

Giden Konteynerler İçin Depolama Yeri Belirleme Probleminin Çözümü İçin Yeni Bir Sezgisel Yöntem

Ercan ŞENYİĞİT¹ , Ahmet ARTUT² , Selçuk MUTLU³ , Uğur ATICI⁴ 

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Talas, Kayseri, 38039, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Gürün Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri, Gürün, Sivas, 58800, Türkiye

³Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Talas, Kayseri, 38039, Türkiye

⁴Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kampüs, Kayseri, 58140, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 07.11.2020, Kabul Tarihi: 23.11.2020

Özet

Teknolojik gelişmeler ve talep artışı limanlarda yapılan konteyner taşımacılığı miktarını artırmıştır. Bu artış limanların etkin yönetiminin önemini belirginleştirmiştir. Taşınan ürünlerin limanlarda uygun bir plana göre geçici veya kalıcı olarak depolama yeri belirleme bütün sürecin sağlıklı bir şekilde işleyebilmesi açısından hayati bir öneme sahiptir. Çalışmamızda, bu problemin çözümü için yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiş ve çalışma içerisinde açıklanmıştır ve rastgele oluşturulan çözümler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ele alınan problemde performans, konteynerlerin toplanmasında konteynerlerin yer değiştirme (elleçleme) sayısı ile ölçülür. Yer değiştirme sayısının az veya hiç olmaması istenir. Yöntemin yer değiştirme sayısı ne kadar az ise performansı o kadar iyidir. Çalışmada, 3 farklı depolama alanı hacmi dikkate alınmıştır. Bunlar sırasıyla, 24, 48 ve 80 birim konteyner depolama alanı hacimleridir. Her bir depolama alanı hacmi kendi içerisinde 3 farklı gelen konteyner sayısında incelenmiştir. 24 birim konteyner hacme sahip depolama alanında sırasıyla 10, 18 ve 24 adet gelen konteyner vardır. 48 birim konteyner hacme sahip depolama alanında sırasıyla 20, 36 ve 48 adet gelen konteyner vardır. Son olarak 80 birim konteyner hacme sahip depolama alanında sırasıyla 40, 60 ve 80 adet gelen konteyner vardır. Böylece 9 farklı grup veri incelenmiştir ve her grupta 50 tekrar yapılmıştır. Toplam 450 farklı deney yapılmış ve 450 farklı sonuç elde edilmiştir. Önerilen sezgisel yöntem 450 deney verisinin 255'inde (%56,67) 0 yer değiştirme ile optimum sonuç bulmuştur. Geri kalan 195 deney verisinde minimum 1, maksimum 40 yer değiştirme gerçekleşmiştir. Önerilen sezgisel yöntem, 450 deney verisini toplam 1725 yer değiştirme ile çözmüştür. Rastgele çözümde ise 450 deneyde toplam 16622 adet yer değiştirme ile çözüm elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz yolu taşımacılığı, Konteyner taşımacılığı, Depolama yeri belirleme problemi, Sezgisel yöntem.

A New Heuristic Method for Solving The Storage Location Problem for Outbound Containers

Abstract

Technological developments and the increase in demand have increased the amount of container transportation in ports. This increase has highlighted the importance of effective management of ports. Determining the temporary or permanent storage location of the transported products in the ports according to an appropriate plan is of vital importance in terms of the healthy functioning of the whole process. In our study, a new heuristic method was developed for the solution of this problem and explained in the study and compared with randomly generated solutions. In the problem addressed in the study, performance is measured by the number of displacement (handling) of the containers in the collection of the containers. It is desired that the number of displacements is low or not at all. The smaller the number of displacements of the method, the better its performance. In the study, 3 different storage space

¹Sorumlu yazar senyigit@erciyes.edu.tr, ²aartut@cumhuriyet.edu.tr, ³selcukmutlu@gmail.com, ⁴uatici@cumhuriyet.edu.tr

volumes were taken into account. These are 24 (small), 48 (medium) and 80 (large) unit container storage volumes, respectively. Each storage area has been analyzed in 3 different incoming containers. In the storage area with 24 unit container volume, there are 10, 18 and 24 incoming containers, respectively. In the storage area with 48 unit container volume, there are 20, 36 and 48 incoming containers. Finally, there are 40, 60 and 80 incoming containers, respectively, in the storage area with a volume of 80 units. Thus, 9 different groups of data were examined and 50 repetitions were made in each group. A total of 450 different experiments were conducted and 450 different results were obtained. The proposed heuristic method has found optimum results with 0 displacement in 255 (56.67%) of the 450 experimental data. In the remaining 195 experimental data, a minimum of 1, a maximum of 40 displacements occurred. The proposed heuristic method solved 450 experimental data with a total of 1725 displacements. In the random solution, a solution was obtained with a total of 16622 displacements in 450 experiments.

Keywords: Seaway transport, Container transportation, Storage location problem, Heuristic method.

1. GİRİŞ

Çok uluslu şirket sayısında küresel artış uluslararası ticaret talebinin artmasına neden olmuştur. Artan bu talep dolayısıyla karadan veya deniz yolu ile taşımacılığın önemi artmıştır. Özellikle deniz yolu taşımacılığı, üretilen ürünlerin taşınması ve lojistik faaliyetleri gibi tedarik zinciri yönetiminde önemli bir yere sahiptir. Deniz yolu taşımacılığının önemli bir kısmını konteyner taşımacılığı oluşturmaktadır. Birim yük konseptinin önemli bir parçası olan konteyner, uluslararası deniz taşımacılığı ürünlerin taşınmasında şüphesiz önem kazanmıştır. Konteynerler, deniz ve kara taşıyıcılarının varış sürelerindeki farklılıkları hesaba katarak geçici olarak depolanır. Depolama alanı, liman konteyner terminallerinde kritik bir kaynaktır. Giden konteynerler için depolama konumu ataması konteyner taşımacılığının verimliliğinin geliştirilmesi ve bir geminin etrafta dolaşma süresinin azaltılması açısından önemlidir. Bir konteyner terminalinde üç farklı tipte konteyner bulunur. Gelen (inbound), giden (outbound) ve aktarma (transshipment) konteynerleridir (Chen ve Lu, 2012; Reyes vd., 2019; Liu, 2020; Maglić vd., 2020). Genellikle yurtdışından ithal olan gelen konteynerler, gemi (vessel) rıhtıma (berth) geldiğinde kısa bir süre içinde bir gemiden boşaltılır ve dış kamyonlara aktarılanaya kadar 1 ila 10 gün boyunca konteyner tersanesinde (yard) kalırlar. Giden konteynerler tahmin edilebilir şekilde ayrılır, ancak rastgele bir sırayla gelirler. Giden konteynerler kısa sürede gemiye yüklenir. Genellikle bunlar diğer ülkelere giden ihracat konteynerleridir. Aktarma konteynerleri bir gemiden boşaltılır, birkaç gün tersanede kalır ve başka bir gemiye yüklenir. Aktarma konteynerleri için alan tahsisi, giden konteynerlere benzer şekilde yapılabilir. Konteyner terminallerinde, giden konteynerlerin yükleme sırası, liman konteyneri terminalindeki gemi operasyonunun verimliliğini önemli ölçüde

etkiler (Chen ve Lu, 2012). Konteynerleri sıralarken, yük planlayıcıları genellikle rıhtım vinçlerinin ve tersane ekipmanlarının taşıma çabalarını en aza indirmeye, geminin stabilitesini korumaya ve istifteki her bir yuvaya (slot) yüklenecek konteynerin varış yeri ve boyutuna göre belirlenen yükleme gereksinimlerini karşılamaya çalışır. Etkin bir yük dizisine sahip olmak için, giden konteynerler en uygun yere yerleştirilmelidir. Giden konteynerlerin geliş sırası rastgele olduğu için bunların en az yer değiştirme ile gemiye yüklenmeleri zor bir problemdir (Reyes vd., 2019; Liu, 2020). Bu makalenin ana odağı, giden konteynerler için depolama alanlarının önceden tahsis edilmesi amacıyla bir yükleme yöntemi önermek, böylece yükleme işleminde maksimum verim elde etmektir. Yer değiştirme sayısı ile maliyet arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ne kadar az yer değiştirme olursa toplam maliyet o kadar az olmaktadır. Bu nedenle bu çalışma maliyet yerine yer değiştirme sayısının azaltılmasına odaklanılmıştır. Proje önerisinde dikkate alınan problem NP-zor olduğu ve sezgisel yöntemin performansını test etmede çok sayıda test problemi dikkate alınacağı için bu problemin çözümünde sezgisel yöntem kullanılacaktır (Sivrikaya, 2013).

Bir konteyner terminalinden geçen bir konteyner kaynaklanan maliyet, toplam konteyner taşıma maliyetinin yaklaşık üçte birini oluşturur (Kim, 2016). Bundan dolayı, müşteri taleplerinin karşılanmasını ve maliyetlerin azaltılmasını sağlamak için bir konteyner terminalinin operasyonel maliyetlerinin azaltılma arayışları vardır. Bu iyileştirme konteyner terminalindeki konteyner yer değiştirme sayısının en aza indirilmesi ile sağlanabilir. Bu çalışmanın literatüre sağlayacağı katkıları açıklamak gerekirse bu son eğilimleri yansıtan bu çalışma, bir konteyner terminalinin operasyonel verimliliğini artırmak dolayısıyla maliyetleri azaltmak için konteyner yer

değiştirme probleminin çözümüne yönelik daha iyi performans sağlayan yeni bir sezgisel yöntem sunmayı amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Çalışmamızın konusu olan depolama yeri belirleme problemi diğer adıyla konteyner yer değiştirme problemi literatürde çalışılmış bir problemdir (Reyes vd., 2019; Liu, 2020; Maglić vd. 2020; Sivrikaya, 2013; Kim, 2016). Bu ana problemin çalışmamızda ele aldığımız bir alt problemi olan giden konteynerler için depolama yeri belirleme problemi nispeten az çalışılmış bir problemdir. Makalemizde giden konteynerler için depolama yeri belirleme problemine odaklanılmış bu konudaki literatür incelenmiştir.

Bu konuyla ilgili ilk çalışma Taleb-Ibrahimi ve arkadaşları tarafından 1993 yılında yapılan çalışmadır. Bu çalışmada, statik ve dinamik olmak üzere iki farklı taşıma ve depolama stratejisi ele alınmıştır. Ayrıca, çeşitli gemiler için kalıcı alanda yer ayırmak için en iyi zamanları belirlemek amacıyla bir operasyon prosedürü ve sezgisel algoritma sunulmuştur (Taleb-Ibrahimi vd., 1993). Preston ve Kozan (2001) giden konteynerlerin depolanma şeklini belirlemek için genetik algoritma tekniğini kullanmıştır. Bir konteynerin terminalde önceden atanmış bir depolama alanına sahip olduğu çalışmada varsayılır ve bununla birlikte giden konteynerlerin rastgele gelişi göz ardı edilmiştir. Kim ve arkadaşları (2000), yükleme işlemleri sırasında konteynerlerin yer değiştirme sayısını azaltmak için önceden belirlenmiş tersane koyuna giden bir konteynerin depolama yerini belirleyerek tek tek konteynerin konumlandırılması aşamasına odaklanmıştır. Problemi çözmek için dinamik programlama yöntemi kullanılmıştır. Ancak, giden konteynerler için bir tersane koyunun nasıl seçileceği her iki aşamada ele alınmamıştır. Ayrıca, konteynerlerin varış yeri bilgileri dikkate alınmamıştır. Kim ve Park (2003) çalışmalarında ilgili konteynerlerin yerleştirme aşaması ve boşluk yerleştirme aşaması olmak üzere giden konteynerler için depolama yerlerini belirleme sürecini iki aşamaya ayırmıştır. Yazarlar, ilk aşamada yer tahsisi problemini çözmek için karma tam sayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Chen ve Lu çalışmalarında literatür incelemesinden, giden konteynerler için depolama yeri atama problemi hakkında kapsamlı bir çalışma olmadığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında bir liman terminalindeki giden konteynerlerin depolama yerini belirlemek için sistematik bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmada problem iki aşamada çözülmüştür. İlk aşamada tersane

koyuları ve farklı gemiler için sınırlandırılmış konteynerlere tahsis edilecek her bir tersane koyundaki yerlerin miktarı belirlenir. Her bir konteyner için kesin depolama yeri ikinci aşamada belirlenir. Yazarlar, birinci aşamadaki problem karma tam sayılı matematiksel model ile çözerken, ikinci aşamadaki problemi çözmek için bir hibrit dizi istifleme algoritmasını sunmuşlardır. Deney sonuçları, önerilen yaklaşımın giden konteynerler için depolama yeri atama probleminin çözümünde etkili ve verimli olduğunu göstermektedir (Chen ve Lu, 2012). Le ve Yu (2013) terminale rastgele giren giden konteynerler için bir rastgele hibrit istifleme algoritmasını sunmuşlardır. Algoritmanın ilk aşamasında, bloklar arasındaki dağılım kullanım oranına göre analiz edilmiştir. İkinci aşamada ise koy konfigürasyonunun optimizasyonu hibrit genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hu ve arkadaşları (2014) çalışmalarında giden konteynerlerin, konteyner tersanesindeki depolama yeri belirleme probleminin genellikle iki ardışık aşama ile tersane-koy atama probleminin ve alan tahsisi probleminin çözümü ile optimize edilebildiği, fakat global optimal çözüm elde edilemediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, çözüm için tersane-koy atama problemi ve alan tahsisi problemlerini entegre bir optimizasyon süreci olarak kullanan, bir dış-ıç hücrel otomat algoritması önerilmiştir. Zhang ve arkadaşları (2014) konteyner terminalindeki giden konteynerlerin depolama yerlerini incelemektedir. Daha önce literatürde sunulmuş olan modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada iki farklı yeni depolama yeri belirleme algoritması sunulmuştur. Önerilen iki algoritmanın, orijinal iyimser modelden daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Zhang ve arkadaşlarının (2014) yapmış oldukları diğer çalışmada konteyner alma aşamasında gelen konteynerlerin konum atamalarını incelemişlerdir. Problem için literatür, bir ağırlık grubu üzerindeki geri kalan konteynerlerin oranının, konteynerlerin alma işlemi boyunca değişmeden kaldığını varsaymıştır. Bu varsayım uygulama ile tutarsızdır. Çünkü bir ağırlık grubu üzerindeki geri kalan konteynerlerin oranı daha önce alınmış olan konteynerlere göre sürekli olarak ayarlanmalıdır. Bu nedenle, yazarlar, iki yeni dinamik programlama modeline yol açan iki farklı elleçleme yöntemi önermişlerdir. Bu iki model, var olan küçük ölçekli örneklerdeki modelle karşılaştırılır. Çalışmada büyük ölçekli örnekler için iki aşamalı bir sezgisel yöntem önerilmiştir. Woo vd. (2016) çalışmalarında giden konteynerlerin depolanması için depolama fiyatı çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada fiyat çizelgesinin iki unsurdan oluştuğu bunlarında ücretsiz

zaman ve ücretli zamanı aşan durumdan oluştuğu belirtilmiştir. Ücretsiz zaman, bir konteynerin bahçede ücretsiz olarak kalabileceği maksimum süredir. Ücretli zaman da ücretsiz zamandan daha fazla süre depolanan konteynerlerin ücret ödediği zamandır. Matematiksel modeller, optimum depolama fiyatı zamanlamasını, terminalin toplam kârı en üst düzeye çıkarılacak veya toplam sistemin maliyeti en aza indirilecek şekilde belirlemek için yazarlar tarafından geliştirilmiştir. Guerra-Olivares ve arkadaşları (2015) çalışmalarında konteyner taşıma ekipmanı olarak istifleme araçlarını kullanan konteyner yer değiştirme problemi için gerçek zamanlı bir sezgisel yöntem sunmuşlardır. Yazarlar çalışmalarında önerdikleri sezgisel yöntemin, yakın yerlerdeki koy istifinde iyi yer değiştirme koordinatları aradığını belirtmişlerdir. Yer değiştirme hareketlerin ve araçla seyahat mesafesinin azaltılmasının dengelenmesine çalışılmış ve daha sonra sezgisel yöntemin performansı Şili ve Meksika'daki daha küçük konteyner terminallerindeki genel bir uygulama ile karşılaştırılmıştır. Zao ve arkadaşları (2015) otomatik konteyner terminallerinde giden konteynerlerin depolama tahsisi problemi için simülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemi önermişlerdir. Yazarlar çalışmalarında depolama planlarında rıhtım vinçlerinin bekleme süresini değerlendirmek için kullanılan Zamanlı-Renkli-Petri-Net içeren bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Bu simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemini oluşturmak için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Genetik Algoritma (GA) temelli iki optimizasyon yaklaşımı çalışmada önerilmiştir. Bu önerilen yöntemin etkinliği, iki optimizasyon yaklaşımının karşılaştırılması ile doğrulanmıştır.

Zhang ve arkadaşları (2015) yükleme işlemleri sırasında konteynerlerin yeniden yer değiştirmesini azaltmak için terminallerdeki giden konteynerlerin konum atamalarını incelemişlerdir. Literatürdeki çalışmalar, pratikte doğru olmayan her bir ağırlık grubu için konteynere ulaşma olasılığının, tüm alma işlemi boyunca değişmediğini varsaymaktadır. Bu çalışma, henüz terminale ulaşmayan kalan konteynerlerin ulaşma olasılıklarını incelemiştir. Daha sonra çalışmada ele alınan problem için kısıtlanmış bir dinamik programlama modeli yazarlar tarafından sunulmuştur.

Woo ve arkadaşları (2016) çalışmalarında giden konteynerlerin depolanması için depolama fiyatı çizelgeleme problemini ele almışlardır. Çalışmada fiyat çizelgesinin iki unsurdan oluştuğu bunlarında ücretsiz zaman ve ücretli zamanı aşan durumdan oluştuğu

belirtilmiştir. Ücretsiz zaman, bir konteynerin bahçede ücretsiz olarak kalabileceği maksimum süredir. Ücretli zaman da ücretsiz zamandan daha fazla süre depolanan konteynerlerin ücret ödediği zamandır. Matematiksel modeller, optimum depolama fiyatı zamanlamasını, terminalin toplam kârı en üst düzeye çıkarılacak veya toplam sistemin maliyeti en aza indirilecek şekilde belirlemek için yazarlar tarafından geliştirilmiştir. Guerra-Olivares ve arkadaşları (2018) çalışmalarında konteyner elleçleme ekipmanı olarak erişim istifleme araçların kullanıldığı konteyner alan tahsisi problemi için sezgisel bir prosedür sunmaktadır. Literatürde sunulmuş prosedürler, kauçuk tekerlekli portal vinçler için geçerlidir. Bu nedenle, yazarlar çalışmalarını Latin Amerika gibi gelişmekte olan ülkelerde küçük veya orta ölçekli limanların yaygın olarak kullandığı, istifleme araçları kullanan liman terminalleri vakaları ile genişletmişlerdir. Ayrıca, literatürde yakın zamanda sunulmuş bir prosedürü geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, limana varış sırası verildiğinde bir grup konteyneri yüklemek için gereken konteyner yer değiştirme sayısının alt sınırını hesaplayan matematiksel modeli sunmuş olmasıdır. He ve arkadaşları (2019) giden konteyner depolama yeri belirleme problemini ele almışlardır. Yazarlar problemi yürüyen işlemlerin kolaylaştırılabilmesi için bir dizi giden konteynerin belirli atama kurallarına göre tersanede nasıl istiflenmesi gerektiği olarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu problemin çözülmesi zor bir problem olduğunu belirtmişler ve problemin çözümü için yeni bir parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi sunmuşlardır. Çalışmalar sonucunda önerilen algoritmanın problemin çözümünde anlamlı bir performans elde ettiğini göstermişlerdir. Şenyiğit ve Arsav (2019) giden konteynerlerin istiflenmesinde operasyonel karar verme problemine odaklanmışlar ve katman kaydırma yaklaşımı ile hibrit dizi istifleme algoritmasını ele alınan problemde kullanmışlardır. Şenyiğit ve Arsav (2019) bir deniz istasyonunda dışarı giden konteynerler için depolama konumu atama problemini ve bu problemin çözümü için kullanılan hibrit dizi istifleme algoritmasını sayısal bir örnek ile çalışmalarında açıklamışlardır. Reyes ve arkadaşları çalışmalarında [2] depolama yeri atama problemi için bir derleme çalışması yapmışlardır. Çalışmalarında 2005 ve 2017 yılları arasında yapılan konu ile ilgili çalışmalar dikkate alınmıştır (Reyes vd., 2019).

3. ANALİZ METODU

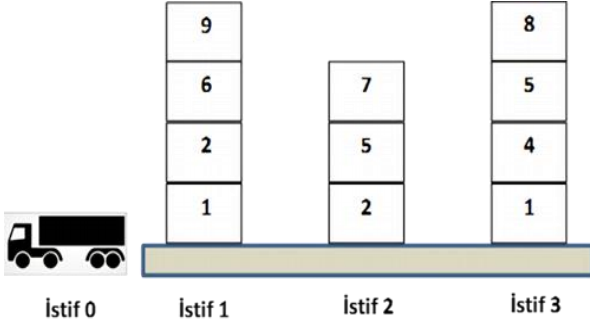
Konteyner depolama yeri belirleme problemi, liman sahasında istiflenmiş ve istiften alınış sırası bilinen belirli sayıda konteyner içeren tek bir konteyner sırasının tamamen boşaltılması için yapılacak yer değiştirme sayısının en aza indirilmesi ile ilgilenen bir problemdir. Bu problem konteyner yer değiştirme problemi olarak da adlandırılmaktadır. Bu problem bir gerçek zamanlı karar verme problemidir (Chen ve Lu, 2012). Gelen konteynerler için depolama yeri belirleme problemi, konteyner yer değiştirme verimliliğini artırmak ve bir geminin geri dönüş süresini azaltmak için önemlidir. Bir konteyner terminalindeki ana görev, belirli bir siparişe göre konteynerleri nakliye için bir konteyner kamyonuna yüklemek amacıyla tersaneden konteyner almak ve aktarmaktır. Bir konteyner terminali, her biri birçok konteyner yığını barındıran koylara ayrılmıştır. Bu çalışmada, Chen ve Lu'un 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada olduğu gibi konteynerlerin ağırlıklarına göre 9 farklı gruba ayrıldığı kabul edilmiştir. Konteyner ağırlık numarası arttıkça konteyner ağırlığının arttığı kabul edilmektedir. Konteynerlerin ağırlıklarına göre gruplandırılmasındaki amaç yükleme işlemlerinin verimliliğini artırmaktır. Depolama alanı içinde konteynerler istifler halinde depolanır. Bir tersaneden konteyner almak için en ideal durum, her bir yığının üstündeki (ağır) konteyneri öncelikli olarak almaktır (Chen ve Lu, 2012). Konteynerler istifleme alanına geliş sırasına göre dizilirler. Gelen konteynerler bittiğinde, bu konteynerler en ağırdan başlayarak toplanırlar. Bu toplama sırasında hafif konteyner yukarıda ağır konteyner aşağıda yerleştirilirse, ağır konteynerin alınması için hafif konteyner kaldırılır bu işleme yer değiştirme (elleçleme) denir. Olası yer değiştirmeleri engellemek için hangi yığının seçilmesi gerektiğini önceden planlamak önemlidir. Çünkü plansız konteyner yerleştirme daha sonra yeniden yer değiştirmeye neden olabilir. Konteyner hareketlerinin toplam sayısını azaltmak vincin çalışma süresini azaltır. Konteyner yer değiştirme problemi, liman sahasında istiflenmiş ve istiften alınış sırası bilinen belirli sayıda konteyner içeren tek bir konteyner sırasının tamamen boşaltılması için yapılacak yer değiştirme sayısının en aza indirilmesi ile ilgilenen bir problemdir. Şekil-1 de konteynerlerin tersaneden alınma görüntüsü gösterilmiştir. Şekil-2 de ise bir tersane koyuna rastgele gelen konteynerlerin istiflenmesi gösterilmiştir.



Şekil 1. Konteynerlerin tersaneden alınma görüntüsü

Bir konteynerin alınması ve toplanması aşağıdaki varsayımlara göre yapılır. Limanda giden konteynerlerin işlem görmesi için gerekli ve yeterli kaynakların olduğu kabul edilmiştir. Gemilerin rıhtım tahsisinin bilindiği varsayılmaktadır. Gelen konteynerlerin standart olduğu kabul edilmiştir. Aynı koya yerleştirilen konteynerlerin aynı varış noktasına gidecekleri varsayılmıştır. Konteynerler limana rastgele sayı ve sırada gelmektedirler. Konteynerlerin taşınmasında vinçler ve/veya kamyonlar kullanılır. Bir vinç sadece her istifin üstünde bulunan konteyneri kaldırabilir. Bir istifin yüksekliği belirli sayıda konteyner yüksekliği ile sınırlıdır. Her istif, belirli sayıdaki konteynerlerin sırasından ve belirli sayıda konteyner yüksekliğinde koylardan oluşur. Konteynerlerin ağırlıklarına göre 9 farklı gruba ayrıldığı kabul edilmiştir. Konteyner ağırlık numarası arttıkça konteyner ağırlığının arttığı kabul edilmektedir. Belli bir tersane koyunda, daha ağır konteynerlerin (konteyner numarası büyük olanların) daha hafif konteynerlerden (konteyner numarası büyük olanların) önce yükleneceği varsayılmaktadır. Giden konteynerler için depolama yerinin belirlenmesi, yükleme işlemlerinin verimliliğinin artırılmasında çok önemli olduğu için bu çalışma ile yeni bir sezgisel yöntem önerilmiştir.

Önerilen sezgisel yöntemi anlatabilmek için sayısal bir örnek verilmiştir. Bu örnek için tersane koyunun 6 sırasının ve her sıranın da 4 konteyner yüksekliğinin olduğu kabul edilmiştir. Aynı varış yerine gönderilmesi gereken rastgele geliş sırası oluşturulmuş 24 adet giden konteyner bulunmaktadır. Rakamların konteynerlerin ağırlıklarını gösterdiği bu konteynerlerin geliş sırası 6, 8, 7, 7, 2, 8, 6, 4, 9, 5, 7, 4, 4, 1, 5, 9, 8, 3, 8, 3, 8, 9, 7, 3 şeklindedir.



Şekil 2. Bir tersane koyuna rastgele gelen konteynerlerin istiflenmesinin gösterilmesi

Önerilen sezgisel yöntemin sayısal örnek için çözümü şekil-3'te gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde her bir hücrede A(B)-C şeklinde bir gösterim vardır. Bu gösterimde A simgesi konteynerin ağırlık numarasını (1-9) göstermektedir. B simgesi ise tersane koyunda istiflenmiş konteynerlerin koya geliş sırasını (1-24) göstermektedir. C simgesi ise tersane koyunda istiflenmiş konteynerlerin toplanma sırasını (1-24) göstermektedir. Örneğin sağ üst köşede yer alan 3(24)-20 hücresi bu hücreye yerleştirilen konteynerin ağırlığının 3, geliş sırasının 24 toplanma sırasının da 20 olduğunu göstermektedir. Böylece önerilen sezgisel yöntem problemi, 0 yer değiştirme ile optimum şekilde çözmüştür. Örneğin en son gelen konteynerin ağırlık numarası 2 olsaydı, 3 nolu konteynerler toplanırken iki kez bu konteyner kaldırılacak ve 2 yer değiştirme ile önerilen sezgisel yöntem sonuç verecekti. Bu duruma göre önerilen sezgisel yöntemin çözümü şekil-4'te gösterilmiştir.

9(9)-1	9(16)-2	8(21)-6	9(22)-3	7(23)-9	3(24)-20
8(6)-4	7(11)-10	8(19)-7	5(15)-15	4(13)-18	3(20)-21
8(2)-5	7(4)-11	8(17)-8	5(10)-16	4(12)-19	3(18)-22
6(1)-13	7(3)-12	6(7)-14	4(8)-17	2(5)-23	1(14)-24

Şekil 3. Önerilen sezgisel yöntemin sayısal örnek için çözümünün gösterilmesi

9(9)-1	9(16)-2	8(21)-6	9(22)-3	7(23)-9	2(24)-23
8(6)-4	7(11)-10	8(19)-7	5(15)-15	4(13)-18	3(20)-20
8(2)-5	7(4)-11	8(17)-8	5(10)-16	4(12)-19	3(18)-21
6(1)-13	7(3)-12	6(7)-14	4(8)-17	2(5)-22	1(14)-24

Şekil 4. Önerilen sezgisel yöntemin yer değiştirme olan sayısal örnek için çözümünün gösterilmesi

Önerilen sezgisel yöntemin sahte kodu aşağıdaki gibidir.

Begin

Programda kullanılacak değişkenler oluşturulur.

if (Gelen ağırlık değeri <= Depolama alanında maksimum ağırlık sınıflandırma değerleri)

{

for ()

{Gelen ağırlık değerinin depolama alanındaki yeri kontrol edilip yer varsa konteyner elleçleme yapılmadan yerleştirilir.}

if (Gelen konteyner kendi alanına yerleştirilemediyse)

{Gelen konteyner ağırlık değerinden daha ağır konteynerlerin yerleştirme yerlerinin ilk sırası kontrol ediliyor yer var ise yerleştirilir.}

if (Gelen konteyner yerleştirilemediyse)

{ Gelen konteyner ağırlık değerinden daha küçük ağırlık değerine sahip yerleştirme alanları kontrol edilip elleçleme yapılmadan konteyner yerleştirilir.}

if (Gelen konteyner yerleştirilemediyse)

{ Gelen konteyner ağırlık değerinden daha ağır konteynerlerin yerleştirme yerlerinin tamamı kontrol edilerek elleçleme yapılmadan konteyner yerleştirilir.}

if (Gelen konteyner yerleştirilemediyse)

{ depolama alanında maksimum ağırlık sınıflandırma değerinden başlayarak en az elleçleme yeri aranır ve konteyner yerleştirildikten sonra elleçleme değeri elleçleme değeri kadar artırılır.}

}

if (Gelen ağırlık değeri > Depolama alanında maksimum ağırlık sınıflandırma değerleri)

{

for ()

{ depolama alanında maksimum ağırlık sınıflandırma değerinden başlayarak arama yapılır ve elleçleme yapılmadan gelen konteyner yerleştirilir. }

if (Gelen konteyner yerleştirilemediyse)

{depolama alanında maksimum ağırlık sınıflandırma değerinden başlayarak en az elleçleme yeri aranır ve konteyner yerleştirildikten sonra elleçleme değeri yapılan elleçleme değeri kadar artırılır. }

}

End

4. ANALİZ

Bu bölümde önerilen sezgisel yöntem kullanılarak çözülen 450 örnekten elde edilen önerilen sezgisel yöntemin sonuçları ve rastgele sonuçlar gösterilmektedir. Sonuçlar tablolarda gösterilmiştir. Bu tablolarda önerilen sezgisel yöntemin sonuçları H sütununda, rastgele çözümlerle elde edilen sonuçlar R sütununda, her bir tekrar No sütununda ve 1'den 80'e kadar sayılar da giden konteyner sayılarını göstermektedir. Giden konteynerler için depolama yeri belirleme probleminde performansı etkileyen faktörler vardır. Bunlardan ilki giden konteyner sayısıdır (GKS). İkinci faktör bu konteynerlerin yerleştirileceği depolama alanıdır (DA). Bu hacim konteyner sayısı ile ölçülür.

Tablo 1'de GKS=10 ve DA=24 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme 0 tekrarda çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 87 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısının 4 adet olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntem 50 örneklemin hepsini optimum çözüm ile bulurken rastgele çözüm ise sadece 9 tanesinde optimum çözüm bulmuştur.

Tablo 2'de GKS=18 ve DA=24 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 12 tekrarda çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 419 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntem 50 örneklemin 41 tanesini sıfır tekrar ile optimum sonuç ile çözerken rastgele çözümde hiç optimum çözüme rastlanılmamıştır. Önerilen sezgisel yöntemin çözümlerinde en büyük tekrar sayısı 2'dir. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 12 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 4 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3'te GKS=24 ve DA=24 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 200 tekrarda çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 805 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntem 50 örneklemin 5 tanesini sıfır tekrar ile optimum sonuç ile çözerken rastgele çözümde hiç optimum çözüme rastlanılmamıştır. Önerilen sezgisel yöntemin çözümlerinde en büyük tekrar sayısı 9'dur. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 23 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 8 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4'te GKS=20 ve DA=48 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme hiç tekrar olmadan, optimum sonuç ile çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 329 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 14 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 2 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5'te GKS=36 ve DA=48 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 21 tekrar ile çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 1405 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntem 50 örneklemin 42 tanesini sıfır tekrar ile optimum sonuç ile çözerken rastgele çözümde hiç optimum çözüme rastlanılmamıştır. Önerilen sezgisel yöntemin çözümlerinde en büyük tekrar sayısı 6'dır. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 40 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 17 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 6'da GKS=48 ve DA=48 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 475 tekrar ile çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 2698 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntemin çözümlerinde en büyük tekrar sayısı 25'dir. Önerilen sezgisel yöntem sadece 4 örnekleme optimum sonuç bulmuştur. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 78 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 35 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 7'de GKS=40 ve DA=80 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 7 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 0 tekrar (optimum sonuç) ile çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 1305 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı

ise 37 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 17 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 8’de GKS=60 ve DA=80 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 8 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 33 tekrar ile çözdüğü fakat rastgele çözümde ise toplam 3283 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntemin 50 örneklemin 34 tanesini optimum sonuç ile çözdüğü belirlenmiştir. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 79 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 47 adet olduğu belirlenmiştir.

Tablo 9 ve 10’da GKS=80 ve DA=80 olduğu grupta elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 9 ve 10 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin oluşturulan 50 örnekleme toplam 984 tekrar ile çözdüğü fakat rastgele çözümde ise 6291 adet tekrar olduğu belirlenmiştir. Önerilen sezgisel yöntemin çözümünde en büyük tekrar sayısı 40’dır. En az tekrar sayısı ise 3’tür. Rastgele çözümde en büyük tekrar sayısı ise 152 adet olduğu belirlenmiştir. Rastgele çözümde en küçük tekrar sayısı ise 90 adet olduğu belirlenmiştir. Tablo 11’de 450 deney sonucu özet olarak gösterilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin 450 deney sonucunun hepsinde rastgele çözüm sonuçlarına göre daha iyi sonuç bulduğu belirlenmiştir. GKS, DA konteyner sayısına yaklaştıkça problemin zorluğu artmaktadır. Önerilen sezgisel yöntemin performansı kötüleşmektedir. Önerilen sezgisel yöntem 450 deneyin 255 tanesini (%56.67) optimum sonuç olan sıfır tekrar ile çözmüştür. Bu durum önerilen sezgisel yöntemin performansının yeterli olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Küreselleşen dünyada yük taşımacılığı önemi giderek artan bir bilimsel problemdir. Dünyamızın büyük çoğunluğu denizlerle çevrili olduğu için deniz yolu yük taşımacılığı ön plana çıkmaktadır. Deniz yolu yük taşımacılığı içerisinde konteyner ile taşımacılık en çok tercih edilen türdür. Konteynerlerin liman içerisinde depolama stratejik bir karardır. Bu karar doğrudan limanda yapılan yük taşımacılığının verimliliğini etkiler. Bu çalışmada giden konteynerlerin depolama yeri belirleme probleminde ve bu problemin çözümüne odaklanılmıştır. Bu kapsamda yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu problemin çözümünde performans göstergesi elleçleme sayısıdır. Elleçleme sayısı az olan yöntem en iyisidir. Önerilen sezgisel yöntemin elde ettiği çözümler rastgele çözüm ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma yaparken farklı gelen konteyner sayısı ve depolama alanı değerleri dikkate alınmıştır. Dikkate alınan problem de temel kısıt depolama alanıdır. Çalışmada küçük, orta ve büyük hacimleri temsil edecek şekilde 3 farklı depolama alanı hacmi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla 24, 48 ve 80 konteyner adetlik depolama alanlarıdır. Gerçek hayatta gelen konteyner sayısı belirli değildir ve bu konteynerler rastgele limana gelir. Bu durum farklı depolama alanı doluluk oranlarının oluşması ile sonuçlanır. Depolama doluluk oranı %0 ile %100 arasında değişir. Çalışmada farklı gelen konteyner sayıları belirlenmiştir. Bu gelen konteyner sayıları sırasıyla 10, 18, 20, 24, 36, 40, 48, 60 ve 80’dir. Küçük olarak nitelendirebileceğimiz, 24 konteyner hacme sahip olan depolama alanı için sırasıyla 10, 18 ve 24 adet gelen konteyner sayısı dikkate alınmıştır. Orta büyüklük olarak nitelendirebileceğimiz 48 konteyner hacme sahip olan depolama alanı için sırasıyla 20, 36 ve 48 adet gelen konteyner sayısı dikkate alınmıştır. Son olarak büyük olarak nitelendirebileceğimiz 80 konteyner hacme sahip olan depolama alanı için sırasıyla 40, 60 ve 80 adet gelen konteyner sayısı dikkate alınmıştır. Tablo 1 ile Tablo 9 arasında çalışmada kullanılan veriler gösterilmiştir. Tablo 10’da ise elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 10 incelendiğinde önerilen sezgisel yöntemin küçük hacimli veri setlerinin hepsinde optimum çözüm elde ettiği belirlenmiştir. Doluluk oranı arttıkça sezgisel yöntemin performansının doğal olarak düştüğü gözlenmiştir. Karşılaştırmanın sonucunda, 450 deneyin 255 tanesini optimum sonuç ile çözen yeni sezgisel yöntemin performansının belirgin bir şekilde daha iyi olduğu belirlenmiştir. Gelecek çalışma olarak önerilen sezgisel yöntemin performansı gerçek hayat verileri ile test edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca ele alınan problemin çözümünde ileriki çalışmalarda yeni sezgisel yöntemler geliştirilebilir. Mevcut çalışmada elleçleme sayısı performans göstergesi olarak dikkate alınırken ileriki çalışmalarda maliyet, süre vb. göstergeler performans göstergesi olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Chen, L, Lu Z.Q. (2012). The storage location assignment problem for outbound containers in a maritime terminal. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 73–80.

Guerra-Olivares, R., Smith, N.R., González-Ramírez, R.G., Mendoza, E.G. and Cárdenas-Barrón, L.E. (2018). A heuristic procedure for the outbound container space assignment problem for small and

- midsize maritime terminals. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 9, 1719–1732.
- Guerra-Olivares, R., González-Ramírez, R.G., Smith, N.R. (2015). A Heuristic Procedure for the Outbound Container Relocation Problem during Export Loading Operations. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 201749, 13 pages.
- He, Y., Wang, A., Su, H., Wang, M. (2019). Particle swarm optimization using neighborhood-based mutation operator and intermediate disturbance strategy for outbound container storage location assignment problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019, 9132315, 13 pages.
- Hu, W., Wang, H., Min, Z. (2014). A storage allocation algorithm for outbound containers based on the outer-inner cellular automaton. *Information Sciences*, 281, 147-171.
- Kim, Y., Kim, T., Lee, H. (2016). Heuristic algorithm for retrieving containers. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 352-360.
- Kim, K.H., Park, Y.M., Ryu, K.R. (2000). Deriving decision rules to locate export containers in container yards. *European Journal of Operational Research*, 124 (1), 89–101.
- Kim, K.H., Park, K.T. (2003). A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers. *European Journal of Operational Research*, 148 (1), 92-101.
- Le, M., Yu, H. (2013). The RHSA strategy for the allocation of outbound containers based on the hybrid genetic algorithm. *Journal of Marine Science and Application*, 12, 344–350.
- Liu, C. (2020). Iterative heuristic for simultaneous allocations of berths, quay cranes, and yards under practical situations”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 133(1).
- Maglić, L., Gulić, M., Maglić, L. (2020). Optimization of container relocation operations in port container terminals. *Transport*, 35(1), 37-47.
- Preston, P., Kozan, E. (2001). An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals. *Computers and Operations Research*, 28(10), 983-995.
- Reyes, J.J.R., Solano-Charris, E.L., Montoya-Torres, J.R. (2019). The storage location assignment problem: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10, 199–224.
- Sivrikaya Ö.E. (2013). *Integration of Berth Allocation and Storage Allocation Problems*. MSc., Industrial Engineering, Boğaziçi University, İstanbul, Turkey.
- Şenyiğit, E., Arsav, M.S. (2019). Application of Storage Location Assignment Problem Using Rolling Horizon Approach and Hybrid Sequence Stacking Algorithm. *European Journal of Science and Technology*, Special Issue, 102-108.
- Şenyiğit, E., Arsav, M.S. (2019). The Outbound Containers’ Storage Location Assignment Problem for a Maritime Terminal. *European Journal of Science and Technology*, Special Issue, 349-355.
- Taleb-Ibrahimi, M., Castilho, B., Daganzo, C.F. (1993). Storage space vs handling work in container terminals. *Transportation Research Part B*, 27(4), 13-32.
- Woo, Y.J., Song, J.H., Kim, K.H. (2016). Pricing storage of outbound containers in container terminals. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 28(4), 644–668.
- Zhang, C., Wu, T., Kim, K.H., Miao, L. (2014). Conservative allocation models for outbound containers in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 155-165.
- Zhang, C., Wu, T., Kim, K.H., Miao, L. (2014). Location assignment for outbound containers with adjusted weight proportion. *European Journal of Operational Research*, 52, 84-93.
- Zhao, N., Xia, M.J., Mi, C., Bian, Z.C., Jin, J. (2015). Simulation based optimization for storage allocation problem of outbound containers in automated container terminals. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015(1), 548762, 14 pages.
- Zhang, C., Zhong, M., Miao, L. (2015). Location assignments for outbound containers in container terminals. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 55(10), 1150-1156.

Tablo 1. GKS=10 ve DA=24 olduğu durumda elde edilen veriler ve çözümler

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	H	R
1	2	1	9	5	5	4	5	5	9	3	0	1
2	1	1	1	4	6	5	9	9	1	6	0	0
3	4	2	2	3	7	6	7	3	8	3	0	0
4	6	4	1	6	1	3	8	9	4	9	0	0
5	6	6	1	4	7	9	9	8	6	8	0	0
6	2	2	3	1	7	9	8	7	8	8	0	0
7	6	2	6	7	7	6	9	4	3	3	0	2
8	6	1	6	1	1	8	2	7	6	8	0	1
9	7	9	6	1	1	4	2	1	9	2	0	2
10	4	2	2	6	3	4	1	3	7	1	0	2
11	9	6	5	3	2	1	6	3	1	9	0	3
12	7	2	2	9	2	7	6	6	6	4	0	2
13	5	9	5	2	8	5	9	9	7	7	0	0
14	8	9	1	5	8	1	4	3	8	1	0	3
15	8	4	5	9	9	8	4	9	2	8	0	3
16	2	8	2	3	7	4	7	8	8	8	0	0
17	2	3	3	3	9	3	2	5	8	1	0	1
18	1	3	3	5	7	6	6	2	5	4	0	2
19	3	2	8	3	7	6	6	3	5	8	0	1
20	4	5	7	6	1	5	5	4	9	8	0	1
21	6	9	5	1	6	6	3	6	5	5	0	2
22	2	9	1	4	3	2	7	1	8	8	0	1
23	3	3	4	1	5	2	3	6	6	1	0	0
24	7	7	7	3	9	4	6	8	7	2	0	2
25	4	9	8	1	6	5	4	4	4	9	0	2
26	8	5	6	2	5	4	6	5	5	4	0	2
27	4	7	1	4	8	5	2	8	5	9	0	1
28	6	9	3	6	4	3	5	3	4	1	0	3
29	7	9	3	7	2	2	2	6	7	5	0	3
30	7	1	3	3	7	7	9	4	3	2	0	1
31	3	6	8	4	4	9	2	9	7	3	0	3
32	8	1	8	7	4	5	4	6	3	3	0	3
33	2	6	3	7	4	5	1	8	8	3	0	2
34	9	7	5	1	6	2	4	5	8	7	0	2
35	8	6	2	5	3	6	2	8	4	1	0	2
36	3	4	1	9	2	3	2	6	7	3	0	2
37	7	7	3	9	1	1	6	7	2	2	0	3
38	9	1	9	6	1	5	7	8	2	5	0	3
39	8	5	4	6	8	3	4	5	1	8	0	2
40	8	4	1	7	9	5	7	3	5	9	0	2
41	3	3	4	9	8	4	2	2	7	6	0	3
42	6	2	5	2	4	5	7	7	8	3	0	0
43	6	8	9	8	6	5	8	9	9	5	0	1
44	9	5	5	6	9	5	6	3	7	2	0	3
45	5	4	7	6	2	2	4	8	9	3	0	2
46	1	1	9	2	5	5	5	4	6	6	0	1
47	2	2	5	6	4	9	2	9	3	6	0	1
48	9	4	2	6	3	2	6	3	1	4	0	4
49	6	9	8	6	1	2	5	7	5	2	0	4
50	6	6	3	3	2	9	1	2	1	7	0	3
Toplam											0	87

Tablo 2. GKS=18 ve DA=24 olduğu durumda elde edilen veriler ve çözümler

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	H	R
1	7	8	1	2	6	4	3	8	5	3	3	8	6	2	5	5	4	1	0	8
2	5	3	3	2	2	2	1	5	2	9	8	7	7	4	3	6	7	8	0	5
3	1	7	5	7	3	1	3	2	8	2	7	1	4	9	1	3	9	3	0	5
4	7	6	6	9	2	2	3	4	1	8	6	9	6	9	4	7	5	6	0	10
5	5	7	9	2	8	9	4	8	7	1	6	9	7	5	4	1	8	1	2	11
6	2	2	6	4	5	8	1	5	6	8	6	8	6	6	5	4	7	2	0	6
7	3	6	7	6	5	3	4	3	8	1	1	2	5	5	1	4	5	4	1	8
8	1	2	3	2	1	4	4	5	3	9	4	9	5	3	7	2	8	3	0	4
9	4	5	6	3	9	3	1	1	4	5	3	1	8	3	1	1	4	6	0	11
10	9	1	5	4	3	1	9	5	8	9	6	7	4	4	7	7	1	1	0	8
11	7	7	2	1	1	1	9	9	3	3	1	1	8	4	9	1	3	7	1	4
12	7	9	3	6	4	5	4	2	4	6	1	9	3	1	3	1	4	7	0	11
13	5	8	9	5	5	3	7	7	4	8	2	2	8	4	1	9	1	1	0	12
14	7	2	4	7	6	9	6	3	9	3	9	1	7	7	1	2	6	4	0	9
15	7	2	5	1	8	6	1	6	9	2	7	6	9	3	9	3	4	2	0	7
16	3	8	2	9	9	2	3	5	7	3	1	4	2	7	8	6	3	8	0	8
17	6	6	4	7	6	1	9	4	6	3	4	7	2	5	3	8	8	7	0	8
18	3	7	3	4	7	4	9	7	5	6	1	1	8	4	1	1	7	7	0	9
19	8	6	3	1	1	5	5	1	1	1	2	6	1	3	8	1	4	5	2	7
20	6	2	9	1	7	8	6	4	4	5	4	1	6	1	8	6	1	3	1	9
21	5	2	7	7	8	7	3	9	6	9	5	7	3	8	1	5	5	5	0	12
22	8	8	8	4	5	6	2	1	6	1	4	1	7	5	3	5	5	2	0	11
23	7	8	4	3	7	8	2	7	9	6	3	6	1	1	6	4	8	3	0	12
24	5	2	6	4	2	9	1	7	4	8	7	2	5	6	3	2	6	4	0	10
25	7	8	7	1	9	6	5	8	3	5	8	6	8	6	5	5	9	8	0	6
26	1	5	9	9	2	4	9	6	8	1	9	1	2	6	9	7	1	9	0	7
27	5	4	3	1	9	3	6	5	8	7	9	1	6	9	6	4	2	1	1	6
28	4	8	6	4	1	3	7	4	8	2	4	3	7	1	5	6	1	5	0	7
29	6	1	6	6	3	7	6	3	6	7	5	1	5	7	4	8	3	3	0	7
30	4	2	4	9	3	5	4	4	1	5	1	9	6	1	8	2	8	2	0	9
31	5	8	5	8	7	8	7	1	9	8	7	7	8	9	8	2	3	9	0	7
32	1	6	7	1	2	9	7	1	3	7	2	4	2	3	9	3	3	5	0	7
33	8	5	4	6	2	3	5	6	7	4	6	1	1	4	8	9	1	2	0	10
34	4	4	3	2	6	8	2	6	8	9	6	3	2	2	2	4	4	3	0	11
35	4	9	7	4	5	9	1	6	9	2	8	5	1	5	9	2	2	3	0	12
36	7	4	2	7	4	4	8	3	3	2	8	1	1	8	3	4	9	5	0	6
37	3	1	9	4	2	1	9	9	7	3	9	1	4	1	9	8	7	1	1	5
38	2	7	6	4	6	2	6	9	7	9	2	1	2	6	6	5	8	2	0	7
39	4	4	3	2	7	5	6	5	4	3	8	8	1	2	2	3	3	3	0	10
40	8	8	5	7	7	2	3	1	7	7	2	3	4	9	2	7	4	3	0	7
41	9	8	8	3	1	9	9	3	8	3	9	7	2	3	2	2	9	1	0	11
42	7	4	6	3	9	1	2	2	5	9	8	4	9	1	1	3	4	1	0	12
43	7	9	6	1	2	6	4	4	5	2	3	3	8	5	4	5	8	5	0	8
44	7	6	9	7	1	8	5	9	5	4	4	9	6	9	8	2	4	9	0	7
45	4	6	2	9	9	6	6	9	9	2	1	3	1	4	2	6	5	7	0	10
46	2	9	9	8	6	2	2	9	1	5	6	4	5	7	1	4	2	3	2	10
47	9	6	6	9	7	2	7	7	6	5	7	9	8	7	9	8	5	1	0	8
48	8	2	7	4	3	4	4	4	5	1	5	6	8	4	9	8	2	1	1	7
49	3	6	6	8	8	4	4	1	6	7	7	2	6	6	3	4	6	2	0	11
50	1	5	4	2	6	4	6	6	3	9	6	3	9	1	6	9	5	9	0	6
	Toplam																		12	419

Tablo 3. GKS=24 ve DA=24 olduğu durumda elde edilen veriler ve çözümler

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	H	R	
1	6	8	7	7	2	8	6	4	9	5	7	4	4	1	5	9	8	3	8	3	8	9	7	3	0	17	
2	3	7	4	9	1	3	8	4	1	8	8	7	1	5	9	1	3	7	6	2	2	3	8	2	5	20	
3	8	8	1	9	5	4	7	6	2	5	5	4	5	6	3	6	7	4	4	6	3	8	9	4	0	12	
4	3	7	1	1	4	5	1	9	9	2	2	3	3	8	8	6	2	2	5	5	1	6	6	6	7	13	
5	5	9	5	7	8	3	9	1	9	6	6	7	4	6	3	7	4	6	5	3	5	1	4	8	4	20	
6	5	8	5	1	3	4	4	7	2	4	6	4	1	4	1	6	3	1	3	6	3	2	3	5	5	20	
7	9	8	2	4	1	4	2	4	6	6	2	1	8	8	7	6	3	8	6	9	9	8	6	1	5	8	
8	5	8	9	4	7	7	5	4	5	9	2	5	2	9	7	7	3	2	8	5	2	9	8	4	1	18	
9	3	7	3	5	6	4	5	1	2	2	9	2	4	7	6	8	1	8	6	8	7	2	4	4	5	12	
10	2	8	7	8	9	2	8	6	1	6	2	1	4	1	8	2	4	1	4	1	9	5	4	5	7	18	
11	5	1	4	3	4	9	6	1	4	9	3	7	6	7	2	9	3	4	2	8	6	6	4	9	1	12	
12	1	5	5	7	8	3	4	6	5	2	3	9	8	5	2	1	9	1	7	5	8	1	5	6	0	16	
13	9	4	8	6	4	5	9	9	6	4	3	8	5	9	3	1	5	7	3	4	5	2	2	7	5	23	
14	2	1	8	5	9	8	2	9	9	8	8	5	5	8	2	9	3	4	4	4	3	4	6	1	2	22	
15	8	6	1	1	8	1	2	7	2	1	5	4	6	4	9	7	2	4	8	6	1	7	5	7	6	11	
16	5	3	1	2	8	8	5	7	5	8	7	4	8	1	1	9	7	1	3	5	3	8	3	9	3	17	
17	4	6	2	8	5	9	9	1	2	4	6	6	1	9	9	4	5	7	9	8	6	6	9	1	1	14	
18	4	9	9	9	5	1	4	6	9	1	7	3	6	7	3	5	8	7	2	5	5	5	9	7	1	15	
19	2	9	9	5	9	5	4	8	7	1	5	6	9	1	6	1	9	9	6	9	2	7	7	7	8	0	16
20	9	4	4	5	6	8	3	7	2	7	6	5	5	8	2	2	3	9	6	5	4	5	4	9	4	15	
21	1	7	8	3	6	3	4	1	2	9	1	5	5	5	6	8	9	8	3	8	1	6	1	8	2	15	
22	2	9	6	1	9	2	1	5	1	5	5	9	1	9	2	8	3	6	3	5	8	7	7	7	2	14	
23	4	7	5	5	2	5	9	4	7	1	2	6	7	4	1	1	9	5	5	9	9	7	8	9	0	11	
24	7	4	6	4	4	6	9	4	3	8	7	2	7	5	3	5	6	2	3	9	8	6	2	9	4	14	
25	3	9	4	8	5	8	2	2	3	7	8	1	1	7	2	5	1	2	3	2	7	5	7	1	6	22	
26	1	2	8	1	3	4	3	7	9	2	1	3	4	9	1	1	4	7	5	2	7	9	1	4	4	12	
27	5	8	7	5	6	2	7	7	3	3	7	4	1	1	9	8	4	2	1	9	6	8	1	2	3	18	
28	1	2	7	1	9	5	4	1	2	4	5	4	7	8	1	7	5	3	1	1	2	7	1	4	7	18	
29	7	6	8	5	8	2	8	7	7	6	4	4	5	6	7	7	9	6	3	6	5	5	2	5	2	19	
30	1	4	4	3	8	1	9	4	2	3	3	3	7	8	3	1	6	8	6	1	5	7	3	8	7	14	
31	6	3	2	5	5	5	9	3	5	3	5	5	7	5	8	7	6	9	3	3	4	4	9	1	7	13	
32	4	2	1	6	9	2	9	4	1	6	7	5	9	4	9	6	4	1	8	5	4	7	3	1	6	13	
33	1	9	4	5	5	9	4	2	4	1	2	3	5	3	3	3	3	1	4	1	8	3	8	3	5	17	
34	2	2	6	2	1	5	4	9	6	8	9	2	3	7	3	4	7	8	8	9	2	2	3	1	12		
35	4	5	9	8	5	5	3	4	6	4	9	9	8	3	9	8	9	9	5	5	9	2	4	3	6	16	
36	3	5	6	8	1	8	3	1	9	4	8	6	2	6	8	5	3	5	3	7	4	8	5	2	1	17	
37	8	9	8	1	7	7	3	2	2	6	6	9	8	5	3	8	1	9	9	5	5	4	7	4	6	15	
38	1	9	2	5	8	6	9	5	1	5	9	1	9	3	3	3	1	6	4	5	1	9	6	8	5	16	
39	2	5	6	5	9	1	6	5	3	5	9	7	6	8	3	5	7	1	8	4	5	3	8	7	3	14	
40	6	7	4	8	9	2	3	2	4	3	4	3	9	5	6	1	8	5	7	5	4	5	6	3	7	15	
41	4	9	7	1	1	3	4	8	7	9	8	3	6	8	5	1	3	8	4	4	5	9	5	3	6	14	
42	3	1	4	6	2	8	2	2	4	8	3	4	4	8	4	8	9	3	2	4	3	7	1	6	4	16	
43	3	8	7	9	9	5	5	4	5	9	7	3	6	7	8	2	2	9	3	3	6	5	6	2	3	23	
44	5	9	2	6	9	1	3	6	1	8	4	3	2	2	2	8	3	9	9	5	1	1	3	3	4	20	
45	4	9	2	4	4	7	1	7	3	6	4	1	4	8	4	4	6	2	3	7	4	5	1	9	5	14	
46	7	5	9	6	6	1	1	5	6	9	2	9	8	9	2	3	8	6	1	6	8	2	5	5	4	19	
47	5	5	9	9	7	5	8	9	9	3	7	9	8	4	2	2	5	9	4	4	6	5	5	6	3	21	
48	9	1	9	7	5	5	2	5	1	5	2	1	2	2	7	2	2	3	9	6	2	2	5	5	9	16	
49	5	9	1	9	8	1	8	1	9	3	9	7	6	1	5	5	1	3	9	4	3	2	9	4	8	16	
50	8	6	9	4	1	5	2	4	7	5	2	4	6	5	4	2	4	7	1	2	2	1	4	7	8	22	
	Toplam																							200	805		

Tablo 4. GKS=20 ve DA=48 olduğu durumda elde edilen veriler ve çözümler

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	H	R
1	6	7	6	1	8	8	9	8	2	6	8	1	7	6	6	3	3	9	9	8	0	7
2	2	6	1	3	1	5	7	1	3	7	8	8	4	9	2	4	8	9	8	4	0	2
3	8	9	2	4	3	7	4	2	7	2	7	8	2	2	7	1	7	4	1	3	0	11
4	1	8	5	4	7	1	7	8	4	3	4	3	1	6	1	2	4	7	9	3	0	8
5	1	5	4	2	1	1	6	3	2	2	7	5	9	5	3	9	4	8	6	2	0	4
6	1	5	8	5	7	4	7	6	1	5	7	1	4	7	3	5	5	4	3	7	0	9
7	5	4	6	3	6	9	4	5	3	1	8	6	1	7	3	5	7	8	4	7	0	7
8	3	1	2	7	4	6	2	3	3	8	4	1	5	9	7	6	9	5	9	8	0	2
9	9	3	3	1	7	1	1	6	4	7	7	7	9	5	4	5	3	9	8	9	0	4
10	8	2	3	5	7	7	1	1	1	7	6	3	8	6	7	1	7	2	1	4	0	8
11	6	5	8	5	1	7	1	9	5	3	3	9	7	1	1	8	9	7	3	9	0	6
12	9	9	6	7	2	5	8	3	8	4	7	2	9	5	3	3	3	7	5	1	0	11
13	6	1	6	7	4	6	5	8	6	8	1	9	8	1	4	7	8	1	4	6	0	8
14	8	8	2	1	5	2	1	3	7	7	6	2	3	3	3	8	4	8	4	5	0	6
15	9	1	6	9	4	7	3	8	1	6	4	2	4	9	3	8	9	5	2	2	0	7
16	6	3	1	9	3	8	7	6	7	5	4	9	7	8	6	8	2	3	6	8	0	6
17	9	2	2	2	3	4	8	4	1	5	9	8	7	2	9	6	9	7	6	6	0	4
18	9	6	2	5	2	5	5	6	3	4	7	7	8	4	3	4	2	9	7	9	0	7
19	1	4	6	3	6	5	3	5	9	9	5	5	6	1	8	3	1	6	9	8	0	4
20	8	2	1	6	7	3	1	3	9	6	5	9	1	7	5	6	1	8	9	7	0	4
21	3	3	9	5	8	7	2	7	3	9	8	4	8	2	9	4	3	9	7	7	0	6
22	2	8	8	6	5	4	7	4	6	7	2	7	5	2	7	1	7	4	5	4	0	9
23	4	7	1	4	1	4	7	5	8	6	7	8	4	4	3	4	4	4	1	5	0	8
24	1	8	2	6	8	1	8	6	4	9	6	9	4	4	3	5	8	5	6	1	0	7
25	6	2	5	1	1	3	3	1	8	4	6	4	3	1	4	6	6	5	6	9	0	2
26	6	1	1	8	9	8	5	1	1	8	6	9	8	9	8	8	3	1	6	5	0	6
27	8	7	8	1	4	2	6	3	1	7	9	4	8	6	5	6	2	6	1	2	0	8
28	8	3	1	1	8	6	6	4	3	6	3	5	8	1	2	8	3	9	5	7	0	4
29	3	2	1	4	9	2	2	2	5	2	7	7	1	4	7	5	7	7	3	7	0	2
30	6	2	1	4	4	4	5	7	5	6	4	2	2	3	9	6	3	7	1	6	0	8
31	5	5	8	1	9	6	4	5	4	6	2	5	7	7	2	1	2	6	9	5	0	7
32	7	4	6	9	8	5	5	8	4	1	3	1	7	7	3	1	4	9	5	8	0	10
33	1	1	4	9	5	9	5	4	1	9	5	7	7	5	9	2	9	9	3	4	0	7
34	1	6	1	4	4	2	7	1	5	2	6	2	1	1	5	7	1	6	5	8	0	7
35	1	1	7	4	5	6	3	2	8	1	2	4	7	2	7	5	9	9	6	4	0	3
36	2	5	9	9	3	4	6	6	1	2	1	3	5	4	4	9	8	6	8	7	0	7
37	4	1	7	8	5	5	4	3	8	1	9	3	4	8	3	2	8	4	9	9	0	4
38	7	4	4	6	3	8	5	7	9	9	6	7	8	7	5	5	3	6	3	8	0	7
39	5	9	3	3	6	4	6	5	7	6	3	7	6	4	9	1	7	1	5	6	0	5
40	1	7	4	8	4	2	5	6	3	8	8	3	2	1	4	8	1	1	1	9	0	9
41	3	9	9	4	7	9	2	4	7	5	8	3	1	6	8	8	6	5	8	5	0	8
42	9	9	3	9	7	9	5	5	1	2	9	6	1	6	4	1	7	1	1	5	0	14
43	9	1	8	8	1	6	2	5	3	6	2	6	3	6	9	3	7	1	6	7	0	8
44	4	6	3	6	5	3	2	5	3	8	1	6	4	4	5	8	2	5	8	2	0	9
45	8	1	3	5	9	4	4	5	6	2	3	7	4	3	1	4	8	3	3	7	0	5
46	7	9	7	6	6	7	6	1	2	5	4	5	7	8	5	3	9	8	5	2	0	9
47	5	3	2	1	6	3	9	4	7	8	9	4	5	1	1	1	4	3	5	0	8	
48	8	5	9	3	4	2	2	2	4	2	5	2	2	9	5	5	8	7	9	4	0	5
49	7	3	4	3	6	1	1	7	7	5	3	6	5	9	3	9	3	9	7	4	0	5
50	1	7	9	5	4	7	3	5	5	6	2	3	4	8	7	6	2	6	6	3	0	7
	Toplam																				0	329

Tablo 11. Deney sonuçlarının özeti

GKS	DA					H		R	
		H	R	H	R	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
10	24	0	87	0.00	0.01	0	0	0	4
18	24	12	419	0.01	0.03	0	2	2	12
24	24	200	805	0.12	0.05	0	9	8	23
20	48	0	329	0.00	0.02	0	0	2	14
36	48	21	1405	0.01	0.08	0	6	17	40
48	48	475	2698	0.28	0.16	0	25	35	78
40	80	0	1305	0.00	0.08	0	0	17	37
60	80	33	3283	0.02	0.20	0	6	47	79
80	80	984	6291	0.57	0.38	3	40	90	152
Toplam		1725	16622	1	1				