

Bir Stokastik Model Olarak Bozulabilir Envanter

Problemi: Literatür Araştırması

Umay UZUNOĞLU KOÇER¹

Bahar YALÇIN²

Öz

Envanter yönetimi, müşteri talebinin en düşük maliyetlerle zamanında karşılanmasını sağlar. Bu nedenle envanter yönetiminin doğru yapılması, işletmelere rekabet ortamında üstünlük sağlayacağı gibi, maliyetlerini de azaltacaktır. Envanter kuramı literatüründeki klasik modellerin çoğu, ürünlerin süre kısıtlaması olmadan stoklanabileceğinden hareketle geliştirilmiştir. Oysa sağlık, gıda gibi birçok alanda karşılaştığımız raf ömrü olan ürünlerin envanter kontrolü, dayanıklı ürünlerin envanter kontrolünden farklıdır ve önemli bir problemdir. Bu çalışmada bozulabilir envanter probleminin genel yapısı ve dinamikleri kısaca açıklanmış, problemin hangi yönleri ile farklılık göstereceği incelenmiştir. Ayrıca bozulabilir envanter probleminin çözümüne önemli katkılar yapmış olan çalışmalar araştırılmış, uygun bir sınıflamaya göre bu çalışmalar kısaca sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bozulabilir ürünler, periyodik gözden geçirme envanter politikası, (s,S) politikası

JEL Sınıflandırma Kodları: C44, C18

Perishable Inventory Problem as a Stochastic Model: A Literature Review

Abstract

Inventory management allows satisfying customer demand on time with minimum cost. Hence, accurate management of inventory not only allows for superiority to companies in the competitive environment but also minimize the inventory costs, as well. Most of the classical models in inventory theory literature are developed for the products that can be stored without time limitation. However, the inventory management of some products which have a lifetime such as the products that are used in health or food industry is different from the classical models and has been an important problem recently. In this study, the general structure and dynamics of the perishable inventory have been explained briefly and the aspects that differs the perishable problem from each other have been examined. Moreover, the literature those make considerable contributions on the inventory management of perishable products have been studied and presented briefly with respect to the appropriate classification.

Keywords: Perishable products, periodic review, (s,S) policy

JEL Classification Codes: C44, C18

¹ Yrd. Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, umay.uzunoglu@deu.edu.tr

² Araş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, baharyalcin87@gmail.com

1. GİRİŞ

Envanter yönetimi müşteri talebini zamanında karşılayacak kadar fazla, ancak maliyetleri gereksiz arttırmayacak kadar az envanter miktarını elde bulundurmaya yönelik zor bir dengenin yönetimidir. Envanter problemlerinde, yıllık sipariş maliyeti ve elde bulundurma maliyetleri toplamını enküçükleyecek sipariş miktarının ve zamanının belirlenmesi, optimal envanter politikasını verir. Envanter literatüründeki klasik modellerin çoğu, ürünlerin süre kısıtlaması olmadan stoklanabileceğinden hareketle geliştirilmiştir. Ancak sağlık endüstrisinde çeşitli kimyasallar, kan ürünleri, radyoaktif ürünler gibi; ayrıca gıda endüstrisinde taze yiyecekler, et ve süt ürünleri gibi belli bir raf ömrü olan ürünlerin envanter planlaması önemli bir problemdir. Envanter kuramının, bozulabilir ürünlerin envanter kontrolünü inceleyen alt dalı araştırmacılar için ilgi çeken bir alan olmaya devam etmektedir.

Bozulabilen ürünler ile ilgili olarak gerek tanım, gerek uygulanan envanter politikaları ile ilgili, literatürde çeşitli sınıflamalar verilmektedir. Goyal ve Giri (2001), literatürde yapılan çalışmaları özetleyen geniş bir tarama sunmaktadır. Bu çalışmada verilen sınıflamaya göre stoklanan ürünlerde ortaya çıkabilecek durumlar üç ayrı kategoride incelenebilir (Goyal ve Giri 2001:1):

(1) Demode olma (obsolescence); bu sınıfa giren ürünler, zaman içinde modasının geçmesi ya da teknolojisinin eskimesi nedeniyle satılmayan ürünlerdir.

(2) Bozulma (deterioration); çürüme, ürünün kimyasının bozulması gibi, son tüketim tarihinin geçmesi halinde ortaya çıkan durumu tanımlar.

(3) bu iki durumun da gözlenmediği, raf ömrünün sınırsız olduğu ürünler.

Bozulabilir ürün dendiğinde ilk akla gelen ve ikinci sınıflama ile anlatılmak istenen gıda veya sağlık ürünleridir. Ancak bu ürünlerin yanı sıra ilk sınıflama ile verilen teknolojik ürünler de raf ömrü olan ürünlerdir. Teknolojinin hızla geliştiği günümüzde, özellikle bilgisayar donanım parçaları fiziksel bir bozulma olmamasına karşın hızla eskimekte, bu nedenle satılamamaktadır.

2. ARAŞTIRMA STRATEJİSİ VE ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Bu araştırmada yer alan çalışmalara Elsevier (ScienceDirect) ve Springer veritabanından ulaşılmıştır. Bu veritabanından "bozulabilir envanter" anahtar sözcüğü ile yapılan tarama sonucunda ulaşılan makaleler arasından, belirlenen kriterlere göre seçilen makaleler çalışmaya dahil edilmiştir. Bu kriterler; (1) Çalışmada bir ürün ve/veya bir işletme konu edilmesi, (2) Bozulabilir ürün için envanter politikası önerilmesi, (3) Envanter düzeyinin bir stokastik süreç olarak ele alınıp modellenmiş olması. Çalışmamızda, bozulabilir envanter problemini stokastik modelleme bakış açısıyla ele alan yayınlar üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, problemin üçüncü bölümde verilen dinamiklerle ilgili varsayımlar farklılaştıkça bir stokastik model olarak nasıl ele alındığını yapılan çalışmalar aracılığı ile incelemektir. Bozulabilir ürün problemini tedarik zinciri sistemi içinde ele alan çalışmalar, fiyat politikası ile birlikte ele alan çalışmalar ve bozulabilir ürünün başka bir ürünle ikame edilebildiği oyun kuramını konu alan çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır.

3. BOZULABİLİR ENVANTER PROBLEMİNE GENEL BAKIŞ

Ürünün belli bir raf ömrü olması, envanter planlamasını güçleştiren öğelerden biridir. Eldeki ürünlerin ömrü bittiğinde bozulma olduğundan

stok düzeyi sıfıra düşecek, hemen sipariş verilse bile tedarik süresinden dolayı bir süre stoksuz çalışma söz konusu olacaktır. Ya da eldeki stokların ömrü bitmeden yeni siparişler geldiğinde bu kez eldeki ürünler, ömür bakımından çeşitlilik gösterecektir. Hangi ürünün önce stoktan çıkarıldığına bağlı olarak bozulma olacak veya olmayacaktır.

Bozulabilir ürünlerin envanter planlaması yapılırken problemin temel elemanları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

3.1. Envanter Politikası

Problemin modellenmesini etkileyen en önemli bileşenlerden biri nasıl bir envanter politikasının izleneceğidir. Temel olarak burada iki seçenek vardır. Bunlardan birincisi, envanterin periyodik zamanlarda gözden geçirildiği ve sipariş miktarının değişken olduğu *periyodik gözden geçirme politikası*dır. Bu yaklaşıma göre siparişler periyodik olarak verildiğinden siparişler arası süre sabittir. Bozulabilir ürünler için yapılan ilk çalışmalarda, periyodik gözden geçirme politikasına göre sistem modellenmiştir. Envanter politikası olarak uygulanabilecek ikinci seçenek ise siparişler arası sürenin değişken olduğu *sürekli gözden geçirme politikası*dır. Bu başlık altında farklı sipariş politikaları önerilmiş ve çalışılmıştır. En genel politika, envanter düzeyi tekrar sipariş noktası r 'ye düştüğünde Q kadar sipariş verilmesini öngören (Q,r) politikasıdır. Bu politikanın (s,S) olarak yorumlanması da mümkündür. Bu durumda S en yüksek envanter düzeyini gösterir. Stok seviyesi s 'ye ulaştığında $Q=S-s$ kadar sipariş verilir. Bu politikanın özel bir hali ise her seferinde bir birim sipariş verilmesini öngören $(S-1,S)$ politikasıdır. Bu politikalar arasında en çok çalışılmış olanı (s,S) politikasıdır. Bu politika ile ilgili olarak literatürdeki çalışmalara dördüncü bölümde yer verilmiştir.

3.2. Talep Yapısı

Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda genelde sistemi Markov süreci ile ifade etmeye yardımcı olacak biçimde talebin Poisson sürecine göre oluştuğu, stoktaki azalmanın birer birer olduğu varsayılmıştır. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda talebin birer birer oluşması varsayımı yerine, büyüklüğü rassal olan yığınlar halinde oluştuğu varsayımı yapılmaktadır. Ayrıca talebin oluşma anları arasındaki sürenin keyfi herhangi bir dağılıma uyduğu, yani talebin yenileme sürecinden geldiği varsayımı da yapılmaktadır. Yakın zamanlarda talebin Markov yenileme sürecine göre oluştuğu modeller tartışılmaktadır.

3.3. Ürün Ömrü

Ürün ömrünün deterministik olduğu varsayımı, karşılığını günlük yaşamda rahatlıkla bulmaktadır. Marketlerden satın alınan birçok ürünün üzerinde raf ömrü yazmaktadır. Ancak, yine marketlerde satılan yaş sebze ve meyveler ya da et gibi bazı ürünlerin raf ömrü sıcaklık gibi bazı ortam koşullarına göre değişkenlik gösterebilir. Ayrıca kimyasal malzemelerin ömürlerinin rassal değişken olduğu düşünülebilir. Bu durumda, sistemin Markov süreci olarak modellenmesinde kolaylık sağlayacağından, ürün ömrü için üssel dağılım varsayımına sıkça rastlanmaktadır. Bunun yanı sıra, bozulmanın evreler halinde olabileceği düşüncesinden hareketle ürün ömrünün üssel ailesinden Erlang dağılımına uyduğu, ayrıca az olmakla birlikte herhangi bir keyfi dağılıma uyduğu, literatürdeki çalışmalarda varsayılmaktadır.

3.4. Sıfır Stok Durumunda Oluşan Talep

Bozulma ya da tedarik süresi nedeniyle stok seviyesinin sıfır olması durumuyla karşılaşılabılır. Bu durumda modellemede iki bakış açısı bulunmaktadır. Ya bu sürede oluşan talep geç de olsa yeni gelen

siparişlerden karşılanacaktır (ardışmarlama) ya da stoksuzluk durumunda oluşan talep karşılanmayacak, satış kaybı olacaktır. Her iki durumda da göze alınan bir stoksuz kalma maliyeti söz konusudur. Literatürde her iki yaklaşımı modellemede kullanan çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

3.5. Tedarik Süresi

Tedarik süresi, ürünün siparişi verildikten stoka girinceye kadar geçen süre olarak tanımlanır. Tedarik süresinin pozitif olarak alınması, hatta rassal varsayılması problemi karmaşık yapan etkenlerden biridir. Tedarik süresindeki değişkenlik, tedarik süresince olan talebin de rassal olduğu anımsanırsa stok düzeyinin sıfıra veya altına inmesi riskini ve planlamadaki zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bozulabilir envanter literatüründe tedarik süresini sıfır olarak varsayan çalışmalar olduğu gibi, bu sürenin kesin olarak bilindiği yani deterministik olduğu veya rassal olarak varsayıldığı çalışmalara da rastlanmaktadır.

3.6. Ürünlerin Stoktan Çıkma Prensibi

Stoktaki ürünlerin hangi kurala göre azalacağını belirler. Literatürdeki çalışmaların çoğu stoka ilk giren ilk çıkar (FIFO) prensibini benimser. Ancak bu varsayım pratikte karşılaşılan durumla her zaman örtüşmez. Örneğin süpermarkete gelen müşteri, raftan ürünü rasgele alabileceği gibi, son kullanma tarihine bakarak da ürünü seçebilir. Ürünün stoktan çıkma prensipleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- a. Rasgele sıra (SIRO): Ürünlerin stoktan çıkması rasgele olur.
- b. İlk giren ilk çıkar (FIFO): Stokta bulunan ömrü olan, bozulmamış en eski ürünler önce stoktan çıkarılır. En çok kabul edilen prensiptir. Sabit tedarik süresi için beklenen bozulan ürün sayısını enküçükleyeceği açıktır. Ayrıca rassal talep ve sabit tedarik süresi için optimal olduğu Pierskalla ve Roach (1972) tarafından gösterilmiştir.

c. Son giren ilk çıkar (LIFO): En taze ürünler önce stoktan çıkarılır, eski stoklar atılır. Bu prensip mükemmel servis kalitesi sağlarken, bozulup atılan ürün sayısının da artmasına neden olur. Ancak belli koşullarda LIFO da iyi sonuçlar verebilir. Örneğin Parlar ve diğerleri (2011) talebin Poisson sürecine göre oluştuğu ve ürün ömrünün sabit olduğu modelde LIFO ve FIFO prensiplerini karşılaştırmış, bu koşullar için LIFO prensibinin diğerine göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir (Parlar vd. 2011:405-417).

4. BOZULABİLİR ENVANTER PROBLEMİNİN DİNAMİĞİ

Bozulabilir bir ürüne olan talebin Poisson sürecine göre oluştuğu, stoktaki ürünlerin birer birer azaldığı bir envanter sistemi düşünelim. Siparişlerin (s,S) politikasına göre olduğunu yani stok düzeyi tekrar sipariş noktası olan s düzeyine düştüğünde $Q=S-s$ kadar sipariş verildiğini varsayalım. Ayrıca siparişlerin L gibi sabit bir tedarik süresinden sonra geldiğini varsayalım. t anındaki envanter düzeyini gösteren $\{I(t), t \geq 0\}$ stokastik sürecinin davranışı, talep oluştuğu zaman, siparişlerin geldiği zaman ve bozulmanın olduğu zaman değişiklik gösterir (Ravichandran 1995:446). Eldeki stok düzeyi; talep anlarında birer birer azalır, siparişlerin geldiği anda Q birim artış gösterir, bozulmanın olduğu anlarda ise bir miktar (en fazla Q kadar) azalma gösterir. Ürün ömrü için sabit ya da rassal varsayımı yapılabilir. Eğer sabit varsayılıyorsa stoktaki azalma miktarı da sabit, aksi halde azalma rassal olacaktır. Eğer stok tükenmesine izin verilmiyorsa $\{I(t), t \geq 0\}$ stokastik süreci $S = \{0,1,\dots,S\}$ durum uzayına sahiptir, eğer ardışıklama durumu söz konusu ise bu durumda durum uzayı negatif elemanlar içerecektir.

Ürün ömrünün sabit olduğunu ve τ ile gösterildiğini düşünelim. Bu varsayımlar altında envanter düzeyi için aşağıdaki durumlar söz konusu olabilir (Ravichandran 1995:446):

1. $(0, \tau)$ zaman aralığındaki talep yetersiz olursa, eldeki stoklar tükenmediğinden bozulma gerçekleşir. Satılmayan ürünler atılır. Bu durumda τ anında yeniden sipariş verilir, verilen siparişler L süre sonra gelecektir. Bu süre içinde talep gerçekleşirse stok düzeyi negatife iner ya da satış kaybı yaşanır. $\tau+L$ anında siparişler gelir, eldeki stok miktarı Q kadar artar. Stok düzeyinin ne kadar olacağı ardışmarlama ile ilgili varsayıma bağlıdır.

2. $(0, \tau)$ zaman aralığındaki talep yeteri kadar gerçekleşir ve tekrar sipariş noktasına siparişler geldikten sonra τ süre içinde ulaşılır. $u < \tau$ olan bir u anında tekrar sipariş verilir. Yeni siparişler L süre sonra gelecektir.

a. Eğer $u+L > \tau$ ise, yeni siparişler geldiğinde stokta bulunan ürünler ya kullanılmıştır ya da bozulmuştur. Yeni siparişler geldiğinde eldeki stok sıfırlanmıştır. Yeni ürünler satılmaya ve stok birer birer azalmaya başlar.

b. Eğer $u+L < \tau$ ise, yeni ürünler geldiğinde eldeki ürünler bitmemiş demektir ki bu da stokta iki çeşit ürün olacağını gösterir. Yeni ürünler geldiğinde stokta i adet ürün olduğunu varsayalım. Bu i ürünün $x = \tau - (u+L)$ kadar, öte yandan yeni gelen Q miktarda ürünün ise τ kadar ömrü bulunmaktadır. Burada eğer ürünlerin stoktan FIFO prensibine göre çıktığını düşünürsek, eski ürünler önce satılmalıdır. Bu durumda eski olan i miktardaki ürünün ne kadar sürede tüketildiği önemlidir. Eğer i miktardaki ürün, x 'ten kısa bir sürede tüketilirse bozulma olmaz. Aksi takdirde bozulma gerçekleşir.

Bozulabilir bir ürünün envanter düzeyini ifade eden stokastik sürecin tüm olası durumları yukarıdaki gibi özetlenebilir.

5. LİTERATÜRDE YER ALAN ÇALIŞMALAR

Envanter problemlerinin en önemli bileşenlerinden biri izlenecek olan envanter politikasıdır. Bozulabilir envanter sistemleri konusunda yapılmış olan çalışmalar iki ana grupta sınıflandırılabilir. Bu sınıflardan ilkinde bozulabilir envanter sistemi için optimal sipariş politikası önerisinde bulunan çalışmalar, ikincisinde ise bir sipariş politikasının performansını değerlendiren çalışmalar yer alır (Ravichandran, 1988:23).

Bozulabilir envanter problemlerinin tanımı ve sınıflandırılması konusunda en önemli çalışmanın Nahmias (1982) olduğu söylenebilir. Bu çalışmada ürün ömrü sabit ve rassal olarak iki sınıfta incelenir. Ürün ömrünün sabit olduğu durum için oldukça geniş bir araştırma sunmaktadır. Ancak ürün ömrünün rassal olduğu durumda yalnızca periyodik gözden geçirme durumunu incelemiştir. Rafaat (1991)'de benzer sınıflama ve tanımlama bu kez raf ya da ürün ömrünün sürekli olduğu durum için verilmiştir (Rafaat 1991:27-37). Ayrıca daha güncel bir literatür özeti için Goyal and Giri (2001) incelenebilir. Bakker vd (2012) 2001 yılından itibaren yapılan çalışmalar ile ilgili en güncel bilgiyi sunmaktadır.

Bu bölümde literatürdeki çalışmalar, bozulabilir envanter problemini periyodik ve sürekli gözden geçirme politikaları altında çözümleyen çalışmalar olarak iki ana başlıkta incelenecektir. Ayrıca bu ana başlıklar altında literatür, ikinci bölümde verilen bileşenlere göre sınıflandırılacaktır.

5.1. Periyodik Gözden Geçirme Politikası

Yapılan ilk çalışmalarda, ürün ömrünün sabit varsayıldığı periyodik gözden geçirme politikaları kullanılmıştır. Raf ömrünün sabit olması, periyodik gözden geçirme ile modellemeyi kolaylaştıran bir varsayımdır. Literatürün sınıflandırılmasında çok farklı alternatifler mümkündür. Bu bölümde sınıflamayı yaparken, bozulabilir ürün problemini klasik envanter

problemlerinden ayıran en önemli parametre olan ürün ömrü temel alınacaktır. Periyodik gözden geçirme politikası altında problemin çözümü genel olarak dinamik programlama yaklaşımı ile elde edilmiştir. Bu nedenle çözüm yaklaşımı olarak Tablo 4.1’de ayrı bir değerlendirme yapılmamıştır. Periyodik gözden geçirme politikası ile ilgili çalışmalar için Nahmias (1982) geniş bir araştırma sunmaktadır.

5.1.1. Ürün Ömrünün Sabit Olması Varsayımı

Eğer ürün ömrü bir periyot ise, ardışık periyotlarda alınan kararlar bağımsızdır ve problem gazeteci çocuk problemine indirgenebilir (Rafaat 1975:48). Nahmias (1982) stok tükenmesine (ardısmarlamaya) izin verilmediğinde optimal politikanın stok düzeyini S^* e tamamlamak olduğunu göstermiştir (Nahmias 1982:683). Ürün ömrünün tek periyot olduğu problemlerde stok tükenmeye izin verildiğinde optimal politika temel-stok politikasıdır (Bulinskaya 1964: 389-403). Veinott (1960), deterministik talep ve sabit ürün ömrü varsayımları altında, optimal sipariş politikasını araştırmış ve ürünlerin stoktan çıkması için optimal prensibin FIFO olması gerektiğini göstermiştir.

Van Zyl (1964), talebin rassal, ürün ömrünün iki periyot, tedarik süresinin sıfır olduğu, FIFO prensibinin uygulandığı, ardısmarlamaya izin verilmeyen envanter sistemini, beklenen maliyetleri enküçükmek üzere, periyodik gözden geçirme politikası ile modellemiştir (Nahmias 1982:680). Nahmias ve Pierskalla (1973), Van Zyl’in modelini stok tükenmesine izin verilen durum için genelleştirmişlerdir. Nahmias (1978) Van Zyl’in modelini, üretime başlama maliyetini de dahil ederek ancak tek periyot için geliştirmiştir.

Fries (1975) ürün ömrünün iki periyot ve daha fazla olduğu durum için modeli incelemiş, tanımlanan maliyet fonksiyonu altında, ürün ömrü 2

periyot ve daha fazla, planlama dönemi ise en az ürün ömrü kadar olduğunda (s,S) politikasının optimal olmadığını göstermiştir. Nahmias (1975), Nahmias ve Pierskalla (1973) ile verilen modeli genelleştirmiş ve stok tükenmesine izin verilen durumda ürün ömrünün n-periyot olduğu durum için optimal sipariş politikasını hesaplamıştır. Ayrıca ürün ömrü olarak gösterilen n'in çok büyük olduğu durumlar için Nahmias (1976) yaklaşık çözümler önermiştir. Nandakumar ve Morton (1993) aynı modeli kayıp satış durumu için incelemiş, temel stok politikası altında optimal sipariş miktarı için alt ve üst sınırları elde etmiştir. Broekmeulen ve Van Dorselaar (2009) aynı modeli sabit tedarik süresi için geliştirmişlerdir. Bu çalışmada farklı sipariş politikaları önermişler ve simülasyon yöntemi ile karşılaştırma sunmuşlardır. Minner ve Tranchel (2010), Nahmias (1975)'te verilen modeli sabit bir tedarik süresi varsayımıyla analiz etmiş, sipariş miktarlarının dinamik olarak belirlenmesi için sayısal bir yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır. Bu çalışmadaki amaç, belirlenen servis düzeyine ulaşmayı sağlayacak sipariş miktarını belirlemektir.

Periyodik gözden geçirme politikasında zaman ve ürün ömrü kesikli periyotlar olarak ele alındığından dinamik programlama bir çözüm olarak karşımıza çıkar. Ancak burada karşılaşılan zorluk, durum uzayının çok geniş olmasıdır. Bu soruna çözüm olarak Nahmias (1977) eldeki eski ürünlerin gruplanmasını önermiştir. Hem ürün ömrünün n periyot, hem de tedarik süresinin sıfırdan büyük varsayılması problemi oldukça karmaşık bir hale getirmektedir. Bu nedenle tedarik süresinin sıfırdan büyük olduğu durumlarla ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Williams ve Patuwo (1999,2004) bu anlamda diğerlerinden farklıdır. Bu çalışmalarda tedarik süresinin sıfırdan büyük ve satış kaybı olduğu durumda farklı talep dağılımları için toplam maliyet fonksiyonunu enküçükleyecek sipariş miktarı belirlenmiştir. Tedarik süresinin pozitif, ürün ömrünün n periyot,

planlama döneminin sonlu veya sonsuz olduğu durumları modelleyen çalışmalar arasında kan bankası için Markov karar süreçlerini kullanarak optimal politika belirleyen Haijema vd. (2007) de bulunmaktadır.

5.1.2. Ürün Ömrünün Rassal Olması Varsayımı

Bazı durumlarda ürün ömrü kesin olarak bilinmediğinde bir dağılım varsayımında bulunmak uygundur. Ancak periyodik gözden geçirme varsayımı altında ürün ömrünün rassal olarak ele alınması problemi daha da zorlaştıracığından literatürde bu konu ile ilgili periyodik gözden geçirme varsayımı altında az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Friedman ve Hoch (1978) rassal ürün ömrü ve deterministik talep altında sistemi ekonomik sipariş miktarı modeli ile incelemişlerdir. Nahmias (1977b), hem talebin hem de ürün ömrünün rassal olduğu durumu incelemiştir. Bu çalışmada optimal politikanın ürün ömrünün deterministik olduğu durum ile aynı olduğu gösterilmiştir.

Bu bölümde sözü edilen çalışmalar ve bu çalışmalara ilişkin bazı bilgiler Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Periyodik Gözden Geçirme Politikası Altında Yapılan Çalışmaların Sınıflandırılması

Çalışmanın yazarları ve yılı	Ürün ömrü	Talep yapısı	Tedarik süresi	Sıfır stok durumundaki talep
Bulinskaya (1964)	Sabit (tek periyot)	Rassal	Sıfır ve 1 periyot	Ardışmarlama
Veinott (1960)	Sabit (tek periyot)	Deterministik	1 periyot	Satış kaybı
Nahmias (1978)	Sabit (tek periyot)	Rassal	Sıfır	Satış kaybı

Van Zyl (1964)	Sabit (2 periyot)	Rassal	Sıfır	Satış kaybı
Nahmias ve Pierskalla (1973)	Sabit (2 periyot)	Rassal	Sıfır	Ardışmarlama
Fries (1975)	Sabit (n periyot)	Rassal	Sabit	Satış kaybı
Nahmias (1975)	Sabit (n periyot)	Rassal	Sıfır	Ardışmarlama
Nahmias (1976)	Sabit (n periyot)	Rassal	Sıfır	Ardışmarlama
Nandakumar ve Morton (1993)	Sabit (n periyot)	Rassal	Sıfır	Satış kaybı
Broekmeulen ve Van Dorselaar (2009)	Sabit (n periyot)	Rassal	Sabit	Satış kaybı
Minner ve Transchel (2010)	Sabit (n periyot)	Rassal	Sabit	Ardışmarlama
Williams ve Patuwo (1999)	Sabit (2 periyot)	Rassal	Sabit	Satış kaybı
Williams ve Patuwo (2004)	Sabit (2 periyot)	Rassal	Sabit	Satış kaybı
Hajjema vd. (2007)	Sabit (n periyot)	Deterministik	Sabit	N/A
Nahmias (1977b)	Rassal	Rassal	Sıfır	Ardışmarlama

5.2. Sürekli Gözden Geçirme Politikası

Sürekli gözden geçirme politikasında, siparişler arası sürenin bir rassal değişken, sipariş miktarının sabit olduğu durum söz konusudur. İkinci bölümde anlatıldığı gibi (Q,r) , $(S-1,S)$, (s,S) , (Q,r,T) gibi politikalar sürekli gözden geçirme politikalarıdır. Bozulabilir envanter literatürüne bakıldığında ilk yıllarda $(S-1,S)$ politikasının benimsendiği birçok çalışmaya rastlamak mümkün olmakla birlikte, (Q,r) veya (Q,r,T) politikalarının kullanıldığı çalışmalar çok azdır (Tekin vd. 2001). (s,S) politikasının sipariş politikası olarak kabul edildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Burada sürekli gözden geçirme politikası başlığı altında (s,S) politikasına göre sistemi analiz eden çalışmalar incelenecektir. Problemin çözümüne yaklaşım olarak temelde iki bakış açısı bulunmaktadır. Bazı çalışmalar süreci modellemeye odaklanırken bazı çalışmalar maliyet fonksiyonu üzerine odaklanarak sayısal optimizasyon ile çözüm elde etmişlerdir. Bu ayrım Tablo 4.2'nin son sütununda belirtilmiştir.

5.2.1. Ürün Ömrünün Sabit Olması Varsayımı

Weiss (1980), bozulabilir ürünlerin stoklarını sürekli gözden geçirme politikası ile değerlendiren ilk çalışmalardandır. Bu çalışmada talebin Poisson sürecine uyduğu ve tedarik süresinin sıfır olduğu varsayılmıştır. Hem ardışıklama hem de kayıp satış durumu için uzun dönemdeki beklenen maliyet fonksiyonları elde edilmiş, bu fonksiyonları eniyileyen sipariş politikası araştırılmıştır. Kayıp satış durumu için eldeki stok sıfır olduğunda S' 'ye çıkaracak kadar sipariş verilmesi optimum politika olarak bulunmuştur. Ardışıklama maliyetinin doğrusal olduğu durumda (s,S) politikasının optimal olduğu gösterilmiştir.

Kaspi ve Perry (1983), talebin birer birer ve Poisson sürecine göre oluştuğu, siparişlerin hemen geldiği bir envanter sistemini çözümlenmişlerdir. Sistemi M/M/1 kuyruk sistemi gibi düşünerek analiz etmişler, sistemdeki ortalama birim sayısının (ortalama envanter düzeyinin) limit dağılımının türeten fonksiyonunu hesaplamışlar, ayrıca bozulmalar arası geçen sürenin Laplace-Stieltjes dönüşümünü hesaplamışlardır. Kaspi ve Perry (1984), bir önceki çalışmayı talebin yenileme sürecine göre oluştuğu durum için genellenmişlerdir. Sistemi bu kez M/G/1 kuyruğu gibi düşünerek analiz etmişlerdir. Ravichandran (1995), talebin birer birer ve Poisson sürecine göre olduğu, tedarik süresinin rassal olduğu ve ardışmarlamaya izin verilmediği modeli incelemiştir. $L(t)$, t anındaki fiziksel olarak tutulan envanter düzeyi olarak tanımlanmış, $\{L(t), t \geq 0\}$ stokastik sürecinin deviniminin talebin geliş süreci, sipariş, tedarik süresi ve bozulma ile karakterize edildiği söylenmiştir. Sistem Markov yenilme süreci olarak tanımlanmış ve analiz edilmiştir. Liu ve Lian (1999), talebin yenileme sürecine uygun olarak oluştuğu, stoktaki azalmanın birer birer olduğu, stok düzeyinin sıfır olması durumunda oluşan talebin ardışmarlama ile karşılandığı, tedarik süresinin sıfır olduğu sistemi incelemiştir. Bu çalışmada $\{X_n, Z_n, n \geq 0\}$ sistemin durumunu karakterize eden ve durum uzayı $J = (S, -1)$ olan Markov yenileme süreci olarak tanımlanır, sisteme ait yarı-Markov çekirdeği hesaplanır ve durağan durum olasılıkları bulunur. Birim başına beklenen toplam maliyet elde edilir.

Lian ve Liu (2001), talebin yığımlar halinde gerçekleştiği ve yenileme sürecine uygun olarak geldiği, tedarik süresinin sıfırdan büyük bir sabit olduğu ve ardışmarlama durumunda modeli incelemiştir. Sistem Markov yenileme süreci ile ifade edilmiş, tedarik süresinin sıfır olduğu durum için

analitik çözüm verilmiş, tedarik süresinin bir sabit olduğu durum için ise sezgisel yöntem önerisinde bulunulmuştur.

5.2.2. Ürün Ömrünün Üssel Dağılıma Uyması Varsayımı

Kalpapak ve Arivarignan (1988), stoktaki ürünlerin birer birer azaldığı, talebin Poisson sürecine göre olduğu sistemi incelemişlerdir. Tedarik süresinin sıfır olduğu varsayımıyla stok düzeyinin uzun dönemdeki durağan dağılımını elde etmişlerdir. Liu (1990), talebin Poisson sürecine göre geldiği ve stoktaki azalmanın birer birer olduğu, tedarik süresinin sıfır varsayıldığı ve ardışıklama durumunda modeli incelemiştir. t anındaki envanter düzeyi, durum uzayı $S = \{s + 1, \dots, S\}$ olan Markov süreci olarak tanımlanmıştır. Doğum-ölüm süreci gibi düşünülerek denge denklemlerinden; sistemin boş olması olasılığı sıfır envanter olması olasılığı, P_n de envanter düzeyinin n olması olasılığı olarak düşünülmüş ve bulunmuştur. Burada, sistemdeki ortalama müşteri sayısı (L) uzun dönemde ortalama envanter düzeyine karşılık gelir. Daha sonra maliyetler hesaplanmıştır. Kalpakam ve Sapna (1994), talebin birer birer ve Poisson sürecine göre gerçekleştiği, tedarik süresinin üssel olduğu ve ardışıklama durumunda modeli incelemiştir. Bu çalışma Kalpakam ve Arivarignan (1988)'in genelleştirilmiş halidir. t anındaki envanter miktarını gösteren $I(t)$, durum uzayı $S = \{0, 1, \dots, S\}$ olan sürekli zaman Markov süreci olarak ifade edilmiştir. Kolmogorov denklemlerinden durağan durum olasılıkları elde edilmiş ve optimal maliyet analizi yapılmıştır. Liu ve Shi (1999), talebin yenileme sürecine uyduğu ve birer birer gerçekleştiği, tedarik süresinin sıfır olduğu ve ardışıklamanın olmadığı varsayımlarıyla sistemi incelemişlerdir. Toplam maliyet fonksiyonu elde edilmiş, bu fonksiyonun özellikleri incelenmiştir. Kalpakam and Shanti (2006), talebin birer birer gerçekleştiği ve yenileme sürecine göre gerçekleştiği, tedarik süresinin üssel

dağılıma uyduğu ve ardısmarlama durumunda modeli yarı-rejeneratif süreç olarak ifade ederek incelemiştir. $\{I_n, X_n, T_n; n \in N\}$ sistem durumunu karakterize eden Markov yenileme süreci, $E = \{(i, q) | 0 \leq i \leq S, q = 0; 0 \leq i \leq s, Q \leq q \leq S - i\}$ olmak üzere, durum uzayı $E \times [0, \infty)$ olarak verilmiştir. Sisteme ait yarı-Markov çekirdeği belirlenmiş, uzun dönemde envanter düzeyinin dağılımı elde edilmiştir.

Lian vd. (2009), talebin yığınlar halinde gerçekleştiği ve Markov yenileme sürecine göre oluştuğu, tedarik süresinin sıfır olduğu ve ardısmarlama durumunda modeli incelemiştir. Burada $\{D(t), t_n, n \geq 0\}$ talep durumunu simgeleyen Markovyen geliş süreci, $\{I(t), D(t), t \geq 0\}$ ise sistemin durumunu karakterize eden ve durum uzayı $S = \{(i, d) | i = s + 1, \dots, S; d = 1, \dots, m\}$ olan Markov yenileme süreci olarak tanımlanmıştır. Tekrar sipariş noktası $s < -1$ ve $s = -1$ olduğu durumlar için ayrı ayrı yarı-Markov çekirdeği elde edilmiştir. Durağan durumda beklenen stok maliyeti, beklenen ardısmarlama maliyeti ve beklenen sipariş maliyeti hesaplanmış, toplamı periyot süresine bölünerek birim zamanda beklenen toplam maliyet fonksiyonu elde edilmiştir.

5.2.3. Ürün Ömrünün Rassal Olması Varsayımı

Ravichandran (1988)'de talebin Markovyen olduğu yani Poisson sürecinden geldiği, ürün ömrünün Erlang dağılımına uyduğu ve tedarik süresinin bir rassal değişken olduğu envanter problemini incelemiştir. Karşılanamayan talebin kayıp olduğunu varsaymıştır. Sistemi Markov yenileme süreci ile karakterize etmiştir. Kalpakam ve Arivarignan (1989) talebin yenileme sürecine göre oluştuğu, ürün ömrünün Erlang dağılımına uyduğu, tedarik süresinin sıfır olduğu varsayımlarıyla sistemi analiz etmiştir. Sistemi yarı-rejeneratif süreç olarak ifade ederek hem geçişli

durum için hem de durağan durum için envanter düzeyinin dağılımını elde etmiştir. Uzun dönemde beklenen maliyet fonksiyonunu eniyileyecek politika belirlenmiştir. Chakravarthy (2010), talebin birer birer gerçekleştiği ve Markovyen geliş sürecine göre olduğu, ürün ömrünün faz tipi (phase-type) dağılıma sahip olduğu, tedarik süresinin sıfır olduğu ve karşılanamayan talepler için bir tampon stok bulunduğu, tampon stoktan da karşılanamayan taleplerin kayıp olduğu modeli incelemiştir. Sistemi 5 durumlu sürekli zaman Markov zinciri olarak ifade etmiştir. Birinci durum envanter düzeyi, ikinci durum tampon envanter düzeyi, üçüncü durum bozulan envanterin hangi fazda olduğu, dördüncü durum siparişin bulunduğu fazı, beşinci durum talep fazını gösterir. Yoğunluk matrislerini elde edip, sistemin durağan davranışını ifade edip, ortalama envanter düzeyi, talebin stoktan karşılanma olasılığı, talebin tampon stoktan karşılanma olasılığı, talebin karşılanmama olasılığı gibi birçok sistem parametresi hesaplamışlardır. Toplam maliyeti sayısal olarak optimize etmişlerdir.

Gürler ve Özkaya (2008), talebin yenileme sürecine göre olduğu, ürün ömrünün rassal bir değişken, tedarik süresinin sıfır olduğu ve ardışmarlamaya izin verilmediği modeli incelemiştir. Talebin, boyutu rassal olan yığınlar halinde geldiğini varsaymıştır. Literatürde genelde üssel veya Erlang dağılımından geldiği varsayılan ürün ömrünün rassal bir değişken olarak tanımlanması, bu literatüre getirilmiş çok önemli bir yeniliktir. Sistemin beklenen maliyet fonksiyonunu karakterize etmiş ve ürün ömrü için farklı dağılım varsayımları altında geniş bir nümerik çalışma sunmuşlardır. Ayrıca tedarik süresinin sıfırdan farklı bir sabit olduğu durum için de yaklaşık çözüm önerisinde bulunmuşlardır. Aslında raf ömrü sabit olarak varsayılan ürünlerin de saklama koşullarından dolayı ömürlerinin bir rassal değişken olduğunu görmezden gelmenin önemsiz sayılmayacak

kayıplara neden olduğu sonucuna varmışlardır. Baron vd. (2010), talebin bileşik Poisson süreci olduğu, tedarik süresinin sıfır olduğu ve ardışmarlamaya izin verilmediği modeli incelemiştir. Bu çalışmada ürünlerin stoka yığınlar halinde girdiği, her yığının aynı anda bozulduğunu varsaymışlar, yığınların ömrünün deterministik ya da stokastik olabileceğini düşünmüşlerdir. Beklenen maliyet fonksiyonunu ifade etmişlerdir.

Bu bölümde sözü edilen çalışmalar ve bu çalışmalara ilişkin bazı bilgiler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. (s,S) Sürekli Gözden Geçirme Politikası Altında Yapılan Çalışmaların Sınıflandırılması

Çalışmanın yazarları ve yılı	Ürün ömrü	Talep yapısı	Tedarik süresi	Talep miktarı	Sıfır stok durumundaki talep	Analiz Yöntemi
Weiss (1980)	Sabit	Poisson süreci	Sıfır	Bir birim	Ardışmarlama ve kayıp satış	Maliyet fonksiyonu
Kaspi ve Perry (1983)	Sabit	Poisson süreci	Sıfır	Bir birim	Kayıp satış	Ertelemiş Yenileme Süreci
Kaspi ve Perry (1984)	Sabit	Yenileme süreci	Sıfır	Bir birim	Kayıp satış	Ertelemiş Yenileme Süreci
Ravichandran (1995)	Sabit	Poisson süreci	Sabit	Bir birim	Kayıp satış	Stokastik süreç
Liu ve Lian (1999)	Sabit	Yenileme süreci	Sıfır	Bir birim	Ardışmarlama	Markov Yenileme Süreci
Lian ve Liu (2001)	Sabit	Yenileme süreci	Sıfır	Yığın	Ardışmarlama	Markov Yenileme Süreci
Kalpakam ve Arivarignan (1988)	Üssel	Poisson süreci	Sıfır	Bir birim	Kayıp satış	Stokastik süreç
Liu (1990)	Üssel	Poisson süreci	Sıfır	Bir birim	Ardışmarlama	Sürekli zaman

Kalpakam ve Sapna (1994)	Üssel	Poisson Süreci	Üssel	Bir birim	Ardışmarlama	Sürekli zaman Markov zinciri
Liu ve Shi (1999)	Üssel	Yenileme süreci	Sıfır	Bir birim	Kayıp satış	Maliyet fonksiyonu
Kalpakam ve Shanthi (2006)	Üssel	Yenileme süreci	Üssel	Bir birim	Kayıp satış	Markov Yenileme Süreci
Lian, Liu ve Zhao (2005)	Üssel	Yenileme süreci	Sıfır	Yığın	Ardışmarlama	Markov Yenileme Süreci
Ravichandran (1988)	Erlang	Poisson süreci	Rassal	Bir birim	Kayıp satış	Markov Yenileme Süreci
Kalpakam ve Arivarignan (1989)	Erlang	Yenileme süreci	Sıfır	Bir birim	Kayıp satış	Markov Yenileme Süreci
Chakravarthy (2010)	Faz tipi dağılım	Markovyen geliş süreci	Sıfır	Bir birim	Kayıp satış	Maliyet fonksiyonu
Gürler ve Özkaya (2008)	Rassal	Yenileme süreci	Sıfır/sabit	Yığın	Ardışmarlama	Maliyet fonksiyonu
Baron (2010)	Rassal	Bileşik Poisson Süreci	Sıfır	Yığın	Kayıp satış	Maliyet fonksiyonu

6. SONUÇ VE YENİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

Bozulabilir envanter problemi 70'li yılların ikinci yarısından başlayarak günümüze kadar ilgi çekmeyi sürdüren bir konudur. Bu çalışmada bozulabilir envanter probleminin yapısı ve problemin yapısını etkileyen dinamikler incelenmiştir. Bu problem üzerine literatürde yapılan önemli çalışmalar sınıflandırılarak ana hatlarıyla anlatılmıştır. Problemin yapısına bağlı olarak ikinci bölümde anlatılan bileşenler yani talep yapısı, ürün ömrü, sipariş politikası, stok tükenme durumu ve tedarik süresi üzerine çeşitli

varsayımlar yapılarak bozulabilir envanter problemi çok çeşitli biçimlerde ele alınabilir.

Yakın zamandaki bazı çalışmalar haricinde talebin birer birer gerçekleştiği varsayımı yapılmaktadır. Bu varsayım, talebin yığınlar halinde gerçekleştiği durumun incelendiği son çalışmalarda genişletilmiştir. Ayrıca talebin dağılımdan bağımsız olduğu durum için yapılan çalışmalardan da söz edilebilir (Levina vd.:516).

Envanteri gözden geçirme politikası olarak bakıldığında yapılan çalışmaları iki temel başlıkta incelemek mümkündür. Bozulabilir envanter problemine dair çalışmalar periyodik gözden geçirme politikası ile başlamış olsa da, çözümde dinamik programlama kullanıldığından, ürün ömrünün rassal veya tedarik süresinin sıfırdan büyük olması durumunda problemin çözümü zor, hatta yaklaşık çözümlerle mümkün olmaktadır.

Sürekli gözden geçirme politikaları arasında (s,S) politikası üzerine çok fazla çalışma vardır. Bu durumda da ürün ömrünün genellikle sabit ya da üssel dağılıma uyduğu varsayımı altında problem düşünülmüştür. Ürün ömrünün rassal olması durumu, periyodik gözden geçirme politikası altında sistemi çok karmaşıklarıştırmakta, hesaplamayı güçleştirmektedir. Bu nedenle bu durum ile sürekli gözden geçirme politikası altında karşılaşılır. Ürün ömrü yapılan çalışmalarda uzun süre üssel ve üssel ailesinden varsayılmış, ancak bu durumun, hesaplamalarda kolaylık sağlamakla birlikte gerçek durumla çoğu kez örtüşmediği düşünülerek ürün ömrünün herhangi bir dağılıma sahip olması durumu 2000'li yıllarda incelenmeye başlanmıştır. Ürün ömrünün rassal olduğu durum çalışmaya açık bir alandır.

Ayrıca tedarik süresinin sabit veya rassal olarak alınması problemi zorlaştıran etkenlerden biridir. Ürün ömrünün rassal ve tedarik süresinin sıfırdan büyük bir sabit olduğu durum yalnız Gürler ve Özkaya (2008)

tarafından ele alınmış ve bir yaklaşık çözüm önerisinde bulunulmuştur. Ayrıca, farklı sipariş politikalarını karşılaştıran ve hangi durumlarda hangi politikanın daha iyi sonuç vereceğine ilişkin çalışmalara literatürde fazla yer verilmediği görülmüştür. Örneğin hangi tür problemlerde (s,S) veya (Q,r,T) politikalarından hangisinin daha iyi sonuç verdiği bir araştırma konusu olabilir (Karaesmen vd.:410)

Bozulabilir envanter probleminde uygulamada karşılaşılan en önemli problemlerden biri de ürünün stoktan çıkma prensibidir. Literatürdeki çalışmaların çoğunda FIFO prensibi varsayılmıştır. Bu prensibi LIFO olarak varsayan çalışmalar bulunmakla birlikte FIFO ve LIFO prensibinin karşılaştırıldığı çalışmalar da bulunmaktadır (Parlar vd. (2011), Ioannidis vd. 2012). Ayrıca son yıllardaki çalışmalarda stoka bağlı talep ya da envanter düzeyine bağlı talep konusu ele alınmıştır (Duan vd.2012, Lee and Dye 2012). Ayrıca Haijema (2013) envanter düzeyine bağlı talep durumu için yeni bir envanter politikası önermiştir.

KAYNAKÇA

BAKKER, M., RIEZEBOS, J. ve TEUNTER, R. H. (2012), “Review of inventory systems with deterioration since 2001”, *European Journal of Operational Research*, 221, 275–284.

BARON, O., BERMAN, O. ve PERRY, D. (2010), “Continuous Review Inventory Models for Perishable Items Ordered in Batches”, *Mathematical Methods of Operations Research*, 72, 214-247.

BROEKMEULEN, R.A. ve VAN DONSELAAR, K.H. (2009), “A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead times, and time-varying demand”, *Computers and Operations Research*, 36, 3013-3018.

BULINSKAYA, E. (1964), “Some Results Concerning Inventory Policies”, *Theory of Probability and Its Applications*, 6 (6), 389-403.

CHAKRAVARTHY, S.R. (2010), “An inventory system with Markovian demands, phase type distributions for perishability and replenishment”, *OPSEARCH*, 47 (4), 266–283.

FRIEDMAN, Y. ve HOCH, Y. (1978), “A dynamic lot size model with inventory deterioration”, *INFOR*, 16, 183–188.

FRIES, B.E. (1975), “Optimal ordering policy for a perishable commodity with fixed lifetime”, *Operations Research*, 23, 46-61.

GOYAL, S. ve GIRI, B. (2001), “Recent trends in modeling of deteriorating”, *European Journal of Operational Research*, 134 (1), 1-16.

GÜRLER, Ü. ve ÖZKAYA, B.Y. (2008), “Analysis of the (s,S) policy for perishable with a random shelf life” *IIE Transactions*, 40 (8), 759-781.

HAIJEMA R., VAN DER VAL, J. ve VAN DIJK, N.M. (2007), “Blood platelet production: Optimization by dynamic programming and simulation”, *Computers and Operations Research*, 34, 760-779.

KALPAKAM, S. ve ARIVARIGNAN, G. (1988), “A continuous Review Perishable inventory model”, *Statistics*, 19 (3), 389-398.

KALPAKAM, S. ve ARIVARIGNAN, G. (1989), “On exhibiting inventory systems with Erlangian lifetimes under renewal demands”, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, Vol. 41, No. 3, 601-616.

KALPAKAM, S. ve SAPNA, K. (1994), “Continuous review (s, S) inventory system with random lifetimes and positive leadtimes”, *Operations Research Letters*, 16, 115–119.

KALPAKAM, S. ve SHANTHI, S. (2006), “A continuous review perishable system with renewal demands”, *Annals of Operations Research*, 143 (1), 211-225.

KARAESMEN I. Z., SCHELLER-WOLF, A. ve DENİZ, B. (2011), “Managing Perishable and Aging Inventories: Review and Future Research Directions”, *International Series in Operations Research & Management Science*, 151, 393-436.

KASPI, H. ve PERRY, D. (1983), “Inventory systems for perishable commodities with renewal input and Poisson output”, *Advances in Applied Probability*, 16, 402–421.

KASPI, H. ve PERRY, D. (1984), “Inventory Systems for Perishable Commodities with Renewal Input and Poisson Output”, *Advances in Applied Probability*, Vol. 16, No. 2, 402-421.

LEVINA T., LEVIN, Y., MCGILL, J., NEDIAK, M. ve VOVK, V. (2010), “Weak aggregating algorithm for the distribution-free perishable inventory problem”, *Operations Research Letters*, 38, 516-521.

LIAN, Z. ve LIU, L. (2001), “Continuous review perishable inventory systems: models and heuristics”, *IIE Transactions*, 33 (9), 809-822.

LIAN, Z., LIU, L. ve ZHAO, N. (2009), “A perishable inventory model with Markovian renewal demands”, *International Journal of Production Economics*, 121 (1), 176-182.

LIU, L. ve SHI, D. (1999), “An (s,S) Model for Inventory with Exponential Lifetimes and renewal Demands”, *Naval Research Logistics*, 46, 39-56.

LIU, L. (1990), “(s,S) continuous review models for inventory with random lifetimes”, *Operations Research Letters*, 9, 161-167.

LIU, L. ve LIAN, Z. (1999), “(s, s) continuous review models for products with fixed lifetimes”, *Operations Research*, 47 (1), 150–158.

MINNER, S. ve TRANSCHEL, S. (2010), “Periodic review inventory control for perishable products under service-level constraints”, *OR Spectrum*, 32 (4), 979-996.

NAHMIAS, S. (1975), “Optimal ordering policies for perishable inventory-II”, *Operations Research*, 23, 735-749.

NAHMIAS, S. (1976), “Myopic Approximations for the Perishable Inventory Problem”, *Management Science*, 22(9), 1002-1008.

NAHMIAS, S. (1977a), “Higher-Order Approximations for the Perishable-Inventory Problem”, *Operations Research*, vol. 25, no. 4, 630-640.

NAHMIAS, S. (1977b), “On Ordering Perishable Inventory when Both Demand and Lifetime are Random”, *Management Science*, vol. 24, no. 1, 82-90.

NAHMIAS, S. (1978), “The Fixed-Charge Perishable Inventory Problem”, *Operations Research* vol. 26, no. 3, 464-481.

NAHMIAS, S. (1982), “Perishable inventory theory: A review”, *Operations Research*, 30 (4), 680-708.

NAHMIAS, S. ve PIERSKALLA, W.P. (1973), “Optimal ordering policies for product that perishes in two periods subject to stochastic demand”, *Naval Research Logistics Quarterly*, 20 (2), 207-229.

NANDAKUMAR, P. ve MORTON, T. E. (1993), “Near myopic heuristics for the fixed-life perishable inventory problem”, *Management Science*, 39, 1490-1498.

PARLAR, M., PERRY, D. ve STADJE, W. (2011), “FIFO versus LIFO Issuing Policies for Stochastic Perishable Inventory Systems”, *Methodology and Computing in Applied Probability*, 13, 405-417.

PIERSKALLA, W. ve ROACH, C. (1972), “Optimal issuing policies for perishable inventory”, *Management Science*, 18 (11), 603–614.

RAAFAT, F. (1991), “Survey of literature on continuously deteriorating inventory model”, *Journal of the Operational Research Society*, 42, 27-37.

RAVICHANDRAN, N. (1988), “Probabilistic Analysis of a Continuous Review Perishable Inventory System with Markovian Demand, Erlang Life and Non-instantaneous Leadtime”, *Operation Research Spektrum*, 10, 23-27.

RAVICHANDRAN, N. (1995), “Stochastic Analysis of a Continuous Review Perishable Inventory System with Positive Leadtime and Poisson Demand”, *European Journal of Operation Research*, 84(2), 444-457.

TEKIN, E., GÜRLER, Ü. ve BERK, E. (2001), “Age-based vs. stock level control policies for a perishable inventory system”, *European Journal of Operational Research*, 134, 309-329.

VAN ZYL, G.J.J. (1964), *Inventory control for perishable commodities*, Ph. D. Dissertation, University of North Carolina: USA.

VEINOTT, A.F. (1960), *Optimal Ordering, Issuing and Disposal of Inventory with Known demand*, Unpublished Ph.D. dissertation, Columbia University: USA.

WEISS, H.Y. (1980), “Optimal Ordering Policies for Continuous Review Perishable Inventory Models”, *Operations Research*, 28(2), 365-374.

WILLIAMS, C.L. ve PATUWO, B.E. (1999), “A perishable inventory model with positive order leadtimes”, *European Journal of Operational Research*, 116, 352-373.

WILLIAMS, C.L. ve PATUWO, B.E. (2004), “Analysis of the effect of various unit costs on the optimal incoming quantity in a perishable inventory model”, *European Journal of Operational Research*, 156, 140-147.