

Optimization of sales plans in closed-loop supply chains with non-stationary consumer behavior

Emre Nadar

Bilkent University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 06800, Bilkent/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Received: 07/03/2019

Revision 22/07/2019

Accepted: 06/08/2019

Highlights

- Controlling sales to delay product diffusion for a remanufacturable durable good
- Formulation of a DP algorithm for the sales planning problem
- Rejection of some initial demand if brand loyalty or remanufactured item demand drops over time

Keywords

Closed-loop supply chains
 Remanufacturing
 Sales planning
 Dynamic programming

In this study, we consider a manufacturer who sells new and remanufactured versions of a product over a finite life cycle. Demand arises according to the Bass diffusion process. The manufacturer may delay product diffusion by controlling sales. We formulate a dynamic programming (DP) algorithm for the manufacturer's sales planning problem and conduct numerical experiments to analyze the impacts of non-stationary consumer behavior on the optimal sales plan that may involve partial demand fulfilment in certain time periods.

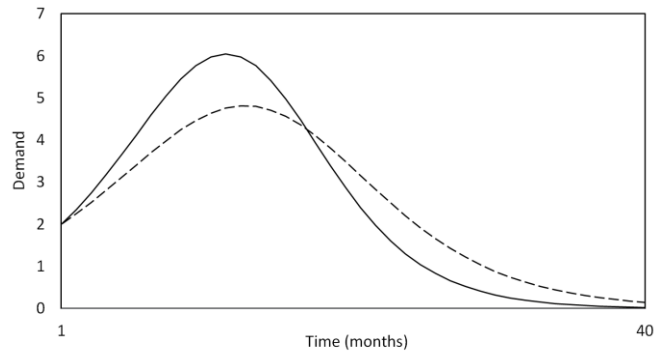


Figure A. New product diffusion for two different sales plans.

Purpose: We study the sales planning problem for a manufacturer who offers new and remanufactured versions of a durable good over a finite life cycle. The manufacturer may manipulate product diffusion by controlling sales, in order to improve the total remanufacturing volume in the long run. We investigate the impacts of non-stationary consumer behavior on the optimal sales plan that may involve partial demand fulfilment in certain time periods.

Theory and Methods: We develop a dynamic model in which demand follows the Bass diffusion process, end-of-use products required for remanufacturing are constrained by earlier sales, and the customers' brand loyalty and the remanufactured item demand vary over time. The objective of the manufacturer is to find the sales plan that maximizes its total profit from sales of new and remanufactured items over the entire selling horizon. We propose the use of a DP algorithm to solve this optimization problem for industrial-scaled instances.

Results: With our DP algorithm, we conduct numerical experiments and investigate how the optimal sales plans change with respect to the parameters of the diffusion process and consumer behavior. Numerical results reveal that the total amount of demand that is immediately met is lower if the customer brand loyalty or the remanufactured item demand decreases over time. Also, the consumer behavior has a little effect on remanufacturing volumes when the end-of-use returns are limited.

Conclusion: If the manufacturer introduces a new product with distinct design and/or features, but similar products appear in later stages of the life cycle, both the customer brand loyalty and the remanufactured item demand are expected to drop over time. In such environments, it is profitable to delay product diffusion by rejecting a significant amount of demand in very early stages of the life cycle.



Tüketici davranışlarının zamanla değiştiği kapalı devre tedarik zincirlerinde satış planı eniyilemesi

Emre NADAR

Bilkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06800, Bilkent/ANKARA

Öz

Bu çalışmada, yeni ve yeniden imal edilen olmak üzere iki farklı şekilde satılabilen ürünlerin satış planını eniyileme problemi ele alınmaktadır. Ürün talep eğrisi, literatürde yaygın olarak kullanılan ve gerçek verilerle birçok dayanıklı ürün için geçerliliği onaylanmış Bass yayılım sürecini takip etmektedir. Üretici belirli dönemlerde belirli taleplerin karşılanmasını geciktirerek yayılım sürecini yavaşlatabilmektedir. Satılan ürünlerin bir kısmı belirli bir süre kullanıldıktan sonra üreticiye geri dönerek yeniden imalata hazır hale gelmektedir. Yayılım sürecinin yavaşlatılarak yeniden imal edilen ürün talebinin kullanılmış ürün arzıyla daha etkin bir şekilde eşleştirilmesi üretici açısından daha kazançlı olabilmektedir. Müşterinin ürünün markasına (veya üreticisine) bağlılığı ve yeniden imal edilen ürün talebi zamanla değişebilmektedir. Bu satış planı eniyileme problemini makul ölçekli örneklerde çözebilen bir dinamik programlama algoritması önerilmektedir. Sayısal çalışmalarda bu algoritma kullanılarak en iyi satış politikalarının yayılım süreci ve tüketici davranışı parametrelerine göre değişimi incelenmiştir. Müşterinin markaya bağlılığının veya yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla azalmasının, yeniden imalattan daha fazla gelir elde etmek için zamanında karşılanan toplam talep sayısını azalttığı gözlenmiştir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 07/03/2019

Düzeltilme: 22/07/2019

Kabul: 06/08/2019

Anahtar Kelimeler

Kapalı devre tedarik zincirleri

Yeniden imalat

Satış planlama

Dinamik programlama

Keywords

Closed-loop supply chains

Remanufacturing

Sales planning

Dynamic programming

Optimization of sales plans in closed-loop supply chains with non-stationary consumer behavior

Abstract

In this study, we study the sales plan optimization problem for a manufacturer who can offer both new and remanufactured versions of a product. Demand follows the Bass diffusion process that is widely used in the literature and has been validated with real data for many durable goods. The manufacturer may slow down the diffusion process by delaying the fulfillment of a certain amount of demand in certain time periods. Some of the products sold in earlier periods are returned to the manufacturer in later periods and become available for remanufacturing. The manufacturer may be better off by slowing down the diffusion process to better match the demand for remanufactured products with the used product supply. Customers' loyalty to the brand (or manufacturer) of the product and the demand for remanufactured products may vary over time. We propose the use of a dynamic programming algorithm to solve this optimization problem for industrial-scaled instances. With this algorithm we conduct numerical experiments and investigate how the optimal sales policies change with respect to the parameters of the diffusion process and consumer behavior. Numerical results reveal that if the customer loyalty to the brand or the demand for remanufactured products decreases over time, the total amount of demand that is immediately met drops in anticipation of generating more revenue from remanufacturing.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tüketici davranışını anlamak, yöneylem araştırması ve yönetim bilimi alanlarındaki araştırmacılar için her zaman bir zorluk olmuştur. Bass [1], tüketicilerin piyasaya yeni sürülen bir ürünü satın alma zamanlamasını açıklayan bir yayılım modeli geliştirerek tüketici davranışını inceleyen literatüre önemli bir katkıda bulundu. Bu yayılım modelinde, ürünü satın alan tüketiciler “yenilikçi” ve “taklitçi” olmak üzere iki farklı gruba ayrılır. Yenilikçiler, diğer tüketicilerden bağımsız bir şekilde ürünü satın alırlar. Ancak taklitçiler ürünü önceden satın alanlardan öğrenerek etkilenirler. Dolayısıyla yayılım sürecinin ilk dönemlerinde yenilikçilerin sonraki dönemlerde taklitçilerin sayısının fazla olması beklenir. Bu yayılım modelinde, bir

tüketicinin herhangi bir dönemde ürünü satın alma olasılığı önceden satın alan müşterilerin sayısı ile doğrusal olarak artmaktadır. Bu yayılım modeliyle, Bass [1] birçok farklı dayanıklı ürün grubu için ürün yaşam döngüsü boyunca satış miktarlarını az hatayla tahmin edebilen matematiksel bir formül geliştirmiştir. Ayrıntılar için Bass'a [2] bakınız.

Bass yayılım modeli satış planı eniyileme probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [3-7]. Ancak, Bass yayılım modelinin kapalı devre tedarik zincirlerinde satış planlaması üzerindeki etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir. Geleneksel tedarik zincirlerinden farklı olarak, kapalı devre tedarik zincirlerinde tüketicilerin kullandığı ürünlerin bir kısmı üretici tarafından toplanır. Toplanan ürünlerin yeniden imalatı veya geri dönüşümüyle üretici bir yandan atık miktarını sınırlayan yasal düzenlemelere uyum sağlayabilmekte diğer yandan da kazanç elde edebilmektedir [8]. Yeniden imalat yönteminde toplanan ürün, tekrar kullanılmayacak bileşenleri tamir edilerek veya yeni bileşenlerle değiştirilerek, yeni ürüne benzer bir duruma getirilir [9]. Literatürde özellikle son yirmi yılda kapalı devre tedarik zincirlerinin yönetimiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların kapsamlı literatür taramaları da bulunmaktadır [10-16].

Nadar vd. [17] yeniden imalatın mümkün olduğu ürünler için satış planı eniyileme problemini Bass yayılım modelini kullanarak ele almışlardır. Nadar vd. [17] Bass yayılım modeli parametrelerine (yenilikçi ve taklitçi katsayıları), tüketici davranışı parametrelerine (müşterinin ürünün markasına/üreticisine bağlılığını, yeniden imal edilen ürün talebini ve kullanılan ürünün üreticiye iade oranını ifade eden parametreler) ve üreticinin imalat sisteminin parametrelerine (yeni ürün kârlılığı ve yeniden imal edilen ürün kârlılığı) bağlı olarak, bazı talepleri belirli dönemlerde karşılamamanın ve böylece yayılım sürecini yavaşlatmanın kârlı olabileceği durumları ortaya koymuşlardır. Yeniden imal edilen ürün satışının yeni ürün satışından daha kârlı olması durumunda, yayılım süreci yavaşlatılarak yeniden imal edilen ürün talebi kullanılmış ürün arzıyla yüksek oranlarda eşleştirilebilir ve üreticinin toplam kazancı artabilir. Ancak Nadar vd. [17] çalışmalarında tüketici davranışlarının durağan olduğunu varsaymışlardır.

Bu çalışmada, müşterinin ürünün markasına bağlılığının ve yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla değişebileceği bir ortamda satış planı eniyileme problemi ele alınmaktadır. Ürün talebi sonlu yaşam döngüsü boyunca Bass yayılım modeline göre oluşmaktadır. Bu yayılım modeli ele alınan problemi oldukça karmaşık doğrusal olmayan bir probleme dönüştürmektedir. Makul ölçekli problemlerde en iyi satış politikalarını hesaplayabilmek için bir dinamik programlama algoritması önerilmektedir. Bu algoritmanın kullanıldığı sayısal bir çalışmayla, zamanla değişen tüketici davranışlarının en iyi satış politikalarına etkileri incelenmektedir. Müşterinin markaya bağlılığının zamanla azaldığı bir senaryoda, bu bağlılığın zamanla arttığı senaryoya kıyasla, yeniden imalattan kazancı artırmak amacıyla ilk dönemlerde daha fazla talebin zamanında karşılanmadığı görülmüştür. Ayrıca yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla azaldığı başka bir senaryoda, bu talebin zamanla arttığı senaryoya kıyasla, yine ilk dönemlerde daha fazla talebin reddedildiği görülmüştür.

2. SATIŞ PLANI ENİYİLEME PROBLEMİ (SALES PLAN OPTIMIZATION PROBLEM)

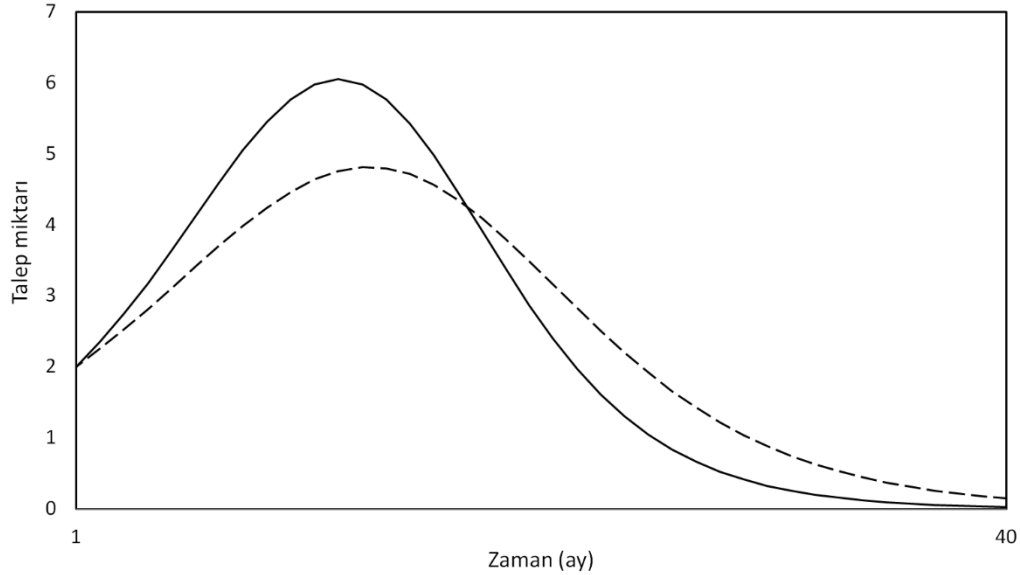
Piyasaya yeni sürülen ve yeniden imalatı mümkün olan sonlu bir yaşam döngüsüne sahip bir ürün düşünelim. Örnek olarak birkaç yıl boyunca satışı yapılan bir akıllı telefon düşünülebilir. Akıllı telefon üreticilerinden Apple yeniden imal edilen ürünlerini web sayfasından satmaktadır (www.apple.com/shop/refurbished/iphone). Her müşteri yaşam döngüsü boyunca bu üründen en fazla bir birim satın alır. Ürünün talebi Bass yayılım sürecini takip ederek zamanla değişir.

Bass'ın [1] önerdiği yayılım sürecinde toplam tüketici sayısı m , yenilikçilerin sayısının toplam tüketici sayısına oranı p ve yayılma etkisinin büyüklüğü q ile ifade edilir. Ayrıca p yenilikçi katsayısı ve q taklitçi katsayısı olarak da bilinmektedir. Her talebin her dönem anında karşılandığı durumda, $t \geq 1$ dönemindeki talep şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{d}_t = \left(p + \frac{q\tilde{D}_t}{m} \right) (m - \tilde{D}_t)$$

öyle ki \tilde{D}_t t dönemine kadar gerçekleşen toplam satış hacmidir ($\tilde{D}_1 = 0$ ve $\tilde{D}_t = \sum_{k=1}^{t-1} \tilde{d}_k$, $\forall t > 1$). Literatürde $\left(p + \frac{q\tilde{D}_t}{m} \right)$ terimi herhangi bir t döneminde bir tüketicinin ürünü satın alma olasılığı olarak ifade

edilir ve çok büyük bir t için $\widetilde{D}_t \rightarrow m$ olduğundan $p + q \leq 1$ olduğu varsayılır. $(m - \widetilde{D}_t)$ terimi ise herhangi bir t döneminde henüz talepte bulunmamış ancak gelecekte talepte bulunacak müşteri sayısını vermektedir. Bass yayılım sürecine göre zamanla değişen taleplerin örnek bir gösterimi için Şekil 1'e bakınız.



Şekil 1. İki farklı satış planı için talep eğrileri: Çizgili eğri her dönem her talebin karşılandığı durumdaki talepleri (Bass'ın [1] önerdiği yayılım süreci) ve kesik çizgili eğri ilk gözlemlenen taleplerin %75'inin karşılandığı ama geçmişten gelen taleplerin karşılanmadığı durumdaki talepleri göstermektedir. $p = 0.02$, $q = 0.20$ ve $m = 100$.

Bu çalışmada önerilen yayılım modelinde, Bass yayılım sürecinin aksine, üretici istediği zaman istediği miktarda talebi reddedebilir. t döneminde gerçekleşen satış hacmini s_t olarak ifade edelim. Üretici ayrıca mevcut herhangi bir kullanılmış ürünü yeniden imal edip tekrar satışa sunabilir. t döneminde yeni ve yeniden imal edilen ürünler için gerçekleşen satış miktarlarını sırasıyla n_t ve r_t ile ifade edelim. Sonuç olarak $s_t = n_t + r_t$. Bass yayılım süreci bu duruma uyarlanarak $t \geq 1$ dönemindeki talep şu şekilde hesaplanır:

$$d_t = \left(p + \frac{qS_t}{m} \right) (m - D_t) \quad (1)$$

öyle ki S_t t dönemine kadar gerçekleşen toplam satış hacmidir ($S_1 = 0$ ve $S_t = \sum_{k=1}^{t-1} s_k$, $\forall t > 1$) ve D_t t dönemine kadar gözlemlenen toplam talep miktarıdır ($D_1 = 0$ ve $D_t = \sum_{k=1}^{t-1} d_k$, $\forall t > 1$). Yukarıdaki talep hesabında taklitçiler, önceden gözlemlenen taleplerden değil, sadece önceden gerçekleşen satışlardan etkilenmektedirler. Ancak eğer t döneminde bir müşteri ürünü talep ediyorsa, satın alma gerçekleşsin veya gerçekleşmesin, yayılım sürecinin kapsadığı müşteri sayısı bir artar ve yayılım sürecinin ileride kapsayacağı müşteri sayısı bir azalır. Yukarıdaki talep hesabı satış planı eniyileme probleminde yaygın olarak kullanılmaktadır [3-7]. (Bu talep hesabı Bass yayılım sürecinden farklılık gösterdiği için, t dönemindeki talep miktarı ve t dönemine kadar gözlemlenen toplam talep miktarı, Bass yayılım sürecinin tanımında kullanılan \widetilde{d}_t ve \widetilde{D}_t parametreleri yerine, d_t ve D_t parametreleri ile ifade edilmiştir.) Her dönem her talebin anında karşılanması durumunda, bu yayılım modeli Bass yayılım sürecine indirgenir ($d_t = \widetilde{d}_t$ ve $D_t = \widetilde{D}_t$). Bu yayılım modeline göre örnek iki farklı satış planı için zamanla değişen taleplerin gösterimi için Şekil 1'e bakınız. Taleplerin bir kısmının karşılanmaması durumunda yayılım sürecinin yavaşladığı Şekil 1'de görülmektedir.

Herhangi bir t döneminde talebi karşılanmayan müşterilerin α_t oranlık kesimi $t + 1$ dönemine kadar ürünü talep etmeyi sürdürür. $1 - \alpha_t$ oranlık kesimi ise sonraki dönemlerde ürünü bir daha talep etmez. Satış

planlama literatüründe daha kısıtlayıcı varsayımlar görülmektedir [3-7, 17]. α_t oranının yüksek olması müşterilerin ürünün markasına veya üreticisine güçlü bir şekilde bağlı olduğu anlamına gelmektedir.

Herhangi bir t döneminde satılan ürünlerin β_i oranlık kesimi tüketiciler tarafından kullanılıp üreticiye iade edilir ve bu kullanılmış ürünler yeniden imalat sürecini tamamlayıp $t + i$ döneminde satışa hazır hale getirilir, $\forall i \geq 1$, ve $\sum_i \beta_i \leq 1$. Herhangi bir dönemde satılan ürünlerin $1 - \sum_i \beta_i$ oranlık kesimi toplanamaz veya yeniden imal edilemez. Literatürde benzer veya daha kısıtlayıcı varsayımlar bulunmaktadır [17-21]. Akıllı telefon piyasasında yapılan bir çalışmaya göre akıllı telefon kullanıcılarının yaklaşık %12'si kullanılmış telefonlarını ya geri dönüşüm yapan şirketlere satmakta ya da yeni nesil akıllı telefon almak için üreticiyle takas etmektedir [22]. Başka bir çalışmaya göre de akıllı telefon kullanıcılarının yaklaşık %20'si telefonlarını bir yıl ve %41'i iki yıl kullanmaktadır [23]. Bu çalışmalar, sonlu yaşam döngüsü boyunca yeniden imalata girebilecek önemli miktarlarda kullanılmış ürün toplanabileceğini göstermektedir.

Herhangi bir t döneminde ilk defa ürün talep eden müşterilerin γ_t oranlık kesimi varsa yeniden imal edilen ürün almak ister. Bu kesimden bir müşteri yeniden imal edilen ürün yoksa yeni ürün almak ister. Geriye kalan $1 - \gamma_t$ oranlık kesim ise sadece yeni ürün almak ister. Tüm müşteriler ürünün yaşam döngüsü boyunca ilk tercihlerine sadık kalırlar. Deneysel çalışmalar, bu tür tüketici gruplarının varlığını doğrular [19, 20, 24-27].

Yalnızca yeni ürün almayı düşünen ve t döneminden önce talepleri karşılanmamış ancak t dönemde talepleri devam eden müşterilerin sayısını b_{1t} ile ifade edelim. Yeniden imal edilen ürünleri öncelikle tercih eden ve t döneminden önce talepleri (yeni veya yeniden imal edilen ürünlerle) karşılanmamış ancak t dönemde talepleri devam eden müşterilerin sayısını b_{2t} ile ifade edelim. Herhangi bir dönemde gerçekleşebilecek toplam satış hacmi o dönemde gözlemlenen toplam talep ile sınırlıdır:

$$0 \leq s_t = n_t + r_t \leq d_t + b_{1t} + b_{2t}, \forall t \geq 1. \quad (2)$$

Ayrıca herhangi bir dönemde gerçekleşebilecek yeniden imal edilen ürünlerin toplam satış hacmi o dönemde yeniden imal edilen ürünlerin talebiyle sınırlıdır:

$$0 \leq r_t \leq \gamma_t d_t + b_{2t}, \forall t \geq 1. \quad (3)$$

Yalnızca yeni ürün almayı düşünen müşteriler yeniden imal edilen ürünleri öncelikle tercih eden müşterilerden önce ürün alımlarını gerçekleştirirler. Bu makul varsayım altında b_{1t} ve b_{2t} şu şekilde hesaplanır: Herhangi bir $t \geq 1$ döneminde, yalnızca yeni ürün almayı düşünen müşterilerin talebi yeni ürün satış rakamından fazla veya bu rakama eşit ise $((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} \geq n_t)$ ve yeniden imal edilen ürünü öncelikle tercih eden müşterilerin talebi de yeniden imal edilen ürün satış rakamından fazla veya bu rakama eşit ise $(\gamma_t d_t + b_{2t} \geq r_t)$, yukarıdaki varsayım gereği mevcut yeni ürünlerin tamamı yeni ürün müşterileri tarafından alınmıştır ve talebi karşılanmayan hem yeni ürün müşterilerinin hem de yeniden imal edilen ürün müşterilerinin α_t oranlık kesimleri bir sonraki dönemde ürünü talep etmeye devam eder $(b_{1(t+1)} = \alpha_t((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} - n_t)$ ve $b_{2(t+1)} = \alpha_t(\gamma_t d_t + b_{2t} - r_t)$). Ancak, yeniden imal edilen ürün talebinin bir kısmının yeni ürünle karşılanması planlanır ise (bu koşul altında $\gamma_t d_t + b_{2t} > r_t$ olmak zorundadır), yukarıdaki varsayım gereği yeni ürün satış rakamının yalnızca yeni ürün almayı düşünen müşterilerin talebinden fazla olması gerekir $((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} < n_t)$. Bu koşullar altında, bu dönemde yeni ürün müşterilerinin tamamının talebi karşılanır $(b_{1(t+1)} = 0)$ ve karşılanmayan taleplerin tamamı yeniden imal edilen ürün müşterilerine aittir $(b_{2(t+1)} = \alpha_t(d_t + b_{1t} + b_{2t} - n_t - r_t))$. Sonuç olarak, $b_{11} = b_{21} = 0$ olduğu varsayılarak, herhangi bir $t \geq 1$ döneminde

$$\begin{aligned} & (b_{1(t+1)}, b_{2(t+1)}) \\ &= \begin{cases} (\alpha_t((1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} - n_t), \alpha_t(\gamma_t d_t + b_{2t} - r_t)), & (1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} \geq n_t \text{ ve } \gamma_t d_t + b_{2t} \geq r_t \text{ ise,} \\ (0, \alpha_t(d_t + b_{1t} + b_{2t} - n_t - r_t)), & (1 - \gamma_t)d_t + b_{1t} < n_t \text{ ve } \gamma_t d_t + b_{2t} > r_t \text{ ise.} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Herhangi bir dönemde gerçekleşebilecek yeniden imal edilen ürünlerin toplam satış hacmi o dönemde kullanılmış ürün stoku ile de sınırlıdır. t döneminde yeniden imalata hazır kullanılmış ürün miktarını e_t ile ifade edersek

$$0 \leq r_t \leq e_t, \forall t \geq 1. \quad (5)$$

Yeniden imalata hazır kullanılmış ürün miktarları şu şekilde hesaplanır: $e_1 = 0$ ve her bir $t \geq 1$ döneminde

$$e_{t+1} = e_t - r_t + \sum_{i=1}^t \beta_i s_{t+1-i}. \quad (6)$$

Yeni ürünün birim üretim maliyetini c_n ile satış fiyatını ise p_n ile tanımlayalım. Yeniden imal edilen ürünün birim üretim maliyetini c_r ile satış fiyatını ise p_r ile tanımlayalım. $p_n \geq c_n$ ve $p_r \geq c_r$ olduğunu varsayıyoruz. Ürünün T dönemden oluşan yaşam döngüsü boyunca üreticinin toplam kazancını eniyileme problemi aşağıdaki gibi ifade edilir: (1)-(6) numaralı kısıtlar altında

$$\max_{n_1, \dots, n_T, r_1, \dots, r_T} \sum_{t=1}^T [(p_n - c_n)n_t + (p_r - c_r)r_t].$$

Bu eniyileme problemi (1) numaralı kısıttaki talep hesabından dolayı doğrusal olmayan bir problemdir ve çözümü zordur. Bu problemin parametreleri ve karar değişkenleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

En kârlı satış planını $(n_1^*, \dots, n_T^*, r_1^*, \dots, r_T^*)$ ile ifade edelim. $p_n - c_n \geq p_r - c_r$ ise yeniden imal edilen ürünü tercih eden ama bulunmaması durumunda yeni ürün alacak müşterilerin taleplerini yeniden imal edilen ürünle karşılamanın ekonomik getirisi yoktur. Dolayısıyla yeniden imal edilen ürünlerin satış hacmini artırmak amacıyla belirli dönemlerde belirli miktarlarda talep karşılamayarak yayılım sürecini yavaşlatmak kazanç sağlamayacaktır. Aksine herhangi bir talebin karşılanmaması daha kârlı olan yeni ürün satışlarını azaltabilir. Sonuç olarak $n_t^* = \bar{d}_t$ ve $r_t^* = 0, \forall t \geq 1$. $p_n - c_n \geq p_r - c_r$ olduğunda eniyileme probleminin çözümü bilindiğinden, $p_n - c_n < p_r - c_r$ olduğunu varsayıyoruz. Yeniden imalat yeni malzeme ihtiyacını ve enerji tüketimini genellikle azalttığından bu varsayım birçok durumda sağlanmaktadır [24, 25, 28].

Tablo 1. Problem parametreleri ve değişkenleri.

Parametreler	Açıklamalar
p	Yenilikçi katsayısı
q	Taklitçi katsayısı
m	Toplam müşteri sayısı
α_t	t döneminde talebi karşılanmayan müşterilerden $t + 1$ dönemde ürünü talep etmeye devam edenlerin oranı
β_i	t döneminde ürün alan müşterilerden $t + i$ dönemde kullanılmış ürünlerini iade edenlerin oranı
γ_t	t döneminde ilk defa ürün talep eden müşterilerden yeniden imal edilen ürün talep edenlerin oranı
p_n	Yeni ürün birim satış fiyatı
c_n	Yeni ürün birim üretim maliyeti
p_r	Yeniden imal edilen ürün birim satış fiyatı
c_r	Yeniden imal edilen ürün birim üretim maliyeti
Karar değişkenleri	Açıklamalar
n_t	t döneminde yeni ürün satış hacmi
r_t	t döneminde yeniden imal edilen ürün satış hacmi
Durum değişkenleri	Açıklamalar
D_t	t dönemine kadar gözlemlenen toplam talep miktarı
S_t	t dönemine kadar gerçekleşen toplam satış hacmi
$e_t = (e_t^0, e_t^1, \dots, e_t^{T-1})$	t döneminde kullanılmış ürün miktarı ve t döneminden önce ürün alan tüketiciler tarafından t döneminden sonraki her bir dönemde iade edilecek toplam ürün miktarı
$b_t = (b_{1t}, b_{2t})$	t döneminden önce talepleri karşılanmamış ancak t döneminde talepleri devam eden yeni ürün ve yeniden imal edilen ürün müşterilerinin sayıları

3. ÇÖZÜM YÖNTEMİ (SOLUTION METHOD)

Satış planı eniyileme problemini çözebilmek için dinamik programlama (DP) algoritması geliştirilebilir: t döneminin başında stokta bulunan kullanılmış ürün miktarını e_t^0 ile ifade edelim. t döneminden önce ürün alan tüketiciler tarafından $t + k$ dönemde iade edilecek toplam kullanılmış ürün miktarını ise e_t^k ile ifade

edelim, $\forall k \in \{1, \dots, T-1\}$. $(e_t^0, e_t^1, \dots, e_t^{T-1})$ vektörünü de e_t ile ifade edelim. $e_1 = (0, 0, \dots, 0)$ olduğu varsayılarak e_{t+1} , $\forall t \geq 1$, aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$e_{t+1}^k = \begin{cases} e_t^0 - r_t + e_t^1 + \beta_1 s_t, & k = 0 \text{ ise,} \\ e_t^{k+1} + \beta_{k+1} s_t, & k \in \{1, \dots, T-2\} \text{ ise,} \\ \beta_T s_t, & k = T-1 \text{ ise.} \end{cases} \quad (7)$$

Yukarıdaki gösterimle (5) numaralı kısıt aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$0 \leq r_t \leq e_t^0, \forall t \geq 1. \quad (8)$$

(b_{1t}, b_{2t}) vektörünü b_t ile gösterelim. DP algoritmasında yeniden imalata hazır kullanılmış ürün miktarı hesabının her dönem yapılabilmesi için durum uzayında e_t bulunmalıdır. Buna ilaveten, her bir dönemde talep hesabının yapılabilmesi için durum uzayında D_t , S_t ve b_t bulunmalıdır. Bu durum değişkenleri ile DP özinyelemesi (1), (2), (3), (4), (7) ve (8) numaralı kısıtlar altında aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$v_t(D_t, S_t, b_t, e_t) = \max_{n_t, r_t} \{(p_n - c_n)n_t + (p_r - c_r)r_t + v_{t+1}(D_{t+1}, S_{t+1}, b_{t+1}, e_{t+1})\}, \forall t \leq T,$$

ve $v_{T+1}(\dots) = 0$ öyle ki $D_{t+1} = D_t + d_t$ ve $S_{t+1} = S_t + s_t$. Bu özinyelemenin çözümüyle bulunacak $v_1(0, \dots, 0)$ T dönemden oluşan ürün yaşam döngüsü boyunca erişilebilecek en yüksek toplam kâra eşittir. Bu özinyelemenin çözümü için durum ve karar değişkenlerinin tamsayı olduğu varsayılmaktadır. Herhangi bir $t \geq 1$ döneminde, yayılım sürecinde talep hesabının doğrusal olmayan yapısı ve α_t , β_i ve γ_t parametrelerinin varlığı durum değişkenlerinin sürekli uzaydan değerler almalarına sebep olabilmektedir. Durum değişkenleri sürekli uzaydan değerler aldıklarında en yakın tamsayıya yuvarlanmaktadır. DP özinyelemesinin durum ve karar değişkenleri Tablo 1'de özetlenmektedir.

Büyük ölçekli satış planlama problemleri için, DP algoritmasında çok sayıda durum değişkeni ve her bir durum değişkeninin alabileceği çok sayıda farklı değer bulunmaktadır. Ayrıca her bir durumda alınabilecek karar sayısı çok fazladır. Dolayısıyla DP algoritmasının mevcut haliyle büyük ölçekli problemlerin çözümü mümkün değildir. Makul ölçekli problemleri çözebilmek ve böylece en iyi satış planlarını ve değişken tüketici davranışlarının bu planlara etkilerini inceleyebilmek için problemle ilgili birtakım sadeleştirmeler düşünülebilir. Kapalı devre tedarik zincirinin ve yayılım sürecinin temel dinamiklerini koruyarak aşağıdaki sadeleştirmeleri öneriyoruz:

- Eğer $i > 1$ ise $\beta_i = 0$ olduğunu varsayıyoruz. Bu varsayım altında, DP algoritmasının durum uzayında e_t vektörü yerine bu vektörün ilk elemanı olan e_t^0 değişkenini tutmak yeterlidir. Böylece durum değişkeni sayısı önemli ölçüde azalır.
- Yeniden imal edilen ürün taleplerinin stokta kullanılmış ürün bulunması durumunda hemen karşılanacağını varsayıyoruz. Bu taleplerin karşılanmaması durumunda yayılım sürecindeki değişimle gelecekte taleplerin karşılanmasında kullanılmış ürünlerden daha fazla yarar sağlanıp sağlanmayacağı net değildir. Ancak yine bu taleplerin karşılanmaması durumunda bir kısmı kaybedilecek diğer kısmı da gelecekte ya yeniden imal edilen ürünle ya da daha az kârlı yeni ürünle karşılanacaktır. Bu açıdan bakıldığında bu taleplerin mevcut kullanılmış ürünlerle hemen karşılanmasının makul bir varsayım olduğu görülebilir. Buna ilaveten, sadece yeni ürün almak isteyen müşterilerin taleplerinin de hemen karşılanacağını varsayıyoruz. Bu taleplerin karşılanmaması durumunda, her ne kadar yayılım süreci olumlu veya olumsuz etkilenecekse de bir kısmı kaybedilecek diğer kısmı da gelecekte tekrar sadece yeni ürünle karşılanabilecektir. Dolayısıyla bu taleplerin hemen karşılanmasının da makul bir varsayım olduğu görülebilir. Bu iki varsayım altında, DP algoritmasının karar uzayı, yeniden imal edilen ürün tercih eden ancak stokta kullanılmış ürün bulunmadığı için yeniden imal edilen ürün sunulamayan müşterilerden kaçına yeni ürün satışı yapılacağı (veya kaçına satış yapılmayacağı) kararına indirgenir. Ayrıca durum uzayında b_t vektörü yerine bu vektörün ikinci elemanı olan b_{2t} değişkenini tutmak yeterlidir.

Yukarıdaki sadeleştirmeler DP algoritmasının boyutlarını önemli ölçüde düşürmektedir. Bunlara ek olarak, en iyi satış politikasının bulunmasına engel olmadan DP algoritmasının durum uzayını küçültecek birtakım eşitsizlikler yazılabilir: Her bir t döneminde $D_t \leq \bar{D}_t$, $S_t \leq D_t$, $e_t^0 \leq \beta_1 S_t$, $b_{2t} \leq \max\{\alpha_1, \dots, \alpha_T\} \max\{\gamma_1, \dots, \gamma_T\} D_t$ ve $b_{2t} \leq \max\{\alpha_1, \dots, \alpha_T\} (D_t - S_t)$. Yukarıdaki sadeleştirmeler ve tüm

bu eşitsizliklerle, DP algoritması makul ölçekli örnekler için birkaç dakika içinde çözülebilmekte ve en iyi satış politikası hesaplanabilmektedir.

4. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA (NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION)

Değişken tüketici davranışlarının en iyi satış politikalarına etkilerini araştırmak için dört farklı senaryo ele alıyoruz:

- İlk senaryoda γ_t sabitken α_t zamanla artmaktadır. Yenilikçi bir müşterinin ürün talebi karşılanmadığında piyasada benzer işleve sahip başka bir ürüne, taklitçi bir müşteriye kıyasla, daha hızlı yönelmesi beklenebilir. Bu sebeple ve yenilikçi müşteri sayısının ilk dönemlerde taklitçi müşteri sayısından fazla olması sonraki dönemlerde ise bu durumun tersinin geçerli olması nedeniyle α_t zamanla artabilir.
- İkinci senaryoda γ_t sabitken α_t zamanla azalmaktadır. Ürün ilk satışa sunulduğunda piyasada benzer işleve sahip başka ürünler bulunmayabilir. Dolayısıyla ilk dönemlerde hemen karşılanmayan talepler kaybedilmezken sonraki dönemlerde başka üreticiler tarafından benzer ürünlerin piyasaya sürülmesiyle hemen karşılanmayan talepler kolay kaybedilebilir. Bu sebeple α_t zamanla azalabilir.
- Üçüncü senaryoda α_t sabitken γ_t zamanla artmaktadır. Yeniden imal edilen ürünlere yenilikçi müşterilerin daha az taklitçi müşterilerin ise daha fazla ilgi göstermesi beklenebilir. Bu sebeple ve yenilikçi müşteri sayısının ilk dönemlerde taklitçi müşteri sayısının da sonraki dönemlerde fazla olması nedeniyle γ_t zamanla artabilir.
- Son senaryoda α_t sabitken γ_t zamanla azalmaktadır. Ürün ilk satışa sunulduğunda piyasada benzer ürünlerin bulunmaması durumunda ilk dönemlerde fiyata duyarlı müşteriler yeniden imal edilen ürün talep edebilir. Ancak sonraki dönemlerde benzer işleve sahip ve görece ucuz ürünlerin piyasaya sürülmesiyle yeniden imal edilen ürün talebi önemli oranda düşebilir. Bu sebeple γ_t zamanla azalabilir.

Yukarıdaki dört senaryo ile ilgili sayısal çalışmalarda kullanılmak üzere literatürden faydalanılarak örnekler oluşturuldu. Bu çalışmadakine benzer bir problemde, Nadar vd. [17] birtakım pazar ve tüketici araştırmalarının sonuçlarından elde ettikleri gerçekçi parametre değerleriyle sayısal örneklerini oluşturmuşlardır. Bu çalışmadaki örneklerde benzer parametre değerleri kullanılmıştır. Bu örnekler ve sayısal sonuçlar için Tablo 2, Tablo 3, Şekil 2 ve Şekil 3'e bakınız.

Öncelikle yeniden imalat satış miktarlarının parametrelere ve senaryolara göre nasıl değiştiğini inceliyoruz: Her bir senaryoda, yayılım süreci parametrelerinin (p ve q) yeniden imalat satış rakamlarına etkisinin oldukça az olduğu görülmektedir. Diğer yandan, her bir senaryoda, kullanılmış ürünlerin iade oranı (β_1) artarken yeniden imalat satış rakamları da artmaktadır.

İlk iki senaryo karşılaştırıldığında, α_t 'nin azalması veya artmasının yeniden imalat satış rakamlarına etkisinin oldukça az olduğu görülmektedir. Bu durum kullanılmış ürün iadelerinin oldukça kısıtlı olmasından kaynaklanmaktadır. Belirli dönemlerde belirli talepleri reddederek yayılım sürecinin akışını değiştirmek ve böylece yeniden imalat satış rakamını artırmak hedeflenir. Ancak kısıtlı kullanılmış ürün stoku bu hedefin önünde engel teşkil etmektedir. Son iki senaryo karşılaştırıldığında, β_1 küçükken γ_t 'nin azalması veya artmasının yeniden imalat satış rakamlarına etkisinin oldukça az olduğu, ancak β_1 büyükken γ_t 'nin azalmasının yeniden imalat satış rakamlarını artırdığı görülmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, β_1 küçükken yeniden imalat satış rakamını artırmanın önünde kullanılmış ürün iadeleri engel teşkil etmektedir. Ancak β_1 büyükken, yani kullanılmış ürün stoku kısının etkisi azaldığında, yeniden imal edilen ürün talebinin ilk dönemlerde yüksek olması ve bunun yanı sıra yayılım sürecine göre ürün satışlarının ve dolayısıyla kullanılmış ürün iadelerinin de ilk dönemlerde yüksek olması yeniden imalat satış rakamlarına olumlu yansımaktadır.

Hemen karşılanmayan talep miktarlarının da parametrelere ve senaryolara göre nasıl değiştiğini inceliyoruz: Her bir senaryoda, yayılım süreci parametreleri (p ve q) artarken karşılanmayan talep rakamlarının artabildiği veya azalabildiği görülmektedir. Bu durumun en önemli sebeplerinden biri olarak Bass yayılım sürecine göre talebin oldukça karmaşık doğrusal olmayan yapısı gösterilebilir. Diğer yandan, her bir senaryoda, kullanılmış ürünlerin iade oranı (β_1) artarken karşılanmayan talep rakamları

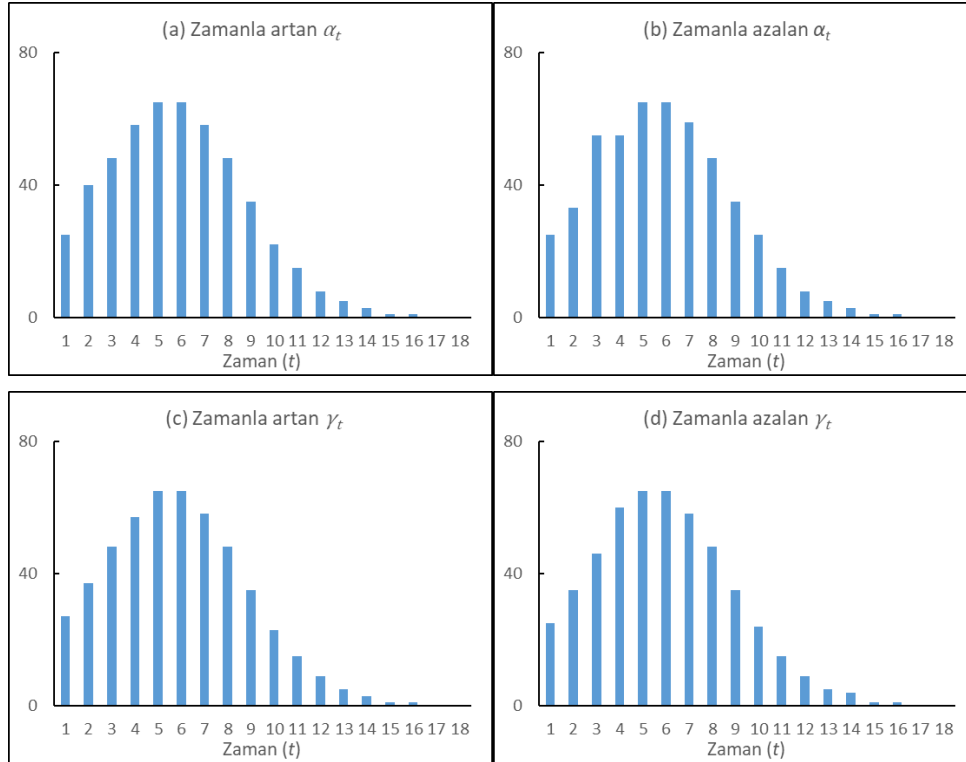
azalmaktadır. Karşılınmayan taleplerin olumsuz yanlarından biri gelecekteki kullanılmış ürün iadelerini azaltacak olmasıdır. β_1 büyükken bu olumsuz sonucun etkisi düşük olacağı için ilk bakışta daha fazla talep reddetmenin kârlı olacağı düşünülebilir. Ancak, β_1 büyükken, yüksek miktarda yeniden imal edilen ürün talebi karşılanabilmektedir. Dolayısıyla, β_1 büyükken, kullanılmış ürün kısıdı nedeniyle yeniden imal edilen ürünle karşılanamayan talep miktarı da azdır. Bu nedenle ve talebin hemen karşılanmaması halinde kaybedilme riski dikkate alındığında daha az talep reddedilmektedir.

Tablo 2. En iyi satış planlarına dair sonuçlar. $m = 500$, $T = 20$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$, $\gamma_t = 0.2$, $\forall t$.

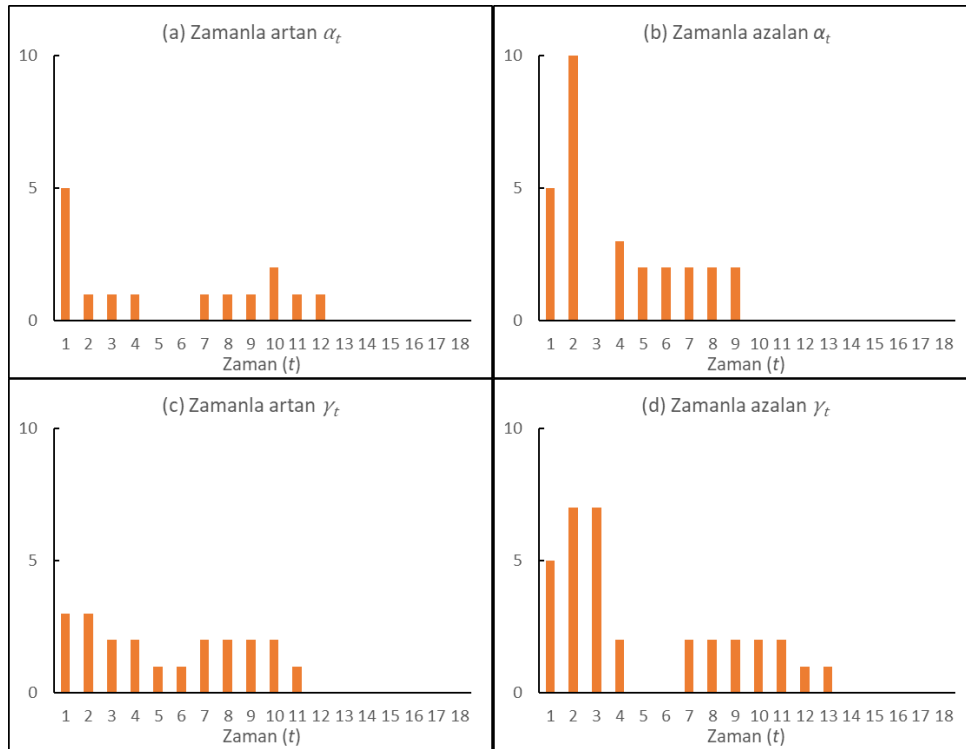
		Zamanla artan α_t : $\alpha_t = 0.6 + 0.3 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				Zamanla azalan α_t : $\alpha_t = 0.9 - 0.3 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				
	p	q	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç
$\beta_1 = 0.10$	0.04	0.20	427	52	23	583	428	52	24	584
		0.30	439	55	27	604	443	54	34	605
		0.40	446	53	18	605	446	53	32	605
	0.06	0.20	436	54	25	598	434	55	39	599
		0.30	442	53	30	601	444	54	30	606
		0.40	441	54	15	603	444	54	28	606
	0.08	0.20	442	53	26	601	440	54	40	602
		0.30	444	53	19	603	445	53	31	604
		0.40	443	52	23	599	443	54	40	605
$\beta_1 = 0.15$	0.04	0.20	406	74	13	628	404	75	23	629
		0.30	419	77	25	650	420	77	22	651
		0.40	425	74	10	647	424	75	25	649
	0.06	0.20	415	76	19	643	414	77	23	645
		0.30	421	76	11	649	422	77	23	653
		0.40	424	75	7	649	423	76	21	651
	0.08	0.20	418	77	14	649	417	78	21	651
		0.30	425	74	8	647	422	77	25	653
		0.40	423	74	9	645	421	76	31	649

Tablo 3. En iyi satış planlarına dair sonuçlar. $m = 500$, $T = 20$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$, $\alpha_t = 0.8$, $\forall t$.

		Zamanla artan γ_t : $\gamma_t = 0.1 + 0.1 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				Zamanla azalan γ_t : $\gamma_t = 0.2 - 0.1 \left(\frac{t-1}{19}\right), \forall t$.				
	p	q	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç	Yeni ürün satış	Yeniden imalat satış	Reddedilen talep	Toplam kazanç
$\beta_1 = 0.10$	0.04	0.20	428	52	22	584	428	52	29	584
		0.30	442	54	19	604	443	53	33	602
		0.40	446	53	33	605	447	52	19	603
	0.06	0.20	438	53	21	597	438	53	36	597
		0.30	447	52	34	603	444	53	32	603
		0.40	443	53	22	602	444	53	30	603
	0.08	0.20	443	53	28	602	443	53	29	602
		0.30	447	52	31	603	445	52	36	601
		0.40	448	50	19	598	445	52	27	601
$\beta_1 = 0.15$	0.04	0.20	413	67	3	614	411	67	21	612
		0.30	430	67	5	631	427	70	16	637
		0.40	433	66	11	631	426	71	16	639
	0.06	0.20	427	65	3	622	422	69	23	629
		0.30	434	64	10	626	428	71	11	641
		0.40	437	61	7	620	427	71	15	640
	0.08	0.20	432	64	3	624	427	69	16	634
		0.30	437	60	8	617	428	70	16	638
		0.40	441	58	3	615	428	71	9	641



Şekil 2. En iyi satış planlarına göre aylık gerçekleşen satış miktarları. $m = 500$, $p = 0.06$, $q = 0.40$, $T = 18$, $\beta_1 = 0.1$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$. (a) $\alpha_t = 0.6 + 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (b) $\alpha_t = 0.9 - 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (c) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.1 + 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$; (d) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.2 - 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$.



Şekil 3. En iyi satış planlarına göre aylık karşılanmayan talep miktarları. $m = 500$, $p = 0.06$, $q = 0.40$, $T = 18$, $\beta_1 = 0.1$, $p_r - c_r = 3$, $p_n - c_n = 1$. (a) $\alpha_t = 0.6 + 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (b) $\alpha_t = 0.9 - 0.3 \left(\frac{t-1}{17}\right)$, $\gamma_t = 0.2$; (c) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.1 + 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$; (d) $\alpha_t = 0.8$, $\gamma_t = 0.2 - 0.1 \left(\frac{t-1}{17}\right)$.

Birinci ve ikinci senaryolar karşılaştırıldığında, α_t 'nin azalmasının hemen karşılanmayan talep miktarını genellikle artırdığı görülmektedir. Bu artışın altında yatan sebep Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde anlaşılabilir: α_t 'nin azaldığı senaryoda ilk iki dönemde önemli miktarda talep reddedilmektedir. Kullanılmış ürün ilk dönemde bulunmazken ikinci dönemde kısıtlı sayıda bulunur. Bu dönemlerde yeniden imal edilen ürün taleplerinin çoğu hemen karşılanamayacağından ve yüksek α_t sayesinde hemen karşılanmayan taleplerin kaybedilme riski düşük olduğundan bu dönemlerde önemli miktarda talep reddedilmektedir. Üçüncü ve dördüncü senaryolar karşılaştırıldığında, γ_t 'nin azalmasının karşılanmayan talep rakamlarını genellikle artırdığı görülmektedir. Bu artışın altında yatan sebep yine Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde anlaşılabilir: γ_t 'nin azaldığı senaryoda ilk üç dönemde önemli miktarda talep reddedilmektedir. Bu dönemlerde kullanılan ürün sayısı kısıtlıdır ve γ_t yüksek olduğundan çok sayıda yeniden imal edilen ürün talebi gözlemlenir. Dolayısıyla bu dönemlerde fazla sayıda talep reddedilmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada yeniden imalatın yapıldığı bir kapalı devre tedarik zincirinde satış planlama problemi ele alınmıştır. Üretici bazı talepleri hemen karşılamayarak yayılım sürecini yavaşlatmayı hedefleyebilir çünkü böylece gelecekte sayısı artacak kullanılan ürün iadeleriyle yeniden imal edilen ürün taleplerinin etkin bir şekilde eşleştirilmesi mümkün olabilir. Diğer yandan hemen karşılanmayan bir talebin kaybedilme riski vardır ve her bir kayıp satış gelecekte kullanılan ürün iade sayısını azaltmaktadır. Yayılım sürecinin doğrusal olmayan yapısı ve kapalı devre tedarik zincirine özgü yeniden imalat arz talep dinamikleri satış planlama problemini zorlaştırmaktadır. Bunlara ilaveten, bu çalışmada, tüketici davranışlarının zamanla değişebilmesine izin verilmektedir. Bu karmaşık problemin çözümü için bir DP algoritması geliştirilmiş ve birtakım makul sadeleştirmeler ve en iyi çözümü etkilemeyen kısıtlar ile bu algoritmanın durum ve karar uzayları küçültülmüştür. Böylece gerçek boyutlu problemler için en iyi satış politikalarını bulmak mümkün olmuştur. En kârlı satış politikaları incelendiğinde, kullanılan ürün iadesinin sınırlı sayıda olduğu ortamlarda tüketici davranışlarının yeniden imalat rakamlarına etkisinin az olduğu görülmüştür. Üreticinin ürünü satışa çıkardığında benzer ürünlerin piyasada olmadığı ancak sonradan muadillerinin piyasaya sürüldüğü ortamlarda hem müşterinin üreticiye bağlılığının hem de yeniden imal edilen ürün talebinin zamanla azalması beklenir. Bu tür ortamlarda, en kârlı satış politikaları altında, ilk dönemlerde önemli miktarlarda talebin anında karşılanmaması gerektiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] F. M. Bass, A new product growth for model consumer durables, *Management Science*, 15:5 (1969) 215-227.
- [2] F. M. Bass, Comments on "a new product growth for model consumer durables the bass model," *Management Science*, 50:12 Supplement (2004) 1833-1840.
- [3] T. H. Ho, S. Savin, C. Terwiesch, Managing demand and sales dynamics in new product diffusion under supply constraint, *Management Science*, 48:2 (2002) 187-206.
- [4] S. Kumar, J. M. Swaminathan, Diffusion of innovations under supply constraints, *Operations Research*, 51:6 (2003) 866-879.
- [5] W. Shen, I. Duenyas, R. Kapuscinski, New product diffusion decisions under supply constraints, *Management Science*, 57:10 (2011) 1802-1810.
- [6] T. H. Ho, S. Savin, C. Terwiesch, Note: A reply to new product diffusion decisions under supply constraints, *Management Science*, 57:10 (2011) 1811-1812.
- [7] W. Shen, I. Duenyas, R. Kapuscinski, Optimal pricing, production, and inventory for new product diffusion under supply constraints, *Manufacturing & Service Operations Management*, 16:1 (2014) 28-45.
- [8] N. Demirel, Ömrünü tamamlamış araçların geri dönüşümünde yükseltilmiş yönetmelik hedeflerini karşılamak için ağ tasarımı ve modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5:3 (2017) 223-236.
- [9] A. Atasu, M. Sarvary, L. N. van Wassenhove, Remanufacturing as a marketing strategy, *Management Science*, 54:10 (2008) 1731-1746.

- [10] E. A. van der Laan, G. Kiesmüller, R. Kuik, D. Vlachos, R. Dekker, Stochastic inventory control for product recovery management, *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, (2004) 181-220 (Springer Berlin Heidelberg).
- [11] V. D. R. Jr. Guide, L. N. van Wassenhove, Or forum – The evolution of closed-loop supply chain research, *Operations Research*, 57:1 (2009) 10-18.
- [12] M. E. Ferguson, G. C. Souza, Closed-loop supply chains: new developments to improve the sustainability of business practices, (2010) (CRC Press).
- [13] E. Akçalı, S. Çetinkaya, Quantitative models for inventory and production planning in closed-loop supply chains, *International Journal of Production Research*, 49:8 (2011) 2373-2407.
- [14] E. Hassini, C. Surti, C. Searcy, A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics, *International Journal of Production Economics*, 140:1 (2012) 69-82.
- [15] G. C. Souza, Closed-loop supply chains: a critical review, and future research, *Decision Sciences*, 44:1 (2013) 7-38.
- [16] K. Govindan, H. Soleimani, D. Kannan, Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future, *European Journal of Operational Research*, 240:3 (2015) 603-626.
- [17] E. Nadar, B. E. Kaya, K. Güler, New product diffusion in closed-loop supply chains, (2018) <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24331.34088>.
- [18] R. Geyer R, L. N. van Wassenhove, A. Atasu, The economics of remanufacturing under limited component durability and finite product life cycles, *Management Science*, 53:1 (2007) 88-100.
- [19] A. Ovchinnikov, V. Blass, G. Raz, Economic and environmental assessment of remanufacturing strategies for product + service firms, *Production and Operations Management*, 23:5 (2014) 744-761.
- [20] J. D. Abbey, J. D. Blackburn, V. D. R. Jr. Guide, Optimal pricing for new and remanufactured products, *Journal of Operations Management*, 36 (2015) 130-146.
- [21] J. D. Abbey, R. Kleber, G. C. Souza, G. Voigt, The role of perceived quality risk in pricing remanufactured products, *Production and Operations Management*, 26:1 (2017) 100-115.
- [22] Deloitte, Technology, media, and telecommunications predictions 2016.
- [23] Deloitte, Mobile consumer survey 2016 the Australian cut – Hyper connectivity: clever consumption.
- [24] A. Atasu, V. D. R. Jr. Guide, L. N. van Wassenhove, So what if remanufacturing cannibalizes my new product sales?, *California Management Review*, 52:2 (2010) 56-76.
- [25] V. D. R. Jr. Guide, J. Li, The potential for cannibalization of new products sales by remanufactured products, *Decision Sciences*, 41:3 (2010) 547-572.
- [26] A. Ovchinnikov, Revenue and cost management for remanufactured products, *Production and Operations Management*, 20:6 (2011) 824-840.
- [27] J. D. Abbey, M. G. Meloy, J. D. Blackburn, V. D. R. Jr. Guide, Consumer markets for remanufactured and refurbished products, *California Management Review*, 57:4 (2015) 26-42.
- [28] M. Matsumoto, Y. Umeda, An analysis of remanufacturing practices in Japan, *Journal of Remanufacturing*, 1:2 (2011).