



Araştırma Makalesi / Research Article
DECISION MAKING IN REVERSE LOGISTICS PROCESSES USING SIMULATION

Bahadır GÜLSÜN, Gülfem TUZKAYA*, Turgut BEKİL

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Geliş/Received: 20.08.2007 Kabul/Accepted: 26.05.2008

ABSTRACT

Parallel with the increasing environmental problems, the attention to reverse logistics is increasing both in the academic and the industrial research area. Various decision making techniques are utilized related with the reverse logistics, however, the simulation is utilized very rare. In this research, a simulation model for a reusable container system is built via a commercial software ARENA 9.0.. After giving the detailed description of the model structure; through this model, different network alternatives, dispatching rules and vehicle allocation schemes are compared. Here the aim is to find the best combination which will provide superior customer satisfaction according to some performance measures such as turnover time and waiting time for packaging dispatch. In conclusion, the simulation results which show that different combinations of these policies affect the customer satisfaction levels differently are discussed.

Keywords: Reverse logistics, returnable containers, simulation.

MSC2000 number/numarası: 90B206, 81T80.

TERSİNE LOJİSTİK KARAR SÜREÇLERİNİN TASARIMINDA BİR BENZETİM UYGULAMASI

ÖZET

Tersine Lojistik (TL), artan çevre problemlere paralel olarak endüstriyel ve akademik çevrelerde gittikçe önem kazanmaya başlayan bir çalışma alanıdır. Konuyla ilgili akademik çalışmalarda çok çeşitli karar tekniklerinin kullanımına rastlanılmaktadır, bununla birlikte, benzetim tekniğinden faydalanılan çok az çalışma vardır. Bu çalışmada bir yeniden kullanılabilir konteynır (veya geri dönüşümlü ambalajlama) sistemi için ARENA 9.0 yazılımı kullanılarak bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında öncelikle model yapısının ayrıntılı açıklaması verilmiş, sonra bu model vasıtasıyla farklı ağ seçenekleri, araç ve sipariş politikaları karşılaştırılmıştır. Burada amaç devir hızı ve bekleme süreleri gibi bazı performans ölçütlerine göre müşteri memnuniyetini en üst düzeyde sağlayan politika kombinasyonunu belirlemektir. Son olarak elde edilen benzetim sonuçları değerlendirilmiş ve farklı kombinasyonların müşteri memnuniyetini farklı şekillerde etkileyeceği gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tersine lojistik, yeniden kullanılabilir konteynırlar, benzetim.

1. GİRİŞ

Artan çevre problemleri ve bu problemlere paralel olarak artan tüketici ve seçmen bilinç düzeyi, üreticileri ve kamu yöneticilerini çevreye karşı daha duyarlı olmaya teşvik etmektedir. Sosyal

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: e-mail/e-ileti: gtuzkaya@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 75

sorumluluk projeleri gerçekleştiren, çevreye zarar vermeyen malzemeler kullanan, atıklarıyla çevreye en az düzeyde zarar veren firmalar rekabet üstünlüğü sağlayabilmektedir. Benzer olarak Türkiye’de de tüketici bilinç düzeyi artmaktadır. Aynı şekilde, Avrupa Birliği uyum sürecinin de gerek yasal çerçevede, gerekse uygulama düzeyinde benzer gelişmeler getirmesi beklenmektedir. Bu kapsamda düşünüldüğünde, TL konusu da önem kazanmakta olan konulardan biridir.

TL; kullanım ömrü tamamlanmış üründen, pazarda yeniden kullanılabilen ürüne kadarki tüm lojistik aktivitelerini kapsayan bir süreçtir. Bu süreç ürün dönüşleri, kaynak azaltımı, geri kazanım, malzeme ikamesi, malzemelerin yeniden kullanımı, atıkların yok edilmesi ve yakılması, tamir ve yeniden üretim konularını kapsar [1].

TL literatürü incelendiğinde; TL problemlerine önerilen çözümlerde birçok farklı metodun kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmaların bazılarında benzetimin diğer metotları desteklemek amacıyla dolaylı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Çok az çalışmada TL sistemlerinde karar süreçlerinde benzetim tekniğinden tek başına faydalanılmıştır.

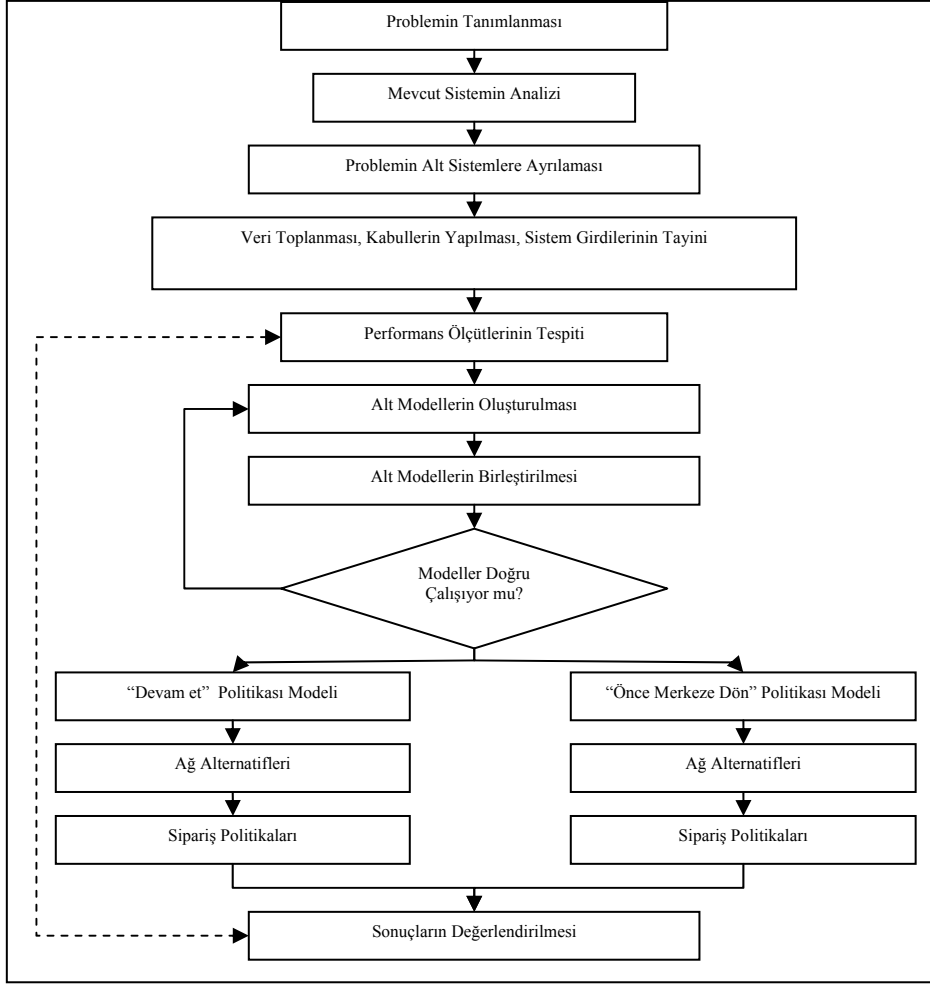
Mohammad M. Amini, Donna Retzlaff-Roberts benzetimi TL faaliyetlerinde hizmet kalitesini arttırmak amacıyla kullanmışlardır [1]. Bu çalışmanın amacı TL kapsamında önemli uygulamalara sahip olan geri dönüşümlü ambalaj veya konteynırların (reusable packaging, returnable containers) kullanımının gerçekleştirildiği bir TL ağı için en uygun depo yeri seçimi, en uygun araç rotalama ve sipariş politikası seçimi gibi karar problemlerine benzetim ile yanıt aramaktır. Leo Kroon ve Gaby Vrijens benzer bir ağ müşteri memnuniyet düzeyinin bağlı olduğu kriterleri ve performans ölçütlerini benzetimi kullanarak bir vaka analizi üzerinden açıklamaya çalışmışlardır [2]. Jarupan, Kamarthi ve Gupta ise TL için benzetim kullanan diğer araştırmacıdır [3]. Bu çalışma kapsamında, yukarıda bahsedilen üç çalışma temel alınmıştır.

Siparişlerin gönderim önceliklerinin belirlenip, sınırlı kaynaklar müsait duruma geldiğinde bu siparişlere nasıl atanacağını tayini Esnek İmalat Sistemi (EIS)[4] kapsamında aktif olarak araştırılan bir konudur. Bu konudaki detaylar için Baker [5], Morton ve Pentico [6], Parker [7], Pinedo [8], Panwalkar ve Iskander [9] gibi araştırmacılar referans gösterilebilir. İşletme içinde kullanılan üretim sistemine ait dağıtım problemlerine benzer şekilde işletme dışındaki lojistik alanında da karşılaşmıştır (filo yönetimi [10], [11], [12], araç rotalama [13], depo yönetimi [14] gibi). AGV (Automated Guided Vehicle – Otomatik Yönlendirmeli Araç) [15], [16], LGT (Lasered Guided Vehicle- Laserle Yönlendirmeli Araç), gibi sistemleri içeren otomatik malzeme elleçleme sistemi (Automated Material Handling Systems –AMHS) “dağıtım” problemlerine minimal alanda çözümler getirmiştir. Lojistikte araçlar için uygulanmaya çalışılan dağıtım prensipleri esas olarak buraya dayanmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde takip edilecek problem çözme metodolojisi, nasıl bir ağ kullanılacağı, karar problemlerinin ve performans kriterlerinin neler olduğu açıklanmış, ardından girdi verilerine ve kabullere yer verilmiştir. İkinci bölümde, araç politikalarına göre oluşturulacak benzetim modellerine temel düzeyde değinilmiştir. Üçüncü bölümde, araç politikalarına göre kurulan iki model üzerinde diğer politikaların (ağ alternatifleri ve sipariş politikaları) nasıl uygulanacağı açıklanmıştır. Çalışma benzetim modellerinin politikaları kıyaslayacak şekilde çalıştırılması sonuçlarının performans ölçütlerini yansıtacak şekilde düzenlenmesi ve değerlendirilmesi ile son bulmaktadır.

2. UYGULAMADA KULLANILAN METODOLOJİ

Bütün benzetim çalışmaları mevcut durumun iyi bir şekilde gözlemlenmesiyle başlar. Bu süreç sonuçların ve bu sonuçlara dayalı verilecek kararların sağlıklı olması açısından hayati önem taşımaktadır. Aksi halde benzetimle çok düşük maliyetlerle, güçlü öngörülerde bulunmak yerine beklenmedik sonuçlarla karşılaşmak kaçınılmaz olacaktır. Bu yüzden, bu çalışmada doğru sonuca ulaşmak için mevcut sistemin analiziyle başlayan Şekil 1’deki metodoloji takip edilmiştir (Bu şekil hazırlanırken, kısmen kaynak [1], [2] ve [3]’ten faydalanılmıştır.).

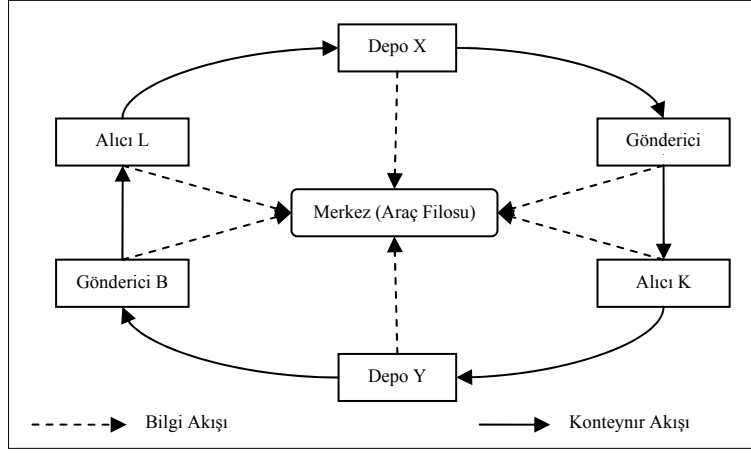


Şekil 1. Problem Çözme Metodolojisi

2.1. Problemin Tanımlanması

Şekil.2’de, Jarupan vd. tarafından önerilen geri dönüşümlü konteynırların kullanıldığı TL modeline benzer bir model görülmektedir [3]. Şekil 1’de gösterilen mevcut senaryo şu şekildedir: bir lojistik firması belirli bir bölgedeki A, B, K, L gibi dört müşterisine hizmet vermek üzere söz konusu konumda iki depo ve bir de araç filosunun yer alacağı bir adet merkez istasyon kurmayı amaçlamaktadır.

A ve B üretici işletmeleri sırasıyla K ve L gibi iki müşteriye hizmet vermektedirler. Coğrafi yakınlık dolayısıyla K, yalnız A’dan ve L yalnız B’den mamul almaktadır. Lojistik firmasının görevi A ve B’den talep geldiğinde mümkün olduğunca hızlı bir şekilde depolarında bulunan geri dönüşümlü konteynırları üreticilere ulaştırmaktır. Ayrıca A ve B göndericilerinin ürünlerini K ve L alıcılarına taşımak ve boş konteynırları alıp tekrar depolara götürmek de lojistik firmasının sorumluluğundadır (Şekil 2).

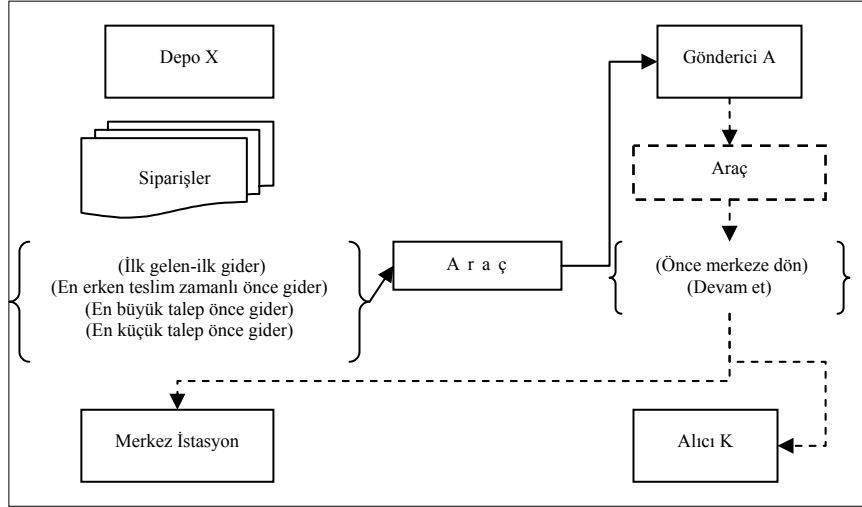


Şekil 2. Hedeflenen Tersine Lojistik Faaliyeti

Buna göre kurulacak iki depo ve merkez istasyonu için farklı yer alternatifleri içeren beş farklı ağ seçeneği vardır. Burada üç yeni istasyonu sistemdeki mevcut dört istasyona farklı koordinatlarla ekleyerek beş alternatif ağ elde edilmektedir (Şekil 3). Ağ alternatiflerine ileride değinilecektir.

Merkez istasyonda bekleyen araçların bir çağrı neticesi gidip hizmet verdikten sonra izleyebilecekleri iki farklı rota söz konusudur (Şekil 4). Bunlar [3]:

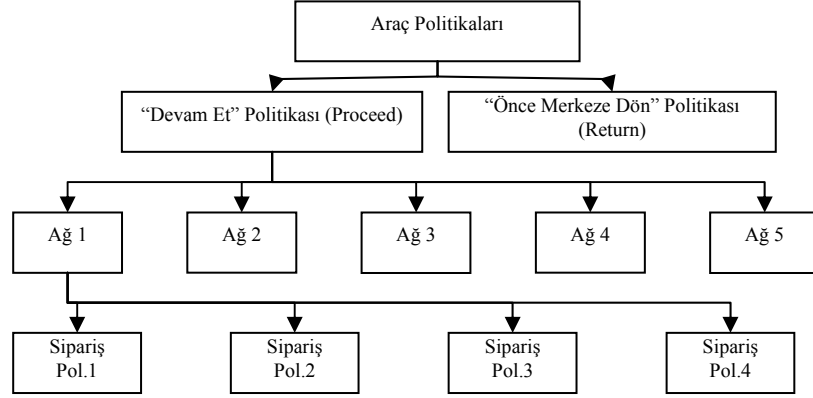
- “Devam Et” (Proceed) Politikası: Araçlar hizmet isteyen en yakın noktaya yönelir. Çağrı yoksa bulunduğu yerde beklerler.
- “Önce Merkeze Dön” (Return) Politikası: Araçlar merkeze dönüp çağrılara oradan cevap verirler. Her hizmet sonrası merkeze dönmek zorundadırlar. Merkeze dönmeden araçlara iş ataması yapılmaz.



Şekil 3. Araç ve Sipariş Politikaları

Siparişler için şu politika alternatifleri söz konusudur [3]:

- İlk Gelen İlk Gider (First-Come First-Out)
- En Önce Teslim Zamanlı Önce Gider (Earliest-Due-Date)
- En Büyük Talep Önce Gider (Large-Size First-Out)
- En Küçük Talep Önce Gider (Smallest-Size First-Out)



Şekil 4. Politika Hiyerarşisi

Sonraki bölümlerde, söz konusu firma için en iyi TL ağı, araç rotası ve sipariş politikasını belirlemek için incelenen süreç, Arena 9.0 benzetim programıyla simüle edilmiştir ve sonuçlar belirlenen performans kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

2.2. Mevcut Sistemin Analizi

Şekil 5'e benzer bir mantıksal model Jarupan vd. tarafından da önerilmiştir [3]. Görüldüğü gibi merkeze sipariş geldiğinde öncelikle kimden geldiği, ne kadar konteynır talep ettiği, ne kadar vadesinin bulunduğu değerlendirilir. Gönderici A'dan gelen siparişler Depo X'e, Gönderici B'den gelen siparişler Depo Y'ye yönlendirilir. Bundan sonra neler olduğu Depo X'ten aşağıdaki gibi takip edilebilir:

Depoya gelen siparişler sıraya girerler. Eğer depoda siparişin talep ettiği kadar konteynır yoksa, siparişler beklemeye devam eder. İlk gelen siparişin talebi sağlandığı anda bu sipariş kadar konteynır depoda gruplandırılarak araç bekleme kuyruğuna gönderilirler. Bu kuyruқта en az bir sipariş olduğu anda merkezden araç talep edilir. Merkez sistemdeki en yakın aracını boş kaldığı anda Depo X'e yönlendirir. Araç gelir, konteynırlar araca yüklenir ve Gönderici A'ya gönderilir. Bu sırada araç bekleyen birden fazla sipariş varsa önce hangisinin gönderileceği mevcut sipariş politikasına göre tayin edilir.

Gönderici A'da boşaltılan araç, bu konteynırlara mamul yüklenmesini beklemeyi, görevi sona erdiğinden serbest bırakılır. Mevcut araç politikasına göre ya yeni bir çağrı beklemek üzere Merkez İstasyona döner (Return-Önce Merkeze Dön) ya da hizmet talep eden en yakın noktaya yönelir (Proceed-Devam Et).

2.3. Performans Ölçütlerinin Belirlenmesi

Politikaların başarı düzeyini ölçmek üzere kullanılacak olan performans ölçütleri şöyledir [3]:

- Zamanında Teslim Edilen Sipariş Oranı: Bu ölçütle A ve B göndericileri ile K ve L alıcılarına zamanında teslim edilmiş siparişlerin tüm siparişler içerisindeki oranı değerlendirilir.
- Ortalama Zamanında Teslim Süresi: Bu ölçütle zamanında teslim edilmiş siparişlerin ortalama olarak ne kadar sürede teslim edildiği değerlendirilir.

Decision Making in Reverse Logistics Processes ...

- Ortalama Araç Bekleme Süreleri: Bu ölçütle depo, gönderici veya alıcılarda konteynırların ortalama araç bekleme süreleri değerlendirilir.
- Ortalama Çevrim Süresi: Bu ölçütle konteynırların bir depodan ayrılıp diğer depoya varana kadar geçen sürenin ortalaması değerlendirilir.

2.4. Girdi Verileri ve Kabuller

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

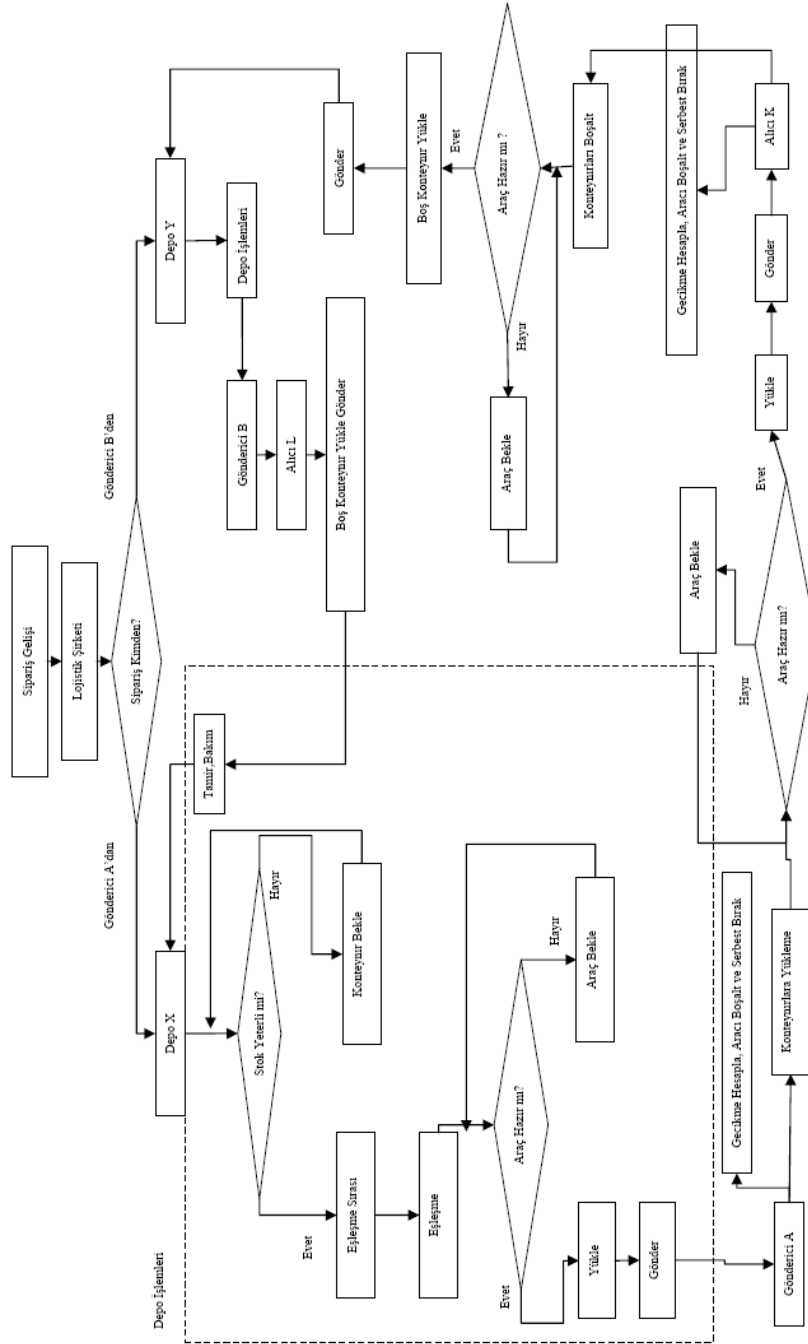
1. Gelen siparişler ortalaması 26 saat olan üssel dağılıma uymaktadır. Saat düzeyinde 2000 sipariş için benzetim yapılacaktır.
2. Siparişlerin istediği konteynır miktarları minimum 10, maksimum 20 parametrelı düzgün dağılıma uymaktadır.
3. Siparişler A ve B göndericilerinden eşit oranda verilmektedir.
4. Siparişlerin teslimi için gönderici ve alıcılar tarafından tayin edilen süreler üniform dağılıma uymaktadır ve şu şekildedir: $A = \text{Unif}(24,36)$, $B = \text{Unif}(8,14)$, $K = \text{Unif}(18,24)$, $L = \text{Unif}(20,26)$ (saat).
5. Geri dönen konteynırlar için X ve Y depolarında yapılan kontrol işlemi her konteynır için UNIF(3,5) (dk.)'dır. Dönen konteynırların X'te % 7'si, Y'de % 5'i arızalı çıkmaktadır. Arızalı konteynırlar için tamir işlemi NORM(10,15) (dk.) sürmektedir. Tüm konteynırlar yeniden çevrime sokulmadan önce bakım işlemine tabi tutulmaktadır. Bakım süresi sabit olup X'te 6, Y'de 4 dakika almaktadır.
6. Göndericilerdeki paketleme süreleri ile alıcılardaki konteynır boşaltma süreleri partilerin konteynır adediyle doğru orantılı olup şu şekildedir: $A = \text{ADET} * \text{UNIF}(2,4)$; $B = \text{ADET} * \text{UNIF}(3,6)$; $K = \text{ADET} * \text{UNIF}(3,7)$; $L = \text{ADET} * \text{UNIF}(2,6)$ (saat).
7. İstasyonlarda araç yükleme ve boşaltma süreleri konteynır başına sırasıyla şu şekildedir: $X = (4;0.3)$; $Y = (3;0.48)$; $A = (2,2)$; $B = (2,2)$; $K = (5,5)$; $L = (4,4)$ (dk.)
8. Araç filosu 3 araçtan oluşmakta ve araçların hızları sabit olup 100 km/saat'tir. Trafik ve yol şartlarından doğabilecek gecikmeler göz ardı edilmektedir. Araçlar aynı anda tek siparişin taşınmasını yapmaktadır ve kapasitelerinin her durumda yeterli olduğu kabul edilmektedir.
9. Depolarda 600'er adet konteynır başlangıç stoku olarak bulunmaktadır.
10. 2000 sipariş boyunca yapılan benzetimde araçların yakıt ikmali için durmadığı depo ve müşterilerin işe ara vermediği kabul edilmektedir.

3. MODELLERİN OLUŞTURULMASI

Araçlara uygulanacak rota politikaları birbirinden farklı modeller gerektirmektedir. Bunun için öncelikle daha basit olan "Devam Et" politikasını modellemekle başlanılacaktır. Modeller sipariş oluşturma, merkez istasyon, depolar ve konteynır kullanıcıları olmak üzere dört başlık altında adım adım oluşturup (problemin alt sistemlere ayrılması) sonra bu alt modelleri birleştirme yoluna gidilecektir.

Modellerde siparişler ve sistemde dolaşan konteynırlar gezen birim (entity) olarak ele alınacaktır. Her siparışı istediği miktarda konteynırla birleştirip, gideceği yerlere beraber gitmeleri sağlanmaya çalışılmıştır. Dolaşımın sonunda siparişlerle konteynırları ayırıp konteynırları sisteme geri döndürürken siparişleri bozup sistemden çıkarılacaktır.

Ayrıca lojistik sisteminde taşıma aracı olarak Arena'nın Transporter (nakliyecı) özelliği kullanılmıştır. Transporter (nakliyecı) birimleri için truck (kamyon) tabiri kullanılmıştır. Transport özelliğini kullanabilmek için aralarında dolaşım olan tüm depo, gönderici ve alıcıları istasyon olarak tanımlamak gerekmiştir.



Şekil 5. Mantıksal Model

“Önce Merkeze Dön” politikasında araçların bir çağrıya hizmet verdikten sonra her seferinde önce merkeze gelmesi, şayet çağrı varsa buradan gitmesi, yoksa burada çağrı beklenmesi istenilmektedir. Bu süre içerisinde, başka deyişle, araç merkeze dönerken, araca hiçbir atama yapılmaması da gereklidir. Arena’da bu istenilenlerin yapılabilmesi için kukla gezici birimler ve aralarında bir dizi karmaşık ilişki bulunan Hold, Signal modüllerine başvurulmuştur. Bunun haricindeki yapı “Devam Et” politikasına büyük ölçüde benzerdir.

4. POLİTİKALARIN UYGULANMASI

4.1. Araç Politikaları

“Devam Et” ve “Önce Merkeze Dön” politikalarının birbirinden çok farklı modeller gerektirmesinden dolayı diğer politikalar bu politikaların altında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).

4.2. Ağ Alternatifleri

Modeldeki A, B, K ve L elemanları sabit yerlere sahiptir (Şekil 6). X, Y depoları ve Merkez istasyon için 5 farklı seçeneğe bağlı 5 farklı ağ mevcuttur. Araç politikalarının altında bu ağ alternatifleri, onların da altında sipariş politikaları gerçekleştirilmektedir. A, B, K ve L’nin koordinat sistemindeki görüntüsü Şekil 6 ve koordinatları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. A, B, K ve L İstasyonlarının Koordinatları

	X	Y
İstasyon.A	555	850
İstasyon.B	95	725
İstasyon.K	946	315
İstasyon.L	155	179

Çizelge 2. Yeni İstasyonların Koordinatları

	Ağ 1		Ağ 2		Ağ 3		Ağ 4		Ağ 5	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Merkez	465	245	542	560	184	295	485	130	500	500
İst.X	348	765	432	679	169	789	395	578	195	475
İst.Y	689	455	757	950	531	563	605	693	841	525

Çizelge 3. Mesafeler Arası Denge

İstasyonlar	Ağ 1	Ağ 2	Ağ 3	Ağ 4	Ağ 5
A-K	662	662	662	662	662
B-K	944	944	944	944	944
B-L	549	549	549	549	549
A-L	781	781	781	781	781
X-L	616	571	610	465	298
X-K	748	629	910	610	767
Y-K	292	662	483	509	234
Y-L	601	978	537	683	768

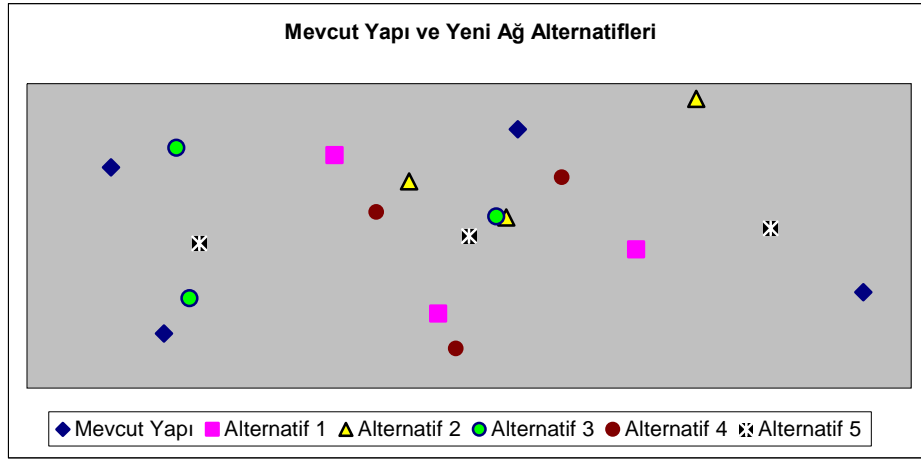
Çizelge 2’de yeni istasyonların koordinatları, Çizelge 3’te mesafeler arası denge görülmektedir. Coğrafi yakınlıktan dolayı K yalnız A’dan mal alıp yalnız Y’ye boş konteynır göndermekte ve L de yalnız B’den mal alıp yalnız X’e boş konteynır göndermektedir. Aynı şekilde A ve B üreticileri de coğrafi yakınlıktan dolayı sadece sırasıyla X ve Y’den konteynır talebinde bulunmaktadır. Kurulmak istenen bu modele göre Çizelge 3’e bakıldığında A-K arasındaki mesafenin daima B-K arasındaki mesafeden kısa olduğu ve B-L arasındaki mesafenin

de A-L arasındaki mesafeden kısa olduğu görülür. Yeni istasyonların da bu modele sadık kalması için X-L arasındaki mesafe X-K arasındaki mesafeden; Y-K mesafe de Y-L mesafesinden kısa tutulmuştur.

Yeni alternatiflerde istasyonlar arası mesafeler belirlenip Arena'da Distances (uzaklıklar) modülüne girilir.

4.3. Sipariş Politikaları

Bölüm 2.1.'de sözü edilen sipariş politikaları, araç bekleme kuyruklarındaki siparişlere uygulanır. Eğer bir kuyruk için bir kural belirtilmemişse program kuyruktaki gezen birimleri ilk giren-ilk çıkar kuralına göre kuyruktan çıkarır. Bunun yanı sıra Arena, Son Gelen İlk Çıkar, En Yüksek Ağırlıklı ve En Düşük Ağırlıklı kurallarına da imkan verir. Bunlardan da yararlanarak sipariş politikaları uygulanır.



Şekil 6. Mevcut Yapı ve Tüm Alternatifler

5. BENZETİM SONUÇLARI

5.1. Sonuçların Elde Edilmesi ve Düzenlenmesi

İki araç rota alternatifi ("Devam Et", "Önce Merkeze Dön"), beş ağ (1, 2, 3, 4, 5) seçeneği, dört sipariş politikası seçeneği (1-en büyük talep, 2-en erken teslim zamanı, 3-ilk gelen- ilk gider, 4-en küçük talep) değerlendirilmek üzere kırk adet farklı kombinasyon oluşturur. Bu kombinasyonlara sırasıyla 1'den 40'a kadar indeks numarası verilmiştir. Böylelikle 1-20 arası politikalar "Devam Et" politikaları, 21-40 arası politikalar da "Önce Merkeze Dön" politikaları olur. Benzetim çıktıların sağladığı veriler aşağıdaki gibidir:

Tally (Hesap): A için araç bekleme süresi; B için araç bekleme süresi, K için araç bekleme süresi, L için araç bekleme süresi, X için araç bekleme süresi, Y için araç bekleme süresi, döngü süresi 1, döngü süresi 2.

Count (Sayım): A için gecikmiş miktar, A için gecikmemiş miktar, B için gecikmiş miktar, B için gecikmemiş miktar, K için gecikmiş miktar, K için gecikmemiş miktar, L için gecikmiş miktar, L için gecikmemiş miktar, A için gecikmemiş süreler, B için gecikmemiş süreler, K için gecikmemiş süreler, L için gecikmemiş süreler.

Bu veriler aşağıdaki performans ölçütlerine dönüştürülmüştür:

Decision Making in Reverse Logistics Processes ...

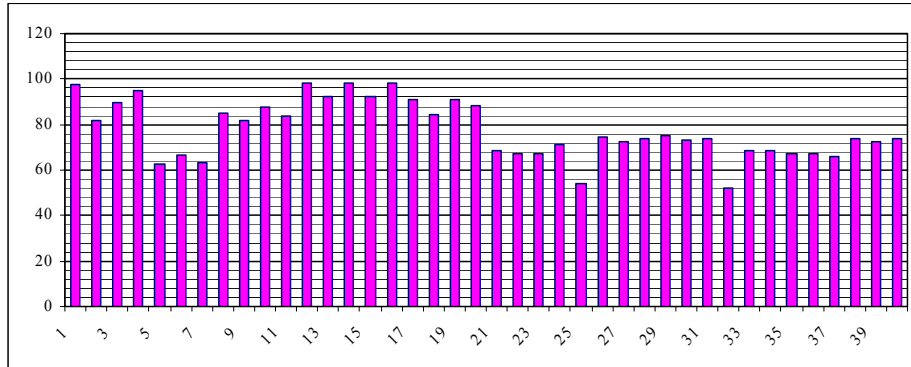
- Ortalama Araç Bekleme Süresi: (A Araç Bekleme Süresi + B Araç Bekleme Süresi + K Araç Bekleme Süresi + L Araç Bekleme Süresi + X Araç Bekleme Süresi + Y Araç Bekleme Süresi)/6
 - Ortalama Çevrim Süresi: (Döngü Süresi 1 + Döngü Süresi 2) /2
 - Zamanında Teslim Edilmiş Siparişlerin Oranı: (A için Gecikmemiş Miktar + B için Gecikmemiş Miktar + K için Gecikmemiş Miktar + L için Gecikmemiş Miktar)*100/(A için Gecikmiş Miktar + A için Gecikmemiş Miktar + B için Gecikmiş Miktar + B için Gecikmemiş Miktar + K için Gecikmiş Miktar + K için Gecikmemiş Miktar + L için Gecikmiş Miktar + L için Gecikmemiş Miktar).
 - Ortalama Zamanında Teslim Süresi: (A için Gecikmemiş Süreler + B için Gecikmemiş Süreler + K için Gecikmemiş Süreler + L için Gecikmemiş Süreler)/4.
- Yukarıda söz edilen performans ölçütleri hesaplanmış ve Çizelge 4'te gösterilmiştir.

5.2. Sonuçların Analizi

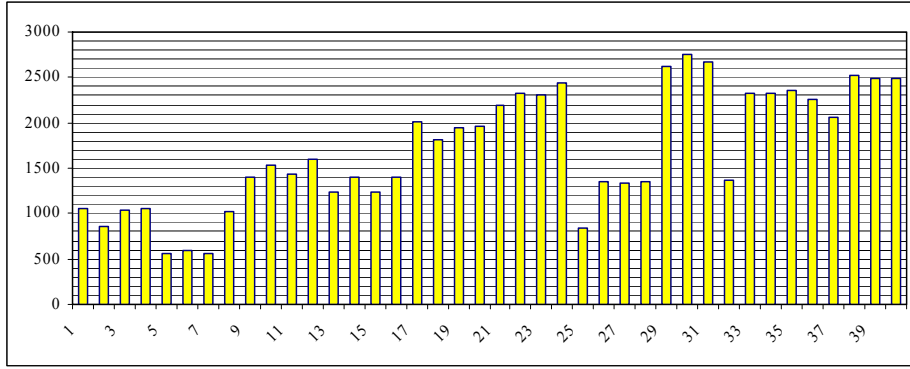
Benzetim sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. 16. kombinasyon % 98,2 ile en iyi erken teslimat oranına sahiptir (Şekil 7). 16. kombinasyonu 12. (% 98), 14. (% 98), 1. (% 97,4), 4. (% 95,05) ve 13. (% 92,03) kombinasyonlar takip etmektedir. 32. kombinasyon % 52,31 ile en kötü teslimat oranına sahiptir. 32'yi % 54,36 ile 25., % 62,78 ile 5. kombinasyonlar takip etmektedir (Çizelge 4 ve Çizelge 5). Bu politikalar, diğer ölçütler açısından aşağıdaki gibi değerlendirilebilir.

Ortalama olarak zamanında teslimatlarını en hızlı 4. politika gerçekleştirmektedir (Şekil 8). 4. politikayı yaklaşık bir değerle 1. politika takip etmektedir. 4. politikanın ortalama çevrim (Şekil 9) ve araç bekleme süreleri (Şekil 10) açısından yavaşlığı erken teslimat oranına yansımış ve siparişlerin %5'i müşteriye geç ulaştırılmıştır. Diğer taraftan, 1. politika her ne kadar erken teslimatta %97,4 (Şekil 7) ile üçüncü sırada yer alsada diğer ölçütler açısından kendisine en yakın 16, 12 ve 14'ten çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

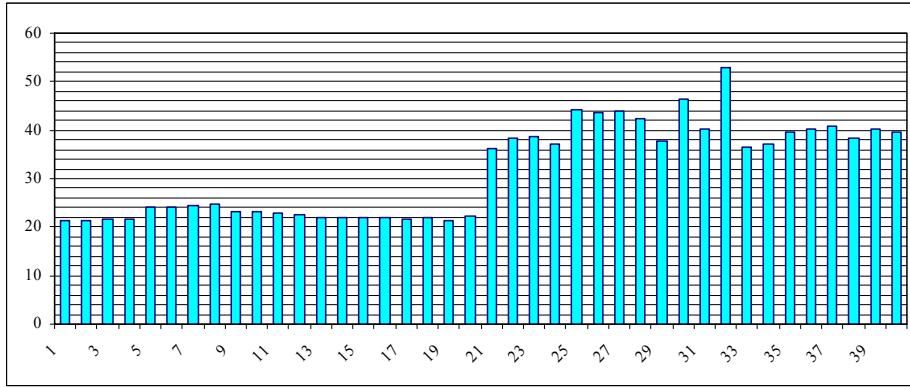
16, 12 ve 14. politikalar ortalama çevrim (Şekil 9) ve araç bekleme süreleri (Şekil 10) açısından kıyaslandığında, 16. politikanın en iyi alternatif olduğu görülmektedir. 16. politikayı, 14 ve 12. politikalar takip etmektedir.



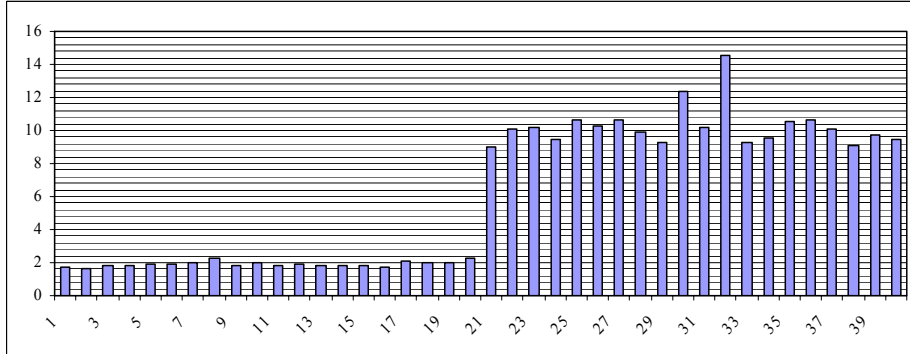
Şekil 7. Zamanında Teslimatların Oranları



Şekil 8. Ortalama Zamanında Teslim Süreleri



Şekil 9. Ortalama Çevrim Süreleri



Şekil 10. Ortalama Bekleme Süreleri

Çizelge 4. Benzetim Sonuçları

Kmb.No	Performans Kriterleri			
	Ortalama Araç Bekleme Süresi (saat)	Ortalama Döngü Süresi (saat)	Zamanında Teslimatların Oranı (%)	Ortalama Zamanında Teslim Süresi
1	1,738957239	21,34647885	97,4	1061
2	1,657929	21,3369551	81,85035389	854,5
3	1,807117614	21,57842559	89,45	1045,75
4	1,823403505	21,55099261	95,05	1057
5	1,898117008	24,20638182	62,7817623	554,5
6	1,877154356	24,13480221	66,4748954	587
7	1,979628401	24,36651104	63,03245436	557,5
8	2,242969951	24,76065241	85,075	1022,5
9	1,835864408	23,09903296	81,57894737	1406,75
10	1,962138436	23,05171678	87,98294029	1532
11	1,804298007	22,92775142	83,91126976	1431,5
12	1,901606572	22,58303021	98	1599,25
13	1,789832384	22,0167308	92,03197524	1230
14	1,798987654	21,96456369	98	1398,5
15	1,789769589	22,0162048	92,03197524	1230,25
16	1,736171583	21,8310622	98,2	1402,5
17	2,067900538	21,60748801	91,125	2015,25
18	1,985983011	22,01496994	84,34010152	1814,25
19	1,968520679	21,48830214	90,675	1943,75
20	2,229455336	22,31544104	88,375	1964,5
21	9,001368523	36,03612083	68,475	2192,75
22	10,10860653	38,45754922	67,48606183	2329,5
23	10,1397668	38,76739062	67,29893778	2314,25
24	9,443570039	37,03319797	71,45	2431,75
25	10,62432762	44,11800496	54,36016512	837,75
26	10,28021735	43,58760467	74,4	1355
27	10,62353965	44,00155782	72,675	1329,25
28	9,94603431	42,42927253	74,04904905	1358
29	9,252827482	37,72597315	75,125	2621
30	12,36953524	46,46400129	72,94323581	2758,75
31	10,15474312	40,14677153	73,575	2668,5
32	14,52525152	52,80473961	52,31362468	1360,75
33	9,303856082	36,60026098	68,875	2328
34	9,552571046	37,18522912	68,475	2323,75
35	10,54768265	39,43486116	67,225	2356,25
36	10,63689468	40,09918716	67,43949045	2265,25
37	10,06263233	40,83942638	65,65	2065,5
38	9,104671917	38,32637672	73,9	2528,5
39	9,713906726	40,13846118	72,8	2490,25
40	9,441384861	39,52219847	74,025	2487

Çizelge 5. En iyi beş politika

Kmb.No	Performans Ölçütleri			
	Ort. Araç Bek. Süresi (saat)	Ort. Döngü Süresi (saat)	Zamanında Tes. Oranı (%)	Ort. Zamanında Teslim Süresi
1	1,738957239	21,34647885	97,4	1061
16	1,736171583	21,8310622	98,2	1402,5
14	1,798987654	21,96456369	98	1398,5
12	1,901606572	22,58303021	98	1599,25
4	1,823403505	21,55099261	95,05	1057

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın temel amacı, TL karar problemlerini barındıran bir lojistik ağını benzetim vasıtasıyla değerlendirmek adına yol göstermektir. Bu değerlendirmede daha önceki araştırmacılar tarafından önerilen bir dizi performans ölçütü esas alınmıştır.

Öncelikle kurulması amaçlanan TL ağının yapısı açıklanmıştır. Sabit konumlardaki müşterilerine hizmet vermek üzere kurulacak üç lojistik birimi için beş farklı ağ alternatifi söz konusudur. Ağ seçiminin yanı sıra araç rotalama ve sipariş politikaları da en avantajlı şekilde kombine edilmek istenmektedir. Bu çalışmada, söz konusu TL ağının benzetim modelinin performans ölçütlerini yansıtacak ve alternatifleri (40 adet) değerlendirmeye olanak verecek şekilde nasıl tasarlanacağı açıklanmaya çalışılmıştır.

Benzetim uygulandığında beş alternatifin öne çıktığı görülmektedir. Araçların önce merkeze dönmeleri kuralına bağlı türetilen kombinasyonların tamamının zamanında teslimat açısından %75'in altında kaldığı gözlemlenmiştir ve son bölümde öne çıkan bu 5 alternatifi değerlendiren yorumlara yer verilmiştir. Burada nihai seçim büyük ölçüde karar alıcının bakış açısına da bağlıdır. %98.2 zamanında teslimat oranı sağlayan 16. politika seçilebilir veya biraz daha fazla ceza maliyetine katlanılıp çok daha kısa sürelerde teslimat yapma adına 1. politika uygulanabilir. Başta yapılan kabuller ve herhangi bir kural gözetmeksizin seçilen dağılımlar neticesinde yapılan benzetimin sonuçları arasındaki tutarlılık eleştirilebilir olsa da burada amacımız karmaşık TL ağlarının nasıl modelleneceğini göstermek olmuştur. Model, araç sayısının ihtiyaca göre değiştirilerek en iyilenmesi veya maliyet ölçütlerinin eklenmesiyle daha da karmaşılaştırılabilir. Yapılan kabuller ve sistem girdilerinin gerçek problemi mümkün olduğunca yansıtmaları kuralına riayet edildiği sürece benzetim, TL problemleri için başvurulabilecek güçlü bir araçtır.

Sonuç olarak, depo yeri seçimi, müşterilere göre tesislerin konumu, araçlar için rota politikaları ve sınırlı kaynakların siparişlere atanması sürecinde uygulanacak politikalar müşteri memnuniyet düzeyinde önemli etkilere sahip anahtar kavramlardır. Bu karar problemlerinin deneme yanılma yöntemiyle değerlendirilmesi ise hem zaman hem de maliyet açısından kabul edilemez. Bunun yerine bu çalışmada önerildiği gibi mevcut sistemin benzetim modelinin oluşturulması yoluna gidilebilir. Benzetim aynı zamanda sisteme bütünsel bir eleştiri getirme adına da önemli bir araçtır. Böylelikle istenen alternatifler öncelikle bu model üzerinde masrafsız ve kısa süre içinde denenebilmekte, elde edilen benzetim sonuçlarının değerlendirilmesi ile de nihai adımlar atılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Mohammad M. Amini, Donna Retzlaff-Roberts, Reverse Logistics Process Reengineering Improving Customer Service Quality, The University of Memphis, 2003.
- [2] Leo Kroon and Gaby Vrijens, "Returnable Containers: An Example of Reverse Logistics," International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 25, no. 2: 56-68, 1995.
- [3] Jarupan, L., Gupta, S. M. and Kamarthi, S. V., "Simulation Based Approach for Return Packaging Systems", Proceedings of the 32th Northeast Decision Science Institute, 175-177, Providence, Rhode Islands, 2003.
- [4] Tu, Y. and Sorgen, A., "Real-time and Control of Transportation in Flexible Manufacturing Cells", Computers in Industry, 16, 315-320, 1991.
- [5] Baker, K. R., Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [6] Morton, T. E. and Pentico, D. W., Heuristic Scheduling Systems: with Applications to Production Systems and Project Management, Wiley, New York, 1993.
- [7] Parker, R. G., Deterministic Scheduling Theory, Chapman & Hall, London, UK, 1995.

- [8] Pinedo, M., *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
- [9] Panwalkar, S. S. and Iskander, W., "A Survey of Scheduling Rules", *Operations Research*, 25(1), 45-61, 1977.
- [10] Bish, E. K., Leong, T.-Y., Li, C.-L., Ng, J. W. C. and Simchi-Levi, D., "Analysis of a New Vehicle Scheduling and Location Problem", *Naval Research Logistics*, 48, 363-385, 2001.
- [11] Böse, J., Reiners, T., Steenken, D. and Voß, S., "Vehicle Dispatching at Seaport Container Terminals Using Evolutionary Algorithms", *Proceedings of the 33rd IEEE International Conference on System Sciences*, 2, 2025, Maui, Hawaii, 2000.
- [12] Sauer, J. and Appelrath, H.-J., "Integrating Transportation in a Multi-Site Scheduling Environment", *Proceedings of the 33rd IEEE International Conference on System Sciences*, 2, 2026, Maui, Hawaii, 2000.
- [13] Ruiz-Torres, A. and Tyworth, J. E., "Simulation Based Approach to Study the Interaction of Scheduling and Routing on a Logistic Network", *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, 1189-1194, Atlanta, Georgia, 1997.
- [14] Newhart, D. D., Kenneth, L. S. and Vasko, F. J., "Consolidating Product Sizes Minimize Inventory Levels for a Multi-Stage Production and Distribution System", *Journal of the Operational Research Society*, 44(7), 637-644, 1993.
- [15] van der Heijden, M., Ebben, M., Gademann, N. and van Harten, A., "Scheduling Vehicles in Automated Transportation Systems", *OR Spectrum*, 24, 31-58, 2002. *Proceedings of the 32th Northeast Decision Science Institute*, 175-177, Providence, Rhode Islands, 2003.
- [16] Yamashita, H., "Analysis of Dispatching Rules of AGV Systems with Multiple Vehicles", *IIE Transactions*, 33, 889-895, 2001.
- [17] Kelton D. Averill M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, W., McGraw-Hill, Inc, 1991.