

## TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİNDE STOKASTİK TALEP VE FİRE ORANLI ÜRETİM-DAĞITIM PROBLEMİ İÇİN ŞANS KISITI YAKLAŞIMI M.Duran TOKSARI\*1, Erol UMUT<sup>2</sup>

\*1Erciyes Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 23.10.2016 Kabul / Accepted: 25.08.2017, Online Yayınlanma/ Published Online: 29.08.2017)

### Anahtar Kelimeler

Stokastik Programlama,  
Çok Aşamalı Tedarik Zinciri  
Yönetimi,  
Şans Kısıtlı Programlama

**Öz:** Bu çalışmada, belirsiz müşteri talepleri ile tedarik, üretim ve dağıtım aşamaları arasında meydana gelebilecek fire oranlarındaki belirsiz yapı gözetilerek çok aşamalı Tedarik Zinciri Yönetiminin (TZY) en iyilenmesi üzerine çalışılmış ve bir model önerilmiştir. Önerilen çok aşamalı TZY modeli kapsamında fire ve müşteri taleplerine ait belirsiz yapı (stokastik), istatistikî yöntemler kullanılarak tekrar belirli bir yapıya (deterministik) dönüştürülmüş ve şans kısıtlı programlama tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Karar vericinin alacağı karara destek sağlamak amacıyla çok aşamalı TZY modeli gerçek hayat problemi, şans kısıtlı programlama tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Belirlenecek hizmet seviyesinin ve belirsizliğin meydana getirdiği durumun karar verici için dikkate alınması gerektiği, aksi takdirde parça (ürün bileşeni) tedariki, ürün üretimi ile dağıtım merkezleri ve müşteri taleplerini karşılamada dar boğazlar oluşabileceği ve mevcut TZY'nin sağlıklı olarak işlemeyeceği sonucuna varılmıştır.

## A Chance Constarint Approach For Supply Chain Management Problem with Stochastic Demands and Shrinkages From Production to Distribution Echelons

### Keywords

Stochastic Programming,  
Multi-echelon Supply  
Chain Management,  
Chance Constraint  
Programming

**Abstract:** In this study, optimization of multi-echelon defective supply chain management (SCM) model with stochastic demands and shrinkages representing randomness at each echelon from purchasing raw materials to distributing the final products has been studied and proposed. At proposed multi-echelon SCM model, stochastic structure of shrinkages and demands has been transformed to deterministic structure by using stochastic methods, developed with chance constraint programming and analyzed on a real-life multi-echelon SCM example to support the decision makers' decisions. Pre-determined service level and stochastic structure of problem have to be cared by decision makers; otherwise, purchasing of raw materials, production of final products and also vendors or customers demands would not be satisfied and a robust SCM can not be carried out.

### 1. Giriş

Tedarik Zinciri Yönetimi (TZY) tedarik, üretim ve dağıtım süreçlerine ait farklı alt sistemleri bir bütünün parçaları kabul ederek; bu alt sistemleri ayrı ayrı değil de bütüncül bir yaklaşımla ele almayı ve yönetmeyi öngörmektedir. Tedarik, üretim ve dağıtım süreçlerinin ayrı ayrı yönetilerek en iyilenmeye çalışılması durumunda her bir alt sistemin iyileştirilebilmesi pek tabii ki mümkündür. Ancak bütüncül bir yaklaşım sergilemeden yapılan işlemler TZY ağı içerisindeki etkileşimi ve alt sistemlerden kaynaklı fayda ve mahzurları göz ardı etmek; rekabetçi piyasa içerisinde hizmette veya kalitede katma değer sağlamadığı müddetçe ekonomik sürdürülebilirliğinin erimesi anlamına gelmekte ve risk içermektedir.

Müşteriye bir malın en uygun maliyetle sunumunun önemli olması yanında sunulan hizmetin kalitesi ve müşteri memnuniyetinin de doğru zamanda ve yerde yerine getirilmesi dikkate alınması gereken önemli hususlardandır. Dolayısıyla, TZY ağı içerisinde herhangi bir alt sistemde yaşanacak sıkıntı/sıkıntılar veya duraksama TZY ağının bütününü veya bir kısmının değişmesine, yeniden ele alınmasına, çökmesine veya TZY ağına yönelik müşteri tercihlerinin değişmesine sebep olabilir.

Sadece müşteri taleplerinin karşılanmasına odaklanmış ancak sağlıklı çalışan; örneğin tedarik, üretim veya dağıtımın ihmal edildiği herhangi bir TZY, müşteri tercihlerinin veya koşullarının değişmesinden dolayı pazar içerisinde rakip TZY ağ/ağlarının ön plana çıkmasına, hayat bulmasına sebep olabilir.

TZY ağının en iyilenmesi çalışmaları; parça (ürün bileşenleri) tedariklerinden, fabrika aşamasındaki üretim/montaj işlemlerine, nihai ürünlerin fabrikadan dağıtım merkezlerine ve dağıtım merkezlerinden müşterilere akışını temsil eden farklı kriter ve kısıtlar altında modellenmesini gerekli kılmaktadır.

Gerçek hayatta her şeyin çok net olduğu ve bilindiği deterministik TZY modelleri çok nadir olarak karşımıza çıkmaktadır. Kurulacak model için kriter ve kısıtlar genelde belirsizlikler içerebilir. Belirsizliklerin dikkate alındığı modellerde en iyileme, belirli bir risk/hizmet seviyesinin göze alınması ihtiyacını doğurmakta ve bu seviye TZY modelinde çoğunlukla bir maliyete karşılık gelmektedir. Alınacak risk karşısında yüksek bir maliyetin oluşması karar vericinin riskten kaçınmasına sebep olmakta ve piyasada etkin olarak kalabilme çabalarını boşa çıkarmakta, TZY'nin sürdürülebilirliğini tehlikeye sokmaktadır.

Karar vericiye alacağı kararda destek olabilecek; bir kısım bilimsel yöntemlerin kullanıldığı, bir kısım belirsizlikleri dikkate alan ve katlanılabilecek maliyetleri sunan çözüm tarzları ile destek olunması gerekmektedir. Bu maksatla TZY'nde belirsizlikleri dikkate alarak en iyilemeye yönelik araştırmalar ve çözüm arayışları sunan yöntemlerden bir tanesi de Stokastik Programlama yöntemidir. Bu doğrultuda incelenen bir kısım akademik yayınlar aşağıda sıralanmıştır.

Gupta vd. [1], dönem ortası çok yönlü tedarik zinciri planlamasında üreticilerden veya fazla müşteri talebinin yaratmış olduğu belirsizlikten dolayı envanter tamamlamanın zora girdiği, stokastik programlama metodolojisi ile şans kısıtlı programlama yaklaşımının kullanıldığı bir model kurmuşlardır. Model neticesinde iyi neticeler alındığı ve meydana gelmesi olası stratejik istekler için envanter yönetimine ışık tutulmuştur.

Pang vd. [2], tedarik zinciri ve müşteri taleplerinin belirsiz olduğu ve stokastik şans kısıtına bağlı kârın maksimize edildiği bir model kurmuş ve çözüm yöntemlerini tanımlamışlardır. Modellerini bir sayısal örnek ile çözerek performans ve çözüm zamanı üzerine değerlendirmiş ve etkin sonuçlar aldıklarını göstermeye çalışmışlardır.

Şenyigit [3], yaptığı çalışmada aşamalar arasında fire bulunan çok aşamalı TZY'de dağıtım ağlarının optimizasyonu problemini ele almış, malzeme ihtiyaç kısıtı altında çok aşamalı karma tamsayılı matematiksel model geliştirerek, farklı müşteri talepleri için gerçekleşen maliyetler ve dağıtım merkezlerinin yerleri ve sayılarını araştırmıştır. Modelinde firelere ait belirlenmiş olan yüzde değerleri kullanılarak araştırma sonuçları ortaya konmaya çalışılmıştır.

Atalay vd. [4], rasgele değişken olan katsayıların normal dağılıma ve Ki-kare dağılımına sahip olması durumunda ortaya çıkan şans kısıtlı stokastik programlama modelleri kullanılarak deterministik modellerin oluşturulması sürecini incelemiş ve sayısal bir örnek ile kurduğu modeli irdelemiştir.

Taleizadeh vd. [5], çalışmalarında çok ürünlü, çoklu şans kısıtlı, çok satıcı ve tek dağıtımıcının varsayıldığı bir envanter problemi üzerine çalışmışlardır. Matematiksel model içerisinde satın alanlar için taşıma maliyeti, sipariş maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve yok satma maliyetleri; perakendiciler (vendor) için ise kurulum ve kayıp satış maliyetleri ele alınmıştır. Model tam sayılı doğrusal olmayan parça sürü optimizasyonu ve genetik algoritma ile çözülmüştür. Sürü optimizasyon tekniğinin diğerlerine göre daha hızlı ve iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Charles vd. [6], yaptıkları çalışmada parçalanabilir ve toplanabilir amaçlı şans kısıtlı programlama yöntemlerini sunmuşlardır. Kurdukları modelde hataların makine kaynaklı, insan kaynaklı ve diğer sebeplerden meydana gelebileceğini ve planlayıcı, çevreci ile kullanıcılar için farklı amaç fonksiyonları çerçevesinde çözülmesi gerekeceğini, bundan dolayı da çok amaçlı programlamada şans kısıtlı model kullanarak her üç alanda da en etkin sonuca ulaşacaklarını, kayıpları azaltarak optimum kârlılığı elde edeceklerini ortaya koymaya çalışmışlardır.

Sakallı [7], şans kısıtlı programlama yöntemlerinde alternatif hizmet seviyelerini belirlemiş; karar vericiler için çözüm tarzlarının sunulmasına ilişkin olarak farklı hizmet seviyelerine yönelik tavlama yöntemleri geliştirerek çözüm tarzları ortaya koymuştur.

Crispim vd. [8], tarafından yapılan çalışmada, belirsizlik ve rassallık içeren alternatif sanal girişimci seçeneklerini sıralamak için şans kısıtlı bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım, iki aşamalı bir modele dayandırılmış; şans kısıtlı çok amaçlı tabu arama yöntemleri sezgisel olarak geliştirilmiş ayrıca birleştirilmiş bulanık yöntemlerle ele alınmıştır. Hesaplama sonuçlarında açıkça daha iyi neticelere ulaşıldığı belirtilmiştir.

Aggarwal vd. [9], tarafından yapılan çalışmada bir perakende firmasının başarısının, malların zamanında teslim edilmesine ve satıcıların uygun seçimine bağlı olduğu belirtilerek; belirsizlik ve risk içeren stokastik satıcı seçimi problemi, şans kısıtı yaklaşımı ve genetik algoritma kullanılarak modellenmiş ve bir uygulama sunulmuştur.

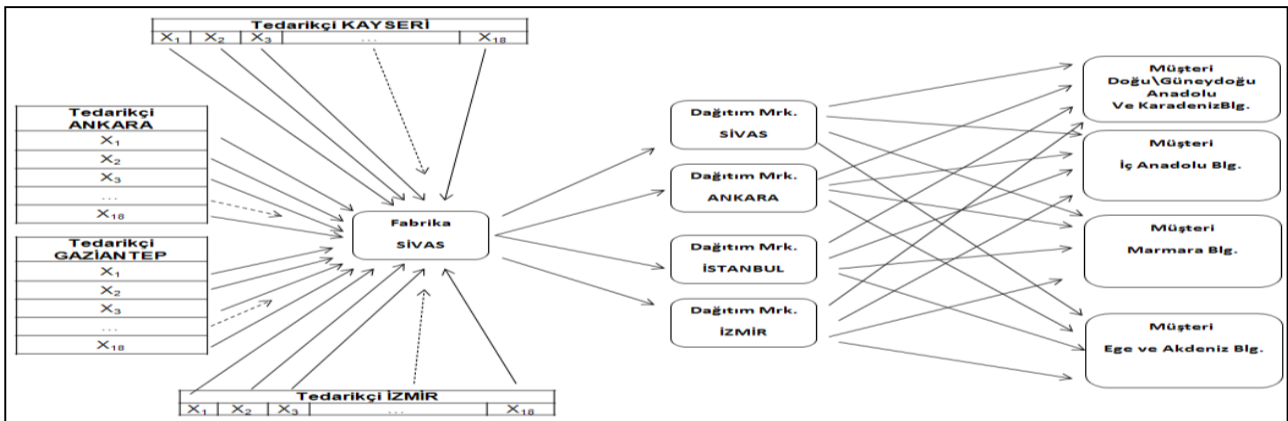
Chotayaku vd. [10], çok ürünlü parti büyüklerinin belirlenmesinde belirsiz talep, kurulum zamanı ve birbirleriyle ilişkisiz paralel makineleri ele almışlar; çalışmalarında stokastik karma tamsayı programlama yöntemi kullanmış, şans kısıtı yaklaşımı ile çözümlerini aramışlardır. Önerilen algoritma ile test sonuçlarının iyi neticeler verdiği belirtilmiştir.

Du vd. [11], "Tehlikeli madde taşımacılığında en kısa yol modeli" isimli çalışmalarını; yaşam, çevrim süresi ve yakıt tüketimi için ulaşım riskini en aza indiren bulanık çok amaçlı programlama yöntemi ile çözmüşlerdir. Öncelikle risk modeli, çevrim süresi modeli ve yakıt tüketimi modeli sunulmuş; müteakiben ulaşım ağındaki mesafe değişkenlerinin bulanık değişkenler olduğu kabulü altında, belirli bir hizmet seviyesinde şans kısıtlı bir programlama modeli kurulmuştur. Model bulanık simülasyon ve genetik algoritmayı birleştiren karma bir akıllı algoritma ile çözüm bulmak için tasarlanmıştır.

TZY'de firelerin dikkate alınmasına yönelik kısıtlı sayıda çalışmalar söz konusudur. Bu çalışmada amaç, Stokastik Programlama yöntemlerinden şans kısıtlı programlama tekniklerini kullanarak; tedarik, üretim ve dağıtım aşamaları arasında fire bulunan, müşteri taleplerinin belirsiz olduğu TZY'nin belirli bir hizmet seviyesinde en iyilenmeye çalışılmasıdır. Çalışma sonunda; belirsiz müşteri talepleri ile tedarik, üretim ve dağıtım aşamaları arasında meydana gelebilecek fire oranlarındaki istatistik yapı gözeticilerle, karar verici için belirlenecek bir hizmet seviyesinde bir kısım kısıtlar gevşetilerek, TZY ağının en iyilenmeye çalışılması ve karar vericiye bir çözüm önerisi sunulmasına çalışılacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışma kapsamında; öncelikli olarak Şekil 1'de gösterilen tedarik zinciri ağı için deterministik model kurulmuş; müteakibinde belirsizliklere ait dağılımlar dikkate alınarak stokastik ve şans kısıtlı model halinde geliştirilmiş ve şans kısıtlı modelin tekrar deterministik çözümü araştırılarak tasarlanan model, gerçek hayat probleminde uygulanmaya çalışılmıştır. Problem GAMS Rev 148'de kodlanarak çözülmüştür.



Şekil 1. Tedarik Zinciri Ağı

Tedarikçiler-üreticiler-dağıtım merkezleri-müşteriler arasında fire bulunan tedarik zinciri probleminde kullanılacak parametreler aşağıda sunulmuştur.

<p><i>I</i>: Tedarikçiler  <i>J</i>: Fabrikalar  <i>S</i>: Ürün üretimi için kullanılacak parça  <i>M</i>: Dağıtım merkezleri  <i>N</i>: Müşteriler  <i>Parametreler</i>  <i>P<sub>j</sub></i>: <i>j</i> fabrikasının üretim kapasite limiti  <i>K<sub>m</sub></i>: <i>m</i> dağıtım merkezinin kapasite limiti  <i>K<sub>is</sub></i>: <i>i</i> tedarikçisinin <i>s</i> parçası için kapasite limiti  <i>D<sub>n</sub></i>: <i>n</i> müşterisinin talebi  <i>C<sub>ijs</sub></i>: <i>i</i> tedarikçisinden <i>j</i> fabrikasına <i>s</i> parçasının birim taşıma maliyeti  <i>SC<sub>ijs</sub></i>: <i>j</i> fabrikasının <i>i</i> tedarikçisinden <i>s</i> parçasını satın alma maliyeti  <i>PC<sub>j</sub></i>: <i>j</i> fabrikasında üretilen ürün maliyeti  <i>C<sub>jm</sub></i>: <i>j</i> fabrikasından <i>m</i> dağıtım merkezine ürünün birim taşıma maliyeti  <i>C<sub>mn</sub></i>: <i>m</i> dağıtım merkezinden <i>n</i> müşterisine ürünün birim taşıma maliyeti  <i>ω<sub>s</sub></i>: Ürün bileşen listesine [bill of materials (BOM)] göre ürünün bir birim üretilmesi için ihtiyaç duyulan <i>s</i> parçası miktarı</p>	<p><i>F<sub>j</sub></i>: <i>j</i> fabrikasının sabit işlem maliyeti  <i>F<sub>m</sub></i>: <i>m</i> dağıtım merkezinin sabit işlem maliyeti  <i>T<sub>is</sub></i>: <i>s</i> parçası için <i>i</i> tedarikçisinin ortalama hata oranı  <i>U<sub>j</sub></i>: <i>j</i> fabrikasının ortalama hata oranı  <i>V<sub>m</sub></i>: <i>m</i> dağıtım merkezinin ortalama hata oranı  <i>α</i>: Hizmet seviyesi  <i>z</i>: <i>α</i> servis seviyesi ile ilgili standart normal değer  <i>TC</i>: Toplam maliyet  <i>Karar değişkenleri</i>  <i>X<sub>ijs</sub></i>: <i>i</i> tedarikçisinden <i>j</i> fabrikası için satın alınan <i>s</i> parçası (ürün bileşeni) miktarı  <i>Y<sub>jm</sub></i>: <i>j</i> fabrikasından <i>m</i> dağıtım merkezine sevk edilen ürün miktarı  <i>Z<sub>mn</sub></i>: <i>m</i> dağıtım merkezinden <i>n</i> müşteri bölgesine gönderilen ürün miktarı  <i>İkili değişkenler</i>  <math>\alpha_{is} = \begin{cases} 1, &amp; \text{Eğer } s \text{ parçası için } i \text{ tedarikçisi kullanılır ise} \\ 0, &amp; \text{Aksi takdirde} \end{cases}</math>  <math>\varphi_j = \begin{cases} 1, &amp; \text{Eğer } j \text{ fabrikası kullanılır ise} \\ 0, &amp; \text{Aksi takdirde} \end{cases}</math>  <math>\beta_m = \begin{cases} 1, &amp; \text{Eğer } m \text{ dağıtım merkezi kullanılır ise} \\ 0, &amp; \text{Aksi takdirde} \end{cases}</math></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 2.1. Deterministik TZY modeli

Parça tedariki ile ürün üretimi ve dağıtım aşamalarında firelerin meydana gelmediği ve müşteri taleplerinin bilindiği varsayımı altında; toplam maliyetlerin minimize edilmesine yönelik deterministik model aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } TC = \sum_i \sum_j \sum_s C_{ijs} X_{ijs} + \sum_i \sum_j \sum_s SC_{ijs} X_{ijs} + \sum_j \sum_m PC_j Y_{jm} + \sum_j \sum_m C_{jm} Y_{jm} + \sum_m \sum_n C_{mn} Z_{mn} + \sum_j F_j \varphi_j + \sum_m F_m \beta_m \quad (1)$$

Kısıtlar

*i* tedarikçisi için kapasite limiti

$$\sum_j X_{ijs} \leq K_{is} \alpha_{is} \quad (i=1, \dots, I) \quad (s=1, \dots, S) \quad (2)$$

*j* fabrikası (üretici) için kapasite limiti

$$\sum_m Y_{jm} \leq P_j \varphi_j \quad (j=1, \dots, J) \quad (3)$$

*m* dağıtım merkezi için kapasite limiti

$$\sum_n Z_{mn} \leq K_m \beta_m \quad (m=1, \dots, M) \quad (4)$$

Fabrikalar için denge kısıtı

$$\omega_s \cdot \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq \sum_j X_{ijs} \quad (i=1, \dots, I) \quad (s=1, \dots, S) \quad (5)$$

Dağıtım merkezleri için akış denge kısıtı

$$\sum_m \sum_n Z_{mn} \leq \sum_m Y_{jm} \quad (j=1, \dots, J) \quad (6)$$

Müşteriler için talep denge kısıtı

$$D_n \leq \sum_m \sum_n Z_{mn} \quad (m=1, \dots, M) \quad (7)$$

$$\alpha_{is}, \beta_m, \varphi_j = \{0,1\} \quad (8)$$

$$X_{ijs}, Y_{jm}, Z_{mn} \geq 0 \quad (9)$$

Tanımlanan deterministik modelde; amaç fonksiyonundaki ilk iki parça tedarikçilerden fabrikaya parça taşıma maliyetleri ile tedarikçiden satın alma maliyetlerini, diğer bir ifade ile tedarikçi aşaması maliyetlerini göstermektedir.

Amaç fonksiyonunda üçüncü ve dördüncü parçalar nihai ürün Y için fabrikada gerçekleşen üretim maliyetleri ile fabrikadan dağıtım merkezlerine yapılan taşıma maliyetleridir.

Amaç fonksiyonunda beşinci parça dağıtım merkezinden müşterilere gönderilen nihai ürünler için taşıma maliyetidir.

Son iki parçası ise fabrika ve dağıtım merkezleri için sabit maliyetlerdir.

Kısıtlar için tanımlamalar ise yukarıda model içerisinde başlıklar vasıtasıyla açıklanmıştır.

## 2.2. Şans kısıtlı programlama ve model

Şans kısıtlı programlama kısıt parametrelerinin rasgele değişken olduğu durumlarla ilgilenir. Rasgele değişken içeren tüm kısıtların bir olasılığa sahip olması gerekmektedir ve kısıtlar belirlenecek olasılıklarla gerçekleşecektir. Şans kısıtlı programlamada genel yaklaşım, problemdeki olasılıklı yapıyı göz ardı etmeden ve gerçek yapısını bozmadan stokastik probleme eşdeğer olacak deterministik problemi tekrar ifade edebilmektir. Matematiksel olarak şans kısıtlı problem kapalı formda aşağıda belirtildiği şekilde ifade edilebilir [12].

Amaç fonksiyonu :

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

Kısıtlar :

$$P \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \right\} \geq 1 - \alpha_i$$

$i=1,2,\dots,m; j=1,\dots,n$   
 $x_j \geq 0$ , bütün j'ler için

Daha önce deterministik olarak ifade edilen TZY probleminin bazı kısıtlarında belirsiz müşteri talepleri ve aşamalar arasında fire bulunduğu kabulü ile düzenlemeler yapmak gerekmektedir. Kısıt 5, 6 ve 7 üzerinden belirsizliğin (fire ve müşteri talepleri) dikkate alındığı ve modele dâhil edildiği ve bu kısıtların belli bir hizmet seviyesinde karşılanmasını öngören şans kısıtlı ifadesi yukarıda verilen tanımlamalar doğrultusunda aşağıda yeniden formüle edilmiştir.

$$P\{\omega_s \cdot \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq (1 - T_{is}) \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs}\} \geq 1 - \alpha_i \quad (s=1,\dots,S) \quad (5.1)$$

$$P\{\sum_m \sum_n Z_{mn} \leq (1 - U_j) \cdot \sum_m Y_{jm}\} \geq 1 - \alpha_i \quad (j = 1, \dots, J) \quad (6.1)$$

$$P\{\sum_n D_n \leq (1 - V_m) \cdot \sum_n Z_{mn}\} \geq 1 - \alpha_i \quad (m = 1, \dots, M) \quad (7.1)$$

Aşamalar arasındaki belirsizliğe yönelik fire oranları ( $T_{is}$ ,  $U_j$ ,  $V_m$ ) ve müşteri talepleri ( $D_n$ ) ile ayrıca şans kısıtlı olarak kısıtların hizmet karşılama olasılıkları " $\geq 1 - \alpha_i$ " eklenerek geliştirilen eşitsizlikler; kısıt 5.1, 6.1 ve 7.1 olarak yukarıda yeniden ifade edilmiştir.

Örneğin Kısıt 5.1'in, belirlenecek bir hizmet seviyesinde ( $\geq 1-\alpha_i$ ) gerçekleşmesi istenmekte; X parçası için tedarik aşamasında  $T_{is}$  oranındaki fire oranı ile karşılaşılmaktadır. Burada  $\alpha_i$  tüm kısıt/kısıtlar için karşılanması beklenmeyen oran, olasılık veya riski temsil eden, hizmetin karşılanamama durumu için bir parametre değeridir. Karar verici tarafından belirlenen ve kısıtların gerçekleşmesini istediği asgari değer olarak ise " $1-\alpha_i$ " değeri anlaşılmalıdır.

Kısıt 6.1 ve 7.1 içinde benzer açıklamaları yapmak mümkündür. Bu kısıtlar artık  $\alpha_i$  kadar belirsizlikler içermekte ve stokastik yapının dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

### 2.2.1. Şans kısıtlarının deterministik dönüşümü

Şans kısıtlı modeldeki stokastik yapının çözüm tarzı bir kısım dönüşümler vasıtasıyla modelin tekrar deterministik hale dönüştürülmesidir. Söz konusu kısıtlar için dönüşümler aşağıda ayrı ayrı açıklanacaktır.

#### 2.2.1.1. Kısıt 5.1'in dönüşümü

$T_{is}$  fire oranının/yüzdesinin, ortalaması  $E(T_{is})$ , varyansı  $Var(T_{is})$  ile normal dağılmış olduğu kabul edilerek; parça (ürün bileşenleri) ile farklı tedarikçilere yönelik fireler arasındaki ilişki  $Kov(T_{is}, T_{i's'})$  vasıtasıyla araştırılabilir ve standart normal dağılımdaki z dönüşümünden istifade edilerek eşitsizlikteki fireye ait  $T_{is}$  teriminin yalnız bırakılması için aşağıdaki sıralı işlemler gerçekleştirilebilir.

$$\begin{aligned} &P\left\{\omega_s \cdot \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq (1-T_{is}) \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs}\right\} \geq 1-\alpha_i \\ &=P\left\{\frac{\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm}}{\sum_i \sum_j X_{ijs}} \leq (1-T_{is})\right\} \geq 1-\alpha_i \\ &=P\left\{T_{is} \leq 1 - \frac{\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm}}{\sum_i \sum_j X_{ijs}}\right\} \geq 1-\alpha_i \end{aligned}$$

Parantez içerisindeki sağ taraf değerlerinin  $\left(1 - \frac{\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm}}{\sum_i \sum_j X_{ijs}}\right)$  bir an için bilindiği ve sabit bir sayı olduğu kabulü ile; geçici olarak  $h_{is} = 1 - \frac{\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm}}{\sum_i \sum_j X_{ijs}}$  şeklinde yeniden ifade edilmesi ve standart normal dağılım da z dönüşümünün araştırılması mümkündür.

$$\begin{aligned} &=P\{T_{is} \leq h_{is}\} \geq 1-\alpha_i \\ &=P\left\{T_{is} \leq h_{is}\right\} = P\left\{\frac{T_{is} - E(T_{is})}{\sqrt{var(T_{is})}} \leq \frac{h_{is} - E(T_{is})}{\sqrt{var(T_{is})}}\right\} \geq 1-\alpha_i \\ &\frac{T_{is} - E(T_{is})}{\sqrt{var(T_{is})}} \text{ ortalaması sıfır, standart sapması 1 olan standart normal dağılım ve } P\{T_{is} \leq h_{is}\} = F\left(\frac{h_{is} - E(T_{is})}{\sqrt{var(T_{is})}}\right) \text{ olarak ifade} \\ &\text{edilebilir. Burada F standart normal dağılımın toplam olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermekte ve } z_{\alpha_i}'\text{nin} \\ &\text{standart normal değer olduğu kabulü ile } F(z_{\alpha_i}) = 1-\alpha_i \text{ yazılabilmektedir.} \end{aligned}$$

Böylece tanım  $P\{T_{is} \leq h_{is}\} \geq 1-\alpha_i$  sadece ve sadece  $\frac{h_{is} - E(T_{is})}{\sqrt{var(T_{is})}} \geq z_{\alpha_i}$  koşulu altında gerçekleşmektedir. Bu eşitsizlik üzerinde yapılacak işlemler dışlar çarpımı ile;

$$=E(T_{is}) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{var(T_{is})} \leq h_{is}$$

ve  $h_{is}$ 'nin eşitsizlikte tekrar açılması ile,

$$=E(T_{is}) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{var(T_{is})} \leq 1 - \frac{\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm}}{\sum_i \sum_j X_{ijs}}$$

$$=\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq \left\{1 - [E(T_{is}) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{var(T_{is})}]\right\} \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs}$$

$$=\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq [1 - E(T_{is})] \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs} - z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{var(T_{is})} \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs} \text{ elde edilmektedir.}$$

$T_{is}$ 'ler arasındaki ilişkinin araştırılması için  $\sqrt{var(T_{is})}$ ,  $Kov(T_{is}, T_{i's'})$  ile yer değiştirdiğinde ise;

$$=\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq [1 - E(T_{is})] \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs} - z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{Kov(T_{is}, T_{i's'})} \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs}$$

$$= \omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq [1 - E(T_{is})] \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs} - z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{[\sum_i \sum_j X_{ijs}]^T \cdot \text{Kov}(T_{is}, T_{i's'}) \cdot [\sum_i \sum_j X_{ijs}]}$$

eşitsizliğine ulaşılmaktadır.

$T_{is}$  parametrelerinin bağımsız olduğu  $T_{is} \neq T_{i's'}$  özel durumlar için  $\text{Kov}(T_{is}, T_{i's'})=0$  (sıfır) ve  $T_{is}=T_{i's'}$  durumları içinse  $\text{Kov}(T_{is}, T_{is}) = \text{Var}(T_{is})$  olacaktır ve eşitsizlik,

$$= \omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq [1 - E(T_{is})] \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs} - z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\sum_s \text{var}(T_{is}) (\sum_i \sum_j X_{ijs})^2} \quad (5.1)$$

şeklinde<sup>‡</sup> deterministik haliyle yeniden ifade edilebilecektir.

### 2.2.1.2. Kısıt 6 .1'in dönüşümü

$$P\left\{\sum_m \sum_n Z_{mn} \leq (1-U_j) \cdot \sum_m Y_{jm}\right\} \geq 1-\alpha_i$$

$$=P\left\{\frac{\sum_m \sum_n Z_{mn}}{\sum_m Y_{jm}} \leq (1-U_j)\right\} \geq 1-\alpha_i$$

$$=P\left\{U_j \leq 1 - \frac{\sum_m \sum_n Z_{mn}}{\sum_m Y_{jm}}\right\} \geq 1-\alpha_i$$

$z_{\alpha_i}$ 'nin standart normal değer olduğu kabulü ile;

$$=E(U_j) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(U_j)} \leq 1 - \frac{\sum_m \sum_n Z_{mn}}{\sum_m Y_{jm}}$$

$$= \frac{\sum_m \sum_n Z_{mn}}{\sum_m Y_{jm}} \leq \left\{1 - \left[E(U_j) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(U_j)}\right]\right\}$$

$$= \sum_m \sum_n Z_{mn} \leq \left\{1 - \left[E(U_j) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(U_j)}\right]\right\} \cdot \sum_m Y_{jm} \quad (6.1)$$

şeklinde ifade edilebilmekte ve stokastik yapıda olan eşitsizliğin deterministik ifadesi elde edilmektedir.

### 2.2.1.3. Kısıt 7 .1'in dönüşümü

$$P\left\{\sum_n D_n \leq (1-V_m) \cdot \sum_n Z_{mn}\right\} \geq 1-\alpha_i \quad (m=1, \dots, M)$$

$$=P\left\{\frac{\sum_n D_n}{\sum_n Z_{mn}} \leq (1-V_m)\right\} \geq 1-\alpha_i$$

$$=P\left\{V_m \leq 1 - \frac{\sum_n D_n}{\sum_n Z_{mn}}\right\} \geq 1-\alpha_i$$

$z_{\alpha_i}$ 'nin standart normal değer olduğu kabulü ile;

$$=E(V_m) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(V_m)} \leq 1 - \frac{\sum_n D_n}{\sum_n Z_{mn}}$$

<sup>‡</sup>  $T_{is} = i$  tedarikçisinden tedarik edilen  $s$  parçası için fire oranı, ( $i = 1, \dots, k, k+1, \dots, I$ ) ( $s = 1, \dots, k, k+1, \dots, S$ )

$\text{Kov}(T_{is}, T_{i's'})$	$T_i's'=T_{11}$	...	$T_{kk}$	$T_{(k+1)(k+1)}$	...	$T_{SS}$
$T_{is}=T_{11}$	$\text{Var}(T_{11}, T_{11})$	$\text{Kov}(T_{11}, T_{\dots})$	$\text{Kov}(T_{11}, T_{1k})$	$\text{Kov}(T_{11}, T_{1,k+1})$	$\text{Kov}(T_{11}, T_{\dots})$	$\text{Kov}(T_{11}, T_{1S})$
...	.	$\text{Var}(T_{\dots})$	.	.	.	.
$T_{kk}$	.	.	$\text{Var}(T_{kk}, T_{kk})$	.	.	.
$T_{(k+1)(k+1)}$	.	.	.	$\text{Var}(T_{(k+1)(k+1)}, T_{(k+1)(k+1)})$	.	.
...	.	.	.	.	$\text{Var}(T_{\dots})$	.
$T_{ll}$	$\text{Kov}(T_{ll}, T_{11})$	$\text{Kov}(T_{ll}, T_{\dots})$	$\text{Kov}(T_{ll}, T_{kk})$	$\text{Kov}(T_{ll}, T_{(k+1)(k+1)})$	$\text{Kov}(T_{ll}, T_{\dots})$	$\text{Var}(T_{ll}, T_{SS})$

<sup>‡</sup>  $[\sum_i \sum_j X_{ijs}]^T \cdot \text{Kov}\{T_{is}, T_{i's'}\} = [X]^T \cdot \text{Kov}(is) \cdot [X]$  işlemine yönelik olarak yapılacak matris işlemleri ise;

$$[X]^T \cdot \text{Kov}(T_{is}, T_{i's'}) \cdot [X] = \begin{bmatrix} X_{ijs} & \dots & X_{iJS} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Var}(T_{11}, T_{11}) & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \text{Var}(T_{1l}, T_{SS}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{ijs} \\ \vdots \\ X_{iJS} \end{bmatrix} = \sum_s \text{Var}\{T_{is}\} (\sum_i \sum_j X_{ijs})^2$$

$$= \frac{\sum_n D_n}{\sum_n Z_{mn}} \leq \left\{ 1 - \left[ E(V_m) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(V_m)} \right] \right\}$$

$$= \sum_n D_n \leq \left\{ 1 - \left[ E(V_m) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(V_m)} \right] \right\} \cdot \sum_n Z_{mn} \text{ ifade etmek mümkündür.}$$

Kısıt için gerçekleşme olasılığı “ $\geq 1-\alpha_i$ ” alındığında firenin dikkate alındığı  $(1-V_m)$  katsayısı  $\left\{ 1 - \left[ E(V_m) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(V_m)} \right] \right\}$  şeklinde eşitsizlikte yer almaktadır.

Denkleme yer alan  $\sum_n D_n$  müşteri talebinin ise; belirli bir hizmet seviyesinde  $(1-\epsilon)$  hesaplanabilen/bilinen ve  $\left( \sum_n \mu_{D_n} + z_{1-\epsilon} \sqrt{\sum_n \sigma_{D_n}^2} \right)$  terimi ile eşitsizliğin sol tarafında deterministik bir değer olarak yazılması mümkün olmaktadır. Dolayısıyla Kısıt 7.1 tekrar düzenlenecek olursa,

$$= \sum_n \mu_{D_n} + z_{1-\epsilon} \sqrt{\sum_n \sigma_{D_n}^2} \leq \left\{ 1 - \left[ E(V_m) + z_{\alpha_i} \cdot \sqrt{\text{var}(V_m)} \right] \right\} \cdot \sum_n Z_{mn} \quad (7.1)$$

şeklinde yazılabilir.

### 2.2.2. Şans kısıtlı modelin deterministik ifadesi

Yukarıda verilen çözümler doğrultusunda stokastik talep ve aşamalar arasında fire bulunan TZY probleminin deterministik matematiksel modeli müteakip sayfada yeniden düzenlenmiştir.

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min TC} = \sum_i \sum_j \sum_s C_{ijs} X_{ijs} + \sum_i \sum_j \sum_s SC_{ijs} X_{ijs} + \sum_j \sum_m PC_j Y_{jm} + \sum_j \sum_m C_{jm} Y_{jm} + \sum_m \sum_n C_{mn} Z_{mn} + \sum_j F_j \varphi_j + \sum_m F_m \beta_m \quad (1)$$

Kısıtlar

$i$  tedarikçisi için kapasite limiti

$$\sum_j X_{ijs} \leq K_{is} \alpha_{is} \quad (i=1, \dots, I) \quad (s=1, \dots, S) \quad (2)$$

$j$  fabrikası (üretici) için kapasite limiti

$$\sum_m Y_{jm} \leq P_j \varphi_j \quad (j=1, \dots, J) \quad (3)$$

$m$  dağıtım merkezi için kapasite limiti

$$\sum_n Z_{mn} \leq K_m \beta_m \quad (m=1, \dots, M) \quad (4)$$

Fabrikalar için denge kısıtı

$$\omega_s \sum_j \sum_m Y_{jm} \leq [1 - E(T_{is})] \cdot \sum_i \sum_j X_{ijs} - z_{\alpha_i} \sqrt{\sum_s \text{var}(T_{is}) \left( \sum_i \sum_j X_{ijs} \right)^2} \quad (i=1, \dots, I) \quad (s=1, \dots, S) \quad (5.1)$$

Dağıtım merkezleri için akış denge kısıtı

$$\sum_m \sum_n Z_{mn} \leq \left\{ 1 - \left[ E(U_j) + z_{\alpha_i} \sqrt{\text{var}(U_j)} \right] \right\} \sum_m Y_{jm} \quad (j = 1, \dots, J) \quad (i=1, \dots, I) \quad (6.1)$$

Müşteriler için talep denge kısıtı

$$\sum_n \mu_{D_n} + z_{1-\epsilon} \sqrt{\sum_n \sigma_{D_n}^2} \leq \left\{ 1 - \left[ E(V_m) + z_{\alpha_i} \sqrt{\text{var}(V_m)} \right] \right\} \sum_n Z_{mn} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (i=1, \dots, I) \quad (7.1)$$

$$\alpha_{is}, \beta_m, \varphi_j = \{0, 1\} \quad (8)$$

$$X_{ijs}, Y_{jm}, Z_{mn} \geq 0 \quad (9)$$



### 3. Uygulama

#### 3.1. Gerçek hayat probleminin kurulması

Çalışmanın bu bölümünden amaç, şirkete ait geçmiş veriler kullanılarak; ideal şartlarda üretim yapıldığında ortaya çıkan maliyet seviyelerini belirlemek, müteakiben belirsiz müşteri talebi ve aşamalar arasında meydana gelen fireleri dikkate alarak TZY hizmet seviyesini yükseltmek, taleplerin karşılanmama oranını azaltmak ve hesaplanacak en iyi maliyetleri ideal şartlardaki maliyetlerle kıyaslayarak yöneticiye alacağı kararlarda destek olmaktadır.

Çalışma konusuna esas olarak görselleri **Şekil 2**'de verilen Y hasta yatağı (Nitrocare) için TZY ele alınmıştır. TZY, 18 adet parça (ürün bileşeni) tedarik edilerek; incelenen hasta yatağı (Y) için üretim/montaj aşamalarından geçirilmesini, fabrikalardan dağıtım merkezlerine, müteakiben de belirsiz müşteri taleplerini karşılamak üzere müşterilere sevk edilmesini kapsamaktadır.



Şekil 2. Nitrocare hasta yatağı (Y)

Şirketin geçmiş dönem TZY'ne ait veriler toplanarak ve hesaplanmış özet istatistik bilgileri müteakip tablolarda verilmiştir.

Tablo 1. Parçalara (ürün bileşenleri) ait veriler

1 Adet Hasta Yatağı (Y) İçin Asgari Ürün Bileşenlerine Ait Veriler								
S. No:	Parça	Ürün Bileşen Miktarı ( $w_s$ )	Birim Satın Alma Maliyeti	Birim Taşıma Maliyeti (TL/Birim)	Tedarikte Fire Oranları		Üretimde Fire Oranları	
					Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
X <sub>1</sub>	Alüminyum Profil	32	70	0,12	0,0301	0,00005	0,0804	0,0022
X <sub>2</sub>	Profil	63	103	0,05	0,03	0,00003	0,0804	0,0022
X <sub>3</sub>	Paslanmaz Boru	2	20	0,05	0,03	0,0006	0,0804	0,0022
X <sub>4</sub>	Lama	29	43	0,05	0,017	0,00004	0,05025	0,00139
X <sub>5</sub>	Sac	53	38	0,06	0,04	0,00002	0,1206	0,0033
X <sub>6</sub>	Transmisyon	18	5	0,05	0,01	0,00006	0,03015	0,00083
X <sub>7</sub>	Alüminyum Döküm Malzeme	12	60	0,2	0,0072	0,0001	0,0201	0,00055
X <sub>8</sub>	Motor Ve Aksamı	1	520	4	0,0058	0,001	0,01005	0,00027
X <sub>9</sub>	Amortisör	6	63	0,5	0,004	0,0002	0,01	0,0003
X <sub>10</sub>	Teker	4	70	0,5	0,004	0,00026	0,01005	0,00027
X <sub>11</sub>	Compact Laminat	2	90	0,42	0,04	0,0005	0,1206	0,0033
X <sub>12</sub>	Otomat Bağlantı Aparatları	99	70	0,04	0,007	0,00002	0,0201	0,00055

X <sub>13</sub>	Plastik Enjeksiyon Bağlantı Aparatları	193	300	0,3	0,02	8,1E-06	0,0603	0,0016
X <sub>14</sub>	Bağlantı Elemanları-Hırdavat Grubu	438	26	0,001	0,015	2,6E-06	0,0402	0,001
X <sub>15</sub>	Elektrostatik Toz Boya	2	42	0,04	0,035	0,00057	0,1005	0,0027
X <sub>16</sub>	Şilte(Sünger Yatak)	1	113	8	0,0037	0,001	0,003	0,000083
X <sub>17</sub>	Ambalaj Kartonlu	2	40	0,23	0,01	0,0006	0,010	0,00027
X <sub>18</sub>	Ambalaj Naylonu	1	5	0,02	0,012	0,0011	0,010	0,00027

Tablo 2. Parça taşıma maliyetleri

Parça Taşıma Maliyetleri (TL)					
Bileşen (X <sub>s</sub> )	Birim Taşıma	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
		195	438	887	1034
X <sub>1</sub>	0,12	23,4	52,56	106,44	124,08
X <sub>2</sub>	0,05	9,75	21,9	44,35	51,7
X <sub>3</sub>	0,05	9,75	21,9	44,35	51,7
X <sub>4</sub>	0,05	9,75	21,9	44,35	51,7
X <sub>5</sub>	0,06	11,7	26,28	53,22	62,04
X <sub>6</sub>	0,05	9,75	21,9	44,35	51,7
X <sub>7</sub>	0,2	39	87,6	177,4	206,8
X <sub>8</sub>	4	780	1752	3548	4136
X <sub>9</sub>	0,5	97,5	219	443,5	517
X <sub>10</sub>	0,5	97,5	219	443,5	517
X <sub>11</sub>	0,42	81,9	183,96	372,54	434,28
X <sub>12</sub>	0,04	7,8	17,52	35,48	41,36
X <sub>13</sub>	0,3	58,5	131,4	266,1	310,2
X <sub>14</sub>	0,001	0,195	0,438	0,887	1,034
X <sub>15</sub>	0,04	7,8	17,52	35,48	41,36
X <sub>16</sub>	8	1560	3504	7096	8272
X <sub>17</sub>	0,23	44,85	100,74	204,01	237,82
X <sub>18</sub>	0,02	3,9	8,76	17,74	20,68

Tablo 3. Fabrika ve dağıtım merkezleri kapasite ve maliyet verileri

Yıllık Kapasite Verileri ve Sabit İşletme Maliyetleri			
	TZA Elemanları	Yıllık Kapasite (Adet)	Sabit İşletme Maliyetleri
Fabrika	F <sub>1</sub>	10 000	4 000 000 TL
Tedarikçi	T <sub>1</sub>	300	-
	T <sub>2</sub>	300	-
	T <sub>3</sub>	300	-
	T <sub>4</sub>	300	-
Dağıtım Merkezi	D <sub>1</sub>	2500	90 000 TL
	D <sub>2</sub>	3000	200 000 TL
	D <sub>3</sub>	2500	170 000 TL
	D <sub>4</sub>	2000	140 000 TL

Tablo 4. Y ürünü için taşıma maliyetleri

Fabrika-Dağıtım Merkezi Maliyetleri		Dağıtım Merkezi-Müşteri Taşıma Maliyetleri			
F <sub>1</sub>	Dağıtım Merkezi	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>
50	D <sub>1</sub>	437	887	1034	438
438	D <sub>2</sub>	878	450	585	250
887	D <sub>3</sub>	1234	240	480	450
1034	D <sub>4</sub>	1468	480	225	585

**Tablo 5.** Sevki edilen Y ürünü için fire oranları ortalamaları ve standart sapmaları

Tedarikçi-Fabrika Sevki Aşaması			Fabrika-Dağıtım Merkezi Sevki Aşaması			Dağıtım Merkezi-Müşteri Sevki Aşaması		
Tedarikçi	Fabrika (F <sub>1</sub> )		Fabrika (F <sub>1</sub> )	D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub> , D <sub>4</sub>		Dağıtım Merkezi	M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub>	
	Ortalama	Standart Sapma		Ortalama	Standart Sapma		Ortalama	Standart Sapma
T <sub>1</sub>	0,0058	0,0064	F <sub>1</sub>	0,00103	0,0020	D <sub>1</sub>	0,0014	0,0026
T <sub>2</sub>	0,0069	0,0049				D <sub>2</sub>	0,0025	0,0027
T <sub>3</sub>	0,0079	0,0073				D <sub>3</sub>	0,0024	0,003
T <sub>4</sub>	0,0128	0,0071				D <sub>4</sub>	0,005	0,004

**Tablo 6.** Müşteri talep ortalamaları ve standart sapmaları

Müşteriler	Ortalama Talep (Adet)	Standart Sapma
M <sub>1</sub>	179	9,832787607
M <sub>2</sub>	203	11,23171915
M <sub>3</sub>	179	9,832787607
M <sub>4</sub>	135	7,525042367

#### 4. Bulgular

##### 4.1. Ortalama müşteri talepleri altında şirkete ait çözüm planı

TZY aşamaları arasında herhangi bir fire meydana gelmediği ve sadece müşteri taleplerinin değiştiği kabulü altında bir çözüm önerisi olarak; belirsiz yapıda olan müşteri talepleri aritmetik ortalamaları üzerinden, TZY için bir maliyet ortaya konabilir. **Tablo 7 ve 8'de** bu varsayımlar altında şirketin hareket tarzı gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Ortalama müşteri talepleri altında şirkete ait dağıtım planı ve öngörülen toplam maliyet

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	TOPLAM
Talep Ortalaması	179	203	179	135	<b>696</b>
<b>DAĞITIM MERKEZİ SEVK PLANI</b>					
D <sub>1</sub>	179				179
D <sub>2</sub>				135	135
D <sub>3</sub>		203			203
D <sub>4</sub>			179		179
<b>Fabrikada (F1) Üretilecek Toplam Nihai Ürün Adedi</b>					<b>696</b>
<b>TOPLAM MALİYET: 6 148 709,57 TL</b>					

**Tablo 8.** Ortalama müşteri talepleri doğrultusunda mevcut parça tedarik planı

Parça	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	TOPLAM
X <sub>1</sub>	9600,00	9600,00	3040,00	32,00	22272,00
X <sub>2</sub>	18900,00	18900,00	5985,00	63,00	43848,00
X <sub>3</sub>	600,00	600,00	190,00	2,00	1392,00
X <sub>4</sub>	8700,00	8700,00	2755,00	29,00	20184,00
X <sub>5</sub>	15900,00	15900,00	5035,00	53,00	36888,00
X <sub>6</sub>	5400,00	5400,00	1710,00	18,00	12528,00
X <sub>7</sub>	3600,00	3600,00	1140,00	12,00	8352,00
X <sub>8</sub>	300,00	300,00	95,00	1,00	696,00
X <sub>9</sub>	1800,00	1800,00	570,00	6,00	4176,00

X <sub>10</sub>	1200,00	1200,00	380,00	4,00	2784,00
X <sub>11</sub>	600,00	600,00	190,00	2,00	1392,00
X <sub>12</sub>	29700,00	29700,00	9405,00	99,00	68904,00
X <sub>13</sub>	57900,00	57900,00	18335,00	193,00	134328,00
X <sub>14</sub>	131400,00	131400,00	41610,00	438,00	304848,00
X <sub>15</sub>	600,00	600,00	190,00	2,00	1392,00
X <sub>16</sub>	300,00	300,00	95,00	1,00	696,00
X <sub>17</sub>	600,00	600,00	190,00	2,00	1392,00
X <sub>18</sub>	300,00	300,00	95,00	1,00	696,00

#### 4.2. Şans kısıtlı model çözüm önerisi

Tedarik, üretim ve dağıtım aşamasında oluşan fireler ile belirsiz talepler doğrultusunda; parça ile nihai ürün miktarlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Kurulmuş olan şans kısıtlı modele ait çözüm önerileri **Tablo 9** ve **10'**da özet olarak gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Y nihai ürünü için fabrika-dağıtım merkezi-müşteri dağıtım planı önerisi ve öngörülen maliyet

		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	TOPLAM	
Talep Ortalaması		179	203	179	135	696	
Standart Sapma		9,832787607	11,23171915	9,832787607	7,525042367		
Fire Ort.	Fire Stnd Spm.	DAĞITIM MERKEZİ SEVK PLANI					
D <sub>1</sub>	0,0014	0,0026	213	211	160	584	
D <sub>2</sub>	0,0025	0,0027				-	
D <sub>3</sub>	0,0024	0,003				-	
D <sub>4</sub>	0,005	0,004	160			160	
Dağıtım Merkezlerinden Sevk Edilecek Toplam Ürün Adedi						744	
FABRİKA SEVK PLANI							
F <sub>1</sub>	Fire Ort.	Fire Stnd Spm.	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	TOPLAM
	0,00103	0,0020	213	162	242	215	832
<b>TOPLAM MALİYET 10 076 937,00 TL</b>							

**Tablo 10.** Parça için tedarik planı önerisi

Tedarik Aşaması Fireye Ait Özet İstatistik		Üretim/Montaj Aşaması Fireye Ait Özet İstatistik		Parça	Tedarik Planı Önerisi				
Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	TOPLAM
0,0301	0,00005	0,0804	0,0022	X <sub>1</sub>	29261,00	300,00	300,00	300,00	30161,00
0,03	0,00003	0,0804	0,0022	X <sub>2</sub>	58468,00	300,00	300,00	300,00	59368,00
0,03	0,0006	0,0804	0,0022	X <sub>3</sub>	989,00	301,00	301,00	300,00	1891,00
0,017	0,00004	0,05025	0,00139	X <sub>4</sub>	25088,00	300,00	300,00	300,00	25988,00
0,04	0,00002	0,1206	0,0033	X <sub>5</sub>	52264,00	300,00	300,00	300,00	53164,00
0,01	0,00006	0,03015	0,00083	X <sub>6</sub>	14746,00	300,00	300,00	300,00	15646,00
0,0072	0,0001	0,0201	0,00055	X <sub>7</sub>	9385,00	300,00	300,00	300,00	10285,00
0,0058	0,001	0,01005	0,00027	X <sub>8</sub>	0	232,00	301,00	300,00	833,00
0,004	0,0002	0,01	0,0003	X <sub>9</sub>	4171,00	301,00	301,00	300,00	5073,00
0,004	0,00026	0,01005	0,00027	X <sub>10</sub>	2481,00	300,00	300,00	300,00	3381,00
0,04	0,0005	0,1206	0,0033	X <sub>11</sub>	1110,00	300,00	300,00	300,00	2010,00
0,007	0,00002	0,0201	0,00055	X <sub>12</sub>	83912,00	301,00	301,00	300,00	84814,00

0,02	8,1E-06	0,0603	0,0016	$X_{13}$	174617,00	301,00	301,00	300,00	175519,00
0,015	2,6E-06	0,0402	0,001	$X_{14}$	386039,00	300,00	300,00	300,00	386939,00
0,035	0,00057	0,1005	0,0027	$X_{15}$	1047,00	301,00	301,00	300,00	1949,00
0,0037	0,001	0,003	0,000083	$X_{16}$	0	241,00	301,00	300,00	842,00
0,01	0,0006	0,010	0,00027	$X_{17}$	803,00	301,00	301,00	300,00	1705,00
0,012	0,0011	0,010	0,00027	$X_{18}$	0	300,00	255,00	300,00	855,00

## 5. Tartışma ve Sonuç

Söz konusu şirket tarafından müşteri talep ortalamaları dikkate alınarak hareket edildiğinde üretilen Y ürünün (hasta yatağı) piyasaya sunulması için yıllık ortalama 696 adet üretim yapılması öngörülmektedir. 18 adet bileşenden oluşan Y ürünü için parça tedarikleri bu planlama doğrultusunda karşılanmakta, tek merkez üzerinden yapılan üretim 4 ayrı dağıtım merkezi üzerinden müşterilere sevk edilmektedir. Üretim dağıtım problemi aşamalarında firelerin meydana gelmediği kabulü altında TZA'nın toplam maliyeti 6 148 709,57 TL seviyesinde gerçekleşmektedir.

Toplanan şirket verileri doğrultusunda, parça tedarik aşamasından Y nihai ürünün müşteriye teslim edilmesi aşamasına kadar olan süreçte bir kısım kayıp/firelerin meydana geldiği görülmüş ve her aşamadaki veriler toplanarak firelere ait belirsizlikler istatistiksel yöntemlerle hesaplanmış ve stokastik yapı ortaya konmuştur. Dolayısıyla modelin deterministik bir yapıda olmadığı TZY'nin her aşamasında belirsizlikleri içerisinde barındırdığı gözlemlenmiştir. Bilimsel çalışmalar incelendiğinde belirsizliklerin dikkate alınması için kullanılan yöntemlerden birinin şans kısıtlı yaklaşım olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında kurulan şans kısıtlı modelde fire ortalamalarına ait dağılımlar normal dağılım olarak kabul edilmiş ve problem karar vericinin belirlemiş olduğu memnuniyet/hizmet seviyesinde çözülmüştür. Belirsiz müşteri talepleri ile tedarik-üretim/montaj-fabrika-dağıtım merkezi-müşteri sevk aşamalarında meydana gelen firelerin asgari 0,9974 hizmet seviyesinde karşılanmasına yönelik şans kısıtlı hesaplamada; üretilmesi gereken asgari Y nihai ürün adedi 832 adet olarak belirlenmiştir. Fazladan 136 adet daha nihai ürün üretilmesi durumunda TZY sürecinde tıkanma yaşanmayacağı ve fazladan üretilen ürünler için nihai ürünlere ait 18 tip parçanın da üretim başlangıcında tedarik edilmesi gerektiği saptanmıştır. Fabrikada üretilmesi planlanan 832 adet nihai ürün için ise üretim/montaj ve tedarikçi sevk aşamasında oluşan firelerden dolayı parça tedarik planının Tablo 10'da verilen miktarlarda karşılanması gerektiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla firelerin dikkate alındığı TZY'nin işletmeye asgari maliyeti artmış ve 10 076 937,00 TL seviyesinde gerçekleşerek % 38,9 gibi büyük bir artış göstermiştir.

Karar vericinin fireleri dikkate alması önem arz etmektedir. Ancak hizmet seviyesinin yükseltilmesi ile maliyetlerde kayda değer bir artış görülmektedir. TZY'nin sağlıklı işlemesi, tıkanma yaşanmadan zamanında müşteri taleplerinin karşılanması ve içinde bulunulan piyasa ile Türkiye ve Dünya genelinde temsil edilerek piyasada var olabilme fikri; nihai olarak karar vericinin artan maliyetleri dikkate alarak belirlemesi gereken bir husustur.

## Teşekkür

Çalışma kapsamında Ofisline Şirketine ait Nitrocare hasta yatağı için parça tedarikinden üretimine ve dağıtım merkezleri ile müşterilere sevkine kadar olan süreç analiz edilmiştir. Ofisline Şirketi dünyaca tanınan ve uluslararası 12 ödül alan, patentleri kendine ait özgün tasarımlar gerçekleştirmektedir. Şirkette üretim esnasında dünya çapında tanınan ve kabul gören üretim araçları kullanılmakta; endüstri mühendisleri ve tasarımcılar şirketin başarısında önemli rol oynamaktadır.

Sivas üretim merkezli Ofisline Şirketine ve şirket sahibi Sn. Gökmen ARAS ile çalışanı Sn. Ali Kemal KOPAR'a çalışmada kullanılan verileri sağlamalarından ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## Kaynakça

- [1] Gupta, A., Maranas, C. D., McDonald, M. C. 2000. Mid-term Supply Chain Planning Under Demand Uncertainty: Customer Demand Satisfaction and Inventory Management. *Computers and Chemical Engineering* 24 (2000), 2613–2621.
- [2] Pang, H., Zhou, Y., Hou, B. 2008. Research on Optimal Products Structure Decision of Supply Chain under Demand Uncertainty. China, Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation June (2008), 25-27.
- [3] Şenyiğit, E. 2009. Mobilya Endüstrisinde Aşamalar Arasında Fire Bulunan Çok Aşamalı Tedarik Zinciri Ağının Optimizasyonu. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 25 (1-2) (2009), 168-182.
- [4] Atalay, K. D., Apaydın, A. 2011. Şans Kısıtlı Stokastik Programlama Problemlerinin Deterministik Eşitlikleri. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi-B Teorik Bilimler Cilt:1-Sayı:1* (2011), 1-18.
- [5] Taleizadeh, A. A., Akhavan, N. S. T., Ahmad, M. 2012. Multiproduct Multiple-Buyer Single-Vendor Supply Chain Problem with Stochastic Demand, Variable Lead-Time, and Multi-Chance Constraint. *Expert Systems with Applications* 39 (2012), 5338–5348.
- [6] Charles, V., Gupta, P. 2013. Optimization of Chance Constraint Programming with Sum-of-Fractional Objectives- An Application to Assembled Printed Circuit Board Problem. *Applied Mathematical Modelling* 37 (2013), 3564–3574.
- [7] Sakallı, Ü.S. 2014. A Simulated Annealing Approach for Reliability-Based Chance-Constrained Programming. *Applied Stochastic Models in Business and Industry* 30(4) (2014), 498-508.
- [8] Crispim, J., Rego, N., Sousa, J.P.D. 2014. Stochastic partner selection for virtual enterprises: A chance-constrained approach. *International Journal of Production Research* (2014), 1-17.
- [9] Aggarwal, R., ve. Bakshi, A. 2015. Chance Constraint Based Multi-objective Vendor Selection Using NSGAI. *Procedia Computer Science* 48 (2015), 699-705.
- [10] Chotayakul, S. ve Punyangarm, V. 2016. The Chance-Constrained Programming for the Lot-Sizing Problem with Stochastic Demand on Parallel Machines. *International Journal of Modeling and Optimization* 6(1) (2016), 56-60.
- [11] Du, J., Yu, L. ve Li, X. 2016. Fuzzy multi-objective chance-constrained programming model for hazardous materials transportation. *International Journal of General Systems* (2016), 1-25.
- [12] Taha, H. A. 2007. Chance Constrained Programming. ss 713-716. Taha, H. A., 2007. *Operations Research, Eighth Edition*, Pearson Education Inc., 813s.