Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi
3(1), 71-75, 2015
ISSN: 1308-6693

Suleyman Demirel University
Journal of Engineering Sciences and Design
3(1), 71-75, 2015
ISSN: 1308-6693

Derleme Makale Review Article

İŞBİRLİKÇİ STOK OYUNLARI

Mehmet Onur OLGUN*, **Gültekin ÖZDEMİR**
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta,Türkiye

Anahtar Kelimeler
İşbirlikçi oyun teorisi
Stok oyunları
Stok Yönetimi

Özet
Stok yönetimi, üretim yapan işletmeler için oldukça önemli bir konudur. Stokları en aza indirerek işletme verimliliğini ve kazancını artırmak için; ilk olarak fabrikaya giren hammadde ürünlerini fayda/maliyet oranına göre eniyiye getirmek gereklidir. Günümüzde çoğu işletme, klasik düşünceyle ne kadar çok hammadde satın alırsa, o kadar ucuza imal edeceğini düşünerek; yüksek miktarda stok tutmakta ve zarar etmektedirler. Bu noktada firmalar, stok maliyetlerini azaltabilmek için bireysel olarak sipariş vermek yerine, diğer firmalar ile işbirliği yaparak maliyetlerini azaltma yoluna gitmektedirler. Bu amaçla işbirlikçi oyun teorisinden yararlanmaktadırlar. Bu çalışmada, *işbirlikçi stok oyunları* ve uygulamaları hakkında ağırlıklı olarak son on yılı kapsayan bilimsel yazın araştırması yapılmış ve temel kavram ve örnekler anlatılmıştır.

COOPERATIVE INVENTORY GAMES

Keywords
Cooperative game theory
Inventory games
Inventory Management

Abstract
Inventory management is an important issue for businesses related in the production. While minimizing inventories and maximizing profits to improve operational efficiency; First, raw materials, products entering the factory cost / benefit ratio is necessary to optimum. Nowadays, most of the raw materials, the company gets how much classical thought, thinking that would be cheaper, and the resulting stock holding costs for keeping inventory has been damaged too.
In recent years, mainly due to increased inventory costs, rather than as a single product in order to buy other firms and they are going to cooperate ways to decrase the these costs. For this purpose, they benefit from cooperative game theory. In this study, a detailed literature review has been conducted for the cooperative inventory games and its basic concepts and applications the last ten years.

1. Giriş

Oyun teorisi modelleri, ekonomik birimler arasındaki olası çatışma durumlarını inceleyen matematiksel modellerdir. Analiz edilen ve özellikleri tespit edilen ekonomik bir problem oyun haline getirilir. Oyunun sonuçları ekonomik terimlere dönüştürülür. Problemi oyun haline dönüştürmek zorunluluk değil, fakat analizi için gereklidir. Oyun teorisi, ekonomik birimler arasındaki çeşitli yapısal ilişkileri modellemeye ve analiz etmeye yardımcı olur.

İşbirlikçi oyun teorisi, oyuncuların (ekonomik birimlerin) işbirliği durumuna gitmesi halinde ortak bir anlaşma planı oluşturarak aralarındaki pazarlık durumlarını analiz etmeye ve beraber oluşturdukları kazançların dağıtımının nasıl yapılacağına odaklanır. Özellikle, her bir olası ***koalisyonun*** (işbirliğine giden oyuncuların alt grupları) ortak kazançları her bir oyuncunun koalisyon durumunda koalisyona olan katkısını daha iyi karşılaştırabilmek amacıyla hesaplanır ve uygun ve adil bir dağıtım yöntemi (çözüm) oluşturmak için aldıkları katkılar hesaplanır. Koalisyonun gelir veya giderleri incelenen oyununun gerçek eniyi sonuçları, koalisyon değerleri olarak düşünülür. Eğer koalisyon mümkün değilse ya da ortak gelirler koalisyon dışındaki özel varsayımlara bağlıysa, oyun değerleri karşılaştırılan amaç için yapılan deneylerin tutarlı sonuçları olarak düşünülür.

2. İşbirlikçi Stok Oyunlarına ait Bilimsel Yazın Taraması

Bilimsel yazında stok oyunları, temel olarak belirli (deterministik) ve olasılıklı (stochastic) stok oyunları olmak üzere ikiye ayrılır. İlk olarak, ekonomik sipariş miktarı modeli birden fazla firma olması durumunda çok ürünlü sipariş modeli olarak genişletilmiş ve ortak

* İlgili yazar: onurolgun@sdu.edu.tr

sipariş verme oyunu olarak adlandırılmıştır. İkinci olarak, birden fazla gazeteci çocuk problemi (newsvendor) oluşturularak merkezileştirilmiş gazeteci çocuk problemi oluşturulmuştur. Her iki oyun türünde de tek aşamalı, durağan ve sonsuz tekrarlanan oyunlar stok oyunlarının temel sınıflandırma sisteminin kökünü oluşturmaktadır. Temelde bu iki stok oyununun varsayımlarını değiştirerek, farklı özellikler ekleyerek farklı stok oyun problemleri literatürde incelenmiştir.

Firmalar, diğer firmalarla iş birliğine giderek stok maliyetlerini azaltabilirler. Örneğin, bir firma için her sipariş verildiğinde bir sipariş verme maliyet oluşuyorsa, grup olarak (iş birliği) sipariş verilmesi durumunda, tek tek sipariş verme duruma göre daha az maliyete katlanılacaktır. Bu durum, iş birliğine gidecek firmalar arasında en az stok maliyeti olacak şekilde bir dağıtım problemini oluşturmakta ve literatürde ilk defa Meca vd. (2004) tarafından incelenmiştir. Aynı ürün siparişi veren firmaların, birlikte sipariş vermeleri durumunda stok maliyetlerini azalttıkları ileri sürülmüştür. İşbirliğine giden tüm firmalar, stok maliyet bilgileri ile birlikte, işbirlikçi faydası transfer edilebilen oyun teorisi modelini kullanarak, toplam stok maliyetlerini oranlı kuralı yardımıyla dağıtmışlardır. Firmalar, işbirliği yardımıyla kendi stok maliyetlerinde ve toplam maliyetlerinde tasarruf sağlamışlardır.

Hartman ve Dror (2003), eniyi stok merkezileştirme problemi çözümü için adım adım hesaplama yapan Aç Gözlü (Greedy) sezgisel bir algoritma önermişlerdir. Önerdikleri yöntem, her bir depolama alanının ortalama ve varyansı arasındaki korelasyonu değiştirmeden yöntemi uygulamaktadır. İşbirlikçi oyun teorisi yöntemi ile ilk kez birlikte kazandıkları faydaları nasıl enbüyükleyeceklerini göstermişlerdir.

Wong vd. (2007), tamir edilebilir yedek parçaların ortak sipariş verilmesiyle oluşan maliyetlerin dağıtımı için oyun teorisi modelini kullanarak iki farklı problemi incelemişlerdir. İlk problemde, işbirliğine giden bütün firmalar ortak işbirliğine gitmişlerdi. Adil bir maliyet dağıtımı için işbirlikçi oyun teorisi çözüm yöntemlerinden çekirdek yöntemini kullanmışlardır. İkinci durumda ise, her bir firmanın karını ayrı ayrı enbüyüklemeye çalışmışlardır. İşbirlikçi olmayan oyun teorisi çözüm yöntemlerinden ***Nash Dengesi*** yöntemini kullanmışlar ve maliyet dağıtım politikasının, şirketlerin kendi stok politikası kararlarını vermede etkili olduklarını göstermişlerdir.

Bauso vd. (2009), koalisyon değerlerinin kesin olarak bilinmediği durumda klasik işbirlikçi oyun teorisi modellerinin uygun olmadığını ortaya koymuşlardır. Koalisyon değerleri, kesin olarak bilinmemekte ve çok yüzlü (polyhedron) ile sınırlandırılmış olarak düşünülmüştür.

Meca vd. (2003), ekonomik üretim modelini işbirlikçi oyun teorisi modeli ile inceleyerek, stoksuzluk ve firmaların üretim yapması durumunda maliyetlerin azaltılmasında ve dağıtılmasında oranlı kurala benzer alternatif bir dağıtım kuralını kullanmışlardır.

Tijs vd. (2005), bir karar vericinin (oyuncu) depolama alanına sahip olduğu ve birden fazla firmanın ürün siparişleri olduğu durumlar için, fayda oluşturmak amacıyla ürünlerin, stoklama alanı olan oyuncuda depolanabileceğini ve faydanın paylaştırılabilmesi amacıyla işbirlikçi oyun teorisi yöntemini kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu oyunun büyük patron oyunlarının (big boss games) uygulamasına benzediklerini açıklamışlardır. Ayrıca eniyi depolama planlarını ve stok maliyetlerini belirlemişlerdir.

Meca (2007), genelleştirilmiş stok maliyeti oyunları isimli yeni bir stok oyunları modelini incelemiştir. Stok maliyetlerinin dağıtımı için enküçük kareli oranlı kural ile dağıtmışlardır.

Guardiola vd. (2007), merkezileştirilmemiş kontrollü tedarik zincirinde, birden fazla firma için karın enbüyüklenmesi ve dağıtımı problemini, işbirlikçi oyun teorisi yöntemi ile incelemişlerdir. Tedarikçi ve müşterilerin amacı, karlarını enbüyüklemektir. İşbirlikçi oyun teorisi ile merkezileştirilmemiş kontrolün olumsuz etkileri giderilerek, her bir firmanın payına düşen karlar artırılmıştır.

Meca vd. (2007), miktar indirimli ekonomik sipariş miktarı modelinde işbirlikçi oyun teorisi yönteminden faydalanmıştır. İncelenen oyunun p-eklemeli (p-additive) sınıfa ait olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca oluşan alt oyunların da boş olmayan çekirdek kümesine sahip olduklarını ileri sürmüşlerdir. Düzeltilmiş oranlı kural ile maliyet tasarruflarını dağıtmışlardır.

Guardiola vd. (2009), üretim ve stok oyunlarını beraber incelemişlerdir. Stoksuzluğa izin veren ve üretim yapan işletmelerde, işbirliğine gidilerek üretim süreçlerinin ve stoklama alanlarının paylaştırılması amacıyla en ucuz üretim sürecini ve en düşük maliyetli depoyu seçerek işbirlikçi oyun teorisi yöntemini uygulamışlardır. Owen kümesi yardımıyla maliyet dağıtımlarını gerçekleştirmişlerdir.

Fiestras-Janerio vd. (2011), merkezileştirilmiş stok sistemleri yönetiminde işbirlikçi oyun teorisi ile ilgili yapılan çalışmaları ve uygulamaları incelemişlerdir. Ayrıca, çok müşterili dağıtım ağında yeni merkezileştirilmiş bir stok modeli oluşturulmuştur.

Dror ve Hartman (2011), tedarik zinciri yönetiminde literatürde var olan tüm çalışmalar hakkında ayrıntılı bir çalışma yapmışlardır. Parametreleri belli olan belirli oyunlarda ekonomik sipariş miktarı modelini ve benzeri oyunlar temel alarak incelemişlerdir. Ayrıca dinamik gazeteci çocuk oyunları ile ilgili özet bir literatür çalışması yapmışlardır.

Dreschel ve Kimms (2011), tedarik zinciri yönetiminde kapasite limitleri nedeniyle ortaya çıkabilecek ek kısıtların maliyetini enküçüklemeye çalışmışlardır. Ayrıca, oyuncular arasında adil bir dağıtım yapabilmek çözülmesi zor bir problem olarak ele almışlardır. Bunlar için matematiksel programlama teknikleri geliştirmişlerdir.

Fiestras-Janerio vd. (2012), tek ürün sipariş veren birden fazla firma içeren stok taşıma problemini işbirlikçi oyun teorisi ile incelemişlerdir. Sipariş maliyetlerini sabit ve ürün sipariş edilen tedarikçiye olan uzaklığa bağlı ek ikinci bir maliyeti de ekleyerek incelemişlerdir.

Dror v.d. (2012), maliyet dağıtım kurallarından iki farklı yöntem doğrultusunda incelenmiştir. İlk olarak maliyet parametreleri değişim aralığının adil bir dağıtım olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Sonrasında ise uygulamalı bir çalışma yaparak hesapları aşmayan adil bir dağıtım elde etmişlerdir.

Ayrıca literatürde, yöneylem araştırması oyunları ile ilgili Borm vd. (2001) geniş bir literatür çalışması da mevcuttur.

3. İşbirlikçi Oyun Teorisine Ait Temel Kavram ve Örnekler

N sonlu oyuncular kümesi olsun ve N, N'nin bütün alt kümeleri olarak gösterilsin. 2^N'in elemanları koalisyonları olarak gösterilir. Bir Faydası transfer edilebilen oyun her bir S koalisyonuna gerçek bir sayı atar. Bu gerçek sayı ise S koalisyonuna ait kazanç/gider miktarıdır. Bu miktar $N \setminus S$ koalisyonundaki oyuncuların herhangi bir katkısı olmadan S koalisyonunun kendi başına ortak elde ettikleri kazanç veya gider miktarlarıdır. Bir FTE Oyun (N,v) çifti ile gösterilir, burada $v:2^N \to \mathbb{R}$ ve $v(\emptyset)=0$. v fonksiyonu karakteristik fonksiyon olarak adlandırılır, $S \subseteq N$ için, $v(S)$ S koalisyonun kazancı veya değeri olarak adlandırılır.

Örnek 2.1. (Eldiven Oyunu)

N oyuncu kümesi L ve R gibi iki ayrık alt grup olsun ve $R: N = L \cup R, L \cap R = \emptyset$. L'ye ait her üye sol ele ait eldivene , R'ye ait her üye ise sağ ele ait eldivene sahiptirler. Sadece tek bir eldivene sahip olmanın değeri sıfır, sağ ve sol ele ait eldivene (çift) sahip olmak 10 Türk lirası kazanç sağlayacaktır. Bu durum (N,v) FTE oyun olarak tanımlanır,

$$v(S) = 10\min\{|L \cap S|, |R \cap S = \emptyset|\} \quad \text{tüm } S \in 2^N \tag{3.1}$$

Bir (N,v), FTE oyun eğer tüm $S,T \in 2^N$, $S \subseteq T$ ve $v(S) \leq v(T)$ ise monotonik olarak adlandırılır. Monotonik bir oyun (N,v) ile $v(s) \in \{0,1\}$ tüm $S \in 2^N$ için $v(N)=1$ ise basit oyun olarak adlandırılır.

Örnek 2.2. (Oylama Oyunu)

4 partili (1, 2, 3, 4) 150 sandalyeli bir parlamento düşünülsün. 1. parti 60 sandalyeye diğer partilerin her biri 30 sandalyeye sahip olsun. Oylama durumu için yeter oy sayısı 76 olarak belirlenmiştir. Bu oylama durumu basit (N,v) FTE oyun olarak tanımlanabilir.

$$v(S) = \begin{cases} 1, & |S| \geq 2 \ ve \ 1 \in S \ veya \ S = \{2,3,4\} \\ 0 & \end{cases} \tag{3.2}$$

Bu durumda, (N,v) oyunu parasal kazancı değil yeter oy sayısını gösterir. Bir koalisyon 1 değeri alıyorsa, bu koalisyon parlamentoda yeterli oy çoğunluğuna sahiptir.

Çoğu FTE oyun (N,v) aşağıda verilen süper toplanabilirlik özelliğinden türetilir.

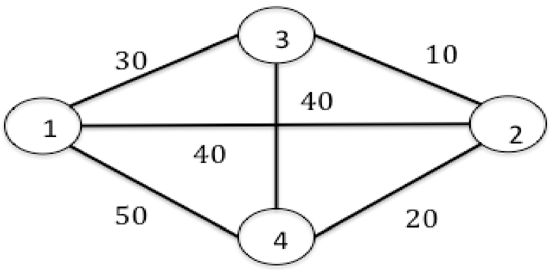
$$v(S \cup T) \geq v(S) + v(T) \quad \text{tüm } S,T \in 2^N \text{ ve } S \cap T = \emptyset \tag{3.3}$$

Eğer (N,v) oyunu aşağıdaki şartı sağlarsa toplanabilir oyun olarak adlandırılır.

$$v(S \cup T) = v(S) + v(T) \quad \text{tüm } S,T \in 2^N \text{ ve } S \cap T = \emptyset \tag{3.4}$$

Örnek 2.3. (Enküçük yayılan ağaç oyunu)

1, 2, 3 ile gösterilen üç yerleşim yeri ve 0 ile gösterilen düğüm ise güç kaynağı olsun. Bütün mümkün bağlantı hatları ve hatların maliyetleri Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Enküçük yayılan ağaç

Enküçük yayılan ağaç probleminde, her bir oyuncunun kaynağa bağlanması gerekmektedir. Son oyuncu olarak koalisyon dışında kalanlar bu bağlantıları kullanamaz. Her bir koalisyon üyesinin kaynağa olan bağlantılarının enküçük maliyet fonksiyonu Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Maliyet fonksiyonu

S	$\varnothing$	$\{1\}$	$\{2\}$	$\{3\}$	$\{1,2\}$	$\{1,3\}$	$\{2,3\}$	$\{1,2,3\}$
$c(S)$	0	50	40	20	70	60	30	60

Genel olarak bir FTE oyun elde etmek için maliyet oyununu kazanç oyununa dönüştürmek gereklidir. (N,v_0) $N=\{1,2,3\}$ ve $v_0=-c$ olarak düşünülebilir. Daha genel bir deyişle, (N,v) maliyet tasarruf oyunu;

$$v(S)=\sum_{i\in S} c(\{i\}) - c(S) \quad \text{tüm } S\in 2^N \qquad (3.5)$$

Tablo 2. Maliyet fonksiyonu

S	$\varnothing$	$\{1\}$	$\{2\}$	$\{3\}$	$\{1,2\}$	$\{1,3\}$	$\{2,3\}$	$\{1,2,3\}$
$v(S)$	0	0	0	0	20	10	30	50

Genellikle $v\in TU^N$'de bir oyunun koalisyon değerleri $2^{|N|-1}$ tane gerçek sayı değeri olur. Koalisyon değerlerine karşılık $\mathbb{R}^{2^{|N|-1}}$'de Vektör uzayında vektöre karşılık gelir. Bu durumun terside doğrudur $\mathbb{R}^{2^{|N|-1}}$ alınan TU^N $2^{|N|}-1$'de doğrusal boyutlu bir uzaydır. TU^N'de gerekli baz uzaylar ittifak oyunların birleşimi ile belirlenir.

Her bir $T\in 2^N\setminus\{\varnothing\}$ için $u_T\in TU^N$ ittifak oyunu

$$u_T(S)=\begin{cases}1 & \text{eğer } T\subset S,\\ 0 & \end{cases} \quad \text{tüm } S\in 2^N \qquad (3.6)$$

3.1. Kısıt Kümesi

FTE oyunlarda N oyunculu büyük koalisyon değeri $v(N)$'nin oyuncular arasındaki pazarlık durumuna göre adil ve en uygun şekilde dağıtılmaya çalışılmıştır. Ayrıca koalisyon değerleri olan $v(S)$ mümkün olan her $S\in 2^N$ için bulunmaya çalışılır.

$v\in TU^N$ bir oyun için, $x\in\mathbb{R}^N$ (ödeme vektörü) uygun bir dağıtım olabilmesi aşağıdaki iki kısıtı sağlamalıdır.

i. Verimlilik şartı (Pareto Optimal): $\sum_{i\in N} x_i = v(N)$

ii. Bireysel rasyonellik: $x_i \ge v(\{i\})$ her $i\in N$.

Yukarıdaki (i) ve (ii)'deki kısıtları sağlayan duruma kısıt kümesi denir. $v\in TU^N$ bir oyunda tüm kısıtların kümesi $I(v)$ ile gösterilir.

$$I(v)\neq\varnothing \Leftrightarrow v(N)\geq \sum_{i\in N} v(\{i\}) \qquad (3.7)$$

3.2. Çekirdek

$v\in TU^N$ bir oyun için çekirdek $C(v)$ şeklinde tanımlanır (Gillies, 1959).

$$C(v)=\left\{x\in\mathbb{R}^N \,\middle|\, \sum_{i\in N} x_i = v(N), \sum_{i\in S} x_i \geq v(S)\right. \quad \text{tüm } S\in 2^N \qquad (3.8)$$

Çekirdek çözüm kümesi koalisyondaki değişimlere karşı değişmeyen kısıt kümesidir. Diğer bir ifade ile $x\in C(v)$ olan ödeme vektörü, $S\neq N$ olan hiç bir koalisyon için dağıtılan gelir miktarı için başka bir koalisyon daha iyi gelir miktarı sunamaz. Her bir koalisyonun çekirdek çözümden aldığı dağıtım miktarı $\sum_{i\in S} x_i$ en az koalisyonun kendi başına aldığı değerden $v(S)$ büyük olmalıdır: $\sum_{i\in S} x_i > v(S)$. Eğer $C(v)\neq\varnothing$ ise $C(v)$'nin elemanları kolaylıkla bulunabilir çünkü çekirdeğin elemanları sonlu doğrusal eşitsizliklerin çözümü ile bulunmaktadır. Çekirdek bir politoptur ve konveks bir küme oluşturur. İki kişilik bir oyunda $I(v)=C(v)$.

Bir $\lambda: 2^N\setminus\{\varnothing\}\rightarrow[0,\infty)$ N için dengeli bir fonksiyondur. Eğer,

$$\sum_{S\in 2^N\setminus\{\varnothing\}} \lambda(S)e^S = e^N \qquad (3.9)$$

Burada, e^S, S koalisyonun karakteristik vektörüdür:

$$e_i^S=\begin{cases}1 & \text{eğer } i\in S \text{ tüm } i\in N\\ 0 & \end{cases} \qquad (3.10)$$

Eğer her dengeli fonksiyon λ aşağıda tanımı sağlıyorsa, N oyunculu (N,v) oyunu dengelidir. Bu teorem, Bondareva (1963) ve Shapley (1967) tarafından ispatlanmıştır. Çekirdeğin çözüm kümesinin boş küme olmadığını karakterize eder.

$$\sum_{S\in 2^N\setminus\{\varnothing\}} \lambda(S)v(S) \leq v(N) \qquad (3.11)$$

4. Tartışma ve Sonuç

Son yıllarda, işletme kararları verilirken pazarların küreselleşmesi kararları çoğalmakta ve firmalar arası rekabet gittikçe artmaktadır. Ayrıca daha fazla ürün tedarikçiler vasıtasıyla müşterilere ulaşmaktadır. Firmalar bu rekabetçi duruma adapte olabilmek ve maliyetlerini azaltabilmek amacıyla işbirliğine gitmektedirler.

Stok maliyetleri; sipariş verme maliyetleri ve stok tutma maliyetleri olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ürünleri tedarikçilerden sipariş eden firmalar, ekonomik sipariş miktarının ne olacağı sorusuna yanıt aramaktadırlar. Bunu literatürde var olan ekonomik sipariş miktarı modeliyle hesaplamaktadırlar. Firmalar sipariş verdikleri ürünleri kendilerine ait depolarında muhafaza etmektedirler.

Bu çalışmada, işbirlikçi stok oyunları ve uygulamaları hakkında ağırlıklı olarak son on yılı kapsayan bilimsel yazın araştırması yapılmış, temel kavram ve örnekler ile incelenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, 3664-D1-13 nolu projenin bir parçası olarak bu çalışmaya verdikleri kısmi destekten dolayı, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

Conflict Of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Bauso D., Timmer J., 2009. Robust Dynamic Cooperative Games, International Journal of Game Theory, Volume:38, Issue:1, Pages: 23-36.

Borm P., Hamers H., Hendrickx R., 2001. Operations Games: A Survey. TOP 9, 139-216.

Dreschel J., Kimms A., 2011. Cooperative lot sizing with transhipment and scarce capacities: solutions and fair allocations. International Journal of Production Research, Volume:49, Issue:9, Pages: 2643-2688.

Dror M., Hartman B.C., 2011. Survey of cooperative inventory games and extensions. Journal of Operations Research Society. Vol:62, p:565-580.

Fiestras-Janerio M.G., Garcia-Jurado I., Meca A., Mosquera M.A., 2012. Cost allocation in inventory transportation systems. TOP 20, 397-410.

Guardiola L.A.,, Meca A., Puerto J., 2009. Production-inventory games: A new class of totally balanced combinatorial optimization games. Game Econ Behav 65: 205–219.

Hartman, B.C. ,Moshe D., 2003. Optimizing Centralized Inventory Operations in a Cooperative Game Theory Setting. IIE Transactions, 35-3 243-257

Meca A., Garcia-Jurado I., Borm P., 2003. Cooperation and competition in inventory games. Math Method Opns Res 57: 481–493.

Meca, A., Timmer J, Garcia-Jurado I., Borm P.E.M., 2004. Inventory games. European Journal Opreations Research, 156: 127–139.

Meca, A., I. Garcia-Jurado, P. Borm, 2001. Cooperation and competition in inventory games. Mimeo, Universidad Miguel Hernandez, Elche, Spain.

Tijs, S.H., Meca A., Lopez, M.A. 2005. Benefit sharing in holding situations, European Journal of Operational Research, 162, 1, p.251-269.

Wong H., Van Oudheusden D., Cattrysse D., 2007. Cost allocation in spare parts inventory pooling. Transport Res E 43: 370–386.