

# Süreç Esnekliği Tasarımlarının Farklı Talep Yapıları Altında Envanter Maliyeti Performansları Üzerine

Öz

Süreç esnekliği, tek bir üretim tesisi ya da hattında birden fazla ürün çeşidinin, göz ardı edilebilecek hazırlık süreleri ve maliyetleriyle üretilmesini ifade etmektedir. Bu çalışmada süreç esnekliğine sahip sistemlerde üretilen ürünler için talep yapısı değişikliklerinin envanter maliyetlerine etkisi araştırılmıştır. Esnek olmayan tasarım, zincirleme tasarım ve tam esneklik tasarımı olmak üzere üç farklı esneklik seviyesine sahip sistem tasarımı üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Durağan, mevsimsel, artan, azalan ve hareketli olmak üzere beş farklı talep yapısı dikkate alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda farklı seviyelerdeki süreç esnekliğinin sağlamış olduğu maliyet avantajının, karşılaşılan talep yapılarına göre değiştiği gözlemlenmektedir. Tam esnek tasarım ikili zincir tasarımına göre durağan, mevsimsel, artan, azalan ve hareketli talep yapıları altında toplam maliyet açısından herhangi bir avantaj sağlamamıştır. Ancak, karma talep yapısı durumunda, tam esnek tasarım zincir tasarımına göre ortalama toplam maliyet açısından %15,60 avantaj sağlamıştır. Dolayısıyla, bazı talep yapıları için ikili zincir tasarımının yeterli olabileceği ve tam esnek üretim sistemi kurmak için söz konusu olan maliyete katlanmanın yersiz olacağı görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Stok yönetimi, Esneklik, Stok optimizasyonu, Talep yapıları*

## On the Inventory Cost Performances of Process Flexibility Designs Under Various Demand Patterns

Abstract

Process flexibility refers to the production of multiple products in a production facility or production line with ignorable setup times and costs. In this study, the effect of demand pattern changes for products produced in systems with process flexibility on inventory costs has been investigated. Assessments have been made on production system designs with three different flexibility levels which are dedicated, two-chain and full flexibility designs. Five different demand patterns, which are stationary, seasonal, increasing, decreasing and hectic, are considered. Results of the conducted analyses reveal that the cost advantage of different process flexibility levels varies based on the confronted demand patterns. Full flexibility design has not provided any advantage in terms of total cost compared to the two-chain design under stationary, seasonal, increasing, decreasing and hectic demand patterns. However, under mixed demand pattern, full flexibility design has provided %15.60 advantage in terms of average total cost compared to the two chain design. Therefore, it has been observed that two-chain design could be sufficient for some demand patterns and bearing the corresponding cost to have a full flexibility design would be useless.

**Keywords:** *Inventory management, flexibility, Inventory optimization, Demand patterns*

Mehmet SOYSAL<sup>1</sup>  
Mustafa ÇİMEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dr., Hacettepe Üniversitesi  
İşletme Bölümü,

mehmetsoysal@hacettepe.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0002-1570-660X

<sup>2</sup> Dr., Hacettepe Üniversitesi  
İşletme Bölümü,

mcimen@hacettepe.edu.tr  
ORCID ID: 0000-0001-8155-9145

## 1. Giriş

Süreç esnekliği, tek bir üretim tesisi ya da hattında birden fazla ürün çeşidinin, göz ardı edilebilecek hazırlık süreleri ve maliyetleriyle üretilebilmesini ifade eden bir terimdir. Farklı ürün çeşitlerinin aynı tesiste üretilebilme imkânı, talepte yaşanabilecek dalgalanmalar ya da diğer tesislerde oluşabilecek aksaklıklar gibi pek çok risk karşısında firmaya avantaj sağlayacaktır.

Özellikle teknolojik gelişmelerin aynı makinaların farklı ürünlerin üretiminde kullanılmasını kolaylaştırması, süreç esnekliğine endüstriyel ilginin giderek artmasına sebep olmaktadır. Buna paralel olarak konuyla ilgili akademik araştırmalar da giderek yaygınlaşmaktadır. Chou, Teo ve Zheng (2008) süreç esnekliği için geniş bir literatür taraması sunmuşlardır. Daha yakın zamanda Francas, Kremer, Minner ve Friese (2009) süreç esnekliğini stratejik bir bakış açısıyla incelemiş ve talebin ürün yaşam eğrisi yapısını takip ettiği durumda hangi sistem tasarımlarının etkinliğini koruduğunu gözlemlemiştir. Tanrısever, Morrice ve Morton (2012) araştırmalarına süreç esnekliğinin üretim sistemlerine kapasite esnekliğiyle beraber adapte edilmesini konu edinmiş ve bu durumda süreç esnekliğinin faydasının azaldığını öne sürmüştür. Deng ve Shen (2013) ürün ve tesis sayılarının birbirine eşit olmadığı durumlarda süreç esnekliği altında farklı sistem tasarımlarının verimliliğini incelemiştir. Simchi-Levi ve Wei (2015) süreç esnekliği varsayımında en kötü senaryoları incelemiş ve farklı sistem tasarımlarını değerlendirmiştir.

İşletmeye sağladığı yararlar pek çok çalışmada ortaya konmuş olmakla beraber, üretim sistemlerinde süreç esnekliğinin varlığı stok optimizasyonunu belirgin şekilde zorlaştırmaktadır (Çimen, Belbağ ve Soysal, 2016). Ürünlerin birden fazla üretim tesisinde üretilebilmesi, her bir tesis için verilecek üretim kararını bir diğeriyle ilişkilendirmektedir. Bu durum da küçük parçalara bölünemeyen çok boyutlu karmaşık bir karar problemi ortaya koymaktadır. Problemin içerdiği karmaşıklık düzeyi, ürün ve fabrika sayısıyla üssel olarak ilişkilidir.

Süreç esnekliğine duyulan artan ilgiye rağmen, süreç esnekliği içeren sistemlerde üretim kararlarının stok maliyetleri açısından optimizasyonu problemi (buradan itibaren süreç esnekliği problemi olarak anılacaktır) literatürde yakın zamana

kadar incelenmemiştir. Bu problem için önerilen ilk karar destek modeli Çimen, Belbağ ve Soysal (2016)'ın çalışmasında sunulmuştur. Çimen vd., süreç esnekliği problemi için bir doğrusal programlama modeli sunmuş ve süreç esnekliğine sahip sistemlerin esnek olmayan sistemlere kıyasla stok maliyetleri açısından daha etkin olduğunu göstermiştir. Soysal, Çimen ve Belbağ (2016) bu modeli sabit sipariş maliyetlerinin yok edilemediği varsayımıyla genişletmiş ve sabit maliyetleri de dikkate alan bir model önermişlerdir. Önerilen model için çözülen sayısal örnekler, süreç esnekliğinin belirli koşullarda pozitif sabit sipariş maliyeti varsayımına rağmen stok maliyetlerini düşürebildiğini göstermiştir. Ancak bahsedilen her iki çalışmada da farklı talep yapılarının stok maliyetlerine ve üretim kararlarına etkisi incelenmemiştir.

Bu çalışmanın amacı, süreç esnekliği probleminde farklı talep yapılarının optimal kararlara ve özellikle stok maliyetlerine etkisinin incelenmesidir. Farklı talep yapıları, süreç esnekliği içermeyen bir sistemde verilecek üretim kararlarını ve ihtiyaç duyulan ortalama envanter miktarlarını doğrudan etkileyecektir. Bu da süreç esnekliği varsayımında ürünlerin birden fazla fabrikada üretilmesi için duyulacak ihtiyacı değiştirecektir. Bu çalışmada sunulacak sayısal analizler, bu değişikliklerin üretim kararlarına ve maliyetlerine etkilerini incelemek, süreç esnekliğinin hangi talep yapıları karşısında daha etkin olduğunu göstermek ve süreç esnekliğine yatırım yapacak karar vericilere, yapacakları yatırımın karşılığı ile ilgili bir dayanak oluşturmak amaçlarını taşımaktadır.

Çalışmanın bundan sonraki kısımları şu şekilde devam etmektedir. İkinci bölümde ele alınan problemin çözümü için kullanılan karar destek modeli tanıtılmaktadır. Üçüncü bölümde farklı talep yapılarının stok optimizasyonuna etkisini incelemek için çeşitli sayısal örnekler çözülmüştür. Son bölümde çalışmanın sonuçları ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

## 2. Süreç Esnekliği Problemi için Kullanılan Karar Destek Modeli

Süreç esnekliği probleminde,  $f \in \{1,2, \dots, |F|\}$  fabrika ve  $p \in \{1,2, \dots, |P|\}$  ürün çeşidi bulunmaktadır. Ürünler ve fabrikalar arasındaki üretim ilişkileri kısmî ya da tam esneklik varsayımıyla tasarlanmış olabilmektedir (bknz. Şekil 1). Dolayısıyla fabri-

kalar bir veya daha fazla ürün çeşidini üretebilmektedirler.

Problem  $T \in \{1, 2, \dots, |T|\}$  dönemli sonlu planlama ufkuna sahip bir üretim sisteminde her bir dönem için optimal üretim kararlarının/hedeflerinin bulunulmasını konu edinmektedir.

Herbir fabrikada, birim üretim ( $u_{f,p}, f \in F, p \in P$ ) elde bulundurma ( $h_p, p \in P$ ) ve ceza ( $s_p, p \in P$ ) maliyetleri ile karşılaşmaktadır. Fabrikaların fiziksel ve teknik özelliklerine bağlı olarak birim üretim maliyetleri her bir fabrika-ürün çifti için farklı olabilir. Dönem sonunda elde kalan her bir ürün için birim elde bulundurma maliyetine katlanılmaktadır. Elde bulundurma maliyeti dönem sonunda stoklarda kalan ürün miktarıyla doğru orantılıdır. Dönem içerisinde karşılanamayan her bir ürün için birim ceza maliyeti oluşmaktadır. Ceza maliyeti, karşılanamayan talep miktarı ile doğru orantılıdır.

Yukarıda kısaca tanıtilen süreç esnekliği problemi için Çimen vd. (2016) bir Doğrusal Programlama modeli önermektedir. Farklı talep yapılarının süreç esnekliğinde stok optimizasyonuna etkisini incelemek üzere söz konusu model kullanılmaktadır. Aşağıda Çimen vd. tarafından önerilen Doğrusal Programlama modeli tanıtilmektedir.

Matematiksel model dört çeşit karar değişkeni içermektedir:

- Karar değişkeni  $Q_{f,p}, f$  fabrikasında  $p$  ürünü için üretim miktarı, adet olarak,
- Karar değişkeni  $I_{p,t}^-, p$  ürünü için  $t$  döneminin sonunda karşılanamayan talep, adet olarak,
- Karar değişkeni  $I_{p,t}^+, p$  ürünü için  $t$  döneminin sonunda elde kalan stok miktarı, adet olarak, ve
- Karar değişkeni  $I_{p,t}, p$  ürünü için  $t$  döneminin başında stok miktarı, adet olarak.

Amaç fonksiyonu (1) sırasıyla sabit üretim hazırlık, birim üretim, elde bulundurma ve ceza maliyetlerinin minimize edilmesini ifade etmektedir. Amaç fonksiyonunda iskonto oranı ( $\gamma$ ) kullanılarak, gelecek dönemlerin maliyetleri, finans teorisine uygun şekilde bugünkü değere indirgenmektedir.

$$Z = \sum_t \gamma^{t-1} \left[ \sum_f \sum_p u_{f,p} Q_{f,p,t} + \sum_p s_p I_{p,t}^- + \sum_p h_p I_{p,t}^+ \right] \quad (1)$$

Kısıt setleri (2),..., (5) stok kararları ile ilişkilidir. (2) numaralı kısıt seti her bir ürün için planlama ufkunun başındaki stok miktarlarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Planlama ufkunun başında  $p$  ürünü için stok miktarı, adet olarak,  $k_p$  ile ifade edilmektedir. (3) ve (4) numaralı kısıt setleri her bir ürün için her dönem sonunda karşılanamayan talep ve elde kalan stok miktarlarını hesaplamada kullanılmaktadır. Her bir  $t$  döneminde  $p$  ürünü için oluşan talep miktarı, adet olarak,  $d_{p,t}$  ile ifade edilmektedir. (5) numaralı kısıt seti ise her bir ürün için her dönem başındaki stok miktarlarını hesaplamaktadır.

$$I_{p,0} = k_p \quad \forall p \in P, \quad (2)$$

$$I_{p,t}^- \geq d_{p,t} - I_{p,t} - \sum_f Q_{f,p,t} \quad \forall p \in P, t \in T, \quad (3)$$

$$I_{p,t}^+ \geq I_{p,t} + \sum_f Q_{f,p,t} - d_{p,t} \quad \forall p \in P, t \in T, \quad (4)$$

$$I_{p,t+1} = I_{p,t} + \sum_f Q_{f,p,t} - d_{p,t} \quad \forall p \in P, t \in T, \quad (5)$$

Kısıt setleri (6) ile (7) üretim kararları ile ilişkilidir. (6) numaralı kısıt seti üretim kararları üzerindeki fabrika üretim kapasitelerini dikkate almaktadır. Her bir  $f$  fabrikasının toplam üretim kapasitesi, adet olarak,  $c_f$  ile ifade edilmektedir. (7) numaralı kısıt seti ise,  $f$  fabrikasında  $p$  ürününün üretilebilmesini, üretim sistemi tasarımında belirlenen üretim ilişkileriyle ( $l_{f,p}$ ) bağlantılandırmaktadır.  $f$  fabrikasında  $p$  ürünü üretilebiliyorsa  $l_{f,p}$  parametresi 1, üretilemiyorsa 0 değerini almaktadır.

$$\sum_p Q_{f,p,t} \leq c_f \quad \forall f \in F, t \in T, \quad (6)$$

$$Q_{f,p,t} \leq c_f l_{f,p} \quad \forall f \in F, p \in P, t \in T, \quad (7)$$

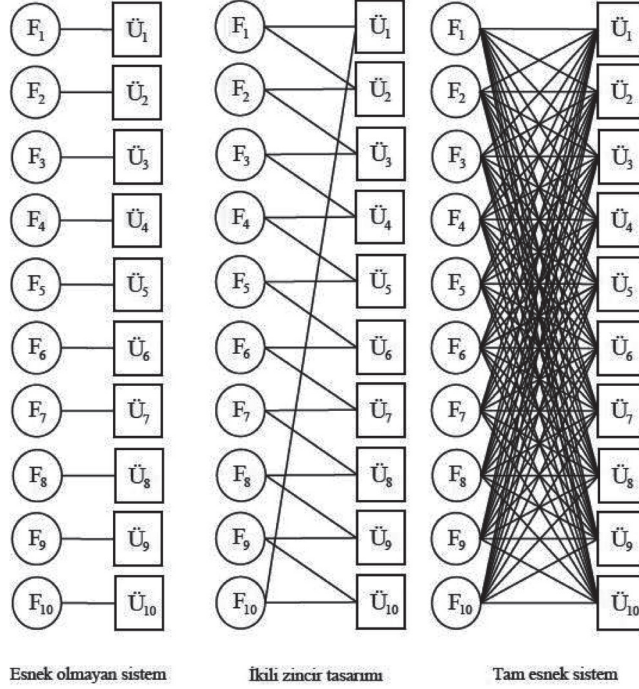
Kısıt setleri (8),..., (10) karar değişkenlerinin türü ile ilişkilidir.

$$I_{p,t}^+ \geq 0 \quad \forall p \in P, t \in T, \quad (8)$$

$$I_{p,t}^- \geq 0 \quad \forall p \in P, t \in T, \quad (9)$$

$$Q_{f,p,t} \geq 0 \quad \forall f \in F, p \in P, t \in T, \quad (10)$$

**Şekil 1.** Farklı Esneklik Düzeylerindeki Üretim Sistemi Tasarımları: Daireler Fabrikaları, Kareler Talepleri Temsil Etmektedir.



Kaynak: Çimen vd. (2016).

Özetle, süreç esnekliği problemi için geliştirilen Doğrusal Programlama modeli (1) numaralı amaç fonksiyonu ve (2,...,10) numaralı kısıt setlerinden oluşmaktadır.

### 3. Sayısal Çalışma

Bu bölümde, üç çeşit üretim sistemi tasarımı (esnek olmayan tasarım, zincirleme tasarımı ve tam esneklik tasarımı) göz önünde bulundurularak, farklı talep yapılarının stok maliyetlerine etkisi incelenecektir. Aşağıda ilk olarak sayısal analizlerde kullanılan deney tasarımı hakkında bilgi verilmekte, sonrasında ise elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

#### 3.1. Deney tasarımı

Sayısal çalışmada her bir esneklik seviyesi için on

ürün ve on fabrika içeren örnek birer sistem kullanılmıştır. Söz konusu sistemler literatürde süreç esnekliği problemi için Jordan ve Graves (1995) ve Çimen vd. (2016) tarafından da kullanılmıştır. Şekil 1 bu çalışmada kullanılan esnek olmayan, ikili zincir ve tam esnek üretim sistemi tasarımları için fabrika-ürün ilişkilerini göstermektedir.

Süreç esnekliği probleminde planlama ufku büyüklüğü olarak 12 dönem kullanılmıştır. Her dönem gerçekleşen talep Poisson dağılımından 5 değişik talep ortalaması yapısına sahip olmak üzere, rasal bir şekilde üretilmektedir. Bu talep ortalaması yapıları şu özellikleri göstermektedir: (i) Durağan, P1, (ii) Mevsimsel, P2, (iii) Artan, P3, (iv) Azalan, P4, (v). Hareketli (Hectic), P5. İlgili talep yapıları oluşturulurken Özen, Doğru ve Tarım (2010) tarafından yapılan çalışmadan yararlanılmıştır. Tablo 1 her dönem için talep yapısı ortalamalarını göstermektedir.

**Tablo 1.** Talep Yapıları

Dönem	P1	P2	P3	P4	P5
1	50	68	3	111	27
2	50	83	9	99	22
3	50	88	16	91	94
4	50	83	28	70	27
5	50	69	34	59	17
6	50	50	37	43	74
7	50	31	43	37	120
8	50	17	59	34	12
9	50	12	70	28	50
10	50	17	91	16	28
11	50	32	99	9	19
12	50	50	111	3	110
Toplam	600	600	600	600	600

Ürünlerin talep ortalamalarının birbirine eşit olduğu varsayılmıştır ( $\bar{d} = d_1, d_2 \dots, d_{10}$ ). Tablo 1’de verilen talep yapıları kullanılarak sayısal analizlerde 6 farklı talep ortalaması durumu incelenmiştir:

- bütün ürünler P1 talep yapısına sahip,
- bütün ürünler P2 talep yapısına sahip,
- bütün ürünler P3 talep yapısına sahip,
- bütün ürünler P4 talep yapısına sahip,

- bütün ürünler P5 talep yapısına sahip, ve

1. ve 2. ürünler P1 talep yapısına, 3. ve 4. ürünler P2 talep yapısına, 5. ve 6. ürünler P3 talep yapısına, 7. ve 8. ürünler P4 talep yapısına ve 9. ve 10. ürünler P5 talep yapısına sahip.

Birim ceza maliyetlerinin her bir fabrika ve ürün için eşit olduğu kabul edilmiştir. Birim elde bulundurma maliyeti her bir ürün için  $h = 1$  olarak ele alınmıştır. Üretim maliyetleri ise her bir ürün-fabrika çifti için farklıdır. Tablo 2 her bir ürün-fabrika çifti için ilgili üretim maliyetlerini göstermektedir.

**Tablo 2.** Üretim Maliyetleri

		Ürünler									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fabrikalar	1	1	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36
	2	2,36	1	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14
	3	2,14	2,36	1	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95
	4	1,95	2,14	2,36	1	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77
	5	1,77	1,95	2,14	2,36	1	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61
	6	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	1	1,1	1,21	1,33	1,46
	7	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	1	1,1	1,21	1,33
	8	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	1	1,1	1,21
	9	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	1	1,1
	10	1,1	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	1

Birim ceza maliyetinin ve fabrika üretim kapasitelerinin farklı talep yapıları altında esneklik tasarımlarını (esnek olmayan, ikili zincir, tam esnek) nasıl etkilediğini sınamak amacıyla 3 farklı birim ceza maliyeti ( $s = 3, 7, 10$ ) ve 3 fabrika üretim kapasitesi ( $c = 50, 60, 75$ ) test edilmiştir.

Ürünler için planlama ufku başında herhangi bir stok bulunmadığı varsayılmaktadır. Gelecek dönem maliyetlerinin bugüne indirgenmesi için gerekli iskonto oranı 0,9 olarak kabul edilmiştir.

Süreç esnekliği problemi çerçevesinde her dönem her bir fabrikada hangi üründen ne kadar üretileceğinin kararının verilmesine çalışılmaktadır. Yukarıda bahsedilen varsayımlarla, söz konusu problem için 6 farklı talep ortalaması durumu, 3 farklı birim ceza maliyeti ve 3 farklı kapasite oranı olmak üzere toplamda 54 ( $6 \times 3 \times 3$ ) senaryo oluşturulmuştur. Sonuçların özel bir vakaya bağımlı olmaması için, her bir senaryo için ilgili talep ortalamaları dikkate alınarak 30 farklı örnek incelenmiştir. Her bir örnek için farklı esneklik tasarımlarının elde edeceği optimal üretim politikaları ve ilgili maliyetler, IBM ILOG CPLEX 12.6 Optimizasyon yazılımı kullanılarak bulunmuştur.

### 3.2. Sonuçlar

Bu bölümde ilk olarak rastgele seçilen örnek bir problem için elde edilen sonuçlar sunulmakta, sonrasında ise farklı senaryolar altında talep yapısı değişikliklerinin esneklik tasarımlarının performansına etkisi değerlendirilmektedir.

#### 3.2.1. Örnek problem çözümü

Bu bölümde seçilen bir senaryoda tek bir örnek problem ile ilgili ikili zincir tasarımı altında

6 farklı talep ortalaması durumu için elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bu senaryoda birim ceza maliyeti ( $s$ ) 7 ve üretim kapasitesi ( $c$ ) 50 kabul edilmiştir. Bu senaryo için çözülen örnekten, farklı talep ortalaması durumları için elde edilen optimal sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Farklı talep yapılarının süreç esnekliğinde stok optimizasyonuna etkisi, üretim maliyeti, ceza maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve toplam maliyet olmak üzere dört ana performans kriteri göz önünde bulundurularak değerlendirilmektedir.

Örnek problem için elde edilen optimal sonuçlara göre, farklı talep yapıları performans kriterlerinde ciddi değişimlere yol açmaktadır. Özellikle mevsimsel (P2), azalan (P4) ve karma (P6) talep yapısı durumlarının toplam maliyet üzerinde önemli etkileri gözlemlenmektedir. Talep yapısının P1 olduğu durumda toplam maliyet 4.959,9 iken, P2, P4 ve P6 talep yapısı durumlarında sırasıyla 36.424, 68.078,7 ve 13.061,5 düzeylerine çıkmıştır.

Tablo 4 farklı talep yapıları için örnek problemin çözümünden elde edilen optimal üretim politikalarını detaylı olarak sunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, talep yapısı değişimlerinin fabrikalar için ikili zincir tasarımının sağladığı süreç esnekliğinden faydalanma oranlarını etkilediği görülmektedir. Durağan ve karma talep yapıları için fabrikaların birçok dönemde süreç esnekliğinden faydalandığı görülmekteyken; mevsimsel, artan, azalan ve hareketli talep yapıları için böyle bir durum söz konusu değildir. Fabrikalar, mevsimsel, artan, azalan ve hareketli talep yapıları ile karşı karşıya iken genelde son dönemlerde süreç esnekliğinden faydalanarak ürünleri birden fazla fabrikada üretme yoluna gitmişlerdir. Süreç esnekliğinden en az düzeyde artan talep yapısı altında faydalanıldığı görülmektedir.

**Tablo 3.** Farklı Talep Yapıları İçin Örnek Problemin Çözümünden Elde Edilen Maliyetler.

	P1	P2	P3	P4	P5	Karma
Üretim maliyeti	3.610,3	3.549,9	2.577,7	3.592,7	3.545,9	3.683,2
Ceza maliyeti	1.342,6	32.872,0	3.411,9	64.486,0	1.519,5	9.090,5
Elde bulundurma maliyeti	7,0	2,1	1.687,6	0,0	1.602,7	287,8
Toplam maliyet	4.959,9	36.424,0	7.677,2	68.078,7	6.668,1	13.061,5



**Tablo 4.** Devamı. Farklı Talep Yapıları İçin Örnek Problemin Çözümünden Elde Edilen Optimal Üretim Politikaları

P4 – Azalan talep yapısı																					
		Fabrika																			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		Ü1	Ü2	Ü2	Ü3	Ü3	Ü4	Ü4	Ü5	Ü5	Ü6	Ü6	Ü7	Ü7	Ü8	Ü8	Ü9	Ü9	Ü10	Ü10	Ü1
Dönem	1	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	2	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	3	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	4	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	5	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	6	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	7	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	8	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	9	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	10	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	11	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	46	4	50	0	50	0	50	0	50	0
	12	42	8	37	13	50	0	50	0	24	26	0	50	21	29	35	15	40	10	50	0
P5 – Hareketli talep yapısı																					
Dönem	1	35	0	49	0	42	0	50	0	50	0	32	0	46	0	50	0	50	0	41	0
	2	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	3	50	0	50	0	49	1	46	4	50	0	50	0	42	8	46	4	50	0	50	0
	4	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	5	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	6	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	7	50	0	50	0	48	2	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	8	47	3	50	0	20	30	11	39	15	35	23	27	27	23	28	22	50	0	50	0
	9	38	12	50	0	39	11	48	2	40	10	42	8	38	12	50	0	48	2	50	0
	10	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	11	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0	50	0
	12	50	0	50	0	47	3	50	0	50	0	36	14	50	0	50	0	50	0	50	0
P6 – Karma talep yapısı																					
Dönem	1	18	32	16	34	32	18	50	0	47	3	0	50	50	0	50	0	38	12	17	33
	2	2	48	4	46	45	5	50	0	40	10	0	50	49	1	50	0	30	20	2	48
	3	50	0	50	0	50	0	50	0	30	20	0	50	29	21	50	0	50	0	50	0
	4	50	0	49	1	50	0	50	0	20	30	0	50	12	38	50	0	50	0	50	0
	5	25	25	20	30	50	0	50	0	14	36	0	50	11	39	50	0	34	16	19	31
	6	50	0	50	0	50	0	50	0	13	37	0	50	0	50	40	10	50	0	50	0
	7	50	0	50	0	50	0	50	0	22	28	16	34	7	43	0	50	50	0	50	0
	8	50	0	50	0	25	25	38	12	45	5	50	0	45	5	35	15	5	45	50	0
	9	17	33	25	25	0	50	0	50	9	41	50	0	28	22	1	49	0	50	3	47
	10	12	38	15	35	0	50	0	50	46	4	50	0	19	0	5	45	0	50	0	50
	11	36	14	28	22	16	34	0	50	50	0	50	0	5	0	6	43	31	19	50	0
	12	13	37	0	50	2	48	0	50	50	0	50	0	6	3	0	50	0	50	21	29



Bu bölümde seçilen örnek problem üzerinde yapılan detaylı inceleme göstermektedir ki, ürünler için fabrikaların karşı karşıya olduğu talep yapılarının değişmesi performans kriterlerini ve fabrikaların süreç esnekliğinden faydalanma oranlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla süreç esnekliği yatırımı yapılmadan önce, karşı karşıya olunan talep yapılarının dikkate alınması, yatırımın geri dönüş oranıyla ilgili önemli ipuçları verecektir.

### 3.2.2. Farklı senaryolar altında talep yapısı değişikliklerinin esneklik tasarımlarının performansına etkisi

Bu bölümde üç farklı esneklik tasarımının (esnek olmayan, ikili zincir tasarımı ve tam esnek) farklı talep yapıları göz önünde bulundurularak toplam maliyet açısından kapsamlı bir performans değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, 54 farklı senaryo, rastgele üretilen 30'ar farklı talep seti kullanılarak incelenmiştir. Tablo 5 her bir esneklik tasarımı için farklı talep yapısı altında toplam maliyet açısından senaryoların ortalaması sunulmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre:

- Talep yapısı değişikliklerinin üç esneklik tasarımının da toplam maliyet açısından performanslarına önemli etkileri olmuştur.
- Üç esneklik tasarımı üzerinde de en büyük etkiler mevsimsel (P2), azalan (P4) ve karma (P6) talep yapısı durumlarında gözlemlenmiştir.

- İkili zincir tasarımının sağladığı süreç esnekliğinden faydalanmak bütün talep yapıları altında maliyet avantajı sağlamıştır.

- Tam esnek tasarım ikili zincir tasarımına göre karma talep yapısının (P6) bulunduğu durum hariçinde ek bir maliyet avantajı sağlamamıştır.

Tablo 6 farklı talep yapıları altında esneklik tasarımları arası toplam maliyet açısından performans farklarını daha detaylı olarak sunmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre:

- Süreç esnekliği en fazla durağan (P1) ve karma (P6) talep yapısı durumlarında fayda sağlamıştır. Esnek olmayan üretim sistemi tasarımı ve ikili zincir tasarımı altındaki ortalama maliyet farkları P1 talep yapısında %10,32, P6 talep yapısında %53,91 olarak gözlemlenmiştir. Esnek olmayan sistem ile tam esnek üretim sistemi tasarımları arasındaki farklar ise P1 talep yapısında %10,32, P6 talep yapısında %60,61 olarak gerçekleşmiştir.

- Süreç esnekliği en az artan (P3) ve azalan (P4) talep yapısı durumlarında fayda sağlamıştır. Süreç esnekliğinden P3 talep yapısı altında faydalanmak %0,45, P4 talep yapısı altında faydalanmak ise %0,42 ortalama maliyet avantajı sağlamaktadır.

- Tam esnek sistem ikili zincir tasarımına göre sadece karma talep yapısının (P6) bulunduğu durumda maliyet avantajı sağlamıştır. Karma talep yapısı altında bu iki sistem arası ortalama maliyet farkı %15,60 olarak gerçekleşmiştir.

**Tablo 5.** Esneklik Tasarımları İçin Farklı Talep Yapıları Altında Toplam Maliyetler Açısından Senaryoların Ortalamaları

	Ortalama toplam maliyetler					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Esnek olmayan	4.645,1	22.672,4	5.634,4	41.880,0	5.594,0	16.146,6
İkili zincir	3.935,5	22.277,2	5.609,5	41.739,1	5.383,3	7.214,0
Tam esnek	3.935,5	22.277,2	5.609,5	41.739,1	5.383,3	5.768,2



**Tablo 7.** Ceza Maliyeti Değişikliklerinin Esneklik Tasarımlarının Ortalama Maliyet Açısından Performansına Etkisi

Patern	Kapasite	Esnek olmayan – İkili zincir (% fark)			Esnek olmayan – Tam esnek (% fark)			İkili zincir – Tam esnek (% fark)		
		Ceza: 3	Ceza: 7	Ceza: 10	Ceza: 3	Ceza: 7	Ceza: 10	Ceza: 3	Ceza: 7	Ceza: 10
P1	50	18,64	31,79	37,77	18,64	31,79	37,77	0,00	0,00	0,00
P1	60	1,10	1,61	1,98	1,10	1,61	1,98	0,00	0,00	0,00
P1	75	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
P2	50	0,63	0,79	0,83	0,63	0,79	0,83	0,00	0,00	0,00
P2	60	0,86	1,05	1,11	0,86	1,05	1,11	0,00	0,00	0,00
P2	75	5,49	9,48	11,39	5,49	9,48	11,39	0,00	0,00	0,00
P3	50	0,53	0,43	0,18	0,53	0,43	0,18	0,00	0,00	0,00
P3	60	0,52	0,52	0,72	0,52	0,52	0,72	0,00	0,00	0,00
P3	75	0,36	0,54	0,30	0,36	0,54	0,30	0,00	0,00	0,00
P4	50	0,13	0,19	0,20	0,13	0,19	0,20	0,00	0,00	0,00
P4	60	0,27	0,32	0,33	0,27	0,32	0,33	0,00	0,00	0,00
P4	75	0,63	0,84	0,90	0,63	0,84	0,90	0,00	0,00	0,00
P5	50	2,58	7,82	10,53	2,58	7,82	10,53	0,00	0,00	0,00
P5	60	0,74	1,77	2,70	0,74	1,77	2,70	0,00	0,00	0,00
P5	75	0,04	0,23	0,23	0,04	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00
P6	50	40,24	48,63	50,98	51,45	61,42	64,12	18,76	24,88	26,81
P6	60	51,15	68,29	73,74	57,40	75,90	81,69	12,79	24,00	30,28
P6	75	34,97	54,50	62,73	35,39	54,95	63,20	0,64	1,00	1,26
	Ortalama	8,83	12,71	14,26	9,82	13,87	15,45	1,79	2,77	3,24

**Tablo 8.** Üretim Kapasitesi Değişikliklerinin Esneklik Tasarımlarının Ortalama Maliyet Açısından Performansına Etkisi

Patern	Ceza	Esnek olmayan – İkili zincir (% fark)			Esnek olmayan – Tam esnek (% fark)			İkili zincir – Tam esnek (% fark)		
		Kapasite:50	Kapasite:60	Kapasite:75	Kapasite:50	Kapasite:60	Kapasite:75	Kapasite:50	Kapasite:60	Kapasite:75
P1	3	18,64	1,10	0,01	18,64	1,10	0,01	0,00	0,00	0,00
P1	7	31,79	1,61	0,01	31,79	1,61	0,01	0,00	0,00	0,00
P1	10	37,77	1,98	0,01	37,77	1,98	0,01	0,00	0,00	0,00
P2	3	0,63	0,86	5,49	0,63	0,86	5,49	0,00	0,00	0,00
P2	7	0,79	1,05	9,48	0,79	1,05	9,48	0,00	0,00	0,00
P2	10	0,83	1,11	11,39	0,83	1,11	11,39	0,00	0,00	0,00
P3	3	0,53	0,52	0,36	0,53	0,52	0,36	0,00	0,00	0,00
P3	7	0,43	0,52	0,54	0,43	0,52	0,54	0,00	0,00	0,00
P3	10	0,18	0,72	0,30	0,18	0,72	0,30	0,00	0,00	0,00
P4	3	0,13	0,27	0,63	0,13	0,27	0,63	0,00	0,00	0,00
P4	7	0,19	0,32	0,84	0,19	0,32	0,84	0,00	0,00	0,00
P4	10	0,20	0,33	0,90	0,20	0,33	0,90	0,00	0,00	0,00
P5	3	2,58	0,74	0,04	2,58	0,74	0,04	0,00	0,00	0,00
P5	7	7,82	1,77	0,23	7,82	1,77	0,23	0,00	0,00	0,00
P5	10	10,53	2,70	0,23	10,53	2,70	0,23	0,00	0,00	0,00
P6	3	40,24	51,15	34,97	51,45	57,40	35,39	18,76	12,79	0,64
P6	7	48,63	68,29	54,50	61,42	75,90	54,95	24,88	24,00	1,00
P6	10	50,98	73,74	62,73	64,12	81,69	63,20	26,81	30,28	1,26
	Ortalama	14,05	11,60	10,15	16,11	12,81	10,22	3,91	3,73	0,16

Ceza maliyeti ve fabrika üretim kapasitesi değişikliklerinin esneklik tasarımlarının toplam maliyet açısından performanslarına etkisini değerlendirmek için Tablo 7 ve Tablo 8 sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, ceza maliyeti arttıkça süreç esnekliğinin toplam maliyet açısından sağlamış olduğu avantaj artmaktadır. Örneğin, esnek olmayan üretim sistemi tasarımı ve ikili zincir tasarımı altındaki ortalama maliyet farkları, ceza maliyeti arttıkça %8,83, %12,71 ve %14,26 olarak artış göstermiştir. Fabrikaların üretim kapasitesindeki artış ise, süreç esnekliğinin toplam maliyet açısından sağlamış olduğu avantajı azaltmaktadır. Örneğin, esnek olmayan üretim sistemi tasarımı ve ikili zincir tasarımı altındaki ortalama maliyet farkları, üretim kapasitesi arttıkça %14,05, %11,60 ve %10,15 olarak azalış göstermiştir. Fakat daha önce de bahsedildiği üzere tam esnek sistem P1, P2, P3, P4 ve P5 talep yapıları altında ceza maliyeti ve üretim kapasitesinde değişiklikler olsa bile ikili zincir tasarımına göre herhangi bir maliyet avantajı sağlamamaktadır.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada süreç esnekliğine sahip sistemlerde üretilen ürünler için talep yapısı değişikliklerinin envanter maliyetlerine etkisi araştırılmıştır. Bu çerçevede literatürde süreç esnekliği problemi için geliştirilmiş olan bir karar destek modelinden faydalanılmıştır. Esnek olmayan tasarım, zincirleme tasarım ve tam esneklik tasarımı olmak üzere üç farklı esneklik seviyesine ve tasarımına sahip üretim sistemi üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Söz konusu problem için 6 farklı talep ortalaması durumu, 3 farklı birim ceza maliyeti ve 3 farklı kapasite oranı olmak üzere toplamda 54 (6 x 3 x 3) senaryo incelenmiştir. Sonuçların daha da genellenabilir olması amacıyla, her bir senaryo için ilgili talep ortalamaları dikkate alınarak 30 farklı örnek ele alınmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, ürünler için fabrikaların karşı karşıya olduğu talep yapılarının değişmesinin performans kriterlerinin değerlerini ve fabrikaların süreç esnekliğinden faydalanma oranlarını büyük ölçüde etkilediği gözlemlenmektedir. Dolayısıyla, süreç esnekliğinin sağlamış olduğu maliyet avantajı karşılaşılan talep yapılarına göre değişmektedir. Elde edilen bulgulara göre, tam esnek tasarım ikili zincir tasarımına göre durağan, mevsimsel, artan, azalan ve hareketli talep

yapıları altında toplam maliyet açısından herhangi bir avantaj sağlamamıştır. Ancak, karma talep yapısı durumunda, tam esnek tasarım ikili zincir tasarımına göre ortalama toplam maliyet açısından %15,60 avantaj sağlamıştır. Bu sonuçlar ışığında üretilecek olan ürünler için karşılaşılan talep yapılarının özelliklerine göre tam esnek üretim sistemi kurmanın maliyetine katlanılıp katlanılmayacağına karar vermenin mantıklı olacağı görülmektedir. Keza bazı talep yapıları için ikili zincir tasarımının yeterli olabileceği ve tam esnek üretim sistemi kurmak için söz konusu olan maliyete katlanmanın yersiz olacağı görülmektedir.

İncelenen problemde ürünler için karşılaşılan taleplerin planlama ufkunun başında bulunduğu varsayılmaktadır. Ancak birçok gerçek hayat probleminde, ilgili taleplerin kesin olarak önceden bilinmesinin mümkün olmadığı ortadadır. Dolayısıyla, süreç esnekliği problemi üzerine yapılacak olan gelecek çalışmalarda ürünler için gerçekleşecek olan talebin belirsiz olması faktörü göz önüne alınabilir ve bu varsayım altında söz konusu talep yapısı değişimlerinin stok optimizasyonuna etkisi incelenebilir.

#### Kaynakça

- CHOU, M. C., C. P. TEO, & H. ZHENG (2008). *Process flexibility: Design, evaluation, and applications*. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 20, 59-94.
- ÇİMEN, M., BELBAĞ, S., & SOYSAL, M. (2016). *Üretimde Esneklik ve Stok Yönetimi: Stok Optimizasyonu İçin Bir Karar Destek Modeli*. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 360-379.
- DENG, T. & Z. J. M. SHEN (2013). *Process flexibility design in unbalanced networks*. *Manufacturing & Service Operations Management*, 15 (1), 24-32.
- FRANCAS, D., M. KREMER, S. MINNER, & M. FRIESE (2009). *Strategic process flexibility under lifecycle demand*. *International Journal of Production Economics*, 121 (2), 427-440.
- ÖZEN, U., DOĞRU, M. K. & TARIM, S. A. (2010). *Static-dynamic uncertainty strategy*. *Bell Laboratories Technical Report*.
- SIMCHI-LEVI, D. & Y. WEI (2015). *Worst-case analysis of process flexibility designs*. *Operations Research*, 63 (1), 166-185.
- SOYSAL, M., ÇİMEN, M., & BELBAĞ, S., (2016). *Sabit üretim hazırlık maliyetinin süreç esnekliğinde stok optimizasyonuna etkisi*. *Ulusal bir dergide değerlendirmede*.
- TANRISEVER, F., D. MORRICE, & D. MORTON (2012). *Managing capacity flexibility in make-to-order production environments*. *European Journal of Operational Research*, 216 (2), 334-345.