felaketi için, selin yayılmasını engelleyecek kritik noktaların (*bağlantı noktaları ya da yollar*) belirlenmesi amaçlanabilir. Farklı bir açıdan bakacak olursak, proje şebekesini ele aldığımızda bir nükleer silah projesinin tamamlanma zamanını uzatmak amacıyla diğer uluslarca projenin kritik faaliyetleri üzerinde engelleme yapılabilir. Görüldüğü gibi pek çok alanda karşımıza çıkan bu tür problemler literatürde şebeke engelleme problemi (*SEP*) olarak ele alınmaktadır.

Şebeke engelleme, şebekenin işlevselliğini etkileyen, lider (*saldırgan, yol kesici*) ve takipçi (*savunan, ağ kullanıcı, şebeke kullanıcı*) diye tabir edilen iki taraf arasında kararların nasıl verileceği üzerinde çalışır. Örneğin, bu taraflardan biri, şebeke boyunca akışı en büyükmeye ya da en küçükmeye çalışırken; diğer taraf seçilmiş bileşenleri (*düğüm ya da ark*) engelleyerek, şebekeyi aksatma girişimindedir [1]. Diğer bir ifade ile SEP, saldırganın şebeke üzerindeki maksimum akışı en küçükleme için, şebeke arklarının bir setini engellediği, savunanın ise şebeke arklarını güçlendirmek ya da korumak için bir masrafa maruz kaldığı (*savunanın kısıtlı bütçesi nedeniyle, şebeke arklarının kısıtlı sayısını koruyabildiği*), genellikle iki kişili oyun şeklinde modellenen problemlerdir [2]. Bu tip lider & takipçi ilişkisi, statik Stackelberg [3] oyununa benzemektedir.

Özetle, ŞEP’te amaç birbirine zıt amaçları olan iki taraf arasındaki rekabetçi karar verme sürecini modellemektir. Şebeke üzerinde akışı en büyükmeye çalışan, ya da hedefe en kısa yoldan ulaşmayı amaçlayan, kısaca şebekeden faydalanmaya çalışan şebeke kullanıcı ile bu akışı en küçükmek, ya da en kısa yolu en büyükmek amacıyla şebeke üzerinde engellemeler yapan yol kesici arasındaki oyundur. Bu oyun sırasında, takipçi sürekli olarak değişmiş şebekenin durumuna göre (*engelleme durumlarına göre*) en iyi (*optimal*) çözümü arayacaktır.

Bahsedilen engelleme işlemi, kısıtlı engelleme bütçesiyle şebeke üzerindeki arkı yok eden ya da arkın uzunluğunun etkisini artıran (*süresini, maliyetini*) bir harekettir [4]. Benzer şekilde bu engelleme işlemi problem yapısına göre düğümlerde, düğüm kapasitesini azaltarak da yapılabilir.

Çalışmada, aynı bölgede ve aynı üretim alanında faaliyet gösteren “*lider*” ve “*takipçi*” olarak isimlendirilen iki rakip firmanın tedarik zinciri üzerindeki rekabetçi mal satın alma süreçleri ŞEP şeklinde ele alınmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın 2. bölümünde, ele alınan problem yapısı ayrıntılı bir şekilde anlatılmış ve çalışmanın 3. bölümünde ŞEP ile ilgili literatür araştırmasına yer verilmiştir. Bu amaçla, çeşitli alanlarda çalışılan ŞEP, ele alınış tarzları açısından farklı şekillerde gruplandırılmış ve bazı dikkat çeken çalışmalar sunulmuştur. Daha sonra tez kapsamında ele alınan konu ile ilgili literatürdeki benzer çalışmalar detaylandırılmıştır.

Çalışmanın 4. bölümünde, tedarik zincirinde kesikli engelleme yapısı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda lider firmanın takipçi firmayı engellemesi için gerekli olan engelleme bütçesinin belirlenmesine yönelik engelleme durumu ve takipçi firmayı belli bir bütçe bazında engelleme durumu tek ve iki aşamalı tedarik zinciri yapıları üzerinde araştırılmış, liderin ve takipçinin ayrı ayrı matematiksel modelleri oluşturularak açıklayıcı örnekler üzerinde uygulamalar yapılmıştır. 4. bölümün son kısmında ise kesikli engellemeden dolayı ortaya çıkan etkin olmayan bütçe kullanımının önüne geçebilmek adına bir hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Hedef programlama yaklaşımı için tek aşamalı tedarik zinciri üzerinde çok ürünlü yapı dikkate alınmıştır.

Çalışmanın 5. bölümünde tedarik zincirinde sürekli engelleme yapısı dikkate alınmıştır. Bu kapsamda tek aşamalı tedarik zinciri üzerinde liderin bütçe bazında engelleme durumu için

Çevredeki değişikliklere duyarlı yani engelleme başarısının değişebildiği daha esnek bir matematiksel model önerilmiştir. Bununla birlikte liderin yalnızca ihtiyaı kadar malı engellediği, koruma altına aldığı diğer bir ifade ile kendi talebi kadar engelleme durumu için matematiksel model önerilerek her iki durum için de açıklayıcı örnekler üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise, bu çalışmanın literatürdeki çalışmalardan farklı yönleri vurgulanarak; sonuç ve öneriler bölümüne yer verilmiştir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1962 yılında Ford ve Fulkerson [5] tarafından yapılan çalışmada, kapasiteli bir şebeke üzerindeki maksimum akış ile minimum kesi kümesinin kapasitesinin (*min cut-max flow*) eşit olduğu teorisi geliştirilmiştir. Bu teoride, bir kesim, şebekeden silindiği zaman kaynak ve düğümler arasında kesilmeye neden olan bağlantılar kümesidir. Kesme kapasitesi, ilgili bağlantıların kapasitesinin toplamına eşittir. Şebekedeki tüm olası kesimler arasından en düşük kapasiteli kesim şebekede maksimum akışı verecektir [6].

Sonraki yıllarda Wollmer [7, 8]; Lubore ve diğerleri [9]; Ratliff ve diğerleri [10]; Malik ve diğerleri [11] ve Ball ve diğerleri [12] şebeke üzerinde en önemli ark (*bağlantıyı*) ya da arkları belirlemeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda temel olarak, “*şebekeyi en kötü derecede sekteye uğratacak, hangi ark ya da arklar şebekeden kaldırılmalıdır?*” sorusuna cevap aranmıştır. Corley ve David [13]; ise çalışmasında hem şebekedeki en önemli arkların hem de en önemli düğümlerin bulunmasına yer verirken, Corley ve Chang [14] ve Nardelli ve diğerleri [15] şebekedeki en önemli düğümün bulunmasına yönelik çalışmışlardır.

Literatür incelendiğinde, ŞEP’in pek çok alanda çalışıldığı görülmektedir. Bu alanlardan bazıları aşağıdadır;

- Bir şebeke üzerinde maksimum akışın engellenerek en küçüklenmesi ya da en kısa yolun engellenerek en büyüklenmesi,
- Şebekenin hassasiyetinin analizi ya da olası bir saldırıda şebekenin en az şekilde etkilenmesi için güçlendirilmesi gereken zayıf bileşenlerinin belirlenmesi,
- Proje şebekelerinin engellenmesi,
- Terör saldırılarına karşı elektrik, su ya da haberleşme şebekelerinin savunulması,
- İlaç, uyuşturucu madde, nükleer madde kaçakçılığında, terörist, suçlu ya da saldırganın kaçış olasılığının en küçüklenmesine yönelik sensör yerleşimi problemleri.

ŞEP çalışmaları, deterministik-stokastik; statik-dinamik; kesikli-sürekli/kismi engelleme; tarafların farklı bilgi düzeyleri gibi (*iki tarafın da birbirinden haberdar olduğu ya da olmadığı durum*) çeşitli açılardan sınıflandırılabilir. Ancak yapılan çalışmaların çoğunlukla, deterministik, statik, kesikli ve tarafların birbirinden bilgisinin olduğu durumlar için ele

alındığı görülmektedir. Bu bağlamda dikkat çeken bazı çalışmalar farklı çalışma alanlarına ya da yapılarına göre aşağıdaki çizelgelerde (Çizelge 2.1 - Çizelge 2.4) gruplanmıştır. Bu çizelgelerde ilgili çalışmanın yanındaki (S) notasyonu, çalışmanın stokastik olduğunu belirtmektedir.

ŞEP denilince akla ilk olarak en kısa yolun en büyüklenmesi veya maksimum akışın en küçüklenmesi gelmektedir. Bu amaçla öncelikle literatürde en kısa yol ve maksimum akış şebeke engelleme problemleri ile ilgili yapılan çalışmalar iki temel başlık altında gruplandırılmış ve Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. En kısa yol şebeke engelleme ve maksimum akış şebeke engelleme ile ilgili çalışmalar

En kısa yol şebeke engelleme ile ilgili çalışmalar	Maksimum akış şebeke engelleme ile ilgili çalışmalar
• 1977 Fulkerson ve Harding [16] • 1978 Golden [17] • 1982 Corley ve David [13] • 1989 Malik vd. [11] • 1989 Ball vd. [12] • 1999 Wevley [18] • 2002 Israeli ve Wood [4] • 2007 Khachiyan vd. [19] • 2008 Bayrak vd. [20] • 2010 Gutfraind vd. (S) [21] • 2010 Rocco ve Ramirez-Marquez [22] • 2011 Yates ve Lakshmanan [23] • 2011 Cappanera ve Scaparra [24] • 2013 Yates ve Sanjeevi [2] • 2015 Romich vd. [25] • 2016 Borrero vd. [26]	• 1964 Wollmer [8] • 1970 McMasters ve Mustin [27] • 1993 Wood [1] • 1995 Chern ve Lin [28] • 1995 Washburn ve Wood [29] • 1998 Cormican vd. (S) [30] • 2001 Bingöl [31] • 2003 Burch vd. [32] • 2007 Lim ve Smith [33] • 2007 Royset ve Wood [34] • 2008 Janjarassuk ve Linderöth (S) [35] • 2009 Rocco vd. [36] • 2009 Rocco ve Ramirez-Marquez [37] • 2009 Ramirez-Marquez ve Rocco (S) [38] • 2010 Rocco vd. [39] • 2010 Altner vd. [40] • 2011 Akgün vd. [41] • 2012 Lunday ve Sherali [42] • 2012 Malaviya vd. [43] • 2013 Rad ve Kakhki [44] • 2013 Granata vd. [45] • 2015 Keshavarzi ve Fathabadi [46] • 2016 Janjarassuk ve Nakrachata-Amon [47]

Çizelge 2.1’de verilen çalışmalarda, engelleme işlemlerin şebekedeki arkların süre ya da maliyet etkilerinin artırılması, ya da şebekedeki düğüm kapasitelerinin azaltılması şeklinde yapıldığını söyleyebiliriz. Aynı zamanda bu çalışmaların birçoğu engelleme bütçesi dâhilinde ele alınmıştır. Diğer bir ifade ile engelleme işlemlerini kısıtlayan bir engelleme bütçesinin olduğu durumda engelleme planları elde edilmiştir (Bkz. [1, 4, 16, 27, 30, 33]).

Wood [1] maksimum akış ŞEP için esnek tam sayılı programlama modeli geliştirerek daha sonraki çalışmalara öncülük etmiştir. Ayrıca çalışmasında maksimum akış ŞEP'in NP-complete olduğunu ispatlamıştır. Maksimum akış ŞEP'in stokastik versiyonu ise, Cormican ve diğerleri [30] tarafından formüle edilmiş ve çözülmüştür.

Israeli ve Wood [4] en kısa yol şebeke engelleme problemi için iki seviyeli *max-min* problemini, direkt çözülebilen tek seviyeli karışık tam sayılı programlama şeklinde formüle etmişler ve daha iyi sonuçlar sağlayan etkili ayrıştırma algoritmaları geliştirmişlerdir.

Lim ve Smith [33] çok ürünli akış şebekesi üzerinde, şebeke boyunca malların taşınmasından elde edilen en fazla karın en küçüklmesi amacıyla şebeke arklarının bir kümesinin, saldırgan tarafından devre dışı bırakıldığı bir ŞEP'i dikkate almışlardır. Çalışmada, engellenen kesikli (*herhangi bir arkın tamamen yok edildiği*) ve sürekli (*herhangi bir arkın kapasitesinin kısmen azaltıldığı*) olduğu durumlar araştırılmıştır. Kesikli engelleme durumu önceki çalışmalara benzerlik gösterirken, sürekli engelleme durumu için en iyi amaç fonksiyon değerini tahmin etmek üzere sezgisel bir prosedür ile birlikte, bir en iyi bölümlendirme algoritması tanımlanmıştır.

Rad ve Kakhki [44] maksimum akış ŞEP'in dinamik versiyonunu çalışmışlardır. Malaviya ve diğerleri [43] ise dinamik şebeke engelleme çatısı altında, yasal olmayan ilaç tedarik zincirindeki suçluları başarılı bir şekilde engellemek amacıyla çok dönemli (*zaman bazlı*) ŞEP'in yeni bir sınıfını çalışmıştır.

Akgün ve diğerleri [48] şebeke kullanıcısının, önceden belirlenmiş $k \geq 3$ düğüm grupları arasındaki akışı en büyükleme girişiminde olduğu, engelleyicinin ise sınırlı kaynak kullanarak maksimum akışı en küçükleme için şebeke arklarını engellediği, çoklu terminal maksimum akış ŞEP'i tanımlamış ve formüle etmişlerdir.

Şebeke engelleme problemlerinde şebekeyi sekteye uğratma ya da engelleme işlemi şebekedeki düğüm ya da arkların engellenmesiyle gerçekleştirilir. Literatürde engelleme işlemleri arkın ya da düğümün tamamen engellenmesi durumunda kesikli engelleme, arkın ya da düğümün bir kısmının engellendiği durumda ise sürekli engelleme şeklinde çalışılmıştır. Bu açıdan, literatürdeki kesikli ve sürekli (*kısmi*) engelleme çalışmaları düğüm

ve arkların engellenme durumlarına göre dikkat çeken bazı çalışmalar Çizelge 2.2’de gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.2. Kesikli ve sürekli engelleme ile ilgili çalışmalar

Kesikli engelleme ile ilgili çalışmalar	
Arkların engellendiği çalışmalar	Düğümlerin engellendiği çalışmalar
• 1964 Wollmer [8] • 1975 Ratliff vd. [10] • 1993 Wood [1] • 1998 Cormican vd. (S) [30] • 2001 Bingöl [31] • 2007 Khachiyan vd. [19] • 2008 Janjarassuk ve Linderöth [35] • 2009 Ramirez-Marquez ve Rocco (S) [38] • 2010 Zenklusen [49] • 2011 Akgün vd. [48] • 2013 Granata vd. [45] • 2013 Perea ve Puerto [50] • 2013 Rad ve Kakhki [44] • 2016 Kheirkhah vd. [51]	• 1974 Corley ve Chang [14] • 2004 Church vd. [52] • 2010 Spaulding [53] • 2010 Zenklusen [54] • 2011 Kennedy vd. [55] • 2012 Shen vd. [56] • 2013 Johnson vd. (S) [57] • 2013 Prince [58] • 2014 Medal vd. [59] • 2014 Aksen vd. [60]
Sürekli/kısmi engelleme ile ilgili çalışmalar	
• 1970 McMasters ve Mustin [27] • 1971 Golden [61] • 1977 Fulkerson ve Harding [16] • 1993 Wood [1] • 1999 Whiteman [62] • 2004 Church vd. [52] • 2007 Lim ve Smith [33] • 2014 Aksen vd. [60] • 2016 Zhang ve Fan [63]	

Aksen ve diğerleri [60] bir akış şebekesinde düğümlerin kısmi engellenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, kapasiteli tesisler ve dış kaynak kullanımı ile meydana gelen şebeke engelleme problemine ilk kez kısmi şebeke engelleme kararlarını entegre etmişlerdir.

Zhang ve Fan [63] ise yalnızca bir düğüm ya da arkın kısmi engellenmesine imkân tanıyıp diğerlerinin tam engellenmesini sağlayan, sonuçta ark ya da düğümlerin kısmi engellenebildiği karışık tam sayılı matematiksel model geliştirmişlerdir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere, şebekenin engellenmek istenmesi ya da şebekenin sekteye uğratılması rekabet, doğal felaketler, terör saldırısı, kaçakçılık gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Dolayısıyla ŞEP oldukça fazla alanda çalışılmıştır.

Bu alanlardan biri kaçakçılık ve sensör yerleşimi ile ilgili şebeke engelleme çalışmalarıdır. Dikkat çeken bazı çalışmalar Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Şebeke engelleme problemi kapsamında sensör yerleşimi ile ilgili çalışmalar

Şebeke engelleme problemi kapsamında sensör yerleşimi ile ilgili çalışmalar	
Nükleer malzeme kaçakçılığında engelleme ya da tespit amacıyla sensör yerleşimi problemi ile ilgili çalışmalar	Sensör yerleşimi ile ilgili diğer alanda yapılan çalışmalar
• 2003 Pan vd. (S) [64] • 2005 Morton ve Pan (S) [65] • 2007 Wein ve Atkinson [66] • 2007 Morton vd. (S) [67] • 2008 Atkinson ve Wein [68] • 2008 Pan ve Morton (S) [69] • 2011 Dimitrov vd. (S) [70]	• 2006 Bailey vd. (S) [71] • 2008 Bayrak ve Bailey [20] • 2012 Salmerón [72] • 2013 Johnson vd. (S) [57] • 2013 Sullivan vd. [73] • 2013 Yates ve Sanjeevi [2] • 2015 Romich vd. [25]

Çizelge 2.3'te verilen çalışmalardan, Morton ve Pan [65] nükleer malzemeyi algılayan sensörleri yerleştirmek için stokastik şebeke engelleme modeli tanımlamışlardır. Çalışmada, nükleer malzeme kaçakçısının bir ulaşım ağı üzerinde tespit edilmekten kaçma olasılığını en büyükleyen bir yol seçtiği ve engelleyicinin ise maksimum olasılığı en küçüklemek için sensörleri yüklediği problem iki aşamalı stokastik karışık tam sayılı program olarak formüle edilmiştir.

Morton ve diğerleri [67] sensörlerle ilgili iki tane stokastik şebeke engelleme modeli tanımlamışlardır. İlki, diğer çalışma [65] ile benzerdir, İkinci modelde farklı olarak engelleyici ve kaçakçının, şebeke parametrelerinin farklı algılarına sahip olduğu yani modelde kaçakçının, sensör yerlerinin yalnızca bir alt setinin farkında olduğu durumda yakalandığı modeli çalışmışlardır. Morton ve diğerleri [67] düşmanın başlangıç-hedef yolu üzerinde en fazla bir sensörle karşılaştığı özel durum için basamak eşitsizlikleri geliştirmiştir.

Pan ve Morton [69] ise düşmanın birden fazla sensörlerle karşılaşma durumu için basamak eşitsizliğini genelleştirmiştir. Dimitrov ve diğerleri [70] ise yine nükleer malzeme kaçakçısının ve engelleyici gibi iki tarafın olduğu ulaştırma şebekelerinde radyasyon sensörlerinin konumlandırılması için kaçakçının tespit edilmekten kaçma olasılığını en küçükleyen stokastik şebeke engelleme modeli tanımlamışlardır.

Bailey ve diğerleri [71] sensör yerleşimi ya da koruyucu kaynakların tahsisi gibi tasarım kararları için karışık tam sayılı programlamayı ve düşman aşaması için düşmanın olası kararlarını modelleyen ve Markov karar proseslerini kullanan bir SPAR (*stochastic programming with adversarial recourse*) modelini tanıtmışlardır. Kaçakçılık ve sensör

yerleşimi üzerine yapılan diğer bir çalışmada Bayrak ve Bailey [20], sınırlı kaynaklar kullanılarak, en kısa yol şebeke engelleme probleminde, asimetrik bilginin olduğu yani kaçakçı ve engelleyici şebeke ile ilgili farklı bilgi seviyelerine sahip olduğu durumu ele almışlardır.

Salmerón [72] güvenlik planlamacılarına çeşitli tipteki sensör (*yasal olmayan ürün kaçakçılığı dedektörü vb.*) ve kontrol noktalarının kısıtlı sayısını yerleştirmeleri konusunda yardımcı olacak aldatmacanın olduğu saldırgan-savunan şebeke engelleme modeli geliştirmişlerdir.

Sullivan ve diğerleri [73] ise çalışmasında iki parçalı bir şebekede arklar üzerindeki sensörlerin kesikli dağıtımıyla, potansiyel bir kaçakçının durumu atlatma şansını en küçükleme girişiminde olduğu Morton ve diğerleri [67] modellediği stokastik şebeke engelleme probleminin bir versiyonunu dikkate almışlardır.

Yine düşmanları engellemek amacıyla sensörlerin lokasyonlarını seçmenin hedeflendiği bir çalışma Johnson ve diğerleri [57] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada algılayıcı maliyeti bütçeyle kısıtlandırıldığında, yakalanan düşmanların sayısının en büyüklenmesi ve bütün düşmanların mümkün olduğunca ucuz yakalanması amaçları üzerinde çalışılmıştır.

Yates ve Sanjeevi [2] ise en kısa yol şebeke engelleme probleminde dinamik ve statik sensör çeşitleri kullanılarak California karayolunun bir alt şebekesinde vaka çalışması yapmış ve elde edilen çözümler üzerinde sensör parametrelerinin, bütçe limitinin ve hedef kümelerin etkisini araştırmışlardır.

ŞEP kapsamında diğer bir çalışma alanı olarak şebekelerin savunulması ya da olası bir saldırıda şebekenin en az derece etkilenmesi amacıyla şebekelerdeki bileşenlerin sağlamlaştırılması konuları ele alınabilir. Yapılan çalışmaların genellikle elektrik ya da güç şebekeleri gibi kritik alt yapı şebekelerinin savunulması ya da bu şebekelerin hassasiyetinin analiz edilmesine yönelik olduğu görülmektedir.

Bu amaçla elektrik ya da güç şebekelerinde savunmaya yönelik çalışmalar ve kritik alt yapı şebekelerinde bileşenlerin sağlamlaştırılması ile ilgili çalışmalar Çizelge 2.4'te gruplandırılmıştır.

Çizelge 2.4. Şebeke engelleme problemlerinde farklı alanlarda savunmaya yönelik çalışmalar

Şebeke engelleme problemlerinde farklı alanlarda savunmaya yönelik çalışmalar	
Elektrik ya da güç şebekelerinde savunmaya yönelik / şebekelerin hassasiyetinin analizine yönelik çalışmalar	Kritik alt yapı ya da şebekedeki zayıf ya da kritik bileşenleri bulma, bileşenleri güçlendirme / sağlamlaştırma ile ilgili çalışmalar
• 2004 Alvarez [74] • 2004 Salmeron vd. [75] • 2007 Yao vd. [76] • 2007 Bier vd.[77] • 2009 Salmeron vd. [78] • 2010 Rocco vd. [79] • 2010 Delgadillo [80] • 2010 Rocco vd. [81] • 2013 Ma vd. [82]	• 2004 Church vd. [52] • 2007 Church ve Scaparra [83] • 2008 Scaparra ve Church [84] • 2010 Liberatore vd. (S) [85] • 2010 Aksen vd. [86] • 2011 Liberatore vd. (S) [87] • 2011 Cappanera ve Scaparra [24] • 2011 Q'Hanley ve Church • 2012 Liu vd. [88] • 2013 Zhu vd. [89] • 2013 Lei [90] • 2014 Parvaresh vd. [91] • 2014 Aksen vd. [60]

Çizelge 2.4'te verilen çalışmalardan, Yao ve diğerleri [76] elektrik enerjisi şebekesi savunmasında üç aşamalı kaynak atama eniyileme modeli sunmuştur. Savunmanın amacı, kaynak kısıtlarına bağlı olarak saldırıların sebep olabileceği ekonomik maliyeti en küçüktür. Üç aşamalı modelin en iyi çözümünü bulmak üzere, iç içe geçmiş iki aşamalı daha küçük problemleri iteratif olarak çözmeye dayalı bir ayrıştırma yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu konuda yapılan diğer bir çalışmada Salmeron ve diğerleri [78] benders ayrıştırmasını konkav olmayan bir amaç fonksiyonunu en büyükmek için genelleştirmiş ve elektrik enerjisi şebekesi engelleme probleminin çözümü için uygulamıştır.

Rocco ve diğerleri [79] bir şebekedeki α bağlantıların en hassas grubunu tanımlayan yeni bir önem ölçütü $D(\alpha)$ geliştirmek için, yöneylem araştırması ve güvenilirlik mühendisliği konseptlerini kombine etmiştir. Çalışmada, bu yeni ölçütün $D(\alpha)$ hesaplanması, büyük sistemler için zor olacağından, deterministik çok amaçlı ŞEP'in eniyilemesine dayanan bir yaklaşım tekniği kullanılarak İtalyan yüksek voltaj elektrik iletim şebekelerinin analiziyle algoritmanın etkinliği gösterilmiştir. Bu kapsamda yapılan diğer bir çalışmada Delgadillo ve diğerleri [80] terörist tehdidi altındaki elektrik şebekelerinin hassasiyet analizine değinmiş ve problemi karışık tam sayılı doğrusal olmayan iki aşamalı program ile formüle etmişlerdir. Üst seviye eniyilemede, terörist ajanı güç sistemlerinde neden olduğu zararı en büyükmeye çalışırken, alt seviye eniyilemede sistem operatörü güç sisteminin en iyi işleyişi vasıtasıyla, zararı en küçükmeye çalışmaktadır. Bu çalışmadaki modelleme, sistem operatörünün şebeke topolojisini değiştirebilme yeteneğine sahip olmasıyla farklılık göstermektedir.

Rocco ve diğ erleri [81] etkin çok amaçlı evrimsel eniyileme yaklaşımı ve deterministik şebeke engelleme konseptlerinin kullanımıyla hibrit model temelli güç sistemlerinin hassasiyetinin analizi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır.

Kritik altyapı şebekelerinin savunması üzerine yapılmış önceki çalışmalarda, tipik statik veya Stackelberg oyunları kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar bir defalık olaylar şeklinde şebeke engellemelerini izlemektedir. Ancak Kolombiya ve Yemen'deki iletişim şebekelerinde sürekli saldırı ve savunmaya şahit olunduğu gibi altyapı koruma; saldırgan ve savunanın hareketlerinden etkilenerek dinamik durumlar üretmek için saldırgan ve savunanın etkileşim içinde olduğu sürekli bir süreçtir. Bu amaçla Ma ve diğ erleri [82] gerçek dünya olaylarının alta yatan belirsizliklerine bağlı bu etkileşimleri modellemek için sıfır toplamlı Markov oyunları kullanmış ve oyuncuların karışık denge stratejilerini çözerek, statik oyundaki sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Cappanera ve Scaparra [24] dışarıdan gelen aksamalara karşı şebenin bileşenlerinin sağlamlığını en büyüklemek amacıyla koruma kaynaklarının yerini tayin etmek için oyun-teorik bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada, özellikle etkilenmiş parçaların hatta bazı bileşenlerin tümünün kaybıyla trafik akışında aksamaların olabileceği en kısa yol şebekeleri dikkate alınmıştır. Korunmamış bazı bileşenlerin bozulmasından sonra tedarik ve talep düğümleri arasındaki en kısa yolun uzunluğunu en k   klemede güçlendirilecek bileşenleri tanımlamak için çok seviyeli bir program önerilmiştir. Daha sonra çok seviyeli problemi en iyi şekilde çözmek için örtük numaralandırma algoritması geliştirilmiştir.

O'Hanley ve Church [92] uzun dönemde tesis kayıplarına dayanıklı, kapsama alanı ile ilgili servis şebekelerini tasarlamak amacıyla, en kritik r tesisinin kaybını takip eden minimum kapsama seviyesi ve p tesis tarafından başlangıç kapsamının kombinasyonunu en büyükleyen, şebeke yerleşimi-şebeke engelleme modeli geliştirmişlerdir. Liu ve diğ erleri [88] ise kritik tesis belirlemenin, acil tahliye için çok önemli olması nedeniyle, r -engelleme medyan problemi olarak bilinen bu problemi, ilk olarak karışık tam sayılı program şeklinde formüle etmişlerdir. Modelin çözümünde genetik algoritma kullanılmıştır.

Hub-spoke sistemlerinin analizinde hub lokasyon problemleri geniş ölçüde kullanılmaktadır. Temel varsayım, ara aktarma düğümlerinin bir setiyle geniş sayıdaki talebin başlangıçtan hedefe taşınmasıdır. Bu ara düğümler doğal felaketlerden, hastalık salgınlarından, işçi

grevlerinden ya da kasıtlı saldırılardan dolayı yok olabilirler. Lei [90] aktarma merkezi engelleme medyan problemi (*HIM*) sunmuştur. Sistem hizmetinin maksimum bozulmasına öncülük edecek, hub-spoke sistemindeki kritik tesislerin kümesini tanımlamak için kullanılacak modeli tam sayılı doğrusal programlama kullanarak formüle etmiştir ve kalan aktarma merkezleri (*hub*) ile en az maliyetli rotayı izleyen talebi dikkate almak için özel kısıtlar oluşturmuştur. *HIM* problemlerini esas alarak, en kötü durum tesis kaybıyla ilgili sistem maliyetini en küçükleme amaçlayan iki tane merkez koruma problemi tanımlamıştır.

p-aktarma (*hub*) medyan probleminde temel konu, toplam taşıma maliyetini en küçükleme amacıyla aktarma tesislerinin yerleşimi ve spokelerin (*ispitlerin*) bu aktarma noktalarına atanmasıdır. Ancak, aktarma tesisleri ara sıra aşırı maliyetlere neden olabilen bazı kesilmeler nedeniyle aksayabilir. Kesilmeleri özellikle de kasıtlı kesilmeleri engellemenin en etkin yollarından biri, daha güvenilir aktarma (*hub*) şebekeleri tasarlamaktır. Parvaresh ve diğerleri [91] çoklu tahsis *p*-medyan problemini kasıtlı kesilmeler altında, alt seviyede tek amaçlı, üst seviyede iki amaçlı, iki seviyeli bir model şeklinde formüle etmişlerdir. Modelde, lider normal ve en kötü durum maliyetleri en küçükleme için aktarma noktalarının lokasyonlarını tanımlamayı amaçlamaktadır. Problemi çözmek için tavlama benzetimi ve tabu aramaya dayalı iki çok amaçlı meta-sezgisel geliştirilmişlerdir.

Yukarıda şebeke engelleme problemlerinin çeşitli uygulamalarına yer verilmiştir. Bu çalışmada ise tedarik zinciri üzerinde iki rekabetçi firmanın satın alma süreçleri şebeke engelleme yaklaşımı şeklinde ele alınmıştır. Literatüre baktığımızda bu kapsamda aynı yazarlar tarafından aynı yıl yapılmış iki çalışmanın olduğu görülmektedir: (Prince ve diğerleri [93] ve [94]). Bu çalışmalarda dikkate alınan problem yapıları, özellikleri ve çözüm yaklaşımları aşağıda sıralanmıştır.

Prince ve diğerleri [93]'daki problem yapısı, özellikleri ve çözüm yaklaşımı;

- Belli bir tedarikçi kümesinden malzeme tedarik eden iki rakip firma arasında geçen oyun süreci modellenmiştir.
- Malzeme temin maliyetleri, sipariş miktarına bağlı olarak konkav yapıdadır.
- Oyunda, rakip firma, firmanın ihtiyacı olan malzemeyi karşılayabileceği en düşük maliyeti, en büyükmeye çalışmaktadır.

- Tedarikçilerde kapasite belirsizliği vardır.
- Sınırlı bütçe söz konusudur.
- Sınırlı bütçe ve kapasite belirsizliğinden dolayı en kötü durum modellenmesi yapılmıştır.
- Firmalar belirsizliğe belli miktarda malzeme teminini sağlamak için tedarikçilerle belli maliyetlere dayanan anlaşmalar yapmaktadır.
- Tedarikçilerin öngörülen kapasitelerinin gerçekten olduğu garanti edilmektedir yani problem deterministik şekilde ele alınmıştır.
- Problem üç aşamalı bir oyun olarak modellenmiştir.
 - (i) Firmalar ilk olarak hangi tedarikçinin kapasitesini koruyacağını seçer,
 - (ii) Rakip firma korunmamış kapasiteli tedarikçilerin kapasitelerini düşürür,
 - (iii) Firma buna karşı talebini kalan kapasitelerden sağlamaya çalışır.
- Ayırıştırma tekniklerine iyi uyan üç aşamalı karışık tam sayılı programlama ile formüle edilerek, çözümü için etkin bir kesme düzlemi algoritması geliştirilmişlerdir.

Prince ve diğerleri [94]'daki problem yapısı, özellikleri ve çözüm yaklaşımı;

- Yer değiştirilebilir ürünleri olan kapasitelendirilmiş tedarikçilerin bir kümesinden bir malın belli bir miktarını almak isteyen bir firmanın temin etme planı senaryoları üzerinde çalışmışlardır.
- Tedarikçilerden bir malı elde etmenin toplam maliyeti, satın alınan ürün miktarının azalmayan konkav bir fonksiyondur.
- Çalışmada tek rekabetçi olarak modelleme yapılmıştır.
- Rekabetçi firmanın davranışının etkisini hafifletmek için, lider firma belli maliyetlerde (ilgili kapasitesinin belli bir düzeyde garanti edildiği bir sözleşme imzalayarak) herhangi bir tedarikçiyi koruyabilir.
- Bu yüzden, ilk olarak lider firmanın koruyacağı tedarikçiyi seçeceği, rekabetçi firmanın kendi talebini tatmin edeceği ve lider firmanın kalan kapasiteden talebi sağlamaya çalışacağı aşama olacak şekilde aslında bu problem üç aşamalı bir oyun problemi olarak ele alınmıştır.
- Model üç aşamalı karışık tam sayılı programlama ile modellenmiş ve yeniden formülasyon ve kesme düzlemi teknikleriyle problemin en iyi çözümü için algoritmalar önerilmiştir.

3. TEDARİK ZİNCİRİNDE ŞEBEKE ENGELLEME

Rekabet ortamında firmalar ayakta kalabilmek adına satın alma, üretim, pazarlama gibi temel süreçlerinin yönetiminde etkili politikalar geliştirmek zorundadır. Bu çalışmada firmaların rekabetçi satın alma süreçlerinin modellenmesiyle, belli bir firmanın rekabetçi stratejiler sunabilmesine imkân sağlayacak yaklaşımların geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, aynı bölgede ve aynı üretim alanında faaliyet gösteren iki rakip firmanın rekabetçi mal satın alma süreçleri ŞEP şeklinde ele alınmıştır. Firmalar aynı faaliyet alanında üretim yaptıkları için benzer hammadde ya da malzemelere ihtiyaç duyacaklarından dolayı aynı tedarikçi kümesi ile mal satın alma işlemlerini gerçekleştireceklerdir. Aynı zamanda firmaların aynı bölgede faaliyet gösterdikleri bilindiği için aynı tedarik zincirleri üzerinde mal satın alma işlemlerini gerçekleştirdikleri varsayılmaktadır. İki firma arasındaki rekabet, tedarikçilerdeki kapasite sorunundan ya da minimum maliyetli tedarikçilerin az olmasından doğabilmektedir. Diğer bir ifade ile bir firma belli bir tedarikçiden mal aldığı zaman tedarikçideki mal kapasitesini azaltacağından dolayı, diğer firmanın üretimini riske sokması muhtemeldir. Bu rekabetten dolayı bu iki firma, lider firma ve takipçi firma olarak isimlendirilen iki rakip oyuncu şeklinde ele alınmıştır.

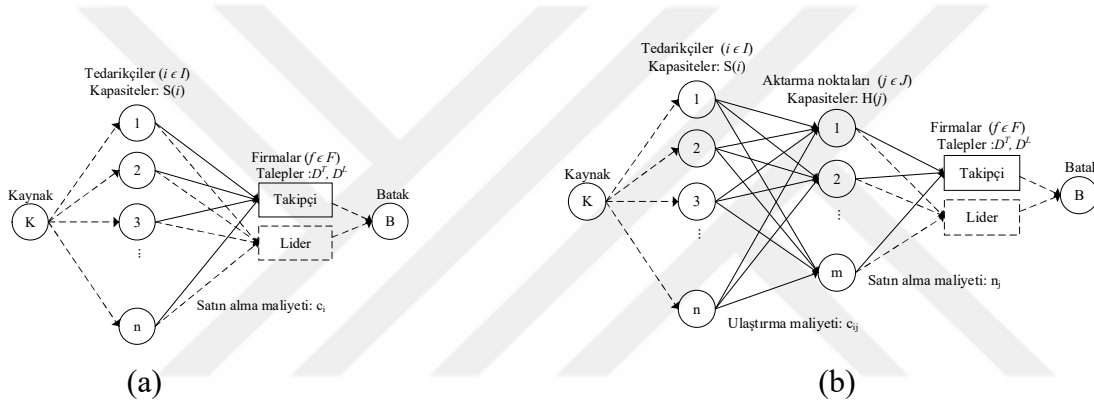
İki rakip firmadan; lider, tedarikçiler ile sözleşme ya da anlaşma yaparak (*ilgili tedarikçilere gereken ücret ödenerek*) tedarikçileri takipçi için engelleyebilecektir. Liderin amacı, takipçinin minimum satın alma maliyetini tedarikçileri engelleyerek en büyükmektir. Böylece, lider düşük maliyetli tedarikçilerden takipçiyi uzaklaştırarak hem takipçinin maliyetini artırıp, takipçiye zarar vermiş hem de dolaylı yoldan düşük maliyetli tedarikçiler ile anlaşma yapıp nispeten kendi maliyetini düşürmüş olacaktır.

Çalışmada firmaların kullandıkları tek aşamalı ve iki aşamalı tedarik zinciri yapıları minimum maliyetli akış şebekesi gibi düşünülmüştür. İleriki bölümlerde oluşturulan tüm modeller, düğüm setinin N , ark setinin A olduğu düğüm kapasiteli ve yönlü; tek ve iki aşamalı şebekeler üzerinde $G = (N, A)$ tanımlanmıştır.

Şekil 3.1 (a) tek aşamalı, kapasiteli tedarikçi düğümlerinden ($I \subset N$), firmalardan ($F \subset N$) ve tedarikçi ile firmalar arasındaki arklardan $(i, f) \in A$; Şekil 3.1 (b) iki aşamalı, kapasiteli

tedarikçi düğümlerinden ($I \subset N$), kapasiteli aktarma merkezlerinden ($J \subset N$), firmalardan ($F \subset N$), tedarikçiler ile aktarma merkezleri arasındaki arklardan $(i, j) \in A$ ve aktarma merkezleri ile firmalar arasındaki arklardan $(j, f) \in A$ oluşan tedarik zinciri yapılarını göstermektedir. Her iki tedarik zinciri yapısında da kaynak düğümünden (K) tedarikçi düğümlerine ($I \subset N$), firmalardan ise bataklık düğüme (B) olan akışlar ihmal edilmiştir.

Tüm modeller, takipçi firmanın talebine yönelik kurulduğu için aslında F setinde yalnızca bir eleman vardır ($(f = 1); f \in F$). Dolayısıyla $S(F) = 1$ 'dir. Bu amaçla, tüm modellerde f indisi yerine, direkt olarak takipçinin talebini ifade eden (D^T) parametresi kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Tedarik zinciri yapıları (a) Tek aşamalı, (b) İki aşamalı

Ele alınan problemde kapasitelerin her iki oyuncuya da yettiği ve her iki tarafın da birbirleri hakkında yeterli bilgiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Satın alma prosedürü aşağıda tanımlandığı şekilde sıralı olarak gerçekleştirilmektedir;

- (i) Öncelikle lider, senaryolara bağlı olarak önceden karar verdiği engelleme sayısına göre ya da belli bir bütçe dâhilinde engelleyeceği tedarikçilere karar verip, engelleme işlemini gerçekleştirecektir.
- (ii) Daha sonra, takipçi, liderin engellediği tedarikçilerden arta kalan kapasiteyi kullanarak satın alma işlemini tamamlayacaktır.

Bu iki firma arasındaki rekabetçi tedarik sürecinde firmaların problemleri, kesikli ve sürekli engelleme yapıları temel alınarak farklı durumlar için ayrı ayrı modellenmiştir. Kesikli engelleme yaklaşımında, tek ve iki aşamalı tedarik zinciri üzerinde firmaların farklı talep miktarları için engelleme bütçesini dikkate alarak; bütçe belirlemeye yönelik engelleme ve

bütçe bazında engelleme durumları incelenmiş ve uygun engelleme sayısının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar sunulmuştur. Daha sonra, kesikli engellemede bariz bir şekilde ortaya çıkan bütçeyi etkin kullanamama sorunu için çok ürünlü-tek aşamalı tedarik zinciri üzerinde hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir.

Sürekli engelleme yaklaşımında ise, tek aşamalı tedarik zinciri üzerinde firmaların farklı talep miktarları için liderin bütçe kadar engellemesi ve liderin kendi talebi kadar engellemesi (*korumacı yaklaşım*) durumu araştırılmıştır. Liderin bütçe kadar engellemesi durumunda tedarikçileri engelleme başarı oranını dikkate alan çevredeki aksaklılara duyarlı bir model önerilmiştir.

3.1. Model Formülasyon ve Kodları

Çalışmada, tedarik zincirinde kesikli ve sürekli engelleme için formülasyonlar, Wood [1], Lim ve Smith [33] ve Zhang ve Fan [63] yaptığı çalışmalar temel alınarak geliştirilmiştir. İleriki bölümlerde sırasıyla indis ve setler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar tanımlanarak takipçi ve liderin problemleri ayrı ayrı formüle edilmiş ve her bir modelin açıklaması, ilgili başlığın altında detaylandırılmıştır. Daha önce tanımlanan indis ve setler, parametreler, karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlardan tekrar bahsedilmemiştir. Çalışmada, modeller belli bir kod sistemine göre oluşturulmuştur. Modeller 1'den başlayarak numaralandırılmış, her yeni model için numara artırılmıştır. Modellerde,

- **(d)** ilgili modelin dual formunu,
- **(bi)** ilgili modelin iki seviyeli olduğunu,
- **(*)** ise liderin probleminin nihai halini yani tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal modelini ifade etmektedir.

Kesikli engelleme ile ilgili tüm model kodları Çizelge 3.1'de, sürekli engelleme ile ilgili tüm model kodları ise Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Tedarik zincirinde kesikli engellemede takipçi ve liderin problem formülasyonlarının kodları

Modelin Adı	Model Kodu
I. Tek aşamalı tedarik zincirinde kesikli engelleme	-
a. Bütçe belirlemeye yönelik engelleme	-

Çizelge 3.1. (Devam) Tedarik zincirinde kesikli engellemede takipçi ve liderin problem formülasyonlarının kodları

Takipçinin tedarik probleminin modeli	<i>Model – 1</i>
Takipçinin tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model – 1(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model – 2(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model – 3</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model – 3*</i>
<i>b. Bütçe bazında engelleme</i>	-
Takipçinin tedarik probleminin modeli	<i>Model – 1</i>
Takipçinin tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model – 1(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model – 4(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model – 5</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model – 5*</i>
II. İki aşamalı tedarik zincirinde kesikli engelleme	-
<i>c. Bütçe belirlemeye yönelik engelleme</i>	-
Takipçinin tedarik probleminin modeli	<i>Model – 6</i>
Takipçinin tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model – 6(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model – 7(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model – 8</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model – 8*</i>
<i>d. Bütçe bazında engelleme</i>	-
Takipçinin tedarik probleminin modeli	<i>Model – 6</i>
Takipçinin tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model – 6(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model – 9(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model – 10</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model – 10*</i>
III. Çok ürünlü tek aşamalı tedarik zincirinde kesikli engelleme	-
<i>e. Bütçenin etkin kullanımına yönelik hedef programlama</i>	
Takipçinin çok ürünlü tedarik probleminin modeli	<i>Model – 11</i>
Takipçinin çok ürünlü tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model – 11(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model – 12(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model – 13</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model – 13*</i>
Liderin bütçeyi etkin kullanma hedef programlama modeli	<i>Model – 14</i>

Çizelge 3.2. Tedarik zincirinde sürekli engellemede takipçi ve liderin problem formülasyonlarının kodları

Modelin Adı	Model Kodu
IV. Tek aşamalı tedarik zincirinde sürekli engelleme (çevreye duyarlı)	-
<i>f. Bütçe bazında engelleme</i>	-
Takipçinin tedarik probleminin modeli	<i>Model – 1</i>

Çizelge 3.2. (Devam) Tedarik zincirinde sürekli engellemede takipçi ve liderin problem formülasyonlarının kodları

Takipçinin tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model –1(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model –15(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model –16</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model –16*</i>
g. <i>Liderin kendi talep ihtiyacı kadar engellemesi (korumacı yaklaşım)</i>	-
Takipçinin tedarik probleminin modeli	<i>Model –1</i>
Takipçinin tedarik problemi modelinin dual formu	<i>Model –1(d)</i>
Liderin probleminin iki-seviyeli matematiksel modeli	<i>Model –17(bi)</i>
Liderin probleminin tek seviyeli doğrusal olmayan matematiksel modeli	<i>Model –18</i>
Model-L'nin nihai formu	<i>Model –18*</i>

Çalışmadaki tüm modeller Intel(R) Core(TM)2 Quad CPU Q8400 @ 2.67 Ghz işlemcili, 4.00GB RAM'e sahip bir bilgisayar üzerinde, GAMS 23.5.1 (CPLEX çözücü) paket programı kullanılarak çözülmüştür.

3.2. Çalışmanın Literatüre Katkısı

Bölüm 2 de bahsedildiği gibi tedarik zincirinde satın alma süreci ile ilgili ŞEP üzerine iki çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardaki problem yapıları, özellikleri ve çözüm yaklaşımları detaylı olarak anlatılmıştır.

Bu tezin, mevcut çalışmalardan farklı olarak literatüre sağlayacağı katkılar aşağıda sıralanmıştır;

- Minimum maliyetli akış şebekesine dayanan tek ve iki aşamalı tedarik zinciri yapıları için ŞEP çerçevesinde kesikli ve sürekli engelleme dikkate alınarak iki rakip firmanın temel modelleri tanımlanmıştır.
- Kesikli engelleme yapısında tek ve iki aşamalı tedarik zinciri yapıları için, engelleme sayısına göre maliyetlerdeki değişimin tek tek araştırılmasıyla uygun engelleme sayısının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar sunulmuştur.
- Kesikli engelleme yapısında tek ve iki aşamalı tedarik zinciri yapıları için uygun engelleme sayısına bağlı olarak engelleme bütçesinin oluşturulmasına yönelik bütçe için

üst sınır değerinin tespiti yapılmıştır. Dolayısıyla, liderin uygun engelleme stratejisine yönelik bütçe ayarlama analizleri gerçekleştirilerek öneriler sunulmuştur.

- Kesikli engellemede, tek aşamalı-çok ürünlü tedarik yapısı için bütçenin etkin kullanılmasına yönelik, liderin amaçları doğrultusunda bir hedef programlama yaklaşımı geliştirilmiştir.
- Sürekli engellemede, tek aşamalı tedarik yapısı için belli bir bütçe dâhilinde engelleme durumunda çevredeki değişikliklere duyarlı (aksaklıklardan dolayı kapasitenin yalnızca bir kısmını engelleyebilme) daha esnek bir model önerilmiştir. Ayrıca liderin kendi talebi kadar engelleme durumunu (korumacı yaklaşım) dikkate alan bir model geliştirilmiştir.



4. TEDARİK ZİNCİRİNDE KESİKLİ ENGELLEME

Tedarik zincirinde kesikli engellemede, lider tedarikçileri engellediğinde tedarikçinin kapasitesi, takipçi firma için tamamen sıfırlanacaktır. Böylece takipçi firmanın engellenen tedarikçilerden mal satın alması önlenmiş olacaktır. Liderin öncelikli amacı, takipçi firmanın minimum maliyetini en büyüklemektir. Bu engelleme işlemi için lider, bir engelleme bütçesine ihtiyaç duymaktadır.

Çalışmada, liderin engelleme işlemi, belli bir bütçe dâhilinde ve bütçe belirlemeye yönelik olarak iki farklı senaryo için incelenmiştir. Tedarik zincirinde kesikli engelleme kapsamında, tedarik zincirinin tek ve iki aşamalı durumu ele alınarak liderin ve takipçinin problemleri ayrı ayrı modellenmiştir.

Çalışmada, tedarik zincirinin minimum maliyetli akış şebekesine dönüştürülmesinden sonra, kesikli engelleme problemlerinin modellenmesi ve iki seviyeli matematiksel modellerin, doğrusal karışık tam sayılı modele dönüştürülmesi aşamasında Wood [1] ve Lim ve Smith [33]'in çalışmaları temel alınmıştır.

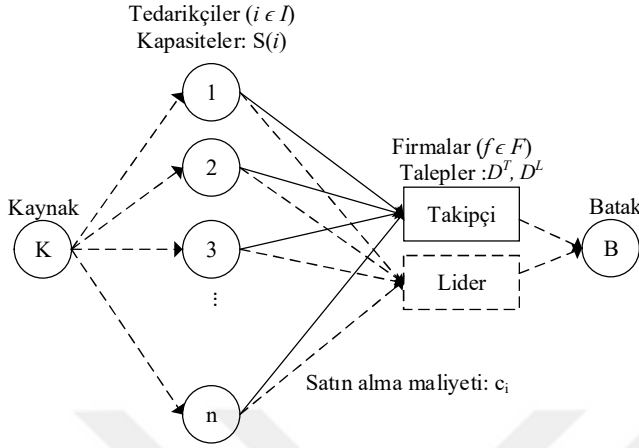
4.1. Tek Aşamalı Tedarik Zincirinde Kesikli Engelleme

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, tek aşamalı tedarik zinciri yapısı kapasiteli tedarikçi düğümlerinden ($I \subset N$), firmalardan ($F \subset N$) ve tedarikçi ile firmalar arasındaki arklardan $(i, f) \in A$ oluşmaktadır. Modellerde, akış tedarikçilerden $i \in I$, ($i = 1, 2, \dots, n$), firmalara ($F \subset N$) doğrudur. Bölüm 3'de de belirtildiği üzere modeller yalnızca takipçinin talebine yönelik oluşturulduğundan, F kümesinin eleman sayısı 1'dir ($f \in F; f = 1$).

Bu durumda, tedarikçilerden, takipçiye gerçekleşen akış miktarı (x_i) takipçinin karar değişkenidir ve tedarikçilerin kapasitesi (S_i) ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca, modellerde (c_i) i . tedarikçiden mal satın almanın maliyetini (D^T), takipçinin talep miktarını ifade eden parametrelerdir.

Tek aşamalı tedarik zinciri yapısında ilişki direkt satıcı (tedarikçi) ve alıcı (firma) arasındadır. Gerçek hayatta bu tip ilişki yapısına uyan pek çok faaliyet alanı mevcuttur. Bu

tip problem yapısına örnek olarak ev tekstil sektöründe faaliyet gösteren ve kumaş tedarik etmek isteyen iki firma ile bu firmaların kumaş tedarikçilerinin ilişkisi verilebilir.



Şekil 4.1. Tek aşamalı tedarik zinciri yapısı

4.1.1. Bütçe belirlemeye yönelik engelleme

Bu tip engellemede “*liderin engelleme bütçesi ne olmalıdır?*” sorusuna cevap aranmaktadır. Bu da tedarikçilerin tek tek engellenerek, liderin ve takipçinin maliyetlerinin yapısındaki değişimin incelenip uygun engelleme sayısının belirlenmesiyle mümkün olacaktır. Diğer bir ifade ile bütçe belirlemeye yönelik engellemede amaç, en makul engelleme stratejisine bağlı olarak bütçe için üst sınır belirlemektir.

Liderin öncelikli amacı, takipçinin elde ettiği minimum tedarik maliyetini engelleme sayısına bağlı olarak tam anlamıyla en büyükmeye çalışmaktır. Tedarik sürecinde öncelikle takipçi mal satın aldığından, lidere doğal olarak yüksek maliyetli tedarikçilerin kalması muhtemeldir.

Bu durumda, liderin takipçinin mal satın alacağı tedarikçileri önceden engellemesiyle, dolaylı olarak düşük maliyetli tedarikçiler lidere kalacağından, önceki durumuna göre liderin kar elde etmesi beklenir. Sonuç olarak, bütçenin belirlenmesi için engelleme sayısının ne olacağına karar verilirken sadece liderin takipçi firmaya zarar vermesinden ziyade, liderin tedarik maliyetinin de göz önüne alınması, liderin yararına olacaktır. Bu amaçla her iki firmanın da maliyet yapıları incelenmelidir.

Mevcut kapasitenin başlangıçta her iki firmaya da yettiği varsayımı ile takipçi firma için tedarikçiler 1'den başlanarak tek tek ($P_{\max}$ 'a kadar)¹ engellenecektir. Engelleme yapılırken, model direkt olarak minimum maliyetli tedarikçileri engellemekten ziyade kitle olarak toplamda en uygun mal nerelerden satın alınıyorsa yani maliyeti toplamda hangi satın almalar azaltıyorsa o tedarikçileri engellemeye çalışacaktır. Diğer bir ifade ile engelleme sayısına bağlı olarak takipçinin amaç fonksiyon değerinin (*maliyetinin*) en büyüklendiği sonuçlar elde edilecektir.

Engelleme ile liderin maliyetinde azalma, takipçinin maliyetinde ise artma beklenmektedir. Tek aşamalı tedarik zincirinde bu tip engelleme ile birçok durumda lider ve takipçinin tedarik sürecinin belli bir noktaya kadar *sıfır toplamı oyun* şeklinde ilerlediği görülmektedir. Yani belli bir noktaya kadar (*kırılma noktası*), taraflardan birinin kazancı, diğerinin kaybına eşit olacaktır.

Çalışmada, sıfır toplamı oyun seyri görüldüğü takdirde uygun engelleme sayısının kararı için, liderin toplam kazancının, takipçiye verilen toplam zarara eşit olduğu durumun bozulmaya başladığı noktanın (p^*) belirlenmesi önerilmiştir. Böylece nispeten iyimser engelleme yaklaşımı dikkate alınmıştır. Çünkü bu noktadan sonra liderin karı ve takipçinin zararı açısından dengesizlik (*liderin maliyetinin sürekli azaldıktan sonra yeniden artması ya da liderin maliyetinin talebini karşıladıktan sonra sabit kalması gibi*) oluşacaktır.

Ayrıca, farklı talep miktarlarında, özellikle liderin talebinin (D^L) çok büyük olduğu durumlarda, analiz ($P_{\max}$)'a kadar yapılacağından dolayı, lider minimum tedarik maliyetine ulaşmadığı halde, sıfır toplamı oyunun seyri bozulmayabilir. Kırılma noktası net olarak görülemediği için sıfır toplamı oyun seyrinin bozulmadığı son nokta, uygun engelleme sayısı olarak seçilmelidir.

Ancak oyun seyri her zaman sıfır toplamı şekilde ilerlemeyebilir. Lider ile takipçinin farklı talep miktarları için liderin maliyetinin seyrinde farklı durumlar (*azaldıktan sonra tekrar artma, ya da sabit kalma*) oluşabilir. Bu durumlar, liderin öncelikli amacının, takipçi

¹ $P_{\max}$; maksimum engelleme sayısını ifade etmektedir. Takipçi için sonuç, *çözumsuz* olana kadar yani engelleme sonrası kalan kapasitenin takipçi firmanın talebini karşılayamadığı duruma kadar yapılacak engelleme sayısıdır. Bu durumda, $P_{\max}$ 'tan sonra model, M sayısına bağlı olarak çok büyük bir değer alacaktır.

firmanın elde ettiği minimum maliyeti en büyükmeye çalışmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü lider engelleme planlarını, kendi talebini (D^L) dikkate alarak değil, takipçi firmanın talebi (D^T) doğrultusunda, takipçinin minimum tedarik maliyetini en büyükmeye yönelik oluşturmaktadır. Dolayısıyla takipçinin amaç fonksiyonu değeri için alternatif çözümler oluştuğunda, bu çözüm takipçinin maliyetini değıştirmezen, liderin maliyetini değıştirebilecektir. Diğer yandan, aynı maliyete sahip alternatif tedarikçilerin mevcudiyeti takipçinin maliyetini engelleme yapılsa da artırmayabilir. Bu durumda takipçinin maliyeti sabit kalacaktır.

Bu tip durumlarda liderin uygun engelleme planını oluşturmaı zorlaşacaktır. Bu kapsamda, lider ağıısından en makul engelleme sayısının (p^*) kararı için, liderin kümülatif toplam kazancının ve takipçiyeye verilen kümülatif toplam zararın eş zamanlı dikkate alınmasından yola çıkılarak, kar-zarar oranına dayalı bir öneri sunulmuştur (Bkz. Eş.4.3).

$$\Delta LM_p = LM_{p-1} - LM_p; p = 1, 2, \dots, P_{\max} \quad (4.1)$$

$$\Delta TM_p = TM_{p-1} - TM_p; p = 1, 2, \dots, P_{\max} \quad (4.2)$$

$$V_p = \frac{\sum_{k=1}^p \Delta LM_k}{\sum_{k=1}^p \Delta TM_k - \varepsilon}; p = 1, 2, \dots, P_{\max} \quad (4.3)$$

Eş. 4.1 ve Eş.4.2’de tanımlanan TM_p ve LM_p , sırasıyla takipçinin ve liderin p . engelleme sonrası maliyetleridir. ΔTM_p ve ΔLM_p ise, p . ve $p-1$. engellemeler arasındaki maliyet farklarıdır.

Eş.4.3’te, V_p , liderin karar vermesine yardımcı olan bir orandır, ε ise oranın paydasının 0 olma riskini ortadan kaldıran, oranı etkilemeyecek derecede küçük (*yaklaşık* 0,00001) alınan hata parametresidir. $P_{\max}$ ise yapılabilecek maksimum engelleme sayısını ifade etmektedir.

Hesaplamalarda fark (Δ), maliyet açısından eğer bir önceki duruma göre zarar edildiyse negatif, kar edildiyse pozitif, ne kar ne zarar durumunda 0 olarak dikkate alınmıştır. Bu durumda hem elde edilen orana hem de liderin dikkate alacağı stratejiye göre karar vermesine yardımcı olacak bir gösterge çizelgesi Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Liderin dikkate alacağı stratejiye göre karar vermesine yardımcı olacak bir gösterge çizelgesi

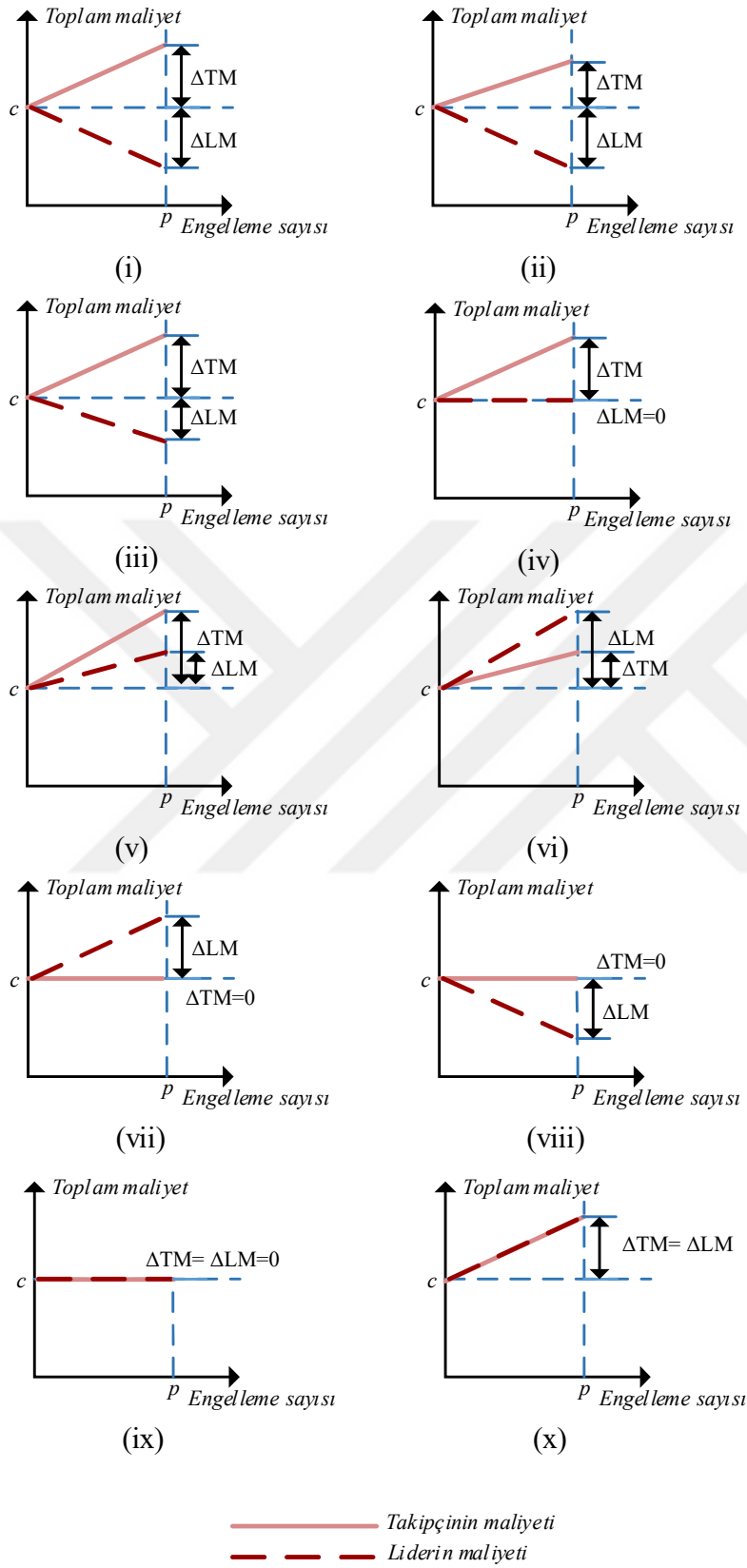
Eş. 4.3'ten de anlaşılacağı üzere, her bir engelleme sayısında, kümülatif maliyetlere, hep başlangıç noktası referans alınarak bakılır. Bu durumda herhangi bir p . ($p < P_{\max}$ ve $p \neq 0$) engellemeyi dikkate alalım.

Başlangıç durumuna göre, yani hiçbir engellemenin olmadığı duruma göre ($p = 0$), liderin ve takipçinin maliyetlerinin p . engellemeden sonra göstereceği muhtemel bütün davranışlar Şekil 4.3'te özetlenmiştir.

Şekil 4.3'te görülen toplam maliyetteki c noktası, hiçbir engellemenin olmadığı durumda lider ve takipçinin başlangıç maliyetlerini ifade etmektedir ve gösterimin netliği açısından liderin ve takipçinin başlangıç maliyetlerinin eşit olduğu ($TM_0 = LM_0$) kabul edilmiştir.

Maliyet farklarına göre karşılaşılabilecek durumlar;

- $\Delta TM > 0$ ve $\Delta LM > 0$, takipçi ve liderin zarar ettiğini,
- $\Delta LM < 0$ liderin kar ettiğini,
- $\Delta TM = 0$ ve $\Delta LM = 0$ takipçi ve liderin ne kar ne de zarar ettiğini ifade etmektedir.



Şekil 4.3. Liderin ve takipçinin maliyetlerinin p . engellemeden sonra göstereceği muhtemel bütün davranışlar

Şekil 4.3'te tanımlanan tüm durumlar incelendiğinde; liderin dikkate alacağı stratejiler aşağıdadır;

- (i) $|\Delta LM| = |\Delta TM|$ 'dir. Takipçi $|\Delta TM|$ kadar zarar ederken; lider $|\Delta LM|$ kadar kar edecektir. Bu durumda $V_p \cong -1$ 'dir. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, **nispeten iyimser karar** vermiş olacaktır.
- (ii) $|\Delta LM| > |\Delta TM|$ 'dir. Takipçi $|\Delta TM|$ kadar zarar ederken; lider $|\Delta LM|$ kadar kar edecektir. Bu durumda $-\infty < V_p < -1$ 'dir. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, **iyimser karar** vermiş olacaktır.
- (iii) $|\Delta LM| < |\Delta TM|$ 'dir. Takipçi $|\Delta TM|$ kadar zarar ederken; lider $|\Delta LM|$ kadar kar edecektir. Bu durumda $-1 < V_p < 0$ 'dir. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, elde ettiği kar, takipçiye verdiği zarardan az olacağından dolayı **kötü niyetli (avcı) karar** vermiş olacaktır.
- (iv) $|\Delta TM| > |\Delta LM| = 0$ 'dır. Takipçi $|\Delta TM|$ kadar zarar ederken; lider ne karar ne zarar durumundadır. Bu durumda $V_p = 0$ 'dır. Bu durumda liderin engelleme yapmaması yararına olacaktır. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, kendisi kar etmeyip sadece takipçiye zarar verme amacı güdeceğinden **açıkça kötü niyetli (avcı) karar** vermiş olacaktır.
- (v) $|\Delta TM| > |\Delta LM|$ 'dir. Takipçi $|\Delta TM|$ kadar zarar ederken; lider $|\Delta LM|$ kadar zarar etmektedir. Bu durumda $V_p > 0$ olacağından dolayı, liderin bu engelleme sayısını seçmemesi önerilir. Bu durumda liderin hiçbir tedarikçiyi engellememesi ya da mümkün olan diğer engelleme sayılarındaki oranları inceleyip ona göre karar vermesi yararına olacaktır. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, kendi zararını dikkate almayıp, takipçiye zarar verme amacı güdeceğinden **kesinlikle kötü niyetli (avcı) karar** vermiş olacaktır.
- (vi) $|\Delta LM| > |\Delta TM|$ 'dir. Takipçi $|\Delta TM|$ kadar zarar ederken; lider $|\Delta LM|$ kadar zarar etmektedir. Bu durumda da $V_p > 0$ olacağından dolayı, liderin bu engelleme sayısını seçmemesi önerilir. Bu durumda liderin hiçbir tedarikçiyi engellememesi ya da mümkün olan diğer engelleme sayılarındaki oranları inceleyip ona göre karar vermesi yararına olacaktır. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, kendi zararını

dikkate almayıp, takipçiye zarar verme amacı güdeceğinden **kesinlikle kötü niyetli (avcı) karar** vermiş olacaktır.

- (vii) $|\Delta LM| > |\Delta TM| = 0$ 'dır. Takipçi ne kar ne zarar ederken; lider $|\Delta LM|$ kadar zarar etmektedir. Bu durumda da $V_p > 0$ olacağından dolayı, liderin bu engelleme sayısını **kesinlikle seçmemesi** önerilir. Bu durumda, liderin hiç engelleme yapmaması ya da mümkün olan diğer engelleme sayılarını karşılaştırıp karar vermesi yararına olacaktır.
- (viii) $|\Delta LM| > |\Delta TM| = 0$ 'dır. Takipçi ne kar ne zarar durumundayken; lider $|\Delta LM|$ kadar kar edecektir. Bu durumda $-\infty < V_p < -1$ 'dir. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, takipçiye zarar vermeyip sadece kar ettiği için **iyimser karar** vermiş olacaktır.
- (ix) $|\Delta LM| = |\Delta TM| = 0$ 'dır. Takipçi ve lider ne kar ne zarar konumundadır. Bu durumda $V_p = 0$ 'dır. Başlangıç durumundan bu yana takipçi ve liderin maliyetlerinde bir değişiklik olmadığı için, p engelleme sayısının seçilmemesi önerilir. Bu durumda liderin hiçbir tedarikçiyi engellememesi ya da mümkün olan diğer engelleme sayılarındaki oranları inceleyip ona göre karar vermesi yararına olacaktır.
- (x) $|\Delta LM| = |\Delta TM|$ 'dır. Takipçi ve liderin her ikisi de zarar etmektedir. Bu durumda $V_p \cong 1$ 'dir. Bu durumda liderin hiçbir tedarikçiyi engellememesi ya da mümkün olan diğer engelleme sayılarındaki oranları inceleyip ona göre karar vermesi yararına olacaktır. Lider, eğer p engelleme sayısını seçerse, kendi zararını dikkate almayıp, takipçiye zarar verme amacı güdeceğinden **kesinlikle kötü niyetli (avcı) karar** vermiş olacaktır.

Bu durumda, en uygun engelleme sayısına karar verirken $-\infty < V_p \leq -1$ aralığında nispeten küçük oranların seçilmesi, özellikle oranın 0 olduğu durumlardan kaçınılması ile liderin yararına bir engelleme planı belirlenebilir. Ancak dikkat edilmelidir ki liderin engelleme ile elde edeceği kârdan bir engelleme bütçesi oluşturabilmesi için $\Delta LM > 0$ olması gerekmektedir. Aksi takdirde $\Delta LM \leq 0$ durumda engelleme yapmak isterse bu lidere extra maliyet olarak yansıyacaktır.

Uygun engelleme sayısına karar verildikten sonra, liderin engelleme bütçesi için üst sınır tespiti yapılacaktır. Eş.4.4'te görüldüğü gibi, liderin engelleme yapmadan önceki maliyeti (LM_0) ile p^* tedarikçiyi engelledikten sonraki maliyeti (LM') arasındaki fark ($R_{üst}$), liderin ayıracağı engelleme bütçesi için bir üst sınır oluşturacaktır.

$$R_{üst} = LM_0 - LM' \quad (4.4)$$

Sonuç olarak, p^* tedarikçiyi engellemek için liderin tedarikçilere verilmek üzere ayıracağı bütçe miktarı $R_{üst}$ iken, lider ne kar-ne zarar durumunda, bütçeyi $R_{üst} - 1$ olarak belirlediğinde $1pb$ kadar kar durumunda olacaktır.

Bu üst sınır liderler için bir pusula görevi görmektedir. Karar verici konumundaki lider, politikaları gereği $R_{üst}$ kadarlık bütçenin tamamını ya da belli bir kısmını tedarikçileri engellemek için kullanabilir. Ancak, lider gerçek hayatta, tedarikçileri engelleme işleminde, tedarikçiyi ikna edememe, tedarikçinin eski müşterisine olan bağlılığı gibi nedenlerden dolayı bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Bu durumda lider, önerilen uygun engelleme sayısı (p^*) ile kazanacağı karı gözetmeksizin daha az sayıda tedarikçiyi engelleyerek daha küçük bir $R_{üst}$ bütçesi ile daha az kazancı tercih edebilir.

Takipçinin ve liderin problemlerinin formülasyonları

Model –1: Tek aşamalı tedarik zincirinde takipçinin minimum maliyetli tedarik modeli

Model –1 ile takipçi, hiçbir engelleme olmadığında talebini, kapasiteli tedarikçilerden minimum maliyetle karşılamayı amaçlamaktadır.

$$z^* = \min_x \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (4.5)$$

$$x_i \leq S_i \quad \forall i \in I : \alpha_i \quad (4.6)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \geq D^T \quad : \beta \quad (4.7)$$

$$x_i \geq 0, \forall i \in I \quad (4.8)$$

Modelin amaç fonksiyonu Eş.4.5'te ifade edilmiştir. Eş.4.6'da ifade edilen kısıtlar, i . tedarikçiden satın alınan mal miktarını, i . tedarikçinin kapasitesi ile sınırlandırmaktadır. Eş.4.7'de ifade edilen kısıt, toplam satın alınan mal miktarının takipçinin talebini karşılamasını sağlamaktadır. Eş.4.8, takipçinin karar değişkeni için pozitiflik kısıtlarıdır. Modelde kısıtların yanında verilen α_i, β ; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model – 1(d): Tek aşamalı tedarik zincirinde takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin duali

Model – 1'in dual formudur. Liderin problemine ilişkin iki seviyeli matematiksel modelin tek seviyeye indirgenmesinde kolaylık sağlamaktadır.

$$z^* = \max_{\alpha, \beta} \sum_{i \in I} S_i \alpha_i + D^T \beta \quad (4.9)$$

$$\alpha_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (4.10)$$

$$\alpha_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.11)$$

$$\beta \geq 0 \quad (4.12)$$

Model – 2(bi): Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Liderin probleminin matematiksel modeli, iki seviyeli (*max-min*) oluşturulmuştur. Daha sonra bu model, *Model – 3*'te tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modele ve modelin nihai hali için de gerekli doğrusallaştırma işlemlerinden sonra, *Model – 3**'te tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal matematiksel modele dönüştürülmüştür.

$$z^* = \max_{y \in Y} \min_x \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (4.13)$$

$$x_i \leq S_i(1 - y_i) \quad \forall i \in I : \phi_i \quad (4.14)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \geq D^T \quad : \beta \quad (4.15)$$

$$x_i \geq 0, \forall i \in I \quad (4.16)$$

$$Y = \left\{ y_i \in \{0,1\} : \sum_{i \in I} y_i = p \right\} \quad (4.17)$$

İki seviyeli modelde, sabit y_i karar değişkeni için, içteki en küçükleme modeli (*inner minimization model*) takipçinin tedarik modelidir. En büyükleme problemi ise liderin problemidir ve liderin karar değişkeni $y_i; i \in I$ düğümü (*tedarikçiler*) engellenirse 1, diğer durumlarda 0 değerini alacaktır. Liderin amacı, $i \in I$ düğümlerini engelleyerek, takipçinin minimum tedarik maliyetini engelleme sayısına bağlı olarak en büyükleme modelidir.

Eş.4.13'te modelin amaç fonksiyonu ifade edilmiştir. Eş.4.14, lider $i \in I$ düğümünü engellediğinde ($y_i = 1$), i . tedarikçinin kapasitesini takipçi için sıfırlayan kısıttır. Eş.4.15'te ifade edilen kısıt, toplam satın alınan mal miktarının takipçinin talebini karşılamasını sağlamaktadır. Eş. 4.16 ise takipçinin karar değişkeni için pozitiflik kısıtlarını ifade etmektedir. Eş.4.17'de ifade edilen kısıt ise liderin engelleme sayısını sınırlandırmaktadır. Bu kısıtta p , yapılacak engelleme sayısını ifade etmektedir. Bu kapsamda, model her p engelleme sayısı ($p = 0, 1, 2, \dots, P_{\max}$) için tek tek çözülecektir. Dual değişkenler; ϕ_i, β kısıtların yanında verilmiştir.

Model – 3: Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Wood, çalışmasında problem yapısı uni-modular olduğunda, liderin karar değişkeninin sabit tutularak iki seviyeli maksimum akış şebeke engelleme modelinin tek seviyeli karışık tam sayılı modele dönüştürülebileceğini ispatlamıştır [1]. Bu tezde de, problem yapısı uni-modular olduğu için modelin tek seviyeye indirgenmesinde bu dönüşüm kullanılmıştır.

Dolayısıyla, y_i karar değişkeninin geçici olarak sabit tutulup içteki en küçükleme modelinin duali alınarak ve daha sonra y_i karar değişkeni serbest bırakılarak, model tek seviyeli (*max-max*) karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modele dönüştürülmüştür. Böylece, iki seviyeli model, aynı amaç fonksiyonu yapısına (*max*) sahip, ancak değişkenlerin farklı setleri üzerinde (*liderin primal değişkeni* (y_i); *takipçinin dual değişkenleri* (ϕ_i, β)) tek seviyeli modele indirgenmiştir.

$$z^* = \max_y \max_{\phi, \beta} \sum_{i \in I} S_i \phi_i (1 - y_i) + D^T \beta \quad (4.18)$$

$$\phi_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (4.19)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (4.20)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.21)$$

$$\beta \geq 0 \quad (4.22)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.23)$$

*Model – 3** : Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

Model – 3 'te, Eş. 4.18'deki $\phi_i(1 - y_i)$ ifadesi doğrusallığı bozmaktadır. Bu durumda $y_i \in \{0,1\}$ ve $\phi_i \leq 0$ bilinenlerinden yola çıkarak, optimalitede kayıp olmaksızın modele bazı kısıtlar ilave edilerek *Model – 3* doğrusallaştırılmıştır.

Öncelikle, modeldeki $\phi_i(1 - y_i)$ ifadesi, Eş.4.30'da tanımlanan $\mu_i \leq 0$ karar değişkeni ile yer değiştirilmiş ve modele Eş.4.26'daki $\mu_i \leq \phi_i + My_i$ (M : *yeteri kadar büyük bir sayı*) kısıt kümesi ilave edilmiştir.

Doğrusallaştırmanın sağlamlasını yapacak olursak, en iyi çözümde $y_i = 0$ iken, μ_i değişkeni ϕ_i değişkenine eşit olacaktır. Modelin amaç fonksiyonu en büyükleme tipinde olduğundan dolayı, Eş. 4.26 ve Eş. 4.30 eş zamanlı dikkate alındığında, $\mu_i = \phi_i$ eşitliği doğrulanacaktır. Benzer şekilde, en iyi çözümde $y_i = 1$ iken, μ_i değişkeni 0'a eşit olacaktır. Modelin amaç fonksiyonu en büyükleme tipinde olduğundan dolayı, Eş. 4.26 ve Eş. 4.30 yine eş zamanlı dikkate alındığında, $\mu_i = 0$ eşitliği doğrulanacaktır. Bu durumda liderin probleminin nihai hali aşağıdaki gibi olacaktır.

$$z^* = \max_{y, \mu, \phi, \beta} \sum_{i \in I} S_i \mu_i + D^T \beta \quad (4.24)$$

$$\phi_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (4.25)$$

$$\mu_i \leq \phi_i + My_i \quad \forall i \in I \quad (4.26)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p \quad (4.27)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.28)$$

$$\beta \geq 0 \quad (4.29)$$

$$\mu_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.30)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \forall i \in I \quad (4.31)$$

Her p değeri için, $Model-3^*$, lidere, takipçinin minimum tedarik maliyetini en büyükleyecek engelleme planlarını üretecektir.

$p = 0$ iken, $Model-3^* \equiv Model-1 \equiv Model-1(d)$ olacaktır. Bu durumda, bu üç modelin amaç fonksiyon değeri, hiçbir engelleme olmaksızın takipçinin minimum tedarik maliyetini verecektir. Ayrıca liderin 1 tedarikçiyi engellemesi durumunda ($p = 1$), doğal olarak takipçinin minimum tedarik maliyetinin artması beklenmektedir ($z_{Model-3^*}^{*(p=1)} \geq z_{Model-3^*}^{*(p=0)}$).

Nümerik örnek

Çizelge 4.1’de tedarikçiler, kapasiteleri ve tedarik maliyetleri verilmiştir. Bu verilere göre liderin uygun engelleme sayısını belirleme aşamasında karşılaşılabileceği bütün durumlar incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Problem verileri

Tedarikçiler (i)	Tedarikçi kapasitesi (S_i)	Tedarik maliyeti (c_i) -pb
1.	40	1
2.	65	4
3.	80	1
4.	80	2
5.	80	1
6.	75	1
7.	100	3
8.	150	3
9.	150	2
10.	130	2
$M=4000$		

Karşılaşılabilecek durumlar

(i) *Talep miktarlarının aynı olması:* Liderin ve takipçinin talep miktarlarının aynı olduğu ($D^L = D^T$) durumda yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.2’de, engelleme sayısı ve maliyet grafiği ise Şekil 4.4’te, V oranları ise Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Aynı talep miktarları için engelleme planları ($D^L = D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); $M=4000$								
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	325*	320***	240	200	200	200	200	200*****
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	200**	205****	285	360	400	440	520	çözumsuz
Engellenen tedarikçiler	-	5	3-5	3-5-6	1-3-5-6	3-5-6-9-10	1-3-5-6-9-10	-

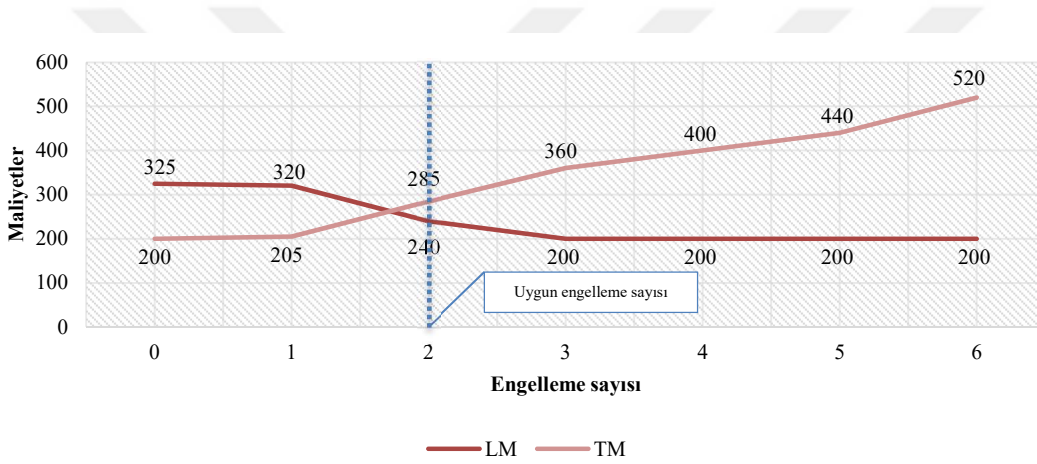
(*) Hiçbir engelleme olmadığı durumda, liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile takipçi mallarını aldıktan sonra kapasiteler sonuçlara göre güncellenerek yine **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile bulunur.

(**) Hiçbir engelleme olmadığı durumda, takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile direkt olarak hesaplanabilir.

(***) 1 tedarikçinin engellendiği durumda ($p=1$), liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-2*** ile takipçi engellenip, engelleme yapılan tedarikçiler dışındaki kapasitelerden **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile takipçi mallarını aldıktan sonra kapasiteler sonuçlara göre güncellenerek liderin amaç fonksiyonu yine **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile bulunur.

(****) 1 tedarikçinin engellendiği durumda ($p=1$), takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-2*** ile direkt olarak hesaplanabilir.

(*****) 7 engelleme ile ($p=7$) kalan kapasitenin takipçi için yetersiz kaldığı dolayısıyla takipçi için sonucun **çözumsuz** olduğu durumda, takipçinin mal satın almadığı varsayılarak, kapasite güncellenmesi yapılmadan liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyon değeri **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile direkt olarak hesaplanabilir.

Şekil 4.4. Aynı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L = D^T$)Çizelge 4.3. Aynı talep miktarları için V oranları ($D^L = D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); $M=4000$						
p	1	2	3	4	5	6
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	5	85	125	125	125	125
$\Delta TM_p = TM_p - TM_{p-1}$	-5	-85	-160	-200	-240	-320
V_p	-1	-1	-0,781	-0,625	-0,521	-0,390

Çizelge 4.3'te $p = 3; p = 4; p = 5; p = 6$ için $-1 < V_{3,4,5,6} < 0$ aralığında oranlar elde edilmiştir. Lider, eğer bu engelleme sayılarından herhangi birini seçerse, seçtiği noktaya kadar elde ettiği kar, takipçiye verdiği zarardan az olacağından dolayı kötü niyetli (*avcı*) karar vermiş olacaktır. Nispeten iyimser karar benimsenerek, $V_{1,2} \cong -1$ oranının değiştiği yani sıfır toplamli oyun seyrinin bozulduğu nokta bu analiz için uygun engelleme sayısı Şekil 4.4'te de görüldüğü üzere $p^* = 2$ olarak belirlenebilir. Liderin bu 2 tedarikçiyi

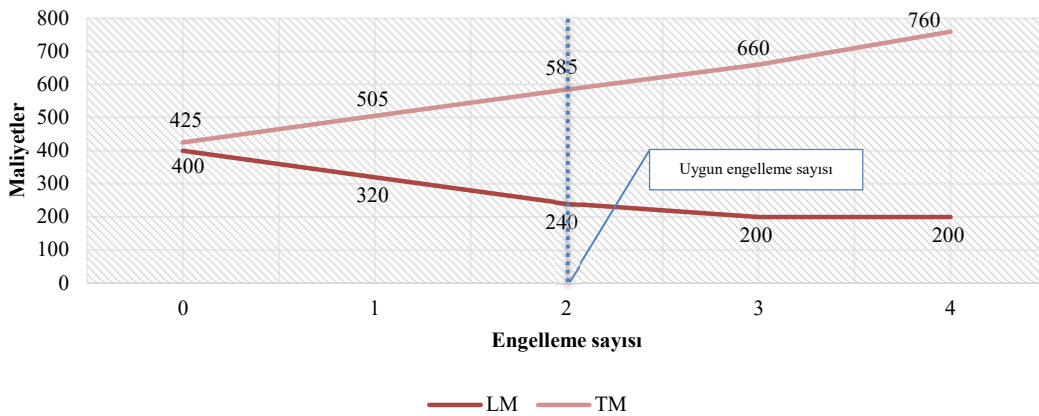
engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4'e göre, $85pb$ 'dir. Lider, bu tedarikçileri engellemek için $85pb$ 'lik bütçe ayırırsa, ne kar ne zarar durumunda olacak ancak $84pb$ 'lik bütçe ayırdığında $1pb$ kar durumuna geçecektir.

Ancak Şekil 4.4 incelendiğinde, liderin bütün talebini karşılayabileceği minimum maliyete $p = 3$ engelleme sayısı ile ulaşabildiği görülmektedir. Lider politikaları gereği, minimum maliyetine ulaşması durumunu gözetmeksizin kötü niyetli yaklaşım izleyip, takipçiye vereceği zararın miktarına göre uygun engelleme sayısını $p = 3$ ya da daha fazla belirleyebilir.

(ii) *Talep miktarlarının farklı olması:* Liderin ve takipçinin talep miktarları farklı iken yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.6'da, engelleme sayısı ve maliyet grafikleri ise Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da, V oranları ise Çizelge 4.5'te ve Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L < D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=350$); M:4000						
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	400	320	240	200	200	200
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	425	505	585	660	760	çözümsüz
Engellenen tedarikçiler	-	3	3-5	3-5-6	3-5-6-9	-



Şekil 4.5. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı ve maliyet grafiği ($D^L < D^T$)

Çizelge 4.5. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L < D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=350$); M:4000				
p	1	2	3	4
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	80	160	200	200

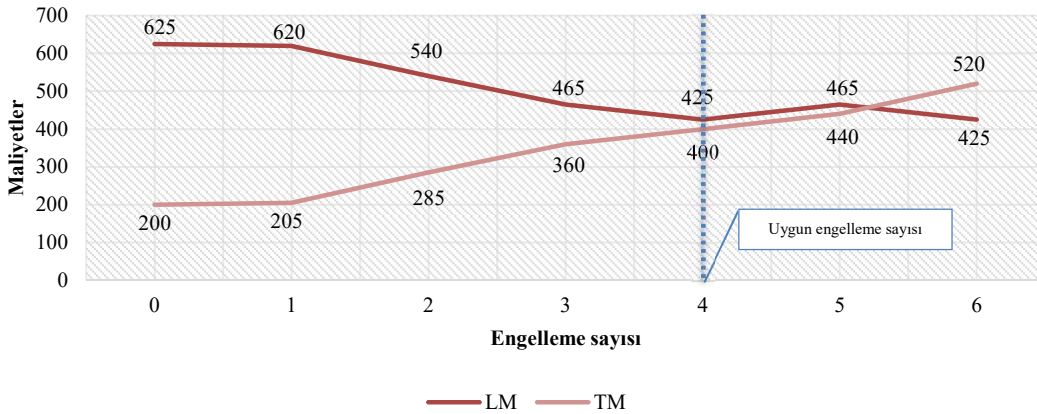
Çizelge 4.5. (Devam) Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L < D^T$)

$\Delta TM_i = TM_p - TM_{p-1}$	-80	-160	-235	-335
V_p	-1	-1	-0,851	-0,597

Çizelge 4.5'te $p = 3; p = 4$ için $-1 < V_{3,4} < 0$ aralığında oranlar elde edilmiştir. Lider, eğer bu engelleme sayılarından herhangi birini seçerse, seçtiği noktaya kadar elde ettiği kar, takipçiye verdiği zarardan az olacağından dolayı kötü niyetli (*avcı*) karar vermiş olacaktır. Nispeten iyimser karar benimsenerek, $V_{1,2} \cong -1$ oranının değiştiği yani sıfır toplamli oyun seyrinin bozulduğu nokta bu analiz için uygun engelleme sayısı Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere $p^* = 2$ olarak belirlenebilir. Liderin bu 2 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4'e göre, $160pb'$ 'dir.

Çizelge 4.6. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=350$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M:4000								
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	625	620	540	465	425	465	425	425
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	200	205	285	360	400	440	520	çözümstüz
Engellenen tedarikçiler	-	5	3-5	3-5-6	1-3-5-6	3-5-6-9-10	1-3-5-6-9-10	-

Şekil 4.6. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)Çizelge 4.7. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)

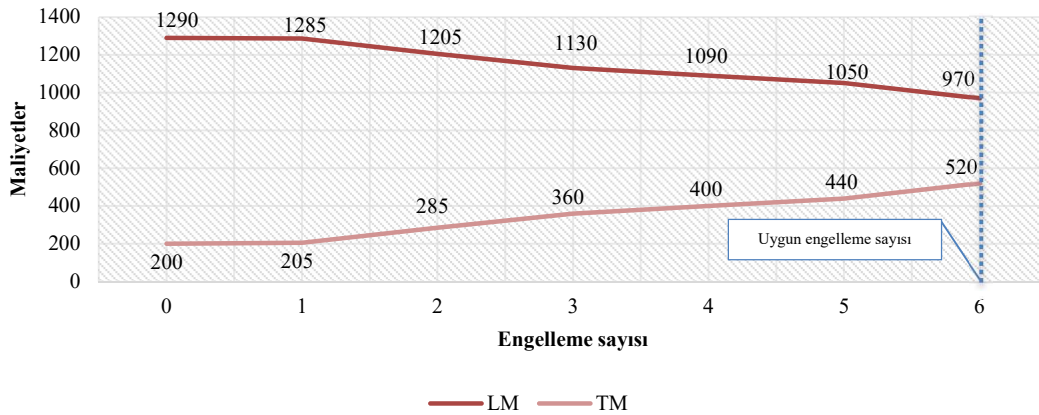
Liderin talebi ($D^L=350$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M=4000						
p	1	2	3	4	5	6
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	5	85	160	200	160	200
$\Delta TM_i = TM_p - TM_{p-1}$	-5	-85	-160	-200	-240	-320
V_p	-1	-1	-1	-1	-0,667	-0,625

Çizelge 4.7’de $p = 5$; $p = 6$ için $-1 < V_{5,6} < 0$ aralığında oranlar elde edilmiştir. Lider, eğer bu engelleme sayılarından herhangi birini seçerse, seçtiği noktaya kadar elde ettiği kar, takipçiye verdiği zarardan az olacağından dolayı kötü niyetli (*avcı*) karar vermiş olacaktır. Nispeten iyimser karar benimsenerek, $V_{1,2,3,4} \cong -1$ oranının değiştiği yani sıfır toplamli oyun seyrinin bozulduğu nokta bu analiz için uygun engelleme sayısı Şekil 4.6’da da görüldüğü üzere $p^* = 4$ olarak belirlenebilir. Liderin bu 4 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4’e göre, $200pb$ ’dir. Şekil 4.6 incelendiğinde, liderin talebinin, takipçinin talebinden fazla olduğu durumda ($D^L > D^T$), liderin maliyeti $p = 4$ noktasında minimum maliyetine ulaşmasına rağmen engellemeye devam ettiğinde maliyetinin sabit kalması beklenirken iken $p = 5$ durumunda tekrar artış göstermiştir.

(iii) *Kırılma noktasının net belirlenemediği durumlar*: Liderin talebinin, takipçinin talebinden daha büyük olduğu ($D^L > D^T$) durumlarda, analiz $P_{\max}$ ’a kadar yapıldığı için kırılma noktası net olarak tespit edilemeyebilir. Bu durum ile ilgili analiz sonuçları Çizelge 4.8’de, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.7’de, V oranları ise Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=600$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M:4000								
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	1290	1285	1205	1130	1090	1050	970	925
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	200	205	285	360	400	440	520	çözüksüz
Engellenen tedarikçiler	-	5	3-5	3-5-6	1-3-5-6	3-5-6-9-10	1-3-5-6-9-10	-



Şekil 4.7. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)

Çizelge 4.9. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=600$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); $M=4000$						
p	1	2	3	4	5	6
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	5	85	160	200	240	320
$\Delta TM_p = TM_p - TM_{p-1}$	-5	-85	-160	-200	-240	-320
V_p	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Çizelge 4.9’da tüm engelleme sayıları için $V_{1,2,3,4,5,6} \cong -1$ oranı elde edilmiştir. Sıfır toplamli oyun seyri hiç değişmediği için kırılma noktası tespit edilememektedir. Bu durumda, sıfır toplamli oyunun bozulmadığı son nokta Şekil 4.7’den de görüldüğü üzere $p^* = 6$, bu analiz için uygun engelleme sayısı olarak belirlenir. Liderin 6 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri Eş.4.4’e göre, $320pb$ ’dir. Ayrıca Çizelge 4.8 incelendiğinde, 6 engellemeye rağmen liderin büyük talep miktarından dolayı, minimum tedarik maliyeti olan $925pb$ ’ne ulaşamadığı görülmektedir.

(iv) *Alternatif çözüm:* Liderin maliyet yapısında dalgalanmaya neden olabilecek diğer bir faktör alternatif çözümlerin olmasıdır. Dikkat edilmelidir ki, daha önce de ifade edildiği gibi model öncelikli olarak takipçinin talebine yönelik, takipçinin minimum maliyetini en büyükmek amacıyla kurulmuştur. Dolayısıyla, farklı alternatif çözümler takipçinin maliyetini doğal olarak değiştirmezken, farklı talep miktarına sahip liderin maliyetini değiştirebilir.

Örneğin, Çizelge 4.6’da ($p = 6$) iken, $(1-3-5-6-9-10)$ nolu tedarikçilerin engellenmesi takipçinin maliyetini $520pb$ ’ne çıkarırken, liderin maliyetini $425pb$ ’ne düşürmüştür.

Aynı problemde, ($p = 6$) durumu tekrar çözüldüğünde bu kez $(3-4-5-6-9-10)$ nolu tedarikçilerin engellenmesi şeklinde alternatif bir çözüm ortaya çıkmıştır. Bu engelleme planına göre, takipçinin maliyeti yine $520pb$ iken, liderin maliyeti $465pb$ ’ne düşmüştür. Bu durumda ilk engelleme planı, lider için daha avantajlıdır.

Görüldüğü gibi liderin maliyetinde bir artış gözlemlendiğinde, bunun alternatif çözümün varlığından kaynaklanabileceği söylenebilir. Ancak bu durum yalnızca liderin talebinin takipçinin talebinden fazla olduğu durumlarda karşımıza çıkabilir. Bu durumun göz ardı

edilmemesi gerekmektedir. Çizelge 4.6'daki analizde ($p = 6$) için farklı talep miktarlarında liderin amaç fonksiyonundaki değişim incelenmiş ve Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı talep miktarlarında liderin amaç fonksiyonundaki değişim

	(1-3-5-6-9-10) engellendiğinde takipçinin amaç fonk. değeri	(1-3-5-6-9-10) engellendiğinde liderin amaç fonk. değeri	(3-4-5-6-9-10) engellendiğinde takipçinin amaç fonk. değeri	(3-4-5-6-9-10) engellendiğinde liderin amaç fonk. değeri
$D^l=150 < D^t=200$	520	150	520	150
$D^l=180 < D^t=200$	520	180	520	180
$D^l=D^t=200$	520	200	520	200
$D^l=250 > D^t=200$	520	250	520	<u>265</u>
$D^l=350 > D^t=200$	520	425	520	<u>465</u>
$D^l=400 > D^t=200$	520	525	520	<u>565</u>
$D^l=450 > D^t=200$	520	625	520	<u>665</u>

Çizelge 4.10'da görüldüğü gibi liderin talebinin takipçinin talebinden büyük olduğu durumlarda liderin amaç fonksiyonunu alternatif çözüm artırmıştır. Bu tür dalgalanmalar olsa da önerilen oran yaklaşımı ile liderin amacı ile uyumlu en makul orana göre uygun engelleme sayısına karar verilecektir. Diğer yandan, oyun seyri sıfır toplamı şekilde ilerlerken, bu alternatif çözüm (p) engelleme sayısında meydana geliyorsa ve liderin maliyetini artırıyorsa sıfır toplamı oyun yapısı bu noktadan sonra bozulacağından bu nokta uygun engelleme noktası ($p^* = p$) olarak seçilecektir. Ayrıca, sıfır toplamı oyun seyrinde alternatif çözüm Çizelge 4.6'daki gibi uygun engelleme sayısından (p^*) sonra liderin maliyetinde artmaya neden oluyorsa zaten dikkate alınmayacaktır.

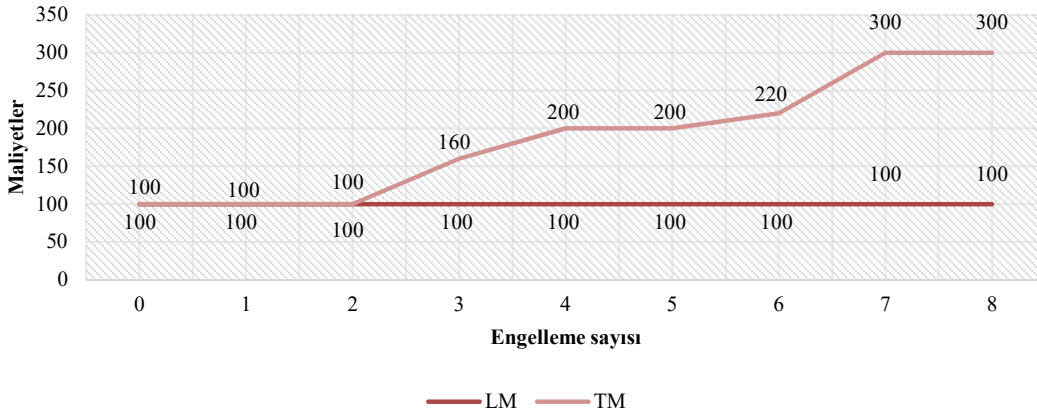
(v) *Aynı maliyete sahip alternatif tedarikçilerin mevcudiyeti:* Alternatif tedarikçilerin söz konusu olduğu durumda, lider tedarikçileri engellemesine rağmen takipçinin maliyetini belli bir noktaya kadar (p) artıramayabilir ($TM_{p.engelleme} = TM_0$). Tedarikçiler engellendikçe takipçi doğal olarak alternatif tedarikçilere yönelecektir. Bu durumun analizi talep miktarlarını diğer örneklerle göre nispeten daha küçük aldığımızda açıkça görülecektir. Dikkat edilirse Çizelge 4.1'deki problem verilerinde alternatif tedarikçilerin olduğu görülmektedir.

Liderin ve takipçinin talep miktarları aynı iken yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.11'de, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.8'de, V oranları ise Çizelge 4.12'de; talep

miktarları farklı iken yapılan analiz sonuçları ve Çizelge 4.13'te, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.9'da, ve V oranları ise Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.11. Aynı talep miktarları için engelleme planları ($D^L = D^T$)

Liderin talebi ($D^L=100$) & Takipçinin talebi ($D^T=100$); M=4000										
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	100	100	100	160	200	200	220	300	300	çözümstüz
Engellenen tedarikçiler	-	1	1-3	3-5-6	1-3-5-6	1-3-4-5-6	3-4-5-6-9-10	1-3-4-5-6-9-10	1-3-4-5-6-8-9-10	-



Şekil 4.8. Aynı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L = D^T$)

Çizelge 4.12. Aynı talep miktarları için V oranları ($D^L = D^T$)

Liderin talebi ($D^L=100$) & Takipçinin talebi ($D^T=100$); M=4000								
p	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta TM_p = TM_p - TM_{p-1}$	$\approx 0^*$	≈ 0	-60	-100	-100	-120	-200	-200
V_p	0	0	0	0	0	0	0	0

(*)Eş. 4.3'te paydaki ε hata parametresi çok küçük olduğundan sonuç yaklaşık 0 olarak dikkate alınmıştır.

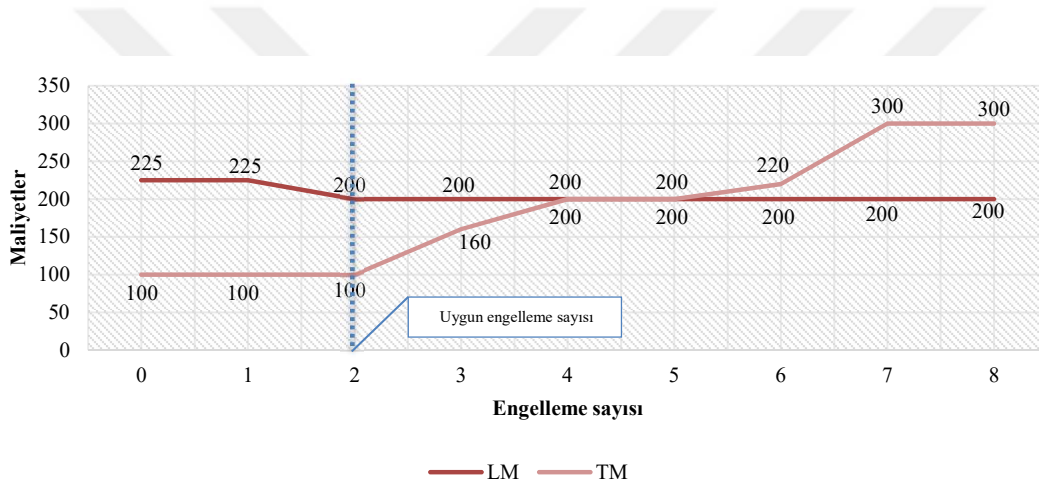
Çizelge 4.12'de tüm engelleme sayıları için $V_{1,2,3,4,5,6,7,8} = 0$ oranı elde edilmiştir. Şekil 4.8'den de görüldüğü gibi lider $p=2$ engelleme sayısına kadar takipçinin maliyetini artıramamıştır.

Bu durumda lider, herhangi bir p engelleme sayısını seçerse, kendisi kar etmeyip sadece takipçiye zarar verme amacı güdeceğinden açıkça kötü niyetli (*avcı*) karar vermiş olacaktır.

Bu durumda liderin engelleme yapmaması önerilir ancak politikaları gereği takipçiye zarar verme amacı güderse Çizelge 4.9'daki zarar miktarlarına göre ($p = 3$)'ten başlayarak bir engelleme planı belirleyebilir.

Çizelge 4.13. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=100$); $M=4000$										
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	225	225	225	200	200	200	200	200	200	200
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	100	100	100	160	200	200	220	300	300	çözümstüz
Engellenen tedarikçiler	-	1	1-3	3-5-6	1-3-5-6	1-3-4-5-6	3-4-5-6-9-10	1-3-4-5-6-9-10	1-3-4-5-6-8-9-10	-



Şekil 4.9. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)

Çizelge 4.14. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=100$) & Takipçinin talebi ($D^T=100$); $M=4000$								
p	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	0	25	25	25	25	25	25	25
$\Delta TM_p = TM_p - TM_{p-1}$	≈ 0	≈ 0	-60	-100	-100	-120	-200	-200
V_p	0	$-M^*$	-0,417	-0,25	-0,25	-0,208	-0,125	-0,125

(*)Eş. 4.3'te payda yaklaşık -0,00001 olarak dikkate alındığından oran çok küçük ($-M$) bir sayıdır.

Çizelge 4.14'te $p = 1$ için $V_1 = 0$ oranı elde edilmiştir. Bu durumda liderin bu engelleme sayısını seçmemesi gereklidir. $p = 1$ engelleme sayısına kadar iki tarafın da kar zarar oranı değişmemektedir. Şekil 4.9'dan da görüldüğü gibi lider $p = 2$ engelleme sayısına kadar takipçinin maliyetini artıramamıştır.

$p=2$ için $-\infty < V_2 < -1$ oranı elde edilmiştir. Lider, eğer bu engelleme sayısını seçerse, takipçiye zarar vermeyip sadece kar ettiği için iyimser karar vermiş olacaktır.

Bununla birlikte $p=3; p=4; p=5; p=6; p=7; p=8$ için $-1 < V_{3,4,5,6,7,8} < 0$ aralığında oranlar elde edilmiştir. Lider, eğer bu engelleme sayılarından herhangi birini seçerse, seçtiği noktaya kadar elde ettiği kar, takipçiye verdiği zarardan az olacağından dolayı kötü niyetli (*avcı*) karar vermiş olacaktır.

Nispeten iyimser karar benimsenerek, bu analiz için uygun engelleme sayısı Şekil 4.6'da da görüldüğü üzere $p^* = 2$ olarak belirlenebilir. Liderin bu 2 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4'e göre, $25pb$ 'dir.

4.1.2. Bütçe bazında engelleme

Bu tip engellemede, her bir tedarikçiyi engellemenin maliyeti vardır ve geçmiş sözleşmelere dayanarak önceden bilindiği varsayılmaktadır. Lider engelleyeceği tedarikçiler için belli bir engelleme bütçesi ayırmıştır ve bu bütçeyi kullanarak en uygun engellemeyi yapacaktır.

Liderin amacı, ayırdığı bütçe dâhilinde takipçinin minimum tedarik maliyetini en büyükmeye çalışmaktır. Her bir tedarikçiyi engelleme maliyeti (r_i), liderin engelleme bütçesi (R)'dir. Takipçinin minimum maliyetli tedarik modeli *Model-1* ile aynı olacaktır. Bu durumda *Model-1* ve *Model-1(d)* bilindiğinde liderin probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibi olacaktır.

Model-4(bi): Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Bu modelin, *Model-2(bi)*'den tek farkı, her bir tedarikçinin engelleme maliyetini (r_i) dikkate alarak, engelleme işlemini, belli bir engelleme bütçesine (R) kadar sınırlandıran Eş.4.36'daki kısıttır.

$$z^* = \max_{y \in Y} \min_x \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (4.32)$$

$$x_i \leq S_i(1 - y_i) \quad \forall i \in I : \phi_i \quad (4.33)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \geq D^T \quad : \beta \quad (4.34)$$

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.35)$$

$$Y = \left\{ y_i \in \{0,1\} : \sum_{i \in I} r_i y_i \leq R, R \in Z^+ \right\} \quad (4.36)$$

Model – 5 : Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Benzer şekilde, bu modelin, *Model – 3* 'ten tek farkı, Eş.4.39'da ifade edilen kısıttır. Bu kısıt engelleme işlemini R bütçesi ile sınırlandırmaktadır.

$$z^* = \max_y \max_{\phi, \beta} \sum_{i \in I} S_i \phi_i (1 - y_i) + D^T \beta \quad (4.37)$$

$$\phi_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (4.38)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i \leq R \quad (4.39)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.40)$$

$$\beta \geq 0 \quad (4.41)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.42)$$

*Model – 5** : Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

Bu modelin, *Model – 3** 'ten tek farkı, Eş.4.46'da ifade edilen kısıttır.

$$z^* = \max_{y, \mu, \phi, \beta} \sum_{i \in I} S_i \mu_i + D^T \beta \quad (4.43)$$

$$\phi_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (4.44)$$

$$\mu_i \leq \phi_i + M y_i \quad \forall i \in I \quad (4.45)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i \leq R \quad (4.46)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.47)$$

$$\beta \geq 0 \quad (4.48)$$

$$\mu_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.49)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.50)$$

Nümerik örnek

Çizelge 4.15'te tedarikçiler, kapasiteleri, tedarik maliyetleri ve her bir tedarikçinin engellenme maliyetleri verilmiştir. Bu problem verileri dikkate alınarak farklı engelleme bütçeleri için liderin engelleme planları belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Problem verileri

Tedarikçiler (i)	Tedarikçi kapasitesi (S_i)	Tedarik maliyeti (c_i) -pb	Engelleme maliyeti (r_i) -pb
1.	40	1	7
2.	65	4	6
3.	80	1	8
4.	80	2	8
5.	80	1	9
6.	75	1	8
7.	100	3	10
8.	150	3	5
9.	150	2	8
10.	130	2	6
$D^T=200; M=4000$			

Çizelge 4.15'te görüldüğü üzere tüm tedarikçileri engellemenin toplam maliyeti $75pb$ 'dir. Farklı engelleme bütçeleri ($R = 0; R = 15; R = 30; R = 45; R = 50$) için takipçinin amaç fonksiyonu değerleri ve liderin engelleme planları Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. Farklı engelleme bütçeleri için problem sonuçları

Engelleme bütçesi (R) (pb)	0	15	30	45	50	51
Engellenen tedarikçiler	-	1-3	3-5-6	1-3-4-6 9-10	3-4-5-6 9-10	-
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	200	245	360	440	520	çözümsüz*

(*) $R=51$ olduğunda kalan kapasite, takipçinin talebini karşılayamamaktadır. ($M=4000$)

Çizelge 4.16 incelendiğinde, bütçe $51pb$ iken yapılan engelleme planına göre kalan kapasite takipçinin talebini karşılayamadığı için, problemin amaç fonksiyon değeri M değerine bağlı olarak çok büyük değer almaktadır. Bu da çözümün uygun olmadığı anlamına gelmektedir. Diğer bir ifade ile $51 \leq R \leq 75$ için sonuçlar M değerine bağlı olarak oldukça büyük değer olacaktır. Aynı zamanda $R > 75$ için modelin sonucu zaten *çözümsüz (integer infeasible)* olacaktır. Bu yüzden, analiz $R = 51$ 'e kadar yapılmıştır.

Bütçe bazında engellemede, kesikli engelleme kararı (*bütçe yetiyorsa kapasiteyi tamamen sıfırla, yetmiyorsa sıfırlama*) dikkate alındığı için bütçeyi etkin kullanamama durumları

kapasitesi (H_j) ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca, modellerde (c_{ij}), i . tedarikçiden, j . aktarma merkezine taşınacak malın ulaştırma maliyetini; (n_j), j . aktarma merkezinden, takipçinin satın alacağı malın satın alma maliyetini; (D^T) ise takipçinin talep miktarını ifade eden parametrelerdir.

Tezde ele alınan iki aşamalı tedarik zinciri yapısında ilişki direkt satıcı (*tedarikçi*) ve alıcı (*firma*) arasında gibi görünse de firmalar mallarını aktarma merkezleri üzerinden temin etmektedir. Bu duruma örnek olarak yurt dışından getirtilen malların havalimanları veya deniz limanları gibi ortak noktalarda gümrük işlemleri için bekletilmesi veya akaryakıt dağıtım firmalarının kombine taşımacılık için kapasiteli aktarma merkezlerini kullanmaları verilebilir. Eğer kapasitenin olmadığı bir aktarma merkezi düşünülürse problem Bölüm 4.1’de ele alınan tek aşamalı tedarik zincirindeki problem yapısına dönüşecektir. Tezde aktarma merkezleri ortak kullanılan noktalar olduğu için aktarma merkezleri engellenmeyecektir. Anlaşmalar yine tedarikçiler ile sağlanıp, tedarikçiler ($I \subset N$) üzerinde engelleme yapılacaktır.

4.2.1.Bütçe belirlemeye yönelik engelleme

Bu tip engellemede yine “*liderin engelleme bütçesi ne olmalıdır?*” sorusuna cevap aranmaktadır. Amaç, tek aşamalı tedarik zincirinde bütçe belirlemeye yönelik engellemede olduğu gibi, tedarikçilerin tek tek engellenmesiyle liderin ve takipçinin maliyetlerinin yapısındaki değişimin incelenerek, en makul engelleme planının belirlenmesine bağlı olarak liderin engelleme bütçesi için üst sınır belirlemektir.

Başlangıçta mevcut kapasitenin her iki oyuncuya da yettiği varsayımı ile takipçi firma için tedarikçiler 1’den başlanarak yine tek tek ($P_{\max}$ ’a kadar) engellenecektir. Engelleme yapılırken, model takipçinin talebini dikkate alarak (D^T) direkt olarak minimum maliyetli tedarikçileri engellemekten ziyade kitle olarak toplamda en uygun mal nerelerden satın alınıyorsa yani maliyeti toplamda hangi satın almalar azaltıyorsa o tedarikçileri engelleyecektir.

Engelleme ile liderin maliyetinde azalma, takipçinin maliyetinde ise artma beklenmektedir. Bölüm 4.1.1’de de bahsedildiği üzere lider engelleme planlarını, kendi talebini (D^L) dikkate alarak değil, takipçi firmanın talebi (D^T) doğrultusunda, takipçinin minimum tedarik maliyetini en büyükmeye yönelik oluşturmaktadır. Dolayısıyla iki aşamalı tedarik zincirinde bütçe belirlemeye yönelik kesikli engellemede de maliyet yapılarında değişiklikler (*liderin maliyetinin sürekli azaldıktan sonra yeniden artması ya da sabit kalması ya da takipçinin maliyetinin arttıktan sonra sabit kalması*) oluşabilecektir.

Bölüm 4.1.1’de tek aşamalı tedarik zincirinde bu tip engelleme ile birçok durumda lider ve takipçinin tedarik süreci belli bir noktaya kadar *sıfır toplamı oyun* şeklinde ilerlediğinden bahsedilmiştir. İki aşamalı tedarik zincirinde kapasiteli aktarma merkezlerinin mevcudiyeti bu durumun oluşmasını engelleyebilecektir.

Lider engelleme planlarını takipçinin talebine yönelik oluşturduğundan dolayı takipçinin engelleme sonrası kullanmak zorunda kaldığı aktarma merkezi, aslında liderin talebi doğrultusunda tercih ettiği ilk aktarma merkezi olabilir. Dolayısıyla engellemelere bağlı olarak takipçi, liderin tercih edeceği bu aktarma merkezinin kapasitesini azaltacağı için, bu durum lidere maliyet olarak yansıyor, liderin maliyetini artırabilir. Bu tür bir değişkenlik her p engelleme sayısında yaşanabileceğinden, iki aşamalı tedarik zincirinde, oyunun sıfır toplamı şekilde ilerlemesi güçleşecektir. Ayrıca tek aşamalı tedarik zincirinde bütçe belirlemeye yönelik kesikli engellemede meydana gelen alternatif çözümler burada da liderin maliyetinde dalgalanmaya neden olabilir.

İki aşamalı tedarik zincirinde bütçe belirlemeye yönelik kesikli engellemede de lider açısından en makul engelleme sayısının (p^*) kararı için, Bölüm 4.1.1’ de önerilen, liderin kümülatif toplam kazancını ve takipçiye verilen kümülatif toplam zararı eş zamanlı dikkate alan oran yaklaşımı kullanılacaktır (Bkz. Eş.4.3).

Bu durumda, yine uygun engelleme sayısına karar verirken $-\infty < V_p \leq -1$ aralığında nispeten küçük oranların seçilmesi, özellikle oranın 0 olduğu durumlardan kaçınılması ile liderin yararına bir engelleme planı belirlenebilir.

Engelleme sayısına karar verildikten sonra, Eş.4.4'ten benzer şekilde, liderin ayıracağı engelleme bütçesi için üst sınır hesaplanır. Sonuç olarak, p^* tedarikçiyi engellemek için liderin ayıracağı bütçe miktarı $R_{üst}$ iken, lider ne kar ne zarar durumunda, bütçeyi $R_{üst} - 1$ yaptığında $1pb$ kadar kar durumunda olacaktır.

Takipçi ve liderin problemlerinin formülasyonları

Model – 6: İki aşamalı tedarik zincirinde takipçinin minimum maliyetli tedarik modeli

Model – 6, *Model – 1*'den farklı olarak, iki aşamalı tedarik zinciri için oluşturulmuştur. *Model – 6* ile takipçi, hiçbir engelleme olmadığına talebini, kapasiteli aktarma merkezlerini kullanarak, kapasiteli tedarikçilerden minimum maliyetle karşılamayı amaçlamaktadır.

$$z^* = \min_{x,y} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} n_j y_j \quad (4.51)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq S_i \quad \forall i \in I \quad : \alpha_i \quad (4.52)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq H_j \quad \forall j \in J \quad : \beta_j \quad (4.53)$$

$$y_j - \sum_{i \in I} x_{ij} \leq 0 \quad \forall j \in J \quad : \delta_j \quad (4.54)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \geq D^T \quad : \lambda \quad (4.55)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.56)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.57)$$

Modelin amaç fonksiyonu Eş.4.51'de ifade edilmiştir. Eş. 4.52 ve Eş.4.53'te ifade edilen kısıtlar, i . tedarikçiden satın alınan mal miktarını, sırasıyla, i . tedarikçinin ve j . aktarma merkezinin kapasiteleri ile sınırlandırmaktadır. Eş.4.54, akış denge kısıtlarını ifade etmektedir. Eş.4.55'te ifade edilen kısıt, toplam satın alınan mal miktarının takipçinin talebini karşılamasını sağlamaktadır. Eş. 4.56 ve Eş.4.57, takipçinin karar değişkenleri için pozitiflik kısıtlarıdır. Modelde kısıtların yanında verilen $\alpha_i, \beta_j, \delta_j, \lambda$; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model – 6(d): İki aşamalı tedarik zincirinde takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin duali

Model – 6 'nın dual formudur. Liderin problemine ilişkin iki seviyeli matematiksel modelin tek seviyeye indirgenmesinde kolaylık sağlayacaktır.

$$z^* = \max_{\alpha, \beta, \delta, \lambda} \sum_{i \in I} S_i \alpha_i + \sum_{j \in J} H_j \beta_j + D^T \lambda \quad (4.58)$$

$$\alpha_i + \beta_j - \delta_j \leq c_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.59)$$

$$\delta_j + \lambda \leq n_j \quad \forall j \in J \quad (4.60)$$

$$\alpha_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.61)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (4.62)$$

$$\beta_j \leq 0; \delta_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.63)$$

Model – 7(bi): İki aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Liderin probleminin matematiksel modeli, iki seviyeli (*max-min*) oluşturulmuştur. Daha sonra bu model, *Model – 8* 'de tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modele ve modelin nihai hali için de gerekli doğrusallaştırma işlemlerinden sonra, *Model – 8** 'de tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal matematiksel modele dönüştürülmüştür.

İki seviyeli modelde, sabit w_i karar değişkeni için, içteki en küçükleme modeli takipçinin tedarik modelidir. En büyükleme problemi ise liderin problemidir ve liderin karar değişkeni w_i ; $i \in I$ düğümü (*tedarikçiler*) engellenirse 1, diğer durumlarda 0 değerini alacaktır. Liderin amacı, $i \in I$ düğümlerini engelleyerek, takipçinin minimum tedarik maliyetini engelleme sayısına bağlı olarak en büyüklemeektir.

$$z^* = \max_{w \in W} \min_{x, y} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} n_j y_j \quad (4.64)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq S_i (1 - w_i) \quad \forall i \in I \quad : \phi_i \quad (4.65)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq H_j \quad \forall j \in J \quad : \beta_j \quad (4.66)$$

$$y_j - \sum_{i \in I} x_{ij} \leq 0 \quad \forall j \in J \quad : \delta_j \quad (4.67)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \geq D^T \quad : \lambda \quad (4.68)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.69)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.70)$$

$$W = \left\{ w_i \in \{0,1\} : \sum_{i \in I} w_i = p \right\} \quad (4.71)$$

Eş. 4.64'te modelin amaç fonksiyonu ifade edilmiştir. Eş. 4.65, lider $i \in I$ düğümünü engellediğinde ($w_i = 1$), i . tedarikçinin kapasitesini takipçi için sıfırlayan kısıttır. Eş. 4.66 tedarikçilerden satın alınıp j . aktarma merkezine aktarılan toplam mal miktarını, j . aktarma merkezinin kapasitesi ile sınırlandırmaktadır. Eş. 4.67 akış denge kısıtlarını ifade etmektedir. Eş. 4.68'de ifade edilen kısıt, toplam satın alınan mal miktarının takipçinin talebini karşılamasını sağlamaktadır. Eş. 4.69 ve Eş. 4.70, takipçinin karar değişkenleri için pozitiflik kısıtlarıdır. Eş. 4.71'de ifade edilen kısıt ise liderin engelleme sayısını sınırlandırmaktadır.

Bu kapsamda, model yine her p engelleme sayısı ($p = 0,1,2,\dots,P_{\max}$) için tek tek çözülecektir. Modelde kısıtların yanında verilen $\phi_i, \beta_j, \delta_j, \lambda$; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model – 8: İki aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Bu modelde de, problem yapısı yine uni-modular olduğu için modelin tek seviyeye indirgenmesi *Model – 3* 'te anlatıldığı şekilde yapılmıştır.

$$z^* = \max_w \max_{\phi, \beta, \delta, \lambda} \sum_{i \in I} S_i (1 - w_i) \phi_i + \sum_{j \in J} H_j \beta_j + D^T \lambda \quad (4.72)$$

$$\phi_i + \beta_j - \delta_j \leq c_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.73)$$

$$\delta_j + \lambda \leq n_j \quad \forall j \in J \quad (4.74)$$

$$\sum_{i \in I} w_i = p \quad (4.75)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.76)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (4.77)$$

$$\beta_j \leq 0; \delta_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.78)$$

$$w_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.79)$$

*Model – 8**: İki aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

*Model – 3**’te kullanılan doğrusallaştırma yaklaşımı ile *Model – 8*’e Eş. 4.88’deki değişken ve Eş. 4.83’teki kısıt kümesi eklenerek *Model – 8** elde edilmiştir.

$$z^* = \max_{w, \phi, \beta, \delta, \lambda, \mu} \sum_{i \in I} S_i \mu_i + \sum_{j \in J} H_j \beta_j + D^T \lambda \quad (4.80)$$

$$\phi_i + \beta_j - \delta_j \leq c_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.81)$$

$$\delta_j + \lambda \leq n_j \quad \forall j \in J \quad (4.82)$$

$$\mu_i \leq \phi_i + M w_i \quad \forall i \in I \quad (4.83)$$

$$\sum_{i \in I} w_i = p \quad (4.84)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.85)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (4.86)$$

$$\beta_j \leq 0; \delta_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.87)$$

$$\mu_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.88)$$

$$w_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.89)$$

Nümerik örnek

Çizelge 4.17’de tedarikçiler ve kapasiteleri, aktarma merkezleri ve kapasiteleri, ulaştırma ve tedarik maliyetleri verilmiştir. Bu verilere göre liderin uygun engelleme sayısını belirleme aşamasında karşılaşılabileceği bütün durumlar incelenmiştir.

Çizelge 4.17. Problem verileri

Tedarikçiler (<i>i</i>)	Tedarikçi kapasitesi (<i>S_i</i>)	Ulaştırma maliyeti (<i>c_i</i>) -pb			
1.	40	<i>c</i> ₁₁ =3	<i>c</i> ₃₃ =3	<i>c</i> ₆₁ =5	<i>c</i> ₈₃ =3
2.	65	<i>c</i> ₁₂ =2	<i>c</i> ₃₄ =4	<i>c</i> ₆₂ =4	<i>c</i> ₈₄ =4
3.	80	<i>c</i> ₁₃ =1	<i>c</i> ₄₁ =4	<i>c</i> ₆₃ =1	<i>c</i> ₉₁ =3
4.	80	<i>c</i> ₁₄ =3	<i>c</i> ₄₂ =2	<i>c</i> ₆₄ =2	<i>c</i> ₉₂ =4
5.	80	<i>c</i> ₂₁ =1	<i>c</i> ₄₃ =2	<i>c</i> ₇₁ =1	<i>c</i> ₉₃ =1
6.	75	<i>c</i> ₂₂ =4	<i>c</i> ₄₄ =1	<i>c</i> ₇₂ =5	<i>c</i> ₉₄ =1
7.	100	<i>c</i> ₂₃ =2	<i>c</i> ₅₁ =2	<i>c</i> ₇₃ =3	<i>c</i> ₁₀₁ =3
8.	150	<i>c</i> ₂₄ =3	<i>c</i> ₅₂ =2	<i>c</i> ₇₄ =5	<i>c</i> ₁₀₂ =3
9.	150	<i>c</i> ₃₁ =2	<i>c</i> ₅₃ =1	<i>c</i> ₈₁ =2	<i>c</i> ₁₀₃ =2
10.	130	<i>c</i> ₃₂ =3	<i>c</i> ₅₄ =1	<i>c</i> ₈₂ =2	<i>c</i> ₁₀₄ =1
Akt. merk. (<i>j</i>)	Akt. merk. kapasitesi (<i>H_j</i>)	Tedarik maliyeti (<i>n_j</i>) -pb			
1.	100	5			
2.	150	5			
3.	250	6			
4.	400	7			

Karşılaşılabilecek durumlar

- (i) *Talep miktarlarının aynı olması:* Liderin ve takipçinin talep miktarı aynı ($D^L = D^T$) iken yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.18’de, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.11’de, V oranları ise Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Aynı talep miktarları için engelleme planları ($D^L = D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); $M=4000$								
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	1400*	1400***	1380	1400	1400	1400	1380	1300*****
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	1300**	1335****	1400	1400	1400	1400	1405	çözumsuz
Engellenen tedarikçiler	-	7	2-7	1-2-7	1-2-6-7	1-2-4-6-7	2-3-4-7-8-9	-

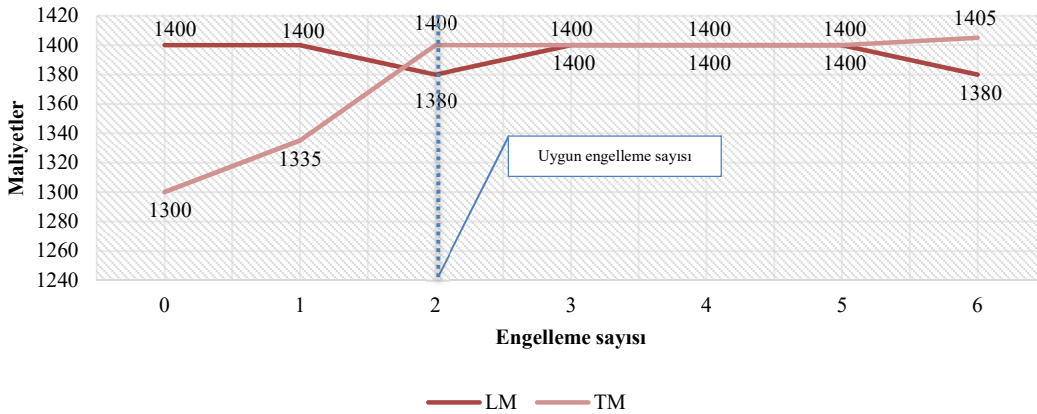
(*) Hiçbir engelleme olmadığı durumda, liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile takipçi mallarını aldıktan sonra kapasiteler sonuçlara göre güncellenerek yine **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile bulunur.

(**) Hiçbir engelleme olmadığı durumda, takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile direkt olarak hesaplanabilir.

(***) 1 tedarikçinin engellendiği durumda ($p=1$), liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-2*** ile takipçi engellenip, engelleme yapılan tedarikçiler dışındaki kapasitelerden **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile takipçi mallarını aldıktan sonra kapasiteler sonuçlara göre güncellenerek liderin amaç fonksiyonu yine **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile bulunur.

(****) 1 tedarikçinin engellendiği durumda ($p=1$), takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-2*** ile direkt olarak hesaplanabilir.

(*****) 7 engelleme ile ($p=7$) kalan kapasitenin takipçi için yetersiz kaldığı dolayısıyla takipçi için sonucun **çözumsuz** olduğu durumda, takipçinin mal satın almadığı varsayılarak, kapasite güncellenmesi yapılmadan liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyon değeri **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile direkt olarak hesaplanabilir.



Şekil 4.11. Aynı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L = D^T$)

Çizelge 4.19. Aynı talep miktarları için V oranları ($D^L = D^T$)

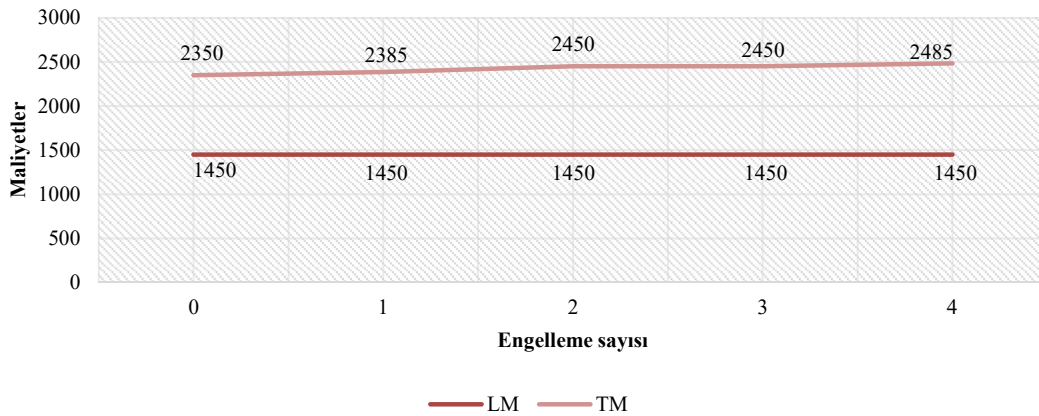
Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); $M=4000$						
p	1	2	3	4	5	6
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	0	20	0	0	0	20
$\Delta TM_p = TM_p - TM_{p-1}$	-35	-100	-100	-100	-100	-105
V_p	0	-0,2	0	0	0	-0,19

Çizelge 4.19'daki V_p oranlarını incelendiğinde, engelleme sayısı $p = 1; p = 3; p = 4; p = 5$ iken $V_{1,3,4,5} = 0$ bulunduğu, yani liderin kar etmediği halde, takipçiye zarar verdiği görülmektedir. Bu durumda kar edemediği için, liderin bu tür bir karardan kaçınması yararına olacaktır. Diğer yandan, $p = 2; p = 6$ için $-1 < V_{2,6} < 0$ aralığında oranlar elde edilmiştir. Bu durumda karar lidere kalmıştır, ancak her iki durumda da kar ettiği açıktır. Ancak burada daha küçük olan engelleme sayısını seçmesi mantıklıdır. Çünkü liderin elde ettiği kar aynı iken, takipçiye verdiği zarar küçük bir miktar artmıştır. Bu durumda, 6 takipçi yerine 2 takipçiyi engellemek yerinde bir karar olacaktır. Daha fazla tedarikçiyi engellemek hem zor bir süreç hem de ayrılacak bütçenin 2 yerine 6 tedarikçiye pay edilmesiyle lidere kalan para da azalabilecektir. Bu durumda, bu analiz için uygun engelleme sayısı $p^* = 2$ olarak belirlenebilir. Liderin bu 2 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4'e göre, $20pb$ 'dir.

(ii) *Talep miktarlarının farklı olması:* Liderin talebinin, takipçinin talebinden küçük olduğu durumda ($D^L < D^T$) yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.20'de, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.12'de, V oranları ise Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L < D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=350$); M:4000						
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	1450	1450	1450	1450	1450	1300
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	2350	2385	2450	2450	2485	çözümstüz
Engellenen tedarikçiler	-	7	2-7	2-3-7	4-5-8-9	-



Şekil 4.12. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L < D^T$)

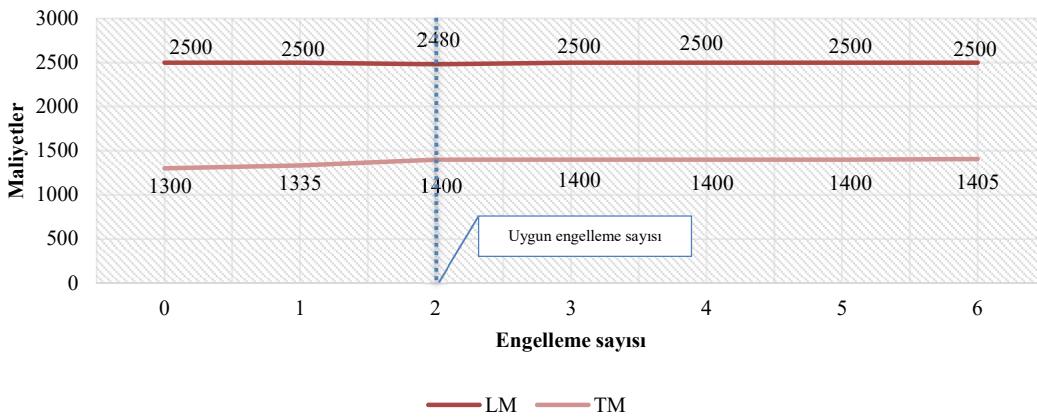
Çizelge 4.21. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L < D^T$)

Liderin talebi ($D^L=200$) & Takipçinin talebi ($D^T=350$); M=4000				
p	1	2	3	4
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	0	0	0	0
$\Delta TM_i = TM_p - TM_{p-1}$	-35	-100	-100	-135
V_p	0	0	0	0

Çizelge 4.21’den görüldüğü gibi, lider hiç kar etmediği için tüm engelleme durumları için $V_{1,2,3,4} = 0$ bulunmuştur. Bu durumda liderin engelleme yapmaması yararına olacaktır. Ancak, lider kar etmediği halde politikaları gereği yine de takipçi firmaya zarar vermek isterse, vermek istediği zararın miktarı doğrultusunda bir engelleme planı belirleyebilir. Bu durumda lider açıkça kötü niyetli bir yaklaşım sergileyecektir. Liderin talebinin, takipçinin talebinden büyük olduğu durumda ($D^L > D^T$) yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.22’de, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.13’te, V oranları ise Çizelge 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.22. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=350$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M:4000								
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	2500	2500	2480	2500	2500	2500	2500	2350
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	1300	1335	1400	1400	1400	1400	1405	çözümsüz
Engellenen tedarikçiler	-	7	2-7	1-2-7	1-2-6-7	1-2-4-6-7	2-3-4-7-8-9	-

Şekil 4.13. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)Çizelge 4.23. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=350$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M=4000						
p	1	2	3	4	5	6
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	0	20	0	0	0	0
$\Delta TM_i = TM_p - TM_{p-1}$	-35	-100	-100	-100	-100	-105
V_p	0	-0,2	0	0	0	0

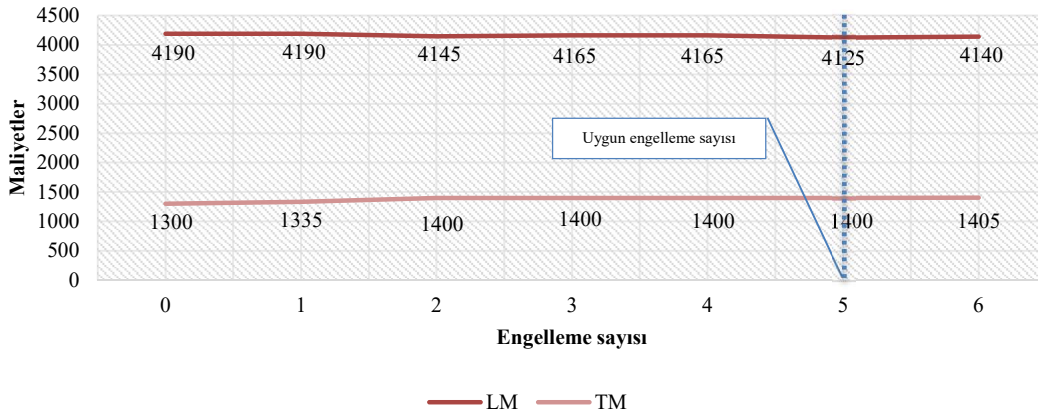
Çizelge 4.23'te görüldüğü gibi, engelleme sayısı $p = 1; p = 3; p = 4; p = 5; p = 6$ iken $V_{1,3,4,5,6} = 0$ bulunmuştur. Liderin kar etmediği halde, takipçiye zarar verdiği görülmektedir. Bu durumda kar edemediği için, liderin bu tür bir karardan kaçınması yararına olacaktır.

Diğer yandan, $p = 2$ için $-1 < V_2 < 0$ aralığında bir oran elde edilmiştir. Bu durumda, bu analiz için uygun engelleme sayısı ($p^* = 2$) olarak belirlenebilir. Liderin bu 2 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4'göre, $20pb'$ 'dir.

Liderin talebinin, takipçinin talebinden büyük olduğu ($D^L > D^T$) bir başka durum incelendiğinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.24'te, engelleme sayısı ve maliyet grafiği Şekil 4.14'te, V oranları ise Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Farklı talep miktarları için engelleme planları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=550$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M:4000								
Engelleme sayısı (p)	0	1	2	3	4	5	6	7
Liderin amaç fonk. değeri (LM_p)	4190	4190	4145	4165	4165	4125	4140	3800
Takipçinin amaç fonk. değeri (TM_p)	1300	1335	1400	1400	1400	1400	1405	çözümsüz
Engellenen tedarikçiler	-	7	2-7	1-2-7	1-2-6-7	1-2-4-6-7	2-3-4-7-8-9	-



Şekil 4.14. Farklı talep miktarları için engelleme sayısı & maliyet grafiği ($D^L > D^T$)

Çizelge 4.25. Farklı talep miktarları için V oranları ($D^L > D^T$)

Liderin talebi ($D^L=550$) & Takipçinin talebi ($D^T=200$); M=4000						
p	1	2	3	4	5	6
$\Delta LM_p = LM_p - LM_{p-1}$	0	45	25	25	65	50
$\Delta TM_p = TM_p - TM_{p-1}$	-35	-100	-100	-100	-100	-105
V_p	0	-0,45	-0,25	-0,25	-0,65	-0,48

Çizelge 4.25'te görüldüğü üzere, $p=1$ için, $V_1=0$ oranı elde edilmiştir. Liderin kar etmediği halde, takipçiye zarar verdiği görülmektedir. Bu durumda kar edemediği için, liderin bu tür bir karardan kaçınması yararına olacaktır. Diğer yandan, $p=2; p=3; p=4; p=5; p=6$ için $-1 < V_{2,3,4,5,6} < 0$ aralığında oranlar elde edilmiştir. Bu durumda karar lidere kalmıştır. Engelleme sayısı $p=5$ iken oran $V_5=0,65$ 'tir. Bu oran ile liderin karı en büyüktür ancak, $p=2$ engelleme sayısı ile $V_2=0,45$ oranını yani daha az kar elde etmeyi daha az tedarikçiyi engelleyeceği için tercih edebilir.

Bu iki durumu ele aldığımızda takipçiye verilen zarar aynıdır, ancak lider açısından düşündüğümüzde, liderin elde ettiği kar $p=5$ durumunda daha fazladır. Bu durumda, bu analiz için uygun engelleme sayısı $p^*=5$ olarak belirlenmiştir. Liderin bu 5 tedarikçiyi engellemek için ayıracağı bütçenin üst sınır değeri ise Eş.4.4'e göre, $65pb$ 'dir.

4.2.1. Bütçe bazında engelleme

Bu tip engellemede, yukarıda da bahsedildiği gibi her bir tedarikçiyi engellemenin maliyeti vardır ve geçmiş sözleşmelere dayanarak önceden bilindiği varsayılmaktadır. Lider engelleyeceği tedarikçiler için bir engelleme bütçesi ayırmıştır ve bu bütçeyi kullanarak en uygun engellemeyi yapacaktır. Lider iki aşamalı tedarik zincirinde yine yalnızca tedarikçi düşümlerini engelleyecektir ($I \subset N$).

Liderin öncelikli amacı, ayırdığı bütçe dâhilinde, takipçinin minimum tedarik maliyetini en büyükmeye çalışmaktır. Her bir tedarikçiyi engelleme maliyeti (r_i), liderin engelleme bütçesinin R 'dir. Takipçinin minimum maliyetli tedarik modeli *Model-6* ile aynı olacaktır. Bu durumda *Model-6* ve *Model-6(d)* bilindiğinde liderin probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibi olacaktır.

Model-9(bi): İki aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Bu modelin, *Model-7(bi)*’den tek farkı, her bir tedarikçinin engelleme maliyetini (r_i) dikkate alarak, engelleme işlemini, belli bir engelleme bütçesine (R) kadar sınırlandıran Eş. 4.97’deki kısıttır.

$$z^* = \max_{w \in W} \min_{x, y} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} n_j y_j \quad (4.90)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq S_i(1 - w_i) \quad \forall i \in I \quad : \phi_i \quad (4.91)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq H_j \quad \forall j \in J \quad : \beta_j \quad (4.92)$$

$$y_j - \sum_{i \in I} x_{ij} \leq 0 \quad \forall j \in J \quad : \delta_j \quad (4.93)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \geq D^T \quad : \lambda \quad (4.94)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.95)$$

$$y_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.96)$$

$$W = \left\{ w_i \in \{0,1\} : \sum_{i \in I} r_i w_i \leq R, R \in \mathbb{Z}^+ \right\} \quad (4.97)$$

Model-10: İki aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Benzer şekilde, bu modelin, *Model-8*’den tek farkı, Eş. 4.101’de ifade edilen ifade edilen kısıttır. Bu kısıt, engelleme işlemini R bütçesi ile sınırlandırmaktadır.

$$z^* = \max_w \max_{\phi, \beta, \delta, \lambda} \sum_{i \in I} S_i(1 - w_i) \phi_i + \sum_{j \in J} H_j \beta_j + D^T \lambda \quad (4.98)$$

$$\phi_i + \beta_j - \delta_j \leq c_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (4.99)$$

$$\delta_j + \lambda \leq n_j \quad \forall j \in J \quad (4.100)$$

$$\sum_{i \in I} r_i w_i \leq R \quad (4.101)$$

$$\phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (4.102)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (4.103)$$

$$\beta_j \leq 0; \delta_j \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (4.104)$$

$$w_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.105)$$

*Model-10**: İki aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

Bu modelin, *Model-8**’den tek farkı Eş. 4.110’da ifade edilen kısıttır.

Çizelge 4.26’da görüldüğü üzere tüm tedarikçileri engellemenin toplam maliyeti $75pb$ ’dir. Farklı engelleme bütçeleri ($R = 0; R = 15; R = 30; R = 45; R = 50$) için takipçinin amaç fonksiyonu değerleri ve liderin engelleme planları Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Farklı engelleme bütçeleri için problem sonuçları

Engelleme bütçesi (R)	0	15	30	45	47	48
Engellenen tedarikçiler	-	7-9	2-5-7-8	1-2-4-5-7-8	2-3-4-5-7-10	-
Takipçinin amaç fonk. değeri	1300	1335	1400	1400	1400	çözumsuz*

(*) $R=48$ olduğunda kalan kapasite, takipçinin talebini karşılayamamaktadır. ($M=4000$)

Çizelge 4.27 incelendiğinde, bütçe $48pb$ olduğunda yapılan engelleme planına göre kalan kapasite takipçinin talebini karşılayamadığı için, problemin amaç fonksiyon değeri M değerine bağlı olarak çok büyük değer almaktadır, bu da çözümün uygun olmadığı anlamına gelmektedir. Diğer bir ifade ile $48 \leq R \leq 75$ için sonuçlar M değerine bağlı olarak oldukça büyük değer alacaktır. Aynı zamanda $R > 75$ için modelin sonucu zaten çözümsüz (*integer infeasible*) olacaktır. Bu yüzden, analiz $R = 48$ ’e kadar yapılmıştır.

(4.1.2) alt bölümünde de bahsedildiği üzere burada da bütçeyi etkin kullanamama durumları ortaya çıkmaktadır. Bu durum Çizelge 4.27’de de açıkça görülmektedir. Örneğin bütçenin $R = 30$, $R = 45$ ve $R = 47$ değerleri için takipçinin amaç fonksiyon değeri, farklı engelleme planlarına rağmen aynı kalmıştır. Hatta bütçe $R = 16$ iken, takipçinin amaç fonksiyon değeri (2 – 7) nolu tedarikçilerin engellenmesiyle yine 1400 olacaktır. Bu durumda; takipçinin 1400 amaç fonksiyon değeri için $R=16$ bütçe alt sınır değerini dikkate almak gerekmektedir. Dolayısıyla, engelleme planı seçilirken aynı engelleme planını veren en düşük bütçe araştırılmalıdır. Bu tip gereksiz maliyetlerin önüne geçmek ve bütçenin etkin kullanılmasını sağlamak için Bölüm 4.3’te hedef programlamayı temel alan bir yaklaşım sunulmuştur.

4.3. Bütçenin Etkin Kullanımına Yönelik Bir Hedef Programlama

(4.1.2 ve 4.2.2) alt bölümlerinde ele alınan, bütçe bazında engelleme probleminde, kesikli engellemede açıkça bütçenin etkin kullanılamama durumu ortaya çıkmıştır. Diğer bir ifade ile bütçe seviyesinin artmasıyla takipçinin amaç fonksiyon değerinin artmadığı görülmüştür. Bu amaçla, bütçenin etkin kullanımında liderin kararına yardımcı olacak bir hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde ele alınan problem yapısından farklı olarak, bu bölümde çok ürünli ve tek aşamalı tedarik zinciri modeli ele alınmıştır. Sırasıyla, takipçi ve liderin problemleri modellenmiş daha sonra nümerik bir örnek üzerinde sonuçlar tartışılmıştır.

Model –11: Takipçinin tek aşamalı çok ürünli tedarik zincirinde minimum maliyetli tedarik modeli

Model –1'den farklı olarak, modele ürün çeşitliliğini belirten ürün kümesi $u \in U$ ($u = 1, 2, \dots, U$) ilave edilmiştir. *Model –11* ile takipçi, hiçbir engelleme olmadığında farklı ürünlere olan talebini, kapasiteli tedarikçilerden minimum maliyetle karşılamayı amaçlamaktadır.

$$z^* = \min_x \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} c_{iu} x_{iu} \quad (4.116)$$

$$x_{iu} \leq S_{iu} \quad \forall i \in I, \forall u \in U : \alpha_{iu} \quad (4.117)$$

$$\sum_{i \in I} x_{iu} \geq D_u^T \quad \forall u \in U : \beta_u \quad (4.118)$$

$$x_{iu} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.119)$$

Modelin amaç fonksiyonu Eş. 4.116'da ifade edilmiştir. Eş. 4.117'de ifade edilen kısıtlar, i . tedarikçiden satın alınan u . ürünün miktarını, i . tedarikçinin u . ürün için ayırdığı kapasitesi ile sınırlandırmaktadır. Eş. 4.118'de ifade edilen kısıt, u . ürün için toplam satın alınan mal miktarının, takipçinin u . ürüne olan talebini karşılayabilmesini sağlamaktadır. Eş. 4.119, takipçinin karar değişkeni için pozitiflik kısıtlarıdır. Modelde kısıtların yanında verilen α_{iu}, β_u ; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model –11(d): Takipçinin tek aşamalı çok ürünli tedarik zincirinde minimum maliyetli tedarik modelinin duali

Model –11'in dual formudur. Liderin problemine ilişkin iki seviyeli matematiksel modelin tek seviyeye indirgenmesinde kolaylık sağlayacaktır.

$$z^* = \max_{\alpha, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} S_{iu} \alpha_{iu} + \sum_{u \in U} D_u^T \beta_u \quad (4.120)$$

$$\alpha_{iu} + \beta_u \leq c_{iu} \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.121)$$

$$\alpha_{iu} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.122)$$

$$\beta_u \geq 0 \quad \forall u \in U \quad (4.123)$$

Model-12(bi): Liderin tek aşamalı çok ürünlü tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Liderin probleminin matematiksel modeli, iki seviyeli (*max-min*) oluşturulmuştur. Daha sonra bu model, *Model-13*'te tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modele, modelin nihai hali için de gerekli doğrusallaştırma işlemlerinden sonra, *Model-13**'te tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal matematiksel modele dönüştürülmüştür.

İki seviyeli modelde, sabit y_i karar değişkeni için, içteki en küçükleme modeli takipçinin tedarik modelidir. En büyükleme problemi ise liderin problemidir ve liderin karar değişkeni y_i ; $i \in I$ düğümü (*tedarikçiler*) engellenirse 1, diğer durumlarda 0 değerini alacaktır. Liderin amacı, $i \in I$ düğümlerini engelleyerek, takipçinin minimum tedarik maliyetini engelleme bütçesine bağlı olarak en büyüklemeektir.

$$z^* = \max_{y \in Y} \min_x \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} c_{iu} x_{iu} \quad (4.124)$$

$$x_{iu} \leq S_{iu}(1 - y_i) \quad \forall i \in I, \forall u \in U : \phi_{iu} \quad (4.125)$$

$$\sum_{i \in I} x_{iu} \geq D_u^T \quad \forall u \in U : \beta_u \quad (4.126)$$

$$x_{iu} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.127)$$

$$Y = \left\{ y_i \in \{0,1\} : \sum_{i \in I} r_i y_i \leq R, R = Z^+ \right\} \quad (4.128)$$

Eş. 4.124'te modelin amaç fonksiyonu ifade edilmiştir. Eş. 4.125, lider $i \in I$ düğümünü engellediğinde ($y_i = 1$), i . tedarikçinin kapasitesini takipçi için her bir ürün (u) için sıfırlayan kısıtlardır.

Eş. 4.126'da ifade edilen kısıt, u . ürün için toplam satın alınan mal miktarının, takipçinin u . ürüne olan talebini karşılayabilmesini sağlamaktadır. Eş. 4.127, takipçinin karar değişkeni için pozitiflik kısıtlarıdır. Eş. 4.128'de ifade edilen kısıt ise liderin engelleme sayısını sınırlandırmaktadır. Modelde kısıtların yanında verilen ϕ_{iu}, β_u ; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model-13: Liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Bu modelde yine, problem yapısı uni-modular olduğu için modelin tek seviyeye indirgenmesi *Model-3*’teki gibi yapılmıştır.

$$z^* = \max_y \max_{\phi, \beta} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} S_{iu} \phi_{iu} (1 - y_i) + \sum_{u \in U} D_u^T \beta_u \quad (4.129)$$

$$\phi_{iu} + \beta_u \leq c_{iu} \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.130)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i \leq R \quad (4.131)$$

$$\phi_{iu} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.132)$$

$$\beta_u \geq 0 \quad \forall u \in U \quad (4.133)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (4.134)$$

*Model-13**: Liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

*Model-13** için *Model-3** oluşturulurken kullanılan doğrusallaştırma işlemleri uygulanmış; *Model-13*’e Eş. 4.141’deki değişken ve Eş. 4.137’deki kısıt kümesi eklenerek *Model-13** elde edilmiştir.

$$z^* = \max_{y, \phi, \beta, \mu} \sum_{i \in I} \sum_{u \in U} S_{iu} \mu_{iu} + \sum_{u \in U} D_u^T \beta_u \quad (4.135)$$

$$\phi_{iu} + \beta_u \leq c_{iu} \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.136)$$

$$\mu_{iu} \leq \phi_{iu} + M y_i \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.137)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i \leq R \quad (4.138)$$

$$\phi_{iu} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.139)$$

$$\beta_u \geq 0 \quad \forall u \in U \quad (4.140)$$

$$\mu_{iu} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.141)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (4.142)$$

Model-14: Liderin bütçeyi etkin kullanma hedef programlama modeli

(4.1.2 ve 4.2.2) alt bölümlerinde kesikli engelleme kararından dolayı bütçe seviyesinin artmasıyla takipçinin amaç fonksiyonunun artmadığından, diğer bir ifade ile bütçenin etkin kullanılamama sorunlarının ortaya çıktığından bahsedilmiştir. Dolayısıyla bütçenin artmasına rağmen takipçinin amaç fonksiyonunun aynı kaldığı durumda bütçe seviyelerinden

(R) minimum olan kritik bütçe seviyesini oluşturacaktır. Örneğin, $R_1 \leq R \leq R_2$ bütçe aralığında takipçinin amaç fonksiyonu değerinin (TM) sabit kaldığını düşünelim. Bu durumda bütçeyi (R_1)'den fazla belirlemek gereksiz olacağından bütçe seviyesinin R_1 olarak belirlenerek ($R = R_1 = R_{kritik}$) R_1 'in kritik bütçe seviyesi olarak ifade edilmesi yerinde bir karar olacaktır.

Bu amaçla, liderin bütçesini etkin kullanabilmesi için bütçe ve takipçiye verilen zarar ilişkisini temel alan ağırlıklı hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen *Model-14*, *Model-13**'ten türetilmiştir.

$$z^* = \min_{y, \phi, \beta, \mu, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+} w_1 d_1^- + w_2 d_2^+ \quad (4.143)$$

$$\phi_{iu} + \beta_u \leq c_{iu} \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.144)$$

$$\mu_{iu} \leq \phi_{iu} + My_i \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.145)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{u \in U} S_{iu} \mu_{iu} + \sum_{u \in U} D_u^T \beta_u - TM_0 + d_1^- - d_1^+ = G_1 \quad (4.146)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i + d_2^- - d_2^+ = G_2 \quad (4.147)$$

$$\phi_{iu} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.148)$$

$$\beta_u \geq 0 \quad \forall u \in U \quad (4.149)$$

$$\mu_{iu} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall u \in U \quad (4.150)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (4.151)$$

$$d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+ \geq 0 \quad (4.152)$$

Modelde, takipçiye verilmek istenen zarar hedefi (G_1) bütçe hedefi (G_2) parametresi ile gösterilmektedir. Lider, hem takipçiye vermek istediği belli bir zarar seviyesinin altına düşmemeyi (d_1^-) hem de belirlediği engelleme bütçesinin üstüne çıkmamayı (d_2^+) hedeflemektedir.

Bu amaçla Eş. 4.143'te gösterilen amaç fonksiyonu tanımlanan hedeflerden sapmaların ağırlıklı en küçüklenmesidir. Eş. 4.146 takipçiye verilmek istenen zarar için hedef kısıtıdır. Bu kısıtta geçen TM_0 , takipçinin engelleme olmadığı durumdaki minimum maliyeti yani amaç fonksiyonu değeridir. Eş. 4.147 ise liderin bütçe hedefidir. Eş. 4.152 ise sapma değişkenleri ile ilgili pozitiflik kısıtıdır.

Model –14 iki farklı açıdan ele alınabilir;

- Sabit bir (G_1) seviyesi ile farklı (G_2) seviyelerinin araştırılması,
- Sabit bir (G_2) seviyesi ile farklı (G_1) seviyelerinin araştırılması.

Ayrıca *Model –14*'de (G_1) ve (G_2) 'nin ağırlık oranlarına göre aşağıdaki farklı engelleme planları oluşturulabilir:

- Plan I:* Bütçe kullanımının ve takipçiye verilen zararın eşit öneme sahip olduğu durum ($w_1 = w_2$),
- Plan II:* Bütçe kullanımına önem veren yaklaşım ($w_1 < w_2$),
- Plan III:* Öncelikle takipçiye daha fazla zarar vermeyi öngören yaklaşım ($w_1 > w_2$).

4.3.1. Nümerik örnek

Çizelge 4.28'de tedarikçiler ve kapasiteleri, ürünlerin tedarik maliyetleri, ürünlere olan talep miktarları ve her bir tedarikçinin engellenme maliyetleri verilmiştir. Bu verilere göre liderin bütçeyi etkin kullanmasına yönelik engelleme planlarını araştırılmıştır. Çizelge 4.29, hiçbir engelleme olmadığında, takipçinin nerelerden mal aldığını ve amaç fonksiyon değerini göstermektedir.

Çizelge 4.28. Problem verileri

Tedarikçiler (i)	Tedarikçi kapasitesi (S_{iu})		Maliyetler -pb		
	(S_{i1})	(S_{i2})	Tedarik (c_{i1})	Tedarik (c_{i2})	Engelleme (r_i)
1.	(50)	(30)	1	2	19
2.	(50)	(30)	2	2	12
3.	(60)	(40)	3	3	17
4.	(60)	(40)	4	5	11
5.	(70)	(40)	1	4	20
6.	(70)	(45)	2	3	16
$D_1^T = 90, D_2^T = 85; M=4000$					

Çizelge 4.29. Çok ürünlü tek aşamalı tedarik zincirinde etkin bütçe kullanımının analizinde engelleme olmadığı durumdaki çözüm sonuçları

Tedarikçiler (i)	Satın alınan miktar (x_{iu})	
	(x_{i1})	(x_{i2})
1.	(50)	(30)

Çizelge 4.29. (Devam) Çok ürünli tek aşamalı tedarik zincirinde etkin bütçe kullanımının analizinde engelleme olmadığı durumdaki çözüm sonuçları

2.	*	(30)
3.	*	(25)
4.	*	*
5.	(40)	*
6.	*	*
Takipçinin toplam tedarik maliyeti: \$285		

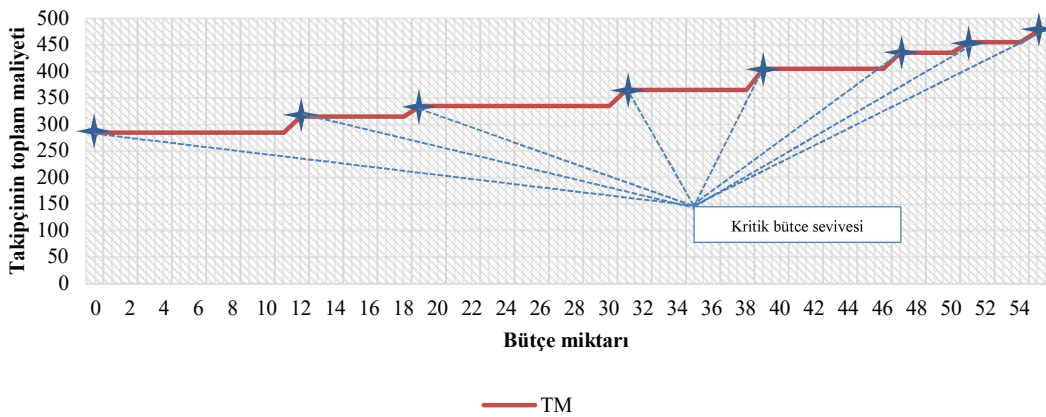
Bütçenin etkin kullanılmadığını görmek üzere, kalan kapasite takipçi için yetersiz olana kadar, $R = 0$ 'dan başlayıp; her bir $(R \in \mathbb{Z}^+)$ seviyesi için takipçinin maliyeti hesaplanmış ve maliyetin seyri incelenmiştir.

Bu amaçla, GAMS 23.5.1 (CPLEX çözücü) ile C# paket programları bütünleşik kullanılarak her bir R değeri için model çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.30'da ve bütçe miktarına göre takipçinin amaç fonksiyonu grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.30. Her bir (R) değeri için takipçinin amaç fonksiyon değeri

R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*
0	<u>285^a</u>	7	285	14	315	21	335	28	335	35	365	42	405	49	435
1	285	8	285	15	315	22	335	29	335	36	365	43	405	50	435
2	285	9	285	16	315	23	335	30	335	37	365	44	405	51	<u>455</u>
3	285	10	285	17	315	24	335	31	<u>365</u>	38	365	45	405	52	455
4	285	11	285	18	315	25	335	32	365	39	<u>405</u>	46	405	53	455
5	285	12	<u>315^b</u>	19	<u>335^c</u>	26	335	33	365	40	405	47	<u>435</u>	54	455
6	285	13	315	20	335	27	335	34	335	41	405	48	435	55	<u>475[*]</u>

* $R=55$ 'den sonra, kalan kapasite takipçinin talebini karşılayamadığı için analiz durdurulmuştur.



Şekil 4.15. Engelleme bütçesine ilişkin takipçinin maliyet (amaç fonksiyonu) değerleri grafiği

Bütçe $R=0$ 'dan başlanarak, $R_{\max}=55$ 'e kadar tek tek artırılarak takipçinin amaç fonksiyonu değerleri her bir bütçe seviyesinde elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 4.30). Bu analizde $R=56$ ve sonrası için amaç fonksiyonu değeri M 'e bağlı olarak oldukça büyük bir değer almaktadır Bu durum engelleme sonrası kalan kapasite takipçiye yetmediği anlamına gelmektedir. Ayrıca engelleme için toplam bütçe $95pb$ olduğu için ($R > 95$ için) modelin sonucu çözümsüz (*integer infeasible*) olacağından analiz $R=55$ 'te durdurulmuştur.

Çizelge 4.30'dan görüldüğü gibi, hiçbir engelleme olmadığı durumda ($R=0$) takipçinin maliyeti $285^a pb$ 'dir. Eğer lider, takipçiye zarar vermek isterse engelleme bütçesini en az $12pb$ olarak belirlemelidir. Bu durumda, lider 2. tedarikçiyi engelleyerek takipçinin maliyetini $315^b pb$ 'ne çıkaracak ve takipçiyi $30pb$ zarara uğratacaktır. Eğer lider takipçiye biraz daha fazla zarar vermek isterse, bu kez bütçesini $19pb$ 'ne çıkarmak zorundadır. Bu durumda, lider 1. tedarikçiyi engelleyerek takipçinin maliyetini $335^c pb$ 'ne çıkaracak ve takipçiyi $50pb$ zarara uğratacaktır.

Benzer şekilde, lider takipçinin maliyetini biraz daha artırmak isterse, Şekil 4.14'te mavi yıldızlarla belirtilmiş kritik bütçe seviyelerini sırasıyla takip etmelidir. Açıkça görülmektedir ki, kritik bütçe seviyesinin dışındaki bütçe seviyeleri takipçinin maliyetini artıramamaktadır. Dolayısıyla, tüm engelleme seviyeleri araştırılarak engelleme bütçesine karar verirken bu tip gereksiz bütçe seviyelerinden kaçınılmalıdır.

Sabit bir G_2 seviyesi ile farklı G_1 seviyelerinin araştırılması

Diyelim ki, lider engelleme bütçesi için $20pb$ 'nin üzerine çıkmayı istemesin ($G_2 = 20$). Bu durumda tanımlanan planlar doğrultusunda; takipçiye verilebilecek maksimum zarara kadar ($475-285=190pb$) analiz, takipçiye verilecek farklı zarar hedefi seviyeleri (G_1) için araştırılmış ve Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Sabit bir (G_2) değeri için, farklı (G_1) seviyelerine ilişkin problemin sapma değerleri

$G_2 = 20$	Plan I				Plan II				Plan III			
	$w_1 : 0.5, w_2 : 0.5$				$w_1 : 0.3, w_2 : 0.7$				$w_1 : 0.7, w_2 : 0.3$			
G_1	d_1^-	d_1^+	d_2^-	d_2^+	d_1^-	d_1^+	d_2^-	d_2^+	d_1^-	d_1^+	d_2^-	d_2^+
50	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
55	5.00	0.00	1.00	0.00	5.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00

Çizelge 4.31. (Devam) Sabit bir (G_2) değeri için, farklı (G_1) seviyelerine ilişkin problemin sapma değerleri

60	10.00	0.00	1.00	0.00	10.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00
65	0.00	0.00	0.00	11.00	15.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00
70	0.00	0.00	0.00	11.00	20.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00
75	0.00	0.00	0.00	11.00	25.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00
80	0.00	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	11.00
85	5.00	0.00	0.00	11.00	5.00	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	19.00
90	0.00	0.00	0.00	19.00	10.00	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	19.00
95	0.00	0.00	0.00	19.00	15.00	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	19.00
100	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00
105	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00
110	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00
115	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00
120	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00
125	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	19.00
130	0.00	0.00	0.00	27.00	10.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	27.00
135	0.00	0.00	0.00	27.00	15.00	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	0.00	27.00
140	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	27.00
145	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	27.00
150	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	27.00
155	0.00	0.00	0.00	31.00	5.00	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	31.00
160	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	31.00
165	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	31.00
170	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	31.00
175	0.00	0.00	0.00	35.00	5.00	0.00	0.00	31.00	0.00	0.00	0.00	35.00
180	0.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00
185	0.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00
190*	0.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00

*Analiz, takipçiye verilebilecek maksimum zarara kadar devam ettirilmiştir.

Çizelge 4.31'den görüldüğü üzere, eğer lider, takipçiye en az 90pb zarar vermek isterse, plan I ve plan III'e göre bütçeyi 19pb ($d_2^+ = 19$) kadar daha artırmalıdır. Ancak plan II'ye göre bütçeye önem veren yaklaşım dikkate alındığında, bütçeyi 11pb ($d_2^+ = 11$) artırması gerekmektedir.

Bu durumda ise lider, 90pb olarak belirlenen zarar hedefine ulaşamamaktadır. Dolayısıyla, lider plan II'yi dikkate alırsa, 31pb seviyesindeki bir bütçeyle takipçiye 80pb ($d_1^- = 10$) zarar verecektir. Sonuç olarak lider hedefleri ya da politikaları doğrultusunda, engelleme süreci için gerekli bütçe ayarlamalarını bu analiz yardımıyla gerçekleştirebilir.

Sabit bir G_1 seviyesi ile farklı G_2 seviyelerinin araştırılması

Diyelim ki, lider takipçiye en az 150pb zarar vermek istesin ($G_1 = 150$). Bu durumda tanımlanan planlar doğrultusunda; maksimum engelleme bütçesine kadar ($R_{\max} = 55$) analiz, farklı bütçe hedefi seviyeleri (G_2) için araştırılmış ve Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Sabit bir (G_1) değeri için, farklı (G_2) seviyelerine ilişkin problemin sapma değerleri

$G_1=150$	Plan I				Plan II				Plan III			
	$w_1 : 0.5, w_2 : 0.5$				$w_1 : 0.2, w_2 : 0.8$				$w_1 : 0.8, w_2 : 0.2$			
G_2	d_1^-	d_1^+	d_2^-	d_2^+	d_1^-	d_1^+	d_2^-	d_2^+	d_1^-	d_1^+	d_2^-	d_2^+
10	0.00	0.00	0.00	37.00	120.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	37.00
15	0.00	0.00	0.00	32.00	100.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	32.00
20	0.00	0.00	0.00	27.00	100.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00
25	0.00	0.00	0.00	22.00	30.00	0.00	0.00	14.00	0.00	0.00	0.00	22.00
30	0.00	0.00	0.00	17.00	30.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	17.00
35	0.00	0.00	0.00	12.00	30.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	12.00
40	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	7.00
45	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00
50	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00
55*	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00

* $R_{\max}=55$ 'e kadar analiz yapılmıştır.

Çizelge 4.32'den de görüldüğü gibi, eğer lider, bütçenin en fazla 30pb olmasını istiyorsa, amacına ulaşmak için bütçesini 17pb ($d_2^+ = 17$) kadar daha artırmalıdır. Ancak plan II'ye göre bütçeye önem veren yaklaşım dikkate alındığında, bütçeyi 9pb ($d_2^+ = 9$) artırması gerekmektedir. Bu durumda ise lider, 150pb olarak belirlenen zarar hedefine ulaşamamaktadır. Dolayısıyla, lider plan II'yi dikkate alırsa, 39pb seviyesindeki bir bütçeyle takipçiye 120pb ($d_1^- = 30$) zarar verecektir. Yukarıdaki analize benzer şekilde lider hedefleri ya da politikaları doğrultusunda, engelleme süreci için gerekli bütçe ayarlamalarını bu analiz yardımıyla gerçekleştirebilir.

5. TEDARİK ZİNCİRİNDE SÜREKLİ ENGELLEME

Tedarik zincirinde sürekli engelleme, tedarikçilerdeki kapasiteyi belli bir oranda engellenme esnekliği sağlamaktadır. Diğer bir ifade ile kesikli engellemede $x \in \{0,1\}$ karar değişkeni ile tedarikçilerin kapasitesi rakip firma için tamamen engellenirken ya da sıfırlanırken, sürekli engellemede tedarikçi kapasitesi belli bir oranda ($0 \leq x \leq 1$) engellenebilmektedir. Çalışmada sürekli engelleme problemlerin modellenmesinde Zhang ve Fan [63]'in çalışması temel alınmıştır.

5.1. Tek Aşamalı Tedarik Zincirinde Bütçe Bazında Sürekli Engelleme

Bu bölümde, Şekil 4.1'deki tek aşamalı tedarik zinciri yapısı dikkate alınmıştır. Kesikli engellemedeki engelleme kararı “*bütçe yetiyorsa kapasiteyi tamamen sıfırla, yetmiyorsa sıfırlama*” şeklindeydi. Sürekli engellemede ise kapasitenin yalnızca bir bölümü kalan bütçe ile engellenebilecektir.

Bu tip engellemede, yine her bir tedarikçiyi engellemenin maliyeti vardır ve geçmiş sözleşmelere dayanarak önceden bilindiği varsayılmaktadır. Lider engelleyeceği tedarikçiler için bir engelleme bütçesi ayırmıştır ve bu bütçeyi kullanarak en uygun engellemeyi yapacaktır. Liderin amacı, ayırdığı bütçe dâhilinde, takipçinin minimum tedarik maliyetini en büyükmeye çalışmaktır.

Sürekli engellemede, kesikli engellemeden farklı olarak engelleme bütçesinin tamamı bitinceye kadar (R) engelleme işlemine devam edilir. Modelde liderin tedarikçileri tam ve kısmi engellediğini gösteren ikili (*binary*) karar değişkenleri sırasıyla (y_i) ve (y'_i) 'dir. R' , tam engellemelerden sonra kısmi engelleme için kalan bütçeyi gösteren karar değişkenidir. φ ise, tedarikçilerin kapasitesinin engellenme yüzdesini gösteren parametredir. Diğer bir ifade ile engelleme başarı oranıdır.

$\varphi = 1$ ortada hiçbir aksaklığın olmadığını, gerek tam engelleme gerekse kısmi engellemede tedarikçilerde toplam engellenen miktarların hepsinin engellenebildiği anlamına

gelmektedir. Benzer şekilde eğer ($\varphi = 0,90$) ise tedarikçilerden engellenen toplam miktarın çeşitli nedenlerden dolayı yalnızca %90'ının engellenebildiğini ifade etmektedir.

5.1.1 Takipçi ve liderin problemlerinin formülasyonları

Model – 15(bi) : Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Her bir tedarikçiyi engelleme maliyetinin (r_i), liderin engelleme bütçesinin R olduğu düşünüldüğünde takipçinin minimum maliyetli tedarik modeli *Model – 1* ile aynıdır. Bu durumda *Model – 1* ve *Model – 1(d)* bilindiğinde liderin probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibi olacaktır.

$$z^* = \max_{y, y', R'} \min_x \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (5.1)$$

$$x_i \leq S_i(1 - \varphi y_i - \varphi y'_i R' / r_i) \quad \forall i \in I : \theta_i \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \geq D^T \quad : \beta \quad (5.3)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i + R' = R \quad (5.4)$$

$$y_i + y'_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.5)$$

$$\sum_{i \in I} y'_i = 1 \quad (5.6)$$

$$R' / r_i \leq 1 + M(1 - y'_i) \quad \forall i \in I \quad (5.7)$$

$$R' \geq 0; x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.8)$$

$$y_i, y'_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.9)$$

Bu model yapı olarak *Model – 4(bi)* 'e benzese de aslında oldukça farklıdır. Eş. 5.1 takipçinin elde ettiği minimum maliyetini en büyükmeye çalıştığı amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Eş. 5.2, liderin tedarikçileri engellediğinde ilgili tedarikçilerde kalan kapasiteyi ifade eden kısıtlardır. Burada, $y_i = 1$, i . tedarikçinin tam engellendiği yani i . tedarikçinin kapasitesinin takipçi için sıfırlandığı anlamına gelmektedir. Yalnızca $y'_i = 1$ olduğunda ise i . tedarikçinin kapasitesini takipçi için R' / r_i kadar azaltacaktır. Eş. 5.2'deki φ parametresi yukarıda da bahsedildiği üzere kapasitelerin engellenebilme başarısını ifade eden parametredir. Eş. 5.3, takipçinin talebinin karşılanmasını garanti eden kısıttır. Eş. 5.4, R 'ye kadar yapılabilecek maksimum tam engellemeleri kısıtlamakta ve kısmi engelleme için kalacak R' bütçesini göstermektedir. Eş. 5.5, i . tedarikçi için eğer engelleme

yapılacaksa ya tam, ya da kısmi engellemeden yalnızca birinin yapılabileceğini ifade eden kısıttır. Eş. 5.6, kısmi engelleme yapılacaksa yalnızca 1 tedarikçi için yapılabileceğini ifade etmektedir. Eş. 5.7, eğer kısmi engelleme yapılacaksa ilgili tedarikçinin engelleme maliyeti ile kalan bütçeyi (R') sınırlandırmaktadır. Eş. 5.8 karar değişkenlerine ilişkin pozitiflik kısıtları; Eş. 5.9 ise engelleme ile ilgili karar değişkenlerinin ikili değişken olduğunu ifade eden kısıtlardır. Modelde kısıtların yanında verilen θ_i, β ; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model-16: Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Model-3 ve *Model-5*'te olduğu gibi y_i, y'_i ve R' karar değişkenleri geçici olarak sabit tutulup içindeki en küçükleme modelinin duali alınarak ve daha sonra bu karar değişkenleri serbest bırakılarak, model tek seviyeli (*max-max*) karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modele dönüştürülmüştür. Böylece, iki seviyeli model, aynı amaç fonksiyonu yapısına (*max*) sahip, ancak değişkenlerin farklı setleri üzerinde (*liderin primal değişkenleri*; (y_i, y'_i, R') takipçinin dual değişkenleri (θ_i, β)) tek seviyeli modele indirgenmiştir.

$$z^* = \max_{y, y', R'} \max_{\theta, \beta} \sum_{i \in I} S_i (1 - \phi y_i - \phi y'_i R' / r_i) \theta_i + D^T \beta \quad (5.10)$$

$$\theta_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (5.11)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i + R' = R \quad (5.12)$$

$$y_i + y'_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.13)$$

$$\sum_{i \in I} y'_i = 1 \quad (5.14)$$

$$R' / r_i \leq 1 + M(1 - y'_i) \quad \forall i \in I \quad (5.15)$$

$$R' \geq 0; \beta \geq 0; \theta_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.16)$$

$$y_i, y'_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.17)$$

*Model-16**: Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

$$\text{Model-16'da, Eş. 5.10'u öncelikle açtığımızda; } \sum_{i \in I} S_i \theta_i - \phi \sum_{i \in I} S_i y_i \theta_i - \phi \sum_{i \in I} S_i y'_i \theta_i (R' / r_i)$$

ifadesini elde ediyoruz.

Eş. 5.12'den R' yerine, $R - \sum_{i \in I} r_i y_i$ yazdığımızda amaç fonksiyonu

$$\sum_{i \in I} S_i \theta_i - \varphi \sum_{i \in I} S_i y_i \theta_i - \varphi \sum_{i \in I} S_i y'_i \theta_i (R / r_i) + \varphi \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} ((S_i y_i y'_j \theta_i r_j) / r_i)$$

halini alacaktır.

Açıkça görüldüğü üzere $S_i y_i \theta_i$, $S_i y'_i \theta_i (R / r_i)$ ve $((S_i y_i y'_j \theta_i r_j) / r_i)$ ifadeleri amaç fonksiyonunda doğrusallığı bozmaktadır. Bu durumda $y_i, y'_i \in \{0, 1\}$ ve $\theta_i \leq 0$ bilinenlerinden yola çıkarak, optimalitede kayıp olmaksızın aşağıda ifade edildiği şekilde modele bazı kısıtlar ilave edilerek amaç fonksiyonu doğrusallaştırılmıştır.

Öncelikle, ilk ifadedeki $y_i \theta_i$, Eş. 5.31'de tanımlanan $\gamma_i \leq 0$ karar değişkeni ile yer değiştirilmiş, modele Eş. 5.24'teki $\gamma_i \geq -My_i$ (M : yeteri kadar büyük bir sayı) ile birlikte Eş. 5.25'teki $\gamma_i \geq \theta_i$ kısıt kümeleri ilave edilmiştir. Dikkat edilirse, amaç fonksiyonu en büyükleme tipinde olsa da bu ifadenin katsayısı negatiftir. Dolayısıyla kısıtlar eklenirken bu ifade için en küçükleme durumu dikkate alınmıştır.

Bu ifade için doğrusallaştırmanın sağlamasını yapacak olursak, en iyi çözümde $y_i = 0$ iken, γ_i değişkeni 0'a eşit olacaktır. İfadenin katsayısı negatif olduğundan amaç fonksiyonunu bu ifade için en küçükleme olarak düşündüğümüzde, Eş. 5.24, Eş. 5.25 ve Eş. 5.31 eş zamanlı dikkate alındığında, $\gamma_i = 0$ eşitliği doğrulanacaktır. Benzer şekilde, en iyi çözümde $y_i = 1$ iken, γ_i değişkeni θ_i değişkenine eşit olacaktır. Amaç fonksiyonunu bu ifade için en küçükleme olarak düşündüğümüzde, Eş. 5.24, Eş. 5.25 ve Eş. 5.31 eş zamanlı dikkate alındığında, $\gamma_i = \theta_i$ eşitliği doğrulanacaktır.

İkinci ifadedeki $y'_i \theta_i$, Eş. 5.31'de tanımlanan $\phi_i \leq 0$ karar değişkeni ile yer değiştirilmiş ve modele Eş. 5.26'daki $\phi_i \geq -My'_i$ (M : yeteri kadar büyük bir sayı) ve Eş. 5.27'deki $\phi_i \geq \theta_i$ kısıt kümeleri ilave edilmiştir. Benzer şekilde amaç fonksiyonu en büyükleme tipinde olsa da bu ifadenin de katsayısı negatiftir. Dolayısıyla kısıtlar eklenirken bu ifade için de en küçükleme durumu dikkate alınmıştır.

Bu ifade için doğrusallaştırmanın sağlanmasını yapacak olursak, en iyi çözümde $y'_i = 0$ iken, ϕ_i değişkeni 0'a eşit olacaktır. İfadenin katsayısı negatif olduğundan amaç fonksiyonunu bu ifade için en küçükleme olarak düşündüğümüzde, Eş. 5.26, Eş. 5.27 ve Eş. 5.31 eş zamanlı dikkate alındığında, $\phi_i = 0$ eşitliği doğrulanacaktır. Benzer şekilde, en iyi çözümde $y'_i = 1$ iken, ϕ_i değişkeni θ_i değişkenine eşit olacaktır. Amaç fonksiyonunu bu ifade için en küçükleme olarak düşündüğümüzde, Eş. 5.26, Eş. 5.27 ve Eş. 5.31 eş zamanlı dikkate alındığında, $\phi_i = \theta_i$ eşitliği doğrulanacaktır.

Üçüncü ifadede, öncelikle $y_i y'_j$ ifadesi Eş. 5.34'te tanımlanan $\pi_{ij} \in \{0,1\}$ karar değişkeni ile yer değiştirilmiş ve modele Eş. 5.28'deki $\pi_{ij} \leq (y_j + y'_i) / 2$ ve Eş.5.29'daki $\pi_{ij} \geq y_j + y'_i - 1$ kısıt kümeleri ilave edilmiştir.

Bu dönüşümün sağlanması yapıldığında, üçüncü ifadenin katsayısı pozitiftir, amaç fonksiyonunu en büyükleme tipinde olduğu bilindiğinde Eş. 5.28 ve Eş.5.29 eş zamanlı dikkate alındığında $\pi_{ij} \in \{0,1\}$ karar değişkeninin, olabilecek tüm durumlarda alacağı değerler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. π_{ij} karar değişkeninin, olabilecek tüm durumlarda alacağı değerler

y_i	y'_i	Eş. 5.28; Eş.5.29	π_{ij}
$y_i = 0$	$y'_i = 0$	$\pi_{ij} \leq 0; \pi_{ij} \geq -1$	$\pi_{ij} = 0$
$y_i = 0$	$y'_i = 1$	$\pi_{ij} \leq 0,5; \pi_{ij} \geq 0$	$\pi_{ij} = 0$
$y_i = 1$	$y'_i = 0$	$\pi_{ij} \leq 0,5; \pi_{ij} \geq 0$	$\pi_{ij} = 0$
$y_i = 1$	$y'_i = 1$	$\pi_{ij} \leq 1; \pi_{ij} \geq 1$	$\pi_{ij} = 1$

Bu durumda üçüncü ifade $((S_i \pi_{ij} \theta_i r_j) / r_i)$ şeklini almıştır. Ancak $\pi_{ij} \theta_i$ çarpımından dolayı ifadenin hala doğrusal olmadığı açıktır. Doğrusallaştırma işlemine devam edildiğinde, $\pi_{ij} \theta_i$ ifadesi Eş. 5.32'de tanımlanan $\eta_{ij} \leq 0$ karar değişkeni ile yer değiştirilmiş ve modele Eş. 5.30'daki $\eta_{ij} \leq \theta_i + M(1 - \pi_{ij})$ (M : *yeteri kadar büyük bir sayı*) kısıt kümesi ilave edilmiştir.

Bu doğrusallaştırmanın sağlanması yapılacak olursa, en iyi çözümde $\pi_{ij} = 0$ iken, η_{ij} değişkeni 0'a eşit olacaktır. Modelin amaç fonksiyonu en büyükleme tipinde olduğundan, Eş. 5.30 ve Eş. 5.32 eş zamanlı dikkate alındığında, $\eta_{ij} = 0$ eşitliği doğrulanacaktır.

Benzer şekilde, en iyi çözümde $\pi_{ij} = 1$ iken, η_{ij} değişkeni θ_i değişkenine eşit olacaktır. Modelin amaç fonksiyonu en büyükleme tipinde olduğundan, Eş. 5.30 ve Eş. 5.32 eş zamanlı dikkate alındığında, $\eta_{ij} = \theta_i$ eşitliği doğrulanacaktır. Bu durumda liderin probleminin nihai hali aşağıdaki gibi olacaktır;

$$\max_{\theta, \beta, \gamma, \phi, \eta, \pi, y, y', R'} \sum_{i \in I} S_i \theta_i - \phi \sum_{i \in I} S_i \gamma_i - \phi \sum_{i \in I} S_i \phi_i (R / r_i) + \phi \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} S_i \eta_{ij} (r_j / r_i) + D^T \beta \quad (5.18)$$

$$\theta_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (5.19)$$

$$\sum_{i \in I} r_i y_i + R' = R \quad (5.20)$$

$$y_i + y'_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.21)$$

$$\sum_{i \in I} y'_i = 1 \quad (5.22)$$

$$R' / r_i \leq 1 + M(1 - y'_i) \quad \forall i \in I \quad (5.23)$$

$$\gamma_i \geq -My_i \quad \forall i \in I \quad (5.24)$$

$$\gamma_i \geq \theta_i \quad \forall i \in I \quad (5.25)$$

$$\phi_i \geq -My'_i \quad \forall i \in I \quad (5.26)$$

$$\phi_i \geq \theta_i \quad \forall i \in I \quad (5.27)$$

$$\pi_{ij} \leq (y_j + y'_i) / 2 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.28)$$

$$\pi_{ij} \geq y_j + y'_i - 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.29)$$

$$\eta_{ij} \leq \theta_i + M(1 - \pi_{ij}) \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.30)$$

$$R' \geq 0; \beta \geq 0; \theta_i \leq 0, \gamma_i \leq 0, \phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.31)$$

$$\eta_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.32)$$

$$\pi_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.33)$$

$$y_i, y'_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.34)$$

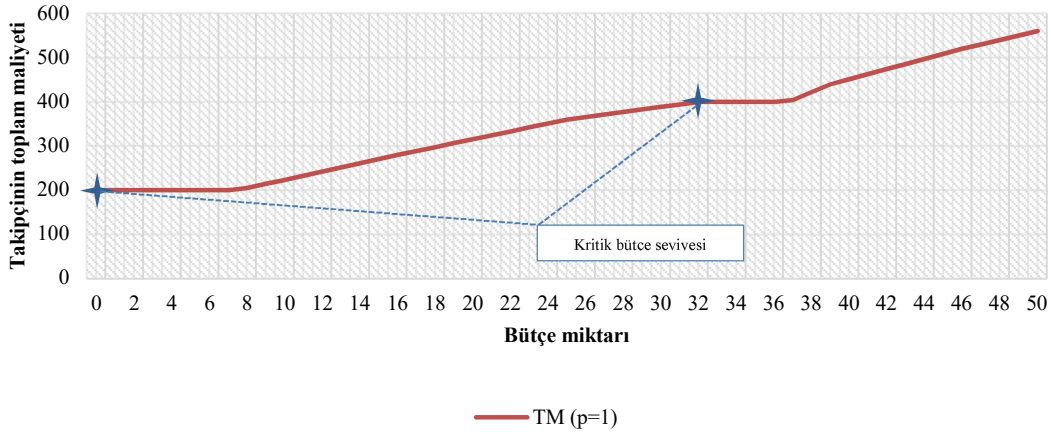
Nümerik örnek

Çizelge 4.15'teki tek aşamalı tedarik zincirinde bütçe bazında engellemeye yönelik problem verileri dikkate alınarak, her bir bütçe seviyesi için sürekli engelleme yaklaşımı ile takipçinin amaç fonksiyon değerleri Çizelge 5.2'de ve bu duruma ilişkin grafik Şekil 5.1'de verilmiştir.

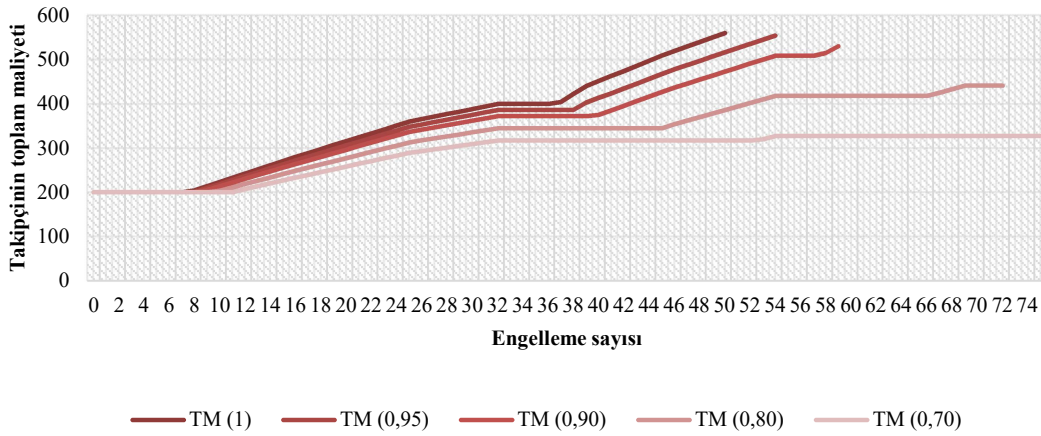
Çizelge 5.2. Her bir (R) değeri için takipçinin amaç fonksiyon değeri ($\varphi = 1$)

R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*	R	z^*
0	200	7	200	14	261.25	21	324.44	28	377.14	35	400	42	474.29	49	550
1	200	8	205	15	270.63	22	333.33	29	382.86	36	400	43	485.71	50	560
2	200	9	214.38	16	280	23	342.22	30	388.57	37	404.44	44	497.14	51	---
3	200	10	223.75	17	288.89	24	351.11	31	394.29	38	422.22	45	508.57	52	---
4	200	11	233.13	18	297.78	25	360	32	400	39	440	46	520	53	---
5	200	12	242.50	19	306.67	26	365.71	33	400	40	451.43	47	530	54	---
6	200	13	251.88	20	315.56	27	371.43	34	400	41	462.86	48	540	55	---

* $R=51$ 'den sonra, kalan kapasite takipçinin talebini karşılayamadığı için analiz durdurulmuştur.

Şekil 5.1. Her bir (R) değeri için takipçinin amaç fonksiyon değerlerini gösteren grafik ($\varphi = 1$)

Bu analizde yine kritik bütçe seviyeleri mevcuttur. Bunların önüne geçmek için (4.3) alt bölümde önerilen hedef programlama yaklaşımı kullanılabilir. Farklı φ engelleme başarı oranları için analiz sonuçları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.2. Farklı φ engelleme başarı oranları için takipçinin amaç fonksiyonu değerleri

Şekil 5.2’den de görüldüğü üzere, engelleme başarı oranı düştükçe takipçinin maliyet çizgisi de orantılı olarak azalmaktadır.

5.2. Talep Bazında Sürekli Engelleme (*Korumacı Yaklaşım*)

Bu tip engellemede, lider yalnızca kendi talebini korumak adına kendi talep ihtiyacı kadar tedarikçilerin kapasitesini engelleyecektir. Bu durumda liderin farklı talep miktarları için lider ve takipçinin maliyetleri incelenmiştir.

5.2.1. Takipçi ve liderin problemlerinin formülasyonları

Model –17(bi): Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin iki seviyeli matematiksel modeli

Bu tip engellemede de takipçinin minimum maliyetli tedarik modeli *Model –1* ile aynıdır. Bu durumda *Model –1* ve *Model –1(d)* bilindiğinde liderin probleminin matematiksel modeli aşağıdaki gibi olacaktır.

$$z^* = \max_{y, y', D'} \min_x \sum_{i \in I} c_i x_i \quad (5.35)$$

$$x_i \leq S_i(1 - y_i - y'_i D' / S_i) \quad \forall i \in I : \theta_i \quad (5.36)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \geq D^T \quad : \beta \quad (5.37)$$

$$\sum_{i \in I} S_i y_i + D' = D^L \quad (5.38)$$

$$y_i + y'_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.39)$$

$$\sum_{i \in I} y'_i = 1 \quad (5.40)$$

$$D' / S_i \leq 1 + M(1 - y'_i) \quad \forall i \in I \quad (5.41)$$

$$D' \geq 0; x_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.42)$$

$$y_i, y'_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.43)$$

Model –17(bi)’nin, *Model –15(bi)*’den farkı temel farkı Eş.5.42’de tanımlanan karar değişkeni ile birlikte Eş. (5.36, 5.38 ve 5.41)’deki kısıttır.

Eş 5.36’da yine $y_i = 1$, i . tedarikçinin tam engellendiği yani i . tedarikçinin kapasitesinin takipçi için sıfırlandığı anlamına gelirken, yalnızca $y'_i = 1$ olduğunda ise i . tedarikçinin

kapasitesinin takipçi için D'/S_i kadar azaltacaktır. Eş. 5.38, aslında tedarikçiyi tam engelleme karar değişkeni ile birlikte (y_i) , engellenmek istenen talep miktarına kadar yapılacak olan tam engellemeleri sınırlandırmaktadır, burada D' kısmi engelleme için kalan engellenememiş talebi göstermektedir. Eş. 5.41 ise eğer kısmi engelleme yapılacaksa ilgili tedarikçinin kapasitesi ile kalan engellenememiş kapasiteyi (D') sınırlandırmaktadır. Modelde kısıtların yanında verilen θ_i, β ; kısıtlara ilişkin dual değişkenlerdir.

Model –18: Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modeli

Model – 3 ve *Model – 5* 'te olduğu gibi y_i, y'_i ve D' karar değişkenleri geçici olarak sabit tutulup içteki en küçükleme modelinin duali alınarak ve daha sonra bu karar değişkenleri serbest bırakılarak, model tek seviyeli (*max-max*) karışık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel modele dönüştürülmüştür. Böylece, iki seviyeli model, aynı amaç fonksiyonu yapısına (*max*) sahip, ancak değişkenlerin farklı setleri üzerinde (*liderin primal değişkenleri*; (y_i, y'_i, D') *takipçinin dual değişkenleri* (θ_i, β)) tek seviyeli modele indirgenmiştir.

$$z^* = \max_{y, y', D'} \max_{\theta, \beta} \sum_{i \in I} S_i (1 - y_i - y'_i D' / S_i) \theta_i + D^T \beta \quad (5.44)$$

$$\theta_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (5.45)$$

$$\sum_{i \in I} S_i y_i + D' = D \quad (5.46)$$

$$y_i + y'_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.47)$$

$$\sum_{i \in I} y'_i = 1 \quad (5.48)$$

$$D' / S_i \leq 1 + M(1 - y'_i) \quad \forall i \in I \quad (5.49)$$

$$D' \geq 0; \beta \geq 0; \theta_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.50)$$

$$y_i, y'_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.51)$$

*Model –18**: Tek aşamalı tedarik zincirinde liderin probleminin tek seviyeli karışık tam sayılı matematiksel modeli

*Model –16** 'daki aynı doğrusallaştırma yaklaşımı ile *Model –18** elde edilmiştir.

$$\max_{\theta, \beta, \gamma, \phi, \eta, \pi, y, y', D'} \sum_{i \in I} S_i \theta_i - \sum_{i \in I} S_i \gamma_i - \sum_{i \in I} D \phi_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} S_j \eta_{ij} + D^T \beta \quad (5.52)$$

$$\theta_i + \beta \leq c_i \quad \forall i \in I \quad (5.53)$$

$$\sum_{i \in I} S_i y_i + D' = D \quad (5.54)$$

$$y_i + y'_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5.55)$$

$$\sum_{i \in I} y'_i = 1 \quad (5.56)$$

$$D' / S_i \leq 1 + M(1 - y'_i) \quad \forall i \in I \quad (5.57)$$

$$\gamma_i \geq -My_i \quad \forall i \in I \quad (5.58)$$

$$\gamma_i \geq \theta_i \quad \forall i \in I \quad (5.59)$$

$$\phi_i \geq -My'_i \quad \forall i \in I \quad (5.60)$$

$$\phi_i \geq \theta_i \quad \forall i \in I \quad (5.61)$$

$$\pi_{ij} \leq (y_j + y'_i) / 2 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.62)$$

$$\pi_{ij} \geq y_j + y'_i - 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.63)$$

$$\eta_{ij} \leq \theta_i + M(1 - \pi_{ij}) \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.64)$$

$$D' \geq 0; \beta \geq 0; \theta_i \leq 0, \gamma_i \leq 0, \phi_i \leq 0 \quad \forall i \in I \quad (5.65)$$

$$\eta_{ij} \leq 0, \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad (5.66)$$

$$\pi_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.67)$$

$$y_i, y'_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (5.68)$$

Nümerik örnek

Çizelge 4.1'deki tek aşamalı tedarik zincirinde engelleme bütçesi belirlemeye yönelik problem verileri dikkate alınmıştır. Liderin yalnızca kendi talebini korumak adına, kendi talep ihtiyacı kadar tedarikçilerin kapasitesini engellemesine yönelik, lider ve takipçinin farklı talep miktarları için analizler yapılmıştır.

(i) *Talep miktarlarının aynı olması* ($D^L = D^T$): Liderin ve takipçinin talep miktarları aynı ($D^L = D^T$) iken yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.3'te ve grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Talep miktarlarının aynı olduğu durumdaki analiz sonuçları ($D^L = D^T$)

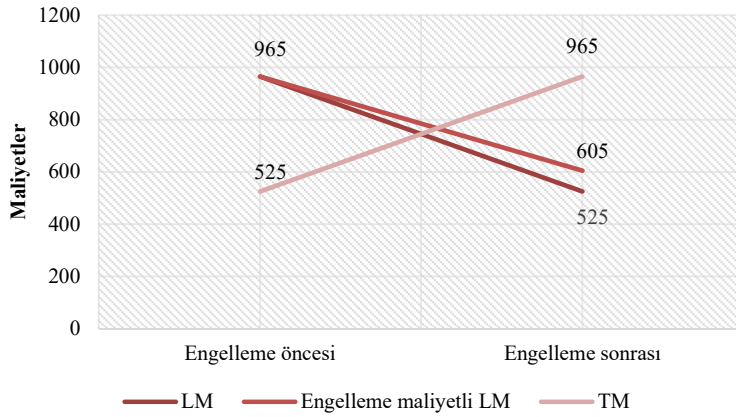
$D^L = D^T = 400$	Engelleme öncesi maliyetler -pb		Engelleme sonrası maliyetler -pb	
	Liderin amaç fonk. değeri (LM)	965*	Liderin amaç fonk. değeri (LM)	525***
	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	525**	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	965****

(*) Hiçbir engelleme olmadığı durumda, liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile takipçi mallarını aldıktan sonra kapasiteler sonuçlara göre güncellenerek yine **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile bulunur.

(**) Hiçbir engelleme olmadığı durumda, takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile direkt olarak hesaplanabilir.

(***) 400br engellendikten sonra, liderin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-17** ile takipçi engellenip, engelleme yapılan tedarikçiler dışındaki kapasitelerden **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile takipçi mallarını aldıktan sonra kapasiteler sonuçlara göre güncellenerek liderin amaç fonksiyonu yine **Model-1** ya da **Model-1(d)** ile bulunur.

(****) 400br engellendikten sonra, takipçinin minimum maliyetli tedarik modelinin amaç fonksiyonu değeridir. **Model-17** ile direkt olarak hesaplanabilir.



Şekil 5.3. Talep miktarlarının aynı olduğu durumdaki maliyet grafiği ($D^L = D^T$)

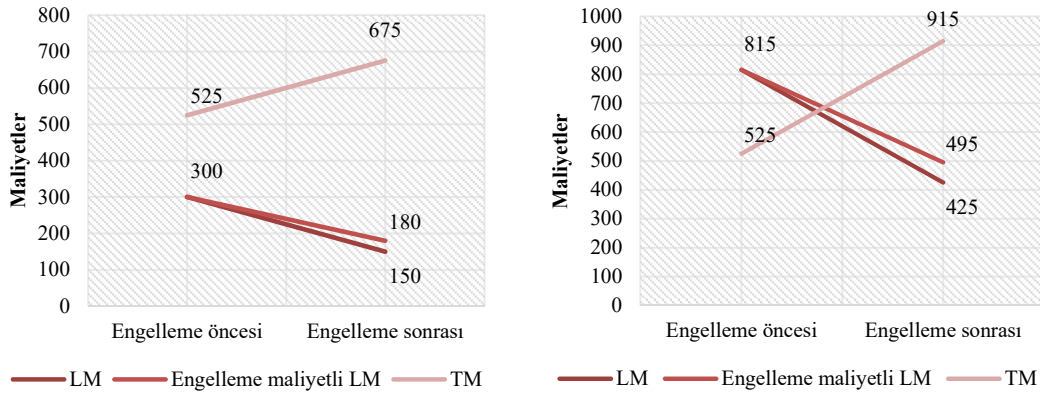
Çizelge 5.3 incelendiğinde, lider kendi talebini minimum maliyetten karşılamak adına 400br’lik malı koruma altına alıp, engelleyecektir. Çizelge 5.3’te görüldüğü gibi oyun sıfır toplamlıdır, ancak her bir birimi engellemenin maliyeti modele eklenirse dolayısıyla sıfır toplamlı oyun bozulacaktır. Bir birim malı engellemenin 0,2pb olduğu varsayalım, bu durumda takipçi ve liderin maliyet yapıları Şekil 5.3’teki gibi olacaktır.

(ii) *Liderin talebinin takipçinin talebinden az olduğu durum* ($D^L < D^T$): Liderin ve takipçinin talep miktarları farklı ($D^L < D^T$) iken yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.4’te ve grafiği Şekil 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Talep miktarlarının farklı olduğu durumdaki analiz sonuçları ($D^L < D^T$)

	Engelleme öncesi maliyetler -pb		Engelleme sonrası maliyetler -pb	
	Liderin amaç fonk. değeri (LM)		Liderin amaç fonk. değeri (LM)	
$D^L=150 < D^T=400$		300		150
	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	525	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	675
$D^L=350 < D^T=400$		815		425
	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	525	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	915

Çizelge 5.4 incelendiğinde, takipçinin talebinin 400br olduğu, liderin talebinin 150br ve 350br’lik olduğu durumlar için analiz sonuçları görülmektedir. Çizelge 5.4’te görüldüğü gibi oyun sıfır toplamlıdır, ancak her bir birimi engellemenin maliyeti modele eklenirse dolayısıyla sıfır toplamlı oyun bozulacaktır. Bir birim malı engellemenin 0,2pb olduğu varsayalım, bu durumda takipçi ve liderin maliyet yapıları Şekil 5.4’teki gibi olacaktır.

(a) $D^L=150 < D^T=400$ (b) $D^L=350 < D^T=400$

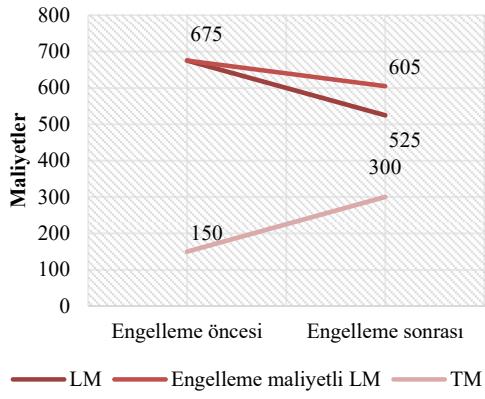
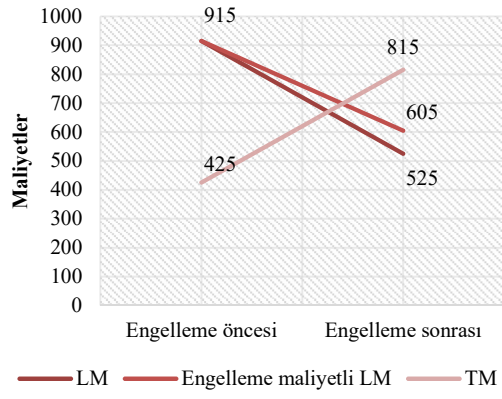
Şekil 5.4. Liderin talebinin takipçinin talebinden az olduğu durumdaki maliyet grafiği ($D^L < D^T$)

(iii) *Liderin talebinin takipçinin talebinden fazla olduğu durum ($D^L > D^T$)*: Liderin talebinin fazla olduğu durumda, takipçinin talebinin üstünü engellemek gereksiz gibi görünse de liderin maliyeti açısından önemlidir. Takipçinin talebi kadar engelleme yapıldığında, takipçi liderin talebi karşılamak için almaya devam edeceği minimum maliyetli kapasitelere yönelebilir. Çünkü lider sadece talebinin belli bir bölümünü koruma altına almış olacaktır. Aksi takdirde liderin maliyetini düşük bir ölçüde azaltacaktır. Diğer yandan lider eğer talebinin hepsini engellerse minimum tedarik maliyetine ulaşmış olacaktır. Liderin ve takipçinin talep miktarları farklı ($D^L > D^T$) iken yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.5'te ve grafiği Şekil 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Talep miktarlarının farklı olduğu durumdaki analiz sonuçları ($D^L > D^T$)

	Engelleme öncesi maliyetler -pb		Engelleme sonrası maliyetler -pb	
	Liderin amaç fonk. değeri (LM)	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)	Liderin amaç fonk. değeri (LM)	Takipçinin amaç fonk. değeri (TM)
$D^L=400 > D^T=150$	675	150	525	300
$D^L=400 > D^T=350$	915	425	525	815

Çizelge 5.5 incelendiğinde, liderin talebinin 400br olduğu, takipçinin talebinin 150br ve 350br'lik olduğu durumlar için analiz sonuçları görülmektedir. Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi oyun sıfır toplamlıdır, ancak her bir birimi engelleme maliyeti modele eklenirse dolayısıyla sıfır toplamlı oyun bozulacaktır. Bir birim mali engelleme maliyeti 0,2pb olduğu varsayalım, bu durumda takipçi ve liderin maliyet yapıları Şekil 5.5'teki gibi olacaktır.

(a) $D^L=400 > D^T=150$ (b) $D^L=400 > D^T=350$

Şekil 5.5. Liderin talebinin takipçinin talebinden fazla olduğu durumdaki maliyet grafiği ($D^L > D^T$)



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Firmalar günümüz rekabet koşullarında ayakta kalabilmek adına üretim ya da hizmet süreçlerinde çeşitli rekabetçi politikalar geliştirmektedir. Bu çalışma kapsamında, rekabet ortamında, firmaların tedarik süreçleri şebeke engelleme problemi şeklinde ele alınmıştır.

Modelleme sürecinde lider ve takipçi olarak adlandırılan rakip iki firmanın tedarik süreçleri için bazı varsayımlar altında firmaların matematiksel modelleri ayrı ayrı modellenmiş ve nümerik örnekler üzerinde tartışılmıştır.

Bu kapsamda, kesikli ve sürekli engelleme durumları açısından kesikli engellemede tek aşamalı ve iki aşamalı tedarik zinciri yapıları; sürekli engellemede ise tek aşamalı tedarik zinciri yapısı dikkate alınmıştır.

Literatür incelendiğinde kesikli engellemede, engelleme bütçesinin genellikle deterministik olarak önceden belirlenen bir bütçe şeklinde ele alındığı görülmektedir. Çalışmada ise, lider firmanın tedarikçileri engellemesi işleminde gerekli olacak engelleme bütçesinin belirlenmesine yönelik üst sınır yaklaşımı geliştirilmiştir. Engelleme bütçesinin üst sınır değerini tespiti farklı problem yapıları için de uygulanabilecek esnekliğe sahiptir.

Literatürdeki çalışmalara benzer şekilde kesikli engellemede tek ve iki aşamalı tedarik zinciri üzerinde belli bir bütçe dâhilinde engelleme planları analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kesikli engellemede belli bir bütçe dâhilinde engelleme söz konusu olduğunda bütçenin etkin kullanılamadığı görülmüştür. Bu durumda bütçenin etkin kullanabilmesini sağlayacak hedef programlama yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen hedef programlama modeli tek aşamalı-çok ürünli tedarik zinciri üzerinde geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Sürekli engellemede ise tek aşamalı tedarik zinciri yapısında farklı talep miktarları için liderin önceden belirlenen bütçe dâhilinde engellemesi ve liderin kendi talebi kadar engellemesi durumları araştırılmıştır. Liderin bütçe dâhilinde engellemesi aşamasında tedarikçileri engelleme başarı oranını dikkate alan çevredeki aksaklılara duyarlı bir model önerilmiştir. Bu amaçla farklı engelleme başarı oranlarında takipçinin amaç fonksiyon

değerlerinin seyri incelenmiştir. Liderin kendi talebi kadar engelleme durumunda ise nispeten iyimser bir kararla yalnızca kendi talebini koruyacak kadar malı engelleme durumu araştırılmıştır.

Sonuç olarak, literatürde yer alan şebeke engelleme probleminin firmaların tedarik süreçleri için uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Çalışmada, liderin amaçları doğrultusunda farklı engelleme stratejileri üretebilmesini sağlayacak farklı problem yapıları oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Ayrıca, ele alınan bu yapıların gerçek hayat problemleri ile örtüştüğü ve farklı sektörlere de uygulanabilme esnekliği taşıdığı söylenebilir.

İleriki çalışmalarda, tanımlanan problemlerde talep miktarları stokastik olabilir ya da miktar indirimli modeller çalışılabilir. Bununla birlikte problem yapılarına gerçek hayattaki risk yapıları da ilave edilerek, modeller çok amaçlı eniyileme şeklinde ele alınabilir. Ayrıca, daha fazla rakip firma arasında tedarik süreçleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Wood, R.K. (1993). Deterministic network interdiction. *Mathematical and Computer Modelling*, 17(2), 1-18.
2. Yates, J. and Sanjeevi, S. (2013). A length-based, multiple-resource formulation for shortest path network interdiction problems in the transportation sector. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 6(2), 107-119.
3. Stackelberg, v.H. (1952). *The theory of the market economy*, London, UK: William Hodge & Co.
4. Israeli, E. and Wood, R.K. (2002). Shortest-path network interdiction. *Networks*, 40(2), 97-111.
5. Ford, L. and Fulkerson, D.R. (1962). *Flows in networks*, New Jersey: Princeton University Press.
6. Taha, H.A. (2006). *Operations Research: An Introduction (8th Edition)*, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
7. Wollmer, R. (1963). *Some methods for determining the most vital link in a railway network*, Santa Monica, California: Rand Corporation.
8. Wollmer, R. (1964). Removing Arcs from a Network. *Operations Research*, 12(6), 934-940.
9. Lubore, S., Ratliff, H. and Sicilia, G.T. (1971). Determining the most vital link in a flow network. *Naval Research Logistics Quarterly*, 18(4), 497-502.
10. Ratliff, H.D., Sicilia, G.T. and Lubore, S.H. (1975). Finding the most vital links in flow networks. *Management Science*, 21(5), 531-539.
11. Malik, K., Mittal, A.K. and Gupta, S.K. (1989). The k most vital arcs in the shortest path problem. *Operations Research Letters*, 8(4), 223-227.
12. Ball, M.O., Golden, B.L. and Vohra, R.V. (1989). Finding the most vital arcs in a network. *Operations Research Letters*, 8(2), 73-76.
13. Corley, H. and David, Y.S. (1982). Most vital links and nodes in weighted networks. *Operations Research Letters*, 1(4), 157-160.
14. Corley, H. and Chang, H. (1974). Finding the n most vital nodes in a flow network. *Manage Science*, 21, 362-364.
15. Nardelli, E., Proietti, G. and Widmayer, P. (2003). Finding the most vital node of a shortest path. *Theoretical Computer Science*, 296(1), 167-177.
16. Fulkerson, D.R. and Harding, G.C. (1977). Maximizing the minimum source-sink path subject to a budget constraint. *Mathematical Programming*, 13(1), 116-118.

17. Golden, B. (1978). A problem in network interdiction. *Naval Research Logistics Quarterly*, 25(4), 711-713.
18. Wevley, C.M. (1999). *The quickest path network interdiction problem*, Master Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.
19. Khachiyan, L., Boros, E., Borys, K., Elbassioni, K., Gurvich, V., Rudolf, G. and Zhao, J. (2007). On Short Paths Interdiction Problems: Total and Node-Wise Limited Interdiction. *Theory of Computing Systems*, 43(2), 204-233.
20. Bayrak, H. and Matthew D. Bailey, M.D. (2008). Shortest path network interdiction with asymmetric information. *Networks*, 52(3), 133-140.
21. Gutfraind, A., Hagberg, A.A., Izraelevitz, D. and Pan, F. (2010). *Interdiction of a Markovian evader*. Paper presented at the INFORMS Computing Society Conference.
22. Rocco S, C.M. and Ramirez-Marquez, J.E. (2010). A bi-objective approach for shortest-path network interdiction. *Computers and Industrial Engineering*, 59(2), 232-240.
23. Yates, J. and Lakshmanan, K. (2011). A constrained binary knapsack approximation for shortest path network interdiction. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 981-992.
24. Cappanera, P. and Scaparra, M.P. (2011). Optimal allocation of protective resources in shortest-path networks. *Transportation Science*, 45(1), 64-80.
25. Romich, A., Lan, G. and Smith, J.C. (2015). Algorithms for optimizing the placement of stationary monitors. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 47(6), 556-576.
26. Borrero, J.S., Prokopyev, O.A. and Sauré, D. (2016). Sequential Shortest Path Interdiction with Incomplete Information. *Decision Analysis*, 13(1), 68-98.
27. McMasters, A.W. and Mustin, T.M. (1970). Optimal interdiction of a supply network. *Naval Research Logistics Quarterly*, 17(3), 261-268.
28. Chern, M.-S. and Lin, K.-C. (1995). Interdicting the activities of a linear program — A parametric analysis. *European Journal of Operational Research*, 86(3), 580-591.
29. Washburn, A. and Wood, K. (1995). Two-Person Zero-Sum Games for Network Interdiction. *Operations Research*, 43(2), 243-251.
30. Cormican, K.J., Morton, D.P. and Wood, R.K. (1998). Stochastic network interdiction. *Operations Research*, 46(2), 184-197.
31. Bingöl, L. (2001). *A lagrangian heuristic for solving a network interdiction problem*, Master Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

32. Burch, C., Carr, S., Krumke, M., Marathe, M., Phillips, C. and Sundberg, E. (2003). A decomposition-based approximation for network interdiction. In D. L. Woodruff (Eds.), *Network Interdiction and Stochastic Integer Programming*. Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. 51-69.
33. Lim, C. and Smith, J.C. (2007). Algorithms for discrete and continuous multicommodity flow network interdiction problems. *IIE Transactions*, 39(1), 15-26.
34. Royset, J.O. and Wood, R.K. (2007). Solving the bi-objective maximum-flow network-interdiction problem. *INFORMS Journal on Computing*, 19(2), 175-184.
35. Janjarassuk, U. and Linderoth, J. (2008). Reformulation and sampling to solve a stochastic network interdiction problem. *Networks*, 52(3), 120-132.
36. Rocco, C., Hernández, S., Ramírez-Márquez, J. and González, B. (2009). A heuristic for the deterministic interdiction problem. *Revista de la Facultad de Ingenieria U.C.V.*, 24(3), 5-20.
37. Rocco, C.M. and Ramirez-Marquez, J.E. (2009). Deterministic network interdiction optimization via an evolutionary approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2), 568-576.
38. Ramirez-Marquez, J.E. and Rocco, C.M. (2009). Stochastic network interdiction optimization via capacitated network reliability modeling and probabilistic solution discovery. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(5), 913-921.
39. Rocco, C.M., Emmanuel Ramirez-Marquez, J. and Salazar, D.E. (2010). Bi and tri-objective optimization in the deterministic network interdiction problem. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(8), 887-896.
40. Altner, D.S., Ergun, Ö. and Uhan, N.A. (2010). The maximum flow network interdiction problem: valid inequalities, integrality gaps, and approximability. *Operations Research Letters*, 38(1), 33-38.
41. Akgün, İ., Tansel, B.Ç. and Wood, R.K. (2011). The multi-terminal maximum-flow network-interdiction problem. *European Journal of Operational Research*, 211(2), 241-251.
42. Lunday, B.J. and Sherali, H.D. (2012). Minimizing the maximum network flow: models and algorithms with resource synergy considerations. *Journal of the Operational Research Society*, 63(12), 1693-1707.
43. Malaviya, A., Rainwater, C. and Sharkey, T. (2012). Multi-period network interdiction problems with applications to city-level drug enforcement. *IIE Transactions*, 44(5), 368-380.
44. Rad, M.A. and Kakhki, H.T. (2013). Maximum dynamic network flow interdiction problem: new formulation and solution procedures. *Computers & Industrial Engineering*, 65(4), 531-536.

45. Granata, D., Steeger, G. and Rebennack, S. (2013). Network interdiction via a Critical Disruption Path: Branch-and-Price algorithms. *Computers & Operations Research*, 40(11), 2689-2702.
46. Keshavarzi, R. and Fathabadi, H.S. (2015). Multi-commodity multi-source-sinks network flow interdiction problem with several interdictors. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(6), 118-122.
47. Janjarassuk, U. and Nakrachata-Amon, T. (2016). *A simulated annealing algorithm to the stochastic network interdiction problem*. Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.
48. Akgün, İ., Tansel, B.Ç. and Kevin Wood, R. (2011). The multi-terminal maximum-flow network-interdiction problem. *European Journal of Operational Research*, 211(2), 241-251.
49. Zenklusen, R. (2010). Matching interdiction. *Discrete Applied Mathematics*, 158(15), 1676-1690.
50. Perea, F. and Puerto, J. (2013). Revisiting a game theoretic framework for the robust railway network design against intentional attacks. *European Journal of Operational Research*, 226(2), 286-292.
51. Kheirkhah, A., Navidi, H. and Messi Bidgoli, M. (2016). An Improved Benders Decomposition Algorithm for an Arc Interdiction Vehicle Routing Problem. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 63(2), 259-273.
52. Church, R.L., Scaparra, M.P. and Middleton, R.S. (2004). Identifying critical infrastructure: The median and covering facility interdiction problems. *Annals of the Association of American Geographers*, 94(3), 491-502.
53. Spaulding, B.D. (2010). *A game theoretic approach to the maximal covering prevention location problem*, Dissertation, University of Connecticut, CT, ABD.
54. Zenklusen, R. (2010). Network flow interdiction on planar graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 158(13), 1441-1455.
55. Kennedy, K.T., Deckro, R.F., Moore, J.T. and Hopkinson, K.M. (2011). Nodal interdiction. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(11–12), 3116-3125.
56. Shen, S., Smith, J.C. and Goli, R. (2012). Exact interdiction models and algorithms for disconnecting networks via node deletions. *Discrete Optimization*, 9(3), 172-188.
57. Johnson, M.P., Gutfraind, A. and Ahmadizadeh, K. (2013). Evader interdiction: algorithms, complexity and collateral damage. *Annals of Operations Research*, 222(1), 341-359.
58. Prince, M. (2013). *Algorithms and reformulation techniques for three-stage interdiction and fortification problems*, Dissertation, University of Florida, Florida.

59. Medal, H.R., Pohl, E.A. and Rossetti, M.D. (2014). A multi-objective integrated facility location-hardening model: Analyzing the pre-and post-disruption tradeoff. *European Journal of Operational Research*, 237(1), 257-270.
60. Aksen, D., Şengül Akca, S. and Aras, N. (2014). A bilevel partial interdiction problem with capacitated facilities and demand outsourcing. *Computers & Operations Research*, 41, 346-358.
61. Golden, B. (1971). A problem in network interdiction. *Naval Research Logistics Quarterly*, 25(4), 711-713.
62. Whiteman, P.S. (1999). Improving single strike effectiveness for network interdiction. *Military Operations Research*, 4(4), 15-30.
63. Zhang, P. and Fan, N. (2016). Analysis of budget for interdiction on multicommodity network flows. *Journal of Global Optimization*, 1-31.
64. Pan, F., Charlton, W.S. and Morton, D.P. (2003). Interdicting smuggled nuclear material. In D. L. Woodruff (Eds.), *Network interdiction and stochastic integer programming*, Boston: Kluwer Academic Publishers, pp. 1-19.
65. Morton, D.P. and Pan, F. (2005). *Using sensors to interdict nuclear material smuggling*. Paper presented at the Proceedings of the IIE Research Conference.
66. Wein, L.M. and Atkinson, M.P. (2007). The last line of defense: Designing radiation detection-interdiction systems to protect cities from a nuclear terrorist attack. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 54(3), 654-669.
67. Morton, D.P., Pan, F. and Saeger, K.J. (2007). Models for nuclear smuggling interdiction. *IIE Transactions*, 39(1), 3-14.
68. Atkinson, M.P. and Wein, L.M. (2008). TECHNICAL NOTE-Spatial Queueing Analysis of an Interdiction System to Protect Cities from a Nuclear Terrorist Attack. *Operations Research*, 56(1), 247-254.
69. Pan, F. and Morton, D.P. (2008). Minimizing a stochastic maximum-reliability path. *Networks*, 52(3), 111-119.
70. Dimitrov, N.B., Michalopoulos, D.P., Morton, D.P., Nehme, M.V., Pan, F., Popova, E., Schneider, E.A. and Thoreson, G.G. (2011). Network deployment of radiation detectors with physics-based detection probability calculations. *Annals of Operations Research*, 187(1), 207-228.
71. Bailey, M.D., Shechter, S.M. and Schaefer, A.J. (2006). SPAR: stochastic programming with adversarial recourse. *Operations Research Letters*, 34(3), 307-315.
72. Salmerón, J. (2012). Deception tactics for network interdiction: A multiobjective approach. *Networks*, 60(1), 45-58.

73. Sullivan, K.M., Smith, J.C. and Morton, D.P. (2013). Convex hull representation of the deterministic bipartite network interdiction problem. *Mathematical Programming*, 145(1), 349-376.
74. Alvarez, R.E. (2004). *Interdicting electrical power grids*, Master Thesis, Naval Postgraduate School Monterey, California.
75. Salmeron, J., Wood, K. and Baldick, R. (2004). Analysis of electric grid security under terrorist threat. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(2), 905-912.
76. Yao, Y., Edmunds, T., Papageorgiou, D. and Alvarez, R. (2007). Trilevel optimization in power network defense. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 37(4), 712-718.
77. Bier, V.M., Gratz, E.R., Haphuriwat, N.J., Magua, W. and Wierzbicki, K.R. (2007). Methodology for identifying near-optimal interdiction strategies for a power transmission system. *Reliability Engineering and System Safety*, 92(9), 1155-1161.
78. Salmeron, J., Wood, K. and Baldick, R. (2009). Worst-case interdiction analysis of large-scale electric power grids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(1), 96-104.
79. Rocco, S., Claudio, M., Ramirez-Marquez, J.E., Salazar, A., Daniel, E. and Zio, E. (2010). A Flow Importance Measure with Application to an Italian Transmission Power System. *International Journal of Performability Engineering*, 6(1).
80. Delgadillo, A., Arroyo, J.M. and Alguacil, N. (2010). Analysis of electric grid interdiction with line switching. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(2), 633-641.
81. Rocco, C., Ramírez-Márquez, J., Salazar, D. and Yajure, C. (2010). Power system vulnerability screening using multiple-objective deterministic interdiction. *Revista de la Facultad de Ingenieria U.C.V.*, 25(1), 61-69.
82. Ma, C.Y., Yau, D.K., Lou, X. and Rao, N.S. (2013). Markov game analysis for attack-defense of power networks under possible misinformation. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 28(2), 1676-1686.
83. Church, R.L. and Scaparra, M.P. (2007). Protecting critical assets: the r-interdiction median problem with fortification. *Geographical Analysis*, 39(2), 129-146.
84. Scaparra, M.P. and Church, R.L. (2008). An exact solution approach for the interdiction median problem with fortification. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 76-92.
85. Liberatore, F., Scaparra, M.P. and Daskin, M.S. (2010). Analysis of facility protection strategies against an uncertain number of attacks: The stochastic R-interdiction median problem with fortification. *Computers and Operations Research*, 38(1), 357-366.

86. Aksen, D., Piyade, N. and Aras, N. (2010). The budget constrained r-interdiction median problem with capacity expansion. *Central European Journal of Operations Research*, 18(3), 269-291.
87. Liberatore, F., Scaparra, M.P. and Daskin, M.S. (2011). Analysis of facility protection strategies against an uncertain number of attacks: The stochastic R-interdiction median problem with fortification. *Computers & Operations Research*, 38(1), 357-366.
88. Liu, Y., Yuan, Y., Pang, H. and Ruan, L. (2012). *A bi level model for identifying critical emergency evacuation facilities in transportation networks*. Paper presented at the Proceedings of the 12th COTA International Conference of Transportation Professionals.
89. Zhu, Y., Zheng, Z., Zhang, X. and Cai, K. (2013). The r-interdiction median problem with probabilistic protection and its solution algorithm. *Computers & Operations Research*, 40(1), 451-462.
90. Lei, T.L. (2013). Identifying Critical Facilities in Hub-and-Spoke Networks: A Hub Interdiction Median Problem. *Geographical Analysis*, 45(2), 105-122.
91. Parvaresh, F., Hussein, S.M.M., Golpayegany, S.A.H. and Karimi, B. (2014). Hub network design problem in the presence of disruptions. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 25(4), 755-774.
92. O'Hanley, J.R. and Church, R.L. (2011). Designing robust coverage networks to hedge against worst-case facility losses. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 23-36.
93. Prince, M., Smith, J.C. and Geunes, J. (2013). A three-stage procurement optimization problem under uncertainty. *Naval Research Logistics (NRL)*, 60(5), 395-412.
94. Prince, M., Geunes, J. and Smith, J.C. (2013). Procurement allocation planning with multiple suppliers under competition. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 6900-6922.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZÇELİK, Gökhan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.12.1987, Karabük
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 582 38 19
 e-mail : gokhanozcelik@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi	2011
Lisans	Gazi Üniversitesi	2009
Lise	Mustafa Yazıcı Süper Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2010-2011	Karadeniz teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Diğer İndeksler Tarafından Taranan Makaleler

Çalış, A., Özçelik, G. ve Gencer, C. (2016). Türkiye'deki İmalat Sanayi Sektörlerinin Promethee, Multimoor ve SMAA-II Yöntemleri ile Sıralanması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 28-44.

Özçelik, G., Kızılkaya Aydoğan, E. and Gencer, C. (2014). A Hybrid Moor-Fuzzy Algorithm for Special Education and Rehabilitation Center Selection. *Journal of Military and Information Science*, 2(3), 53-62.

Ulusal ve Uluslararası Kongreler

Özçelik, G. ve Gencer, C. (2015). *Rakip Firmaların Ürün Tedarik Süreçleri için Şebeke Engelleme Yaklaşımı*, 16. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu, Edirne.

Özçelik, G., Akel, K. and Gencer, C. (2015). *Network Interdiction Problem: Literature Survey*, Industrial Engineering and Operation Management, Dubai.

Ünver, M., Özçelik, G. and Gencer, C. (2015). *A Fuzzy Integral Approach for Determining the Degree of Effect of the Global Warming on the Cities of Turkey*, Industrial Engineering and Operation Management, Dubai.

Çalış, A., Özçelik, G. ve Gencer, C. (2015). *Türkiye'deki İmalat Sanayi Sektörlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi*, Uluslararası Katılımlı 15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İzmir.

Özçelik, G. ve Gencer, C. (2015). *Rekabet Ortamında Akışkan Mal Satın Alma Süreci için İki Seviyeli Matematiksel Model Önerisi*, Uluslararası Katılımlı 15. Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İzmir.

Özçelik, G. ve Atmaca, H.E. (2014). *Satın Alma Süreci için Moora Metodu ile Tedarikçi Seçimi Problemi*, III.Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, Trabzon.

Özçelik, G., Tutam, M. ve Gencer, C. (2014). *Entegre Otobüs Şebeke Tasarımı Uygulaması*, III. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi, Trabzon.

Ozcelik, G., Kizilkaya Aydogan, E. and Gencer, C. (2013). *Determining The Most Appropriate Special Education and Rehabilitation Center by the Moora Method*, 26th European Conference on Operational Research Rome, Italy.

Hamzaçebi, C., Özçelik, G. ve Hamzaçebi, M. (2012). *Şehirlerin Sağlık Hizmetlerini Almaları Açısından Sıralanması: Türkiye Örneği*, 13. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Konferansı Gazimağusa, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti.

Özçelik, G., Dağdeviren, M. ve Kurt, M. (2011). *İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Değerlendirme İçin Alternatif Bir Yöntem Önerisi*, 17. Ulusal Ergonomi Kongresi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Özçelik, G., ve Dağdeviren, M. (2011). *Toplam İş Yükünü Etkileyen Faktörlerin Analizi İçin Bütünleşik Bir Model Önerisi*, 31. Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Hobiler

Spor, Müzik, Resim, Sinema



GAZİ GELECEKTİR..