

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TEDARİK ZİNCİRİ AĞININ KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ İLE TASARIMI

DESIGN OF SUPPLY CHAIN NETWORK WITH MIXED INTEGER LINEAR
PROGRAMMING AT AUTOMOTIVE INDUSTRY

Yrd. Doç. Dr. İrfan ERTUĞRUL, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari
Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, iertugrul@pamukkale.edu.tr

Araş. Gör. Esra AYTAÇ, Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi İşletme Bölümü, eytac@pamukkale.edu.tr

ÖZET

Günümüzde işletmeler, rekabet üstünlüğü elde etmek için işletmeler arası ilişkilerin gerekliliğini anlamış ve özellikle, tedarikçilerle geliştirilen sıkı işbirliğinin; ürün kalitesinin artırılması, satın alınan ürünlerin maliyetlerinin düşürülmesi, üretim ve dağıtım esnekliğinin geliştirilmesi gibi konularda son derece olumlu katkılar sağladığını görmüşlerdir. Bu nedenle bu katkıların sağlanabilmesi ve rekabetin devamı için tedarik zinciri sistemleri kurulmalıdır. Tedarik zinciri; ürünlerin, tedarikçiler, üreticiler, toptancılar, dağıtımıcılar, perakendeciler ve nihai tüketiciler arasındaki hareketini sağlayan ilişkilerden ve bağlantılardan oluşan bir ağıdır. Bu ağların tasarımında matematiksel optimizasyon tekniklerine başvurulmaktadır.

Bu çalışmada, İzmir'de faaliyet gösteren bir işletme için hammaddenin satın alınmasından, son ürünün dağıtımına kadar olan entegre tedarik zinciri işlemleri analiz edilmiştir. Tedarik zinciri kapsamında dağıtım ağlarının tasarımı ve planlaması; tedarikçi, fabrika, depo kapasiteleri, müşteri talepleri, tedarik, üretim, depolama ve ulaştırma maliyetleri gibi değişkenler dikkate alınarak karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ile oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Tedarik zinciri yönetimi, Karma tamsayılı doğrusal programlama, Optimizasyon

ABSTRACT

Nowadays companies understood the necessity of the cooperation between the companies for getting competitive advantage and saw that especially cooperation with suppliers provides positive contribution to subjects such as increasing the product quality, decreasing the cost of purchased products, developing flexibility of production and distribution. So supply chain systems must be established for providing these contributes and continuity of competition. Supply chain is a network formed relations and connections which provide the movement of products between suppliers, producers, wholesalers, distributors, retailers and final customers. It's referred to mathematical optimization techniques for designing of these networks.

In this paper integrated supply chain operations are analyzed from purchasing raw materials to distributing the final products for the company operated in İzmir. Designing and planning of distribution network in the frame of supply chain are formed with the mixed integer linear programming considering variables such as capacity of supplier, facility, warehouse, customer demands, cost of procurement, production, storing and transportation.

Key Words: Supply chain management, Mixed integer linear programming, Optimization

1. GİRİŞ

Bir tedarik zinciri, hammaddeyi tedarik eden, bu hammaddeleri önce yarı mamule daha sonra nihai ürüne çeviren ve son olarak dağıtım sistemleri ile nihai kullanıcılara dağıtan işletmelerin ağıdır (Ohiummu ve diğerleri, 2007: 1). Tedarik zinciri yönetimi ise, kullanılacak hammadde ve malzemeden, mal ve hizmetlerin üretimi ve nihai müşterilere ulaştırılması sürecine kadar tedarikçiler, üreticiler, aracı işletmeler ve müşteriler arasında malzeme, ürün, bilgi ve finansal akışların etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayan bir sistemdir (Barutçu, 2007: 133). Başka bir deyişle tüm bu işlevleri gerçekleştiren tesis ve dağıtım seçeneklerinin ağıdır (Yüksel, 2002: 262).

Günümüzde artan rekabet şartları; tedarik zinciri işletmelerini, kapasite dağıtım stratejilerini yeniden düzenlemeye zorlamaktadır. Verilen sınırlı hammadde tedariği ve üretim, nihai üretim ulaştırması ve dağıtım merkezleri için sınırlı kapasiteler ile kapasite dağıtım problemi, bu nihai ürün talebini karşılamak için bu kaynakların en iyi nasıl kullanılacağına karar vermektedir (Li ve diğerleri, 2007: 1). Başka bir deyişle tedarik zincirinde dağıtım fonksiyonu, işletmeler için önemli bir fonksiyon olup, günümüzde rekabet avantajı sağlamak için stratejik bir rol üstlenmektedir (Helm, 1999: 99). Bu anlamda etkin dağıtım ağlarının tasarımı oldukça önemli bir hale gelmekte ve bu ağları düzenleyebilmek için optimizasyon tekniklerine başvurulmaktadır.

Bu çalışmada tedarik zinciri ağı tasarımı karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Bu bağlamda çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünde sırasıyla tedarik zinciri yönetiminden ve karma tamsayılı doğrusal programlama modelinden kısaca bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise İzmir'de faaliyet gösteren bir işletme için fabrika ve depo kurma kararları; hammaddenin satın alınmasından, son ürünün dağıtımına kadar olan entegre tedarik zincirindeki tedarik, üretim, ulaştırma, depolama ve sabit maliyetler dikkate alınarak karma tamsayılı doğrusal programlama doğrultusunda oluşturulan model ile analiz edilmeye çalışılmıştır. Son bölümde ise uygulamanın sonuçları verilmiştir.

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Geçmiş 10 yıldan beri tedarik zinciri yönetimi, işletmeler ve organizasyonlar için rekabet avantajına odaklanmak için önemli bir hale gelmiştir (Wu, 2008: 217). Tedarik zinciri, üretimde kullanılacak materyallerin tedarikini, bu materyallerin yarı ve tam mamul üretimine aktarımını ve üretimini, tamamlanan mamullerin tüketicilere ulaştırılmasını sağlayan fiziksel bir ağ olarak tanımlanabilmektedir (Barutçu, 2007: 134).

Tedarik zinciri ağında başarılı olabilmek için zinciri oluşturan tüm fonksiyonlar, bütünleşmiş olmalıdır. Zincir boyunca ürünlerin, tedarikçiden son kullanıcıya ulaşmasında talep ve sipariş yönetimi, planlama, stok yönetimi, depo yönetimi ve sevkiyat gibi bir dizi fonksiyon belirli görevleri, temel hedefler doğrultusunda yerine getirmektedir (Ertuğrul ve Aytaç, 2008: 2). Bu anlamda bir işletmenin tedarik zinciri üç temel parçadan oluşmaktadır: içsel fonksiyonlar, tedarikçiye doğru akış ve müşterilere doğru akıştır. İçsel fonksiyonlar, hammaddelerden nihai ürüne dönüşüm için farklı tüm süreçleri (tedarik, üretim ve dağıtım) kapsamakta ve bu süreçler arasındaki koordinasyon ve çizelgeleme oldukça önemli olmaktadır (Helm, 1999: 99).

Tedarik zinciri tasarımı, etkin ve verimli tedarik zinciri yönetimi için optimal bir platform sağlamaktır. Bu nedenle bu problem, tedarik zinciri yönetiminde stratejik işlemler yönetimine ilişkin önemli bir problemdir (Yan ve diğerleri, 2003: 2135). Bu bağlamda ağın tasarımı; tedarik ve dağıtım süreçlerini bir bütün olarak veya ayrı ayrı modelleyerek optimum tedarik zincirini/lojistik ağını tespit etmek anlamındadır.

Son zamanlarda tedarik zinciri ağının dağıtım parçasındaki lojistik ağı, araştırmacılar tarafından oldukça ilgi görmektedir. Lojistik, tedarik zincirinde önemli bir parça olarak sermayeyi, malzemeyi, hizmetleri ve müşteri isteklerini tahmin etmek için bilgiyi kontrol etmektedir (Wu, 2008: 217). Diğer sistemlerde olduğu gibi, tedarik zinciri yönetiminde önemli rol oynayan dağıtım ağını uygulamadan önce onu tasarlamak gerekmektedir. Dağıtım ağını tasarlarken; dağıtım ağının biçimi, ağın her halkasındaki envanter-planlama politikası, ağın farklı noktalarından ürün dağıtım rotaları dikkate alınmalıdır.

Literatürde tedarik zinciri yönetiminde lojistiğe ilişkin bir çok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şöyledir; Geoffrion and Graves (1974), çok ürünlü tek periyotlu üretim dağıtım ağını tasarlamak için karma tamsayılı programlamayı ilk olarak kullanmışlardır. Daha sonra matematiksel programlama, sezgisel yöntemler, simülasyon ve yapay zeka, dağıtım ağı tasarlamak için yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Cohen ve Lee (1985) (Goetschalckx ve diğerleri, 1995; Doğan ve Goetschalckx, 1999; Goetschalckx ve diğerleri, 2002), çok ürünlü tek periyotlu üretim dağıtım ağını dikkate almış ve maliyeti minimize etmek (karı maksimize etmek) ve fabrikaların konumlarına karar vermek için matematiksel programlama modellerini (tamsayılı veya karma tamsayılı programlama) kullanmışlardır. Dağıtım ağının stokastik çevresini modellemek için Escudero ve Galindo (1999) (MirHassani ve diğerleri, 2000) müşteri taleplerini tesadüfi değişken olarak almış ve üretim-dağıtım ağlarını tasarlamak için tamsayılı stokastik programlamayı kullanmışlardır. Matematiksel programlamanın ötesinde tedarik zinciri tasarımında diğer optimizasyon teknikleri de kullanılmıştır. Bunlar arasında Berry ve diğerleri (1998), dağıtım ağlarının topolojisinin tasarımını optimize etmek için genetik algoritmaları kullanmışlardır. Antony (2000), üretim dağıtım ağlarının düzenine karar vermek için tavlama benzetimi yöntemini kullanmıştır.

3. KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Doğrusal programlama, sınırlı kaynakların en etkin biçimde nasıl kullanılması gerektiğini saptama tekniği ve bir karar verme aracıdır (Ertuğrul, 2005: 49). Başka bir deyişle birçok değişkenin, doğrusal eşitsizlikler şeklinde düzenlenerek bu değişkenlerin maksimize (veya minimize) edildiği problemlerin analizidir (Dorfman, 1958: 9).

Doğrusal programlamada kullanılan karar değişkenlerinin tamsayı değerler alması gerekliliği, gerçek hayat problemlerinde kimi zaman kaçınılmaz olmaktadır. Bu anlamda tamsayılı doğrusal programlama, karar değişkenlerinin tümünün veya bir kısmının tamsayı değerler almak zorunda olduğu, doğrusal programlamanın bir uzantısıdır (Ulucan, 2004: 211). Satıcıların satış bölgelerine ayırımı, sermaye planlaması, ambarların araştırma ve geliştirme ve en iyi yerleşim gibi problemler, tamsayılı programlamanın konusu olmaktadır (Doğan, 1995: 142).

Tamsayılı programlama problemlerini çözmek için en kolay yollardan biri, problemi doğrusal programlamanın uygulanmasına izin veren bir biçime çevirmektir. Daha basit bir yöntem için, bir tamsayılı programlama problemini kabul edilebilir bir biçime değiştirmek için gerekli değişimin niteliği, çalışma altındaki problemin türüne göre değişmektedir (Doğan, 1995: 143). Bununla birlikte eğer problemde sadece bazı değişkenlerin tamsayı değerli olması gerekli iken diğer değişkenler, bölünebilirlik varsayımını karşılayan yani kesirli değerler alabilen değişkenler ise bu tür problemler, karma doğrusal programlama problemi olarak adlandırılmaktadır (Öztürk, 2005: 335).

Literatürde karma tamsayılı doğrusal programlamanın işletme problemlerine uygulandığı birçok uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamalardan biri de tedarik zinciridir. Bu konuda kurulan modellerin amacı, uzun dönemde tedarikçilerin seçimi, üreticilerin ve dağıtıcıların kapasitelerinin düzenlenmesi ve aynı zamanda bu kapasitelerin ürünlere ve diğerlerine dağıtımını içeren stratejik kaynak dağıtımını için etkili karar desteği sağlamaktır. Modellerdeki problem, toplam maliyeti minimize etmek veya karı maksimize etmek için üreticilerin ve depoların çeşidine, kapasitesine, yerlerine ve sayısına karar vermektir. Tüm zincir boyunca tedarikçilerin kümesini de seçmek gerekmektedir.

Kurulan modelde tedarik zincirinin performans ölçümleri, genel olarak karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir. Karar değişkenlerinin bazıları; yer, yerleşim, şebeke/ağ yapısı, tesis ve teçhizat sayısı, aşama-katman sayısı, hizmet sıklığı, miktar, stok seviyesi, işgücü miktarı, dış-kaynak (outsourcing) kapsamıdır (Paksoy, 2004: 444).

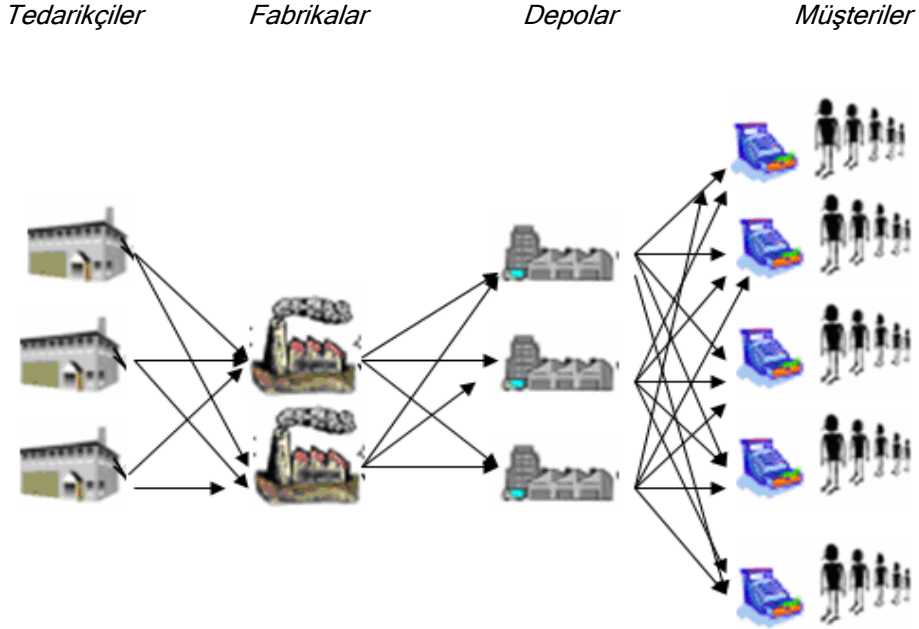
Tedarik zinciri ile karma tamsayılı doğrusal programlamayı birleştiren çalışmalardan bazıları şöyledir; mobilya tedarik zincirinin planlama optimizasyonu (Ouhimmou ve diğerleri, 2007), doğalgaz dağıtımını (Özelkan ve diğerleri, 2008), karmaşık tedarik zincirleri için kapasite dağıtımını (Li ve diğerleri, 2007), mantıksal kısıtlarla tedarik zincirinin modellenmesi (Yan ve diğerleri, 2003), çoklu ürünler için üretim ve dağıtım tasarlaması (Jayaraman ve Pirkul, 2001), otomotiv endüstrisinde montaj hattı sıralaması ve lojistik planlaması (Jin ve diğerleri, 2008), otomotiv endüstrisinde yeni ürün ailelerinin tasarımı ve tedarik zinciri planlaması (Lamotte ve diğerleri, 2006), otomotiv endüstrisinde üretim planlaması ve tedarik zinciri ağının modellenmesidir (Groni ve diğerleri, 2003).

4. UYGULAMA

Stratejik tedarik zincirindeki problemlere ilişkin birçok çalışma yapılmasına rağmen, çoğu çalışmada tedarik zincirinin her aşamasına -üretim, dağıtım gibi- ayrı bir sistem gözüyle bakılmıştır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak İzmir'de otomotiv endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmenin hammaddelerinin satın alınmasından son ürünün dağıtımına kadar olan entegre tedarik zinciri işlemleri; yeni fabrika ve depo kurma kararları için analiz edilmeye çalışılmıştır. Kurulacak yeni fabrika ve depo yeri, tedarik zinciri kapsamında dağıtım ağlarının tasarımı ve planlaması; tedarikçi, fabrika, depo kapasiteleri, müşteri talepleri, tedarik, ulaştırma, fabrikalardaki birim üretim ve depolardaki birim depolama maliyetleri gibi değişkenler dikkate alınarak karma tamsayılı programlama modeli ile oluşturulmaya çalışılmıştır.

İşletmenin tedarik zinciri yapısı; tedarikçilerden fabrikaya hammadde gönderimi, fabrikadan depolara ve depolardan müşterilere nihai ürün gönderimi şeklinde Şekil 1'de görüldüğü gibi üç aşamalıdır.

Şekil 1: İşletmenin tedarik zinciri yapısı



İlgili işletmenin odaklanmak istediği ürün, pazar payının önemli bir bölümü oluşturan “arka motor takozu” ve “ön motor takozu”dur. Arka motor takozunu oluşturan temel hammaddeler ve bunların, 1 nihai ürün oluşturmak için gerekli miktarları; 27’lik altı köşe otomat (0,466 kg), 22’lik altı köşe otomat (0,23 kg), 19’luk altı köşe otomat (0,26 kg), AT 171 alüminyum (2,66 kg.), delikli sac (0,546 kg), pabuç sacı (0,546 kg.), M16 raylı rondela (0,158 kg), civata (0,158 kg) şeklindedir. Ön motor takozunu oluşturan temel hammaddeler ve bunları 1 nihai ürün oluşturmak için gerekli miktarları ise; sfero döküm (3,3 kg), AT 171 alüminyum (0,948 kg.), 10’luk yuvarlak otomat (0,02 kg.), 22’lik altı köşe otomat (0,258 kg), pabuç sacı (0,546 kg.) ve civata’dır (0,158 kg). İşletme, bu ürüne ilişkin iki fabrika alternatifi (İzmir, Denizli) arasından bir fabrika; 3 depo alternatifi (İstanbul, Denizli, İzmir) arasından ise 2 depo seçmek istemektedir. Bu anlamda modelin kurulması için gerekli olan parametreler ve karar değişkenleri aşağıda görüldüğü gibidir:

İndeksler:

- $i \in I$; i , tedarikçi indeksi , I , toplam tedarikçi sayısı
 $s \in S$; s , hammadde indeksi ; S , toplam hammadde sayısı
 $j \in J$; j , fabrika indeksi ; J , toplam fabrika sayısı
 $m \in M$; m , depo indeksi ; M , toplam depo sayısı
 $n \in N$; n , müşteri indeksi ; N , toplam müşteri sayısı
 $p \in P$; p , ürün indeksi ; P , toplam ürün sayısı

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TEDARİK ZİNCİRİ AĞININ
KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ İLE TASARIMI

Modelin Parametreleri:

- P_j , j. fabrikanın üretim kapasitesi
 K_m , m. deponun üretim kapasitesi
 D_n , n. müşterinin talebi
 C_{ijs} , i. tedarikçiden j. fabrikaya s. hammaddenin taşıma maliyeti
 C_{jmp} , j. fabrikadan m. depoya p. nihai ürünü birim taşıma maliyeti
 C_{mnp} , m. depodan n. müşteriye p. nihai ürünü birim taşıma maliyeti
 PC_{jp} , j. fabrikada p. nihai ürünü birim üretim maliyeti
 DC_{mp} , m. depoda p. nihai ürünü depolama maliyeti
 F_j , j. fabrikanın sabit kurulma maliyeti
 F_m , m. deponun sabit kurulma maliyeti
 ω_s , bir birim nihai ürün içindeki s hammaddesinin kullanım miktarı
 E , açılacak fabrikanın üst sınırı
 G , kurulacak deponun üst sınırı
 a_{is} , i. tedarikçinin s. hammadde kısıtı

Karar Değişkenleri:

- X_{ijs} , i. tedarikçiden j. fabrikaya tedarik edilen s. hammadde miktarı
 Y_{jmp} , j. fabrikadan m. depoya gönderilen p. nihai ürün miktarı
 Z_{mnp} , m. depodan n. müşteriye gönderilen p. nihai ürün miktarı
 $\phi_j \begin{cases} 1, & j. \text{ fabrikada üretim gerçekleşirse} \\ 0, & j. \text{ fabrikada üretim gerçekleşmezse} \end{cases}$
 $\beta_m \begin{cases} 1, & m. \text{ depo kurulursa} \\ 0, & m. \text{ depo kurulmazsa} \end{cases}$

Bu parametreler kullanılarak oluşturulan model şöyledir;

Amaç fonksiyonu

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i \sum_j \sum_s C_{ijs} X_{ijs} + \sum_j \sum_m \sum_p PC_{jmp} Y_{jmp} + \sum_j \sum_m \sum_p C_{jmp} Y_{jmp} + \\ & \sum_j \sum_m \sum_p DC_{jmp} Z_{jmp} + \sum_m \sum_n \sum_p C_{mnp} Z_{mnp} + \sum_j F_j \phi_j + \sum_m F_m \beta_m \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Kısıtlar} \quad \sum_j X_{ijs} \leq a_{is} \quad (2)$$

$$\sum_m Y_{jmp} \leq P_j \phi_j, \quad \forall_j \quad (3)$$

$$\sum_j \phi_j \leq E \quad (4)$$

$$\sum_n Z_{mnp} \leq K_m \beta_m, \quad \forall_{m,n,p} \quad (5)$$

$$\sum_m \beta_m \leq G \quad (6)$$

$$\sum_i X_{ijs} - \omega_s \sum_m Y_{jmp} = 0, \quad \forall_{i,j,s,p,m} \quad (7)$$

$$\sum_j Y_{jmp} - \sum_n Z_{mnp} = 0, \quad \forall_{j,m,p,n} \quad (8)$$

$$\sum Z_{mnp} \geq D_{np} \quad (9)$$

$$X_{ijs}, Y_{jmp}, Z_{mnp} \geq 0, \quad \forall_{i,j,s,m,n,p} \quad (10)$$

$$\phi_j, \beta_m = \{0, 1\} \quad (11)$$

Kurulan modelde Eşitlik (1), amaç fonksiyonunu göstermektedir. Amaç fonksiyonundaki toplam maliyet; hammaddelerin tedarikçilerden tedarik maliyetini ve fabrikalara ulaştırma maliyetini, fabrikalarda nihai ürünleri üretme maliyetini, nihai ürünlerin fabrikalardan depolara ulaştırma maliyetini, nihai ürünlerin depolarda depolanma maliyetini, nihai ürününün depolardan müşterilere ulaştırma maliyetini, kurulması düşünülen fabrikaların ve depoların kurulum maliyetini kapsamaktadır.

(2)-(11) arasındaki eşitlikler, farklı kısıtları göstermektedir. Bu kısıtların açıklamaları şöyledir;

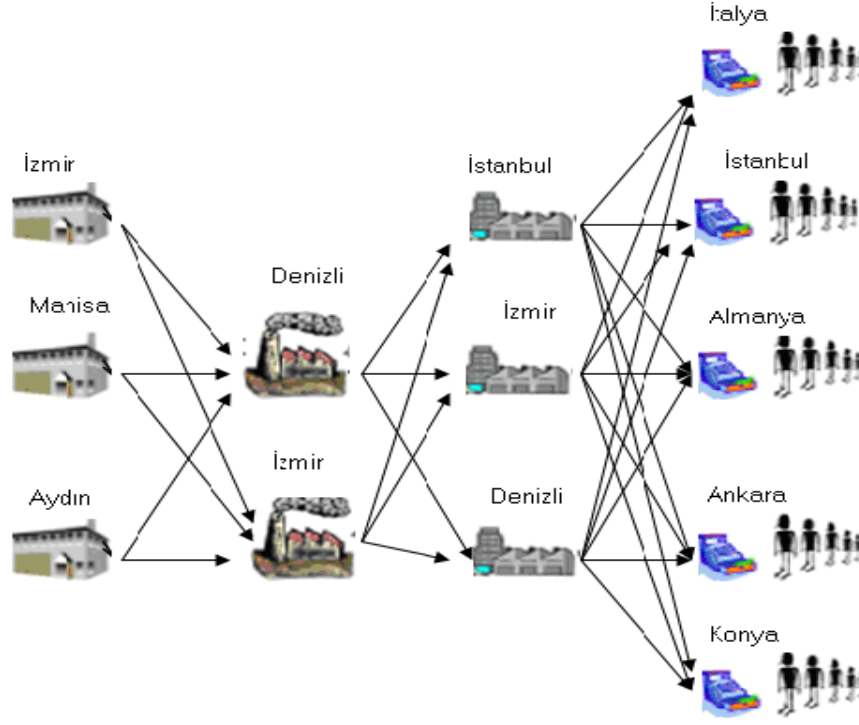
- Eşitlik (2), tedarikçi kapasite kısıtını göstermektedir. Buna göre bir tedarikçiden fabrikalara gönderilen hammadde miktarı, bu tedarikçinin ilgili hammaddeye ilişkin kapasitesinin üzerinde değildir.
- Eşitlik (3), üretim kapasite gereksinimini belirlemektedir. Buna göre bir fabrikadan dağıtılan toplam ürün, bu fabrikanın üretim kapasitesinin üzerinde değildir.

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TEDARİK ZİNCİRİ AĞININ
KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ İLE TASARIMI

- Eşitlik (4), açılması düşünülen fabrika sayısını belirlemektedir.
- Eşitlik (5), depolarda üretilen ürünlerin depolama kapasitesini belirlemektedir. Buna göre bir depodan gönderilen toplam ürün miktarı, bu deponun depolama kapasitesinin üzerinde değildir.
- Eşitlik (6), açılması düşünülen depo sayısını belirlemektedir.
- Eşitlik (7) ve (8), tedarik zincirindeki denge kısıtlarıdır. Buna göre Eşitlik (7), bir tedarikçiden bir fabrikaya gönderilen hammadde miktarının, o fabrikada nihai ürün üretmek için kullanılacak miktara eşit olacağını gösterirken; Eşitlik (8), bir fabrikadan bir depoya gönderilen nihai ürün miktarının, aynı depodan müşterilere gönderilen nihai ürün miktarına eşit olacağını göstermektedir.
- Eşitlik (9), bir müşterinin nihai ürün talebinin, o müşteri için depolardan gönderilen nihai ürün miktarını aşamayacağını göstermektedir.
- Eşitlik (10), tüm değişkenlerin pozitif olduğunu gösterirken; Eşitlik (11), bazı karar değişkenlerinin ikili değerler aldığını gösterir.

Hammaddelerin tedarik yerleri, ürün için açılacak fabrika ve depo alternatifleri, ürünün müşterileri, tedarikçilerden kurulması düşünülen fabrikalara hammaddelerin birim tedarik maliyetleri, fabrikadan kurulması düşünülen depolara, depolardan müşterilere taşıma maliyetleri, fabrikaların üretim kapasiteleri, fabrikalardaki birim üretim maliyetleri, depoların depolama kapasiteleri, depoların birim depolama maliyetleri, müşterilerin talepleri, fabrika ve depolar için kuruluş maliyetleri; Tablo 1-10'da gösterilmektedir. Şekil 2'de ise işletmenin tedarik zinciri yapısı içinde hammaddelerin tedarik yerleri, ürün için açılacak fabrika ve depo alternatifleri, ürünün müşterileri gösterilmektedir.

Şekil 2: İşletmenin hammaddelerin tedarik yerleri, ürün için açılacak fabrika ve depo alternatifleri, ürünün müşterileri



Tablo 1: İşletmenin Tedarikçileri, Fabrika ve Depo Alternatifleri, Müşterileri

Tedarikçiler	T ₁ T ₂ T ₃	İzmir Manisa Aydın
Fabrikalar	F ₁ F ₂	Denizli İzmir
Depolar	D ₁ D ₂ D ₃	İstanbul İzmir Denizli
Müşteriler	M ₁ M ₂ M ₃ M ₄ M ₅	İtalya İstanbul Almanya Ankara Konya

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TEDARİK ZİNCİRİ AĞININ
KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ İLE TASARIMI

Tablo 2: Hammaddelerin Tedarikçilerden Fabrika 1'e ve Tedarikçilerden Fabrika 2'ye Tedarik Birim Maliyetleri (TL.) ve Tedarikçilerin Hammadde Kapasiteleri (kg.)

	F ₁			F ₂			Tedarikçi Kapasiteleri (kg.)
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	
27'lik altı köşe otomat	2	2,5	2,3	2	1,8	1,7	T ₁ : 3000 T ₂ : 2900 T ₃ : 3500
22'lik altı köşe otomat	3	5,2	2,3	1,8	1,4	1,7	T ₁ : 2800 T ₂ : 2950 T ₃ : 3000
19'luk altı köşe otomat	2,9	2,5	2,9	2	1,9	1,7	T ₁ : 1800 T ₂ : 1700 T ₃ : 1750
10'luk yuvarlak otomat	2,5	2,3	2,4	2	1,8	1,9	T ₁ : 200 T ₂ : 150 T ₃ : 180
Sfero döküm	3	2,8	3	2,8	2,7	2,5	T ₁ : 16800 T ₂ : 17100 T ₃ : 17000
AT171 alüminyum	5	4,9	4,7	3,9	3,5	3,8	T ₁ : 21000 T ₂ : 20000 T ₃ : 22500
Delikli saç	1,5	1,3	1,03	1,2	1,1	1,3	T ₁ : 1200 T ₂ : 1250 T ₃ : 1300
Pabuç saçı	1,9	1,85	1,9	1,2	1,1	1,3	T ₁ : 6030 T ₂ : 6080 T ₃ : 6100
M16 raylı rondela	1,5	1,4	1,5	0,9	0,89	0,8	T ₁ : 100 T ₂ : 120 T ₃ : 90
Civata	1,5	1,3	1	0,48	0,46	0,5	T ₁ : 1750 T ₂ : 1800 T ₃ : 1790

Tablo 3: Fabrikalardan Depolara Bir Birim Nihai Ürünü Taşıma Maliyetleri (TL.)

	1.ürün			2.ürün		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
F ₁	3,5	1,4	0,5	3	1	0,4
F ₂	2,9	0,4	1,3	2,5	0,4	1

Tablo 4: Depolardan Müşterilere Bir Birim Nihai Ürünü Taşıma Maliyetleri (TL.)

	1.ürün					2.ürün				
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
D ₁	15,5	0,8	13	3	3,5	14	0,5	12,5	2,8	3
D ₂	16	3	14	3,5	3	15,5	3	13	3,5	3,2
D ₃	17	3,3	15	3,2	2,8	16	3	15,1	3	3

Tablo 5: Fabrikaların Birim Üretim Maliyetleri (TL.)

	1.ürün	2.ürün
F ₁	2,8	3
F ₂	3,2	3,1

Tablo 6: Fabrikaların Üretim Kapasiteleri (aylık)

	1.ürün	2.ürün
F ₁	6000	5000
F ₂	4900	4200

Tablo 7: Depoların Birim Depolama Maliyetleri (TL.)

	1.ürün	2.ürün
D ₁	2	2,2
D ₂	2,3	2,4
D ₃	2,5	2,3

Tablo 8: Depoların Depolama Kapasiteleri (aylık)

	1.ürün	2.ürün
D ₁	2800	3000
D ₂	2500	3500
D ₃	4800	4000

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE TEDARİK ZİNCİRİ AĞININ
KARMA TAMSAYILI PROGRAMLAMA MODELİ İLE TASARIMI

Tablo 9: Müşterilerin Talepleri (aylık)

	1.ürün	2.ürün
M ₁	980	950
M ₂	900	800
M ₃	950	900
M ₄	1000	980
M ₅	970	950

Tablo 10: Sabit Maliyetler (aylık/TL.)

<i>Fabrikalar</i>	Sabit maliyetler (TL)
F ₁	66666,76
F ₂	45833,33
<i>Depolar</i>	
D ₁	20833,33
D ₂	25000
D ₃	16666,67

Buna göre modelin WinQSB paket programı kullanılarak elde edilen sonuçları, Tablo 11'da görülmektedir.

Tablo 11: Modelin Sonuçları

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
X ₁₁₁	2236,8	X ₃₁₁₀	1482,04	Z ₃₅₁	970
X ₃₁₂	2285,64	Y ₁₃₁	4800	Z ₃₁₂	950
X ₂₁₃	1248	Y ₁₁₂	900	Z ₃₂₂	800
X ₂₁₄	91,6	Y ₁₃₂	3680	Z ₃₄₂	980
X ₂₁₅	15114	Z ₁₃₂	900	Z ₃₅₂	950
X ₃₁₆	17109,84	Z ₃₁₁	980	ϕ_2	1
X ₃₁₇	902,4	Z ₃₂₁	900	β_1	1
X ₂₁₈	5121,48	Z ₃₁₁	950	β_3	1
X ₂₁₉	57,6	Z ₃₄₁	1000	Amaç	347326,1

Modelin çözümü ile ilgili işletmenin yeni fabrikayı Denizli'de kurmasına karar verilmiştir. Bununla birlikte modelin birinci aşamasında, Denizli'de kurulacak fabrika için tedarikçiden tedarik edilmesi gereken miktarlar belirlenmiştir. Örneğin; tedarikçi 1'den Denizli'de kurulacak fabrikaya, 1. hammadeden gönderim miktarı 2236,8 kg. olacaktır. İkinci aşamada, İstanbul ve Denizli'de depo kurması gerektiği belirlenmiş ve Denizli'de kurulacak fabrikadan İstanbul ve Denizli'de kurulacak depolara taşınacak ürün miktarları tespit edilmiştir. Örneğin; Denizli'de kurulacak fabrikadan İstanbul'da kurulacak depoya 2. nihai ürün gönderim miktarı, 900 tanedir. Son aşamada ise müşterilere, hangi

depodan ne kadar miktarda ürün taşınacağına karar verilmiştir. Örneğin; İstanbul'da kurulacak olan depodan Almanya'da bulunan müşteriye 1. nihai ürünün gönderim miktarı, 480 tanedir.

5. SONUÇ

Tedarik zincirinde çok aşamalı dağıtım ağının tasarım kararı, bir işletmenin karşı karşıya olduğu kritik operasyonel ve lojistik yönetim kararları arasındadır. Böyle bir karar; maliyeti, zamanı ve müşteri hizmet kalitesini etkilediği için dikkatli bir şekilde analiz edilmelidir. Bununla birlikte fabrika yeri, depo ve ulaşım arasındaki ilişkiler ile ilgili konuları aynı anda analiz etmek bir işletmenin başarısı için oldukça önemli olmaktadır. Bu nedenle stratejik tedarik zinciri planlaması için sayısal modeller, başarılı çalışma alanları oluşturmuş olup, tedarik zinciri için stratejik dağıtım modellerinin formülasyonu, son yıllarda tedarik zinciri yönetiminde ilgi çekici araştırma alanlarından biri olmuştur.

Bu çalışmada toplam tedarik, ulaştırma, üretim, depolama maliyetlerini minimize edilerek tedarik zincirinin genel yapısı içinde matematiksel bir formülasyon oluşturulmuştur. Çalışmada karma tamsayılı doğrusal programlama kullanılarak, doğrusal programlama modelinin karar değişkenlerinin bir kısmının tamsayı değerler almasına izin verilmiştir. Bu anlamda çalışmada hammaddenin satın alınmasından nihai ürünün müşteriye ulaştırılmasına kadar olan tedarik zinciri işlemleri, farklı tedarikçiler, fabrikalar ve müşteriler arasında ürünlerin dağıtımını optimize etmek için karma tamsayılı doğrusal programlama ile analiz edilmiştir. Bu model yardımıyla; tedarik zinciri için karar destek sistemi geliştirilmiş, dağıtım ağının düzeni optimize edilmiş, kurulması düşünülen fabrikanın ve deponun yeni yerlerine karar verilmiş, her ürün için farklı düğümler arasında aktarılması gereken miktarlar belirlenmiştir.

İzmir'de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin dağıtım ağı dikkate alınarak, işletmenin belirlediği ve pazar payının önemli bir bölümü oluşturan iki ürün için yeni açılması düşünülen bir fabrika ve iki deponun konumlandırılması için oluşturulan model sonucunda; yeni fabrikanın Denizli'de, depoların ise Denizli ve İstanbul'da kurulmasına karar verilmiştir. Fabrikanın ve deponun konumlandırılmasının ardından zincir içindeki farklı düğümler arasındaki ürün dağıtım rotaları optimize edilmeye çalışılmıştır. Buna göre ilgili işletmenin tedarik ağı içinde birinci aşamada tedarikçilerden kurulacak fabrikaya gönderilecek hammadde miktarları belirlenirken diğer aşamalarda, yeni fabrika ve depo için kuruluş yeri seçimi ve depolardan müşterilere gönderilecek nihai ürün miktarları belirlenmiştir. Bu sonuçların ışığında ilgili işletmenin, rekabette başarı sağlayabilmek ve maliyetlerinde düşüş sağlayabilmek için tedarikçilerle etkin bir şekilde çalışarak gereken hammadde veya malzemeyi gereken zamanda ve en düşük maliyetle tedarik etmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle işletme, tüm malzeme ve bilgi akışlarının kontrolü ve koordinasyonu etkin bir şekilde yerine getirmelidir. Çünkü etkin bir dağıtım ağı, stokların azaltılmasına, katma değer yaratmayan faaliyetler ve gerekli olmayan malzemelerin eliminasyonu ile

daha düşük operasyonel maliyetlere yol açacaktır. Ayrıca işletme, tedarik zinciri yönetimi ile müşteri isteklerini daha kısa sürede ve istenilen şekilde yerine getirecek ve bunun sonucu olarak müşteri memnuniyetini arttıracaktır.

Bu çalışmada ağ tasarımı yer ve dağıtım probleminin önemli bir araştırma konusu olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Yapılan uygulama, bir ürünün tedarik, üretim, ulaştırma, depolama ve sabit maliyetleri üzerine kurulmuştur. Sonraki çalışmalarda ise ilgili işletmenin modele eklenmeyen diğer maliyetleri de dikkate alınarak yeni bir model kurulmalı ve sonuçlar tartışılmalıdır. Her ürün grubu için farklı ürün olasılıkları, örneğin farklı üretim düzeylerinde ve maliyetlerde birçok üretim hattı dikkate alınmalıdır. Bu durumda ürün grubuna atanacak olan üretim hattının seçimi karar değişkeni olacaktır. Ayrıca yarı mamullerin tedariki de farklı kaynaklardan gerçekleşirse, kaynak sorunu da karmaşıklaşacaktır. Bununla birlikte talebin belirsizliği de dikkate alınmalıdır. Probleme bunların veya daha birçok özelliğin eklenmesi problemin karmaşıklığını arttıracak ve ağ tasarımı zorlaştıracaktır. Bu gibi durumlarda optimizasyon teknikleri ile birlikte sezgisel yöntemler kullanılmalıdır.

KAYNAKÇA

ANTHONY, D.R. (2000): "A Two-Phased Approach to the Supply Network Reconfiguration Problem", *European Journal of Operational Research*, 122: 18-30.

BARUTÇU, S. (2007): "İnternet Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetimi (Denizli Tekstil İşletmelerinin İnternet Tabanlı Tedarik Zinciri Yönetiminden Yararlanma Durumuna Yönelik Bir Araştırma)", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18: 133-150.

BERRY, L., MURTAGH, B. MCMAHON, G.B., SUGDEN, S.J. and WELLING, L.D. (1998): "Genetic Algorithms in the Design of Complex Distribution Networks", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28 (5): 377-381.

COHEN, M.A. and LEE, H.L. (1985): "Manufacturing Strategy: Concepts and Methods", *The Management of Productivity and Technology in Manufacturing*: 153-188.

DOĞAN, İ. (1995): "Yöneylem Araştırması Teknikleri ve İşletme Uygulamaları" *Bilim Teknik Yayınevi*, 2. Baskı, Eskişehir.

DOĞAN, K. and GOETSCHALCKX, M. (1999): "A Primal Decomposition Method for the Integrated Design of Multi-Period Production-Distribution Systems", *IIE Transactions*, 31(11): 1027-1036.

DORFMAN, R. (1958): "Linear Programming and Economic Analysis", Mc Graw Hill Book Company, 1st Edition, New York.

ERTUĞRUL, İ. ve AYTAÇ, E. (2008): "Tedarik Zinciri Yönetiminde Ağ Tasarımı: Karma Tamsayı Programlama Modeli", Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği, 28. Ulusal Kongresi Bildirisi, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul.

ERTUĞRUL, İ. (2005): "Bulanık Hedef Programlama ve Bir Tekstil Firmasında Uygulama", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6(2): 45-75.

ESCUDERO, L.F., GALINDO, E., GARCIA, G., GOMEZ, E. and SABAU V. (1999): "A Modeling Framework for Supply Chain Management under Uncertainty", European Journal of Operational Research, 119 (1): 14-34.

GEOFFRION, A.M. and GRAVES, G.W. (1974): "Multi-Commodity Distribution System Design by Benders Decomposition", Management Science, 20(5): 822-844.

GNONI, M.G. , IAVAGNILIO, R., MOSSA, G., MUMMOLO, G. and DI LEVA, A. (2003): "Production Planning of a Multi-site manufacturing System by Hybrid Modelling: A Case Study from The Automotive Industry", Int. J. Production Economics, 85: 251-262.

GOETSCHALCKX, M., VIDAL, C.J. and DOGAN, K. (2002): "Modelling and Design of Global Logistics Systems: A Review of Integrated Strategic and Tactical Models and Design Algorithms", European Journal of Operational Research, 143 (1): 1-18.

HELM, A.S. (1999): "Network Design in Supply Chain Management", International Journal of Agile Management Systems, 1/2: 99-106.

JAYARAMAN, V. and PIRKUL, H. (2001): "Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities", European Journal of Operational Research, 133: 394-408.

JIN M., LUO, Y.I, EKŞİOĞLU S.D. (2008): "Integration of Production Sequencing and Outbound Logistics in The Automotive Industry", Int. J. Production Economics, 113: 766-774.

LAMOTHE, J., HADJ-HAMOU K. and ALDANONDO, M. (2006): "An Optimization Model for Selecting a Product Family and Designing its Supply Chain", European Journal of Operational Research, 169: 1030-1047.

LI, H., HENDRY, L. and TEUNTER, R. (2007): "A Strategic Capacity Allocation Model for a Complex Supply Chain: Formulation and Solution Approach Comparison", *International Journal of Production Economics*, doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.033

MIRHASSANI, S.A., LUCAS, C., MITRA, G., MESSINA E. and POOJARI, C.A. (2000): "Computational Solution of Capacity Planning Models under Uncertainty", *Parallel Computing*, 26: 511-538.

OUHIMMOU, M., D'AMOURS, S., BEAUREGARD R., AIT-KADI D. and SINGH CHAUHAN S. (2007): "Furniture Supply Chain Tactical Planning Optimization Using a Time Decomposition Approach", *European Journal of Operational Research*, doi:10.1016/j.ejor.2007.01.064

ÖZELKAN, E.C., D'AMBROSIO, A. and TENG, G.S. (2008): "Optimizing Liquefied Natural Gas Terminal Design for Effective Supply-Chain Operations", *Int. J. Production Economics*, 111: 529-542.

ÖZTÜRK, A. (2005): *Yöneylem Araştırması*, 10 Baskı, Ekin Kitabevi, Bursa.

PAKSOY, T. (2004): "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14: 435-454.

ULUCAN, A. (2004): *"Yöneylem Araştırması"*, Siyasal Kitabevi, 1. Baskı, Ankara.

WU, Y. (2008): "A Mixed-Integer Programming Model for Global Logistics Transportation Problems", *International Journal of Systems Science*, 39(3): 217-228.

YAN, H., YU, Z. and CHENG, T.C.E. (2003): "A Strategic Model for Supply Chain Design with Logical Constraints: Formulation and Solution", *Computers & Operations Research*, 30: 2135-2155.

YÜKSEL, H. (2002): "Tedarik Zinciri Yönetiminde Bilgi Sistemlerinin Önemi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4(3): 261-279.