

## Dışkaynak Tamir, Kayıp Satış ve Rassal Makine Kullanılmama Süresi Varsayımları Altında İki Aşamalı Tedarik Zinciri Modeli

*Two-Level Supply Chain Model, Assuming Outsourcing Repair, Lost Sales and Random Machine Unavailability Time*

Harun ÖZTÜRK<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, İşletme Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

### Öz

Günümüz küresel rekabet ortamında üreticiler ile endüstriyel alıcılar arasındaki işbirliğinin artması ve müşteri taleplerinin sürekli değişkenlik göstermesi tedarik zinciri stok yönetimi kavramının önemini giderek artırmaktadır. Bu çalışmada, tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan iki aşamalı tedarik zinciri modeli geliştirilmektedir. Tek cins ürün için verilen sipariş miktarı, herbir üretim çevrim süresi içinde eşit parti hacimli sevkiyatlar ile alıcıya teslim edilmektedir. Üretim sırasında kusurlu ürünlerin üretilmesi, kusurlu ürünlerin tamir edilebilir özellikte olması, tamir işleminin dışkaynak kullanılarak yapılması, makine arızalanması, bakım ve yeterli hammadde bulundurmama durumlarından dolayı üretimin gecikmesi temel varsayımlardandır. Alıcı için kusurlu ürünlerin tamir maliyeti ve kayıp satışlar maliyeti ortaya çıkmaktadır. Makine kullanılmama süresi rassal bir değişkendir ve sürekli tekdüze ve üstel dağılıma uymaktadır. Üretici ve alıcı için toplam maliyet fonksiyonları elde edilmiş ve daha sonra bütünlük toplam maliyet fonksiyonu türetilmiştir. Bütünlük toplam maliyet fonksiyonunu minimum yapan optimum sipariş miktarı ve sevkiyat sayısı, önerilen bir algoritma ile belirlenmiştir. Sayısal örnek ile modelin geçerliliği gösterilmiştir ve bazı model parametrelerinin optimum çözüm üzerindeki etkisi duyarlılık analizi ile incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bütünlük stok model, kusurlu ürün, tamir, dışkaynak, kayıp satış.

### Abstract

In today's global competitive environment, increasing cooperation between manufacturers and industrial buyers and frequent changes in customer demands increase the importance of supply chain inventory management. In this study, a two-level supply chain model is developed, consisting of a single manufacturer and a single buyer. The order quantity supplied for a single product is delivered to the buyer in equal batch shipments within each production cycle. The main assumptions are that imperfect products are produced, the imperfect products are repairable, repairs are outsourced, and production delays occur due to machine breakdown, maintenance and shortages of raw materials. The buyer incurs the cost of repairing imperfect products and lost sales costs arise. Machine unavailability time is a random variable and follows uniform and exponential distributions. Total cost functions are obtained for the manufacturer and the buyer and then an integrated total cost function is derived. The optimum order quantity and the number of shipments that minimize the integrated total cost function are determined by a proposed algorithm. The validity of the model is demonstrated by numerical example and the effects of some model parameters on the optimum solution are examined by sensitivity analysis.

**Keywords:** Integrated inventory model, imperfect products, rework, outsourcing, lost sales.

## I. GİRİŞ

Günümüzde tedarik zinciri yapısı daha da karmaşık bir hal almıştır. Gösterdikleri farklı faaliyetler bakımından çok sayıda işletmenin birbirine bağlı duruma geldiği görülürken, coğrafi bölge olarak da birbirlerinden oldukça uzaklaştıkları görülmektedir. Küreselleşme ile birlikte her alanda olduğu gibi tedarik zincirlerinde de önemli farklılıklar yaşanmaktadır. Son yirmi yılda ekonominin yanısıra tedarik zincirlerinin de küresel bir boyut kazandığını söyleyebiliriz. Farklı ülkelerde üretilen ürünler coğrafi olarak bir başka ülkede tüketilmekte, bir nihai ürünün bileşenleri farklı coğrafi bölgelerdeki işletmelerden elde edilmektedir. Bu durum, tedarik zincirinin günden güne daha karmaşık bir yapıya bürünmesine ve tedarik zinciri yönetiminin daha da önemli hale gelmesine yol açmıştır [1].

Genel olarak bir tedarik zinciri, tedarikçi(ler) ve üretici(ler) ile depolar ve dağıtım merkezlerinden oluşmaktadır [2]. Tedarik zinciri modelleri karar vericilerine göre merkezi (centralized) ve merkezkaç (decentralized) olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Merkezi bir tedarik zincirinde, tek bir karar verici sistemin tamamını eniyilemeyi hedeflemektedir. Merkezkaç bir tedarik zincirinde ise sistemi oluşturan taraflar sadece kendi sistemlerini eniyilemeyi hedeflemektedir [3, 4]. Tedarik zinciri yönetimi, nihai müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla tedarik zincirinde taraflar arasındaki bilgi ve malzeme alışverişi koordinasyonunun sağlanmasıdır.

Sadece malzeme tedarikinin sağlanması amacı güdülen tedarik zincirlerinde, taraflar arasındaki bilgi alışverişi verilen siparişler üzerinden gerçekleşmektedir. Bu ise, tedarik zincirinde fazla stok, verimsiz kapasite kullanımı ve artan müşteri memnuniyetsizliği gibi problemlere yol açmaktadır [2]. Tedarik zincirinde stoklar, tam zamanında üretim yöntemi ile istenilen kalitedeki ürünlerin, küçük miktarlarda ve zamanında teslim alınması sonucunda sıfır düzeyine kadar çekilebilmektedir [5, 6].

Satıcı-alıcı entegrasyonu problemi, tedarik zinciri yönetiminde temel araştırma konusu olarak kabul edilmektedir. Bu problem ilk olarak Goyal [7] tarafından ele alınmış ve merkezi bir tedarik zinciri için tedarik zinciri toplam (bütünlük) maliyetini minimum yapan bir matematik model geliştirilmiştir. Tek üretici ve tek alıcıdan oluşan iki aşamalı merkezi bir tedarik zincirinde, üretim kapasitesinin sınırsız olduğu ve üretim sürecinin kontrol altında olduğu varsayılmıştır. Bir üretim süreci, talep edilen ürünün üretimine başlanılmasından nihai kullanıcı/müşteri kullanımına hazır oluncaya kadar gerçekleştirilen tüm planlı faaliyetler olarak tanımlanabilir [8]. Bir üretim süreci ile ortaya çıkan ürün arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Üretim sürecinin kontrol altında olmasıyla beklenen kalitede ürünlerin elde edildiği söylenebilirken, üretim sürecinin kontrol altında olmaması durumunda ise beklenen kalite standartlarının sağlanmadığı, bir başka ifade ile üretilen ürünler içerisinde kusurlu ürünlerinde bulunduğu ve sürecin değişkenlik içerdiği söylenebilir. Üretim sürecinin doğal ya da özel nedenlerle ortaya çıkan bu değişikliklerden olumsuz olarak etkilendiği ve gıda, hazır giyim, orman ürünleri, çimento ve ilaç endüstrisi gibi birçok endüstride üretim sırasında kusurlu ve hurda ürün elde edildiği görülmektedir [8, 9].

Çevreye karşı duyarlı üretim faaliyetlerinin artması ve yasal düzenlemeler ile birlikte işletmeler kusurlu ürünlerin tamamını ya da bir kısmını tamir (repair/refurbishing) ve yeniden üretim sürecine (remanufacturing) dahil ederek maliyet tasarrufu sağlayabilirler [10, 11]. Tedarik zincirinin tasarım ve modellenmesinde, kusurlu ürünlerin ayırt edilmesi işlemi hem üretici hem de alıcı tarafından yapılabilir. Üretici tarafından belirlenen kusurlu ürünler, ya ikincil pazarda indirimli fiyattan satılmaktadır [12], yada üretim süreci tamamlandığında tamir sürecine/yeniden üretime girmektedir [13]. Kusurlu ürünlerin alıcı tarafından belirlenmesi durumunda ise bu ürünler satıcıya geri gönderilmekte [14], indirimli fiyattan satılmakta [15], yada dışkaynak kullanımı (outsourcing) ile tamir edilerek tekrar eldeki stoğa dahil edilmektedir [16]. İşletmelerin temel yetenekleri dışında kalan işlerini konusunda uzman işletmelerle koordinasyon içerisinde temin etmesi dışkaynak kullanımı olarak tanımlanmaktadır. İşletmeleri dışkaynak kullanmaya yönelten nedenlerin başında maliyetleri azaltma ve finansal yetersizlik

gelmektedir. Buna karşın, dışkaynak kullanımı işletmelere taklit edilmesi kolay olmayan kendi öz yetenekleri üzerine yoğunlaşma fırsatı vermektedir [1, 17]. İşletmeler tedarik zinciri planlamalarında dış kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanmaktadırlar [18]. Çoğu işletme sadece taşıma faaliyeti için dışkaynak kullanmayı tercih ederken, diğer işletmelerin hem taşıma hem de üretim/tamir, depolama ve dağıtım faaliyetleri için dışkaynak kullandıkları görülmektedir [19, 20]. Diğer taraftan işletmeler yoğun rekabet ortamında yaşamlarını sürdürebilmek ve üstünlük kazanmak için ürün ve hizmet kalitesini yükseltmeli, maliyetleri azaltmalı ve verimliliklerini artırmalıdır. Bu ortamda faaliyet gösteren işletmeler için üretim kaynaklarının en etkin kullanımını rekabet edebilmenin ön koşulu olmaktadır [21]. Kusurlu ürünlerin tamir işlemi, üretim programının kesilmesini ve yeni makine ve teçhizat alınmasını gerektirebilir [22]. Üretim kesilmesi verimliliğin azalmasını beraberinde getirmektedir [21]. Bu durumun bir sonucu olarak özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmeler (KOBİ) finansal yönden zayıf oldukları için bu rekabet ortamında oldukça fazla zorlanmaktadırlar [23]. Bu işletmelerin dışkaynaklardan etkin yararlanmaya çalışmalarlarıyla rekabet gücünü arttırdıkları söylenebilir [24, 25].

Endüstriyel uygulamalarda, makine arıza ve bakım faaliyetleri, yedek parça ve hammadde tedarigindeki aksamalar, vardiya değişimi ve işçilerin iş devamsızlığı gibi sebeplerden dolayı üretim sürecinde ve/veya üretimden sonra aksamalar ortaya çıkmaktadır ve dolayısıyla makinelerin kullanılmadığı süreler/zamanlar mevcut olmaktadır [26, 27]. Bunlar gibi çeşitli faktörler üretim hedeflerinde değişimlere yol açabilir ve sonucunda azalan üretim düzeyi ve düşük verimlilik ortaya çıkabilir [28]. Bu durumlarda üretici, ürünleri alıcıya yeterli miktarda ve zamanında teslim edemez. Bunun bir sonucu olarak alıcı stoksuz kalma durumu ile karşı karşıyadır. Bir başka ifade ile alıcı müşterilerin taleplerini yerine getiremediği için kayıp satışlar ile karşılaşır ve daha fazla kâr elde etme fırsatını kaybeder.

Bu çalışmanın amacı, tedarik zincirinin modellenmesinde kusurlu ürün, dışkaynak tamir, rassal makine kullanılmama süresi ve kayıp satışlar varsayımlarını birlikte ele almaktır. Bu varsayımlardan bir ya da ikisinin birlikte ele alındığı birçok model geliştirilmiş olmasına rağmen hiçbirinde kusurlu ürünlerin dışkaynak kullanılarak tamir edilmesi, rassal makine kullanılmama süresi ve kayıp satışların tedarik zinciri toplam maliyeti üzerindeki birlikte etkisi araştırılmamıştır. Bu çalışmada, toplam maliyetin kusurlu ürünlerin dışkaynak kullanımı yoluyla minimum yapılmaya çalışıldığı tek üretici ve tek alıcıdan oluşan iki aşamalı merkezkâç bir tedarik zinciri ele alınmaktadır. Üretici sabit hazırlık maliyeti ve sınırlı üretim miktarı ile tek kalem ürünü partiler halinde üretmektedir. Alıcı her parti ürünü sonlu sayıda

ve eşit büyüklükte sevkiyatlar halinde sabit sipariş ve taşıma maliyeti ile satın almaktadır. Üretici ve alıcı için ürünleri stokta tutma maliyeti bulunmaktadır. Alıcı satın aldığı ürünler içerisindeki kusurlu ürünlerin belirlenmesi işleminden sonra bu ürünleri dışkaynak kullanarak tamir etmektedir. Bu durumda alıcı için tamir maliyeti ortaya çıkmaktadır. Üretici, üretimi tam zamanında gerçekleştiremediği için üretim belirli bir süre gecikmektedir. Bu süre, makinelerin kullanılmama süresi olarak düşünülmektedir ve bu süre bilinen bir olasılık dağılımına uyan rassal bir değişkendir. Üretici, ürünlerin alıcıya teslimatının gecikmesinden dolayı ceza maliyeti ile karşılaşırken, alıcı, müşteri taleplerine cevap veremediği için kayış satışlar maliyeti ile karşılaşmaktadır. Makine kullanılmama süresinin üstel ve tekdüze dağılıma uyduğu durumlar için üretici, alıcı ve tedarik zinciri toplam maliyeti (bütünleşik maliyet) matematik olarak modellenmektedir, optimum sipariş miktarı ve sevkiyat sayısı önerilen bir algoritma yardımıyla elde edilmektedir.

Çalışma aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. İkinci bölümde, konu ile ilişkili literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, problem tanımlanmıştır, gerekli notasyon ve varsayımlar verilmiştir. Dördüncü bölümde, tedarikçi ve alıcı için birim zamandaki toplam maliyet fonksiyonları elde edilmiş, ve makine kullanılmama süresinin sırasıyla tekdüze ve üstel dağılıma uyması varsayımları altında bütünleşik toplam maliyet fonksiyonu türetilmiştir. Yine bu bölümde, optimum üretim-sipariş miktarını belirlemek amacıyla algoritmalar önerilmiştir. Beşinci bölümde, geliştirilen modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla sayısal örnekler verilmiştir, talep miktarının ve kayıp satışlar maliyetinin optimum sonuçlar üzerindeki etkisi duyarlılık analizi ile incelenmiştir. Sonuç bölümünde, çalışmada elde edilen bulgulara ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara değinilmiştir.

## II. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, kusurlu üretim süreci, kusurlu ürünlerin tamiri, üretimin gecikmesi ve kayıp satışlar varsayımları altında tek üretici ve tek alıcıdan oluşan iki aşamalı merkezi tedarik zinciri modelleri üzerine yapılmış çalışmalara yer verilmektedir. Banerjee [29], Goyal [7] tarafından ele alınan problemde gerçek hayatta üretim hızının sonlu olması varsayımını dikkate almış ve ihtiyaç kadar sipariş verme (Lot-for-lot) politikası ile bütünleşik bir model önermiştir. Sonraki çalışmada Goyal [30], bir teslimattan diğerine geometrik (oransal) değişim gösteren parti büyüklüğü politikası altında tek satıcı ve tek alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için toplam maliyeti minimum yapmayı amaçlamıştır. Satıcıdan alıcıya gönderilen ilk parti hacminin  $q$  birim, sonraki parti büyüklüklerinin  $\lambda q$  ( $\lambda$ , birim zamandaki üretim miktarının talep miktarına oranıdır) birim olduğu tek bir satıcı ve tek bir alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için matematik bir model Goyal ve Nebebe [31] tarafından önerilmiştir. Önerilen modelin eşit ve geometrik

değişimli parti büyüklüğü politikalarından daha fazla maliyet tasarrufu sağladığı gösterilmiştir. Ertogral vd. [32], taşıma maliyetinin parti büyüklüğüne bağlı olması varsayımı altında tek satıcı ve tek alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için toplam maliyeti minimum yapmayı amaçlamışlardır. Sayısal analiz sonucunda taşıma maliyetini bütünleşik sistem maliyetine dahil etmenin toplam maliyette tasarruf sağladığını ve bunun da üretim ve sipariş kararlarını etkilediğini elde etmişlerdir. Ben-Daya vd. [33], tek bir satıcı ve tek bir alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için optimum parti büyüklüğü belirleme politikalarının genişletilmiş bir özeti ve Goyal ve Nebebe [31] tarafından geliştirilen modelin daha genel bir halini önermişlerdir. Bu modelde, ilk  $m$  tane teslimatın geometrik değişimli parti büyüklüğü politikasının izlenerek teslim edildiği, sonraki  $n-m$  tane teslimatın birbirine eşit ve  $m$  partinin büyüklüğü kadar olduğu eşit parti büyüklüğü politikasının izlenerek teslim edildiği varsayılmıştır. Üretim sürecinin kontrol altında olduğu iki aşamalı tedarik zinciri problemleri üzerine birçok araştırma yapılmıştır [34-39].

Huang [40, 41], kusurlu ürünler içeren stok kontrol problemine satıcı-alıcı entegrasyonu yaklaşımını dahil etmiştir. Bütünleşik toplam maliyeti minimum yapacak optimum parti büyüklüğü ve sevkiyat sayısı önerilen bir algoritma ile elde edilmiştir. Aynı yıl içerisinde Abdul-Jalbar vd. [42], tek kalem ürün için tek bir satıcı ve iki alıcıdan oluşan problemi bütünleşik stok kontrol modeli yardımıyla formüleştirmişlerdir. Bütünleşik toplam maliyet, her iki alıcı için stokta tutma maliyeti ve taşıma maliyeti, stokuz kalma maliyeti ile birlikte sabit üretime hazırlık maliyeti toplamlarından oluşmaktadır. Su [43], teslim alınan her partide kusurlu ürünler bulunduğu ve bu kusurlu ürünlerin 100% tarama sonucunda elde edildiği tek bir satıcı ve tek bir alıcıdan oluşan bütünleşik stok kontrol probleminde, kusurlu ürünlerin tamamının bir sonraki sipariş teslimi sırasında satıcıya gönderildiğini varsayımıştır. Stokuz kalmaya izin verilmektedir ve bir sonraki sipariş ile talep tamamen karşılanmaktadır. Satış miktarını artırmak amacıyla alıcıya ödemede belirli bir süre gecikmeye izin verilmektedir. Jha ve Shanker [44], tek satıcı ve çok alıcıdan oluşan iki aşamalı tedarik zinciri probleminde, üretilen tek kalem ürünün aynı kapasitedeki araçlar ile farklı bölgelerdeki alıcılara taşındığını varsayımıştır. Bütünleşik sistemin toplam maliyetini minimum yapacak üretim ve stok miktarları, hizmet düzeyi kısıtı altında yinelemeli bir yaklaşım ile elde edilmiştir. Kumar vd. [45], tek üretici ve tek alıcıdan oluşan bütünleşik stok kontrol problemi için üreticiden alıcıya gönderilen parti büyüklüklerinin eşit ve talep miktarının üçgen bulanık sayı olması varsayımları altında matematik bir model önermiştir. Kim vd. [46], stokuzluk, rassal tedarik süresi ve kusurlu ürün üretilmesi varsayımları altında iki aşamalı tedarik zinciri problemi için geliştirilen matematik modelde parti büyüklüğü, sevkiyat sayısı, yeniden sipariş noktası ve tedarik süresini optimum yapmayı amaçlamışlardır. Gharaei vd. [47], çok ürünlü ve çok

alıcılı iki aşamalı tedarik zinciri probleminde bütünlük toplam maliyeti, taşıma ve depolamadan kaynaklanan emisyon vergisi maliyetleri ile stokta tutulan ürünlerden kaynaklanan maliyetler ve üretim kapasitesini sınırlaması varsayımları altında minimum yapmışlardır. Öztürk [48], alıcı tarafından belirlenen kusurlu ürünlerin dışkaynak kullanılarak tamiri ve ürünlerin alıcıya eşit ve geometrik değişimli sevkiyat büyüklükleri izlenerek teslimi varsayımları altında iki aşamalı tedarik zinciri problemini matematik olarak modellemiştir. Khanna vd. [49], kusurlu ürün, kusurlu ürünlerin aynı üretici tarafından tamiri, üreticinin ürünleri alıcıya satışı sonrası tamir maliyetlerini içeren garanti politikası, üretim tamamlandıktan sonra önleyici bakım ve alıcı için stokta kalma varsayımlarının iki aşamalı tedarik zinciri toplam maliyeti üzerindeki birlikte etkisini araştırmışlardır. Kusurlu ürünler içeren üretim süreçleri için farklı varsayımlar altında birçok oldukça fazla tedarik zinciri modeli geliştirilmiştir [50-53].

Yukarıdaki tüm çalışmalarda üretim çevrim süresi içerisinde üretim sürecinde herhangi bir gecikmenin olmadığı varsayılmıştır. Gerçek yaşamda, makine arızalanması, bakım ve malzeme tedarikinde yaşanabilecek problemler nedeniyle üretim gecikmektedir. Dolayısıyla, makine kullanılmama süresinin bir üretim çevriminden diğerine farklılık göstermesi kaçınılmazdır. Bu durum, optimum üretim-stok politikasını belirlemede üretim çevrimi süresi içerisinde makine kullanılmama süresinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Literatürde, makine kullanılmama süresinin bir sabit olduğunun yanı sıra bir rassal değişken olduğu ve bilinen bir dağılıma uyduğu varsayımı altında optimum stok politikasını belirlemeyi amaçlayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır [54-59]. Bu çalışmaların hepsinde sadece üretim stok kontrol problemi ele alınmış olup optimum üretim miktarı belirlenmiştir. Ele alınan çalışmaların bir kısmında makine kullanılmama süresi üretim sırasında makine arızalanmasından kaynaklanan tamir süresi, önleyici bakım süresi ve/veya vardiya değişimi, kalite problemleri, makine ve ekipman sıkıntısından kaynaklı makine duruş (ara verme) süresi olarak düşünülürken, diğer kısmında ise makine kullanılmama süresinin üretimden sonra makine bakım süresi ya da malzeme tedariki ve üretim için gerekli hammaddenin zamanında teslim alınamamasından kaynaklanan süre olduğu düşünülmektedir. Yine bu çalışmalardan bir kısmı üretim sürecinin tamamen kusursuz olduğunu, diğer kısmı ise üretim sürecinin kusurlu olduğunu ve üretim sırasında bazı kusurlu ürünlerin de üretildiğini varsayılmıştır. Üretim sırasında kusurlu ürünler üretilmesi varsayımını dikkate alan çalışmaların tümü bu kusurlu ürünlerin aynı üretim sisteminde bir başka ifade ile aynı üretici tarafından tamir edildiğini / yeniden işlendiğini düşünmüştür. Tablo 1'de çalışmalara ilişkin bilgiler verilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde makine kullanılmama süresinin tek bir

satıcı ve tek bir alıcıdan oluşan bütünlük stok kontrol problemi için optimum üretim-sipariş miktarı üzerindeki etkisini araştıran ilk çalışmanın Wee ve Widyadana [60] tarafından yapıldığı görülmektedir.

Wee ve Widyadana [60], tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan bütünlük problemde üreticiden alıcıya üretim sırasında da teslimatların yapıldığını, sevkiyat büyüklüklerinin birbirine eşit ve sadece kusursuz ürünlerden oluştuğunu varsayılmıştır. Yazarlar çalışmalarında, makine ve ekipman için gerekli malzeme temininin ve/veya hammadde tedarikinin istenilen zamanda yapılmamasından dolayı makinelerin kullanılmadığı zamanlar olduğunu ve üretimin geciktiğini, bunun sonucunda da alıcı için kayıp satışların ortaya çıktığını düşünmüşlerdir. Makine kullanılmama süresinin rassal bir değişken olduğu ve sırasıyla tekdüze ve üstel dağılım gösterdiği çalışmadaki diğer varsayımlardır. Bu çalışmada ele alınan problemde de makine kullanılmama süresinin üretimden sonra ortaya çıkabilecek problemlerden kaynaklı üretim gecikme süresi olduğu varsayılmaktadır. Taleizadeh vd. [61], üreticinin ürünleri taradıktan sonra alıcıya eşit büyüklükteki sevkiyatlar şeklinde sadece kusursuz ürünleri teslim ettiğini, kusurlu ürünlerin ise üretimden sonra tek parti halinde hurda olarak ayrıldığını varsayılmıştır. Makine kullanılmama / tamir süresi bilinmemektedir, tamir işleminin ardından eldeki ürünlerin tüketimi beklenmekte ve bir sonraki parti üretimine başlanmaktadır. Chiu vd. [62], tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan bütünlük sistemde talep edilen ürünlerin bir kısmının üretici tarafından üretildiğini kalan kısmının ise dışkaynaklardan temin edildiğini, üretim sırasında üretilen kusurlu ürünlerin hurda olarak ayrıldığını, teslimatların birden fazla sayıda, eşit büyüklükte ve tüm sipariş miktarının üretiminin tamamlanmasından sonra yapıldığını varsayılmıştır. Bunlarla birlikte, makine arızalanmasından dolayı üretimin gecikmesi, tamir işlemi için gerekli sürenin sabit olması ve üretimin tamir işleminden sonra da devam etmesi ele alınan problemdeki diğer varsayımlardır.

Bütünlük stok kontrol problemlerinde, kusurlu ürün üretilmesi, bu kusurlu ürünlerin dışkaynak kullanılarak tamir edilmesi ve hammadde tedarikinin gecikmesi ya da bakım onarım ve makine ekipman için gerekli malzeme temininin zamanında yapılamaması gibi sebeplerden dolayı üretimin gecikmesi varsayımlarının optimum üretim-sipariş miktarı üzerindeki etkisini birlikte ele alan hiçbir çalışma bulunmamaktadır. Literatürdeki bu boşluktan hareketle bu çalışmada, kusurlu ürün, tamir ve kayıp satışlar varsayımları altında tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan iki aşamalı merkezi tedarik zinciri problemi matematik olarak modellenmektedir. Bu problemdeki amaç, satıcı ve alıcı tarafından ortaya çıkan bütünlük toplam maliyeti minimum yapacak, optimum sipariş miktarı ve sipariş başına teslimat sayısının (sevkiyat sayısını) belirlenmesidir.

**Tablo 1.** Literatürdeki çalışmalar ve varsayımları

Yazar(lar)	Problem	Makine kullanılmama / Tamir süresi	Üretimden sonraki ürün kalitesi		
			Kusursuz ürünler	Kusurlu ürünler	
				Hurda	Tamir edilebilir Üretici Dışkaynak
Groenevelt vd. [54]	Tekil (Üretici)	Rassal	x		
Abboud vd. [55]	Tekil (Üretici)	Rassal	x		
Chen vd. [56]	Tekil (Üretici)	Sabit	x		x
Dhouib vd. [57]	Tekil (Üretici)	Rassal	x	x	
Huang vd. [58]	Tekil (Üretici)	Rassal	x		
Deiranlou vd. [59]	Tekil (Üretici)	Rassal	x		
Wee ve Widyadana [60]	Bütünleşik (Üretici-Alıcı)	Rassal	x		
Taleizadeh vd. [61]	Bütünleşik (Üretici-Alıcı)	Sabit	x	x	
Chiu vd. [62]	Bütünleşik (Üretici-Alıcı)	Sabit	x	x	
<b>Bu çalışma</b>	Bütünleşik (Üretici-Alıcı)	Rassal	x		x

### III. PROBLEMİN TANIMI

Bu bölümde, öncelikle çalışmada ele alınan tedarik zinciri probleminin bir tanımı yapılmaktadır. Daha sonra, matematiksel modeli geliştirmede kullanılacak semboller ve varsayımlar verilmektedir. Tek kalem ürün tek bir üretici tarafından üretilmektedir ve bu ürün için tek bir alıcı bulunmaktadır. Alıcı, bu üründen  $Q$  miktar sipariş vermektedir ve sipariş verme maliyeti  $A_B$  'dir. Üretici bu ürünü partiler halinde üretmektedir ve üretime hazırlık maliyeti  $A_V$  'dir. Üretim, anlık değil sabit üretim hızı  $P$  ile sürekli olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Üretim hızı yüksek olursa fazla stok ve sonucunda yüksek elde bulundurma maliyetlerine, düşük olursa stokların daha kısa sürede tükenmesine ve sonrasında karşılanamayan talepler nedeniyle kayıp satışlara ve ceza maliyetlerine neden olur. Üretici, üretim planlama aşamasında bu iki maliyeti dengeleyecek üretim hızını belirlemektedir. Cam, elektronik, ilaç, dokuma ve otomotiv endüstrilerinde üretim hızının sabit olduğu üretim sistemleri kullanılmaktadır [63]. Üretici her üretim çevrimi süresi içerisinde sipariş miktarını alıcıya düzenli periyotlarla  $n$  tane gönderi yaparak teslim etmektedir. Üreticiden alıcıya gönderilen teslimat büyüklükleri birbirine eşittir ve her teslimat  $q$  birimden oluşmaktadır. Bu durumda,  $Q=nq$  'dir. Üretici ilk sevkiyat miktarının ( $q$ ) üretimi tamamlandıktan hemen sonra alıcıya teslimini

yapmaktadır ve birim sevkiyat (taşıma) maliyeti  $c_t$  'dir. Üretici için bir birim ürünü stokta tutma maliyeti  $h_V$  'dir. Alıcı tarafından teslim alınan her partide  $\theta$  oranında kusurlu ürün bulunmaktadır. Bu nedenle her parti teslim alınır alınmaz birim zamandaki tarama hızı  $X$  ile tamamen taranmaktadır. Kusurlu ürünler için birim stokta tutma maliyeti  $h_d$  'dir. Tarama süresi tamamlandıktan sonra kusurlu ürünler, tamir edilmek / yeniden işlenmek üzere eldeki stoktan çıkarılmaktadır ve tamir işlemini yapacak firmaya gönderilmektedir. Kusurlu ürünler için birim zamandaki tamir miktarı  $R$  ve birim tamir maliyeti  $(1+m)\left[\frac{S+2A}{\theta q}+c_1+c_T+h't_R\right]$  'dir. Burada,  $m$ , kâr oranını,  $S$ , tamir için gerekli hazırlık maliyetini,  $A$ , kusurlu ürünlerin tamir işlemi için sabit taşıma maliyetini,  $c_1$ , birim malzeme ve işçilik maliyetini,  $c_T$ , kusurlu ürünlerin birim taşıma maliyetini,  $h'$ , tamir işlemini gerçekleştirecek firmadaki birim stokta tutma maliyetini ve  $t_R$  ( $t_R=\theta q/R$ ), kusurlu ürünlerin tamir işlemi için gerekli süreyi ifade etmektedir [16]. Tamir edilen ürünler, eldeki stok tükenmeden önce teslim alınmaktadır. Tamir edilen ürünler için birim stokta tutma maliyeti  $h_R$  'dir.

Matematiksel modeli geliştirmede kullanılacak semboller aşağıda verilmiştir:

$A_B$	Sipariş verme maliyeti
$A_V$	Üretim hazırlık maliyeti
$c_t$	Sevkiyat başına taşıma maliyeti
$h_V$	Üretici için bir birim ürünü bir birim zaman stokta tutma maliyeti
$h_B$	Alıcının kusursuz ürünler için birim stokta tutma maliyeti
$h_d$	Alıcının kusurlu ürünler için birim stokta tutma maliyeti
$h_R$	Alıcının tamir edilen ürünler için birim stokta tutma maliyeti
$S_B$	Alıcının birim kayıp satışlar maliyeti
$S_V$	Üreticinin teslimat başına gecikme maliyeti
$Q$	Sipariş miktarı
$q$	Üreticiden alıcıya gönderilen teslimatların büyüklükleri
$D$	Birim zamandaki talep miktarı
$P$	Birim zamandaki üretim miktarı
$R$	Birim zamandaki tamir miktarı
$X$	Birim zamandaki tarama miktarı
$\theta$	Kusurlu ürün oranı
$n$	Her üretim çevrim süresi içerisinde üreticiden alıcıya gönderilen teslimatların sayısı
$T$	Çevrim süresi
$t_n$	Tüm siparişin teslimi için geçen süre (üretim ve üretimin yapılmadığı süre toplamları)
$t_p$	Toplam sipariş miktarının üretilmesi için gereken süre (üretim süresi)
$t_f$	Üretimden sonra kalan siparişlerin teslim süresi (üretimin yapılmadığı süre)
$t_s$	Stoksuz kalınan süre (kayıp satışların ortaya çıktığı süre)
$TCUB$	Alıcının birim zamandaki beklenen toplam maliyeti
$TCUV$	Üreticinin birim zamandaki beklenen toplam maliyeti
$TCU$	Bütünleşik toplam maliyet

Matematiksel modeli geliştirmek için yapılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- Talep miktarı bilinmektedir, sabittir ve sürekli.
- Birim zamandaki üretim miktarı, birim zamandaki talep miktarından büyüktür,  $P > D$ .
- Birim zamandaki tarama ve tamir miktarı, birim zamandaki talep miktarından büyüktür,  $X > D$  ve  $R > D$ .

- Stoksuz kalmaya izin verilmektedir. Bu dönemde karşılanamayan talep, kayıp satışlar olarak düşünölmektedir.
- Alıcı tarafından teslim alınan her parti %100 tarama sürecinden geçirilmektedir. Tarama süreci tamamen güvenilir ve tarama maliyeti ihmal edilmektedir.
- Tedarik süresi sıfırdır.
- Planlama dönemi sonsuzdur.

#### IV. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde, sipariş miktarının tamamını üretinceye kadar üretimin devam ettiği ve üretim sırasında da alıcıya eşit büyüklükte teslimatların yapıldığı iki aşamalı merkezi bir tedarik zinciri problemi matematik olarak fomülleştirilmektedir. İlk olarak alıcı ve üretici için çevrim başına toplam maliyet fonksiyonları türetilmektedir. Sonra, üretimin gecikme süresi/makine kullanılmama süresinin tekdüze ve üstel dağılıma uyması varsayımları altında alıcı ve üretici için birim zamandaki toplam maliyetler türetilmektedir. Daha sonra, bütünleşik toplam maliyeti minimum yapan optimum sevkiyat sayısı ve sevkiyat başına taşıma miktarı, önerilen bir algoritma yardımıyla elde edilmektedir.

Bütünleşik sistemde alıcı ve üretici için stok seviyelerinin zamanla değişim grafiği Şekil 1'de gösterilmektedir. Alıcının stok seviyesinin zamanla değişimi Şekil 1-(a) ile verilirken, üreticinin stok seviyesinin zamanla değişimi Şekil 1-(b) de gösterilmektedir. Sistemde üretim ve dağıtım işlemlerinin işleyişi aşağıdaki gibidir. Üretici, alıcının sipariş bilgilerini daha önceden bildiği için ilk partiyi ( $q$ ) üretmek üzere üretime başlamaktadır. İlk sevkiyatı üretip alıcıya teslim ettikten sonra üreticinin stok seviyesi sıfıra düşmektedir. Üretici, siparişten kalan miktarı ( $(n-1)q$ ) üretmek üzere  $t_p$  zaman periyodu süresince üretime devam etmekte, bu süre içerisinde de alıcıya teslimat yapmaktadır ve üretim hızı talep hızından büyük olduğu için ürünler stokta birikmektedir. Bu durumda, üreticinin stok seviyesi düşerken alıcının stok seviyesi artmaktadır. Bu işlem üreticinin tüm ürünleri alıcıya teslim etmesine kadar devam etmektedir. Üretici, üretimi tam zamanında geerkeştiremez ve  $t_s$  zaman periyodu süresince alıcı tarafından verilen siparişi karşılayamaz. Bundan dolayı, alıcı bu süre içerisinde kayıp satışlar ile karşılaşmaktadır. Joglekar [64], tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan iki aşamalı tedarik zinciri probleminde üreticiden alıcıya gönderilen teslimatların eşit büyüklükte ( $q$ ) olduğunu varsaymış ve üretici için toplam stok miktarının (eğri altında kalan alan) hesaplanmasını ayrıntılı olarak incelemiştir. Bu çalışmada da üreticiden alıcıya gönderilen sevkiyatlar eşit büyüklükte ( $q$ ) olduğundan üreticinin toplam stok miktarının hesaplanması işlemini için Joglekar [64]'ın çalışması referans çalışma olarak gösterilmekte, burada sadece elde edilen ifade farklı parametreler ile yeniden

verilmektedir. Bu durumda üreticinin zaman ağırlıklı stok miktarı ( $t_{wi}$ ) Şekil 1-(b)'den Eşitlik 1'deki gibidir.

$$t_{wi} = n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] \quad (1)$$

Üreticinin toplam stok maliyeti, üretime hazırlık maliyeti, elde bulundurma maliyeti ve stoksuzluk (ceza) maliyetleri toplamından oluşmaktadır. Bu modelde, üretici teslimatların gecikmesinden dolayı alıcıya ceza maliyeti ödemektedir. Ceza maliyeti, teslim edilecek siparişin gecikme süresine bağlı olup sipariş miktarından bağımsızdır. Bu durumda, üreticinin bir çevrimdeki beklenen toplam stok maliyeti Eşitlik 2'deki gibidir.

$$E(TCV) = A_v + h_v n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + S_v \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt \quad (2)$$

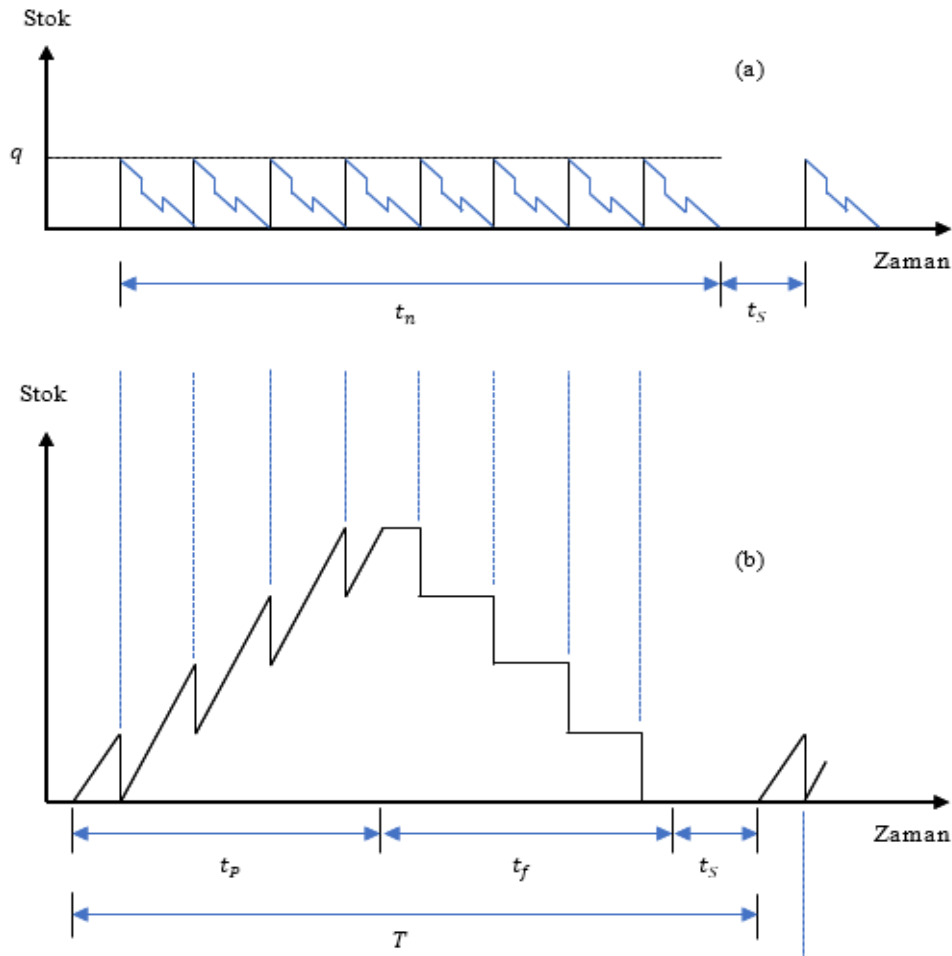
Üretimin başladığı andan itibaren bir sonraki üretim

$$TCUV(n, q) = \frac{A_v + h_v n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + S_v \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt}{t_n + \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt} \quad (4)$$

başlangıcına kadar geçen süre üretim çevrim süresidir. Bu süre, üç zaman aralığından oluşmaktadır. Birinci zaman aralığında, hem üretim yapılmaktadır hem de talep karşılanmaktadır. İkinci zaman aralığında, üretim yapılmayıp sadece talep karşılanmaktadır. Üçüncü zaman aralığında, eldeki stok miktarı tükendiğinden bir sonraki üretim başlangıcına kadar stoksuz kalma durumuna izin verilmektedir. Bu süre rassal bir değişkendir ve bilinen bir olasılık dağılımına uymaktadır. Bu süre içerisinde karşılanamayan talep, kayıp satış olarak değerlendirilmektedir. Buradan, üretim çevrim süresinin beklenen değeri ( $E(T)$ ) Eşitlik 3'teki gibidir.

$$E(T) = t_n + t_s = t_n + \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt \quad (3)$$

Üreticinin birim zamandaki beklenen toplam maliyeti, yenilenen ödül teoreminden bir çevrimdeki beklenen toplam maliyetin, çevrim süresinin beklenen değerine oranlanmasıyla elde edilir ve Eşitlik 4'te verilmektedir.



**Şekil 1.** Bütünleşik sistemde (a) alıcının ve (b) üreticinin stok seviyesinin zamanla değişimi (tek kurulum ve sekiz teslimat)

Alıcının stok seviyesinin zamana göre değişimi Şekil 1-(a) da gösterilmiştir (Ayrıntılı bilgi için bkz ‘Ek’). Alıcı, ilk siparişi teslim alır almaz bir taraftan ürünlerin tarama işlemini yaparken diğer tarafta müşterilerin taleplerini karşılamaktadır. Tarama süresi sonunda belirlenen kusurlu ürünler tamir edilmek üzere stoktan çıkarılmaktadır ve talep eldeki kusursuz ürünlerden karşılanmaya devam etmektedir. Tamir edilen ürünler gerekli kalite standartlarını sağlamaktadır. Tamir işleminin ardından bu ürünler eldeki stok tükenmeden önce teslim alınmakta ve bu ürünlerden de oluşan talep karşılanmaktadır. Alıcı, stok seviyesi sıfıra düştüğü anda  $q$  büyüklüğünde yeni bir sipariş vermektedir ve anında teslim almaktadır. Talep miktarı bilindiğinden ve sevkiyatlar düzenli periyotlarla yapıldığından tedarik süresi (siparişin verilmesiyle alınması arasındaki süre) sabittir ve bilinmektedir. Genelliği kaybetmeden, tedarik süresi sıfır olarak alınmaktadır [65, 66]. Alıcı,  $t_n$  zaman periyodu sonunda eldeki tüm stoğu bitirir ve stok seviyesi sıfırdır.

Alıcının toplam stok maliyeti, sipariş maliyeti, taşıma maliyeti, elde bulundurma maliyeti, kayıp satışlar maliyeti ve ceza maliyeti gelirinden oluşmaktadır. Alıcının bir çevrimdeki beklenen toplam stok maliyeti Eşitlik 5 ile ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned}
 E(TCU) &= A_B + c_t n \\
 &+ (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n \\
 &+ \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} \\
 &+ h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) \\
 &+ (S_B D - S_V) \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt
 \end{aligned} \tag{5}$$

Benzer olarak, alıcının birim zamandaki beklenen toplam maliyeti yenilenen ödül teoreminden Eşitlik 6 ile ifade edilir.

$$\begin{aligned}
 TCUB = & \frac{A_B + c_t n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} \\
 & + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) + (S_B D - S_V) \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt}{t_n + \int_{t=t_f}^{\infty} (t-t_f) f(t) dt}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Alıcı, toplam sipariş miktarını ( $Q$ ) eşit büyüklükteki ( $q$ ) parti hacimleri ile  $n$  tane sevkiyat ile teslim almaktadır. Bu durumda,  $Q = nq$  elde edilmektedir. Tüm siparişlerin tüketimi için geçen süre ( $t_n$ ) Eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$t_n = \frac{nq}{D} \tag{7}$$

Üreticinin toplam sipariş miktarını ( $Q = nq$ ) üretinceye kadar geçen süre olan üretim süresi ( $t_p$ ) Şekil 1'den Eşitlik (8)'deki gibi hesaplanır.

$$t_p = \frac{nq}{P} \tag{8}$$

Yine Şekil 1-(b)'den, üretimden sonra eldeki stok miktarının tükenmesine kadar geçen süre ( $t_f$ ) Eşitlik (9) ile hesaplanır.

$$t_f = \frac{nq}{D} - \frac{nq}{P} = \frac{nq}{D} \left( 1 - \frac{D}{P} \right) \tag{9}$$

**4.1. Makine Kullanılmama Süresinin Tekdüze Dağılıma Uyması Durumu**

Makine kullanılmama süresi,  $[0, b]$  aralığında tanımlı sürekli tekdüze dağılıma uyan rassal bir değişken olsun. Bu durumda, olasılık yoğunluk fonksiyonu ( $f(t)$ ) Eşitlik (10) ile verilir.

$$f(t) = \begin{cases} 1/b, & 0 \leq t \leq b \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \tag{10}$$

Üreticinin birim zamandaki beklenen toplam maliyeti, Eşitlik (10)'da verilen olasılık yoğunluk fonksiyonun Eşitlik (4)'te yerine yazılmasıyla Eşitlik (11) ile verilir.

Benzer olarak, alıcının birim zamandaki beklenen toplam maliyeti, tekdüze dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonunun Eşitlik (6)'da yerine yazılmasıyla Eşitlik (12) ile verilir.



$$TCUV_U = \frac{A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + S_V \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]}{(nq/D) + \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]} \quad (11)$$

$$TCUB_U = \frac{A_B + c_I n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) + (S_B D - S_V) \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]}{(nq/D) + \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]} \quad (12)$$

Özel olarak, üretimden sonra eldeki stoğu tüketmek için geçen sürenin ( $t_f$ ), makine kullanılmama süresinin tanımlı olduğu aralığın üst limit değerinden ( $b$ ) büyük ya da eşit ( $t_f \geq b$ ) olduğu dikkate alınır, bu süre içerisinde alıcı için herhangi bir kayıp satış ortaya çıkmayacaktır. Bu durumda, üretici ve alıcı için birim zamandaki beklenen toplam maliyetler sırasıyla Eşitlik (13) ve (14)'te verilmektedir.

$$TCUV_{WL} = \frac{A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right]}{(nq/D)} \quad (13)$$

$$TCUB_{WL} = \frac{A_B + c_I n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(q) q + h' E(q^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-q)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(q) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(q) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(q) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right)}{(nq/D)} \quad (14)$$

$$TCU_U = TCUB_U + TCUV_U$$

$$= \frac{A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + A_B + c_I n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) + S_B D \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]}{(nq/D) + \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]} \quad (15)$$

$$\frac{\partial TCU_U}{\partial q} = \frac{2 \left\{ h_V n^2 q \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + \frac{(1+m)(c_1 + c_T) E(\theta) n + (1+m) h' E(\theta^2) n q}{2} / R + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q}{2D} \right\} + \frac{h_d E(\theta) n q}{X} + h_R n q E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) - S_B n (1-D/P) \left[ (b - (nq/D)(1-D/P)) / 2b \right]}{(nq/D) + \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right]} \quad (16)$$

$$= \frac{W_U}{\left\{ (nq/D) + \left[ (b - (nq/D)(1-D/P))^2 / 2b \right] \right\}^2} = 0$$

Burada,  $W_U = n/D - n(1-D/P) \left[ (b - (nq/D)(1-D/P)) / bD \right]$ 'dir.

Sonuç olarak, tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için toplam maliyet Eşitlik (15)'te verilmektedir.

Optimum sevkiyat büyüklüğü ( $q$ ), Eşitlik (15)'te verilen bütünleşik toplam maliyet fonksiyonunun birinci mertebeden kısmi türevinin sıfıra eşitlenmesiyle Eşitlik (16) yardımıyla bulunabilir.

büyük ya da eşit olduğu durum dikkate alındığında bütünleşik toplam maliyet Eşitlik (17)'de verilmektedir.

verilen bütünleşik toplam maliyet fonksiyonunun ( $q$ ) değişkenine göre birinci merteden kısmi türevinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir ve Eşitlik (18) ile verilir.

Optimum sevkiyat büyüklüğü ( $q_{WL}^*$ ), Eşitlik (17)'de

$$TCU_{WL} = TCUB_{WL} + TCUV_{WL}$$

$$A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + A_B + c_i n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n$$

$$= \frac{\frac{h_B E(\theta^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right)}{(nq/D)} \tag{17}$$

$$q_{WL}^* = \sqrt{\frac{D \left( \frac{A_V + A_B}{n} + c_i + (1+m)(S + 2A) \right)}{h_V D n \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + (1+m) h' E(\theta^2) D / R + \frac{h_B E(\theta^2)}{2} + \frac{h_d E(\theta) D}{X} + h_R D E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right)}} \tag{18}$$

Makine kullanılmama süresinin sürekli tekdüze dağılıma uyması varsayımı altında tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan bütünleşik stok kontrol problemi için Eşitlik (15)'de verilen toplam maliyet fonksiyonunun kapalı formda (tam olarak) çözümü elde edilememektedir. Çünkü, Eşitlik (16)'daki denklemin kapalı form çözümü yoktur. Bu durumda, optimum çözüm aşağıdaki algoritma yardımıyla elde edilecektir ([48,60]):

**4.2. Makine Kullanılmama Süresinin Üstel Dağılıma Uyması Durumu**

Bu durumda, makine kullanılmama süresi, üstel dağılıma uyan rassal bir değişken olsun. O halde, olasılık yoğunluk fonksiyonu ( $f(t)$ ) Eşitlik (19) verilir.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t > 0 \tag{19}$$

Adım 1. Başla.

Adım 2.  $n=1$  olarak belirle.

Adım 3. Eşitlik (18) den  $q_{WL}^*$  'ı hesapla.

Adım 4. Adım 3'de elde edilen  $q_{WL}^*$  için Eşitlik (9) dan  $t_f$  'yi hesapla.

Adım 5. Eğer,  $t_f < b$  ( $b$ , makine kullanılmama süresinin tanımlı olduğu aralığın üst limit değeri) ise Adım 6'ya git. Değilse, Adım 7'ye git.

Adım 6. Eşitlik (16)'dan  $q$  'yu hesapla. Eğer,  $TCU(n,q) \leq TCU(n-1,q)$  ve

$$TCU(n,q) \leq TCU(n+1,q) \text{ ise Adım 8'e git.}$$

Değilse,  $n=n+1$  olarak belirle ve Adım 3'e git.

Adım 7.  $TCU(n^*, q^*) = TCU_{WL}(1, q_{WL}^*)$  olarak belirle

ve Eşitlik (17)'den  $TCU_{WL}(1, q_{WL}^*)$  'yi hesapla.

Adım 8. Bitir.

Buradan, makine kullanılmama süresinin beklenen değeri Eşitlik (20)'de hesaplanmaktadır.

$$E(t_S) = \int_{t_f}^{\infty} (t - t_f) f(t) dt$$

$$= \frac{e^{-\lambda t_f}}{\lambda} \tag{20}$$

Üreticinin birim zamandaki beklenen toplam maliyeti, Eşitlik (19)'da verilen olasılık yoğunluk fonksiyonun Eşitlik (4)'te yerine yazılmasıyla Eşitlik (21) ile verilmektedir.

Alıcının birim zamandaki beklenen toplam maliyeti Eşitlik (6)'dan aşağıdaki gibidir.

Makine kullanılmama süresinin üstel dağılıma uyması varsayımı altında tek üretici ve tek alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için toplam maliyet Eşitlik (23) ile verilmektedir.

Optimum sevkiyat büyüklüğü ( $q$ ), Eşitlik (23)'de verilen toplam maliyet fonksiyonunun birinci mertebeden kısmi türevinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilebilir ve Eşitlik (24)'te ifade edilmektedir.

$$TCU_{VE} = \frac{A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{n-1}{2nD} \right] + S_V \left( e^{-\lambda} [(nq/D)(1-D/P)] / \lambda \right)}{(nq/D) + \left( e^{-\lambda} [(nq/D)(1-D/P)] / \lambda \right)} \tag{21}$$

$$TCUB_E = \frac{A_B + c_T n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) + (S_B D - S_V) \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)}{(nq/D) + \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)} \tag{22}$$

$$TCU_E = TCUB_E + TCUV_E$$

$$= \frac{A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{p-1}{2nD} \right] + A_B + c_T n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) + S_B D \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)}{(nq/D) + \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)} \tag{23}$$

$$\frac{\partial TCU_E}{\partial q} = \frac{2 \left\{ h_V n^2 q \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{p-1}{2nD} \right] + \frac{(1+m)(c_1 + c_T) E(\theta) n}{2} + (1+m) h' E(\theta^2) n q / R + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q}{X} + h_R n q E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) \right\}}{(nq/D) + \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)} - \frac{S_B \lambda n (1-D/P) \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)}{(nq/D) + \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right)} - \frac{W_E \left\{ A_V + h_V n^2 q^2 \left[ \frac{1}{2P} + \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{P} \right) \left( 1 - \frac{1}{n} \right) - \frac{p-1}{2nD} \right] + A_B + c_T n + (1+m) \left( S + 2A + (c_1 + c_T) E(\theta) q + h' E(\theta^2) q^2 / R \right) n + \frac{h_B E((1-\theta)^2) n q^2}{2D} + \frac{h_d E(\theta) n q^2}{X} + h_R n q^2 E(\theta) \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{X} - E(\theta) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{2D} \right) \right) + S_B D \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right) \right\}}{\left\{ (nq/D) + \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right) \right\}^2} = 0 \tag{24}$$

Burada,

$$W_E = n/D - \lambda (n/D)(1-D/P) \left( e^{-\lambda [(nq/D)(1-D/P)]} / \lambda \right), \text{ dir.}$$

Benzer olarak, makine arızalanma süresinin üstel dağılıma uyması varsayımı altında tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan bütünleşik stok kontrol problemi için elde edilen toplam maliyet fonksiyonunun kapalı form çözümleri elde edilemediğinden optimum çözümler bir önceki altbölümde geliştirilen algoritma yardımıyla elde edilebilecektir.

### V. SAYISAL ÖRNEK VE DUYARLILIK ANALİZİ

Çalışmanın bu bölümünde, önerilen bütünleşik stok kontrol probleminin uygulanabilirliği ve geçerliliği sayısal bir örnek ile gösterilmektedir. Önemli model parametrelerinin optimum sonuçlar üzerindeki etkisi duyarlılık analizi yardımıyla incelenmektedir. Model parametrelerinin değerleri Tablo 2’de verilmektedir:

Ayrıca, kusurlu ürün oranı  $\theta$ ,  $[0,0.04]$  aralığında tanımlı sürekli tekdüze dağılıma uyan rassal bir değişkendir. Makine kullanılmama süresi ( $t_S$ ), sırasıyla sürekli

tekdüze dağılım ( $[0,1]$  aralığında tanımlı,  $b=1$ ) ve üstel dağılım ( $\lambda=1$ ) gösteren rassal bir değişkendir.

**Tablo 2.** Parametre değerleri

$D = 50000$ birim/yıl	$S = 100$ PB
$P = 160000$ birim/yıl	$A = 200$ PB
$R = 50000$ birim/yıl	$c_1 = 5$ PB/birim
$X = 175200$ birim/yıl	$c_T = 2$ PB/birim
$S_B = 10$ PB*/birim	$h' = 4$ PB/birim
$S_V = 50$ PB	$h_B = 5$ PB/birim/yıl
$A_B = 100$ PB/sipariş	$h_d = 6$ PB/birim/yıl
$A_V = 300$ PB/hazırlık (kurulum)	$h_R = 6$ PB/birim/yıl
$c_t = 25$ PB/sevkiyat	$h_V = 2$ PB/birim/yıl
$m = 0.20$ (%)	

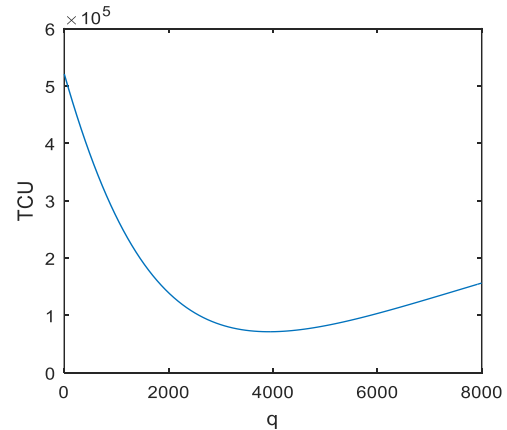
\*PB: Para Birimi

**Tablo 3.** Makine kullanılmama süresi tekdüze dağılım gösterdiğinde optimum değerler için algoritmadaki tüm adımlar

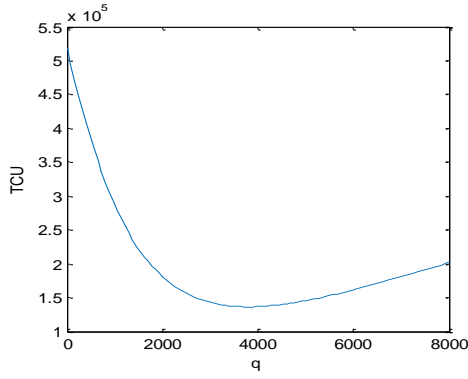
$n$	$t_f$	$q$	$Q = nq$	$TCUB$	$TCUV$	$TCU$
1	0.05848468	43722.934	43722.934	151144.59	<b>12843.07</b>	163987.65
2	0.09413589	26012.527	52025.054	91173.34	25317.02	116490.36
3	0.12382599	18487.311	55461.934	67753.43	30689.43	98442.86
4	0.14966744	14340.497	57361.989	55455.63	33666.22	89121.85
5	0.17275335	11716.694	58583.470	47976.82	35565.21	83542.03
6	0.19375077	9907.693	59446.157	43016.83	36889.52	79906.34
7	0.21310205	8585.179	60096.251	39537.62	37871.74	77409.37
8	0.23111732	7576.256	60610.046	37002.38	38634.01	75636.39
9	0.24802312	6781.249	61031.244	35105.63	39246.53	74352.16
10	0.26399043	6138.667	61386.675	33660.79	39752.54	73413.32
11	0.27915170	5608.520	61693.720	32547.44	40180.09	72727.52
12	0.29361179	5163.678	61964.138	31684.41	40548.18	72232.59
13	0.30745527	4785.090	62206.164	31015.01	40870.13	71885.14
14	0.32075144	4458.981	62425.740	30498.40	41155.58	71653.98
15	0.33355783	4175.151	62627.260	30104.47	41411.63	71516.11
16	0.34592282	3925.878	62814.044	29810.49	41643.68	<b>71454.17</b>
17	0.35788748	3705.214	62988.646	29599.01	41855.86	71454.87
18	0.36948704	3508.504	63153.063	29456.39	42051.41	71507.80
19	0.38075196	3332.046	63308.882	29371.82	42232.91	71604.73
20	0.39170875	3172.869	63457.374	<b>29336.64</b>	42402.42	71739.06
21	0.40238069	3028.552	63599.593	29343.78	42561.64	71905.43
22	0.41278832	2897.115	63736.540	29387.37	42712.06	72099.43
23	0.42294985	2776.890	63868.481	29462.93	42854.51	72317.44
24	0.43288154	2666.515	63996.371	29566.21	42990.20	72556.40

Makine kullanılmama süresinin tekdüze dağılıma uyması varsayımı altında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir: tek üretici ve tek alıcıdan oluşan bütünleşik sistem için birim zamandaki toplam maliyet 71454.17 PB, üretici için birim zamandaki toplam maliyet 41643.68 PB ve alıcı için birim zamandaki toplam maliyet 29810.49 PB'dir. Bununla birlikte, optimum sevkiyat miktarı  $q=3925.878$  birim, optimum sipariş miktarı  $Q=62814.044$  birim ve optimum sevkiyat sayısı  $n=16$  olarak elde edilmiştir. Geliştirilen algoritma MS Excel programı ile çözülmüş ve gerekli algoritma adımları Tablo 3'te özetlenmiştir.  $n=16$  için bütünleşik toplam maliyet fonksiyonunun sevkiyat miktarına göre değişim grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Bütünleşik sistemden farklı olarak tedarik zincirini oluşturan taraflar birbirlerinden bağımsız olarak karar aldıklarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir. Tedarik zincirinde liderliği üretici üstlendiğinde kendisi açısından minimum maliyeti veren senaryo, sevkiyat sayısı  $n=1$  olduğunda elde edilmektedir ve üreticinin birim zamandaki toplam maliyeti 12843.07 PB olmaktadır. Tersine, alıcının liderliği üstlendiği dikkate alınır

minimum maliyeti veren senaryo, sevkiyat sayısı  $n=20$  olduğunda elde edilmektedir ve alıcının birim zamandaki toplam maliyeti 29336.64 PB olmaktadır. İlgili değerler Tablo 3'te koyu renk ile gösterilmektedir.



**Şekil 2.** Makine kullanılmama süresinin tekdüze dağılım göstermesi durumunda bütünleşik toplam maliyetin sevkiyat başına taşıma miktarına göre değişimi



**Şekil 3.** Makine kullanılmama süresinin üstel dağılım göstermesi durumunda bütünlük toplam maliyetin sevkiyat başına taşıma miktarına göre değişimi

Makine kullanılmama süresinin üstel dağılıma uyması varsayımı altında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir: tek üretici ve tek alıcıdan oluşan bütünlük sistem için birim zamandaki toplam maliyet 136474.96 PB, üretici için

birim zamandaki toplam maliyet 73267.68 PB ve alıcı için birim zamandaki toplam maliyet 63207.28 PB'dir. Bununla birlikte, optimum sevkiyat başına taşıma miktarı  $q = 3789.250$  birim, optimum sipariş miktarı  $Q=117466.753$  birim ve optimum sevkiyat sayısı  $n=31$  olarak elde edilmiştir. Gerekli algoritma adımları Tablo 4'te özetlenmiştir.  $n=31$  için bütünlük toplam maliyet fonksiyonunun sevkiyat miktarına göre değişim grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir. Tedarik zincirini oluşturan tarafların birbirlerinden bağımsız olarak karar aldıkları dikkate alınırsa aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir. Tedarik zincirinde liderliği üretici üstlendiğinde kendisi açısından minimum maliyeti veren senaryo, sevkiyat sayısı  $n=1$  olduğunda elde edilmektedir ve üreticinin birim zamandaki toplam maliyeti 13290.61 PB olmaktadır. Tersine, alıcının liderliği üstlendiği dikkate alınırsa minimum maliyeti veren senaryo, sevkiyat sayısı  $n=49$  olduğunda elde edilmektedir ve alıcının birim zamandaki toplam maliyeti 61698.37 PB olmaktadır.

**Tablo 4.** Makine kullanılmama süresi üstel dağılım gösterdiğinde optimum değerler için algoritmadaki tüm adımlar.

$n$	$q$	$Q = nq$	$TCUB$	$TCUV$	$TCU$
1	58104.079	58104.079	251594.66	<b>13290.61</b>	264885.27
2	38488.952	76977.904	178688.18	31577.88	210266.06
3	28910.775	86732.326	144568.80	41677.93	186246.73
4	23201.212	92804.846	124706.45	48046.46	172752.90
5	19397.876	96989.381	111696.29	52442.92	164139.21
6	16678.028	100068.169	102519.08	55672.14	158191.22
7	14634.248	102439.734	95708.105	58152.13	153860.23
8	13041.433	104331.464	90461.73	60122.88	150584.61
9	11764.641	105881.773	86304.89	61731.24	148036.13
10	10718.009	107180.085	82937.74	63072.30	146010.04
11	9844.310	108287.407	80161.14	64210.78	144371.91
12	9103.825	109245.903	77838.21	65191.64	143029.85
13	8468.227	110086.95	75870.84	66048.01	141918.85
14	7916.608	110832.514	74188.16	66803.49	140991.65
15	7433.370	111500.544	72736.16	67476.91	140213.08
16	7006.528	112104.450	71473.90	68082.46	139556.36
17	6626.694	112653.803	70370.25	68630.56	139000.81
18	6286.557	113158.022	69399.34	69130.83	138530.17
19	5980.145	113622.746	68541.91	69589.56	138131.48
20	5702.716	114054.328	67781.07	70013.20	137794.27
21	5450.306	114456.434	67104.18	70405.86	137510.04
22	5219.687	114833.123	66500.02	70771.74	137271.76
23	5008.168	115187.857	65959.22	71114.37	137073.59
24	4813.427	115522.241	65474.86	71435.77	136910.63
25	4633.580	115839.488	65039.75	71739.02	136778.78
26	4466.975	116141.343	64648.48	72026.02	136674.50
27	4312.192	116429.182	64296.51	72298.28	136594.80
28	4168.014	116704.401	63979.79	72557.30	136537.09
29	4033.394	116968.417	63694.63	72804.51	136499.14
30	3907.404	117222.133	63438.09	73040.90	136478.99
<b>31</b>	<b>3789.250</b>	<b>117466.753</b>	<b>63207.28</b>	<b>73267.68</b>	<b>136474.96</b>
32	3678.211	117702.766	63000.10	73485.45	136485.55
33	3573.674	117931.254	62814.18	73695.25	136509.44
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	2515.579	120747.800	61699.44	76201.02	137900.46
<b>49</b>	<b>2467.522</b>	<b>120908.562</b>	<b>61698.37</b>	<b>76339.71</b>	<b>138038.07</b>
50	2421.345	121067.235	61703.21	76476.15	138179.36

### 5.1. Duyarlılık analizleri

Bu altbölümde, geliştirilen tedarik zinciri modelinin önemli parametrelerindeki ( $S_B, A_B, A_V, D, P$ ) değişimlerin optimum sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmektedir. Parametre değerlerinin  $\mp\%30$  oranında değiştiği varsayılmaktadır. Makine kullanılmama süresinin tekdüze dağılım göstermesi durumunda parametrelerdeki değişimlerin optimum çözümler üzerindeki etkisi Tablo 5'te verilmektedir. Tablo 5'ten aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- Kayıp satışlar maliyeti arttığında bütünlük toplam maliyet ve üreticinin toplam maliyeti artarken, alıcının toplam maliyeti azalmaktadır. Kayıp satışlar maliyeti arttığında, sevkiyat sayısı ve sipariş miktarı artmaktadır, ancak sevkiyat başına taşıma miktarı azalmaktadır.
- Alıcının sabit sipariş verme maliyeti arttığında, bütünlük toplam maliyet ve sevkiyat başına taşıma miktarı artmaktadır, sevkiyat sayısı değişmemektedir.
- Üreticinin üretim hazırlık maliyeti arttığında, beklendiği gibi bütünlük toplam maliyet artmaktadır. Bir üretim çevrimi içerisindeki sevkiyat sayısı, üreticinin üretim hazırlık maliyetindeki değişimlerden etkilenmemektedir.
- Talep miktarı arttığında bütünlük toplam maliyet, üreticinin ve alıcının toplam maliyetleri artmaktadır. Bununla birlikte, talep miktarı arttığında sevkiyat sayısı, sevkiyat başına taşıma miktarı ve sipariş miktarı da artmaktadır.
- Üretim miktarı arttığında bütünlük toplam maliyet ve alıcının toplam maliyeti azalmaktadır, üreticinin toplam maliyeti ise artmaktadır. Üretim hızı arttığında sevkiyat sayısı azalmaktadır.

Makine kullanılmama süresinin üstel dağılım göstermesi durumunda parametrelerdeki değişimlerin optimum çözümler üzerindeki etkisi Tablo 6'da verilmektedir. Tablo 6'dan aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- Kayıp satışlar maliyeti arttığında bütünlük toplam maliyet, üreticinin ve alıcının toplam maliyeti artmaktadır. Kayıp satışlar maliyeti  $\%30$  arttığında, bütünlük toplam maliyet, üreticinin ve alıcının toplam maliyeti sırasıyla  $\%7.49$ ,  $\%13.39$  ve  $\%0.66$  oranında artmaktadır. Beklenildiği gibi kayıp satışlar maliyetindeki değişimlerden üreticinin daha fazla etkilendiği görülmektedir. Kayıp satışlar maliyeti arttığında, sevkiyat sayısı ve sipariş miktarı artmaktadır.
- Alıcının sabit sipariş verme maliyeti arttığında, bütünlük toplam maliyet ve sevkiyat başına taşıma miktarı artmaktadır. Üreticiden alıcıya yapılan sevkiyatların sayısı, sabit sipariş verme maliyetindeki değişimlere karşı duyarlı değildir.
- Üreticinin üretim hazırlık maliyeti arttığında bütünlük toplam maliyet ve üreticinin toplam maliyeti artarken alıcının toplam maliyeti artmaktadır. Sevkiyat sayısı üretim hazırlık maliyetindeki değişimlerden etkilenmemektedir.
- Talep miktarı arttığında bütünlük toplam maliyet, üreticinin ve alıcının toplam maliyeti artmaktadır. Talep miktarı  $\%30$  oranında arttığında bütünlük toplam maliyet, üreticinin ve alıcının birim zamandaki toplam maliyeti sırasıyla  $\%24.78$ ,  $\%25.87$  ve  $\%23.52$  oranında artmaktadır. Bununla birlikte, talep miktarı arttığında sevkiyat sayısı, sevkiyat başına taşıma miktarı ve sipariş miktarı da artmaktadır.
- Üretim miktarı arttığında bütünlük toplam maliyet artmaktadır, sevkiyat sayısı azalırken sevkiyat başına taşıma miktarı artmaktadır.

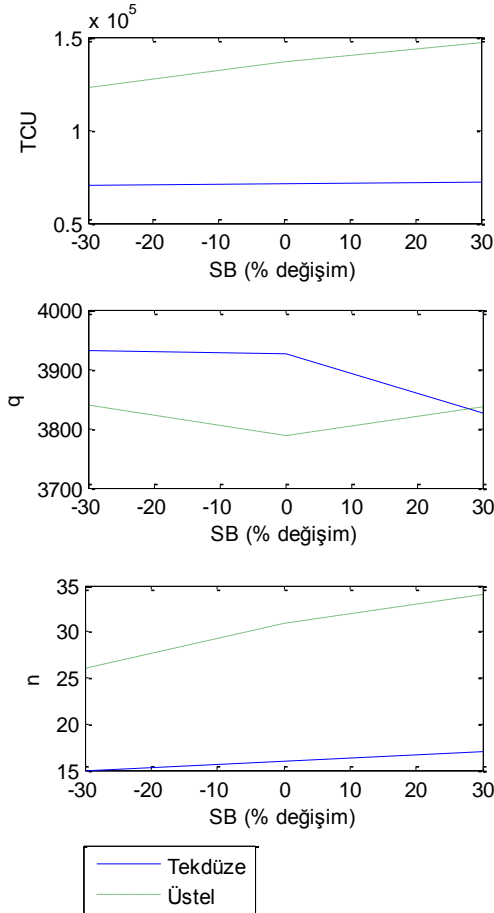
**Tablo 5.** Makine kullanılmama süresinin tekdüze dağılım gösterdiği durum için kayıp satışlar maliyetinin ve talep miktarının optimum çözümler üzerindeki etkisi

Parameter	Değer	$n$	$q$	$Q = nq$	$TCUB$	$TCUV$	$TCU$
$S_B$	7(-%30)	15	3931.127	58966.904	31179.86	38732.85	69912.71
	10(%0)	16	3925.878	62814.044	29810.49	41643.68	71454.17
	13(+%30)	17	3826.026	65042.437	28952.39	43326.81	72279.20
$A_B$	70(-%30)	16	3925.642	62810.271	29789.51	41640.96	71430.47
	100(%0)	16	3925.878	62814.044	29810.49	41643.68	71454.17
	130(+%30)	16	3926.114	62817.817	29831.48	41646.40	71477.88
$A_V$	210(-%30)	16	3925.170	62802.726	29818.67	41564.38	71383.05
	300(%0)	16	3925.878	62814.044	29810.49	41643.68	71454.17
	390(+%30)	16	3926.585	62825.363	29802.33	41722.95	71525.28
$D$	35000(-%30)	12	3280.874	39370.482	23039.28	28990.45	52029.72
	50000(%0)	16	3925.878	62814.044	29810.49	41643.68	71454.17
	65000(+%30)	22	4219.541	92829.903	36219.11	54099.26	90318.38
$P$	112000(-%30)	21	3609.874	75807.352	30221.36	41423.51	71644.87
	160000(%0)	16	3925.878	62814.044	29810.49	41643.68	71454.17
	208000(+%30)	15	3846.324	57694.858	29414.04	41812.83	71226.87

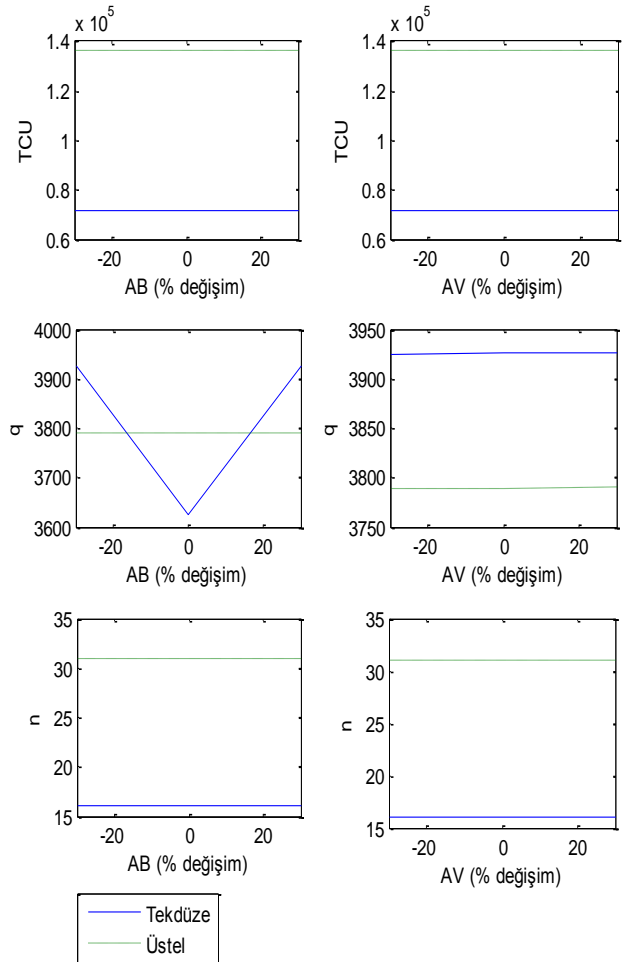
**Tablo 6.** Makine kullanılmama süresinin üstel dağılım gösterdiği durum için kayıp satışlar maliyetinin ve talep miktarının optimum çözümler üzerindeki etkisi

Parameter	Değer	$n$	$q$	$Q = nq$	$TCUB$	$TCUV$	$TCU$
$S_B$	7(-%30)	26	3839.396	99824.303	62728.20	59759.64	122487.85
	10(%0)	31	3789.250	117466.753	63207.28	73267.68	136474.96
	13(%30)	34	3837.180	130464.128	63624.98	83077.99	146702.97
$A_B$	70(-%30)	31	3789.089	117461.750	63199.26	73263.93	136463.19
	100(%0)	31	3789.250	117466.753	63207.28	73267.68	136474.96
	130(+%30)	31	3789.387	117471.003	63215.87	73270.86	136486.73
$A_V$	210(-%30)	31	3788.790	117452.497	63217.96	73221.68	136439.64
	300(%0)	31	3789.250	117466.753	63207.28	73267.68	136474.96
	390(+%30)	31	3789.686	117480.256	63197.17	73313.11	136510.28
$D$	35000(-%30)	22	3407.404	74962.892	47435.62	52218.02	99653.64
	50000(%0)	31	3789.250	117466.753	63207.28	73267.68	136474.96
	65000(+%30)	41	4125.740	169155.331	78071.09	92223.69	170294.79
$P$	112000(-%30)	38	3583.743	136182.234	61806.47	69469.49	131275.96
	160000(%0)	31	3789.250	117466.753	63207.28	73267.68	136474.96
	208000(+%30)	28	3916.495	109661.854	63873.52	74949.70	138823.22

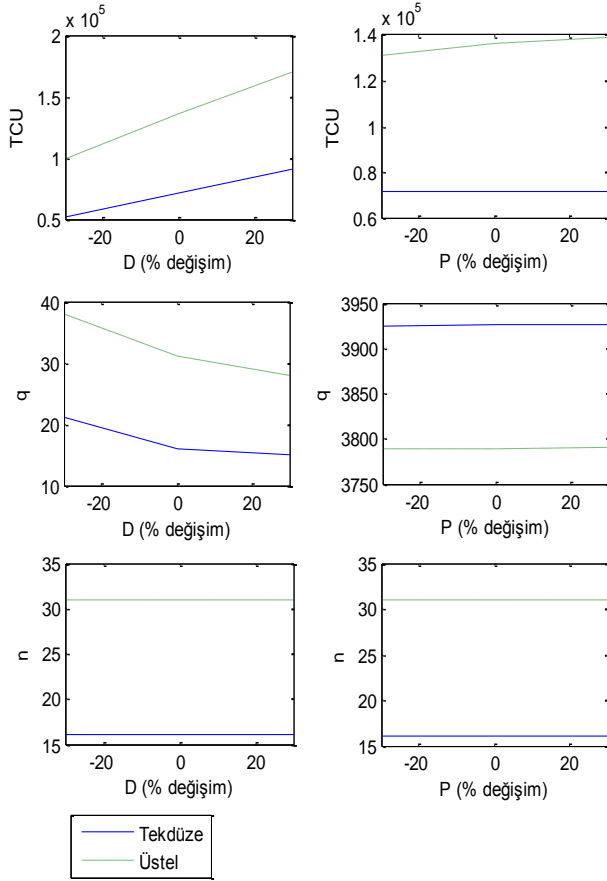
Parametrelerdeki değişimlerin makine kullanılmama süresinin tekdüze ve üstel dağılım gösterdiği durumda optimum sonuçlar üzerindeki etkilerini gösteren grafikler Şekil 4-6'da verilmiştir.



**Şekil 4.** Kayıp satışlar ( $S_B$ ) maliyetinin bütünlük toplam maliyet, sevkiyat başına taşıma miktarı ve sevkiyat sayısı üzerindeki etkisi



**Şekil 5.** Sipariş ( $A_B$ ) ve üretim hazırlık ( $A_V$ ) maliyetlerinin bütünlük toplam maliyet, sevkiyat başına taşıma miktarı ve sevkiyat sayısı üzerindeki etkisi



**Şekil 6.** Talep ( $D$ ) ve üretim ( $P$ ) hızlarının bütünlük toplam maliyet, sevkiyat başına taşıma miktarı ve sevkiyat sayısı üzerindeki etkisi

## VI. SONUÇ

Literatürde, üretim sırasında üretilen kusurlu ürünlerin sadece üretici tarafından tamir edildiği yada yeniden işlendiği varsayımı altında geliştirilen birçok merkezi tedarik zinciri modeli bulunmaktadır. Bu çalışmada, kusurlu ürünlerin tamiri ve makine kullanılmama süresinin rassal bir değişken olması varsayımları altında tek bir üretici ve tek bir alıcıdan oluşan iki aşamalı merkezi tedarik zinciri modeli analiz edilmiştir. Kusurlu ürünlerin tamir işlemi dışkaynak kullanılarak yapılmaktadır. Üretimin gecikmesinden dolayı siparişlerin istenilen zamanda teslim edilememesi durumu üretici için ceza maliyeti ile ilişkilendirilmiş, müşterilerin taleplerinin karşılanmaması durumu ise alıcı için kayıp satışlar maliyeti ile ilişkilendirilmiştir. Üretimin gecikmesinden kaynaklanan makine kullanılmama süresinin ise tekdüze ve üstel dağılım gösterdiği ayrıca geliştirilen modele dahil edilmiştir. Bu varsayımlar altında bütünlük toplam maliyeti minimum yapan optimum sipariş miktarı ve sevkiyat sayısı, önerilen bir algoritma yardımıyla elde edilmiştir. Modelin işleyişi sayısal bir örnek yardımıyla açıklanmış, önemli model parametrelerinin optimum sonuçlar üzerindeki etkisi duyarlılık analizi yardımıyla incelenmiştir.

Sayısal çözümler ve duyarlılık analizi sonucunda, makine kullanılmama süresinin hem tekdüze hem de üstel

dağılım gösterdiği durumlar için talep miktarındaki artışın toplam maliyette de artışa neden olduğu görülmüştür. Kayıp satışlar maliyetindeki artış, makine kullanılmama süresinin tekdüze dağılım gösterdiği durumda sevkiyat başına taşıma miktarını azaltırken, makine kullanılmama süresinin üstel dağılım gösterdiği durumda sevkiyat başına taşıma miktarını artırmıştır. Kayıp satışlar maliyetinin artmasıyla bir üretim çevrim süresi içerisinde üreticiden alıcıya gönderilen sevkiyatların sayısında artmıştır. Bu artış, makine kullanılmama süresinin üstel dağılıma uyduğu durumda daha fazla olmuştur. Bu şartlar altında, kayıp satışlar maliyetindeki herhangi bir azalma hem üretici ve alıcı için maliyet tasarrufu sağlayacaktır. Sonuç olarak, bu çalışmada geliştirilen model, kusurlu ürünlerin dışkaynak kullanılarak tamir edilmesi varsayımı ile makinelerin kullanım dışı kalma süreleri ve kayıp satışlardan kaynaklanan sevkiyat sayısı değişimlerini birlikte ele aldığından işletme yöneticilerine karar vermede önemli bir araç ve işletmelerin maliyetlerini optimize etmelerine yardımcı olacaktır.

Çalışma bazı kısıtlar içermektedir. Tek çeşit ürün üretimi ve bu ürüne olan talebin sabit ve biliniyor (deterministik) olması çalışmadaki en önemli kısıtlardandır. Gerçek yaşamda talep belirsizdir ve birçok durumda stokastik (olasılıklı) yapı göstermektedir [67]. Bu durumda tedarik süresi bir değişkendir sabit değildir. Tedarik zincirinde tam zamanında üretim sisteminin benimsenmesi işletmeleri stoklarla ilgili maliyetlerden kurtarmaktadır. Tedarikçi ve alıcı arasında yapılan uzun dönemli satış sözleşmeleri ile satın alınan ürünlerin daha küçük sevkiyatlar halinde ve daha sık teslimi yapılabilir ve sonucunda ürün kalitesi artırılabilir, stok maliyeti ve tedarik süresi azaltılabilir [68, 69]. Bu nedenle, tedarik süresinin kontrol edilmesi, tam zamanında üretim düşüncesinin gerçekleşmesi için önemli faktörlerden biridir [70]. Geliştirilen modelde tedarik süresi dikkate alınabilir [71]. Bununla birlikte, talep ürüne bağlı olarak birçok faktörden etkilenmektedir. Örneğin, talebin fiyata karşı duyarlı olması onun en temel özelliklerinden biridir. Talep miktarının satış fiyatının bir fonksiyonu olduğu modele dahil edilebilir [72]. Artan rekabet ortamında işletmeler varlıklarını devam ettirmek ve müşteri istek ve ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla tek çeşit ürün üretiminin gerçekleştiği montaj hatları üzerinde iyileştirmeler yaparak daha çok ürün üretmektedirler [73]. Çok ürün üretilmesinin modele dahil edilmesiyle sonraki çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmada geliştirilen iki aşamalı merkezi tedarik zinciri modelinde üretim sırasında kusurlu ürünlerin üretildiği ve bu ürünlerin alıcı tarafından gerçekleştirilen tamamen güvenilir tarama işlemi sonucunda tespit edilerek tamir edildiği varsayılmıştır. Tarama sırasında bazı kusursuz ürünler kusurlu olarak (Tip 1 hata), kusurlu ürünler de kusursuz olarak (Tip 2 hata) seçilebilir. Geliştirilen model, tarama hatalarının da dahil edilmesiyle genişletilebilecektir. Tamir edilen kusurlu ürünler içerisinde bu ürünlerin tekrar işleme taşınmasından yada süreç hatalarından kaynaklı kusurlu ürünler olabilir. Tamir edilen ürünler içerisinde de



belirli oranda kusurlu ürünler olabileceği varsayımı modele dahil edilebilir. Bunlarla birlikte, makine kullanılmama süresinin farklı dağılıma uymasının (örneğin, Poisson dağılımı), üreticiden alıcıya gönderilen sevkiyat büyüklüklerinin eşit ve geometrik değişim göstermesinin ve çevre maliyetlerinin (üretim, taşıma ve stok) bu çalışmada geliştirilen modele dahil edilmesiyle sonraki çalışmaların yapılabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, Editörlere ve makaleyi dikkatli ve özverili bir şekilde okuyan ve çok değerli katkılar sunan hakemlere çok teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

[1] Ataman, G. (2002). Tedarik zinciri ve yönetimi: değişim mühendisliği ve dış kaynaklardan yararlanma ilişkisi üzerine bir irdeleme. *Öneri*, 5(17), 35-42.

[2] Sarı, K. & Güngör, C. (2010). Tedarikçi yönetimli envanter yaklaşımının tedarik zinciri performansına etkileri. *İtüdergisi/d mühendislik*, 6(2), 29-40.

[3] Toktaş Palut, P., & Ülengin, F. (2011). Kapasitesi sınırlı çoklu tedarikçiden oluşan iki kademeli bir tedarik zincirinin koordinasyonu. *İtüdergisi/d*, 10(2), 15-26.

[4] Torun, H., & Canbulut, G. (2019). İki aşamalı tedarik zinciri koordinasyonunun bulanık talep altında analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(3), 1315-1328.

[5] Yazgan, H. R., Sarı, Ö., & Seri, V. (1998). Toyota üretim sisteminin özellikleri. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 129-134.

[6] Gersil, A. (2007). Üretim sistemleri ve teknolojilerindeki gelişmelerin ve küreselleşmenin geleneksel maliyet muhasebesine etkileri. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 62(4), 107-123.

[7] Goyal, S. K. (1976). An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem. *International Journal of Production Research*, 15(1), 107-111.

[8] Pekin Alakoç, N. (2012). Bulanık Kalite Kontrol Grafiklerinde Yeni Bir Yaklaşım (Oran Yaklaşımı). Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Türkiye, s. 13-16.

[9] Yıldırım, H., & Karaca, E. (2013). Üretim sürecinde istatistiksel proses kontrol (İPK) uygulamaları ve elektronik sektöründe bir inceleme. *Öneri*, 10(39), 77-87.

[10] Hayek, P. A., & Salameh, M. K. (2001). Production lot sizing with the reworking of imperfect quality items produced. *Production Planning & Control*, 12(6), 584-590.

[11] Yüksel, H., & Çelikoğlu, C. C. (2004). Yeniden üretim faaliyetlerinin planlaması ve kontrolü için bir yöntem önerisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 152-166.

[12] Hsu, J., & Hsu, L. (2012). An integrated single-vendor single-buyer production-inventory model for items with imperfect quality and inspection errors. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(5), 703-720.

[13] Tseng, C. T., Wu, M. F., Lin, H. D., & Chiu, Y. S. P. (2014). Solving a vendor-buyer integrated problem with rework and a specific multi-delivery policy by a two-

phase algebraic approach. *Economic Modelling*, 36, 30-36.

[14] Wahab, M. I. M., Mamun, S. M. H., & Ongkunaruk, P. (2011). EOQ models for a coordinated two-level international supply chain considering imperfect items and environmental impact. *International Journal of Production Economics*, 134(1), 151-158.

[15] Khara, B., Dey, J. K., & Mondal, S. K. (2020). An integrated imperfect production system with advertisement dependent demand using branching and bound technique. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09377-5>.

[16] Jaber, M. Y., Zaroni, S., & Zavanella, L. E. (2014). Economic order quantity models for imperfect items with buy and repair options. *International Journal of Production Economics*, 155, 126-131.

[17] Tanyeri, M., & Fırat, A. (2005). Rekabet değişkeni olarak dış kaynak kullanımı (Outsourcing). *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 268-279.

[18] Zalluhoğlu, A. E., & Özhan Dedeoğlu, A. (2011). Tedarik zinciri yönetiminde dış kaynak kullanımı: otomotiv sektörü üzerine alan araştırması. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 49-63.

[19] Acar, D. ve Aslantaş Ateş, B. (2011). Tedarik zincirinin temel faaliyetlerinde dış kaynak kullanımı: tekstil-konfeksiyon sektörü işletmelerinde bir araştırma. *Mali Çözüm Dergisi*, 105, 17-46.

[20] Zhang, Y., He, Z., He, S., Cai, K., & Wang, D. (2020). Manufacturer warranty service outsourcing strategies in a dual-channel supply chain. *International Transactions in Operational Research*, 27(6), 2899-2926.

[21] Kuruca, H. İ., & Rumeysa, K. E. (2019). Otomatik üretim sistemlerinde verimlilik analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(4), 897-905.

[22] Taleizadeh, A. A., Sari-Khanbaglo, M. P., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2019). Outsourcing rework of imperfect items in the economic production quantity (EPQ) inventory model with backordered demand. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(12), 2688-2699.

[23] Arslan, A. R., Sönmez, A., & Gürleyen, L. (2009). Türkiye mobilya işletmelerinin rekabet gücünü etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 12(1), 47-53.

[24] Yılmaz, H. (2005). İşletmelerde finansal verimliliğin artırılması ve KOBİ'lerde bir araştırma. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 27, 125-133.

[25] Çatı, K., Çömlekçi, İ., & Zengin, E. (2015). Dış kaynak kullanımının işletme finansal performansına etkisi: Düzce ili imalat sanayisinde kobi yöneticileri üzerinde bir araştırma. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 17(28), 56-67.

[26] Yorgancı, C., & Eren, T. (2013). Tek makineli çizelgelemede takım değişikliği durumunda maksimum gecikme minimizasyonu: tamsayı programlama modeli. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 5(1), 19-22.

[27] Sütçü, A., Karşıyaka, O., & Burhan, M. E. (2019). Bir mobilya üretim tesisinde iş analizi ve benzetim uygulaması ile süreç verimliliğinin artırılması. *Avrupa*

*Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 45-57.

- [28] Belbağ, S., Çimen, M., & Soysal, M. (2020). Üretim sistemlerinde endüstri 4.0'in envanter maliyetlerine etkisi üzerine bir senaryo incelemesi. *Verimlilik Dergisi*, 2, 125-143.
- [29] Banerjee, A. (1986). A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. *Decision Sciences*, 17(3), 292-311.
- [30] Goyal, S. K. (1995). A one-vendor multi-buyer integrated inventory model: A comment. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 209-210.
- [31] Goyal, S. K., & Nebebe, F. (2000). Determination of economic production-shipment policy for a single vendor-single-buyer system. *European Journal of Operational Research*, 121(1), 175-178.
- [32] Ertogral, K., Darwish, M., & Ben-Daya, M. (2007). Production and shipment lot sizing in a vendor-buyer supply chain with transportation cost. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1592-1606.
- [33] Ben-Daya, M., Darwish, M., & Ertogral, K. (2008). The joint economic lot sizing problem: Review and extensions. *European Journal of Operational Research*, 185(2), 726-742.
- [34] Ouyang, L. Y., Ho, C. H., & Su, C. H. (2009). An optimization approach for joint pricing and ordering problem in an integrated inventory system with order-size dependent trade credit. *Computers & Industrial Engineering*, 57(3), 920-930.
- [35] Yang, M. F. (2010). Supply chain integrated inventory model with present value and dependent crashing cost is polynomial. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(5-6), 802-809.
- [36] Hoque, M. A. (2013). A vendor-buyer integrated production-inventory model with normal distribution of lead time. *International Journal of Production Economics*, 144(2), 409-417.
- [37] Huang, Y. S., Fang, C. C., & Lin, Y. A. (2020). Inventory management in supply chains with consideration of Logistics, green investment and different carbon emissions policies. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106207.
- [38] Seliaman, M., Cárdenas-Barrón, L., & Rushd, S. (2020). An algebraic decision support model for inventory coordination in the generalized n-stage non-serial supply chain with fixed and linear backorders costs. *Symmetry*, 12, 1-20.
- [39] Huang, Y. S., Ho, J. W., Jian, H. J., & Tseng, T. L. B. (2021). Quantity discount coordination for supply chains with deteriorating inventory. *Computers & Industrial Engineering*, 152, 106987.
- [40] Huang, C. K. (2001). An integrated inventory model for supplier and retailer with defective items. *Journal of Information and Optimization Sciences*, 22(3), 509-519.
- [41] Huang, C. K. (2002). An integrated vendor-buyer cooperative inventory model for items with imperfect quality. *Production Planning & Control*, 13(4), 355-361.
- [42] Abdul-Jalbar, B., Gutierrez, J. M., & Sicilia, J. (2007). An integrated inventory model for the single-vendor two-buyer problem. *International Journal of Production Economics*, 108(1-2), 246-258.
- [43] Su, C. H. (2012). Optimum replenishment policy for an integrated inventory system with defective items and allowable shortage under trade credit. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 247-256.
- [44] Jha, J. K., & Shanker, K. (2014). An integrated inventory problem with transportation in a divergent supply chain under service level constraint. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(4), 462-475.
- [45] Kumar, R. S., Tiwari, M. K., & Goswami, A. (2016). Two-echelon fuzzy stochastic supply chain for the manufacturer-buyer integrated production-inventory system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(4), 875-888.
- [46] Kim, M. S., Kim, J. S., Sarkar, B., Sarkar, M., & Iqbal, M. W. (2018). An improved way to calculate imperfect items during long-run production in an integrated inventory model with backorders. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 153-167.
- [47] Gharaei, A., Karimi, M., & Shekarabi, S. A. H. (2019). An integrated multi-product, multi-buyer supply chain under penalty, green, and quality control policies and a vendor managed inventory with consignment stock agreement: The outer approximation with equality relaxation and augmented penalty algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 69, 223-254.
- [48] Öztürk, H. (2020). A study and comparison of shipment policies with repair options in a two-tier supply chain model. *Engineering Management Journal*, 33(2), 96-125.
- [49] Khanna, A., Gautam, P., Sarkar, B., & Jaggi, C. K. (2020). Integrated vendor-buyer strategies for imperfect production systems with maintenance and warranty policy. *RAIRO-Operations Research*, 54(2), 435-450.
- [50] Khan, M., Hussain, M., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2017). Learning and screening errors in an EPQ inventory model for supply chains with stochastic lead time demands. *International Journal of Production Research*, 55(16), 4816-4832.
- [51] Tiwari, S., Daryanto, Y., & Wee, H. M. (2018). Sustainable inventory management with deteriorating and imperfect quality items considering carbon emission. *Journal of Cleaner Production*, 192, 281-292.
- [52] Marchi, B., Zanoni, S., & Jaber, M. Y. (2019). Economic production quantity model with learning in production, quality, reliability and energy efficiency. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 502-511.
- [53] Groenevelt, H., Pintelon, L., & Seidmann, A. (1992). Production lot sizing with machine breakdowns. *Management Science*, 38(1), 104-123.
- [54] Abboud, N. E., Jaber, M. Y., & Noueihed, N. A. (2000). Economic lot sizing with the consideration of random machine unavailability time. *Computers & Operations Research*, 27(4), 335-351.
- [55] Chen, K. K., Chiu, Y. S. P., & Ting, C. K. (2010). Producer's replenishment policy for an EPQ model with rework and machine failure taking place in backorder reloading time. *WSEAS Transactions on Mathematics*, 9(4), 223-233.
- [56] Dhoub, K., Gharbi, A., & Aziza, M. B. (2012). Joint

optimum production control/preventive maintenance policy for imperfect process manufacturing cell. *International Journal of Production Economics*, 137(1), 126-136.

[58] Huang, H., He, Y., & Li, D. (2017). EPQ for an unreliable production system with endogenous reliability and product deterioration. *International Transactions in Operational Research*, 24(4), 839-866.

[59] Deiranlou, M., Dehghanian, F., & Pirayesh, M. A. (2019). The simultaneous effect of holding safety stock and purchasing policies on the economic production quantity model subject to random machine breakdown. *International Journal of Engineering*, 32(11), 1643-1655.

[60] Wee, H. M., & Widyadana, G. A. (2013). Single-vendor single-buyer inventory model with discrete delivery order, random machine unavailability time and lost sales. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 574-579.

[61] Taleizadeh, A. A., Samimi, H., Sarkar, B., & Mohammadi, B. (2017). Stochastic machine breakdown and discrete delivery in an imperfect inventory-production system. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 13(3), 1511.

[62] Chiu, Y., Zhao, Z., Chiu, S., & Chiu, V. (2020). A vendor-buyer coordinated system featuring an unreliable machine, scrap, outsourcing, and multiple shipments. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(3), 341-358.

[63] Shi, J., Katehakis, M. N., Melamed, B., & Xia, Y. (2014). Production-inventory systems with lost sales and compound Poisson demands. *Operations Research*, 62(5), 1048-1063.

[64] Joglekar, P. N. (1988). Note—Comments on “A quantity discount pricing model to increase vendor profits”. *Management Science*, 34(11), 1391-1398.

[65] Hahm, J., & Yano, C. A. (1992). The economic lot and delivery scheduling problem: The single item case. *International Journal of Production Economics*, 28(2), 235-252.

[66] Axsater, S. (2006). *Inventory Control*. Second edition, Springer.

[67] Taş, A. (2007). Deterministik ve stokastik talep varsayımları altında envanter parti büyüklüğü belirleme problemi için modeller. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 25(1), 215-237.

[68] Güner, E., & Karaca, M. (2004). Tam zamanında üretim sisteminde tedarikçi ilişkileri ve en iyi parti büyüklüğü üzerine bir uygulama. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(4), 443-454.

[69] Kiracı, M. (2009). Stok yönetimi ve karlılık ilişkisinin finansal oranlar aracılığıyla incelenmesi: İMKB imalat sektöründe bir araştırma. *ODTÜ Geliştirme Dergisi*, 36, 161-195.

[70] Ben-Daya, M. A., & Raouf, A. (1994). Inventory models involving lead time as a decision variable. *Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 579-582.

[71] Pan, J. C. H., & Yang, J. S. (2002). A study of an integrated inventory with controllable lead time. *International Journal of Production*

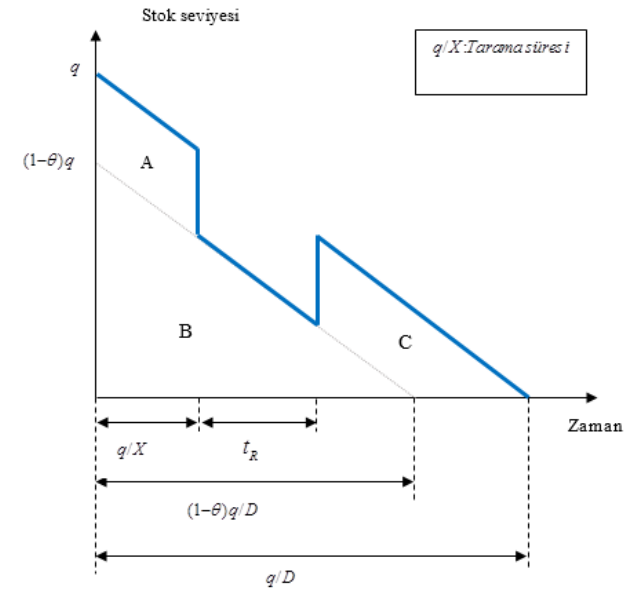
*Research*, 40(5), 1263-1273.

[72] Rad, M. A., Khoshalhan, F., & Glock, C. H. (2014). Optimizing inventory and sales decisions in a two-stage supply chain with imperfect production and backorders. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 219-227.

[73] Özcan, U., & Peker, A. (2007). Karışık modellenli U-tipi montaj hatlarında hat dengeleme ve model sıralama problemleri için yeni bir sezgisel yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2), 277-286.

## EK

Alıcı için stokta tutma maliyetinin hesaplanması



Alıcının herhangi sipariş çevrimindeki stok seviyesinin zamana göre değişimi yukarıdaki şekilde ayrıntılı olarak verilmiştir. Alıcı için çevrim başına stokta tutma (elde bulundurma) maliyeti toplam stok miktarının birim stok maliyeti ile çarpımı sonucu hesaplanır. Toplam stok miktarı eğri altında kalan alanlar toplamıdır.

□

$$A \text{ alanı} = (q/X)(\theta q) = \theta q^2 / X,$$

△

$$B \text{ alanı} = (1-\theta)q((1-\theta)q/D)/2 = (1-\theta)^2 q^2 / 2D,$$

□

$$C \text{ alanı} = [(q/D) - ((q/X) + t_R)](\theta q) - (\theta q)((\theta q)/D)/2$$

$$= \theta q^2 / D - \theta q^2 / X - (\theta q/R)(\theta q) - \theta^2 q^2 / 2D$$

$$= \theta q^2 (1/D - 1/X - \theta(1/R + 1/2D)).$$

Bir üretim çevrimi içerisinde n tane sevkiyat yapıldığını dikkate alırsak, alıcı için stokta tutma maliyeti (kusursuz, kusurlu ve tamir edilen ürünler) aşağıdaki gibidir:

$$\text{Stokta tutma maliyeti} = h_B (1-\theta)^2 n q^2 / 2D + h_d \theta n q^2$$

$$/ X + h_R \theta n q^2 (1/D - 1/X - \theta(1/R + 1/2D))$$